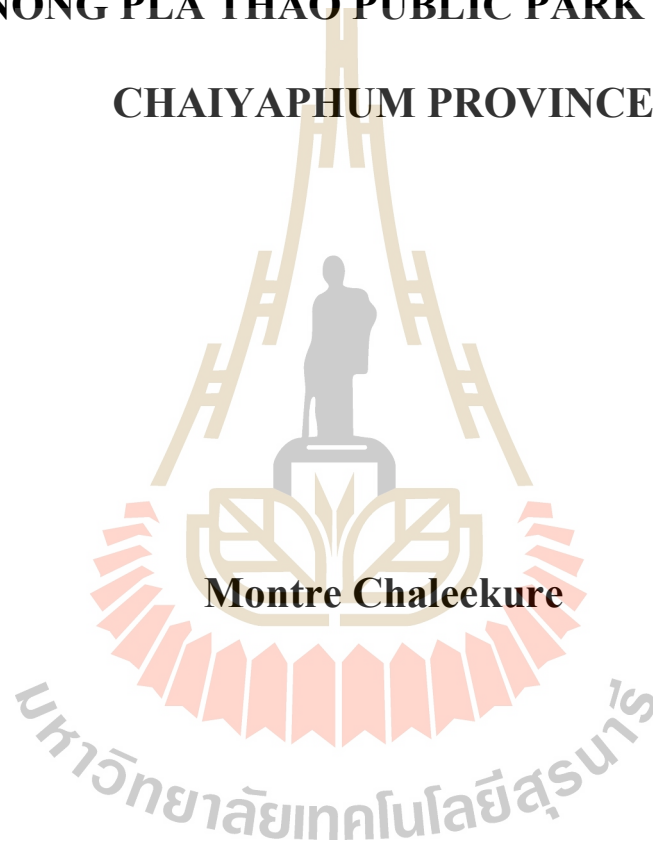


กลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน
เพื่อชนบท : กรณีศึกษา บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

**OPTIMAL ENERGY MANAGEMENT STRATEGIES
OF HYBRID RENEWABLE GENERATION SYSTEM
FOR RURAL COMMUNITIES : A CASE STUDY OF
NONG PLA THAO PUBLIC PARK AREA,
CHAIYAPHUM PROVINCE**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy of Energy Management Engineering**

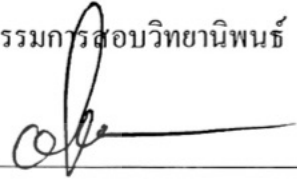
Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

กลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน
เพื่อชนบท : กรณีศึกษา บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.วิรัชชัย โธษนรินทร์)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.บุญเรือง มะรังศรี)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.วิรัชชัย อางหาญ)

กรรมการ




(ผศ. ดร.กัรติ สุลักษณ์)

กรรมการ



(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มนตรี ชาลีเครือ : กลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน
เพื่อชนบท : กรณีศึกษา บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิ (OPTIMAL
ENERGY MANAGEMENT STRATEGIES OF HYBRID RENEWABLE
GENERATION SYSTEM FOR RURAL COMMUNITIES : A CASE STUDY OF
NONG PLA THAO PUBLIC PARK AREA, CHAIYAPHUM PROVINCE)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี, 210 หน้า.

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวัน รวมถึงการขับเคลื่อนระบบต่าง ๆ ในภาครัฐและเอกชนของประเทศ ทุกวันนี้พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากฟอสซิล ซึ่งกำลังลดลงอย่างรวดเร็วและจะหมดไปในไม่ช้า ดังนั้น จึงต้องหาพลังงานรูปแบบใหม่ ๆ เพื่อมาทดแทนและให้เพียงพอต่อความต้องการของประเทศ พลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษากลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมความเร็วต่ำ ด้วยการจำลองซึ่งประกอบด้วย การจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬากลาง จังหวัดชัยภูมิ และการจำลองระบบผลิตพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน พื้นที่สวนสาธารณะ หนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิ และยังเสนอการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานทดแทนในพื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า

การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬากลาง จังหวัดชัยภูมิได้เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแบบเชื่อมระบบไฟฟ้า (On-Grid) และแบบไม่เชื่อมระบบไฟฟ้า (Off-Grid) โดยมีภาระทางไฟฟ้าเฉลี่ย 331.6 kWh/day ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด 85.64 kW สำหรับระบบแบบเชื่อมระบบไฟฟ้า ได้ผลการจำลองติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ 70 kW กังหันลมความเร็วต่ำ 6 ตัว 18 kW ซึ่งมีค่ารวมใกล้เคียงกับโหลดสูงสุดของระบบ โดยมีค่าใช้จ่ายเบื้องต้น 1.77 ล้านบาท ในส่วนของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมระบบ ระบบใช้พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ ได้ผลการจำลองติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ 116 kW กังหันลมความเร็วต่ำ 5 ตัว ขนาด 50 kW แบตเตอรี่ขนาด 1,043 kWh มีค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 5.85 ล้านบาท พบว่ามากกว่าแบบเชื่อมระบบ ดังนั้น ควรติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมระบบ

การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิ เป็นการจำลองโดยใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานลมความเร็วต่ำ แบบเชื่อมระบบและแบบไม่เชื่อมระบบ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นำมาใช้บำบัดน้ำเสียและระบบแสงสว่างในบริเวณบึงหนองปลาเฒ่า ระบบแบบเชื่อมระบบมีต้นทุนรวมน้อยกว่า

ระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบ ถึง 10 เท่า แต่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 220,942 kWh/yr. ซึ่งน้อยกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบ ที่ผลิตไฟฟ้าได้ 229,772 kWh/yr. เนื่องจากแบบเชื่อมต่อกับระบบ มีหน่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อยและสามารถซื้อไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า (53,497 kWh/yr.) ที่ใช้สำหรับเป็นพลังงานไฟฟ้าสำรองขณะที่มีโหลดสูงสุดและในช่วงเวลากลางคืน

การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานทดแทนพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเต่านั้น เพื่อเป็นต้นแบบการบำบัดน้ำแบบระบบอัตโนมัติโดยพลังงานทดแทนแบบยั่งยืน โดยติดตั้งกังหันลมความเร็วต่ำขนาด 10 kW จำนวน 4 ตัว กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า ขนาด 5 kW จำนวน 1 ชุด และระบบกังหันตึ้นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 300 W จำนวน 10 ชุด พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมได้ถูกตรวจวัด พบว่าผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 150 kWh/วัน คิดเป็นรายปีสามารถผลิตได้ 54,750 kWh/ปี หลังจากทำการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ผลการทดสอบน้ำแสดงให้เห็นว่าค่า pH มีค่าเป็นกลาง ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงความใสของน้ำที่แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านได้และเป็นการบำบัดน้ำด้วยแสง UV และค่าปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น



MONTRE CHALEEKURE : OPTIMAL ENERGY MANAGEMENT
STRATEGIES OF HYBRID RENEWABLE GENERATION SYSTEM FOR
RURAL COMMUNITIES : A CASE STUDY OF NONG PLA THAO
PUBLIC PARK AREA, CHAIYAPHUM PROVINCE. THESIS ADVISOR :
ASST. PROF. BOONRUANG MARUNGSRI, D. Eng., 210 PP.

ENERGY MANAGEMENT STRATEGIES/ HYBRID RENEWABLE
GENERATION SYSTEM/ RENEWABLE ENERGY

Energy is an essential part of daily life, as well as driving the development in public and private sectors of the country. Today, almost of the energy has been generated from fossils. It is rapidly declining and will soon be gone. Therefore, it must provide enough energy to meet demand of the country. Hybrid Renewable Energy (HRE) is another option that can produce a hybrid system to generate electricity to meet the needs of consumers. This thesis focuses on the optimal strategy for HRE systems, including the concept of hybrid energy management and strategic planning. The solar and wind energy are used research for hybrid renewable system. The simulation consists of two parts: first, the simulation of the power generation from the HRE system in the Chaiyaphum central stadium, and the second part, the simulation of the power generation from the HRE system in the Nong Pla Thao Public Park in Chaiyaphum Province. It also offers installation of wastewater treatment systems with the Renewable Energy (RE) system in the case study area.

For the simulation of the power generation from the HRE system in the Chaiyaphum central stadium, shows the comparison of On-Grid and Off-Grid costs. It has an average electrical load of 331.6 kWh/day with a maximum power of 85.64 kW.

On-Grid system installed 70 kW solar power system, six low-speed wind turbine 18 kW, which has a total value close to the maximum load of the system. The initial cost of 1.77 million baht. The Off-Grid systems uses battery backup power. The solar system 116 kW, five low-speed wind turbine 50 kW and the battery 1,043 kWh was installed. The initial cost is 5.85 million baht, which is more than the On-Grid system.

The simulation of the HRE system, the study areas Nong Pla Thao Public Park, is a simulation using RE from wind energy with On-Grid and Off-Grid system. The electricity produced will be used for wastewater treatment and lighting. The On-Grid system costs ten times less than the Off-Grid system; it can generate 220,942 kWh/yr less than the Off-Grid system, generating 229,772 kWh/yr. The On-Grid system has a low power unit and can purchase electricity from the electrical system (53,497 kWh/yr.), it used as backup power during peak load and the night.

Installation of wastewater treatment system with HRE in Nong Pla Thao Public Park for the model of water treatment by compressed air system by sustainable RE. The low-speed wind turbine size 10 kW for four towers, 5 kW water turbine generator for 1 set, and the water turbine solar 300 W, ten sets were installed in the area. The electricity produced by the wind turbine was measured. It can produce an average of 150 kWh/day on the annual producing basis of 54,750 kWh/year. After installing the wastewater treatment system, the water test results show that the pH value of each point is neutral. The temperature of the water increases, indicating the transparency of the water that the sun can shine through with the UV water treatment and the amount of oxygen in the water increases.

School of Energy Management Engineering
Academic Year 2018

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญเรือง มะรังศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างดีและให้ความรู้ด้านวิชาการมาโดยตลอด อีกทั้งยังได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช โรยรินทร์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและให้ความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่ง

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่ให้คำปรึกษาแนะนำและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านวิศวกรรมการจัดการพลังงานอย่างดียิ่งตลอดมา

ขอขอบคุณ นายธีระพงษ์ บุญรักษา และสมาชิกกลุ่มวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่อง

ขอบคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจในการทำวิจัยตลอดมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ทางด้านวิชาการทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่ให้ความรักความห่วงใย และการส่งเสริมทางการศึกษาอย่างเปี่ยมล้นตลอดมาจนทำให้ผู้วิจัยไม่ย่อท้อต่ออุปสรรคที่เกิดขึ้นตลอดมา

มนตรี ชาลีเครือ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ต
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	6
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	7
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 กล่าวนำ.....	9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.3 สรุป.....	19
3 ทฤษฎีและสมมติฐานที่เกี่ยวข้อง.....	20
3.1 กล่าวนำ.....	20
3.2 สถานการณ์พลังงานในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559.....	20
3.3 แหล่งผลิตพลังงานของประเทศไทย.....	30
3.3.1 ก๊าซธรรมชาติ.....	31
3.3.2 ถิกไนต์/ถ่านหิน.....	32
3.3.3 น้ำมัน.....	33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.4	นิวเคลียร์.....	35
3.3.5	พลังงานแสงอาทิตย์.....	36
3.3.6	พลังงานลม	39
3.3.7	พลังงานน้ำ.....	41
3.3.8	ชีวมวล.....	43
3.3.9	ก๊าซชีวภาพ.....	45
3.3.10	ขยะ.....	46
3.4	แนวคิดเกี่ยวกับการพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน	52
3.4.1	ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน	52
3.4.2	ลักษณะสำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน.....	53
3.4.3	ประเภทของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน	54
3.4.4	หลักการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน.....	56
3.4.5	เทคโนโลยีที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน.....	57
3.4.6	การใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน.....	59
3.5	สมดุลพลังงานของจังหวัดชัยภูมิ.....	62
3.5.1	การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย.....	62
3.6	ศักยภาพพลังงาน.....	64
3.6.1	ชีวมวลแข็ง	64
3.6.2	ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และน้ำเสียอุตสาหกรรม	66
3.6.3	ขยะ.....	68
3.6.4	พลังงานน้ำ.....	69
3.6.5	พลังงานลม	70
3.6.6	พลังงานแสงอาทิตย์.....	70

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน.....	71
3.7.1	ด้านเศรษฐกิจ.....	71
3.7.2	ด้านสิ่งแวดล้อม.....	73
3.7.3	แนวโน้มความต้องการใช้พลังงาน	75
3.8	โปรแกรมจำลอง HOMER Pro®	78
3.8.1	การออกแบบโหลด.....	79
3.8.2	องค์ประกอบในระบบ.....	80
3.8.3	ทรัพยากรในระบบ	83
3.8.4	ความสามารถของโปรแกรม HOMER Pro®	84
3.8.5	การคำนวณในโปรแกรม HOMER Pro®	88
3.9	สรุป.....	92
4	การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงาน จังหวัดชัยภูมิ.....	93
4.1	กล่าวนำ.....	93
4.2	พื้นที่ศึกษาสนามกีฬาากลาง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ.....	93
4.3	ข้อมูลความเร็วลมพื้นที่ศึกษาสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ.....	95
4.4	ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน.....	95
4.5	ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์พื้นที่ศึกษาสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ.....	102
4.5.1	การวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม PVsyst.....	104
4.6	สรุป.....	108
5	วิธีดำเนินการวิจัยและการจำลอง	109
5.1	กล่าวนำ.....	109
5.2	การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน โหลดไฟฟ้าสนามกีฬาากลาง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ.....	110

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.1	โหลดทางไฟฟ้าของสนามกีฬาากลาง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ.....	110
5.2.2	การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน ด้วยโปรแกรม HOMER Pro®	111
5.2.3	การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบ ผสมผสาน โหลดการใช้งานไฟฟ้าของสนามกีฬาากลาง จังหวัดชัยภูมิ.....	113
5.3	การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ	116
5.3.1	โหลดทางไฟฟ้าของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ.....	117
5.3.2	การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยใช้กังหันลม ความเร็วต่ำ	119
5.4	การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยพลังงานทดแทนจากกังหันลม ความเร็วต่ำพื้นที่ กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ	124
5.4.1	ผลการทดสอบระบบบำบัดน้ำเสีย	127
5.5	สรุป.....	130
6	สรุปและข้อเสนอแนะ	134
6.1	สรุป.....	134
6.2	ข้อเสนอแนะ	139
	รายการอ้างอิง	140
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก ผลการจำลองด้วยโปรแกรม HOMER Pro®	147
	ภาคผนวก ข บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	174
	ประวัติผู้เขียน	210

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	จำนวนประชากร ปี พ.ศ. 2560 3
1.2	รายได้ประชาชาติ ปี พ.ศ. 2560 3
1.3	ความต้องการพลังงาน ปี พ.ศ. 2560 4
1.4	สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเทียบกับการใช้พลังงานทั้งหมดและแหล่งพลังงาน ที่ใช้ผลิตไฟฟ้า 5
3.1	การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559 ^p 21
3.2	การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจปี 2559 ^p 22
3.3	การผลิตพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559 ^p 23
3.4	การนำเข้าพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559 ^p 25
3.5	การส่งออกพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559 ^p 26
3.6	สัดส่วนการผลิตน้ำมันสำเร็จรูปปี 2559 ^p 27
3.7	สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าปี 2559 ^p 28
3.8	การใช้พลังงานทดแทน 29
3.9	ดัชนีประสิทธิภาพของประเทศตั้งแต่ปี 2549-2559 30
3.10	การจัดการเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ 31
3.11	การจัดการเชื้อเพลิงลิกไนต์/ถ่านหิน 33
3.12	การจัดการเชื้อเพลิงน้ำมัน 34
3.13	ตัวอย่างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ 35
3.14	ตัวอย่างแผงโซลาร์เซลล์ 37
3.15	อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 38
3.16	กังหันลมแนวแกนนอน 40
3.17	กังหันลมแนวแกนตั้ง 40
3.18	แหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำ 42
3.19	เชื้อเพลิงชีวมวลประเภทต่าง ๆ 44
3.20	เชื้อเพลิงในการนำมาหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ 45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 โรงไฟฟ้าขยะและเชื้อเพลิงขยะ	46
3.22 ระบบผสมผสานแบบต่อเนื่อง	55
3.23 ระบบผสมผสานแบบสวิทช์เลือก	55
3.24 ระบบผสมผสานแบบต่อเนื่อง	56
3.25 ลักษณะของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน	58
3.26 ลักษณะการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน	58
3.27 การผลิตไฟฟ้ากระแสตรง	60
3.28 การผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ	61
3.29 ศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็งแยกตามชนิดปี	66
3.30 ศักยภาพเชิงพลังงานจากก๊าซชีวภาพ จำแนกรายปี	67
3.31 ศักยภาพเชิงพลังงานขยะ จำแนกรายปี	69
3.32 ปุ่มเพิ่มความต้องการ โหลดทางไฟฟ้า	79
3.33 หน้าต่างการเลือกคุณลักษณะต่าง ๆ ของโหลด	79
3.34 การปรับโหลดรายชั่วโมงของแต่ละเดือน	80
3.35 การกำหนดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งกังหันลม	80
3.36 การกำหนดขอบเขตเพื่อหาจำนวนกังหันลมที่เหมาะสม	81
3.37 การกำหนดเส้นโค้งกำลังของกังหัน	81
3.38 การกำหนดราคาซ่อมบำรุงของกังหันลม	81
3.39 การกำหนดค่าติดตั้งและบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์	82
3.40 การกำหนดขอบเขตของขนาดเพื่อหาจำนวนการติดตั้งที่เหมาะสม	82
3.41 คุณสมบัติของแบตเตอรี่	83
3.42 การกำหนดพารามิเตอร์ด้านเศรษฐศาสตร์ของแบตเตอรี่	83
3.43 รายละเอียดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบไฟฟ้า	85
3.44 กระแสเงินที่ใช้ในแต่ละปี	85
3.45 เปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์ระหว่างกรณีต่าง ๆ	86
3.46 รายงานสรุปเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจำลอง (1)	86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.47 รายงานสรุปเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจำลอง (2).....	87
3.48 รายงานสรุปเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจำลองแบบรายปี.....	87
3.49 ตัวอย่างเส้นโค้งกำลังไฟฟ้าของกังหันลมสำหรับหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ความเร็วต่าง ๆ.....	89
4.1 พื้นที่กรณีศึกษาสนามกีฬากลาง จังหวัดชัยภูมิ	94
4.2 สนามกีฬากลาง จังหวัดชัยภูมิ.....	94
4.3 บริเวณบึงน้ำสวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	95
4.4 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายวันของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ.....	96
4.5 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายปีของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ.....	96
4.6 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 บริเวณ สวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	97
4.7 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 บริเวณ สวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	97
4.8 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 บริเวณ สวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	98
4.9 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 บริเวณ สวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	98
4.10 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560 บริเวณ สวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	99
4.11 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 บริเวณ สวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	99
4.12 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 บริเวณ สวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	100
4.13 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนมกราคม พ.ศ. 2561 บริเวณ สวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	100
4.14 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 บริเวณ สวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15	กำลังการผลิตไฟฟ้าแปรผันต่อความเร็วลมที่ตัวกังหัน ได้รับ..... 101
4.16	ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์รายวันของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ..... 103
4.17	ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์รายปีของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ..... 103
4.18	หน้าตัดตัวเลือกการออกแบบระบบ..... 104
4.19	หน้าตัดการใส่รายละเอียดของระบบ..... 105
4.20	Energy Flow ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ..... 106
4.21	รูปแบบการสูญเสียพลังงาน..... 107
5.1	แผนภาพการดำเนินการวิจัยและการจำลอง..... 109
5.2	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของภาระทางไฟฟ้ารายวัน..... 110
5.3	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของภาระทางไฟฟ้ารายเดือน..... 111
5.4	ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อระบบ..... 111
5.5	ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อระบบ..... 112
5.6	ผลการจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อระบบ..... 113
5.7	การผลิตและการใช้ไฟฟ้า..... 114
5.8	ผลการจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อระบบ..... 114
5.9	การผลิตและการใช้ไฟฟ้า ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อระบบ..... 115
5.10	ภาระทางไฟฟ้ารายเดือนของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ..... 117
5.11	ภาระทางไฟฟ้ารายปีของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ..... 118
5.12	แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยใช้กังหันลม ความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อระบบ..... 119
5.13	ผลการจำลองค่าติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า โดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ 30 kW..... 120
5.14	การผลิตและการใช้ไฟฟ้า โดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ 30 kW..... 120
5.15	ผลการจำลองการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ 40 kW โดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ 40 kW..... 121

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.16 การผลิตและการใช้ไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ 40 kW	121
5.17 ผลการจำลองค่าติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ 50 kW	122
5.18 การผลิตและการใช้ไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ 50 kW	122
5.19 กังหันลมความเร็วต่ำจำนวน 4 ตัว	125
5.20 ชุดเติมอากาศกังหันตึ้นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 10 ตัว	125
5.21 กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าที่สะพานพั่งกั่นน้ำ.....	126
5.22 ระบบบำบัดน้ำเสียบริเวณพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ	126
5.23 ค่า pH ของน้ำ	128
5.24 ค่าอุณหภูมิของน้ำ.....	129
5.25 ค่าปริมาณออกซิเจนที่อยู๋ในน้ำ.....	129



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 10
3.1	การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559 ^p 21
3.2	การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ..... 22
3.3	การผลิตพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559 ^p 23
3.4	การนำเข้าพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559 ^p 24
3.5	การส่งออกพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559 ^p 26
3.6	การใช้พลังงานทดแทน..... 29
3.7	ข้อดีและข้อจำกัดของแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า..... 47
3.8	เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแต่ละประเภท..... 57
3.9	ภาพรวมการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในหน่วยทางกายภาพ (Physical unit)..... 62
3.10	ภาพรวมการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในหน่วยพีดตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe unit)..... 62
3.11	ภาพรวมการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในหน่วยพีดตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe unit) ในปี พ.ศ. 2558..... 63
3.12	ภาพรวมการผลิตพลังงานทดแทนของจังหวัดชัยภูมิ แยกตามประเภทการผลิต..... 63
3.13	ภาพรวมของศักยภาพเชิงพลังงานของพลังงานทดแทนในหน่วยพีดตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ..... 64
3.14	ศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็ง จำแนกรายปี..... 65
3.15	ปริมาณมูลสัตว์ น้ำเสียอุตสาหกรรม และศักยภาพเชิงพลังงานจากก๊าซชีวภาพ..... 67
3.16	ปริมาณขยะชุมชน และศักยภาพเชิงพลังงานขยะ จำแนกรายปี..... 68
3.17	รายละเอียดเขื่อน และศักยภาพเชิงพลังงานจากน้ำ..... 70
3.18	ความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีที่ความสูง 40 เมตร ระหว่างปี พ.ศ. 2550 ถึงปี พ.ศ. 2557..... 70
3.19	ความเข้มแสงและศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ จำแนกรายปี..... 71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.20 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงต่อหัวประชากร (ktoe ต่อคน) ระหว่าง ปีพ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557.....	72
3.21 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามสาขาการบริ โภคต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ในหน่วย toe/ล้านบาท ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557	72
3.22 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ในหน่วย tCO ₂ e/ล้านบาท ช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557.....	73
3.23 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อหัวประชากร ในหน่วย tCO ₂ e/คน ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2561.....	74
3.24 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ในหน่วย tCO ₂ e/ล้านบาท ช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2560.....	74
3.25 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงต่อหัวประชากร (ktoe ต่อคน) ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2560.....	75
3.26 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามสาขาการบริ โภคต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ในหน่วย toe/ล้านบาท ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2561	75
3.27 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงย่อยหน่วยกายภาพต่อคน ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2561.....	76
3.28 ความเชื่อมโยงยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงานและยุทธศาสตร์การพัฒนา จังหวัดชัยภูมิ	77
5.1 ราคาอุปกรณ์ในระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน	112
5.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบแบบเชื่อมต่อระบบและแบบไม่เชื่อมต่อระบบ.....	115
5.3 การผลิตพลังงานไฟฟ้า ของระบบแบบเชื่อมต่อระบบและแบบไม่เชื่อมต่อระบบ	115
5.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อระบบ	122
5.5 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อระบบ	123
5.6 พลังงานไฟฟ้าจากการจำลองด้วยโปรแกรมโฮมเมอร์และพลังงานไฟฟ้า ที่กังหันลมสามารถผลิตได้	127
5.7 ผลตัวอย่างน้ำสวนสาธารณะหนองปลาเต่า.....	128

บทที่ 1

บทนำ

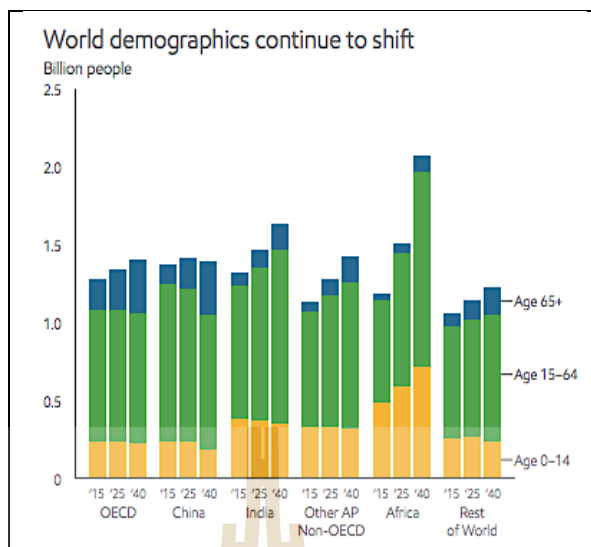
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานมีความสำคัญต่อมนุษย์ในโลกปัจจุบัน และทวีความสำคัญมากขึ้นเมื่อโลกยังมีการพัฒนา ส่งผลให้แหล่งพลังงานค่อย ๆ เปลี่ยนไปเป็นแหล่งพลังงานที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น จากน้ำมันปิโตรเลียมไปเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานหลายประเภทด้วยกัน แต่อาจมีในปริมาณค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ บางครั้งวิกฤตการณ์ของโลกอาจทำให้ประเทศไทยได้รับอิทธิพลอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งนี้เพราะประเทศไทยยังต้องมีการสั่งน้ำมันเข้าเป็นจำนวนมาก (มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, ม.ป.ป.: ออนไลน์) สอดคล้องกับสำนักนโยบายและแผนพลังงาน ปีพ.ศ. 2560 ที่กล่าวถึงพลังงานว่าเป็นเสมือนปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีพที่สำคัญ เช่นเดียวกับปัจจัยสี่ (อาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค) นอกจากนี้ ยังรวมไปถึงด้านเศรษฐกิจในทุกระดับ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านอุตสาหกรรม ขนส่ง ธุรกิจขนาดใหญ่ ธุรกิจขนาดเล็ก และที่อยู่อาศัย เป็นต้น ปัจจุบันการใช้พลังงาน นับวันยังมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเนื่องจากประเทศไทยไม่มีพลังงานเพียงพอ ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ซึ่งเงินจำนวนนี้สามารถนำไปพัฒนาประเทศในด้านอื่น ๆ ได้มาก นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญคือ พลังงานจากสิ่งเหล่านี้ในโลกมีจำนวนจำกัด และจะต้องหมดไปอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ขณะที่การใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานอื่น ๆ เช่น จากพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ยังไม่สามารถพัฒนาให้เกิดการคุ้มค่าในทางเศรษฐกิจได้เท่าที่ควร การขาดแคลนพลังงานเป็นเรื่องที่ทุกภาคส่วนต้องให้ความสนใจในการแก้ไข

แรงขับเคลื่อนที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนทางด้านพลังงานของประเทศไทย ส่วนหนึ่งเกิดจากการขยายตัวของความต้องการพลังงานหลัก เกิดจากสองปัจจัยพื้นฐานใหญ่ ๆ คือ การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะรายได้ต่อคน ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นปัจจัยพื้นฐานสำหรับชีวิตมนุษย์และระบบเศรษฐกิจในปัจจุบัน เมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ก็มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานมากขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของภาคเศรษฐกิจหากเศรษฐกิจขยายตัว รายได้ต่อคนเพิ่มขึ้น ก็ย่อมมีแนวโน้มการใช้พลังงานสำหรับขับเคลื่อนการผลิต เศรษฐกิจ และการบริโภคพลังงานของคนก็เพิ่มขึ้นตามด้วย

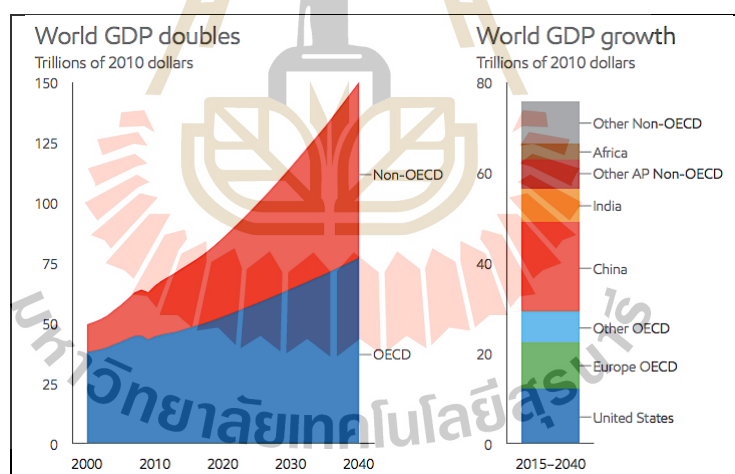
อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากส่วนที่ขับเคลื่อนการขยายตัวของเศรษฐกิจในอนาคต ส่วนของการขยายตัวของรายได้ต่อคนจะมีส่วนสำคัญในการผลักดันการขยายตัวทางเศรษฐกิจมากกว่า การขยายตัวของจำนวนประชากรประเทศในกลุ่ม Non-OECD ในเอเชีย จะเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างมาก ซึ่งสะท้อนถึงการขยายตัวของความต้องการพลังงานในภูมิภาคนี้เช่นกัน โดยเฉพาะประเทศจีน และอินเดีย ในปี 2015 จีนมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจที่ร้อยละ 6.9 ต่อปี ในขณะที่อินเดียมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจมากถึงร้อยละ 7.5 ต่อปีด้วยจำนวนประชากรที่มีจำนวนรวมทั้งสองประเทศที่มากกว่า 2,300 ล้านคน หรือคิดเป็นกว่า 1 ใน 3 ของจำนวนประชากรของโลก การขยายตัวทางเศรษฐกิจของสองประเทศนี้จึงทำให้เอเชียเป็นพื้นที่ที่จะขับเคลื่อนการขยายตัวทางเศรษฐกิจและความต้องการพลังงานต่อไปในอนาคต (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2560)

หากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการขยายตัวทางเศรษฐกิจกับความต้องการพลังงานนั้น หากมองแบบตรงไปตรงมา ความต้องการพลังงานน่าจะเพิ่มในอัตราเร่ง หรือเส้นกราฟน่าจะมีความชันเดียวกับเส้นกราฟ ของ GDP แต่จะเห็นว่าแนวโน้มของเส้นกราฟไม่ได้ชันขนาดในสัดส่วนเดียวกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้การขยายตัวของเศรษฐกิจจะเป็นส่วนสำคัญของการผลักดันการขยายตัวของความต้องการพลังงานก็ตาม แต่อัตราการขยายตัวของพลังงานจะมีอัตราเร่งที่น้อยกว่าการขยายตัวของเศรษฐกิจมาก ทั้งนี้เนื่องจากประเด็นเรื่องการประหยัดพลังงานที่กำลังให้ความสำคัญกันอย่างมาก จึงทำให้อัตราการขยายตัวของความต้องการพลังงานไม่เพิ่มสูงในอัตราที่เป็นสัดส่วนเดียวกับการขยายตัวของเศรษฐกิจ (GDP) โดยเฉพาะในประเทศ OECD ซึ่งการขยายตัวของความต้องการด้านพลังงานมีแนวโน้มลดลงแม้ยังมีการขยายตัวของระบบเศรษฐกิจอยู่ ซึ่งสะท้อนถึงนโยบายและทิศทางเศรษฐกิจในอนาคตว่า มีความพยายามอย่างมากที่จะลด Energy Intensity ลง นั่นคือความพยายามที่จะลดความเข้มข้นในการพึ่งพาพลังงานเพื่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 – 1.3



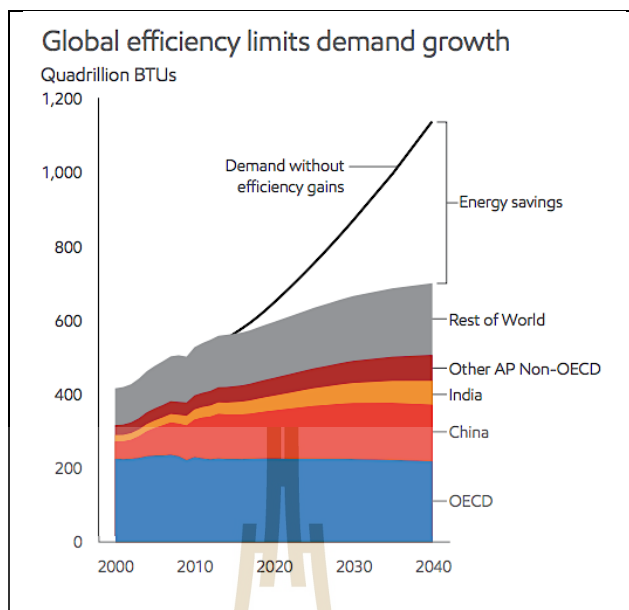
รูปที่ 1.1 จำนวนประชากร ปีพ.ศ. 2560

(ที่มา: ExxonMobil 2017 Outlook for Energy: A View to 2040, 2017)



รูปที่ 1.2 รายได้ประชาชาติ ปี พ.ศ. 2560

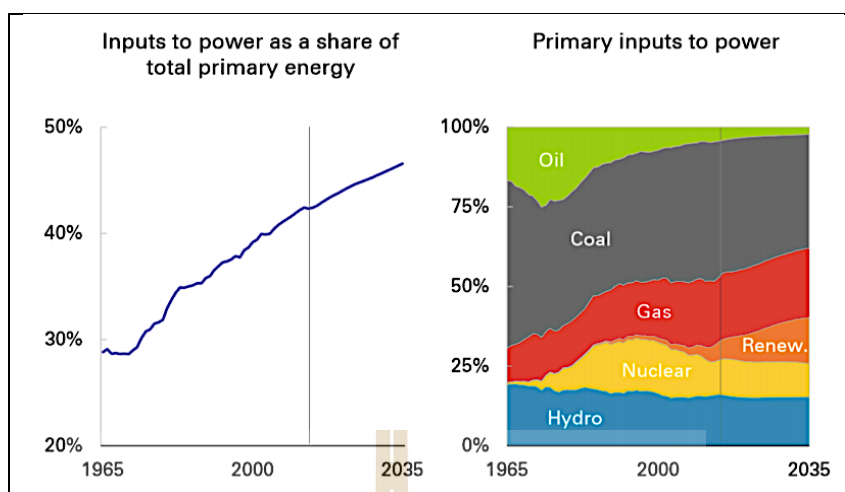
(ที่มา: ExxonMobil 2017 Outlook for Energy: A View to 2040, 2017)



รูปที่ 1.3 ความต้องการพลังงาน ปี พ.ศ. 2560

(ที่มา: ExxonMobil 2017 Outlook for Energy: A View to 2040, 2017)

เมื่อเทียบกับการใช้งานขั้นต้นของพลังงานประเภทต่าง ๆ การใช้งานในรูปของไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มมากกว่าการใช้งานในรูปแบบอื่นมาก โดยการใช้ไฟฟ้าจะมีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นตามแนวโน้มของโลกที่หันมาพึ่งพาการใช้งานพลังงานจากกระแสไฟฟ้ามากขึ้นเรื่อย ๆ เช่น การใช้รถยนต์ไฟฟ้าแทนการใช้น้ำมันเป็นต้น ทำให้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเทียบกับการใช้พลังงานทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 42 ในปัจจุบัน ไปอยู่ที่ร้อยละ 47 ในปี พ.ศ. 2578 ดังแสดงในรูปที่ 1.4 ในด้านของแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจะพบว่าถ่านหินจะยังคงเป็นแหล่งพลังงานหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้าแต่จะมีสัดส่วนลดลงจากร้อยละ 44 ในปัจจุบัน ไปอยู่ที่ร้อยละ 33 ในปี พ.ศ. 2578 และมีการคาดการณ์ว่า พลังงานทดแทน (Renewable) เป็นแหล่งพลังงานที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าในอนาคต แสดงในรูปที่ 1.4 (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2560)



รูปที่ 1.4 สัดส่วนของการใช้ไฟฟ้าเทียบกับการใช้พลังงานและแหล่งพลังงานที่ใช้ผลิตไฟฟ้า
(ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2560)

กระทรวงพลังงานเองก็เห็นถึงความเปลี่ยนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย และมีภารกิจในการกำหนดนโยบาย แผน และมาตรการด้านพลังงานของประเทศ เพื่อให้มีการจัดหาพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ และความมั่นคงของประเทศ โดยคำนึงถึงการอนุรักษ์พลังงาน และการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืน ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การกำกับกิจการพลังงานและราคาพลังงานให้มีความเหมาะสม รวมถึงทำหน้าที่ในการเป็นศูนย์กลางข้อมูลด้านพลังงาน และสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาพลังงาน ดังนั้นเพื่อให้การดำเนินการตามภารกิจของกระทรวงพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับสถานการณ์ด้านพลังงานของประเทศปัจจุบัน จึงกำหนดยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงาน (พ.ศ. 2559-2563) ซึ่งประกอบด้วย ยุทธศาสตร์ที่ 1 การจัดหาพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการ มีความมั่นคง และส่งเสริมการลงทุน ยุทธศาสตร์ที่ 2 การกำกับดูแลกิจการพลังงานและราคาพลังงาน ยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ยุทธศาสตร์ที่ 4 การเป็นองค์กรสมรรถนะสูงที่ยึดมั่นหลักธรรมาภิบาล (กระทรวงพลังงาน, 2559: ออนไลน์)

สำหรับ ยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ข้อ 3.2 กลยุทธ์ 3.2.1 พัฒนาวัตถุดิบทางเลือกอื่น รวมถึงพื้นที่ที่มีศักยภาพและเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับความสามารถผลิตและการใช้พลังงานทดแทน ถือเป็นนโยบายที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านพลังงานของประเทศ และเป็นการพัฒนาพลังงานที่ยั่งยืน ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยพลังงานทดแทน เป็น พลังงานที่ได้มาจากกระบวนการทางธรรมชาติ เช่น แสงอาทิตย์ ลม ความ

ร้อนได้พิภพ พลังงานน้ำ พลังงานชีวภาพ และพลังงานจากมหาสมุทร บทบาทของพลังงานทดแทนยังคงเพิ่มขึ้นในภาคการผลิตไฟฟ้า พลังงานความร้อนและความเย็นและในการขนส่ง

ดังนั้น พลังงานหมุนเวียนที่ประกอบด้วยแหล่งผลิตพลังงานหลายชนิดสามารถทำงานร่วมกัน เช่น การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล การผลิตไฟฟ้าพลังลม หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ หรือที่เรียกว่า พลังงานทดแทนแบบผสมผสาน ที่ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid System) เพื่อทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของประเทศจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยวัตถุประสงค์หลักของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน เป็นการนำเอาประโยชน์สูงสุดของศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนต่าง ๆ มาใช้จากสถานการณ์พลังงาน ความต้องการใช้ในการใช้ไฟฟ้าและนโยบายในด้านพลังงานของกระทรวงพลังงานข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเป็นสิ่งที่มีความต้องการจำเป็นสำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน (พลังงานทดแทน, 2559: ออนไลน์)

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า ในจังหวัดชัยภูมิ เพื่อออกแบบระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับพื้นที่กรณีศึกษา โดยใช้โปรแกรม HOMER Pro[®] ในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน รวมถึงทำการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้พลังงานทดแทน บริเวณพื้นที่หนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า ในจังหวัดชัยภูมิ

1.2.2 เพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

1.2.3 เพื่อนำเสนอรูปแบบการพัฒนากลยุทธ์ในการจัดการพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานใช้พลังงานที่มีศักยภาพ 2 ชนิด ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมความเร็วต่ำ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน

1.4.2 ออกแบบแบบจำลอง (Simulation) ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

1.4.3 การนำเสนอรูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

1.4.4 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน ใช้การผลิตพลังงานจากพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมความเร็วต่ำ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้กลยุทธ์ของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

1.5.2 ได้รูปแบบกลยุทธ์ในการจัดการพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

1.5.3 ได้เผยแพร่ความรู้จากงานวิจัยเรื่องกลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเพื่อชนบท: กรณีศึกษา บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ ในที่ประชุมวิชาการหรือวารสารวิชาการทั้งในและต่างประเทศ

1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย รวมทั้งแนะนำเนื้อหาพอสั่งเขบที่เป็นองค์ประกอบของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีและสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเพื่อชนบท

บทที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์ห้ศักยภาพพลังงานในพื้นที่ทดลอง จังหวัดชัยภูมิ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานหรือไม่ โดยทำการสำรวจ ตรวจสอบ และหาข้อมูลต่าง ๆ เช่น สมดุลพลังงาน ความเข้มแสง ความเร็วลม อุณหภูมิ สภาพอากาศ เป็นต้น

บทที่ 5 กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัยและการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่กรณีศึกษาสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ซึ่งประกอบด้วย การจำลอง 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬาากลางจังหวัดชัยภูมิ และส่วนที่สองการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสานในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิ รวมถึงเสนอการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานทดแทน พื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า

บทที่ 6 กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

การศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน เพื่อหากลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเพื่อชนบท และออกแบบระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมของจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งมีการพิจารณาในการผลิตพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพ 2 ชนิด ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม โดยมีการออกแบบจำลองจากระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ที่มีศักยภาพในจังหวัดชัยภูมิ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัย ระเบียบวิธีที่เคยมีการใช้งานมาก่อน ผลการดำเนินงาน ข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากคณະนักวิจัยตั้งแต่อดีตเป็นต้นมา โดยใช้ฐานข้อมูลที่เป็นแหล่งสะสมรายงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อันได้แก่ฐานข้อมูลจาก IEEE IEE และ Science Direct เป็นต้น ผลการสำรวจสืบค้นงานวิจัยดังกล่าว จะใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนาเข้ากับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน สามารถสรุปโดยย่อเป็นตารางได้ดังตารางที่ 2.1 โดยจัดลำดับผลงานที่มีนักวิจัยได้ดำเนินการก่อนไปสู่งานที่ใหม่กว่า ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1999	Bhave	ศึกษาการใช้ระบบพลังงานทดแทนเพื่อทดแทนความต้องการของโหลดทางไฟฟ้าแต่มีความน่าเชื่อถือน้อย ระบบพลังงานทดแทนแบบไฮบริดจึงถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ ซึ่งเป็นการนำพลังงานทดแทนหลาย ๆ รูปแบบมาใช้ร่วมกัน ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการจ่ายโหลดทางไฟฟ้าที่ความต้องการระดับต่าง ๆ การหาขนาดที่เหมาะสมของโมเดลระบบแบบไฮบริด และการควบคุมความน่าเชื่อถือของระบบ โดยใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (GA)
2009	Nema, Nema, and Rangnekar	ศึกษาการพัฒนาพลังงานทดแทนแบบผสมผสานที่ประกอบไปด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์และพลังงานจากลม ศึกษาการออกแบบการดำเนินงานและความต้องการด้านการควบคุมระบบพลังงานลมและแสงอาทิตย์แบบแยกเดี่ยวที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสำรอง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเหมาะกับพื้นที่ชุมชนขนาดเล็ก และการพัฒนาในชนบท ระบบกักเก็บลมและพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถผลิตพลังงานอย่างต่อเนื่องตามความต้องการของโหลดด้วยตัวควบคุมแบบผสมผสาน
2010	Zhou, Lou, Li, Lu, and Yang	ศึกษาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานจากแสงอาทิตย์และลมแบบแยกเดี่ยวและมีการเก็บพลังงานในแบตเตอรี่ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การออกแบบเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของระบบพลังงานลมและแสงอาทิตย์ และการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสมตามความต้องการของโหลดเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมีการวิเคราะห์ทรัพยากรพลังงานทดแทนอย่างละเอียด เพื่อลดค่าใช้จ่ายเริ่มต้นและค่าการดำเนินงานของระบบ

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2010	Kaabeche, Belhamel and Ibtiouen	ได้ศึกษาระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน คือ พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการทดสอบโดยการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุในหลาย ๆ ค่าเพื่อดูว่าแบบไหนมีประสิทธิภาพสูงสุด และจุดคุ้มทุนดีที่สุด ผลปรากฏว่าเมื่อเพิ่มตัวเก็บประจุให้มากขึ้นทำให้ระบบกักเก็บพลังงานได้มากและทำให้ระบบมีเสถียรภาพขึ้น
2010	Patsios, Antonakopoulos, Chanidis and Kladas	ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการใช้พลังงานจากแหล่งต่าง ๆ ในระบบ Stand-alone hybrid ซึ่งประกอบไปด้วยพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ก็ยังใช้พลังงานจากถ่านหินอยู่ เพื่อให้ได้ไฟฟ้าตามความต้องการของผู้ใช้ ในระบบที่ออกแบบมีการเพิ่ม Ultra-Capacitor เข้าไปเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของทิศทางของแสงอาทิตย์และความเร็วลม ระบบนี้มีการทดสอบ 24 ชั่วโมง โดยมีการทดสอบกับโหลดหลาย ๆ แบบ และผลลัพธ์จากการศึกษามีค่าพลังงานเพียงพอกับระบบ ส่วนอีกระบบหนึ่ง คือ ระบบ DC-Bus เป็นระบบที่ให้พลังงานที่มีความเสถียรกับระบบมาก
2011	Zhang and Li	เสนอการจัดการพลังงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้าแบบไฮบริด ซึ่งประกอบด้วยกังหันลมและแบตเตอรี่ที่มีการเชื่อมต่อกับกริด โดยนำวิธีการเขียนโปรแกรมแบบไดนามิกแบบสองระดับสำหรับการจัดการพลังงานของระบบพลังงานแบบไฮบริด เป็นการดำเนินการเป็นระยะเวลาที่ยาวนานหรือระยะเวลาสั้น สำหรับการทำนายค่าไฟฟ้ารายชั่วโมง พบว่าสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างมากและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับวิธีการเขียนโปรแกรมแบบไดนามิกล่วงหน้า 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2011	Jahanbani, and Riahy	ศึกษาการออกแบบที่เหมาะสมของระบบพลังงานหมุนเวียน ทำการสร้างแบบจำลองของส่วนประกอบของระบบและการประเมินความน่าเชื่อถือโดยใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ส่วนประกอบของพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์และกังหันลม เมื่อใช้ร่วมกันความน่าเชื่อถือของระบบจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ขนาดของระบบกักเก็บพลังงานสามารถลดลงได้เนื่องจากการผลิตพลังงานวิธีเดียว
2013	Thounthong, Sikkabut, Mungporn, Sethakul, Pierfederici and Davat	ทำการศึกษาโรงไฟฟ้าพลังงานร่วมระหว่าง เซลล์เชื้อเพลิง ชนิดเยื่อแลกเปลี่ยน โปรตอน (PEMFC) เซลล์แสงอาทิตย์ (PV) กังหันลม (WT) เซลล์เชื้อเพลิง (FC) และเก็บพลังงานไว้ในตัวเก็บประจุยิ่งยวด (SC) โดยในการจ่ายโหลดให้พลังงานที่ได้จาก PV และ WT เป็นแหล่งจ่ายพลังงานหลัก FC เป็นแหล่งจ่ายพลังงานเมื่อมีโหลดเพิ่ม และชดเชยเมื่อแสงอาทิตย์ และแรงลมมีปริมาณ ไม่เพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของ PV และ WT ใช้การควบคุมแบบไม่เชิงเส้นด้วยอัลกอริทึม Differential Flatness Based ผลการทดลองพบว่าระบบมีการตอบสนองที่รวดเร็วและมีเสถียรภาพ
2013	Abdelhamid and Rachid	จำลองผลของระบบไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวที่ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ นำมาเทียบกับระบบที่ประกอบด้วย โซลาร์เซลล์ พลังงานลม และระบบเก็บกักพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ ผลการจำลองพบว่าระบบที่ประกอบด้วย โซลาร์เซลล์ พลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบเก็บกักพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ จะสามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้พลังงานได้ดีกว่า และมีราคาถูกเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2013	Abbes, Martinez, Gerard and Champems	ได้ศึกษาออกแบบระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแบบแยกเดี่ยว โดยมุ่งเน้นไปที่ระบบที่ชาร์จแบตเตอรี่จากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ 3 วิธีในการออกแบบ คือ 1) LCC 2) EE และ 3) LPSP ส่วนข้อมูลต่าง ๆ ที่นำมาใช้นั้น ได้ถูกตรวจสอบและประเมินไว้แล้ว ในการศึกษาครั้งนี้ทำให้ได้ระบบชาร์จแบตเตอรี่จากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สามารถจ่ายไฟให้กับบ้านเรือนได้ถึง 95% ในทุก ๆ ปี
2014	Haque	ศึกษาการใช้พลังงานทดแทนที่นำไปจ่ายให้ผู้บริโภค การลดความผันผวนของระบบจำหน่ายพลังงาน และมีการนำเสนอรูปแบบการชาร์จพลังงานแบบใหม่และการประสานงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ โดยจะทำการจำลองในระบบทดสอบ IEEE 34 bus โดยวิธีการวิเคราะห์แบบ Quasi-static time sequence (ลำดับเวลาแบบกึ่งสถิต) บนพื้นฐานของการใช้พลังงานรายวัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การทำงานร่วมกันระหว่างกระบวนการชาร์จและการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมแรงดันเพิ่มประสิทธิภาพในการจำกัดแรงดัน ซึ่งเป็นผลมาจากความแปรปรวนในการใช้พลังงานของระบบพลังงานลมจะช่วยเพิ่มแรงดันไฟฟ้ารวมของระบบได้
2015	Piphitpattanaprap and Bangerdpongchai	เสนอกลยุทธ์การจัดการการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานด้วยระบบจัดเก็บพลังงาน โดยแบตเตอรี่ สำหรับการดำเนินงานแบบ Islanding โดยใช้การจัดการตามแผนนำร่องสมาร์ตทกริดแห่งชาติ และใช้ระบบจัดเก็บพลังงาน โดยแบตเตอรี่เป็นองค์ประกอบสำคัญของการจัดการระบบการจัดการพลังงาน พบว่าแบตเตอรี่มีบทบาทสำคัญในการรักษาระบบไฟฟ้าและทำให้ระบบไฟฟ้าทำงานได้โดยไม่หยุดชะงัก ช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพและเป็นการสำรองกำลังไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้า

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2016	Vivas, De las Heras, Segura and Andújar	ศึกษาระบบผลิตจำหน่ายไฟฟ้าแบบผสมผสาน ที่ประกอบด้วย โซลาร์เซลล์และกังหันลมที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าหลัก โดยมีการใช้เซลล์เชื้อเพลิงเป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าสำรอง โดยใช้แบตเตอรี่เก็บพลังงานในรูปแบบไฮโดรเจนเมื่อเชื้อเพลิงผลิตเกินความต้องการใช้โหลด จากผลการทดลองพบว่าเพื่อมีความต้องการใช้พลังงาน แบตเตอรี่ไฮโดรเจนเหมาะสมที่จะนำมาใช้จ่ายโหลดที่มีความต้องการพลังงานสูงสุด เพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบการผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าโดยรวม
2016	Sandeep, and Vakula	เสนอการหาขนาดที่เหมาะสมของแหล่งกำเนิดพลังงานหมุนเวียนแบบผสมเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้เหลือต่ำที่สุด โดยระบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นระบบที่แยกตัวอิสระที่มีกังหันลม เซลล์แสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงาน ระบบมีโหลดเฉลี่ยที่ 11.26 kWh/day และมีโหลดสูงสุดที่ 2.09 kW ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูล ที่ JNTUK Vizianagaram Campus ที่ บั น ที ก ในฐานข้อมูล National Aeronautics and Space Administration และ National Renewable Energy Lab ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า ขนาดที่เหมาะสมขององค์ประกอบภายในระบบที่เหมาะสมและทำให้ต้นทุนพลังงานต่ำสุด คือ เซลล์แสงอาทิตย์ 1 kW กังหันลม 3 kW โรงไฟฟ้าดีเซลขนาด 2 kW และแบตเตอรี่ขนาด 2 kWh ซึ่งขนาดที่ได้กล่าวมานั้นสามารถตอบสนองความต้องการพลังงานของผู้ใช้ไฟได้ตลอดทั้งปี
2017	Liu and You	ศึกษาการควบคุมความถี่โดยใช้การควบคุมแบบ Inertia และ Governor ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งกังหันลมและโซลาร์ฟาร์มของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ 2 ตัวอย่าง คือ ระบบไฟฟ้า U.S. Eastern และ Texas ที่ได้รับผลกระทบจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน ผลที่ได้สามารถรักษาและปรับปรุงความถี่ของระบบไฟฟ้าให้เหมาะสมได้

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2017	Azizivahed, Naderi, Narimani, Fathi and Narimani	นำเสนอวิธีการจัดการ การทำงานที่เหมาะสมของระบบส่งจ่ายไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายและติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน โดยพิจารณาฟังก์ชันค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบร่วมกัน โดยอาศัยการผสมกันของวิธี Grey Wolf Optimizer และเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) ผลลัพธ์ที่ได้สามารถหาค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบที่น้อยที่สุดที่ทำให้ระบบยังมีความน่าเชื่อถือที่เหมาะสมด้วย
2017	Li, Eseye, Zhang and Zheng	นำเสนอการจัดการพลังงานสำหรับไมโครกริดของกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่พิจารณาแบบแยกตัวออกจากระบบหลักและแบบเชื่อมต่อกับระบบหลักซึ่งวัตถุประสงค์คือลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของพลังงานเชื้อเพลิง ค่าดำเนินการ และค่าการบำรุงรักษา โดยทำนายความต้องการของโหลด โดยการหาค่าที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ ใช้วิธีดำเนินการแบบ Regroup Particle Swap Optimization (RegPSO) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการแบบ RegPSO จะถูกนำไปอ้างอิงกับผลที่ได้จากวิธีการทางพันธุกรรม (GA)
2017	Kang, Lo and Kockar	นำเสนอการจัดการพลังงานของโรงไฟฟ้าแบบเสมือนที่ประกอบด้วยพลังงานทดแทนชนิดต่าง ๆ เช่น กังหันลม หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นต้น และใช้อุปกรณ์จัดเก็บพลังงาน มีวัตถุประสงค์ คือ ลดค่าใช้จ่ายในการควบคุมความไม่แน่นอนของระบบพลังงานทดแทนและรักษาระดับแรงดันของระบบ โดยงานวิจัยฉบับนี้ได้ใช้ระบบทดสอบ IEEE 13-Bus distribution test feeder ในการจำลองและผลลัพธ์จากการจำลองสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและช่วยรักษาระดับพลังงานของระบบ

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2017	Chaouali, Othmani, Yahia, Mezghani and Mami	เสนอวิธีการจัดการพลังงานสำหรับระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเพื่อจ่ายไฟให้กับสถานีสูบน้ำ ซึ่งระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานประกอบด้วย โซลาร์เซลล์ เซลล์เชื้อเพลิง และตัวเก็บประจุยิ่งยวด โดยนำเทคนิคการควบคุมพีชชีลอจิก สำหรับสถานการณ์ที่แตกต่างกันของสภาพการทำงาน พบว่า ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของระบบ เมื่อใช้โทโพโลยีกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์เชื้อเพลิง และตัวเก็บประจุยิ่งยวด ทั้งในแบบคงที่และแบบแปรผัน ซึ่งมีผลต่อด้านเศรษฐกิจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากตัวเก็บประจุยิ่งยวด เก็บประจุหรือปล่อยประจุโดยควบคุมด้วยกลยุทธ์การจัดการลอจิกแบบพีชชี แสดงให้เห็นว่ากลยุทธ์การควบคุมที่พัฒนาขึ้น นำมาปรับปรุงในการทำงาน ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
2017	Zhang, Cao, Cao, Li and Wang	เสนอการจัดการปัญหาของไมโครกริด ที่ใช้พลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานหลักและกักเก็บพลังงานไว้จ่ายให้ผู้บริโภค โดยการเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของไมโครกริดนั้นต่ำที่สุด ใช้การดำเนินการแบบเรียลไทม์ สำหรับการดำเนินการที่เหมาะสมที่สุดของไมโครกริด โดยใช้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพแบบ Lyapunov เพื่อปรับเปลี่ยนข้อมูลในชุดแบบออนไลน์ ซึ่งไม่ต้องใช้ระบบสถิติใด ๆ จากการประเมินผล การจำลองพบว่าค่าใช้จ่ายนั้นลดลงอย่างมาก
2017	Basaran, Cetin and Borecki	ออกแบบการจัดการระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ที่มีระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ โดยออกแบบระบบควบคุมแบบอินเวอร์เตอร์ที่สามารถใช้ได้ทั้งตอนที่ระบบเชื่อมต่อและตอนแยกตัวออกจากระบบไฟฟ้าหลัก ทำให้ได้รับประโยชน์จากพลังงานทดแทนมากขึ้นถึง 10% ซึ่งทำให้ได้รับผลตอบแทนที่ดีจากค่าไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทนซึ่งมีราคาที่สูง

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2017	Maleki, Rosen and Pourfayaz	ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไมโครกริดที่ใช้แหล่งจ่ายเป็นพลังงานหมุนเวียนหลายชนิด การเพิ่มประสิทธิภาพให้ระบบนั้นค่อนข้างมีความซับซ้อน ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้เทคนิคต่าง ๆ ที่ซับซ้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยนำเสนอการใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค ที่ถูกปรับแต่งขึ้นมาใหม่เปรียบเทียบกับเทคนิคแบบดั้งเดิม เมื่อพิจารณาต้นทุนรวมของระบบ พบว่าลดได้ค่อนข้างสูงในกรณีตัวอย่างลดได้มากที่สุดถึง 25% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นั้นสามารถใช้งานได้ดีกว่าแบบดั้งเดิมและน่าเชื่อถือมากกว่า
2017	Ghose, Shahat, and Haddad	เสนอการออกแบบการใช้แหล่งพลังงานแบบผสมผสานประกอบไปด้วย กังหันลม และเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับเมืองสเตทโบโร ประเทศจอร์เจีย โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานระหว่างแบบออฟกริดและออนกริดที่ได้ถูกออกแบบและปรับปรุงเพิ่มเติมไปแล้ว โดยใช้โปรแกรม HOMER จากผลการจำลองที่แตกต่างกัน ทำให้สรุปได้ว่าระบบที่ได้ถูกออกแบบไปนั้นเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการเลือกติดตั้งแหล่งกำเนิดพลังงานแบบผสมผสาน
2018	Alhamad	ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดบนหลังคาอาคารเพื่อช่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าในขณะที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลักของอาบูดาบีเอมิเรต โดยทำการศึกษการใช้พลังงานไฟฟ้าของตัวอาคารโดยใช้โปรแกรม Carrier HAP จากนั้นจึงใช้โปรแกรม HOMER เพื่อออกแบบขนาดแผงโซลาร์เซลล์ที่จะติดตั้ง ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าหลังจากที่ได้ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไปนั้นทำให้ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้าลดลงและยังมีพลังงานเหลือสามารถขายให้โครงข่ายไฟฟ้าหลักอีกด้วย

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2018	Gautam, Ahmed, and Kumar	เสนอเทคนิคการประหยัดพลังงานของระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานระหว่างการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์และชีวมวลในระบบแยกตัวอิสระสำหรับการติดตั้งระบบผลิตพลังงานในชุมชนที่ห่างไกล ในการศึกษาที่ใช้โปรแกรม HOMER เพื่อจำลองสถานการณ์ในการติดตั้งแบบต่าง ๆ และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยในระบบประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ชีวมวล อินเวอร์เตอร์ และระบบกักเก็บพลังงาน ซึ่งแบ่งเป็น 4 กรณี 1) ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ชีวมวล และแบตเตอรี่ 2) ติดตั้ง ชีวมวลและแบตเตอรี่ 3) ติดตั้งชีวมวลอย่างเดียว 4) ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ และ ชีวมวล โดยเป้าหมายการออกแบบนี้ คือ การลดต้นทุนพลังงานให้เหลือต่ำที่สุด ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่ากรณีที่ 1 มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และให้ต้นทุนพลังงานต่ำที่สุด
2018	Adetunji, Akinlabi, and Joseph	เสนอการปรับปรุงระบบพลังงานของ 2 ชุมชน เพื่อลดภาระทางไฟฟ้าของระบบ โครงข่ายไฟฟ้าหลัก โดยใช้แหล่งกำเนิดพลังงานแบบผสมผสาน และช่วยลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายด้านมลภาวะต่าง ๆ โดยขั้นตอนทั้งหมดถูกดำเนินการและวิเคราะห์ในโปรแกรม HOMER ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าหลังจากที่ได้ติดตั้งแหล่งกำเนิดพลังงานแบบผสมผสานเข้าไป ค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าของชุมชนนั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด

จากปริทัศน์วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่ได้สรุปผ่านมา ทำให้ทราบว่า มีผู้วิจัยได้คิดค้นและนำเสนอกลยุทธ์การจัดการพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบต่าง ๆ ที่มีทั้ง พลังงานลม เซลล์แสงอาทิตย์ ชีวมวล อินเวอร์เตอร์ และระบบกักเก็บพลังงาน รวมถึงการใช้โปรแกรม HOMER Pro[®] จำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานและค่าติดตั้งของระบบ สามารถทำให้ผู้วิจัยมองเห็นแนวทางในการศึกษาวิจัยกลยุทธ์การจัดการพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน ที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม HOMER Pro[®] ในการ

จำลองระบบ กรณีศึกษา บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ และนำผลการจำลองมาวิเคราะห์ต่อไป

2.3 สรุป

ในบทที่ 2 นี้ได้นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและการวิจัยในรูปแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยการค้นคว้าจากฐานข้อมูลของ IEEE, Science Direct และอื่น ๆ ทำให้ทราบถึงผลงานดำเนินงานวิจัย จุดประสงค์ แนวทางการวิจัยของผู้วิจัยอื่น ๆ ซึ่งจะถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง และเป็นแนวทางสำหรับการดำเนินงานวิจัยต่อไป จากการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมเห็นได้ชัดว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดกำลังเป็นที่สนใจมากในปัจจุบัน ซึ่งประเทศไทยคือประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพของพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ จึงได้เริ่มทำการวิจัยขึ้นเพื่อศึกษากลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเพื่อชนบท: กรณีศึกษา บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ ซึ่งรายละเอียดในการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานและการจำลองจะอธิบายในบทถัดไป



บทที่ 3

ทฤษฎีและสมมติฐานที่เกี่ยวข้อง

3.1 กล่าวนำ

การศึกษาศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในจังหวัดชัยภูมิจำเป็นต้องศึกษาหาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากชีวมวล พลังงานจากขยะ และพลังงานจากน้ำ เพื่อนำความรู้ที่ได้มาพัฒนากลยุทธ์ในการจัดการพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับจังหวัดชัยภูมิ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2 สถานการณ์พลังงานในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559

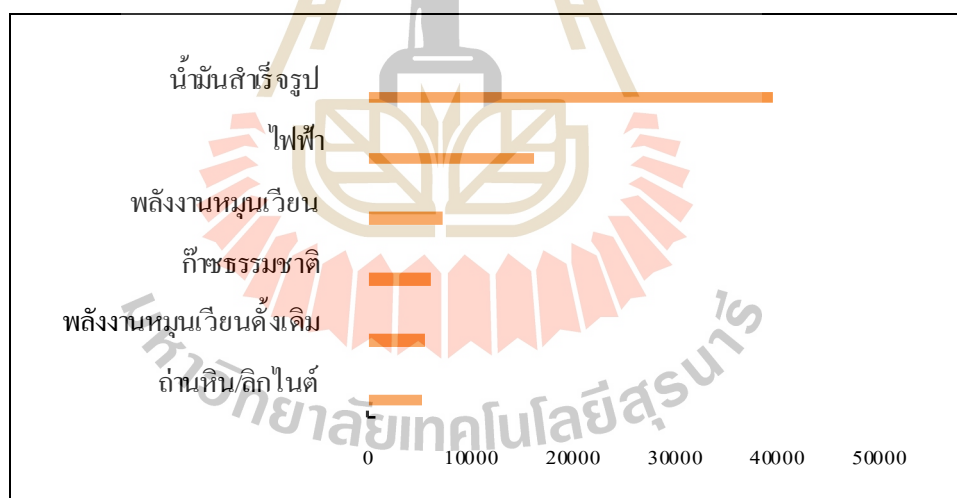
การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศไทยในปี 2559 มีปริมาณ 79,929 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 2.6 และคิดเป็นมูลค่าการใช้พลังงานรวม 856 พันล้านบาท โดยมีการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ในสัดส่วนร้อยละ 9.0 และพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมร้อยละ 6.8 ทั้งนี้ การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ มีปริมาณ 67296 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.4 ประกอบด้วยน้ำมันสำเร็จรูป 39714 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.6 ไฟฟ้า 16,233 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.0 ถ่านหิน/ลิกไนต์ 5,313 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 20.7 และก๊าซธรรมชาติ 6,036 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 สำหรับพลังงานหมุนเวียน ประกอบด้วย (แสงอาทิตย์ ฟืน แกลบ กากอ้อย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะ และก๊าซชีวภาพ) 7,182 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 9.2 และพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม (ฟืน ถ่าน แกลบ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร) 5,451 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงจากปีก่อนร้อยละ 26.9 ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

อย่างไรก็ตาม น้ำมันสำเร็จรูปยังคงมีการใช้ในสัดส่วนที่สูงกว่าพลังงานชนิดอื่น ร้อยละ 49.7 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม และถ่านหิน/ลิกไนต์ ร้อยละ 20.3 9.0 7.6 6.8 และ 6.6 ตามลำดับ (p : ตัวเลขเบื้องต้น) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2558)

ตารางที่ 3.1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559^ป

การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย จำแนกตามชนิดพลังงาน	ปริมาณ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	
	2557	2558	2559 ^ป	2558	2559 ^ป
การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (รวม)	75,804	77,881	79,929	2.7	2.6
พลังงานเชิงพาณิชย์	61,075	63,844	67,296	4.5	5.4
- น้ำมันสำเร็จรูป	36,570	37,981	39,714	3.9	4.6
- ไฟฟ้า	14,371	15,455	16,233	7.5	5.0
- ถ่านหิน/ลิกไนต์	4,629	4,403	5,313	(4.9)	20.7
- ก๊าซธรรมชาติ	5,505	6,005	6,036	9.1	0.5
พลังงานหมุนเวียน	5,775	6,579	7,182	13.9	9.2
พลังงานหมุนเวียนแบบดั้งเดิม	8,954	7,458	5,451	(16.7)	(26.9)

(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)



รูปที่ 3.1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559^ป

(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

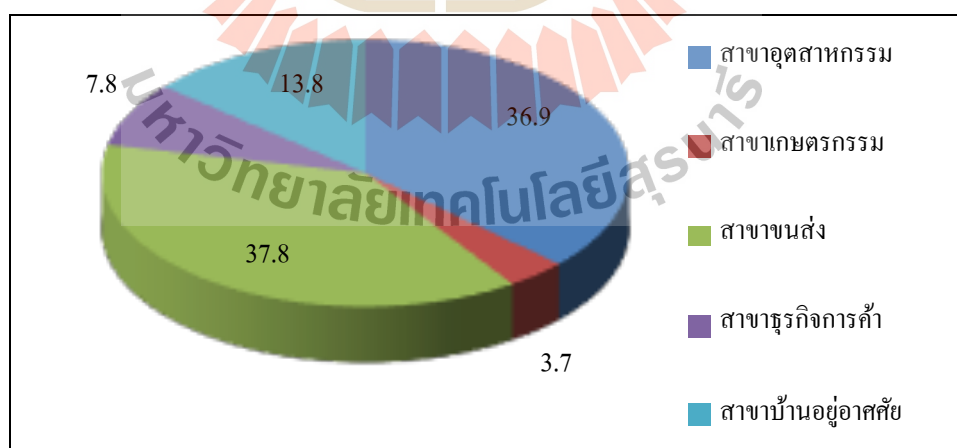
ส่วนการใช้งานพลังงานขั้นสุดท้ายในแต่ละสาขาเศรษฐกิจ พบว่า โดยรวมมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นประกอบด้วย การใช้พลังงานในสาขาเกษตรกรรม 2,987 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงจากปีก่อนร้อยละ 23.2 สาขาอุตสาหกรรม 29,466 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.4

สาขาบ้านอยู่อาศัย 11,071 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 4.5 สาขาธุรกิจการค้า 6,215 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.4 และสาขาขนส่ง 30,190 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.9 ทั้งนี้ เป็นการใช้ในสาขาขนส่งมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 37.8 รองลงมาเป็นการใช้ในสาขาอุตสาหกรรม สาขาบ้านอยู่อาศัย สาขาธุรกิจการค้า และสาขาเกษตรกรรม ร้อยละ 36.9 13.8 7.8 และ 3.7 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ

การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย จำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ	ปริมาณ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	
	2557	2558	2559 ^p	2558	2559
1. สาขาเกษตรกรรม	3,957	3,891	2,987	(1.7)	(23.2)
2. สาขาอุตสาหกรรม*	28,117	27,946	29,466	(0.6)	5.4
3. สาขาบ้านที่อยู่อาศัย	11,459	11,591	11,071	1.2	(4.5)
4. สาขาธุรกิจการค้า	5,470	5,952	6,215	8.8	4.4
5. สาขาขนส่ง	26,801	28,501	30,190	6.3	5.9
รวม	75,804	77,881	79,929	2.7	2.6

* ประกอบด้วย เหมืองแร่ อุตสาหกรรมการผลิต และก่อสร้าง (ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

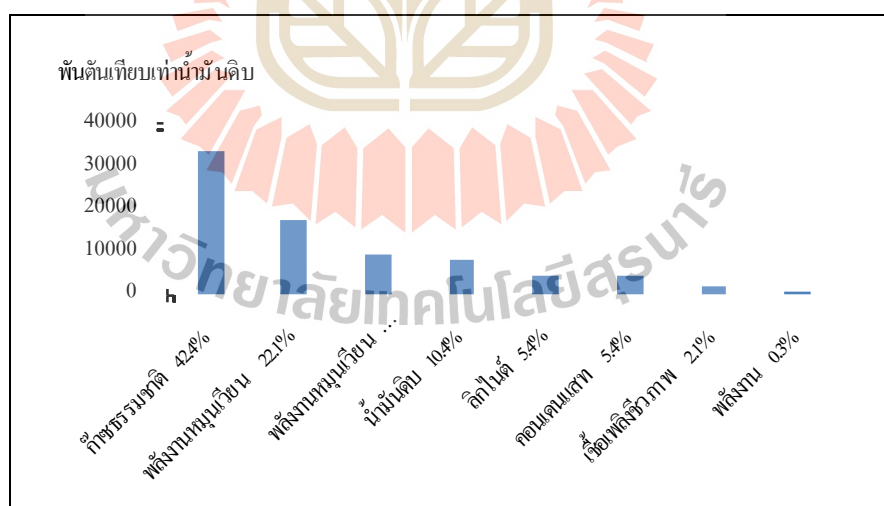


รูปที่ 3.2 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจปี 2559^p
(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

ตารางที่ 3.3 การผลิตพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559^p

การผลิตพลังงาน	ปริมาณ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	
	2557	2558	2559 ^p	2559 ^p	2559 ^p
การผลิตพลังงาน (รวม)	79,314	75,838	78,795	(4.4)	3.9
● พลังงานเชิงพาณิชย์	52,888	49,866	50,144	(5.7)	0.6
-น้ำมันดิบ	6,906	7,604	8,124	10.1	6.8
-ลิกไนต์	4,622	3,858	4,306	(16.5)	11.6
-ก๊าซธรรมชาติ	37,035	34,020	33,408	(8.1)	(1.8)
-คอนเดนเสท	4,325	4,384	4,306	1.4	(1.8)
● พลังงานหมุนเวียน	9,986	10,884	17,391	9.0	59.8
● พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม	14,373	12,912	9,358	(10.2)	(27.5)
● เชื้อเพลิงชีวภาพ	1,799	1,941	1,682	7.9	(13.3)
● พลังงานอื่น ๆ	268	235	220	(12.3)	(6.4)

(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

รูปที่ 3.3 การผลิตพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559^p

(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

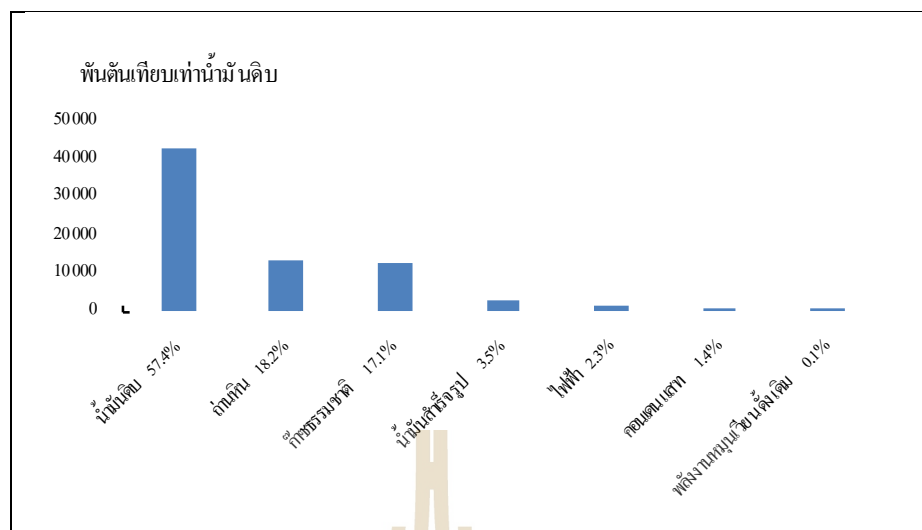
จากตารางที่ 3.3 แสดงการผลิตพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559 การผลิตพลังงานมีปริมาณ 78,795 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 3.9 โดยมีการผลิตพลังงานเชิงพาณิชย์ในสัดส่วนร้อยละ 63.6 ของการผลิตพลังงานทั้งหมด พลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนร้อยละ 22.1 พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมในสัดส่วนร้อยละ 11.9 เชื้อเพลิงชีวภาพในสัดส่วนร้อยละ 2.1 และพลังงานอื่น ๆ ร้อยละ 0.3

การผลิตพลังงานเชิงพาณิชย์ มีปริมาณ 50,144 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 0.6 ประกอบด้วยน้ำมันดิบ 8,124 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.8 ลิกไนต์ 4,306 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 11.6 ก๊าซธรรมชาติ 33,408 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 1.8 คอนเดนเสท 4,306 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 1.8 สำหรับพลังงานหมุนเวียน (แสงอาทิตย์ ลม พลังน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ ฟืน แกลบ กากอ้อย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะ และก๊าซชีวภาพ) 17,391 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 59.8 พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม (ฟืน ถ่าน แกลบ และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร) 9,358 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 27.5 เชื้อเพลิงชีวภาพ (เอทานอล และไบโอดีเซล) 1,682 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 13.3 และพลังงานอื่น ๆ (แบล็กลิเคอร์และก๊าซเหลือใช้) 220 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 6.4 แสดงเป็นกราฟในรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.4 การนำเข้าพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559^p

การนำเข้าพลังงาน	ปริมาณ (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	
	2557	2558	2559 ^p	2559 ^p	2559 ^p
การนำเข้าพลังงาน (รวม)	69,248	74,928	74,452	8.2	(0.6)
• พลังงานเชิงพาณิชย์	69,144	74,841	74,389	8.2	(0.6)
- น้ำมันดิบ	40,171	43,690	42,721	8.8	(2.2)
- ถ่านหิน	13,188	13,846	13,604	5.0	(1.7)
- น้ำมันสำเร็จรูป	3,732	2,299	2,645	(38.4)	15.1
- ก๊าซธรรมชาติ	9,792	13,050	12,709	33.3	(2.6)
- คอนเดนเสท	1,216	728	1,021	(40.1)	40.2
- ไฟฟ้า	1,045	1,228	1,689	17.5	37.5
• พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม	104	87	63	(16.3)	(27.6)

(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2558)



รูปที่ 3.4 การนำเข้าพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559^ป
(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

การนำเข้าพลังงานมีปริมาณ 74,452 พันต้นเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงจากปีก่อนร้อยละ 0.6 โดยมีการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์ ในสัดส่วนร้อยละ 99.9 ของการนำเข้าพลังงานทั้งหมด และพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม ร้อยละ 0.1 การนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์มีปริมาณ 74,389 พันต้นเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงจากปีก่อนร้อยละ 0.6 ประกอบด้วยน้ำมันดิบ 42,721 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 2.2 ถ่านหิน 13,604 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 1.7 น้ำมันสำเร็จรูป 2,645 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 15.1 ก๊าซธรรมชาติ 12,709 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.6 คอนเดนเสท 1,021 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 40.2 ไฟฟ้า 1,689 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 37.5 และพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม (พื้นและถ่าน) มีการนำเข้า 63 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 27.6 การส่งออกพลังงานมีปริมาณ 10,904 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ ลดลงจากปีก่อนร้อยละ 8.9 โดยเป็นการส่งออกพลังงานเชิงพาณิชย์ ในสัดส่วนร้อยละ 99.8 ของการส่งออกพลังงานทั้งหมด ส่วนที่เหลือเป็นการส่งออกพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิมและเพลิงชีวภาพ ร้อย 0.2 ดังแสดงในตารางที่ 3.4 และรูปกราฟที่ 3.4

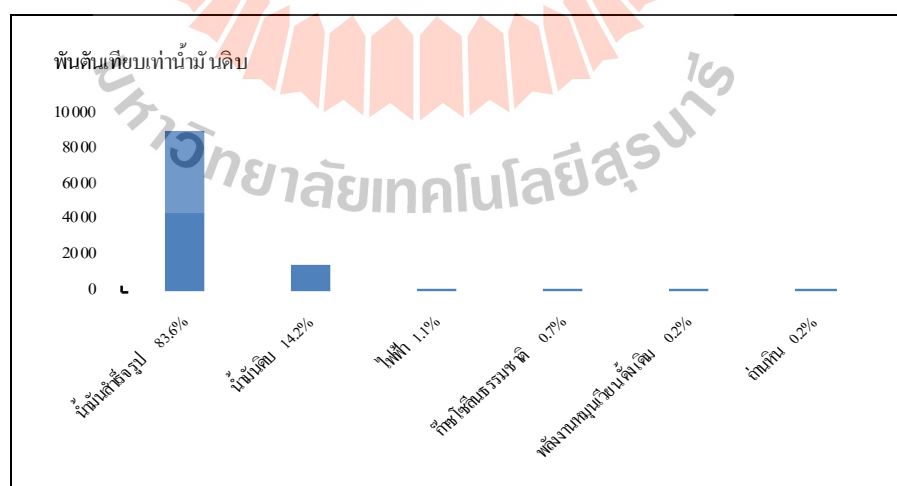
การส่งออกพลังงานเชิงพาณิชย์มีปริมาณ 10,881 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ ลดลงจากปีก่อน ร้อยละ 8.9 ประกอบด้วยน้ำมันสำเร็จรูป 9,110 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 21.4 น้ำมันดิบ 1,545 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าจำนวนมาก เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนนโยบายของกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติอนุญาตให้โรงกลั่นน้ำมันดิบบางแห่งส่งออก น้ำมันดิบได้ ก๊าซโซลีนธรรมชาติ 78 พันต้นเทียบเท่า น้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 17.9 ถ่านหิน 26

พีดันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นร้อยละ 62.5 ไฟฟ้า 122 พีดันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ลดลงร้อยละ 36.8 สำหรับพลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม (พิน ถ่าน) 23 พีดันเทียบเท่าน้ำมันดิบลดลงร้อยละ 23.3 ดังแสดงในตารางที่ 3.5 และรูปที่ 3.5 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

ตารางที่ 3.5 การส่งออกพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559^p

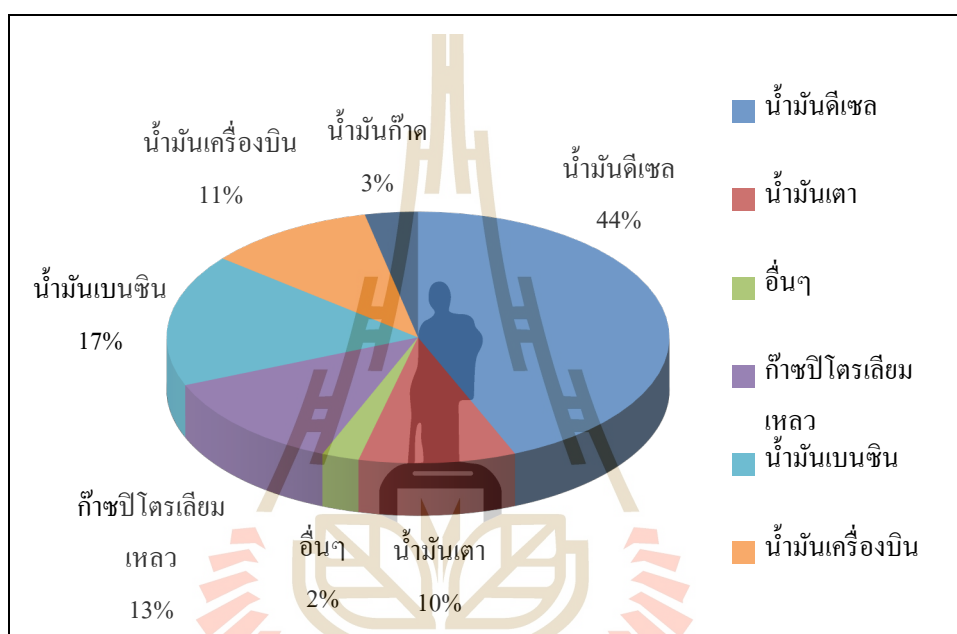
การส่งออกพลังงาน	ปริมาณ (พีดันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)			อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	
	2557	2558	2559 ^p	2559	2559 ^p
การส่งออกพลังงาน (รวม)	10,716	11,971	10,904	11.7	(8.9)
● พลังงานเชิงพาณิชย์	10,688	11,941	10,881	11.7	(8.9)
- น้ำมันสำเร็จรูป	9,895	11,597	9,110	17.2	(21.4)
- น้ำมันดิบ	334	40	1,545	(88.0)	3,762.5
- ไฟฟ้า	136	193	122	41.9	(36.8)
- ก๊าซโซลีนธรรมชาติ	305	95	78	(68.9)	(17.9)
- ถ่านหิน	18	16	26	(11.1)	62.5
● พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม	25	30	23	20.0	(23.3)
● เชื้อเพลิงชีวภาพ	3	-	-	(100.0)	-

(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)



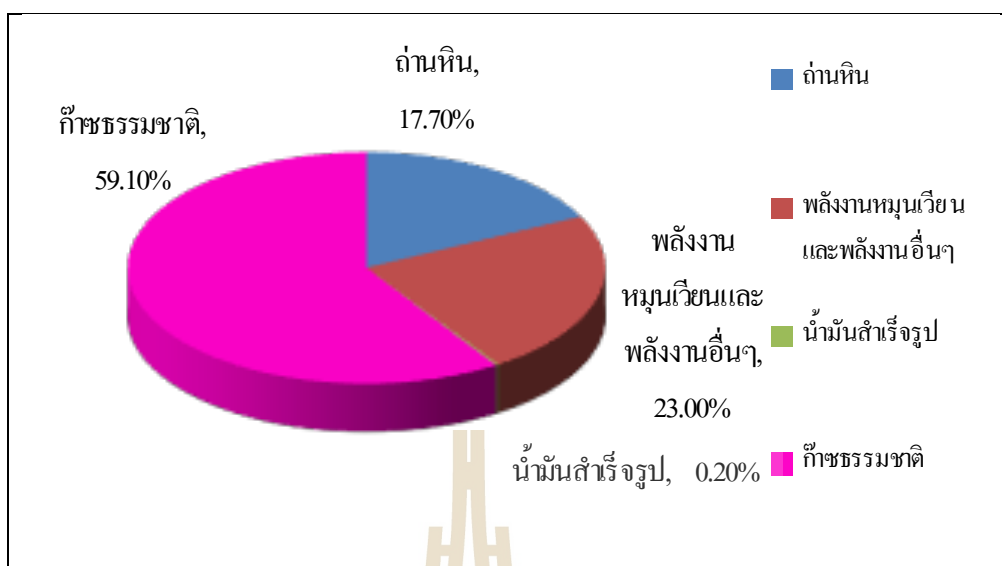
รูปที่ 3.5 การส่งออกพลังงานจำแนกตามชนิดพลังงานปี 2559^p
(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีโรงกลั่นน้ำมันรวม 7 โรง มีกำลังการกลั่นรวมทั้งสิ้น 1,234,500 บาร์เรลต่อวัน นอกจากนี้ยังมีโรงแยกก๊าซธรรมชาติ 6 โรง มีขนาดรวม 2,740 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน และโรงแยกก๊าซ ปตท.สผ.สยาม ซึ่งทำการผลิตก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นหลักอีก 1 โรง มีขนาด 163.3 ล้านลูกบาศก์ฟุตบาศก์ฟุตต่อวัน โดยพบว่าในปี 2559 มีการผลิตน้ำมันสำเร็จรูป ซึ่งประกอบด้วย น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว น้ำมันเครื่องบิน น้ำมันเตา น้ำมันก๊าด และอื่น ๆ เป็นสัดส่วนร้อยละ 43.7 17.0 12.6 10.8 10.1 3.4 และ 2.4 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 สัดส่วนการผลิตน้ำมันสำเร็จรูปปี 2559^a
(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2558)

การใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในปี 2559 พบว่ามีการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติร้อยละ 59.1 ของการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด รองลงมาเป็นถ่านหิน/ลิกไนต์ร้อยละ 17.7 น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลร้อยละ 0.2 ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานหมุนเวียน (แกลบ กากอ้อย วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขยะ ก๊าซชีวภาพ) และพลังงานอื่น ๆ (แบล็คลิโคและก๊าซเหลือใช้จากขบวนการผลิต) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 23.0 ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าปี 2559^๑
(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน, 2558)

สถานการณ์การใช้พลังงานทดแทน รัฐบาลมีมาตรการและนโยบายที่สนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการใช้พลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้จากภายในประเทศ ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ขยะ และเชื้อเพลิงทางชีวภาพ (เอทานอล และไบโอดีเซล) โดยในปี 2559 พบว่าการใช้พลังงานทดแทนทั้งสิ้น 11,051 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปีก่อน ร้อยละ 9.7 ทั้งนี้มีการใช้ในรูปแบบของไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิง (เอทานอล และไบโอดีเซล) ในสัดส่วนร้อยละ 13.8 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.8

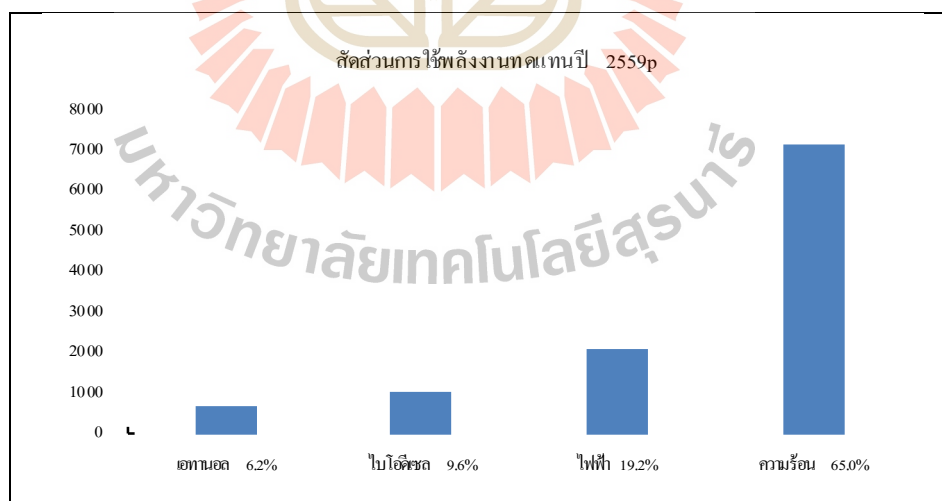
การใช้ไฟฟ้าและความร้อน ที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทน (ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ) มีปริมาณ 2,122 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และ 7,182 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณการใช้ประกอบด้วย เอทานอล 684 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และไบโอดีเซล 1,063 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

ตารางที่ 3.6 การใช้พลังงานทดแทน

การใช้พลังงานทดแทน	(พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)				อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)
	2556	2557	2558	2559 ^p	
1. ไฟฟ้า ^{1/} (แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ชีวมวล ขยะ และก๊าซ ชีวภาพ)	1,341	1,467	1,556	2,122	36.4
2. ความร้อน (แสงอาทิตย์ ชีวมวล ขยะ และก๊าซชีวภาพ)	5,279	5,775	6,579	7,182	9.2
3. เชื้อเพลิงชีวภาพ					
-เอทานอล	707	874	879	684 ^{2/}	(22.2)
-ไบโอดีเซล	905	909	1,063	1,063	
รวม	8,232	9,025	10,077	11,051	9.7

1/ รวมการผลิตไฟฟ้าจากระบบ; 2/ มีการเปลี่ยนวิธีคำนวณค่าความร้อนจากน้ำมันเบนซินเป็นเอทานอล; p: ตัวเลขเบื้องต้น

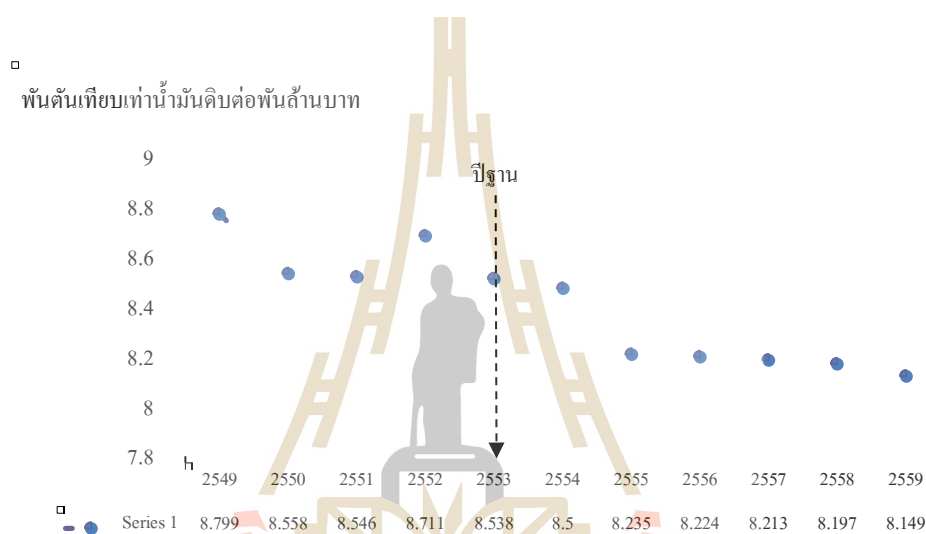
(สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558)



รูปที่ 3.8 การใช้พลังงานทดแทน

(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

สถานการณ์การอนุรักษ์พลังงาน จากการที่ภาครัฐมีนโยบายส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยได้จัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 - 2579 มีเป้าหมายที่จะลดความเข้มการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ลงร้อยละ 30 ในปี 2579 จากปี 2553 ซึ่งได้ให้การสนับสนุนด้านการเงินในการดำเนินโครงการด้านอนุรักษ์พลังงาน พลังงานทดแทน ตลอดจน การศึกษา วิจัยการสร้างความรู้ ความเข้าใจ การฝึกอบรม ที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงาน ได้ส่งผลโดยรวมต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของประเทศ โดยดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานของประเทศ (Energy Intensity) ใน ปี พ.ศ. 2559 ลดลงร้อยละ 4.6 จากปี พ.ศ. 2553 ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ดัชนีประสิทธิภาพของประเทศตั้งแต่ปี 2549-2559
(ที่มา: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน, 2558)

3.3 แหล่งผลิตพลังงานของประเทศไทย

สำหรับสาเหตุสำคัญการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ เพราะ ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลักจากข้อมูลในปี 2554 ที่ผ่านมา พบว่า กว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขึ้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีกเพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน โดยสามารถแบ่งแยกแหล่งผลิตพลังงานของประเทศไทยได้ดังนี้

3.3.1 ก๊าซธรรมชาติ

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ถ้าพิจารณาจากกำลังผลิตติดตั้งแล้ว โรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงมีประมาณร้อยละ 67 ก๊าซธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอนที่เกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์ประเภทจุลินทรีย์ที่มีอายุหลายร้อยล้านปี ซึ่งสามารถแยกส่วนประกอบได้เป็น มีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน เพนเทน เป็นต้น หรือหมายถึง ปิโตรเลียมที่มีสภาพเป็นแก๊ส ก๊าซธรรมชาติเป็นพลังที่สะอาดสำหรับต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซธรรมชาติจะต่ำกว่าน้ำมัน แต่สูงกว่าถ่านหินเล็กน้อย เนื่องจากระบบการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย มีสัดส่วนของก๊าซธรรมชาติสูง จึงต้องการกระจายไปใช้เชื้อเพลิงในรูปแบบอื่น รูปที่ 3.10 แสดงการจัดการเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (แหล่งเชื้อเพลิงและพลังงานที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)



รูปที่ 3.10 การจัดการเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

(ที่มา: http://www.asean thai.net/ewt_news.php?nid=6528&filename=index สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

2) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

2.1) ข้อดี

- เป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่นำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง มีการเผาไหม้สมบูรณ์
- มีความปลอดภัยสูงในการใช้งาน เนื่องจากเบากว่าอากาศ จึงลอยขึ้นเมื่อเกิดการรั่วก๊าซธรรมชาติส่วนใหญ่ ที่ใช้ในประเทศไทยผลิตได้เองจากแหล่งในประเทศ จึงช่วยลดการนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิงอื่น ๆ และประหยัดเงินตราต่างประเทศได้มาก

2.2) ข้อจำกัด

- ราคาก๊าซธรรมชาติไม่คงที่ผูกติดกับราคาน้ำมัน ซึ่งผันแปรอยู่ตลอดเวลา
- ประเทศไทยใช้ก๊าซธรรมชาติในสัดส่วนที่สูงมากจนเกิดความเสียหายของแหล่งพลังงาน
- กำลังสำรองก๊าซธรรมชาติในประเทศไทยมีปริมาณจำกัด

3.3.2 ลิกไนต์/ถ่านหิน

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

ลิกไนต์/ถ่านหิน คือ หินตะกอนชนิดหนึ่งและเป็นแร่เชื้อเพลิงสามารถติดไฟได้ มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีดำ มีทั้งชนิดผิวมันและผิวด้าน น้ำหนักเบา ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 4 อย่าง ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน นอกจากนั้นมีธาตุหรือสารอื่น ๆ เช่น กำมะถัน เจือปนเล็กน้อย เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้มากรองลงมา โดยสัดส่วนของการใช้ลิกไนต์ร่วมกับถ่านหินประมาณร้อยละ 20

เดิม กฟผ. ใช้ลิกไนต์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตามแผน PDP 2007 ที่ต้องการกระจายไปใช้เชื้อเพลิงอื่นที่ไม่ใช่ก๊าซธรรมชาติโดยจะเน้นมาใช้ถ่านหิน ซึ่งโรงไฟฟ้าที่แม่เมาะใช้ลิกไนต์จนเกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ทำให้มีการอธิบายว่าถ่านหินที่มีคุณภาพดี เช่น บิทูมินัส หรือแอนทราไซต์ เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าลิกไนต์ รูปที่ 3.11 แสดงการจัดการเชื้อเพลิงลิกไนต์/ถ่านหิน



รูปที่ 3.11 การจัดหาเชื้อเพลิงลิกไนต์/ถ่านหิน

(ที่มา: <https://sites.google.com/site/phlangnganhd01/home/thanhin> สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

2) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงลิกไนต์/ถ่านหิน

2.1) ข้อดี

- ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงถ่านหินต่ำกว่าเชื้อเพลิงอื่น ๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และพลังงานหมุนเวียน
- มีปริมาณสำรองมา สามารถใช้ได้ต่ำกว่า 200 ปี
- ปัจจุบันสามารถใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ทำให้สามารถกำจัดมลพิษจากการใช้ถ่านหิน ได้มากกว่า 99%

2.2) ข้อจำกัด

- ต้องใช้ระบบควบคุมมลภาวะทางอากาศที่มีราคาแพง เนื่องจากการเผาไหม้ถ่านหินเป็นสาเหตุสำคัญของฝนกรดและภาวะโลกร้อน
- ประเทศไทยต้องนำเข้าถ่านหินคุณภาพดีจากต่างประเทศ
- ต้องมีระบบการจัดการขนส่งที่ดี
- ยังมีภาพลักษณ์ที่น่ากลัวในสายตาประชาชน

3.3.3 น้ำมัน

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงน้ำมันที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า น้ำมัน มี 2 ประเภท ได้แก่ น้ำมันเตา และ น้ำมันดีเซล รูปที่ 3.12 แสดงการจัดการจัดหาเชื้อเพลิงน้ำมัน

- น้ำมันเตา จากราคาน้ำมันที่สูงขึ้นทำให้ราคาน้ำมันเตาสูงขึ้นด้วย ทำให้เป็นการเพิ่มต้นทุนถ้าใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง น้ำมันเตาก่อเกิดมลพิษมากกว่าน้ำมันดีเซลและก๊าซธรรมชาติ จึงใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงรองมากกว่าเชื้อเพลิงหลัก
- น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าดีเซล ซึ่งในประเทศไทยมีอยู่เพียง 3 แห่ง เท่านั้น ปัจจุบันราคาน้ำมันดีเซลสูงขึ้นอย่างมากทำให้ต้นทุนสูง อีกทั้งก่อมลพิษมากกว่าก๊าซธรรมชาติ การใช้น้ำมันดีเซลจึงใช้เป็นเชื้อเพลิงรองมากกว่าเชื้อเพลิงหลัก



รูปที่ 3.12 การจัดหาเชื้อเพลิงน้ำมัน

(ที่มา: <http://www.krusarawut.net/wp/?p=13671> สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

2) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงน้ำมัน

2.1) ข้อดี

- ขนส่งง่ายและหาซื้อได้ง่าย
- เป็นเชื้อเพลิงที่ไม่ได้รับการต่อต้านจากชุมชน

2.2) ข้อจำกัด

- ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ
- ราคาไม่คงที่ ขึ้นกับราคาน้ำมันของตลาดโลก
- ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน
- ไฟฟ้าที่ผลิตได้ มีต้นทุนต่อหน่วยสูง

3.3.4 นิวเคลียร์

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า โรงไฟฟ้านิวเคลียร์จัดเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนชนิดหนึ่ง มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับโรงไฟฟ้าที่ใช้ น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ แบ่งส่วนการทำงานได้ 2 ส่วน คือ ส่วนเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ จะใส่แท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ไว้ในน้ำภายในโครงสร้างที่ปิดสนิท เพื่อให้ความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน ไปต้มน้ำผลิตไอน้ำแทนการผลิตไอน้ำจากการสันดาปเชื้อเพลิงชนิดที่ก่อให้เกิดก๊าซมลพิษ และส่วนผลิตไฟฟ้า เป็นส่วนที่รับไอน้ำจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แล้วส่งไปหมุนกังหันผลิตไฟฟ้า ซึ่งส่วนนี้เป็นองค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทุกชนิด (ปัจจุบันยังไม่ได้ถูกนำมาใช้ในประเทศไทย)



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

(ที่มา: <http://nanthakhet.blogspot.com> สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

2) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

2.1) ข้อดี

- เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่
- เป็นโรงไฟฟ้าที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษและก๊าซเรือนกระจก
- ช่วยเสริมสร้างความมั่นคงให้ระบบผลิตไฟฟ้า เนื่องจากใช้เชื้อเพลิงน้อย ทำให้มีเสถียรภาพในการจัดหาเชื้อเพลิง และราคาเชื้อเพลิงมีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตเล็กน้อย

- มีแหล่งเชื้อเพลิงมากมาย เช่น แคนาดาและออสเตรเลีย และราคาไม่ผันแปรมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล

2.2) ข้อจำกัด

- ใช้เงินลงทุนในการก่อสร้างสูง
- จำเป็นต้องเตรียมโครงสร้างพื้นฐานและพัฒนาบุคลากรเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- ต้องการการเตรียมการจัดการกากกัมมันตรังสี และมาตรการควบคุมความปลอดภัยเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ
- ยังไม่เป็นที่ยอมรับของประชาชน ประชาชนมีข้อกังวลในเรื่องความปลอดภัย

3.3.5 พลังงานแสงอาทิตย์

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่มีความสะอาดปราศจากมลพิษ ซึ่งเวลานี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก เป็นพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูง สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่หมดสิ้น โดยเฉพาะการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะเข้ามาช่วยเสริมความมั่นคงให้ระบบไฟฟ้าของประเทศไทยและยังช่วยลดปัญหาโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 3.14 โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โปรตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน ในรูปที่ 3.15 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

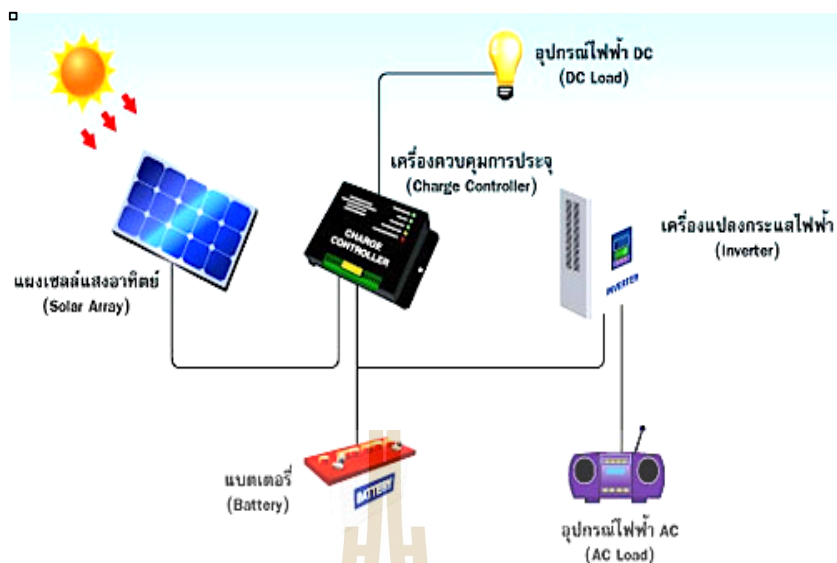


รูปที่ 3.14 ตัวอย่างแผงโซลาร์เซลล์

(ที่มา: <https://guru.sanook.com/6613> สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

2) ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter/Converter) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกระแสสลับเพื่อให้สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป
- ระบบแบตเตอรี่ (Battery Storage) ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ต่อไป
- ระบบควบคุมและเก็บข้อมูล (System Controller and Data Acquisition) ทำหน้าที่ควบคุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ปรับทิศทางรับแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุดตามวันเวลาในช่วงต่าง ๆ และเก็บข้อมูลไปในตัว
- ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำหน้าที่นำพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังบ้านเรือนต่าง ๆ



รูปที่ 3.15 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

(ที่มา: <https://powerplant2.wordpress.com/โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์/> สืบค้น 1 สิงหาคม 2560)

3) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงพลังงานแสงอาทิตย์

3.1) ข้อดี

- เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติขนาดใหญ่ที่สุด และเป็นพลังงานที่ใช้ได้ไม่มีวันหมด
- ไม่มีค่าใช้จ่ายในเรื่องเชื้อเพลิง
- สามารถนำไปใช้ในแหล่งที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้ และอยู่ห่างไกลจากระบบสายส่งและสายจำหน่ายไฟฟ้า
- การใช้ประโยชน์ไม่ยุ่งยาก การดูแลรักษาง่าย
- เป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

3.2) ข้อจำกัด

- ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในเวลากลางคืน (เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์)
- แบตเตอรี่ซึ่งเป็นตัวกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลากลางคืน มีอายุการใช้งานต่ำ
- ความเข้มของแสงแดดไม่คงที่และสม่ำเสมอ เนื่องจากสภาพอากาศและฤดูกาล

3.3.6 พลังงานลม

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงพลังงานลมที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

พลังงานลมเป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มนุษย์เราได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานลมมานานหลายพันปี ในการอำนวยความสะดวกสบายแก่ชีวิต เช่น การแล่นเรือใบขนส่งสินค้าไปได้ไกล ๆ การหมุนกังหันวิดน้ำ ในปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อ เป็นพลังงานที่สะอาด ดังนั้นพลังงานลมจึงถูกนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยที่ใบกังหันลมนั้นต่ออยู่กับแกนเครื่องกำเนิดเมื่อกังหันลมเริ่มหมุนก็จะเกิดพลังงานไฟฟ้า

การนำลมมาใช้ประโยชน์จะต้องอาศัยเครื่องจักรกลสำคัญ คือ “กังหันลม” ในการเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลม เป็นพลังงานกลก่อนนำไปใช้ประโยชน์ ที่สำคัญพลังงานลมใช้ไม่มีวันหมด และกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากลมยังไม่ปล่อยของเสียที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม โรงไฟฟ้าพลังงานลมสามารถจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหันได้ 2 แบบ คือ

2) กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแกนนอน ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเลื่อยลำแพน นิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำ กังหันลมแบบกงล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอบเพลลเลอร์ (Propeller) กังหันลมแนวนอนแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 กังหันลมแนวแกนนอน

(ที่มา: <https://powerplant2.wordpress.com/โรงไฟฟ้าพลังงานลม/> สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

3) กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทางซึ่งในปัจจุบันกังหันลมแนวแกนตั้งไม่เป็นที่นิยมในการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 กังหันลมแนวแกนตั้ง

(ที่มา: <https://powerplant2.wordpress.com/โรงไฟฟ้าพลังงานลม/> สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

4) หลักการทำงานของกังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุนและได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

5) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงพลังงานลม

5.1) ข้อดี

- เป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ ไม่มีค่าเชื้อเพลิง
- เป็นแหล่งพลังงานสะอาด ใช้พื้นที่น้อย
- สามารถใช้ระบบไฮบริดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด คือ กลางคืนใช้พลังงานลม กลางวันใช้พลังงานแสงอาทิตย์

5.2) ข้อจำกัด

- ลมในประเทศไทยมีความเร็วค่อนข้างต่ำ
- พื้นที่ที่เหมาะสม มีจำกัด
- ขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศ บางฤดูอาจไม่มีลม
- ต้องใช้แบตเตอรี่ราคาแพงเป็นแหล่งเก็บพลังงาน

3.3.7 พลังงานน้ำ

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงพลังงานน้ำที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

ไฟฟ้าพลังน้ำ คือ พลังงานจากน้ำ น้ำที่ถ่วงไหลเต็มไปด้วยพลังงานธรรมชาติ มหาศาล พลังงานนี้สามารถควบคุมและเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้ ไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน เพราะน้ำเพิ่มขึ้นใหม่ตลอดเวลาผ่านทางวัฏจักรของน้ำในโลก ระบบวัฏจักรของน้ำต้องอาศัยแหล่งน้ำไหลที่ถาวร เช่น ลำธารหรือแม่น้ำ น้ำไม่เหมือนพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมตรงที่สามารถผลิตพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ในรูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ (ที่มา: <http://web.senate.go.th/w3c/senate/pictures/comm/1540/> แหล่งเชื้อเพลิง%20ที่ใช้ในการที่ใช้ในก.pdf, สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำ

(ที่มา: [http://web.senate.go.th/w3c/senate/pictures/comm/1540/แหล่งเชื้อเพลิง%20ที่ใช้ในการที่
ใช้ในก.pdf](http://web.senate.go.th/w3c/senate/pictures/comm/1540/แหล่งเชื้อเพลิง%20ที่ใช้ในการที่
ใช้ในก.pdf), สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

2) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงพลังงานน้ำ

2.1) ข้อดี

- ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิง นอกจากใช้เงินลงทุนก่อสร้าง
- ไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้า
- โครงการโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่มีขีดความสามารถสูงในการรักษาความมั่นคงให้แก่ระบบไฟฟ้า สำหรับรองรับช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด

2.2) ข้อจำกัด

- การเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าขึ้นกับปริมาณน้ำ ในช่วงที่สามารถปล่อยน้ำออกจากเขื่อนได้
- การก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทยมีข้อจำกัดเนื่องจากอ่างเก็บน้ำของเขื่อนขนาดใหญ่จะทำให้เกิดน้ำท่วมเป็นบริเวณกว้าง ส่งผลกระทบต่อบ้านเรือนประชาชน

3.3.8 ชีวมวล

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

ชีวมวล คือ สิ่งที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต เช่น ต้นไม้ อ้อย มันสำปะหลัง ถ่าน ฟืน แกลบ วัชพืชต่าง ๆ ในรูปที่ 3.19 แสดงตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทต่าง ๆ ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานอยู่มาก หากรู้จักนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ก็จะสามารถลดการใช้พลังงานด้านอื่น อาทิ พลังงานจากน้ำมัน ไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ฯลฯ

โรงไฟฟ้าชีวมวล คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้เศษวัสดุต่าง ๆ ที่เป็นชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า หรือ ผลิตไอน้ำ ซึ่งอาจเป็นวัสดุชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดรวมกัน เช่น โรงน้ำตาล ใช้กากอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โรงสีขนาดใหญ่ที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้า การใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) จากการหมักน้ำเสีย (ที่ได้มาจากระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม) หรือมูลสัตว์ (จากฟาร์มเลี้ยงสัตว์) มาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยมีหลักการทำงานในทำนองเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั่วไป ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจะเริ่มด้วยการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งผ่านการกรองแล้วเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำ ขณะที่ชีวมวลต่าง ๆ ถูกถ้ำเลียงเข้าสู่เครื่องบดเพื่อบดให้ละเอียด ก่อนส่งไปเข้าเตาเผาเพื่อให้เกิดความร้อนในระดับสูง ความร้อนที่ได้จะช่วยให้ไอน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำกลายเป็นไอ ไอน้ำแรงดันสูงนี้ทำหน้าที่หมุนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกที ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น ไอน้ำที่ใช้ในการหมุนกังหันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะผ่านกระบวนการควบแน่นให้กลับมาเป็นน้ำและนำมาใช้หมุนเวียนหลายครั้ง จนสุดท้ายจึงถูกปรับคุณภาพให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมแล้วปล่อยลงสู่บ่อพักน้ำขนาดใหญ่ เพื่อให้ระเหยหายไปเองตามธรรมชาติ



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทต่าง ๆ

(ที่มา: <http://web.senate.go.th/w3c/senate/pictures/comm/1540/แหล่งเชื้อเพลิง%20ที่ใช้ในการที่%20ใช้ในก.pdf>, สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

2) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงชีวมวล

2.1) ข้อดี

- ใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จึงเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน
- เป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก
- เสริมความมั่นคงต่อระบบผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

2.2) ข้อจำกัด

- ชีวมวลเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปทางการเกษตร มีปริมาณสำรองที่ไม่แน่นอน
- การบริหารจัดการเชื้อเพลิงทำได้ยาก
- ราคาชีวมวลแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

- ชีวมวลที่มีศักยภาพเหลืออยู่ มักจะอยู่กระจัดกระจาย มีความชื้นสูงจึงทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น เช่น ใบอ้อยและยอดอ้อย ทะลายปาล์ม เป็นต้น

3.3.9 ก๊าซชีวภาพ

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน โดยทั่วไปจะหมายถึงก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เช่น กองขยะ หลุมขยะ กองมูลสัตว์ และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง เป็นต้น ในรูปที่ 3.20 แสดงตัวอย่างเชื้อเพลิงในการนำมาหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงในอนาคตมีแนวทางที่จะทำการปลูกหญ้าโตเร็ว เช่น หญ้านาเปียร์ เป็นต้น เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการนำมาหมักเพื่อให้เกิดก๊าซมีเทนอีกด้วย



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างเชื้อเพลิงในการนำมาหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

(ที่มา: <http://web.senate.go.th/w3c/senate/pictures/comm/1540/แหล่งเชื้อเพลิง%20ที่ใช้ในการที่%20ใช้ในก.pdf>, สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

2) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ

2.1) ข้อดี

- ช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเรื่องกลิ่น ของเสีย และลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย ไม่มีต้นทุนเชื้อเพลิง
- ลดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ ซึ่งช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

- ลดค่าใช้จ่ายและสร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการ โดยผู้ประกอบการสามารถนำก๊าซชีวภาพใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกิจการของตนเอง หรือขายไฟฟ้าให้กับกรไฟฟ้า

2.2) ข้อจำกัด

- ระบบต้องการพื้นที่ค่อนข้างมาก
- ต้นทุนการติดตั้งระบบสูงต้องมีระบบกำจัดก๊าซเสีย
- ต้องมีผู้เชี่ยวชาญดูแล

3.3.10 ขยะ

1) ลักษณะของเชื้อเพลิงขยะที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

เชื้อเพลิงขยะ (RDF) เป็นการปรับปรุง และแปลงสภาพของขยะมูลฝอย ให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งที่มีคุณสมบัติในด้าน ค่าความร้อน (Heating Value) ความชื้น ขนาด และความหนาแน่น เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน และมีองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ โรงไฟฟ้าขยะและเชื้อเพลิงขยะ แสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 โรงไฟฟ้าขยะและเชื้อเพลิงขยะ

(ที่มา: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/2577>, สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)

หลักการทำงานของเทคโนโลยีนี้ เริ่มจากการคัดแยกขยะที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ (โลหะ แก้ว เศษหิน) ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิลออกจากขยะรวม ในบางกรณีจะมีการใช้เครื่องคัดแยกแม่เหล็กเพื่อคัดแยกมูลฝอยที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ และใช้เครื่อง Eddy Current

Separator เพื่อคัดแยกอนุภาคน้ำแข็งออกจากมูลฝอย จากนั้นจึงป้อนขยะมูลฝอยไปเข้าเครื่องสับและย่อยเพื่อลดขนาด ป้อนเข้าเตาอบเพื่อลดความชื้นของมูลฝอย โดยการใช้ความร้อนจากไอน้ำหรือลมร้อนเพื่ออบขยะให้แห้งซึ่งจะทำให้น้ำหนักลดลงเกือบ 50% (ความชื้นเหลือไม่เกิน 15%) และสุดท้ายจะส่งไปเข้าเครื่องอัดเม็ด (Pellet) เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงขยะอัดเม็ดที่มีขนาดและความหนาแน่นเหมาะสมต่อการขนส่งไปจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในบางกรณีจะมีการเติมหินปูน (CaO) เข้าไปกับมูลฝอยระหว่างการอัดเป็นเม็ดเพื่อควบคุมและลดปริมาณก๊าซพิษที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้

การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ สามารถใช้ได้ทั้งในรูปแบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อน โดยที่อาจจะมีการใช้ประโยชน์ในสถานที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะหรือขนส่งไปใช้ที่อื่น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เผาพร้อมกับถ่านหิน (Co-firing) เพื่อลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมซีเมนต์ โดยมีรูปแบบเตาเผาที่ใช้เปลี่ยนเชื้อเพลิงขยะให้เป็นพลังงานความร้อน ประกอบด้วย เตาเผาแบบตะกรับ (Stoker) เตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed Combustor) หรือเตาเผาแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification) หรือไพโรไลซิส (Pyrolysis)

2) ข้อดีและข้อจำกัดของเชื้อเพลิงชีวมวล

ข้อดี คือ เป็นแหล่งพลังงานราคาถูก ลดปัญหาการกำจัดขยะ ช่วยลดภาวะโลกร้อน
ข้อจำกัด คือ เทคโนโลยีบางชนิดใช้เงินลงทุนสูง ถ้าขนาดเล็กเกินไปจะไม่คุ้มการลงทุน มีค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะให้เหมาะสมก่อนนำไปแปรรูปเป็นพลังงาน ต้องมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการกับฝุ่นควันและสารที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะ ตัวอย่างเช่น ฝุ่นควันที่เกิดจากโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงขยะ แหล่งผลิตพลังงานในการผลิตไฟฟ้าที่สำคัญประกอบด้วย ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ ถ่านหิน น้ำมัน นิวเคลียร์ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ ซึ่งมีข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละแหล่งพลังงานมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ข้อดีและข้อจำกัดของแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

แหล่งพลังงาน	ข้อดี	ข้อจำกัด
1. ก๊าซธรรมชาติ	1) เป็นเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่นำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง มีการเผาไหม้สมบูรณ์	1) ราคา ก๊าซธรรมชาติไม่คงที่ผูกติดกับราคาน้ำมันซึ่งผันแปรอยู่ตลอดเวลา 2) ประเทศไทยใช้ก๊าซธรรมชาติในสัดส่วนที่สูงมากจนเกิดความเลื่อมล้ำของแหล่งพลังงาน

ตารางที่ 3.7 ข้อดีและข้อจำกัดของแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

แหล่งพลังงาน	ข้อดี	ข้อจำกัด
1. ก๊าซธรรมชาติ (ต่อ)	2) มีความปลอดภัยสูงในการใช้งาน เนื่องจากเบากว่าอากาศ จึงลอยขึ้นเมื่อเกิดการรั่วก๊าซธรรมชาติ ส่วนใหญ่ ที่ใช้ในประเทศไทยผลิตได้เองจากแหล่งในประเทศ จึงช่วยลดการนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิงอื่น ๆ และประหยัดเงินตราต่างประเทศได้มาก	3) กำลังสำรองก๊าซธรรมชาติในประเทศไทยมีปริมาณจำกัด
2. ลิกไนต์ / ถ่านหิน	1) ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงถ่านหินต่ำกว่าเชื้อเพลิงอื่น ๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และพลังงานหมุนเวียน 2) มีปริมาณสำรองมากสามารถใช้ได้ต่ำกว่า 200 ปี 3) ปัจจุบันสามารถใช้เทคโนโลยีถ่านหินสะอาด ซึ่งสามารถกำจัดมลพิษจากการใช้ถ่านหิน	1) ต้องใช้ระบบควบคุมมลภาวะทางอากาศที่มีราคาแพง เนื่องจากการเผาไหม้ถ่านหินเป็นสาเหตุสำคัญของฝนกรดและภาวะโลกร้อน 2) ประเทศไทยต้องนำเข้าถ่านหินคุณภาพดีจากต่างประเทศ 3) ต้องมีระบบการจัดการขนส่งที่ดี 4) ยังมีภาพลักษณ์ที่น่ากลัวในสายตาประชาชน
3. น้ำมัน	1) ขนส่งง่าย 2) หาซื้อได้ง่าย 3) เป็นเชื้อเพลิงที่ไม่ได้รับการต่อต้านจากชุมชน	1) ต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ 2) ราคาไม่คงที่ขึ้นกับราคาน้ำมันของตลาดโลก 3) ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน 4) ไฟฟ้าที่ผลิตได้มีต้นทุนต่อหน่วยสูง

ตารางที่ 3.7 ข้อดีและข้อจำกัดของแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

แหล่งพลังงาน	ข้อดี	ข้อจำกัด
4. นิวเคลียร์	<ol style="list-style-type: none"> 1) เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ 2) เป็น โรงไฟฟ้าที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษและก๊าซเรือนกระจก 3) ช่วยเสริมสร้างความมั่นคงให้ระบบผลิตไฟฟ้า เนื่องจากใช้เชื้อเพลิงน้อยทำให้มีเสถียรภาพในการจัดหาเชื้อเพลิง และราคาเชื้อเพลิงมีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตเล็กน้อย 4) มีแหล่งเชื้อเพลิงมากมาย และราคาไม่ผันแปรมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่น ๆ 	<ol style="list-style-type: none"> 1) ใช้เงินลงทุนในการก่อสร้างสูง 2) จำเป็นต้องเตรียมโครงสร้างพื้นฐานและพัฒนาบุคลากรเพื่อการดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ 3) ต้องการการเตรียมการจัดการกากกัมมันตรังสี และมาตรการควบคุมความปลอดภัยเพื่อป้องกันอุบัติเหตุ 4) ยังไม่เป็นที่ยอมรับของประชาชน ประชาชนมีข้อกังวลในเรื่องความปลอดภัย
5. พลังงานแสงอาทิตย์	<ol style="list-style-type: none"> 1) เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติขนาดใหญ่ที่สุด และเป็นพลังงานที่ใช้ได้ไม่มีวันหมด 2) ไม่มีค่าใช้จ่ายในเรื่องเชื้อเพลิง 3) สามารถนำไปใช้ในแหล่งที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้ และอยู่ห่างไกลจากระบบสายส่งและสายจำหน่ายไฟฟ้า 4) การใช้ประโยชน์ไม่ยุ่งยาก การดูแลรักษาง่าย 5) เป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะจากระบวนการผลิตไฟฟ้า 	<ol style="list-style-type: none"> 1) ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในเวลากลางคืน (เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์) 2) แบตเตอรี่ซึ่งเป็นตัวกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลากลางคืน มีอายุการใช้งานต่ำ 3) ความเข้มของแสงแดดไม่คงที่ และสม่ำเสมอ เนื่องจากสภาพอากาศและฤดูกาล

ตารางที่ 3.7 ข้อดีและข้อจำกัดของแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

แหล่งพลังงาน	ข้อดี	ข้อจำกัด
6. พลังงานลม	<ol style="list-style-type: none"> 1) เป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ ไม่มีค่าเชื้อเพลิง 2) เป็นแหล่งพลังงานสะอาด ใช้พื้นที่น้อย 3) สามารถใช้ระบบไฮบริดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดคือกลางคืนใช้พลังงานลม กลางวันใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 	<ol style="list-style-type: none"> 1) ลมในประเทศไทยมีความเร็วค่อนข้างต่ำ 2) พื้นที่ที่เหมาะสม มีจำกัด 3) ขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศ บางฤดูอาจไม่มีลม 4) ต้องใช้แบตเตอรี่ราคาแพงเป็นแหล่งเก็บพลังงาน
7. พลังงานน้ำ	<ol style="list-style-type: none"> 1) ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิง นอกจากใช้เงินลงทุนก่อสร้าง 2) ไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้า 3) โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่มีขีดความสามารถสูงในการรักษาความมั่นคง รองรับช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้กระแสไฟสูงสุด 	<ol style="list-style-type: none"> 1) การเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าขึ้นกับปริมาณน้ำ ในช่วงที่สามารถปล่อยน้ำออกจากเขื่อนได้ 2) การก่อสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ในประเทศไทยมีข้อจำกัดเนื่องจากอ่างเก็บน้ำของเขื่อนขนาดใหญ่จะทำให้เกิดน้ำท่วมเป็นบริเวณกว้าง ส่งผลกระทบต่อบ้านเรือนประชาชน
8. ชีวมวล	<ol style="list-style-type: none"> 1) ใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จึงเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน 2) เป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก 3) เสริมความมั่นคงต่อระบบผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 	<ol style="list-style-type: none"> 1) ชีวมวลเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปทางการเกษตร มีปริมาณสำรองที่ไม่แน่นอน 2) การบริหารจัดการเชื้อเพลิงทำได้ยาก 3) ราคาชีวมวลแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากมีความต้องการใช้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ 4) ชีวมวลที่มีศักยภาพเหลืออยู่ มักจะอยู่กระจัดกระจาย มีความชื้นสูงจึงทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงขึ้น เช่น ใบอ้อยและยอดอ้อย ทะลายปาล์ม

ตารางที่ 3.7 ข้อดีและข้อจำกัดของแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

แหล่งพลังงาน	ข้อดี	ข้อจำกัด
9. ก๊าซชีวภาพ	<ol style="list-style-type: none"> 1) ช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเรื่องกลิ่น ของเสีย และลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย 2) ไม่มีต้นทุนเชื้อเพลิง 3) ลดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ ซึ่งช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4) ลดค่าใช้จ่ายและสร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการ โดยผู้ประกอบการสามารถนำก๊าซชีวภาพใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกิจการของตนเองหรือขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้า 	<ol style="list-style-type: none"> 1) ระบบต้องการพื้นที่ค่อนข้างมาก 2) ต้นทุนการติดตั้งระบบสูงต้องมีระบบกำจัดก๊าซเสีย 3) ต้องมีผู้เชี่ยวชาญดูแล
10. ขยะ	<ol style="list-style-type: none"> 1) เป็นแหล่งพลังงานราคาถูก 2) ลดปัญหาเรื่องการจัดขยะ 3) ช่วยลดภาวะโลกร้อน 	<ol style="list-style-type: none"> 1) เทคโนโลยีบางชนิดใช้เงินลงทุนสูงถ้าขนาดเล็กเกินไปจะไม่คุ้มการลงทุน 2) มีค่าใช้จ่ายในการจัดการขยะให้เหมาะสมก่อนนำไปแปรรูปเป็นพลังงาน 3) ต้องมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการจัดการกับฝุ่นควันและสารที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะ ตัวอย่างเช่น ฝุ่นควันที่เกิดจาก โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงขยะ

3.4 แนวคิดเกี่ยวกับการพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน

จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan; AEDP) ที่มีการส่งเสริมให้ใช้พลังงานทดแทนในการผลิตไฟฟ้าและผลิตความร้อน พบว่า ในปี 2557 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทนร้อยละ 12 ของปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศ ซึ่งในส่วนนี้ เป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนรวมทั้งสิ้น 4,494 MW โดยเป็นการ

ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 1,298.51 MW หรือคิดเป็นร้อยละ 29 และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม 224.47 MW หรือคิดเป็นร้อยละ 5 (Alternative Energy Development Plan, AEDP2015)

ภายหลังจากจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี 2558-2579 มีเป้าหมายให้ประเทศไทยมีการพัฒนาการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 12 เป็น ร้อยละ 30 ภายในปี 2579 โดยเป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนร้อยละ 20 ของปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าสุทธิ ซึ่งสอดคล้องกับตามกรอบการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 (PDP2015) ที่ระบุว่า จะให้มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอยู่ในช่วงร้อยละ 15-20 ภายในปี 2579 (Alternative Energy Development Plan, AEDP2015)

เมื่อพิจารณาในส่วนเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และ พลังงานลม พบว่า ในปี 2579 มีเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 6,000 MW และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมที่ 3,002 MW

3.4.1 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแบบผสมผสาน (Hybrid System) เป็นระบบที่ประกอบด้วยแหล่งผลิตพลังงานหลายชนิดทำงานร่วมกัน ซึ่งมีแหล่งผลิตพลังงาน เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วย โซลาร์เซลล์ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล ระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล ฯลฯ เพื่อทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้

โดยวัตถุประสงค์หลักของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน คือ การนำเอาประโยชน์สูงสุดของศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนต่าง ๆ มาใช้ ยกตัวอย่างเช่น ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล โดยนำจุดเด่นของแต่ละระบบเข้าไว้ด้วยกัน กล่าวคือ สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ตามความต้องการถึงแม้จะไม่มีพลังงานแสงอาทิตย์ต่อเนื่องกันหลายวัน มลพิษทางอากาศและความต้องการบำรุงรักษาที่ต่ำกว่าการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์หรือเครื่องยนต์ดีเซลเพียงอย่างเดียว

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานมีหลายลักษณะการออกแบบระบบที่เหมาะสม ผู้ออกแบบจะต้องทำการศึกษาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ในพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบหลัง ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานมีหลายลักษณะการออกแบบระบบที่เหมาะสมผู้ออกแบบจะต้องศึกษาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแบบต่าง ๆ และอุปกรณ์ประกอบระบบที่มีในท้องตลาดรวมทั้ง ศักยภาพของพลังงานต่าง ๆ ในพื้นที่ที่จะติดตั้งระบบหลังจากนั้นจึงเลือกอุปกรณ์ประกอบตามที่

เหมาะสมกับความต้องการซึ่งการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานที่ดีจะต้องออกแบบให้มีความสมดุลกันในทุกองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง

3.4.2 ลักษณะสำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานมีองค์ประกอบที่สำคัญแบ่งได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ เป็นระบบไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ เป็นระบบที่ใช้พลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้อย่างคุ้มค่า และเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นในการออกแบบสูง ซึ่งจะมีการอธิบายดังนี้

1) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบที่ประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้อย่างน้อยหนึ่งระบบเช่นระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล ระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ฯลฯ ทำงานร่วมกับระบบไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพในพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งระบบ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าโดยโซลาร์เซลล์ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำ ฯลฯ ซึ่งการทำงานร่วมกันของระบบผลิตไฟฟ้าทั้งสองส่วนนี้ส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบที่สามารถควบคุมการผลิตใช้พลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงเนื่องจากไม่จำเป็นต้องพึ่งพาระบบผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนเพียงหน้าเดียว ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจึงเป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามต้องการ

2) เป็นระบบที่ใช้พลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอย่างมีคุณค่าในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้เฉพาะแหล่งพลังงานทดแทนสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกคือเรื่องของศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากแหล่งพลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้ จึงทำให้ออกแบบภายใต้สภาวะที่มีศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนที่มีค่าน้อยที่สุด เพื่อให้ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการได้แม้อยู่ในสภาวะที่ศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนมีค่าต่ำสุด ส่งผลให้มีระบบขนาดใหญ่ ในขณะที่การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานสามารถจ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนได้ดีกว่าเนื่องจากการออกแบบระบบโดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยรายปีของแหล่งพลังงานทดแทนในพื้นที่ที่ทำการติดตั้งระบบ ส่งผลให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนมีขนาดลดลงและทำให้การสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนมีขนาดลดลงและทำให้การสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนมีค่าลดลงตามไปด้วย เพราะโดยปกติแล้วระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน จะมีแหล่งพลังงานจากแหล่ง

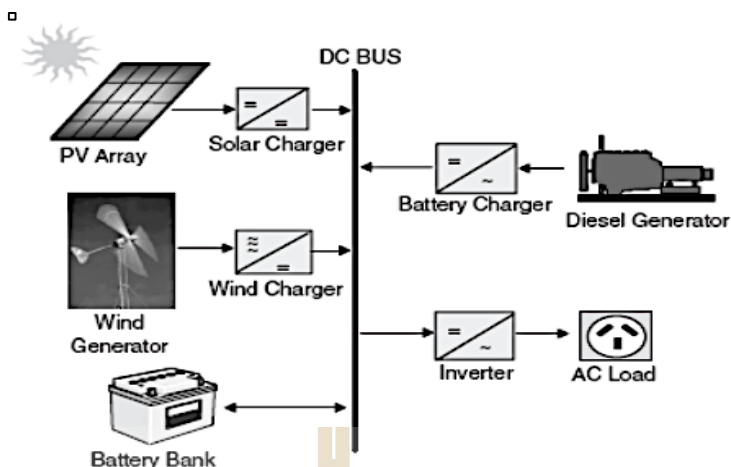
อื่นช่วยเสริมการทำงานจากระบบผลิตพลังงานทดแทนอยู่ตลอดเวลา โดยทำให้เสถียรภาพและความน่าเชื่อถือโดยรวมของระบบลดลง

3) จากลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสม คือ สามารถออกแบบระบบที่สอดคล้องกับการใช้งานในลักษณะต่าง ๆ ได้ดี เนื่องจากในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานนั้นสามารถเลือกรูปแบบการทำงาน รวมทั้งองค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบได้ค่อนข้างกว้าง ขึ้นอยู่กับแนวคิดวัตถุประสงค์รวมทั้งเป้าหมายของแต่ละโครงการเป็นสำคัญ ส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นในการออกแบบค่อนข้างสูง ยกตัวอย่างเช่น หมู่บ้านชนบทแห่งหนึ่งซึ่งมีความต้องการใช้ไฟฟ้าคงที่ในช่วงเวลากลางวันแต่จะมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงเวลากลางคืนและค่อยๆลดลงในช่วงดึก วิธีการออกแบบที่เหมาะสม คือ จะต้องมียระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับความต้องการพื้นฐานในช่วงเวลากลางวัน โดยมีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเสริมที่สามารถเปิด-ปิดใช้งานได้ทันที ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงกลางคืนและกำหนดให้ระบบย่อยแบตเตอรี่ทำงานที่ได้พลังงานไฟฟ้าในช่วงดึกซึ่งเป็นช่วงที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงอย่างต่อเนื่อง

3.4.3 ประเภทของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน

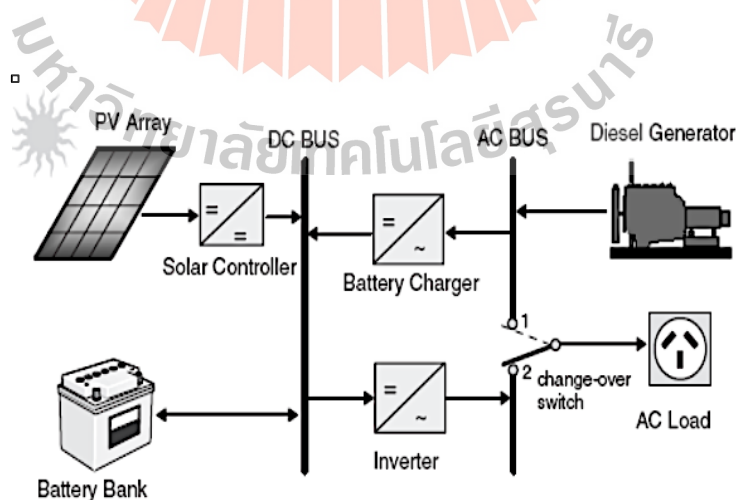
ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแบบผสมผสานปัจจุบันมีใช้งานกันหลายรูปแบบ แต่สามารถแยกออกตามลักษณะการทำงานร่วมกันของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าย่อยภายในระบบได้ 3 แบบ คือ ระบบแบบอนุกรม ระบบแบบสลับ และระบบแบบขนาน โดยมีลักษณะที่สำคัญดังนี้

1) ระบบผสมผสานแบบต่ออนุกรม (Series Hybrid System) จากรูปที่ 3.22 การทำงานของระบบอธิบายได้ว่า ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะถูกประจุไว้ในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า ในระบบนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรงจะต้องจ่ายผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อนจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า ระบบลักษณะนี้ขนาดของแบตเตอรี่และเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสจะต้องเหมาะสมกับขนาดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของภาระทางไฟฟ้า ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลควรจะมีขนาดเหมาะสมกับความต้องการไฟฟ้าสูงสุด และจะต้องสามารถประจุไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาเดียวกัน



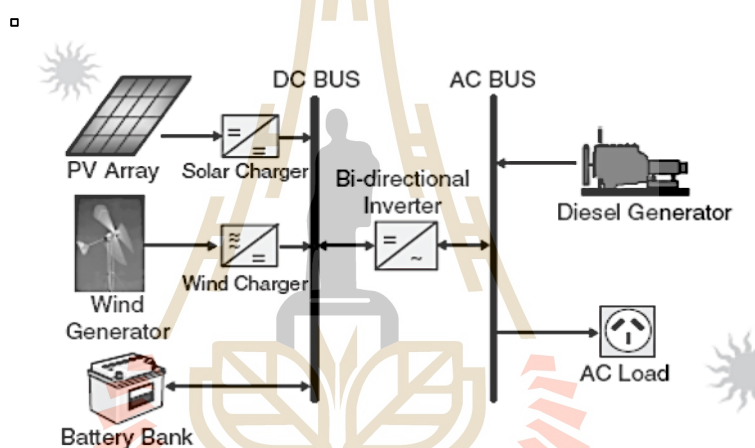
รูปที่ 3.22 ระบบผสมผสานแบบต่ออนุกรม (ที่มา: PV POWER SYSTEM, 2011)

2) ระบบผสมผสานแบบสวิตช์เลือก (Switched Hybrid System) ระบบนี้แบตเตอรี่จะถูกประจุทั้งไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง ในกรณีที่มีไฟฟ้าเหลือใช้จะถูกประจุเข้าแบตเตอรี่ ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยระบบจะจ่ายไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะหยุดเดินเครื่อง ซึ่งหากมีไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มากเกินไป ไฟฟ้าที่เหลือใช้นี้จะถูกประจุเข้าแบตเตอรี่ ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผสมผสานแบบสวิตช์เลือกจะสูงกว่าแบบต่ออนุกรม ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ระบบผสมผสานแบบสวิตช์เลือก (ที่มา: PV POWER SYSTEM, 2011)

3) ระบบผสมผสานแบบต่อขนาน (Parallel Hybrid System) ลักษณะการทำงานคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง แผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่ต่ออนุกรมเข้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง (Bi-Directional Inverter) ซึ่งต่อเข้ากับภาระทางไฟฟ้า ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกประจุให้กับแบตเตอรี่ ไฟฟ้าที่เหลือจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะถูกประจุเข้าแบตเตอรี่ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง ระบบนี้มีข้อดีกว่าระบบผสมผสานแบบต่ออนุกรมและระบบแบบสวิตช์เลือก คือ มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงกว่าทั้งสองระบบแรก และคุณภาพของกระแสไฟฟ้าของระบบที่ดีกว่า การควบคุมระบบทำได้ง่ายกว่า รูปที่ 3.24 แสดงระบบผสมผสานแบบต่อขนาน (Parallel Hybrid System)



รูปที่ 3.24 ระบบผสมผสานแบบต่อขนาน (ที่มา: PV POWER SYSTEM, 2011)

3.4.4 หลักการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน

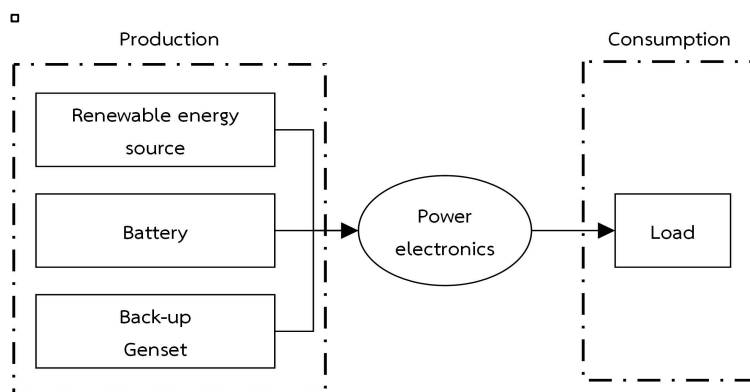
การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานต้องจัดการให้ระบบสามารถผลิตพลังงานได้ตามต้องการของภาระทางไฟฟ้า โดยสอดคล้องกับพลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น โดยจะต้องคำนึงถึงราคา ประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบด้วย เนื่องจากการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน มีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้งานระบบค่อนข้างมาก ดังนั้น จึงมีแนวทางการออกแบบระบบหลายแนวทาง ซึ่งไม่ใช่ประเด็นสำคัญในการออกแบบ แต่สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ ต้องออกแบบให้ได้ระบบที่ทำงานตาม วัตถุประสงค์และเป้าหมาย ตารางที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแต่ละประเภท

ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแต่ละประเภท

ประเภท	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ระบบผลิตไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่มีช่วงเวลาขาดพลังงาน 2. อินเวอร์เตอร์ราคาถูก 3. ไม่มีชุดควบคุมที่ซับซ้อน 4. เครื่องยนต์ดีเซลมีขนาดเล็ก 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบต่ำ 2. อินเวอร์เตอร์และระบบแบตเตอรี่มีขนาดใหญ่
2. ระบบผลิตไฟฟ้าแบบสวิตช์เลือก	<ol style="list-style-type: none"> 1. อินเวอร์เตอร์ราคาถูก 2. ไม่มีชุดควบคุมที่ซับซ้อน 3. เครื่องยนต์ดีเซลจ่ายพลังงานให้ภาระทางไฟฟ้าโดยตรง 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีช่วงเวลาขาดพลังงาน 2. เครื่องยนต์ดีเซลมีขนาดใหญ่
3. ระบบผลิตไฟฟ้าแบบต่อขนาน	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูง 2. ส่วนประกอบของระบบมีขนาดเล็ก 3. ไม่มีช่วงเวลาขาดพลังงาน 	<ol style="list-style-type: none"> 1. อินเวอร์เตอร์มีราคาแพง 2. จำเป็นต้องมีชุดควบคุมที่ซับซ้อน

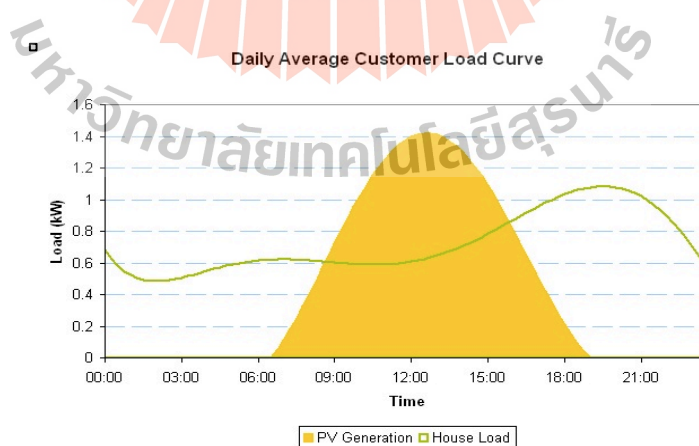
3.4.5 เทคโนโลยีที่ใช้ในระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน คือการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยส่วนใหญ่เป็นแหล่งพลังงานทดแทน อาทิเช่น แสงแดด ลม หรือน้ำ ซึ่งอาจใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซ LPG น้ำมันดีเซล เพื่อให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น รวมทั้งสามารถนำไปใช้งานได้ทั้งรูปแบบของไฟฟ้ากระแสตรง (DC bus lines) หรือไฟฟ้ากระแสสลับ (AC bus lines) และสามารถใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ได้ รูปที่ 3.25 แสดงลักษณะของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน



รูปที่ 3.25 ลักษณะของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน
(ที่มา: <http://energyinformative.org/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems/>, สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2561)

เดิมระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานนิยมติดตั้งแบบอิสระ (Stand alone) ในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง ซึ่งจะไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า สามารถใช้งานในภาระจำกัด โดยอาจเป็นการใช้งานเฉพาะจุด หรือ การสร้าง Mini Grid ขึ้นเพื่อใช้งานในกลุ่มเล็ก ๆ ได้ ซึ่งระบบที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลร่วมด้วยนั้น จะถูกออกแบบให้มีการใช้งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้น้อยที่สุด โดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเป็นหลัก รูปที่ 3.26 แสดงให้เห็นลักษณะการผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน โดยยังคงลักษณะสำคัญ 3 ประการ ไว้ดังนี้



รูปที่ 3.26 ลักษณะการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน
(ที่มา: <https://www.solarmarket.com.au/is-it-worth-going-100-off-grid/>, สืบค้น 1 กันยายน 2561)

1) สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ โดยการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานที่มีการทดแทนข้อดีของแต่ละระบบ เช่น การใช้ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ซึ่งจะใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้าเป็นหลักในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงแดด และสามารถทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ระบบกักเก็บพลังงาน หรือการต่อร่วมกับระบบสายส่งของการไฟฟ้า ก็เป็นไปได้

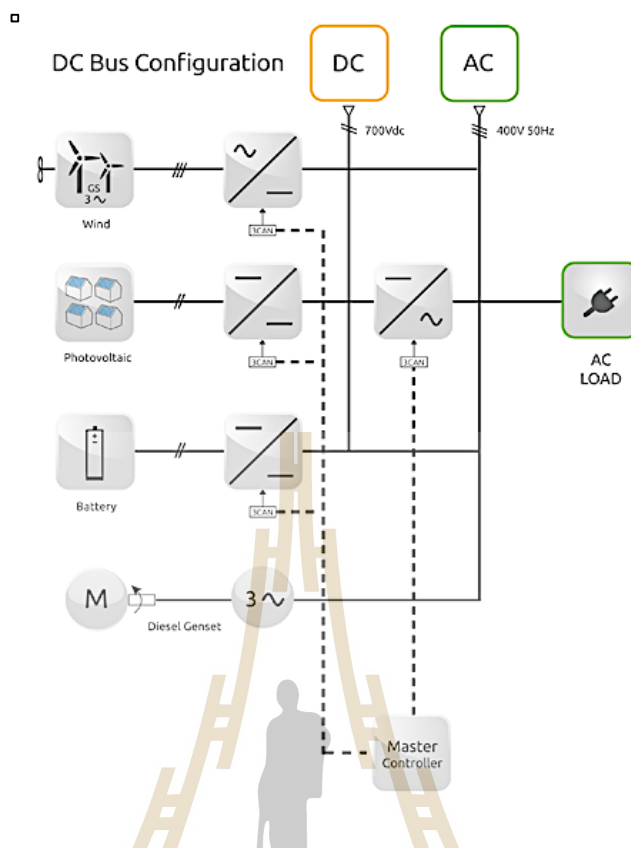
2) ใช้พลังงานทดแทนอย่างคุ้มค่า เนื่องจากศักยภาพของแหล่งพลังงานทดแทนที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากแหล่งพลังงานทดแทนเป็นแหล่งพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนชนิดเดียว จะทำให้ระบบมีขนาดใหญ่ เพื่อรองรับความต้องการพลังงานทั้งหมด ในขณะที่การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน สามารถใช้แหล่งพลังงานหลายแหล่ง ในการผลิตไฟฟ้าร่วมกัน และทำงานส่งเสริมกันได้ ส่งผลให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนแต่ละแหล่งมีขนาดลดลงและลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าลงด้วย

3) มีความยืดหยุ่นในการออกแบบระบบสูง เนื่องจากในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานนั้นสามารถเลือกรูปแบบการทำงาน รวมทั้งองค์ประกอบต่างๆ ในระบบได้ค่อนข้างกว้างขวาง ขึ้นอยู่กับแนวคิดวัตถุประสงค์รวมทั้งเป้าหมายของแต่ละโครงการเป็นสำคัญ ส่งผลให้ ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานเป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นในการออกแบบค่อนข้างสูงระบบหนึ่ง

3.4.6 การใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน สามารถนำไปใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าและชนิดของอุปกรณ์ที่นำไปใช้ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่

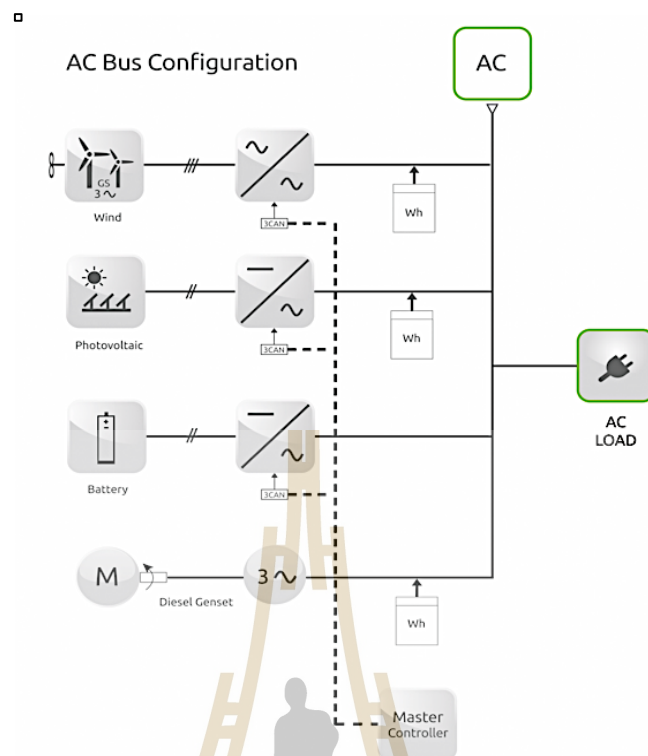
1) แบบผลิตไฟฟ้ากระแสตรง เป็นแบบที่ทุกระบบจะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง และนำไปใช้โดยตรงกับอุปกรณ์ หรือจะใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ก็ได้ แสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 การผลิตไฟฟ้ากระแสตรง

(ที่มา: <http://www.bioenergon.eu/bess-battery-energy-storage-system/h-pvw-hybrid-power-plants/>, สืบค้น 1 กันยายน 2561)

2) แบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นแบบที่ทุกระบบจะผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ โดยต่อเข้ากับ bus lines โดยตรงหรือผ่าน ชุด AC/DC Inverter ก่อนก็ได้แต่ไม่ว่าจะเป็นกรณีใด ระบบจะมีการติดตั้งอินเวอร์เตอร์หลัก ก่อนจะต่อเข้ากับอุปกรณ์ นอกจากนี้สามารถใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ได้ และในกรณีที่ต้องการใช้งานไฟฟ้ากระแสตรง ก็สามารถใช้งานได้โดยตรงจากแบตเตอรี่ การติดตั้งระบบแสดงดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 การผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ

(ที่มา: <http://www.bioenergon.eu/bess-battery-energy-storage-system/h-pvw-hybrid-power-plants/>, สืบค้น 1 กันยายน 2561)

3.5 สมดุลพลังงานของจังหวัดชัยภูมิ

3.5.1 การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย

จังหวัดชัยภูมิมิมีการใช้พลังงานในปี พ.ศ. 2558 มีปริมาณ 223.76 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบลดลงจากปี พ.ศ. 2557 ร้อยละ 0.4 ซึ่งน้ำมันสำเร็จรูปยังคงเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 72.30 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายทั้งหมด รองลงมาประกอบด้วย ไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 27.70 ตารางที่ 3.9 – 3.10 แสดงภาพรวมการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย

ตารางที่ 3.9 ภาพรวมการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในหน่วยทางกายภาพ (Physical unit)

ชนิดเชื้อเพลิง	หน่วยทางกายภาพ	ปีพ.ศ.					
		2554	2555	2556	2557	2558	
น้ำมันสำเร็จรูป	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	กิโลกรัม (kg)	26,625,000	23,859,790	22,483,120	22,687,450	21,907,630
	ดีเซลหมุนช้า	ลิตร (Litre)	-	-	-	-	-
	ดีเซลหมุนเร็ว/ไบโอดีเซล	ลิตร (Litre)	131,620,000	148,345,150	126,114,590	120,098,920	124,050,060
	น้ำมันเตา	ลิตร (Litre)	2,446,000	2,390,100	988,844	616,250	600,460
	เบนซิน 91	ลิตร (Litre)	16,925,720	18,450,870	540,294	-	-
	เบนซิน 95	ลิตร (Litre)	-	-	2,561,162	1,910,720	1,845,410
	แก๊สโซฮอล์ 91	ลิตร (Litre)	9,343,000	9,703,800	19,251,410	19,407,557	20,781,403
	แก๊สโซฮอล์ 95	ลิตร (Litre)	5,154,000	4,654,030	12,385,069	11,184,400	13,912,880
ก๊าซธรรมชาติ	ลูกบาศก์ฟุต	-	-	429,850,000	436,420,000	-	
ไฟฟ้า	kWh	612,562,460	682,271,146	686,665,657	716,980,392	726,533,232	

* ก๊าซธรรมชาติมีการใช้งานแต่ไม่มีการบันทึกข้อมูล (ที่มา : www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

ตารางที่ 3.10 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในหน่วยพันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe unit)

ชนิดเชื้อเพลิง	พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ	ปีพ.ศ.				
		2554	2555	2556	2557	2558
น้ำมันสำเร็จรูป	ktoe	171.37	183.49	163.20	156.29	161.78
ก๊าซธรรมชาติ	ktoe	-	-	10.36	10.55	-
ไฟฟ้า	ktoe	52.26	58.20	58.58	61.16	61.98
ผลรวมปริมาณเชื้อเพลิงต่อปี	ktoe	223.63	241.70	232.17	227.96	223.76

(ที่มา : www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

ตารางที่ 3.11 การใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในหน่วยพีดตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ในปี พ.ศ. 2558

ชนิดเชื้อเพลิง		พีดตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ					
		บ้านที่อยู่อาศัย	เกษตรกรรม	อุตสาหกรรม	ธุรกิจการค้า	ขนส่ง	อื่น ๆ
น้ำมันสำเร็จรูป	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	18.90	-	-	0.61	7.49	-
	ดีเซลหมุนช้า	-	-	-	-	-	-
	ดีเซลหมุนเร็ว/ไบโอดีเซล	-	13.83	-	-	89.82	-
	น้ำมันเตา	-	-	0.58	-	-	-
	เบนซิน 91	-	-	-	-	-	-
	เบนซิน 95	-	-	-	-	1.43	-
	แก๊สโซฮอล์ 91	-	-	-	-	14.94	-
	แก๊สโซฮอล์ 95	-	-	-	-	8.61	-
ก๊าซธรรมชาติ		-	-	-	-	10.55	-
ไฟฟ้า		26.62	0.95	21.96	10.96	-	0.68
ผลรวมปริมาณเชื้อเพลิงต่อปี		45.52	14.78	22.54	11.57	132.83	0.68

(ที่มา : www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

จากข้อมูลการสำรวจการผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ ของจังหวัดชัยภูมิ ปี พ.ศ. 2558 พบว่าจังหวัดชัยภูมิมีการผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทนเท่ากับ 223 ktoe โดยจำแนกเป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเท่ากับ 91.92 ktoe และการผลิตเอทานอล 130.51 ktoe รายละเอียดตามตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ภาพรวมการผลิตพลังงานทดแทนของจังหวัดชัยภูมิ แยกตามประเภทการผลิต

ประเภท	กำลังการผลิต		
	MW	หน่วย/ปี	ktoe/ปี
พลังงานชีวมวล	79.40	686,016,000.00	58.52
พลังงานแสงอาทิตย์	56.40	121,824,000.00	10.39
พลังงานน้ำ	46.10	199,152,000.00	17.02
พลังงานก๊าซชีวภาพ	6.00	51,840,000.00	4.41
พลังงานลม	7.50	12,150,000.00	1.04
เอทานอล	180 ล้านลิตร		130.51
รวม			221.89

(ที่มา : www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

3.6 ศักยภาพพลังงาน

เมื่อพิจารณาในปี พ.ศ. 2557 พบว่าจังหวัดชัยภูมิมีศักยภาพพลังงานทดแทนมากที่สุด คือ ชีวมวลแข็งมีค่า 862.42 ktoe คิดเป็นร้อยละ 88.68 รองลงมาคือขยะเผาไหม้มีค่า 76.40 ktoe คิดเป็นร้อยละ 8.91

ตารางที่ 3.13 ภาพรวมของศักยภาพเชิงพลังงานของพลังงานทดแทนในหน่วยพื้นฐาน เทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)

ปี พ.ศ.	ศักยภาพเชิงพลังงานในหน่วยพื้นฐานเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)							
	ชีวมวลแข็ง	ก๊าซชีวภาพ		ขยะ		น้ำ	ลม	แสงอาทิตย์
		มูลสัตว์	น้ำเสียอุตสาหกรรม	ขยะเผาไหม้	ขยะฝังกลบ			
2552	482.94	7.15	16.62	40.99	8.43	-	-	14,611.33
2553	511.25	6.36	20.04	40.92	8.42	-	-	14,033.96
2554	773.88	6.46	20.04	40.57	8.34	-	-	14,033.96
2555	740.16	7.13	20.04	39.18	8.06	-	-	14,010.86
2556	739.78	6.99	18.58	76.40	15.71	-	-	13,817.80
2557	862.42	6.73	18.58	-	-	-	6.90	13,817.80

(ที่มา : www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

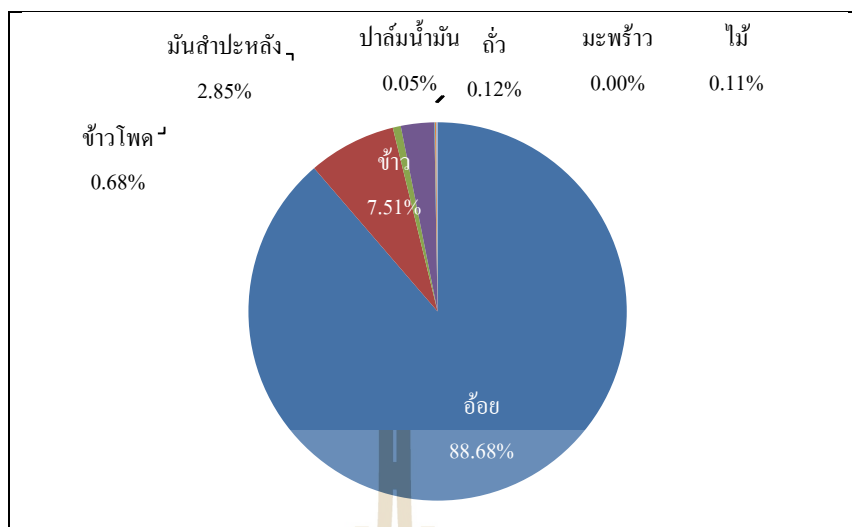
3.6.1 ชีวมวลแข็ง

ประเทศไทยมีการทำเกษตรกรรมกระจายอยู่ทั่วทั้งประเทศ ซึ่งนอกจากผลผลิตทางการเกษตรที่ได้แล้วยังมีผลพลอยได้เกิดขึ้นคือเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหรือชีวมวลแข็งจากการเกษตร ที่สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ ตารางที่ 3.14 แสดงค่าศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็งจำแนกตามชนิด และขึ้นส่วนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงาน จากผลผลิตทางการเกษตรที่ผลิตขึ้นภายในจังหวัด และศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็งทั้งหมดภายในจังหวัด ระหว่างปี พ.ศ. 2552 ถึง ปี พ.ศ. 2557

ตารางที่ 3.14 ศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็ง จำแนกรายปี

ชนิดพลังงาน		พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe)					
		2552	2553	2554	2555	2556	2557
อ้อย	ใบอ้อย	368.24	382.65	620.21	579.18	578.81	703.19
	ชานอ้อย	32.26	33.52	54.33	50.73	50.70	61.60
ข้าว	ฟางข้าว	30.53	42.55	45.75	51.03	49.25	42.58
	แกลบ	15.92	22.19	23.86	26.61	25.68	22.21
ข้าวโพด	ชังข้าวโพด	5.15	5.93	6.10	6.76	6.90	5.90
มันสำปะหลัง	เหง้า	22.70	16.25	-	19.19	21.96	24.55
ปาล์มน้ำมัน	กะลาปาล์ม	-	-	-	0.00	0.00	0.00
	ก้านปาล์ม	-	-	-	0.20	0.09	0.35
	ทะลายปาล์ม	-	-	-	0.03	0.01	0.06
	เส้นใยปาล์ม	-	-	-	0.00	0.00	0.00
ถั่ว	ถั่วลิสง	0.02	0.02	0.02	0.02	-	0.00
	ถั่วเหลือง	7.68	7.67	5.93	5.92	5.85	1.01
ไม้	ฟืน ไม้และขี้เลื่อย	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.07
	เศษไม้	0.15	0.20	0.30	0.38	0.45	0.85
มะพร้าว	กะลามะพร้าว	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01
	ทะลายมะพร้าว	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
	ทางมะพร้าว	0.10	0.09	0.03	0.02	0.02	0.01
	เปลือกมะพร้าว	0.12	0.11	0.03	0.03	0.02	0.02
รวม		482.94	511.25	773.88	740.16	739.78	862.42

(ที่มา: www.thaenergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)



รูปที่ 3.29 ศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็งแยกตามชนิดปี 2557
(ที่มา : www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

จากรูปที่ 3.2.9 แสดงศักยภาพพลังงานจากชีวมวลแข็งที่สามารถผลิตได้ในปี พ.ศ. 2557 ทั้งจังหวัดเป็นจำนวน 862.42 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ จะเห็นว่าภายในจังหวัดมีศักยภาพเชิงพลังงานจากชีวมวลแข็ง จากการปลูกอ้อยมากที่สุด คือ 764.79 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ รองลงมาคือชีวมวลแข็งจากการปลูกข้าว คือ 64.79 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

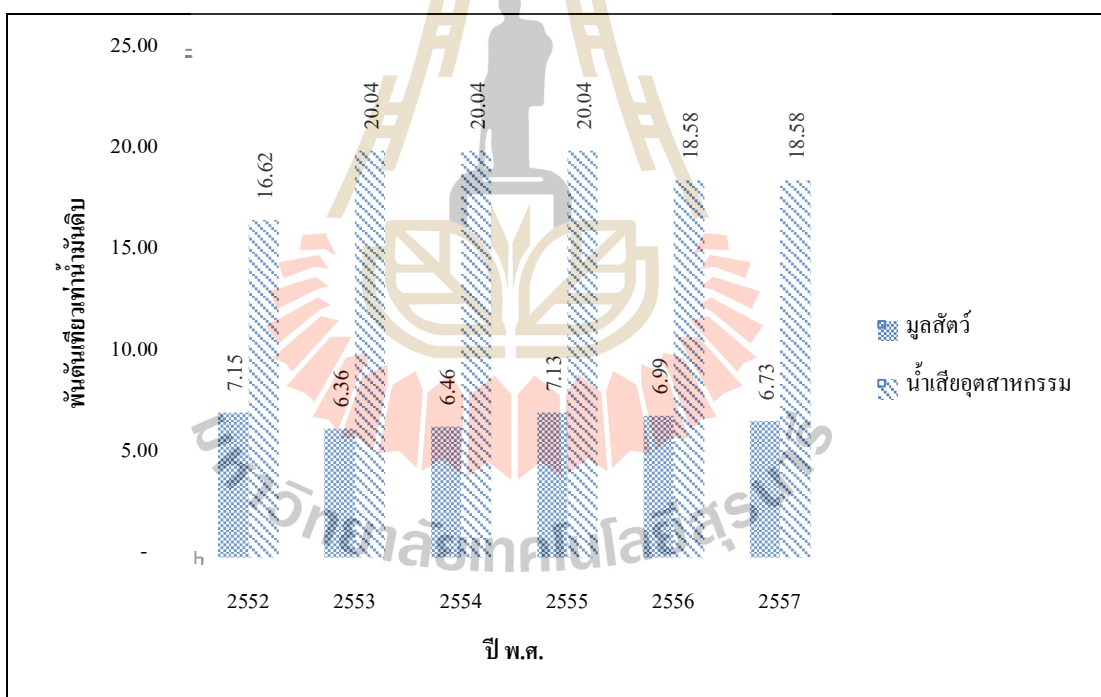
3.6.2 ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และน้ำเสียอุตสาหกรรม

ก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์และน้ำเสียอุตสาหกรรมสามารถนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ตารางที่ 3.15 แสดงรายละเอียดปริมาณมูลสัตว์ น้ำเสียอุตสาหกรรมที่ผลิตขึ้นได้ และศักยภาพเชิงพลังงานจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในปี พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2557

ตารางที่ 3.15 ปริมาณมูลสัตว์ น้ำเสียอุตสาหกรรม และศักยภาพเชิงพลังงานจากก๊าซชีวภาพ

ปี พ.ศ.	ศักยภาพเชิงพลังงานจากมูลสัตว์ (พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)					น้ำเสียอุตสาหกรรม	
	กระบือ	โค	สุกร	เป็ด	ไก่	ปริมาณ (ลูกบาศก์เมตร)	ศักยภาพเชิงพลังงาน (พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)
2552	0.34	4.23	1.17	0.40	1.01	33,437,444	16.62
2553	0.26	3.12	1.44	0.44	1.11	35,273,009	20.04
2554	0.26	3.10	1.43	0.47	1.20	35,273,009	20.04
2555	1.32	2.82	1.33	0.47	1.19	35,273,009	20.04
2556	1.04	2.74	1.34	0.53	1.34	37,163,869	18.58
2557	0.88	2.61	1.34	0.54	1.37	37,163,869	18.58

(ที่มา : www.thaienergydata.in.th และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)



รูปที่ 3.30 ศักยภาพเชิงพลังงานจากก๊าซชีวภาพ จำแนกรายปี

(ที่มา : www.thaienergydata.in.th และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เข้าถึงเมื่อ

1 กันยายน 2561)

จากรูปที่ 3.30 แสดงศักยภาพพลังงานจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากมูลสัตว์ในปี พ.ศ. 2552 ถึง ปี พ.ศ. 2557 จะเห็นได้ว่าจังหวัดชัยภูมิมีแนวโน้มด้านศักยภาพเชิงพลังงานจากก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์นั้นมีปริมาณที่ลดลง แต่ด้านศักยภาพเชิงพลังงานจากก๊าซชีวภาพของน้ำเสียนั้นมีปริมาณที่ลดลง ซึ่งในปี พ.ศ. 2557 มีศักยภาพเชิงพลังงานจากก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ คือ 6.73 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ และมีศักยภาพเชิงพลังงานจากก๊าซชีวภาพของน้ำเสียคือ 18.58 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

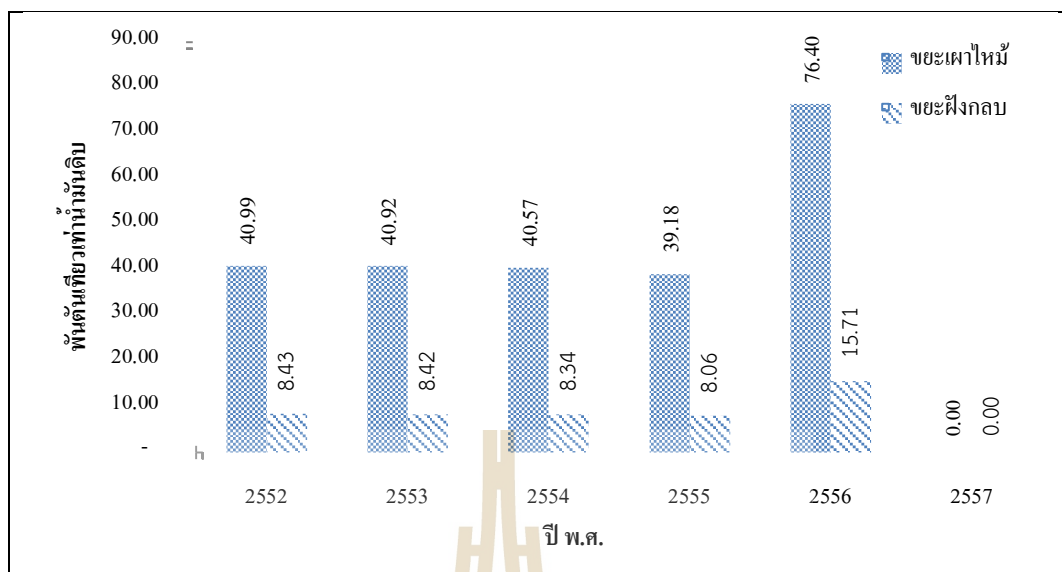
3.6.3 ขยะ

วิธีการกำจัดขยะแบบเดิมที่เราใช้กันคือฝังกลบ ซึ่งปัจจุบันพื้นที่ฝังก็มีอยู่อย่างจำกัด และในชุมชนยังมีการกำจัดขยะด้วยการเผาในที่โล่งซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ดังนั้นจึงมีการการประเมินศักยภาพเชิงพลังงานขยะขึ้นเพื่อใช้ขยะเหล่านั้นเป็นเชื้อเพลิงความร้อน ซึ่งจะทำให้สามารถได้ประโยชน์สองต่อคือได้กำจัดขยะและสามารถได้พลังงานกลับมาใช้อีกด้วย ตารางที่ 3.16 แสดงรายละเอียดปริมาณขยะชุมชนและศักยภาพเชิงพลังงานขยะ ในปี พ.ศ. 2552 ถึง ปี พ.ศ. 2556

ตารางที่ 3.16 ปริมาณขยะชุมชน และศักยภาพเชิงพลังงานขยะ จำแนกรายปี

ปี พ.ศ.	ปริมาณขยะ (ตัน)		ศักยภาพเชิงพลังงาน (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)	
	ขยะเผาไหม้	ขยะฝังกลบ	ขยะเผาไหม้	ขยะฝังกลบ
2552	108,104.09	182,427.00	40.99	8.43
2553	107,920.24	182,116.75	40.92	8.42
2554	107,000.99	180,565.50	40.57	8.34
2555	103,323.98	174,360.50	39.18	8.06
2556	201,500.15	340,034.00	76.40	15.71

(ที่มา : รายงานพลังงานทดแทนประจำปี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)



รูปที่ 3.31 ศักยภาพเชิงพลังงานขยะ จำแนกรายปี

(ที่มา: รายงานพลังงานทดแทนประจำปี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

จากรูปที่ 3.31 แสดงศักยภาพเชิงพลังงานขยะตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ถึง ปี พ.ศ. 2557 ที่ส่วนใหญ่จะได้อาจจากการขยะเผาไหม้ ซึ่งในปี 2557 ไม่มีศักยภาพเชิงพลังงานขยะ

3.6.4 พลังงานน้ำ

โดยทั่วไปเราสามารถเปลี่ยนพลังงานจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติทุกแห่งมีศักยภาพเชิงพลังงานซ่อนอยู่ซึ่งเราสามารถเปลี่ยนพลังงานจากแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานกลได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพเชิงพลังงานจากน้ำ คือ ผลต่างระดับความสูงของแหล่งน้ำ และปริมาณการไหลของแหล่งน้ำ ซึ่งภายในจังหวัดมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ 1 แห่ง คือ เขื่อนจุฬาภรณ์ และมีอ่างเก็บน้ำขนาดกลางทั้งหมด 6 แห่ง คือ อ่างห้วยส้มป่อย อ่างลำช่อระกา อ่างน้ำพรม อ่างลำคันฉู อ่างบ้านเพชร และอ่างห้วยหินลับ แต่บางแหล่งน้ำมีปริมาณน้ำไหลลงอ่างสะสมน้อยมากจึงไม่สามารถนำมาคำนวณศักยภาพได้ และตารางที่ 3.17 แสดงอ่างเก็บน้ำที่มีศักยภาพเชิงพลังงานน้ำในปี พ.ศ. 2557

ตารางที่ 3.17 รายละเอียดเขื่อน และศักยภาพเชิงพลังงานจากน้ำ

เขื่อน/อ่างเก็บน้ำ	ความสูงตัวเขื่อน	ความสูงระดับน้ำ	อัตราการไหล ลบ.ม./วินาที	ศักยภาพเชิงพลังงาน (พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)
เขื่อนจุฬาภรณ์	70	42.68	4.34	3.52
รวม				3.52

(ที่มา: รายงานพลังงานทดแทนประจำปี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

3.6.5 พลังงานลม

สถานีวัดลม	บ้านเก่าย่ำดี		
สถานที่ตั้ง	หมู่ 1 ตำบลเก่าย่ำดี อำเภอแก่งคอย จังหวัดชัยภูมิ		
พิกัด	ละติจูด	16-03-41.8	เหนือ
	ลองจิจูด	102-03-31.7	ตะวันออก
ระดับความสูงที่ตรวจวัด 40 เมตร ความสูงพื้นจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 230 เมตร			
ความเร็วลมเฉลี่ย 3.44 เมตร/วินาที			
กำลังลมเฉลี่ย 24.91 วัตต์/ตารางเมตร			

ตารางที่ 3.18 ความเร็วลมเฉลี่ยทั้งปีที่ความสูง 40 เมตร ระหว่างปี พ.ศ. 2550 ถึงปี พ.ศ. 2557

ปี	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)
2550	3.59
2551	3.65
2552	3.21
2553	3.28
2554	0
2555	0
2556	5.97
2557	6.90

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

3.6.6 พลังงานแสงอาทิตย์

ปัจจุบันเราใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ 2 รูปแบบ คือ การใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนที่ได้โดยตรงกับการนำพลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงในแต่ละพื้นที่ และพื้นที่ใน

การติดตั้งอุปกรณ์ ตารางที่ 3.19 แสดงค่าความเข้มแสง และศักยภาพเชิงพลังงานที่ผลิตได้เป็นรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ถึง ปี พ.ศ. 2557 จะเห็นได้ว่าศักยภาพเชิงพลังงานจากแสงอาทิตย์มีปริมาณที่สูงมาก เมื่อเทียบกับศักยภาพเชิงพลังงานทดแทนอื่น ๆ ซึ่งในปี พ.ศ. 2557 มีศักยภาพเชิงพลังงานจากแสงอาทิตย์ถึง 13,817.80 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ

ตารางที่ 3.19 ความเข้มแสงและศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ จำแนกรายปี

ปี พ.ศ.	ความเข้มแสง และศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์	
	ความเข้มแสงเฉลี่ยรายปี (เมกะจูล/วัน/ตารางเมตร)	ศักยภาพเชิงพลังงาน (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)
2552	19.0	14,611.33
2553	18.2	14,033.96
2554	18.2	14,033.96
2555	18.2	14,010.86
2556	18.2	13,817.80
2557	18.2	13,817.80

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

3.7 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

3.7.1 ด้านเศรษฐกิจ

1) การใช้พลังงานต่อหัวประชากร หน่วย “ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ” (ton of oil equivalent; toe) คือ หน่วยวัดปริมาณพลังงาน โดยเทียบการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงนั้น ๆ ในปริมาณที่เท่ากับพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดิบ 1 ตัน เช่น การใช้ไฟฟ้า 4 toe หมายถึง ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้มีค่าการใช้พลังงานเท่ากับพลังงานที่ได้จากการเผาน้ำมันดิบไป 4 ตัน หรือการใช้ก๊าซธรรมชาติ 6 ktoe หมายถึง ปริมาณก๊าซธรรมชาติที่ใช้มีค่าการใช้พลังงานเท่ากับพลังงานที่ได้จากการเผาน้ำมันดิบไป 6 กิโลตัน หรือ 6,000 ตันนั่นเอง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.20

ตารางที่ 3.20 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงต่อหัวประชากร (ktoe ต่อคน)
ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557

ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงต่อหัวประชากร (ktoe/คน)							
ชนิดเชื้อเพลิง	ปี พ.ศ.						
	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557
น้ำมันสำเร็จรูป	107.66	108.45	129.81	152.00	161.95	143.69	137.38
ก๊าซธรรมชาติ	-	-	-	-	-	9.15	9.28
ไฟฟ้า	37.94	42.05	45.83	46.35	51.37	51.58	53.79
รวม	145.60	150.50	175.64	198.35	213.32	204.42	200.45

(ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

2) การใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) “ผลิตภัณฑ์จังหวัด” (Gross Provincial Products; GPP) หมายถึง จำนวนรายได้จากกิจกรรมการผลิตของจังหวัด โดยแสดงในหน่วยบาท ภายในจังหวัดมีปริมาณการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557 ในแต่ละสาขาได้แก่ สาขาเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ธุรกิจการค้า การขนส่ง และอื่น ๆ ซึ่งในปี 2557 สาขาการขนส่ง มีปริมาณการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) สูงที่สุด รองลงมาคือ สาขาอุตสาหกรรม สถิติการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557 แสดงในตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามสาขาการบริโภคต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP)
ในหน่วย toe/ล้านบาท ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557

สาขา	ปี พ.ศ.						
	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557
เกษตรกรรม	1.82	1.83	2.07	1.42	1.88	1.81	1.87
อุตสาหกรรม	3.65	3.79	3.37	3.19	3.78	3.52	3.61
ธุรกิจการค้า	1.20	1.29	1.33	1.70	1.31	0.77	0.69
การขนส่ง	50.86	48.94	64.93	83.47	86.69	91.15	90.24
อื่น ๆ	0.37	0.14	0.29	0.24	0.29	0.38	0.52

(ที่มา: www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

3.7.2 ด้านสิ่งแวดล้อม

1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อหัวประชากร หน่วย “ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า” (ton carbon dioxide equivalent; tCO₂e) คือ หน่วยบอกปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้น ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อเทียบเท่ากับผลกระทบที่เกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1 ตัน เช่น การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (ก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่ง) 3 tCO₂e หมายถึง ก๊าซไนตรัสออกไซด์ถูกปล่อยออกมาในปริมาณที่ส่งผลกระทบต่อเทียบเท่ากับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3 ตัน ในปี พ.ศ. 2557 ภายในจังหวัดมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 1.23 tCO₂e/คน โดยสถิติการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อหัวประชากรปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557

2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ในปี พ.ศ. 2557 ภายในจังหวัดมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อ GPP โดยเฉลี่ย 45.44 tCO₂e/ล้านบาท โดยสถิติการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อ GPP ปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557 แสดงในตารางที่ 3.22 – 3.24

ตารางที่ 3.22 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ในหน่วย tCO₂e/ล้านบาท ช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2557

ปีพ.ศ.	GPP แบบลูกโซ่	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) (tCO ₂ e/ล้านบาท)
2551	27,625.09	1,283,860	46.47
2552	29,739.46	1,212,840	40.78
2553	30,101.98	4,389,370	145.82
2554	32,190.01	1,728,590	53.70
2555	33,147.87	1,546,800	46.66
2556	35,291.00	1,429,640	40.51
2557	34,499.00	1,567,760	45.44

(ที่มา: www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

ตารางที่ 3.23 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อหัวประชากร ในหน่วย tCO₂e/คน
ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2561

ปี พ.ศ.	จำนวนประชากร (คน)	ปริมาณการปล่อย ก๊าซเรือนกระจก (tCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ พลังงานต่อหัวประชากร (tCO ₂ e /คน)
2551	1,122,647	1,283,860	1.14
2552	1,127,423	1,212,840	1.08
2553	1,127,423	4,389,370	3.89
2554	1,127,423	1,728,590	1.53
2555	1,133,034	1,546,800	1.37
2556	1,135,723	1,429,640	1.26
2557*	1,137,049	1,567,760	1.38
2558*	1,139,210	1,250,529	1.10
2559*	1,142,360	356,062	0.31
2560*	1,145,254	551,897	0.48
2561*	1,147,089	265,867	0.23

* ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์

(ที่มา: www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

ตารางที่ 3.24 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP)
ในหน่วย tCO₂e/ล้านบาท ช่วงปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2560

ปี พ.ศ.	GPP แบบถูกไซ้	ปริมาณการปล่อย ก๊าซเรือนกระจก (tCO ₂ e)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ พลังงานต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) (tCO ₂ e /ล้านบาท)
2551	27,625.09	1,283,860	46.47
2552	29,739.46	1,212,840	40.78
2553	30,101.98	4,389,370	145.82
2554	32,190.01	1,728,590	53.70
2555	33,147.87	1,546,800	46.66
2556	35,291.00	1,429,640	40.51
2557*	34,499.00	1,567,760	45.44
2558*	36,614.48	349,781	9.55
2559*	37,408.49	503,517	13.46
2560*	38,345.58	129,572	3.38

* ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์

(ที่มา: www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

3.7.3 แนวโน้มความต้องการใช้พลังงาน

แนวโน้มด้านพลังงานความต้องการใช้พลังงานของจังหวัดชัยภูมิ จากสถิติการใช้พลังงานที่เก็บไว้ในแต่ละปี ทำให้เราเห็นภาพการใช้พลังงานของจังหวัดชัยภูมิได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากข้อมูลถึงแม้ว่าปริมาณการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเทียบคู่ปีต่อปีแล้วพบว่าไม่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยที่ลดลงมาโดยตลอด สิ่งเหล่านี้บอกเราว่าในอนาคตไม่ไกลต่อจากนี้ เราอาจจะเห็นการใช้พลังงานของจังหวัดชัยภูมิที่ลดลง ซึ่งการลดลงนี้ไม่ได้มาจากผลกระทบจากภาวะทางเศรษฐกิจ แต่มาจากธรรมชาติการใช้พลังงานที่เปลี่ยนไป รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.25 – 3.28

ตารางที่ 3.25 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงต่อหัวประชากร (ktoe ต่อคน)
ระหว่าง ปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2560

ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงต่อหัวประชากร (ktoe/คน)										
ชนิดเชื้อเพลิง	ปีพ.ศ.									
	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558*	2559*	2560*
น้ำมันสำเร็จรูป	107.66	108.45	129.81	152.00	161.95	143.69	137.38	158.50	155.36	151.49
ก๊าซธรรมชาติ	-	-	-	-	-	9.15	9.28	10.45	13.74	17.12
ไฟฟ้า	37.94	42.05	45.83	46.35	51.37	51.58	53.79	56.59	58.55	60.93
รวม	145.60	150.50	175.64	198.35	213.32	204.42	200.45	225.55	227.65	229.54

- ก๊าซธรรมชาติมีการใช้แต่ไม่มีการบันทึกข้อมูล; * ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์

(ที่มา: www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

ตารางที่ 3.26 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามสาขาการบริโภคต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP)
ในหน่วย toe/ล้านบาท ระหว่างปี พ.ศ. 2551 ถึงปี พ.ศ. 2561

สาขา	ปีพ.ศ.										
	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558*	2559*	2560*	2561*
เกษตรกรรม	1.82	1.83	2.07	1.42	1.88	1.81	1.87	1.81	1.98	1.93	1.99
อุตสาหกรรม	3.65	3.79	3.37	3.19	3.78	3.52	3.61	3.74	3.85	3.80	3.95
ธุรกิจการค้า	1.20	1.29	1.33	1.70	1.31	0.77	0.69	0.50	0.08	(0.15)	(0.36)
การขนส่ง	50.86	48.94	64.93	83.47	86.69	91.15	90.24	100.79	101.92	106.19	110.58
อื่น ๆ	0.37	0.14	0.29	0.24	0.29	0.38	0.52	0.53	0.63	0.72	0.79

* ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์

(ที่มา: www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

ตารางที่ 3.27 ปริมาณการใช้พลังงานแบ่งตามชนิดเชื้อเพลิงย่อยหน่วยกายภาพต่อคน
ระหว่างปี พ.ศ. 2555 ถึงปี พ.ศ. 2561

ชนิดเชื้อเพลิง	หน่วยทาง กายภาพ	ปีพ.ศ.							
		2555	2556	2557	2558*	2559*	2560*	2561*	
น้ำมันสำเร็จรูป	ก๊าซปิโตรเลียม เหลว	กิโลกรัม/คน	21.06	19.80	19.95	21.99	21.01	20.23	20.82
	ดีเซลหมุนช้า	ลิตร/คน	-	-	-	-	-	-	-
	ดีเซลหมุนเร็ว	ลิตร/คน	130.93	111.04	105.62	126.09	123.09	120.10	119.72
	ไบโอดีเซล								
	น้ำมันเตา	ลิตร/คน	2.11	0.87	0.54	-	-	-	-
	เบนซิน 91	ลิตร/คน	16.28	0.48	-	0.14	-	-	-
	เบนซิน 95	ลิตร/คน	-	2.26	1.68	2.16	2.83	3.49	4.04
	แก๊สโซฮอล์ 91	ลิตร/คน	8.56	16.95	17.07	19.11	22.35	25.59	28.61
แก๊สโซฮอล์ 95	ลิตร/คน	4.11	10.91	9.84	10.41	12.36	14.38	15.96	
ก๊าซธรรมชาติ	ลูกบาศก์ฟุต/คน	-	378.48	383.82	432.50	568.38	708.34	827.93	
ไฟฟ้า	KWh/คน	602.16	604.61	630.56	663.40	686.38	714.23	734.07	

1 ดีเซลหมุนช้าไม่มีการใช้งาน

(ที่มา: www.thaienergydata.in.th, เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

2 ก๊าซธรรมชาติมีการใช้แต่ไม่มีการบันทึกข้อมูล

* ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์

** ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ของเบนซิน 91 มีค่าติดลบจึงไม่ได้แสดงค่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.28 ความเชื่อมโยงยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงานและยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดชัยภูมิ

ยุทธศาสตร์พลังงานของประเทศ ยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2559-2563	ยุทธศาสตร์จังหวัดชัยภูมิ ยุทธศาสตร์จังหวัดชัยภูมิ พ.ศ. 2559-2563	แนวคิดเป้าประสงค์ ด้านพลังงานสำหรับ จังหวัดชัยภูมิ
<p>ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1 การจัดหาพลังงาน เพียงพอต่อความต้องการ มีความมั่นคง และ ส่งเสริมการลงทุน</p> <p>เป้าประสงค์ 1.1 มีพลังงานเพียงพอต่อความ ต้องการใช้ของประเทศ และมีโครงสร้าง พื้นฐานและระบบการบริหารจัดการที่ เสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงาน</p> <p>กลยุทธ์ 1.1.3 สนับสนุนการมีส่วนร่วมกับ ภาคประชาชนเพื่อสร้างความเข้าใจในการ จัดหาพลังงาน และการพัฒนาโครงสร้าง พื้นฐาน โดยการทำความเข้าใจกับเยาวชน และประชาชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งประชาชน ในพื้นที่พัฒนาโครงการ</p>	-	-
<p>ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาพลังงาน ที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม</p> <p>เป้าประสงค์ 3.3 ชุมชนมีการพึ่งพาตนเองใน การพัฒนาพลังงานเพื่อสนองความต้องการ ตามศักยภาพของพื้นที่</p> <p>กลยุทธ์ 3.3.1 ส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์และ ผลิตพลังงานทดแทนในชุมชนเพิ่มมากขึ้น ผ่านโครงการส่งเสริมชุมชนลงทุนพลังงาน ทดแทน ได้แก่ต้นแบบการเรียนรู้ Biogas/CBG/พลังงานทดแทนประเภทอื่น ๆ ใช้กลไกของกองทุนพัฒนารอบโรงไฟฟ้าใน การพัฒนาพลังงานทดแทนระดับชุมชน</p> <p>กลยุทธ์ 3.3.2 พัฒนาชุมชนหรือเมืองต้นแบบ ในการจัดการพลังงาน</p>	<p>ประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 3 บริหารจัดการ ทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อมแบบมีส่วนร่วม อย่างยั่งยืน</p>	<p>เป้าประสงค์: การใช้ พลังงานทดแทนและ อนุรักษ์พลังงานอย่างยั่งยืน</p>

(ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (2560), เข้าถึงเมื่อ 1 กันยายน 2561)

จังหวัดชัยภูมิก็เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่ต้องการนำพลังงานทดแทนมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาขาดแคลนน้ำในพื้นที่ จังหวัดชัยภูมิมียี่สิบสี่ปี 7,986,429 ไร่ สภาพการใช้ที่ดินของจังหวัดชัยภูมิประกอบด้วย พื้นที่เพื่อการเกษตร 3,525,578 ไร่คิดเป็นร้อยละ 44.1 อาชีพของชาวจังหวัดชัยภูมิ เป็นการประกอบอาชีพในภาคการเกษตรกรรม ร้อยละ 60.30 อาชีพที่สำคัญ ได้แก่ การทำนาทำไร่ และทำสวนผลไม้ยืนต้น มีการปลูกพืชผักผลไม้สวนครัว และมีระดับอยู่บ้าง และมีการประกอบอาชีพนอกภาคเกษตรกรรมประมาณร้อยละ 39.70 พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดชัยภูมิประกอบด้วย ข้าวเจ้าวนาปี ข้าวเหนียวนาปี มันสำปะหลัง อ้อยโรงงาน ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ พริกชี้หนูเม็ดใหญ่ ยางพารา เป็นต้น

ดังนั้น ระบบกลยุทธการบริหารจัดการที่สามารถเพิ่มความมั่นคงทางด้านกำลังการผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้ในพื้นที่ได้ ทางด้านกำลังการผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้ในพื้นที่ได้ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหา อีกทั้งยังเชื่อมโยงกับยุทธศาสตร์กระทรวงพลังงานและยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดชัยภูมิ ดังแสดงในตารางที่ 3.28 ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษากลยุทธที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน รวมทั้งการนำเอาพลังงานที่ได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อชนบท จึงมุ่งเน้นการเกษตรเพื่อสูบน้ำใช้ในแปลงเกษตรแบบสมาร์ทฟาร์ม มีการเก็บข้อมูลทั้งปริมาณพลังงานที่ผลิต ปริมาณน้ำ ที่ได้มีการควบคุมปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับพืชแต่ละชนิดรวมทั้งปริมาณความชื้นในดินที่เหมาะสม รวมไปถึงปริมาณสารอินทรีย์ในดินที่เหมาะสม (Organic Matter: OM) เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาจังหวัดชัยภูมิต่อไป

3.8 โปรแกรมจำลอง HOMER Pro®

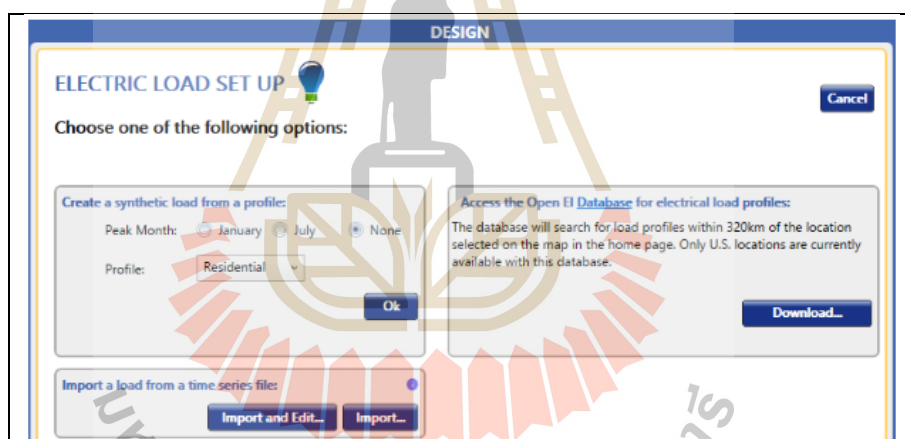
HOMER Pro® เป็นโปรแกรมที่ช่วยลดความยุ่งยากในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายทั้งแบบเชื่อมต่อบริเวณและแบบไม่เชื่อมต่อบริเวณ การเพิ่มประสิทธิภาพและการพิจารณาในเชิงความไวและความจำเพาะของตัวแปรในโปรแกรม HOMER ช่วยให้สามารถประเมินความเป็นไปได้ด้านเศรษฐกิจและเทคโนโลยีอย่างหลากหลาย และอธิบายถึงค่าใช้จ่ายในด้านต่าง ๆ พร้อมทั้งรายละเอียดในการใช้ทรัพยากรด้านพลังงานของระบบนั้น ๆ ซึ่งในตัวโปรแกรมมีอุปกรณ์ด้านพลังงานทดแทนให้เลือกใช้อย่างหลากหลาย สำหรับในตัวโปรแกรมออกแบบแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย การออกแบบโหลด องค์ประกอบในระบบ ทรัพยากรในระบบ วัตถุประสงค์ของการศึกษา

3.8.1 การออกแบบโหลด

ในงานวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สนใจเฉพาะ โหลดทางไฟฟ้าเท่านั้นซึ่งสามารถเลือก พร้อมทั้งปรับขนาดโหลดรายวัน รายเดือนได้ตามความเหมาะสมโดยสามารถเพิ่มได้ที่ปุ่ม ดังรูปที่ 3.32 และสามารถเลือกชนิดและคุณลักษณะของโหลดได้ตามรูปที่ 3.33 หลังจากทีเพิ่มโหลดทางไฟฟ้าไปแล้วสามารถเข้าไปปรับ โหลดรายชั่วโมงของแต่ละเดือนได้ ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.32 ปุ่มเพิ่มความต้องการโหลดทางไฟฟ้า



รูปที่ 3.33 หน้าต่างการเลือกคุณลักษณะต่าง ๆ ของโหลด

Yearly Load Data

Hour	Weekdays				Weekends				
	January	February	March	April	May	June	July	August	Septem
0	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109	0.
1	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.
2	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.
3	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.
4	0.327	0.327	0.327	0.327	0.327	0.327	0.327	0.327	0.
5	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.
6	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.550	0.
7	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.
8	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420	0.420	0.
9	0.430	0.430	0.430	0.430	0.430	0.430	0.430	0.430	0.
10	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.
11	0.522	0.522	0.522	0.522	0.522	0.522	0.522	0.522	0.

Copy changes to right Copy changes to weekend

รูปที่ 3.34 ตารางการปรับโหลดรายชั่วโมงของแต่ละเดือน

3.8.2 องค์ประกอบในระบบ

ระบบที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย กังหันลม เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และ โครงข่ายไฟฟ้า ดังนี้

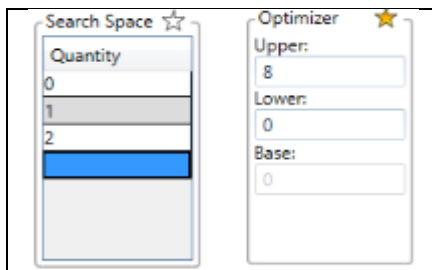
1) กังหันลมผลิตไฟฟ้า

โดยสามารถเลือกประเภทของกังหันลมที่ต้องการจำลอง และกำหนดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ดังรูปที่ 3.35 พร้อมทั้งระบุจำนวนกังหันที่ต้องการติดตั้ง หรือสามารถเลือกให้โปรแกรมหาจำนวนที่เหมาะสมที่สุดให้ก็ได้ ดังรูปที่ 3.36 นอกจากนี้ยังต้องมาหนดเส้นโค้งกำลังของกังหันเพื่อที่ได้ดังรูปที่ 3.37 และมีการบ่อนค่าบำรุงรักษาส่วนต่างๆ ของกังหันลมดังในรูปที่ 3.38

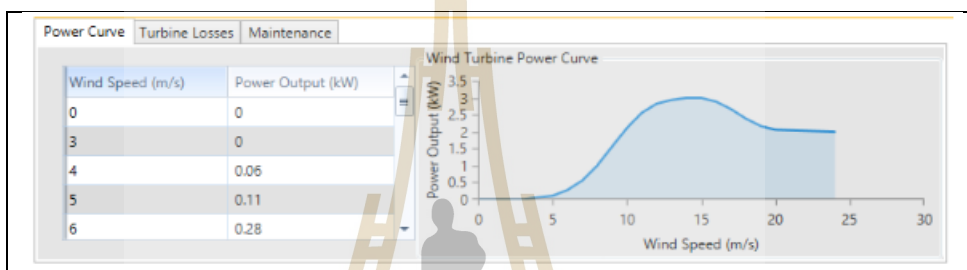
Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	\$10,000.00	\$9,000.00	\$100.00
2	\$18,000.00	\$16,000.00	\$140.00

Multiplier:

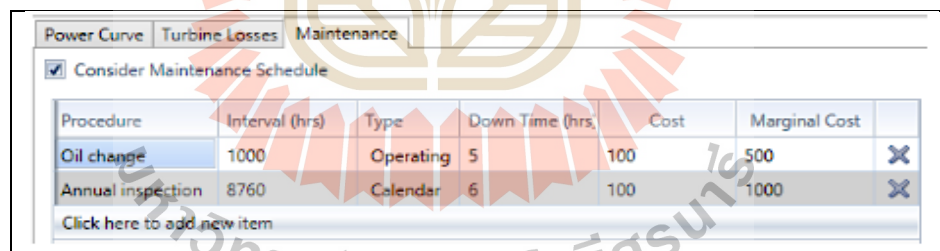
รูปที่ 3.35 ตารางกำหนดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งกังหันลม



รูปที่ 3.36 การกำหนดขอบเขตเพื่อหาจำนวนกังหันลมที่เหมาะสม



รูปที่ 3.37 การกำหนดเส้นโค้งกำลังของกังหัน



Procedure	Interval (hrs)	Type	Down Time (hrs)	Cost	Marginal Cost
Oil change	1000	Operating	5	100	500
Annual inspection	8760	Calendar	6	100	1000

รูปที่ 3.38 การกำหนดราคาซ่อมบำรุงของกังหันลม

2) เซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการปรับตั้งค่าคล้ายกับกังหันลม คือ ต้องทำการกำหนดราคาในการติดตั้งและบำรุงรักษา ดังรูปที่ 3.39 และมีการกำหนดขอบเขตขนาดเพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมดังรูปที่ 3.40 ซึ่งนอกจากนี้ ปัจจัยที่ต้องพิจารณาของเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วย ต้องระบุว่าต่อเข้ากับบัสกระแสตรงหรือบัสกระแสสลับ ต้องระบุอายุการใช้งานเพื่อคำนวณหาจุดคุ้มทุน

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	3000	2500	0

Click here to add new item

Multiplier: [(-)] [(-)] [(-)]

Lifetime time (years): 25.00 [(-)]

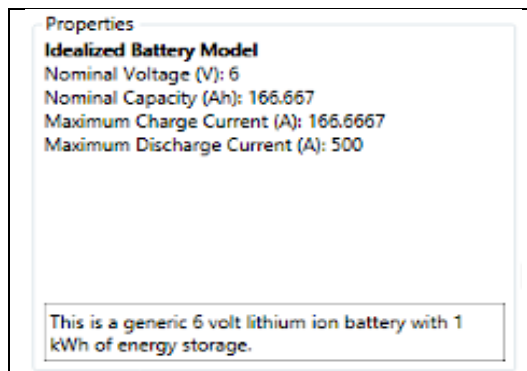
รูปที่ 3.39 การกำหนดค่าติดตั้งและบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์

Search Space	Optimizer
Size (kW)	Upper:
0	10
1	Lower:
2	0
3	Base:
	0

รูปที่ 3.40 การกำหนดขอบเขตของขนาดเพื่อหาจำนวนการติดตั้งที่เหมาะสม

3) แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

ในโปรแกรม HOMER Pro[®] นี้ สามารถกำหนดขนาดได้อย่างอิสระ โดยโมเดลของแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นโมเดลอย่างง่ายเพียงแค่ออน ขนาดกระแสใน 1 ชั่วโมง (Ah) ซึ่งแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวดังในรูปที่ 3.41 การใช้แบตเตอรี่นี้จำเป็นต้องทราบถึงมูลค่าการติดตั้ง ค่าซ่อมบำรุง อายุการใช้งานเพื่อที่จะให้โปรแกรมสามารถคำนวณจุดคุ้มทุนได้ ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.41 คุณสมบัติของแบตเตอรี่

Batteries			
Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	700	700	10,000
Lifetime			More...
time (years):		15.00	(-)
throughput (kWh):		3,000.00	(-)

รูปที่ 3.42 การกำหนดพารามิเตอร์ด้านเศรษฐศาสตร์ของแบตเตอรี่

4) โครงข่ายไฟฟ้า

สำหรับโครงข่ายไฟฟ้าจะมีให้เลือกการคิดราคาค่าไฟหลายแบบ ประกอบด้วย อัตราอย่างง่าย อัตราเรียลไทม์ อัตราตามกำหนดการ แบบคิดแยกจากโครงข่าย อัตราตามการใช้งาน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การกำหนดแบบอัตราอย่างง่ายคือกำหนดอัตราซื้อ และอัตราขายพลังงานในหน่วย (USD/kWh)

3.8.3 ทรัพยากรในระบบ

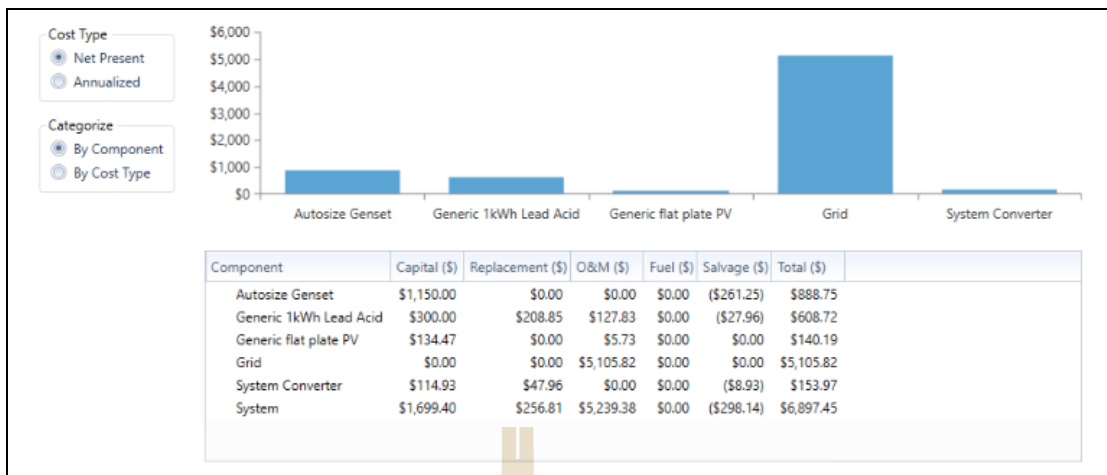
ในระบบที่ใช้ในการศึกษามีแหล่งพลังงานหมุนเวียน 2 ชนิด คือ พลังงานลม และ พลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นทรัพยากรที่ต้องพิจารณาจะประกอบด้วย ความเร็วลม และการฉายรังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลจากดาวเทียม โดยเก็บไว้ในฐานข้อมูลของ National Aeronautics and Space Administration (NASA) และ National Renewable Energy Lab (NREL)

3.8.4 ความสามารถของโปรแกรม HOMER Pro®

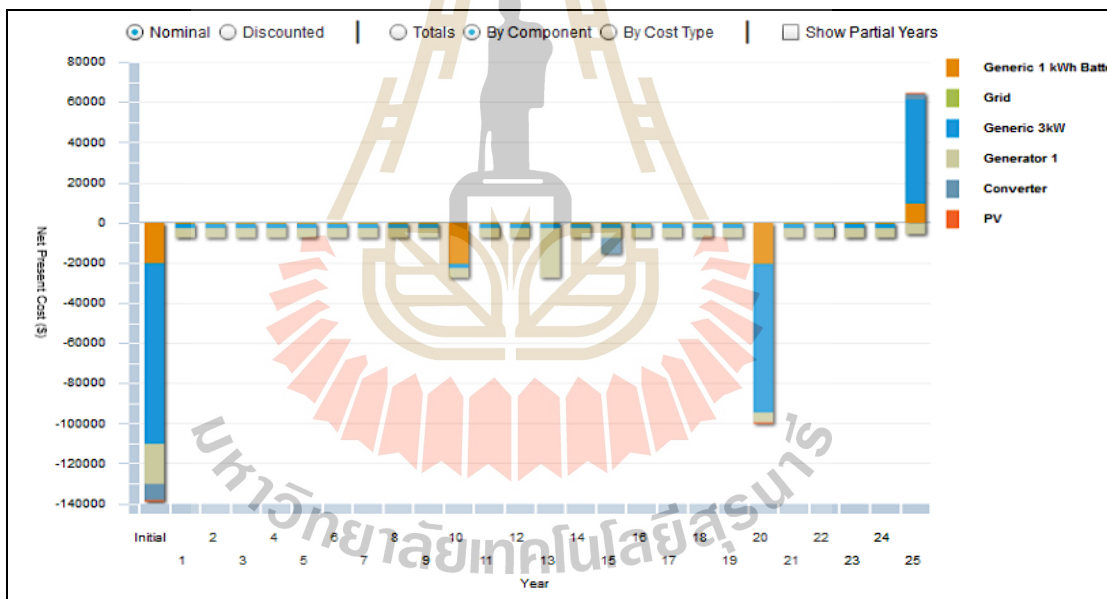
โปรแกรม HOMER Pro® นั้นสามารถใช้ในการศึกษาปัญหาด้านพลังงานที่น่าสนใจได้หลายด้านดังนี้

- 1) ด้านเศรษฐศาสตร์ พิจารณาอัตราเงินเพื่ออายุโครงการอายุการใช้งานระบบและหน่วยสกุลเงิน
- 2) ข้อจำกัด ตรวจสอบว่าระบบได้ที่สามารถใช้งานจริงในบริเวณที่ต้องการได้หรือไม่
- 3) ปล่อยก๊าซเรือนกระจก จีดีจำกัด และบทลงโทษสำหรับการปล่อย CO₂, CO, UHC, PM, SO₂ และ NO_x
- 4) การเพิ่มประสิทธิภาพ ตั้งเวลาขั้นตอนการจำลองกรณีพิเศษสำหรับองค์ประกอบบางส่วนและพารามิเตอร์สำหรับ HOMER Optimizer
- 5) หาขนาดและแก้ไขพารามิเตอร์ระบบ HOMER จำลองเพื่อหาการกำหนดค่าระบบที่ดีที่สุด
- 6) ความไวและความจำเพาะ ศึกษาและแก้ไขตัวแปรความไวและความจำเพาะทั้งหมดในโมเดล
- 7) การพิจารณาแบบหลายปี เปิด โหมด Multi-Year และระบุตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการใช้งานของโครงการ
- 8) ประเมินการ สามารถประมาณจำนวนรอบการคำนวณที่สามารถจะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่เหมาะสมได้

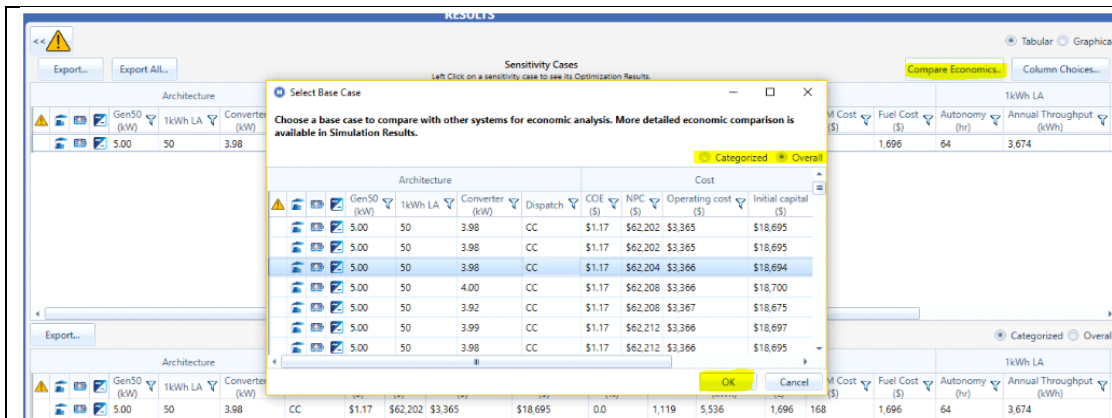
ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม HOMER นั้นสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย ดังตัวอย่างผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 3.43 – 3.48



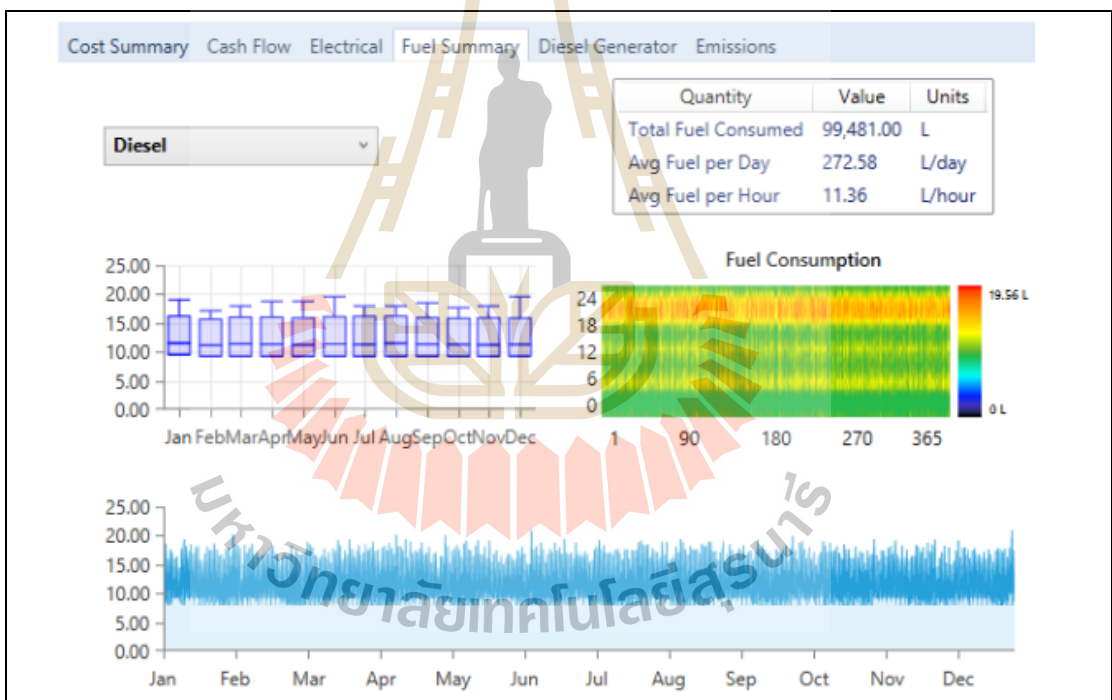
รูปที่ 3.43 รายละเอียดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบไฟฟ้า



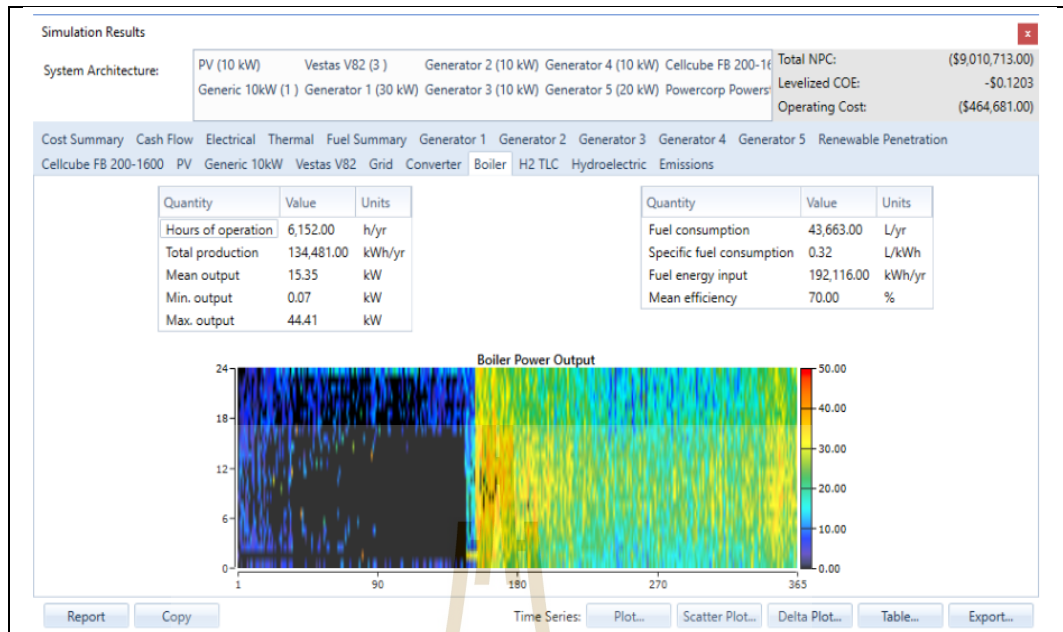
รูปที่ 3.43 ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละปี



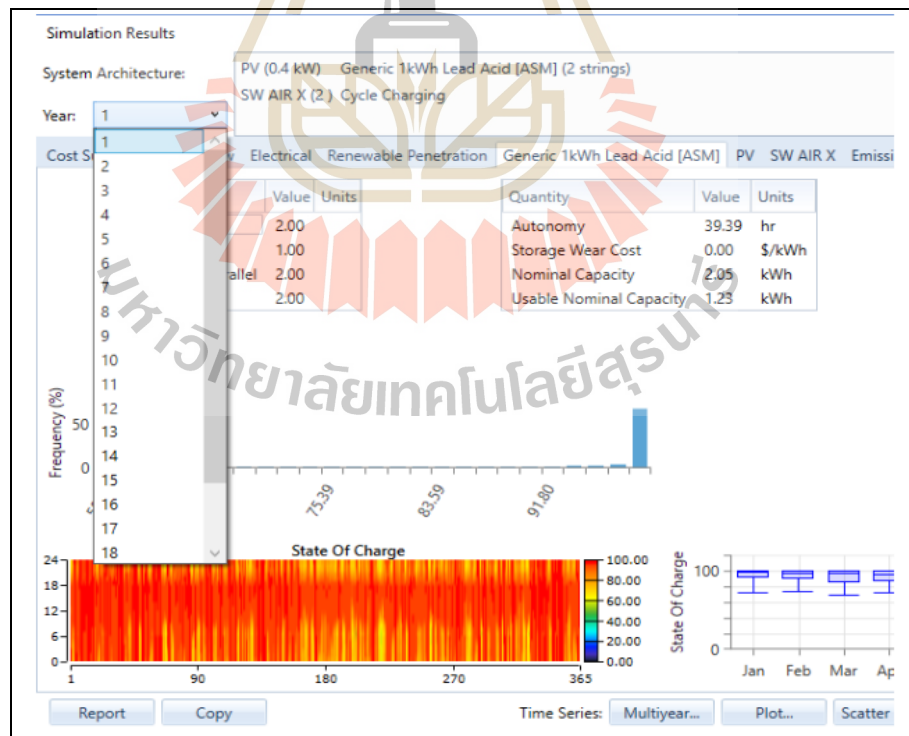
รูปที่ 3.45 การเปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์ระหว่างกรณีต่าง ๆ



รูปที่ 3.46 รายงานสรุปเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจำลอง (1)



รูปที่ 3.47 รายงานสรุปเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจำลอง (2)



รูปที่ 3.48 รายงานสรุปเชื้อเพลิงหรือเชื้อเพลิงที่ใช้ในการจำลองแบบรายปี

3.8.5 การคำนวณในโปรแกรม HOMER Pro®

1) การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นในงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้พิจารณาผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิ พิจารณาเพียงผลกระทบจากความเข้มแสงเพียงเท่านั้น โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{G_T}{G_{T,STC}} \right) \quad (1)$$

เมื่อ	Y_{PV}	คือ ขนาดสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)
	f_{PV}	คือ ค่าตัวคูณลดกระแสพิคค์ของเซลล์แสงอาทิตย์ (%)
	G_T	คือ รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ (kW/m ²)
	$G_{T,STC}$	คือ รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะทดสอบตามมาตรฐาน (1 kW/m ²)

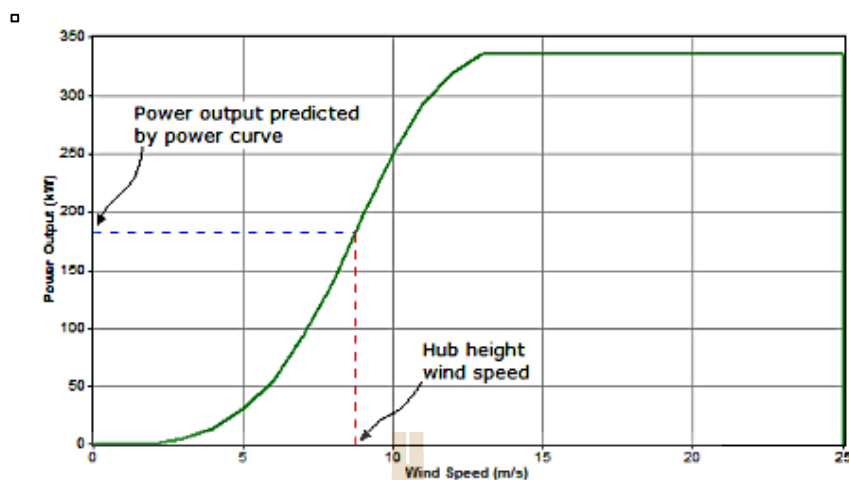
2) การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม

การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมในโปรแกรม HOMER แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วยขั้นตอนที่ 1 การคำนวณความเร็วลมจากความสูงของกังหันลม โดยใช้สมการที่ (2)

$$U_{hub} = U_{anem} \cdot \frac{\ln(z_{hub}/z_0)}{\ln(z_{anem}/z_0)} \quad (2)$$

เมื่อ	U_{hub}	คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูงคุมของกังหันลม (m/s)
	U_{anem}	คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูงแอนอิมเตอร์ (m/s)
	z_{hub}	คือ ความสูงของคุมของกังหันลม (m)
	z_{anem}	คือ ความสูงของแอนอิมเตอร์ (m)
	z_0	คือ ความยาวของผิวที่ขรุขระ (m)

จากนั้นคำนวณกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมจะผลิตได้ด้วยความเร็วขณะนั้น โดยคำนวณจากเส้นโค้งกำลังที่ได้กำหนดไว้ในตอนออกแบบระบบดังรูปที่ 3.50 โดยคิดที่ค่าความดันอากาศมาตรฐาน



รูปที่ 3.49 ตัวอย่างเส้นโค้งกำลังไฟฟ้าของกังหันลมสำหรับหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ความเร็วต่าง ๆ

จากนั้นทำการปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นอากาศขณะนั้นโดยใช้สมการที่ (3)

$$P_{WTG} = \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right) P_{WTG,STP} \quad (3)$$

เมื่อ P_{WTG} คือ กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ (kW)
 $P_{WTG,STP}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (kW)
 ρ คือ กำลังความดันอากาศจริง (kg/m^3)
 ρ_0 คือ กำลังความดันอากาศที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (1.225 kg/m^3)

3) การคำนวณกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่

การคำนวณกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะแบ่งเป็นการคำนวณสองช่วง คือ การคำนวณช่วงสะสมประจุกับคายประจุ

- การคำนวณในช่วงสะสมประจุ

ข้อจำกัดในการพิจารณาเรื่องการสะสมประจุของระบบกักเก็บพลังงานจะพิจารณา 3 ปัจจัยด้วยกัน ปัจจัยแรกอัตราสะสมประจุสูงสุด (Maximum Charge Rate) เขียนได้ดังสมการที่ (4)

$$P_{batt,cmax,mcr} = \frac{(1 - e^{-\alpha_c \Delta t})(Q_{max} - Q)}{\Delta t} \quad (4)$$

เมื่อ	Q	คือ พลังงานทั้งหมด (kWh) ในระบบกักเก็บพลังงานขณะนั้น
	Q_{max}	คือ ความจุของระบบกักเก็บพลังงาน (kWh)
	Δt	คือ เวลาที่ใช้ (h)
	α_c	คือ อัตราการสะสมประจุสูงสุด (A/Ah)

ปัจจัยที่ 2 ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สามารถสะสมได้สูงสุดหรือแบบจำลองจลนศาสตร์ของแบตเตอรี่ (Kinetic Battery Model) เขียนได้ดังสมการที่ (5)

$$P_{batt,cmax,kbm} = \frac{kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 - e^{-k\Delta t})} \quad (5)$$

เมื่อ	Q_1	คือ พลังงานที่มีอยู่ (kWh) ในระบบกักเก็บพลังงานขณะนั้น
	c	คือ อัตราส่วนความจุ
	k	คือ ค่าคงที่อัตราสะสมของแบตเตอรี่

ปัจจัยที่ 3 พิจารณากระแสสะสมสูงสุด (Maximum Charge Current) เขียนได้ดังสมการที่ (6)

$$P_{batt,cmax,mcc} = \frac{N_{batt} I_{max} V_{nom}}{1000} \quad (6)$$

เมื่อ	N_{batt}	คือ จำนวนแบตเตอรี่ในระบบกักเก็บพลังงาน
	I_{max}	คือ กระแสชาร์จสูงสุด (A)
	V_{nom}	คือ ดันไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงาน (V)

โดยหลังจากพิจารณาปัจจัยแล้ว จะเลือกปัจจัยที่มีกำลังไฟฟ้าต่ำที่สุดดังสมการที่ (7)

$$P_{batt,c\max} = \frac{\text{MIN}(P_{batt,c\max,kbm}, P_{batt,c\max,mer}, P_{batt,c\max,mcc})}{\eta_{batt,c}} \quad (7)$$

เมื่อ $\eta_{batt,c}$ คือ ประสิทธิภาพของระบบกักเก็บพลังงาน

- การคำนวณในช่วงคายประจุ

การคายประจุจะพิจารณาปัจจัยเดียว คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สามารถปล่อยสูงสุดได้หรือแบบจำลองจลนศาสตร์ของแบตเตอรี่ (Kinetic Battery Model) สามารถเขียนได้ดังสมการ (8)

$$P_{batt,c\max,kbm} = \frac{-kQ_{\max} + kQ_1 e^{-k\Delta t} + Q_1 c(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 - e^{-k\Delta t})} \quad (8)$$

จากนั้นนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มาคูณกับค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เพื่อหาปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สามารถปล่อยออกมาได้ดังสมการที่ (9)

$$P_{batt,c\max} = P_{batt,c\max,kbm} \eta_{batt,c} \quad (9)$$

โปรแกรม HOMER Pro[®] เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้ในการออกแบบและศึกษา ระบบผลิตพลังงานแบบผสมผสาน ที่สามารถออกแบบระบบได้ทั้งแบบเชื่อมต่อระบบและแบบไม่เชื่อมต่อระบบ ใช้ค่าข้อมูลจริงจากการตรวจวัดข้อมูลป้อนเข้าไปในระบบ และยังให้ผลลัพธ์ออกมา มีค่าที่ใกล้เคียงค่าจริงและเป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของระบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

3.9 สรุป

ในบทที่ 3 นี้ได้อธิบายทฤษฎีและสมมติฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์พลังงานในประเทศไทย แหล่งผลิตพลังงานของประเทศไทย แนวคิดเกี่ยวกับการพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน สมดุลพลังงานของจังหวัดชัยภูมิ ศักยภาพพลังงาน การใช้พลังงาน และโปรแกรมจำลอง HOMER Pro[®] ในการศึกษาวิจัยกลยุทธ์ที่เหมาะสมของพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน จำเป็นต้องออกแบบระบบพลังงานหมุนเวียนและจำลองผลต่าง ๆ เพื่อทำศึกษาศักยภาพของพลังงานที่สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าในพื้นที่กรณีศึกษาในจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งผู้ทำวิจัยจะกล่าวต่อไปในบทที่ 5



บทที่ 4

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงาน จังหวัดชัยภูมิ

4.1 กล่าวนำ

ในการศึกษาวิจัยเรื่องกลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน เพื่อชนบท: กรณีศึกษา บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานของพื้นที่กรณีศึกษาว่ามีความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานหรือไม่ ในบทนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาศักยภาพพลังงานลม และความเข้มแสง พื้นที่กรณีศึกษาโดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนในบทถัดไป

4.2 พื้นที่ศึกษาสนามกีฬาากลาง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

พื้นที่กรณีศึกษาสำหรับหัวข้อนี้ คือ สนามกีฬาากลางจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งเป็นสนามกีฬากลางแจ้งประจำจังหวัดชัยภูมิ ชัยภูมิเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ดังรูปที่ 4.1 - 4.2 ซึ่งมีสนามกีฬาากลางจังหวัดชัยภูมิ ที่มีการใช้งาน โหลดทางไฟฟ้าที่อยู่ภายใต้การควบคุมขององค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ องค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิได้ให้ความสำคัญด้านพลังงานและระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่นี้จึงได้รับเลือกในการศึกษานี้



รูปที่ 4.1 พื้นที่กรณีศึกษาสนามกีฬากลาง จังหวัดชัยภูมิ
(ที่มา: <https://www.google.co.th/maps/place/ชัยภูมิ/>, สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2560)



รูปที่ 4.2 สนามกีฬากลาง จังหวัดชัยภูมิ

4.3 พื้นที่ศึกษาสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

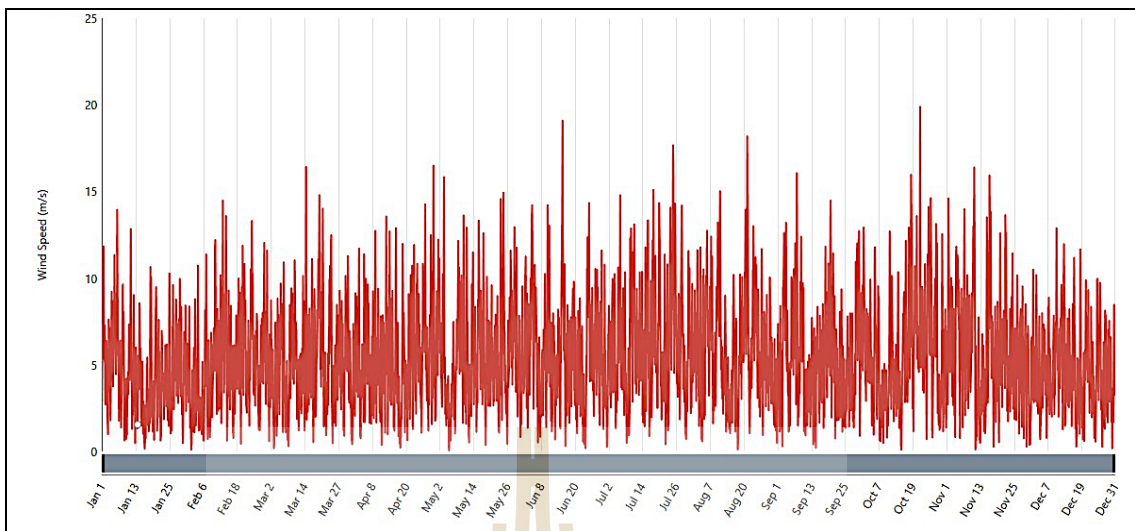
สวนสาธารณะหนองปลาเต่า เป็นสวนสาธารณะที่มีบึงน้ำขนาดใหญ่ อยู่ติดกับศาลเจ้าพ่อพระยาแล ห่างจากสนามกีฬาากลางไปทางทิศตะวันตกประมาณ 2 กิโลเมตร มีพื้นที่ประมาณ 115 ไร่ ที่อยู่ในตัวเมือง ในจังหวัดชัยภูมิ ซึ่งเป็นบริเวณที่น่าสนใจที่ผู้วิจัยต้องการนำระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ไปบำบัดน้ำที่เน่าเสียเนื่องจากการปล่อยปลาจำนวนมากลงในแหล่งน้ำ รูปที่ 4.3 แสดงรูปบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า



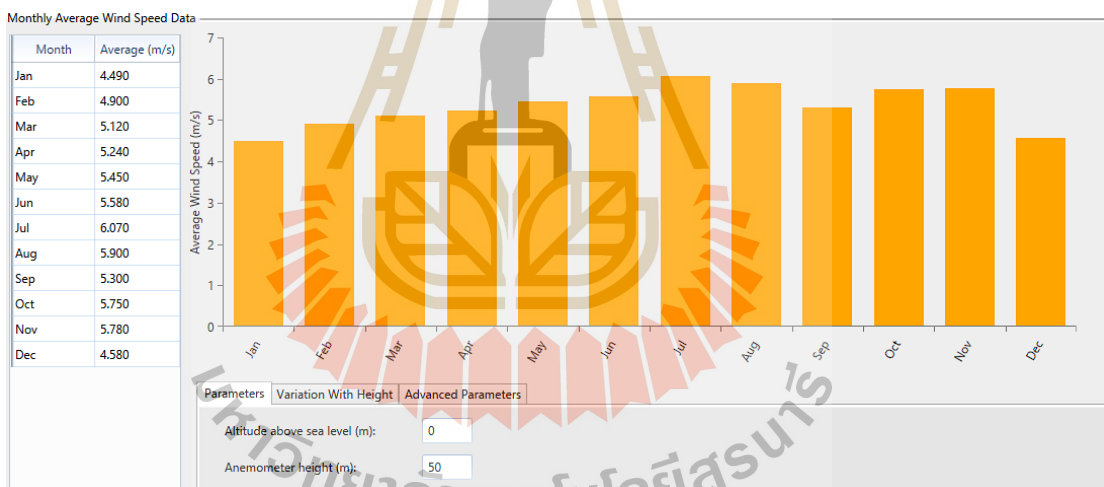
รูปที่ 4.3 บริเวณบึงน้ำสวนสาธารณะหนองปลาเต่า

4.4 ข้อมูลความเร็วลมพื้นที่ศึกษาสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

พลังงานลม เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้กังหันลมผลิตไฟฟ้า กังหันลมสามารถการเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลม เป็นพลังงานกลก่อนนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้า กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากลมยังไม่ปล่อยของเสียที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม ข้อมูลลมของพื้นที่ศึกษาวัดจากสถานีวัดชัยภูมิของการจำลองด้วยโปรแกรม Homer pro สำหรับค่าเฉลี่ยรายเดือน ความเร็วลมสูงสุด คือ 6.07 m/s ความเร็วลมต่ำสุด 4.49 m/s และความเร็วลมเฉลี่ยต่อปี 5.35 m/s โดยวัดที่ความสูง 50 m ข้อมูลความเร็วลม รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายวันและรายปี ของปี พ.ศ. 2561 ตามลำดับ



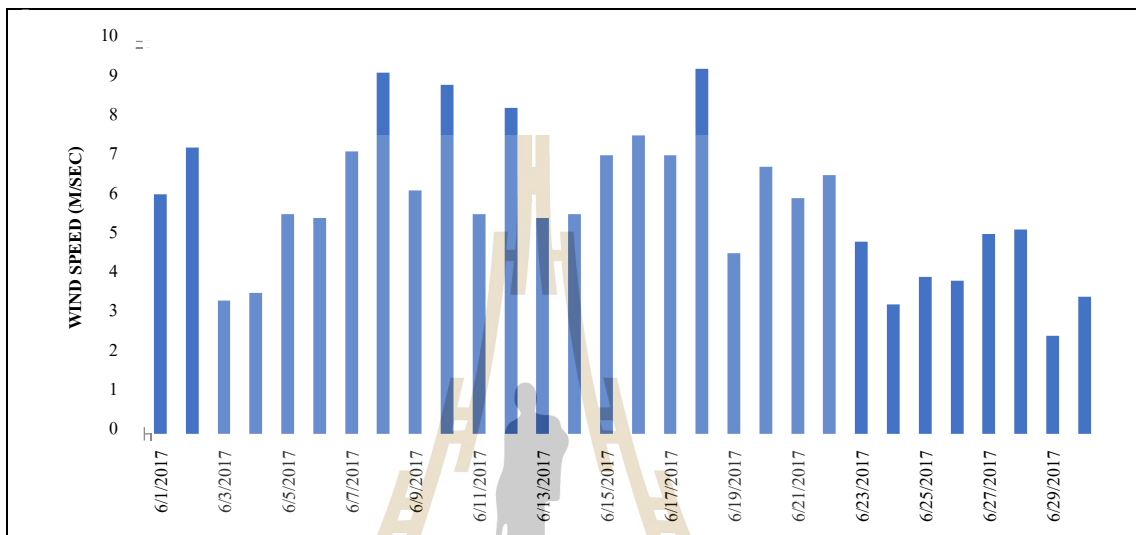
รูปที่ 4.4 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายวันของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ



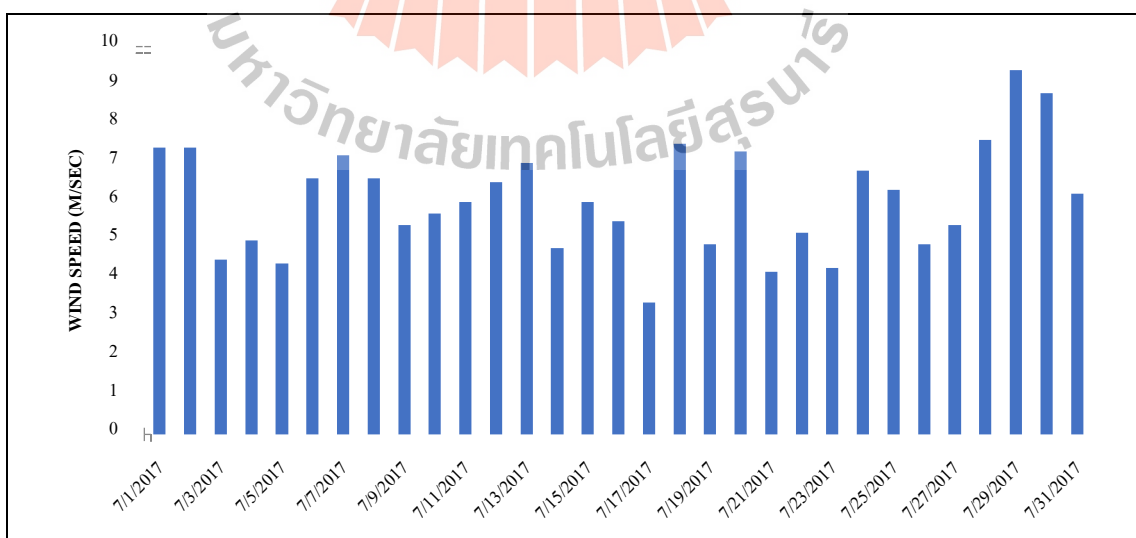
รูปที่ 4.5 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยรายปีของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ

จากการตรวจวัดความเร็วลมบริเวณหนองปลาเฒ่า โดยศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 สามารถแสดงได้ดังแผนภาพความเร็วลมเฉลี่ยรายวันของแต่ละเดือนได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 - 4.14 ซึ่งสอดคล้องใกล้เคียงกับการคาดคะเนของโปรแกรม Windy ที่ความเร็วลมในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่าอยู่ที่ประมาณ 5.3 m/s กำลังการผลิตไฟฟ้าแปรผันต่อความเร็วลมที่ตัวกังหันได้รับ แสดงในรูปที่ 4.15

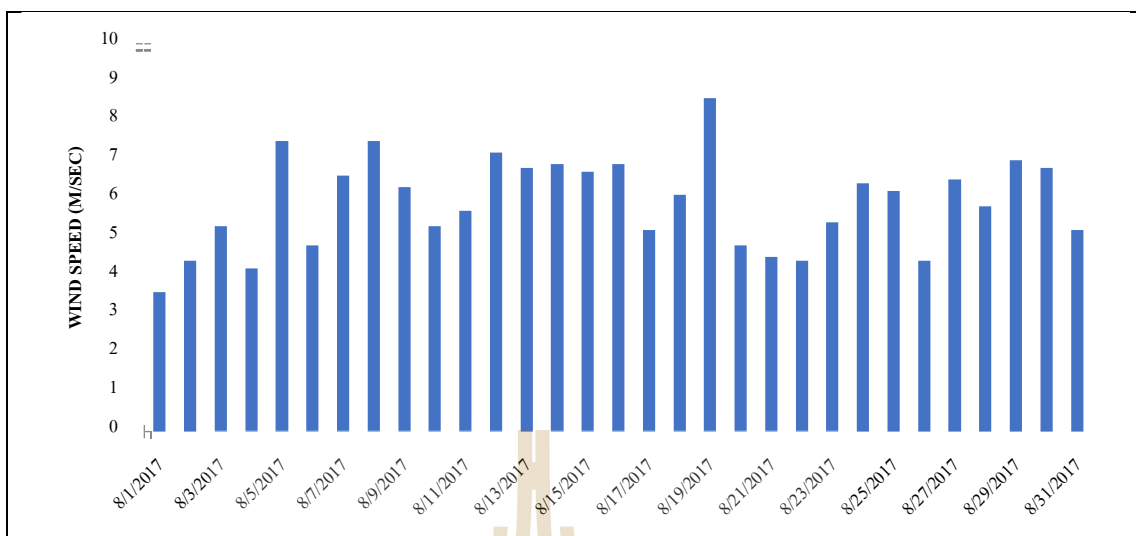
Windy เป็น โปรแกรมสำหรับพยากรณ์อากาศ ประกอบไปด้วย ข้อมูลจากทางศูนย์พยากรณ์ อากาศระยะปานกลางแห่งยุโรป (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts หรือ ECMWF) และระบบพยากรณ์อากาศโลก (Global Forecast System หรือ GFS) ซึ่งเป็น 2 โมเดลการ พยากรณ์อากาศที่น่าเชื่อถือที่สุด และข้อมูลทางสภาพอากาศอย่างครบถ้วน



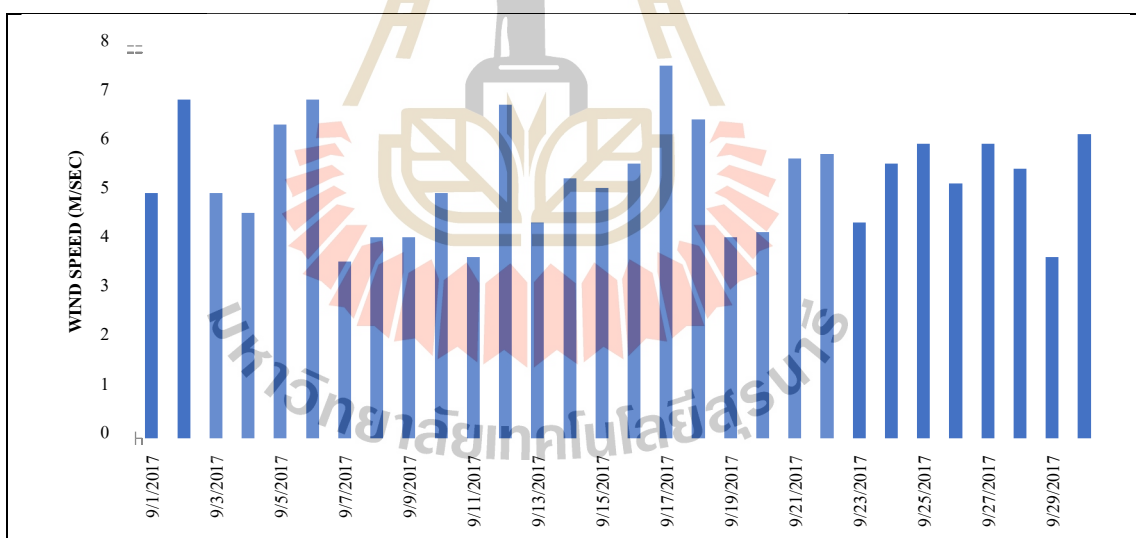
รูปที่ 4.6 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า



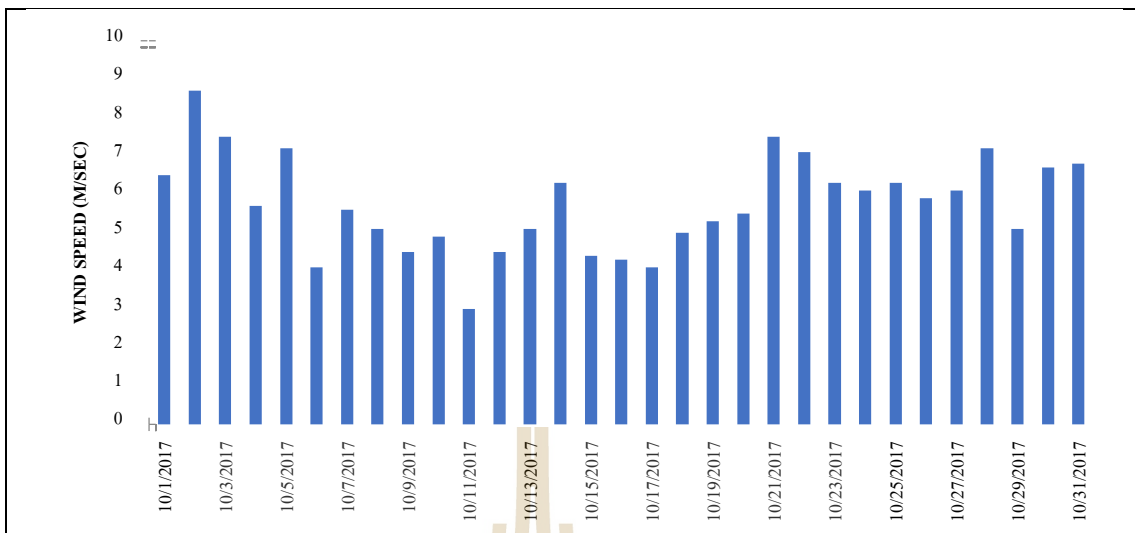
รูปที่ 4.7 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า



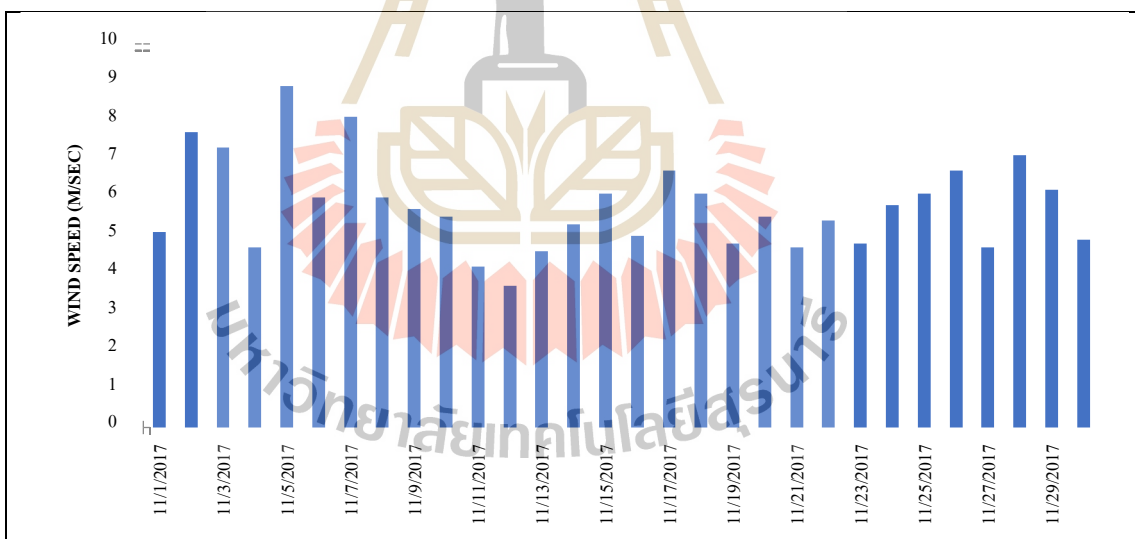
รูปที่ 4.8 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560
บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า



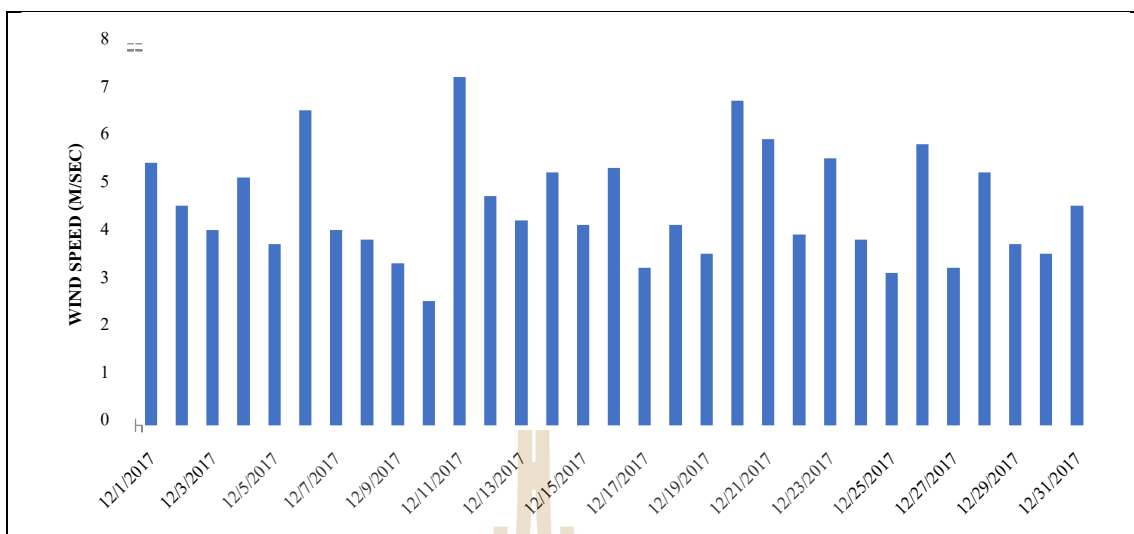
รูปที่ 4.9 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนกันยายน พ.ศ. 2560
บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า



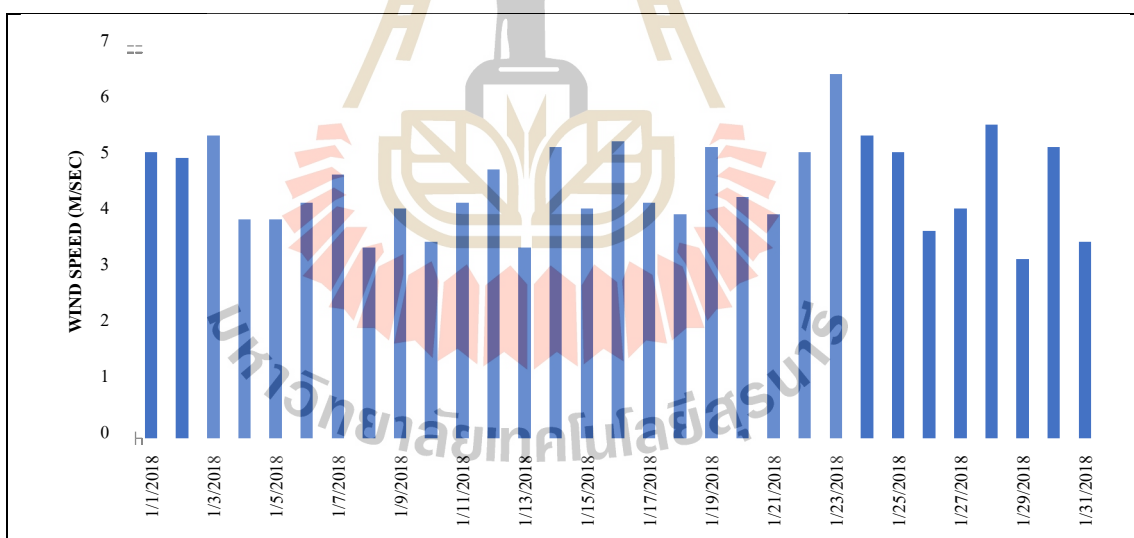
รูปที่ 4.10 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนตุลาคม พ.ศ. 2560
บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า



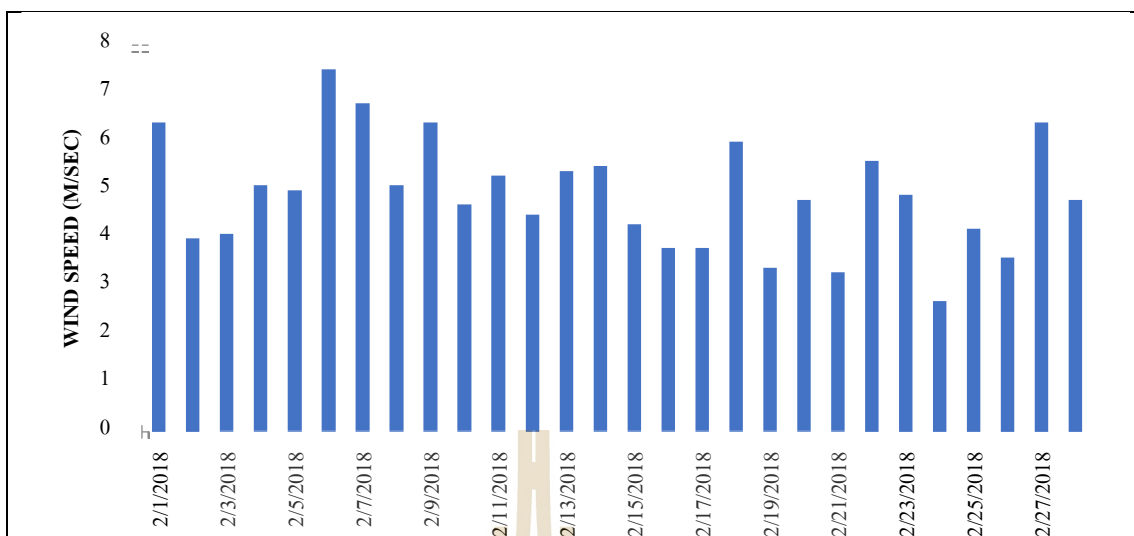
รูปที่ 4.11 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560
บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า



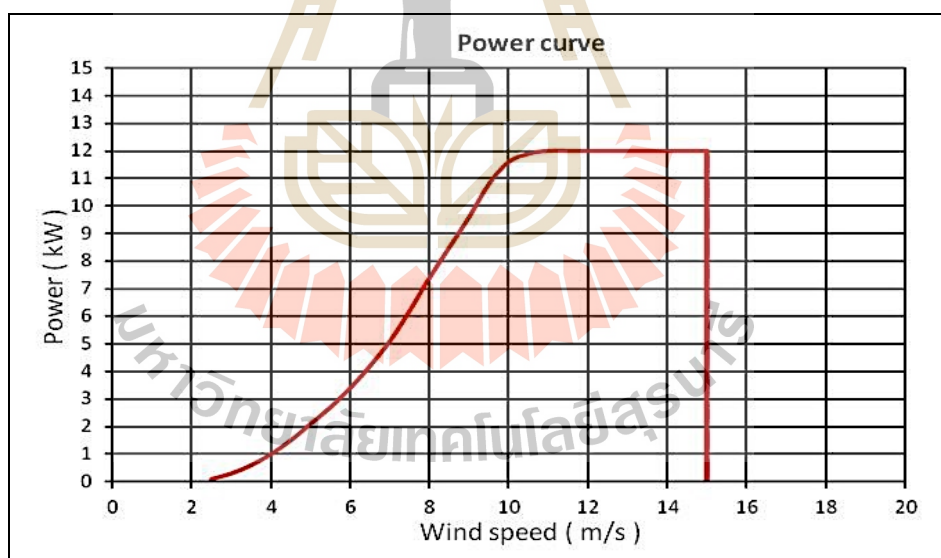
รูปที่ 4.12 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560
บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า



รูปที่ 4.13 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนมกราคม พ.ศ. 2561
บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า



รูปที่ 4.14 ความเร็วลมเฉลี่ยรายวัน ประจำเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561
บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า

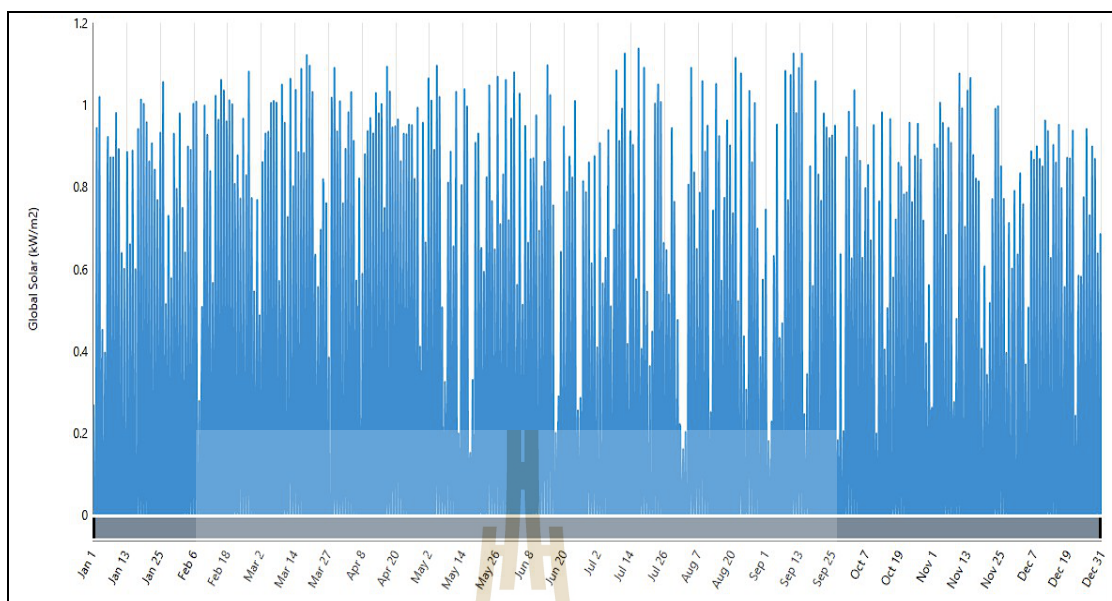


รูปที่ 4.15 กำลังการผลิตไฟฟ้าแปรผันต่อความเร็วลมที่ตัวกังหันได้รับ
(ที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine_design, สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2561)

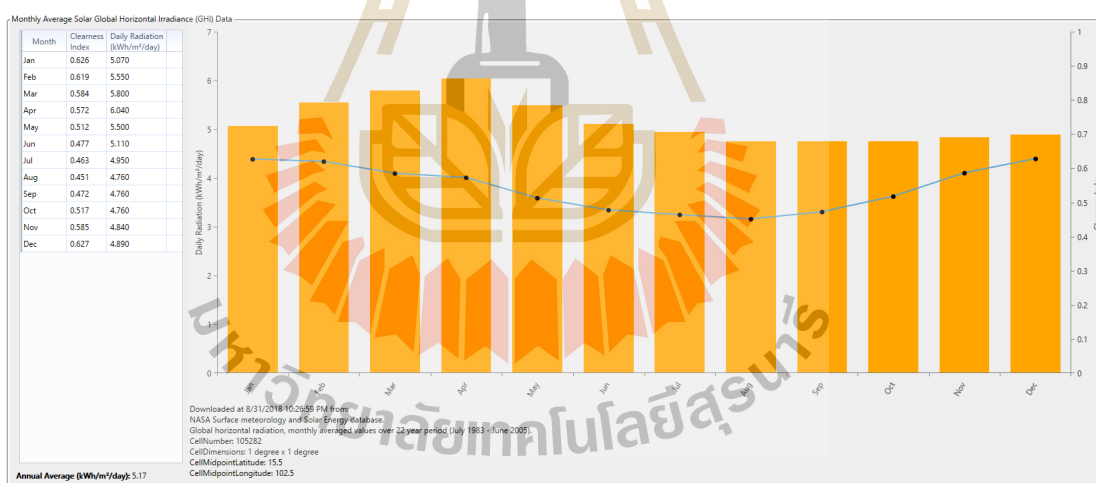
จากข้อมูลตรวจวัดความเร็วลมบริเวณหนองปลาเฒ่า โดยศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ความลมเฉลี่ยในพื้นที่หนองปลาเฒ่า มีความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5.3 m/s ดังนั้นจากกราฟแสดงกำลังการผลิตไฟฟ้าแปรผันต่อความเร็วลมที่ตัวกังหันได้รับ ดังรูปที่ 4.15 จะได้ค่าการผลิตไฟฟ้าต่อกังหันขนาด 10 กิโลวัตต์นั้น สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 21,900 kWh/ปี ดังนั้น กังหันขนาด 10 กิโลวัตต์จำนวน 4 ตัว สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 87,600 kWh/ปี ซึ่งคิดค่าไฟที่อัตราคงที่ 5 บาทตลอดอายุโครงการ จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าได้ 438,000 บาทต่อปี โดยที่ตัวกังหันลมความเร็วลมต่ำนั้น จะมีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปีหรือมากกว่านั้น เราสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายทางไฟฟ้าได้ประมาณ 8,760,000 บาท

4.5 ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์พื้นที่ศึกษาสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิ

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวันซึ่งสอดคล้องกับการใช้งานของโหลดสูงสุดในเวลากลางวัน ในประเทศไทยความเข้มของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์อยู่ในช่วง 20-24 MJ/m²/day ในประเทศไทยพื้นที่ที่มีแสงแดดเฉลี่ยสูงสุดคือ บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ (Renewable energy outlook, 2017) ในพื้นที่จังหวัดชัยภูมิมีการตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์เป็นประจำทุกปี พลังงานเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในเดือนเมษายนของแต่ละปีอยู่ที่ 6.04 kWh/m² และพลังงานเฉลี่ยต่ำสุดคือ 4.760 kWh/m² ในพื้นที่ศึกษามีข้อมูลพลังงานรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 5.17 kWh/m² อุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ย 20 °C จากข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาจำลองโดยใช้โปรแกรม Homer รูปที่ 4.16 และ 4.17 แสดงข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่ศึกษารายวันและรายปี ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์รายวันของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ



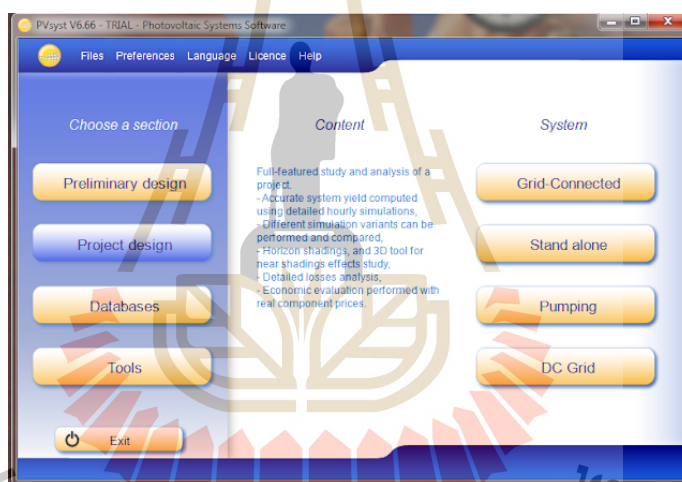
รูปที่ 4.17 ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์รายปีของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นผิว โดยใช้ทุ่นลอยในการรับน้ำหนัก ซึ่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะมีข้อดีมากกว่าการติดตั้งบนพื้นดิน อาทิเช่น มีสิ่งบดบังน้อยกว่าทำให้ได้รับแสงมากกว่าบนพื้นดิน ลดระยะเวลาในการเดินสายไฟ พื้นผิวน้ำมีอุณหภูมิน้อยกว่าพื้นผิวดิน ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า เมื่อความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์

ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำมีค่าต่างกัน ทำให้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงโดยอาศัยขบวนการโฟโตโวลตาอิก ผ่านตัวคอนเวอร์เตอร์ เพื่อส่งแรงดันไฟฟ้า 24 V ไปยังภาระทางไฟฟ้า การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า ในการจำลองสามารถใส่ภาระทางไฟฟ้า (Load) เพื่อดูปริมาณกำลังผลิตเทียบกับภาระทางไฟฟ้าได้ ในส่วนของปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ได้ทำการระบุพิกัดละติจูดและลองจิจูดบริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า เพื่อให้ได้ค่ากำลังผลิตที่แม่นยำขึ้น

4.5.1 การวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม PVsyst

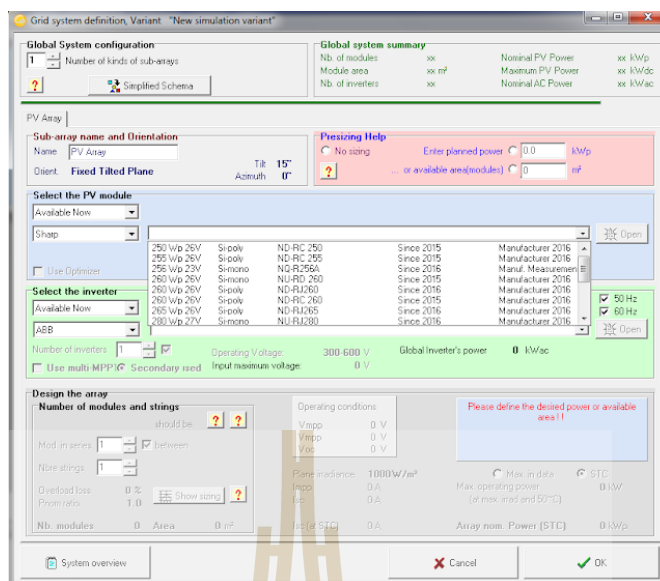
PVsyst เป็นโปรแกรมที่ช่วยออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการออกแบบการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PVsyst เริ่มต้นด้วยการเข้าไปที่การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ Project design และเลือกระบบที่ต้องการออกแบบ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 หน้าต่างตัวเลือกการออกแบบระบบ

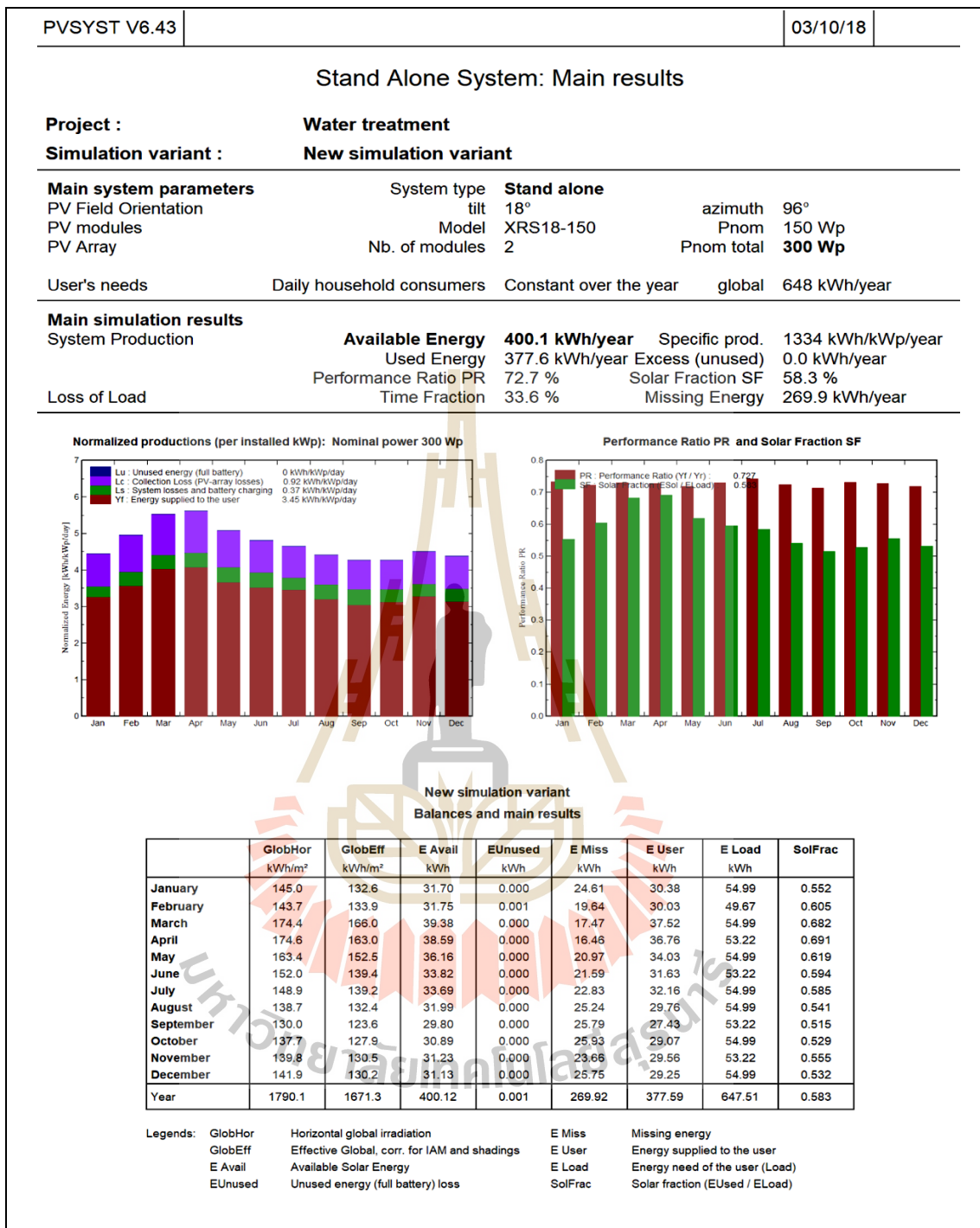
(ที่มา: <https://www.pvsyst.com>)

หลังจากเลือกประเภทของระบบเสร็จ ให้เลือกบริเวณที่ต้องการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นใส่ขนาดพื้นที่เพื่อคำนวณกำลังผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือใส่พิกัดกำลังผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWp) จากนั้นเลือกผลิตภัณฑ์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 4.19

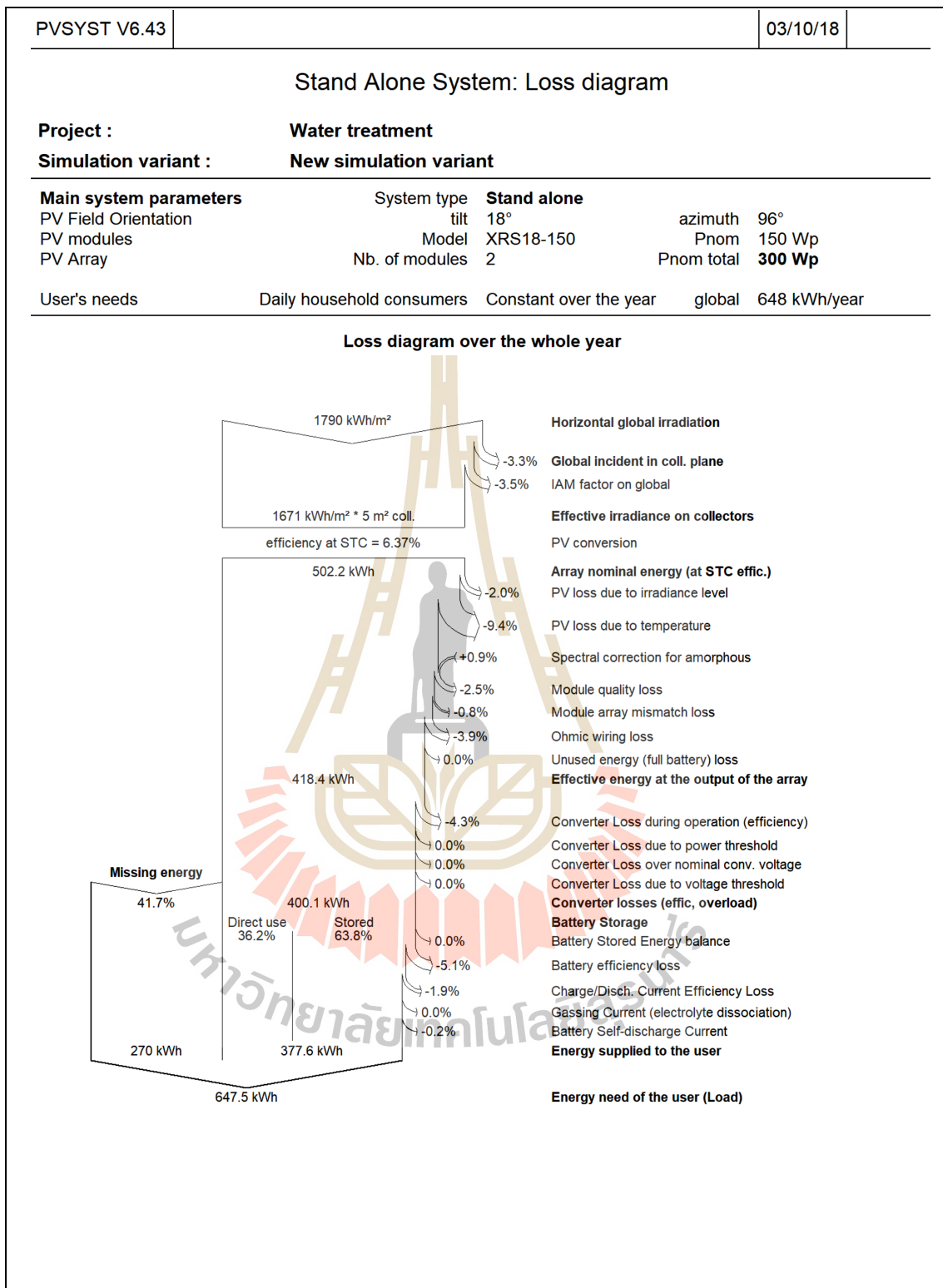


รูปที่ 4.19 หน้าต่างการใส่รายละเอียดของระบบ (ที่มา: <https://www.pvsyst.com/>)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PVsyst จะแสดงกำลังผลิตที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตออกมาแบบรายวันและแบบรายปี ผลการประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบ จากการใช้แบบจำลองการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกตัวอิสระ (Standalone) ในการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 150 W จำนวน 2 แผง บริเวณพื้นที่กรณีศึกษา พบว่ามีความเข้มแสงเฉลี่ยรายปี อยู่ที่ 1790.1 kWh/m² และมีรังสีอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ 1671.3 kWh/m² พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังการติดตั้ง 1,334 kWh/kW_{max}/y สมรรถนะของระบบ (Performance Ratio) เท่ากับ 0.72 การสูญเสียพลังงานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Collection Loss) มีค่าเท่ากับ 0.92 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลวัตต์สูงสุดต่อวัน เสียพลังงานไฟฟ้าในระบบ (System Loss) 0.37 kWh/kW_{max}/d โดยอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส รูปที่ 4.20 แสดง Energy Flow ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ และรูปที่ 4.21 แสดงรูปแบบการสูญเสียพลังงาน



รูปที่ 4.20 Energy Flow ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ
 (ที่มา: <https://www.pvsyst.com>)



รูปที่ 4.21 รูปแบบการสูญเสียพลังงาน
 (ที่มา: <https://www.pvsyst.com>)

4.6 สรุป

ในบทที่ 4 นี้ได้ทำการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงาน บริเวณพื้นที่การศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ สมดุลพลังงานของจังหวัดชัยภูมิ ทำการตรวจวัดความเร็วลมบริเวณหนองปลาเฒ่า โดยศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการคาดคะเนของโปรแกรม HOMER Pro[®] แลพโปรแกรม Windy ที่ความลมเฉลี่ยในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่าอยู่ที่ประมาณ 5.3 m/s การผลิตไฟฟ้าของกังหันลมความเร็วต่ำขนาด 10 กิโลวัตต์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 21,900 kWh/m² การวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย โปรแกรม Homer และ PVsyst ซึ่งแสดงกำลังผลิตที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตออกมาแบบรายวันและแบบรายปี การวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 150 W จำนวน 2 แผง บริเวณพื้นที่การศึกษา พบว่ามีความเข้มแสงเฉลี่ยรายปี อยู่ที่ 1790.1 kWh/m² และมีรังสีอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ 1671.3 kWh/m² พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังการติดตั้ง 1,334 kWh/kW_{max}/y ดังนั้น พื้นที่การศึกษานี้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ จึงเหมาะสมที่จะเป็นกรณศึกษาในงานวิจัยนี้

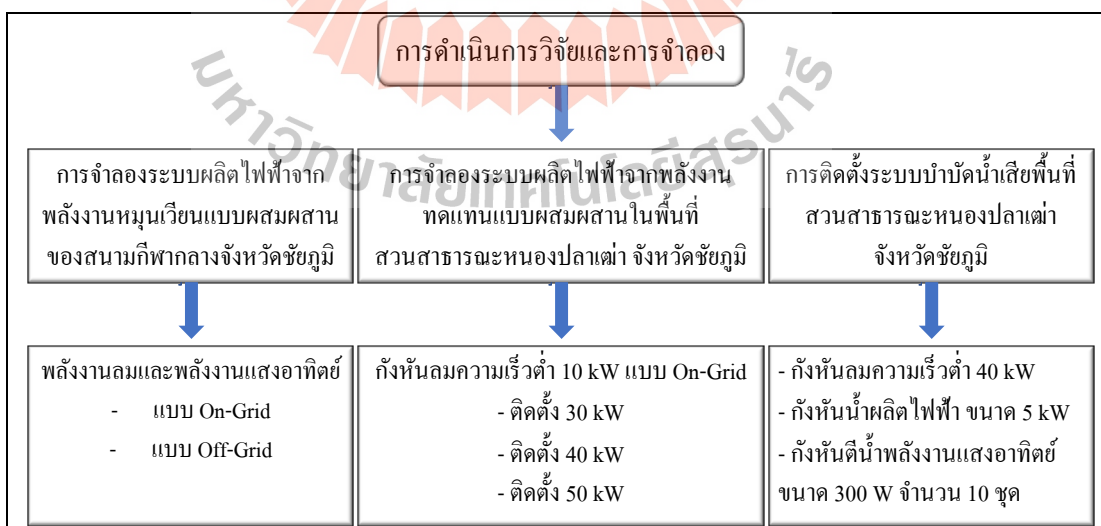


บทที่ 5

วิธีดำเนินการวิจัยและการจำลอง

5.1 กล่าวนำ

การศึกษาวิจัยระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานพื้นที่ทดลอง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ประกอบด้วย การจำลอง 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬากลางจังหวัดชัยภูมิ และส่วนที่สองการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสานในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ แผนภาพการดำเนินการวิจัยและการจำลองแสดงในรูปที่ 5.1 จุดประสงค์หลักของการทดสอบทั้งสองส่วนมีเป้าหมายเดียวกัน คือ เพื่อศึกษาระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับโหลดการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทดลองและใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนเพื่อบำบัดน้ำที่เน่าเสียในบึงหนองปลาเต่ารวมทั้งลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในบริเวณศึกษา ในบทนี้ผู้ทำวิจัยกล่าวถึงการออกแบบระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน การจำลองระบบโดยโปรแกรม HOMER Pro® และการวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมถึงนำเสนอการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียที่ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเต่า โดยมีรายละเอียดแสดงไว้ดังนี้

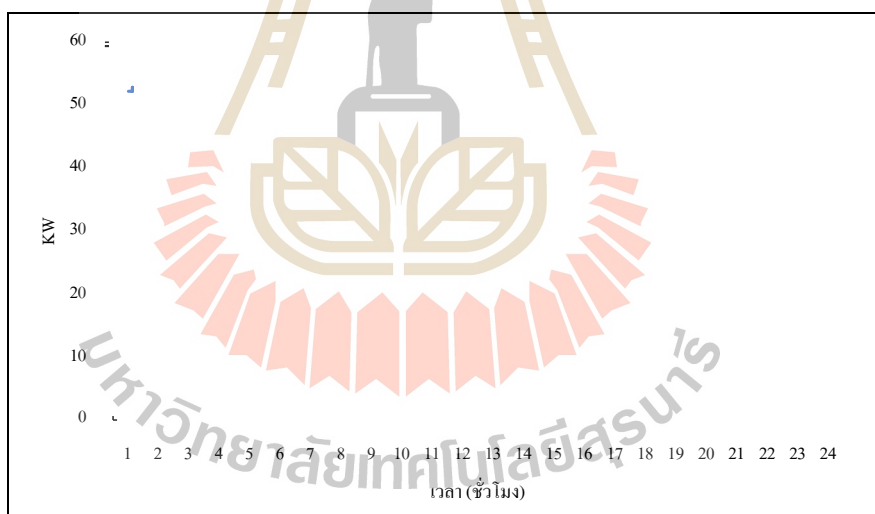


รูปที่ 5.1 แผนภาพการดำเนินการวิจัยและการจำลอง

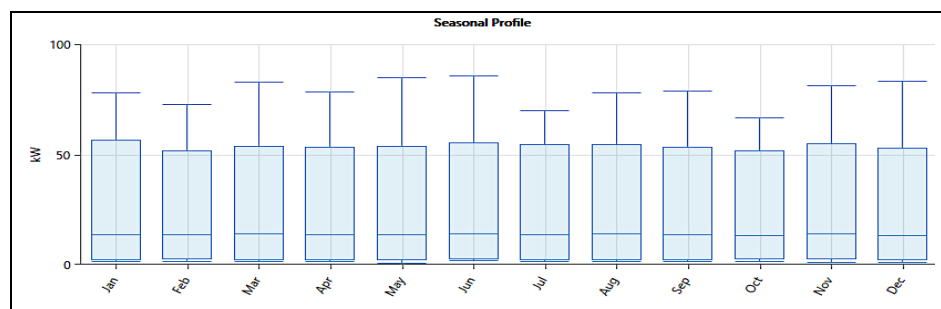
5.2 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน โหลดไฟฟ้าสนามกีฬากลาง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

5.2.1 โหลดทางไฟฟ้าของสนามกีฬากลาง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

ก่อนที่จะเลือกระบบพลังงานหมุนเวียนประเภทใดหรือขนาดใดนั้น จำเป็นต้องมีการประเมินภาระทางไฟฟ้าอย่างรอบคอบก่อน ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าอาศัยข้อมูลภาระทางไฟฟ้าเดิมของสนามกีฬากลาง จังหวัดชัยภูมิ ของปี พ.ศ. 2560 ได้จากการตรวจวัดจากการติดตั้งระบบเก็บข้อมูลผ่านระบบเก็บข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ภาระทางไฟฟ้าหลักที่สนามกีฬากลางจังหวัดชัยภูมิ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่างทั่วไป หลอดไฟสปอร์ตไลท์ของสนามกีฬา ระบบสูบน้ำด้วยไฟฟ้า ช่วงภาระทางไฟฟ้าสูงสุด เกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ซึ่งจากการคำนวณโดยโปรแกรม HOMER Pro® คิดเป็นภาระทางไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเฉลี่ย 331.6 kWh/day ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด 85.64 kW รูปที่ 5.2 และ รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของภาระทางไฟฟ้ารายวันและภาระทางไฟฟ้ารายเดือน ตามลำดับ



รูปที่ 5.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของภาระทางไฟฟ้ารายวัน

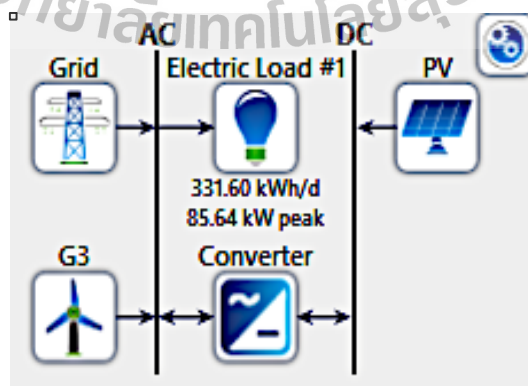


รูปที่ 5.3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของภาระทางไฟฟ้ารายเดือน

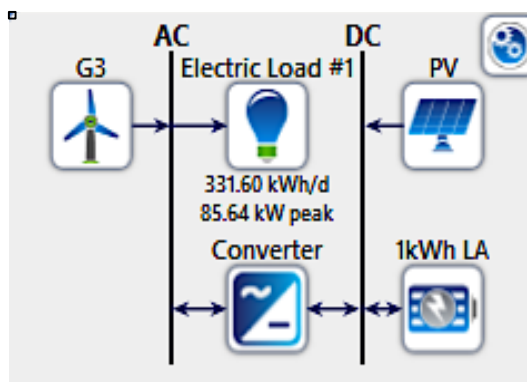
5.2.2 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน ด้วยโปรแกรม HOMER Pro®

ในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน โหลดทางไฟฟ้าของสนามกีฬาากลาง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ จะเป็นการจำลองโดยใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ มีการจำลองทั้งแบบเชื่อมต่อกับระบบและไม่เชื่อมต่อกับระบบ

โดยหาขนาดของระบบย่อยจากความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้าของสนามกีฬาากลาง จังหวัดชัยภูมิ กับประเภทของระบบ โดยใช้โปรแกรม HOMER Pro® ในการหาขนาดระบบย่อยที่เหมาะสมกับการใช้งานภาระทางไฟฟ้าของระบบ ทำการเลือกส่วนประกอบของระบบจากซอฟต์แวร์ HOMER Pro® สำหรับการออกแบบระบบแบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อกับระบบ ดังแสดงในรูปที่ 5.4 และระบบแบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบ แสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อกับระบบ



รูปที่ 5.5 ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ

จากรูปที่ 5.4 แสดงระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เชื่อมต่อแบบเชื่อมต่อกับระบบ ที่ประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า คอนเวอร์เตอร์ และระบบกริดสำหรับเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำรอง รูปที่ 5.5 แสดงระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เชื่อมต่อแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ ที่ประกอบไปด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า คอนเวอร์เตอร์ และแบตเตอรี่สำหรับเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำรอง

ตารางที่ 5.1 ราคาอุปกรณ์ในระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน

อุปกรณ์	ค่าอุปกรณ์ (บาท)	ค่าติดตั้งและขนส่ง (บาท)	ค่าซ่อมบำรุงต่อปี (บาท)
กังหันลม 10 kW	126,000	35,000	808.03
เซลล์แสงอาทิตย์ 330 W	4242.93	808.03	201.76
แบตเตอรี่ 1 kWh	3337.32	100.88	50.61
คอนเวอร์เตอร์	1820.81	0.046	50.61

หลังจากทำการเชื่อมต่อบระบบผลิตพลังงานทดแทนในโปรแกรม เพื่อให้ผลการทดลองมีค่าที่ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุดจึงต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์บางส่วน ได้แก่ ค่าอุปกรณ์ ค่าติดตั้ง และค่าซ่อมบำรุง รวมถึงอัตราการซื้อและขายไฟฟ้า ตารางที่ 5.1 แสดงราคาอุปกรณ์ในระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน โดยที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้กำหนดอัตราการรับซื้อไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานทดแทนที่ราคา 6.01 บาทต่อหน่วย (การรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้า

พลังงานแสงอาทิตย์และระเบียบที่เกี่ยวข้อง, 2558) และคิดค่าพลังงานไฟฟ้าในราคา 4.35 บาทต่อหน่วย (อัตราค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2558) หลังจากป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมจะ ได้ผลการจำลองดังแสดงในหัวข้อถัดไป

5.2.3 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน โหลดการใช้ งานไฟฟ้าของสนามบินพากกลาง จังหวัดชัยภูมิ

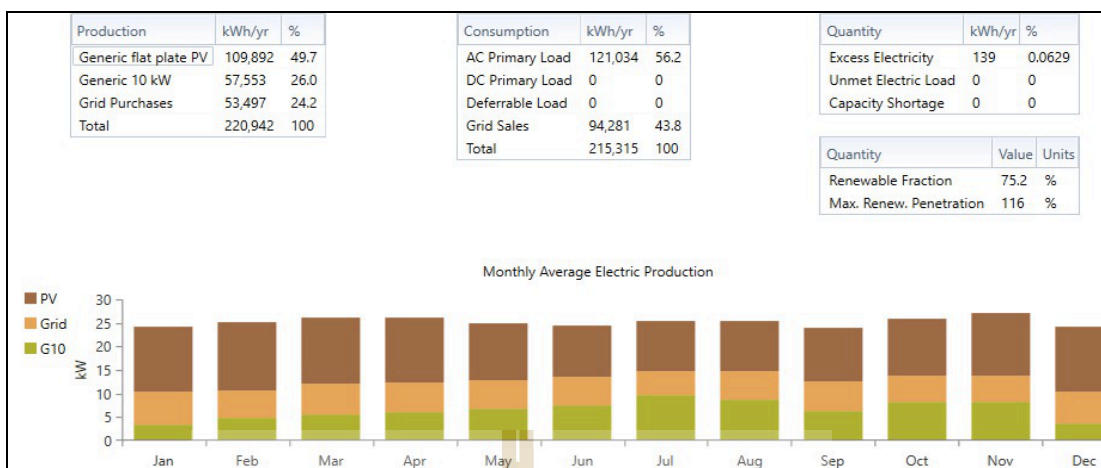
ผลการจำลองสำหรับการศึกษานี้จะแสดงผลของขนาดระบบย่อยของแหล่งผลิต พลังงานทดแทน และค่าใช้จ่ายในการลงทุน ในรูปที่ 5.6 และ 5.7 แสดงผลการจำลองของระบบ ผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อระบบ และรูปที่ 5.8 และ 5.9 แสดงผลการจำลองของระบบ ผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อระบบ โดยใช้การรวมกันของแหล่งพลังงานทดแทนแบบ ผสมผสานเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าไปยังโหลด

1) ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียน แบบเชื่อมต่อระบบ

ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแบบเชื่อมต่อระบบ เป็นการ ใช้ระบบกริดเป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรอง ซึ่งในสถาปัตยกรรมของส่วนประกอบสำหรับ PV (kW) การเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถโดยเลือกติดตั้งจำกัดกำลังไฟฟ้า 70 kW กังหันลมความเร็วต่ำ 6 ตัว 18 kW ซึ่งมีค่ารวมใกล้เคียงค่าโหลดสูงสุดของระบบ และคอนเวอร์เตอร์ 58.5 kW ในส่วน ค่าใช้จ่ายจะคำนวณต้นทุนของระบบทั้งหมดเป็นเวลา 25 ปี โดยมีค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 1.77 ล้านบาท ผลการจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อระบบ แสดงในรูป 5.6 การ ผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 5.7

Architecture						Cost			
⚠	☀	✈	🌊	🔌	🏠	NPC (฿)	COE (฿)	Operating cost (฿/yr)	Initial capital (฿)
	PV (kW)	G10	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch				
	70.0	6	1,000	58.5	CC	-฿700,475	-฿0,252	-฿191,360	฿1.77M
	70.0		1,000	58.5	CC	฿1.84M	฿0.820	฿63,779	฿1.02M

รูปที่ 5.6 ผลการจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อระบบ



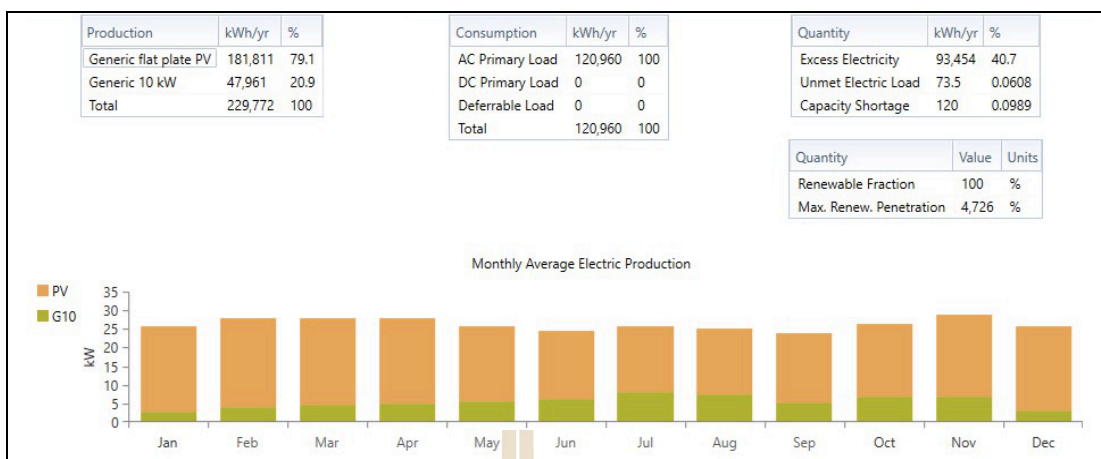
รูปที่ 5.7 การผลิตและการใช้ไฟฟ้า

2) ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ

ในส่วนของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ ระบบจะใช้พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ และมีขนาดของระบบพลังงานหมุนเวียนที่ใหญ่ขึ้น สถาปัตยกรรมของส่วนประกอบสำหรับ PV (kW) การเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถโดยโปรแกรม HOMER Pro® เลือกใช้ติดตั้งกำลังไฟฟ้า 116 kW กังหันลมความเร็วต่ำ 5 ตัว ขนาด 50 kW แบตเตอรี่ขนาด 1,043 kWh และคอนเวอร์เตอร์ 91.5 kW ตามปริมาณค่าภาระทางไฟฟ้าสูงสุดในส่วนค่าใช้จ่ายจะคำนวณต้นทุนของระบบทั้งหมดเป็นเวลา 25 ปี ดังนั้น ค่าต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) 8.96 ล้านบาท ค่าพลังงาน และค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 5.85 ล้านบาท ผลการจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ แสดงในรูป 5.8 การผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าจะแสดงในรูปที่ 5.9

Architecture							Cost			
⚠	🔌	🌬	🔋	🏠	🔄	📡	NPC (฿)	COE (฿)	Operating cost (฿/yr)	Initial capital (฿)
	🔌	🌬	🔋	🏠	🔄	📡	฿8.96M	฿5.73	฿240,318	฿5.85M
	🔌	🌬	🔋	🏠	🔄	📡	฿10.9M	฿6.96	฿282,305	฿7.23M

รูปที่ 5.8 ผลการจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ



รูปที่ 5.9 การผลิตและการใช้ไฟฟ้า ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อระบบ

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบแบบเชื่อมต่อระบบและไม่เชื่อมต่อระบบ

ระบบ	PV (ล้านบาท)	G10 (ล้านบาท)	Grid (ล้านบาท)	Battery (ล้านบาท)	Converter (บาท)	Total cost (ล้านบาท)
เชื่อมต่อระบบ	1.79	1.57	- 4.34	-	272,452	- 0.70
ไม่เชื่อมต่อระบบ	2.97	1.31	-	4.25	426,546	8.96

ตารางที่ 5.3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบแบบเชื่อมต่อระบบและไม่เชื่อมต่อระบบ

ระบบ	Generic PV	Generic 10 kW	Grid purchases	Total
เชื่อมต่อระบบ	109,892 kWh/yr.	57,553 kWh/yr.	53,497 kWh/yr.	220,942 kWh/yr.
	49.7%	26.0%	24.2%	100%
ไม่เชื่อมต่อระบบ	181,811 kWh/yr.	47,961 kWh/yr.	-	229,772 kWh/yr.
	79.1%	20.9%	-	100%

ตารางที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบแบบเชื่อมต่อระบบและไม่เชื่อมต่อระบบ ซึ่งระบบแบบเชื่อมต่อระบบ มีต้นทุนรวมน้อยกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อระบบถึง 10 เท่า เนื่องจากระบบแบบเชื่อมต่อระบบสามารถขายไฟฟ้ากลับไปยังกริดหรือระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ ระบบแบบไม่เชื่อมต่อระบบต้องการหน่วยผลิตไฟฟ้ามากกว่าระบบแบบ

เชื่อมต่อระบบและมีระบบจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาดใหญ่จึงทำให้ระบบแบบไม่เชื่อมต่อระบบมีค่าใช้จ่ายรวมสูงกว่า

ตารางที่ 5.3 แสดงการผลิตไฟฟ้าของระบบแบบเชื่อมต่อระบบและไม่เชื่อมต่อระบบ ระบบแบบเชื่อมต่อระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 220,942 kWh/yr. ซึ่งน้อยกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อระบบที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 229,772 kWh/yr. เนื่องจากระบบแบบเชื่อมต่อระบบมีหน่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อยและสามารถซื้อไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า (53,497 kWh/yr.) ที่ใช้สำหรับเป็นพลังงานไฟฟ้าสำรองขณะที่มีโหลดสูงสุดและในช่วงเวลากลางคืน

จากการศึกษานี้ การจัดการพลังงานของแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมนั้นมีความสำคัญมากเพื่อให้ใช้อุปกรณ์แปลงพลังงานและใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์มากที่สุด สำหรับพื้นที่ศึกษา ภาระทางไฟฟ้าของสถานศึกษาภาคกลาง จังหวัดชัยภูมิ โดยใช้ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าย้อนหลัง 1 ปี จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบย่อยของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสม และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กักเก็บผลิตไฟฟ้า แบตเตอรี่ และอุปกรณ์อื่น ๆ ตามโครงสร้างของระบบทั้งแบบเชื่อมต่อระบบและไม่เชื่อมต่อระบบ สำหรับโหลดการใช้งานไฟฟ้านี้ ควรใช้เป็นระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อระบบ โดยใช้พลังงานทดแทนที่มีอยู่ในพื้นที่ คือ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีศักยภาพสามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบ และใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าเข้ามาช่วยเมื่อระบบมีโหลดการใช้งานสูงสุดหรือในช่วงเวลาที่ระบบพลังงานหมุนเวียนไม่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอกับความต้องการ

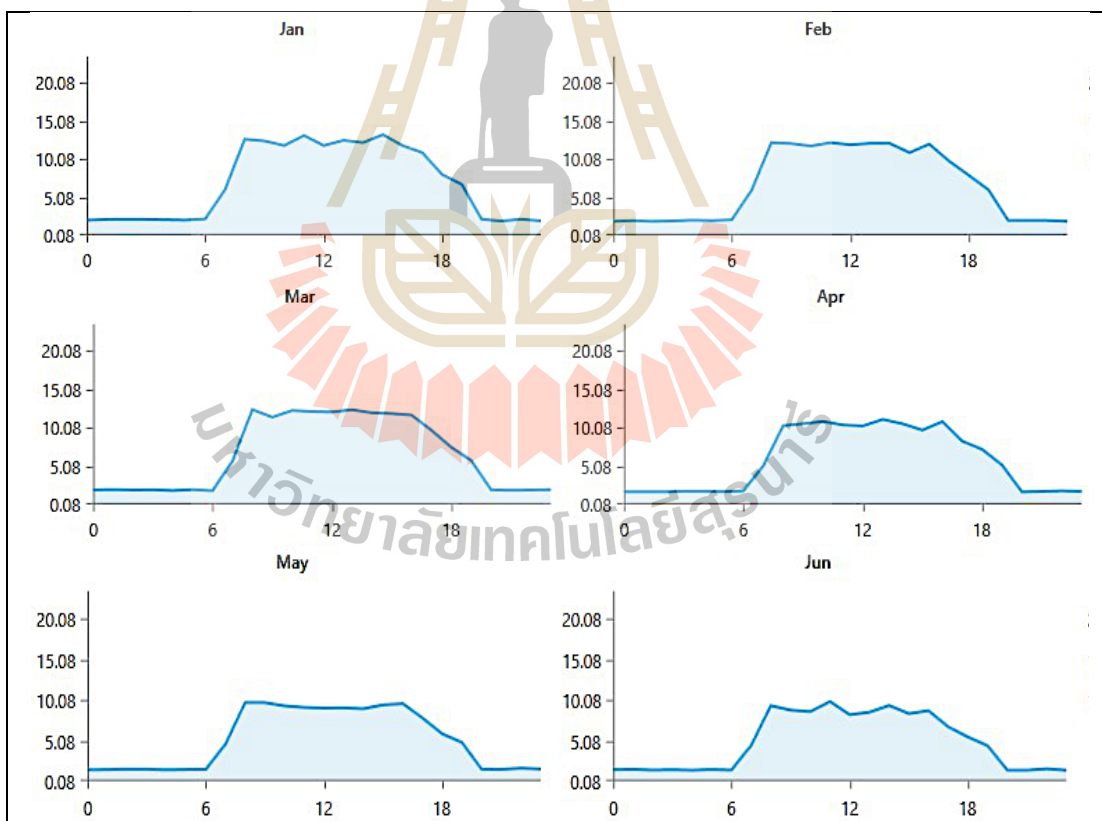
5.3 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

ในการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่กรณีศึกษาสวนสาธารณะหนองปลาเต่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ เป็นการจำลองโดยใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานลมเพียงอย่างเดียวเนื่องจากพื้นที่ศึกษามีพื้นที่จำกัดหากติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องใช้พื้นที่หลายตารางเมตร พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียและระบบแสงสว่างในบริเวณบึงหนองปลาเต่า โดยหาขนาดของระบบย่อยจากความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้าของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ กับประเภทของระบบ โดยใช้โปรแกรม HOMER Pro® ในการหาขนาดระบบย่อยที่เหมาะสมกับการใช้งานภาระทางไฟฟ้าของระบบ ทำการเลือกส่วนประกอบของระบบจากซอฟต์แวร์ HOMER Pro® สำหรับการออกแบบระบบแบบผลิตพลังงานหมุนเวียน เนื่องจาก

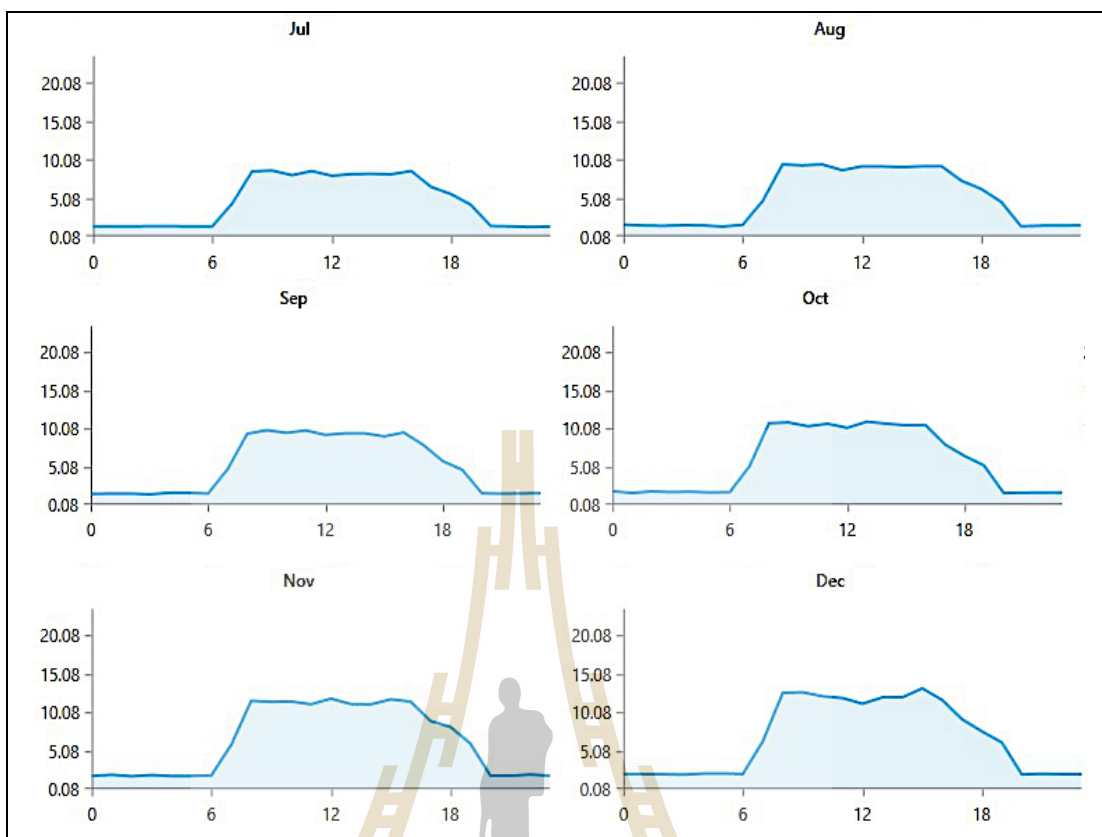
บริเวณบึงหนองปลาเต่ามีพื้นที่ในแนวราบจำกัด ผู้วิจัยจึงศึกษาเฉพาะการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อบระบบและไม่เชื่อมต่อบระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 โหลดทางไฟฟ้าของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าอาศัยข้อมูลภาระทางไฟฟ้าเดิมของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ ย้อนหลัง ที่ได้จากการตรวจวัดจากการติดตั้งระบบเก็บข้อมูลผ่านระบบเก็บข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ภาระทางไฟฟ้าหลักที่สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่างทั่วไป ระบบสูบน้ำเพื่อการเกษตร และระบบบำบัดน้ำเสีย ภาระทางไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และมีนาคม ซึ่งจากการคำนวณโดยโปรแกรม HOMER Pro® คิดเป็นภาระทางไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเฉลี่ย 140 kWh/day ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด 23.57 kW รูปที่ 5.10 และ รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของภาระทางไฟฟ้ารายเดือนและภาระทางไฟฟ้ารายปี ตามลำดับ

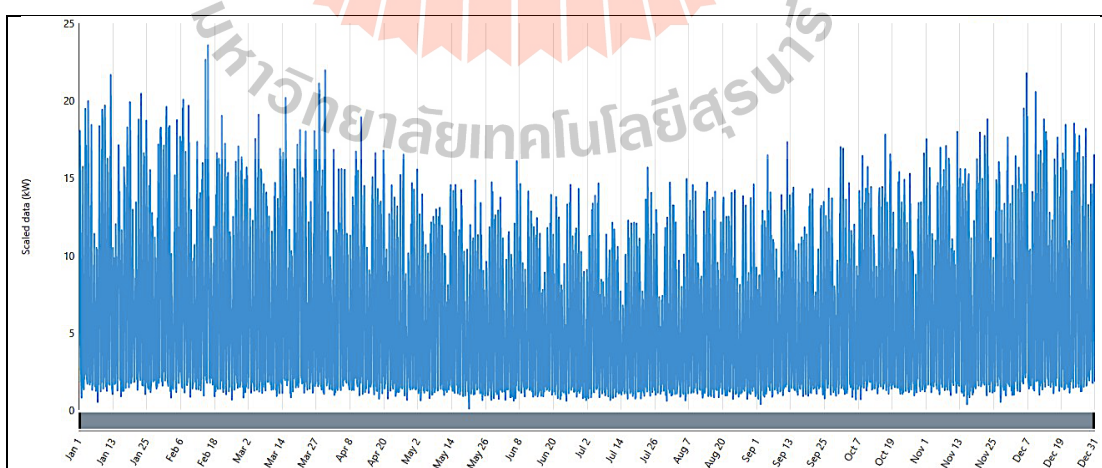


ก) ภาระทางไฟฟ้ารายเดือนของเดือน มกราคม – มิถุนายน



ข) ภาระทางไฟฟ้ารายเดือนของเดือน กรกฎาคม - ธันวาคม

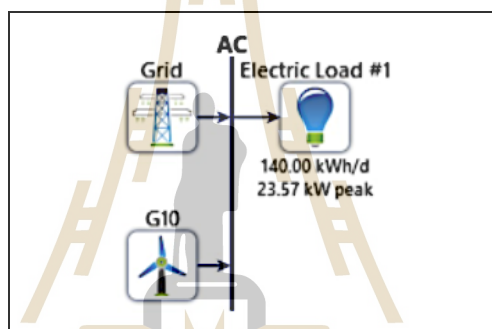
รูปที่ 5.10 ภาระทางไฟฟ้ารายเดือนของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ



รูปที่ 5.11 ภาระทางไฟฟ้ารายปีของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

5.3.2 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยใช้กัณฑ์ลความเร็วต่ำ

การหาขนาดของระบบย่อยจากความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม HOMER Pro[®] ในการหาขนาดระบบย่อยที่เหมาะสมกับการใช้งานภาระทางไฟฟ้าของระบบ ทำการเลือกส่วนประกอบของระบบจากซอฟต์แวร์ HOMER Pro[®] สำหรับการออกแบบระบบแบบผลิตพลังงานหมุนเวียน โดยใช้กัณฑ์ลความเร็วต่ำ ระบบแบบเชื่อมต่อบระบบ สำหรับการศึกษานี้ใช้ระบบแบบเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าเนื่องจากการศึกษาที่ผ่านมา ระบบแบบเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้ามีความเหมาะสมมากกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อบระบบและมีราคาถูกกว่า ดังแสดงในรูปที่ 5.12 โดยใช้ขนาดของการติดตั้งกัณฑ์ลความเร็วต่ำ 3 ตัว 4 ตัว และ 5 ตัว ขนาดกำลังการผลิตแต่ละ 10 kW



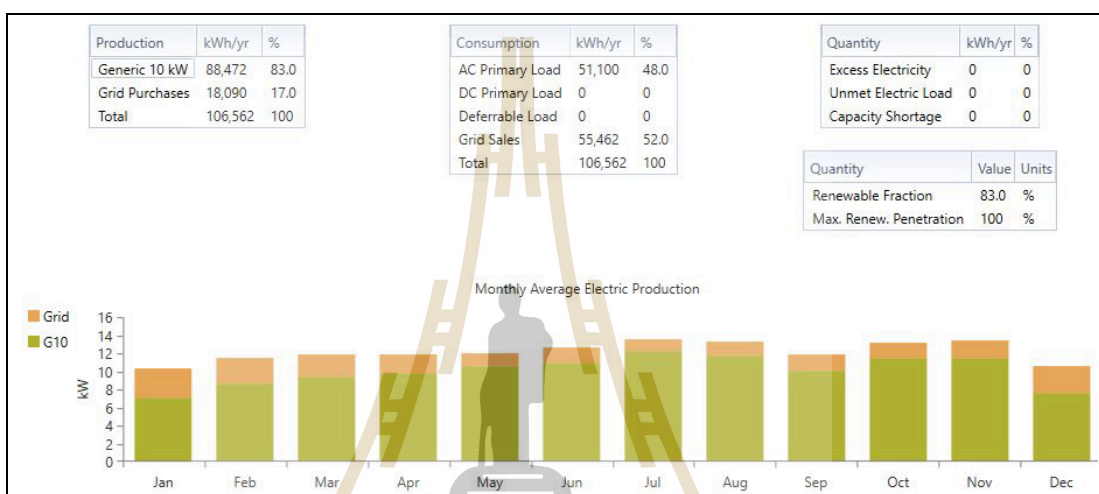
รูปที่ 5.12 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยใช้กัณฑ์ลความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อบระบบ

1) การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า กัณฑ์ลงานลความเร็วต่ำ 3 ตัว ขนาด 30 kW

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานโดยใช้กัณฑ์ลความเร็วต่ำขนาด 30 kW แบบเชื่อมต่อบระบบเป็นการใช้ระบบกริดเป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรอง ถ้าติดตั้งระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนจะแสดงในรูป 5.13 ซึ่งค่าใช้จ่ายจะคำนวณต้นทุนของระบบทั้งหมดเป็นเวลา 25 ปี โดย ต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) -2.84 ล้านบาท และค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 378,000 บาท การผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าจะแสดงในรูปที่ 5.14 ระบบมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 83.0% และซื้อจากระบบไฟฟ้า 17%

Architecture					Cost				
⚠	✈	⚙	G10	Grid (kW)	Dispatch	NPC (฿)	COE (฿)	Operating cost (฿/yr)	Initial capital (฿)
	✈	⚙	3	1,000	CC	-฿2.84M	-฿2.06	-฿249,238	฿378,000
		⚙		1,000	CC	฿2.84M	฿4.30	฿219,730	฿0.00

รูปที่ 5.13 ผลการจำลองค่าติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า โดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ 30 kW



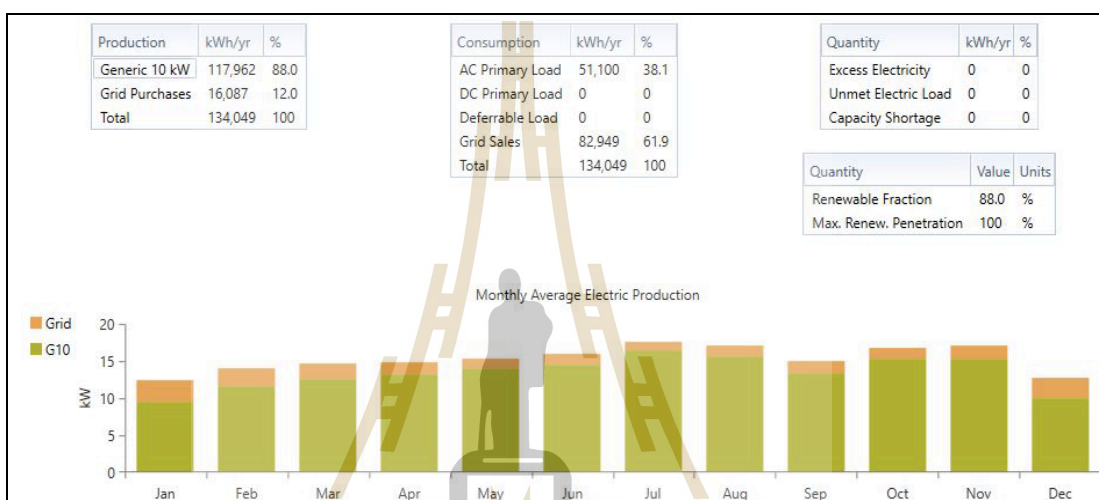
รูปที่ 5.14 การผลิตและการใช้ไฟฟ้า โดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ 30 kW

2) การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า กังหันลมความเร็วต่ำ 4 ตัว ขนาด 40 kW

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ 40 kW แบบเชื่อมต่อระบบมีค่าติดตั้งระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแสดงในรูป 5.15 ซึ่งค่าใช้จ่ายจะคำนวณต้นทุนของระบบทั้งหมดเป็นเวลา 25 ปี โดย ต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) -4.95 ล้านบาท และค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 504,000 บาท การผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าจะแสดงในรูปที่ 5.16 ระบบมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 88.0% และซื้อจากระบบไฟฟ้า 12.0%

Architecture					Cost				
⚠	✈	🏠	G10	Grid (kW)	Dispatch	NPC (฿)	COE (฿)	Operating cost (฿/yr)	Initial capital (฿)
	✈	🏠	4	1,000	CC	-฿4.94M	-฿2.85	-฿420,861	฿504,000
		🏠		1,000	CC	฿2.84M	฿4.30	฿219,730	฿0.00

รูปที่ 5.15 ผลการจำลองการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ 40 kW



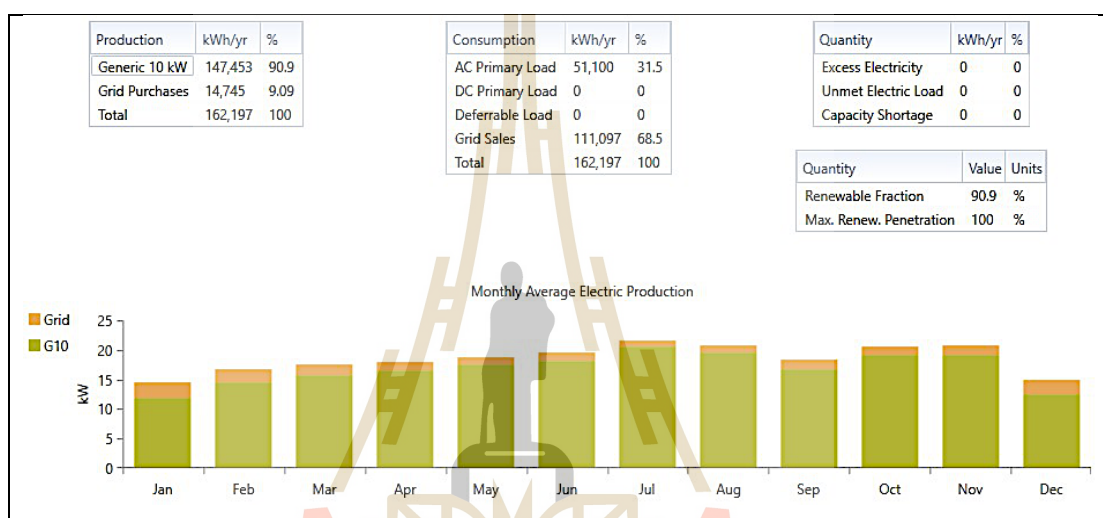
รูปที่ 5.16 การผลิตและการใช้ไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ 40 kW

3) การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า กังหันลมความเร็วต่ำ 5 ตัว ขนาด 50 kW

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานโดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ 50 kW แบบเชื่อมต่อระบบมีค่าติดตั้งระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแสดงในรูป 5.17 ซึ่งค่าใช้จ่ายจะคำนวณต้นทุนของระบบทั้งหมดเป็นเวลา 25 ปี โดย ต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) -7.04 ล้านบาท และค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 630,000 บาท การผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าจะแสดงในรูปที่ 5.18 ระบบมีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 90.9% และซื้อจากระบบไฟฟ้า 9.09%

Architecture					Cost				
⚠	✈	🏠	G10 ▾	Grid (kW) ▾	Dispatch ▾	NPC (฿) ▾	COE (฿) ▾	Operating cost (฿/yr) ▾	Initial capital (฿) ▾
	✈	🏠	5	1,000	CC	-฿7.04M	-฿3.36	-฿593,608	฿630,000
		🏠		1,000	CC	฿2.84M	฿4.30	฿219,730	฿0.00

รูปที่ 5.17 ผลการจำลองค่าติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ 50 kW



รูปที่ 5.18 การผลิตและการใช้ไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ 50 kW

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำแบบเชื่อมต่อระบบ

ขนาดระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า	กังหันลมผลิตไฟฟ้า (ล้านบาท)	ระบบไฟฟ้า (ล้านบาท)	ค่าใช้จ่ายรวม (ล้านบาท)
30 kW (3 ตัว)	0.452	-3.30	-2.84
40 kW (4 ตัว)	0.603	-5.54	-4.94
50 kW (5 ตัว)	0.753	-7.80	-7.04

ตารางที่ 5.5 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อระบบ

ขนาดระบบ กังหันลมผลิตไฟฟ้า	กังหันลมผลิตไฟฟ้า	ซื้อจากระบบไฟฟ้า	รวม
30 kW (3 ตัว)	88,472 kWh/yr.	18,090 kWh/yr.	106,562 kWh/yr.
	83.0%	17.0%	100%
40 kW (4 ตัว)	117,962 kWh/yr.	16,087 kWh/yr.	134,049 kWh/yr.
	88.0%	12.0%	100%
50 kW (5 ตัว)	147,453 kWh/yr.	14,745 kWh/yr.	162,197 kWh/yr.
	90.9%	9.09%	100%

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของของระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อระบบซึ่งระบบจะมีค่าใช้จ่ายของกังหันลมผลิตไฟฟ้ามากที่สุด และมีค่าใช้จ่ายจากระบบไฟฟ้า โดยทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าที่ขนาดกำลังไฟฟ้าแตกต่างกัน คือ 30 kW 40 kW และ 50 kW ซึ่งการติดตั้งระบบที่ 30 kW จะมีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นที่น้อยที่สุด 0.452 ล้านบาท เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถขายไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้าได้ ค่าของระบบไฟฟ้าจึงคิดลบ นั้นหมายความว่ามีการขายไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้กับระบบไฟฟ้า มากกว่าที่ซื้อจากระบบไฟฟ้าแต่อย่างไรก็ตาม โปรแกรมทำการหาค่าที่เหมาะสมออกมาเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมในการจ่ายพลังงานไปยังโหลดการใช้งานไฟฟ้า จึงได้ขนาดที่เหมาะสม คือ 40 kW ที่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง 603,000 บาท ซึ่งมีพลังงานไฟฟ้าเหลือขายให้กับระบบไฟฟ้า 5.54 ล้านบาท

ตารางที่ 5.5 แสดงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากกังหันลมความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อระบบ การติดตั้งระบบ 40 kW สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 117,962 kWh/yr. ใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้า 16,087 kWh/yr. ถึงแม้ว่าการติดตั้งระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่จะสามารถลดการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าได้แต่ก็ยังมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและค่าอุปกรณ์ที่มีราคาสูงและยังไม่คุ้มกับการลงทุน ดังนั้น ควรเลือกระบบขนาดที่เหมาะสมกับโหลดทางไฟฟ้าและขายไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้าน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าติดตั้งและค่าอุปกรณ์ลดลง

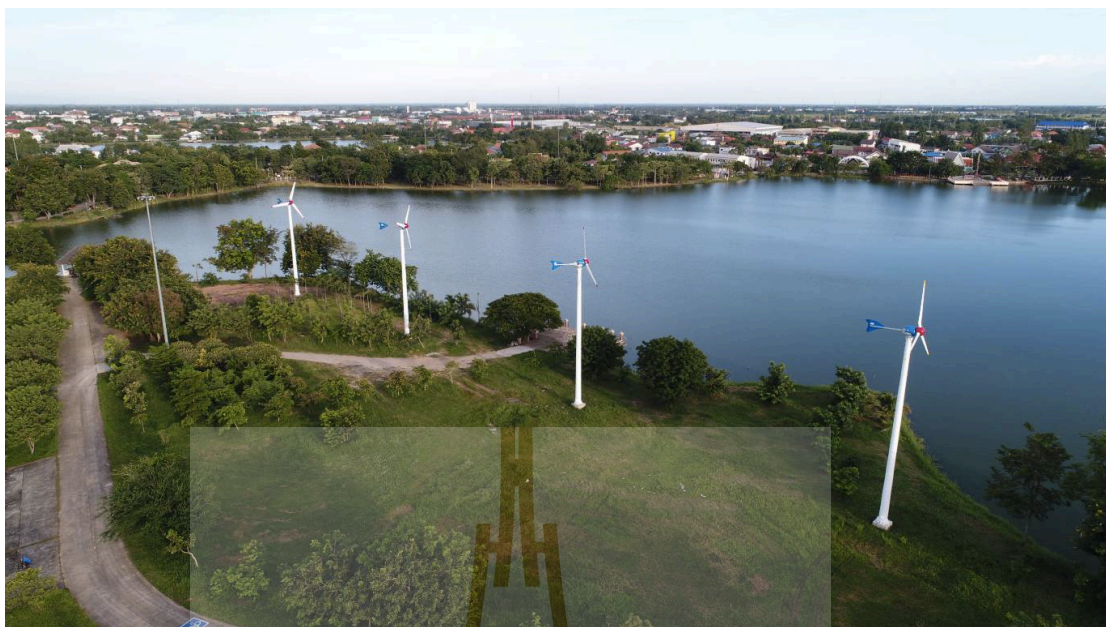
การวิเคราะห์ต้นทุนของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เป็นแบบเชื่อมต่อระบบและแบบไม่เชื่อมต่อระบบของพื้นที่ศึกษา ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า การเชื่อมต่อระบบแบบเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า ประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อระบบ เนื่องจากระบบแบบไม่เชื่อมต่อระบบ จะมีค่าใช้จ่ายของแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่และมีราคาแพง ดังนั้นระบบแบบเชื่อมต่อระบบ จึงมีความคุ้มค่าด้านการลงทุนมากกว่าและยังสามารถขายพลังงานไฟฟ้า

กลับคืนสู่ระบบได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ระบบแบบไม่เชื่อมต่อบริเวณ ก็ยังมีข้อดีสำหรับพื้นที่ห่างไกลจากระบบไฟฟ้า และระบบที่มีโหลดขนาดเล็ก หากราคาของแบตเตอรี่ลดลงระบบแบบ Off-Grid จะมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะในอนาคต

5.4 การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยพลังงานทดแทนจากกังหันลมความเร็วต่ำ พื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยพลังงานทดแทนจากกังหันลมความเร็วต่ำ พื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า นั้น เพื่อเป็นต้นแบบการบำบัดน้ำแบบระบบอัตโนมัติโดยพลังงานทดแทนแบบยั่งยืน ที่สามารถแก้ปัญหาและป้องกันน้ำเสียในอ่างเก็บน้ำหนองปลาเต่าแบบยั่งยืนและเพื่อการรักษาสิ่งแวดล้อมให้มีคุณภาพสมบูรณ์และการขยายพันธุ์ได้ดียิ่งขึ้น บำบัดและป้องกันน้ำเน่าเสีย เนื่องจากการปล่อยปลาและให้อาหารปลา และลดค่าพลังงานไฟฟ้าและเพิ่มแสงสว่างในสวนสาธารณะหนองปลาเต่า

จากการจำลองของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในหัวข้อก่อนหน้านี้ ทำให้ผู้วิจัยได้ทราบว่า การติดตั้งระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแบบเชื่อมต่อบริเวณ มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่กรณีศึกษา ซึ่งระบบแบบเชื่อมต่อบริเวณ นั้นสามารถใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าเพื่อเป็นพลังงานไฟฟ้าสำรองขณะที่ไม่มีการผลิตพลังงานจากพลังงานทดแทนได้ ผู้วิจัยจึงทำการติดตั้งกังหันลมความเร็วต่ำผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้พลังงานบำบัดน้ำเสียและใช้ในส่วนอื่น ๆ ของพื้นที่กรณีศึกษา โดยได้รับความร่วมมือจากองค์การบริหารส่วนจังหวัด จังหวัดชัยภูมิ และบุคลากรเจ้าหน้าที่และบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยทำการติดตั้งกังหันลมความเร็วต่ำขนาด 10 kW จำนวน 4 ตัว ตามการวิเคราะห์โหลดการใช้พลังงานทางไฟฟ้าของพื้นที่กรณีศึกษา ในรูปที่ 5.19 แสดงกังหันลมความเร็วต่ำจำนวน 4 ตัว กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า ขนาด 5 kW จำนวน 1 ชุด แสดงในรูปที่ 5.20 และระบบกังหันตึ้นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 300 W จำนวน 10 ชุด แสดงในรูปที่ 5.21 ติดตั้งบริเวณพื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ โดยในรูปที่ 5.22 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียบริเวณพื้นที่กรณีศึกษา



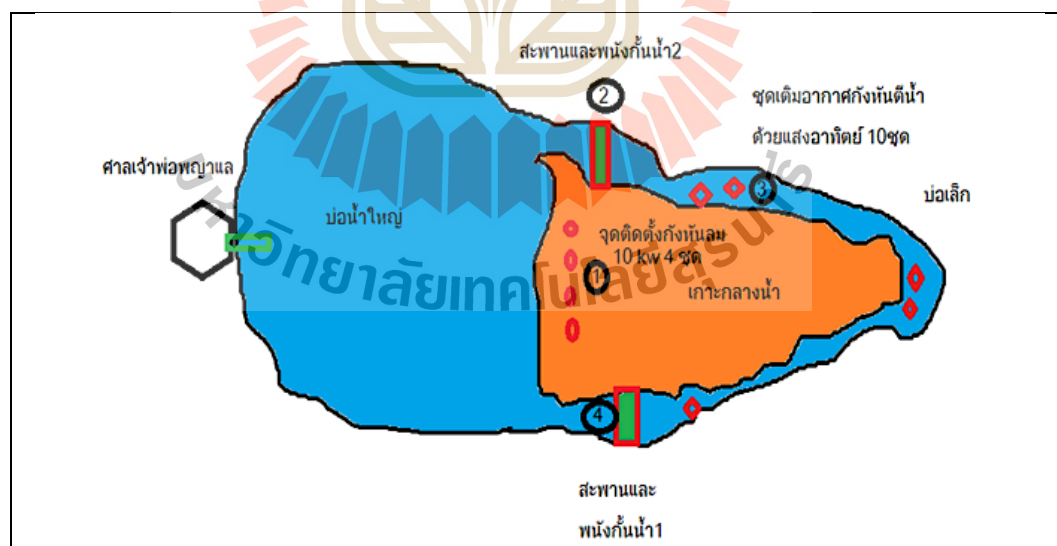
รูปที่ 5.19 กังหันลมความเร็วต่ำจำนวน 4 ตัว



รูปที่ 5.20 ชุดเติมอากาศกังหันตีน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ 10 ชุด



รูปที่ 5.21 กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าที่สะพานพนักกันน้ำ



รูปที่ 5.22 ระบบบำบัดน้ำเสียบริเวณพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเตา จังหวัดชัยภูมิ

จากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมสามารถผลิตได้ พบว่ากังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 150 kWh/วัน คิดเป็นรายปีสามารถผลิตได้ 54,750 kWh/ปี ตารางที่ 5.6 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าจากการจำลองด้วยโปรแกรม HOMER Pro® และพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมสามารถผลิตได้จริง พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้มีค่าน้อยกว่าการจำลอง อาจเนื่องมาจากพลังงานลมในพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยรวมถึงเป็นการวัดค่าเพียง 1 เดือนเท่านั้น แต่ในการจำลองเป็นการวัดค่าเฉลี่ยทั้งปี เนื่องจากมีเวลาที่จำกัดผู้วิจัยจึงขอวัดค่าพลังงานที่ได้เพียง 1 เดือน

ตารางที่ 5.6 พลังงานไฟฟ้าจากการจำลองด้วยโปรแกรม HOMER Pro® และพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมสามารถผลิตได้

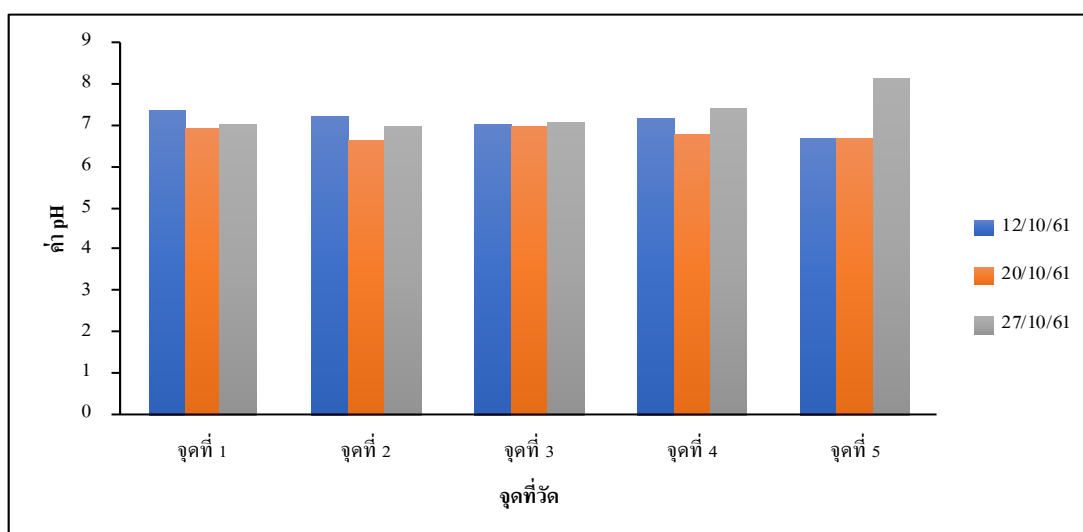
ระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้า 40 kW	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลม
ผลการจำลอง	117,962 kWh/yr.
ผลการตรวจวัด	54,750 kWh/yr.

5.4.1 ผลการทดสอบระบบบำบัดน้ำเสีย

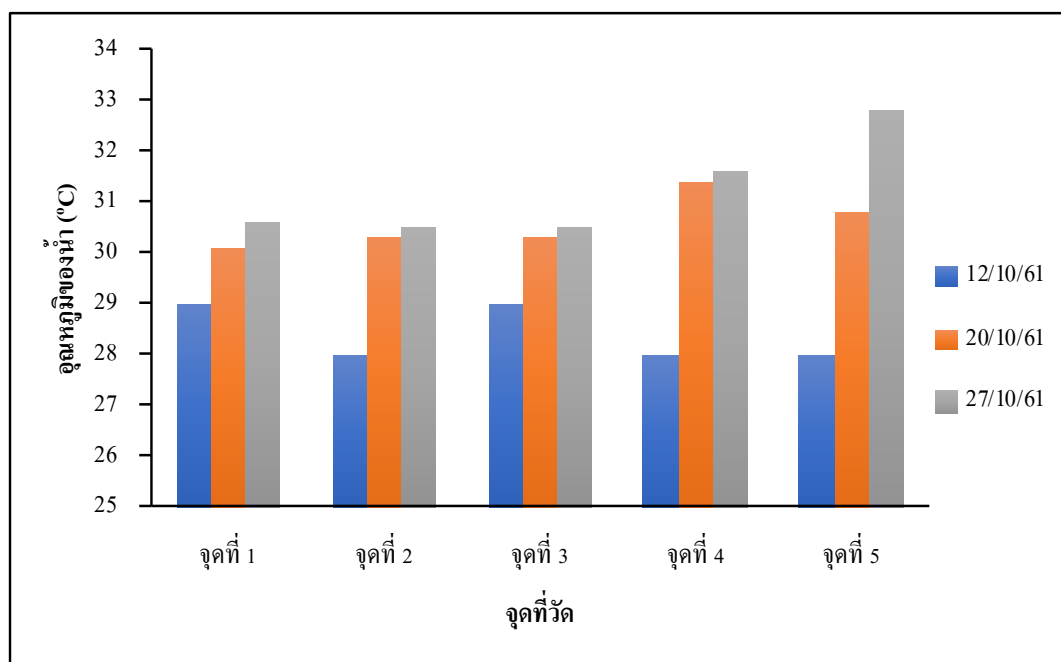
หลังจากทำการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า 4 ตัว และเชื่อมต่อกับระบบบำบัดน้ำเสีย ผู้วิจัยทำการวัดค่าประสิทธิภาพของระบบโดยวัดค่า pH อุณหภูมิของน้ำ และค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ผลตัวอย่างน้ำสวนสาธารณะหนองปลาเต่าแสดงในตารางที่ ตารางที่ 5.7 รูปที่ 5.23-5.25 แสดงรูปค่า pH อุณหภูมิของน้ำ และค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) จากผลการทดสอบน้ำในตารางที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าค่า pH ในแต่ละจุดมีค่าเป็นกลาง ซึ่งอยู่ในสภาวะที่ปกติทั้งก่อนบำบัดและหลังบำบัด จากรูปที่ 5.24 ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงความใสของน้ำที่แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านได้และเป็นการใช้แสง UV บำบัดน้ำ รูปที่ 5.25 แสดงค่าปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในน้ำ หลังการทดสอบระบบบำบัดน้ำแสดงให้เห็นว่ามีค่าออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นมากเพียงใช้ระยะเวลาทดสอบเพียง 3 สัปดาห์

ตารางที่ 5.7 ผลตัวอย่างน้ำสวนสาธารณะหนองปลาเต่า

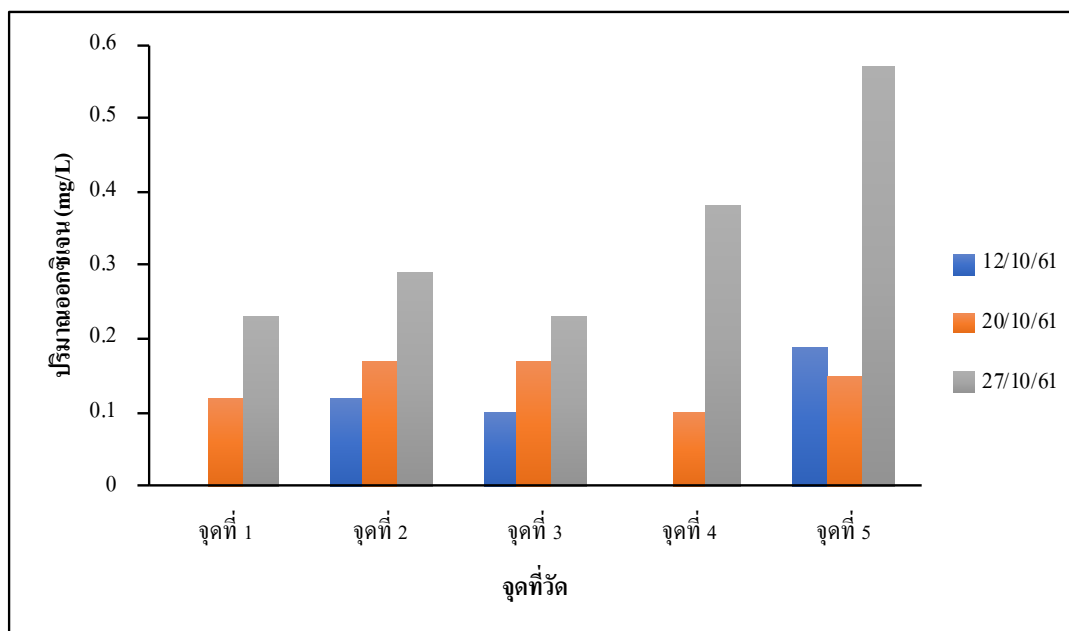
พารามิเตอร์	ค่า pH			อุณหภูมิของน้ำ (°C)			ปริมาณออกซิเจน (mg/L)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ครั้งที่									
วันที่	12/10/61	20/10/61	27/10/61	12/10/61	20/10/61	27/10/61	12/10/61	20/10/61	27/10/61
จุดที่ 1 หน้าศาล	7.37	6.94	7.02	29.0	30.1	30.6	0	0.12	0.23
จุดที่ 2 ก่อนสะพาน 1	7.2	6.64	6.98	28.0	30.3	30.5	0.12	0.17	0.29
จุดที่ 3 ก่อนสะพาน 2	7.0	6.98	7.06	29.0	30.3	30.5	0.1	0.17	0.23
จุดที่ 4 หลังศาลา	7.14	6.76	7.41	28.0	31.4	31.6	0.0	0.10	0.38
จุดที่ 5 หลังลานกั้งหัน	6.7	6.66	8.12	28.0	30.8	32.8	0.19	0.15	0.57



รูปที่ 5.23 ค่า pH ของน้ำ



รูปที่ 5.24 ค่าอุณหภูมิของน้ำ



รูปที่ 5.25 ค่าปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในน้ำ

จากผลการติดตั้งระบบกักเก็บน้ำเสียเป็นเวลา 1 สัปดาห์ ทำให้พบว่ากักเก็บผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยต้นละ 40 kW และกักเก็บนำผลิตไฟฟ้าเมื่อเดินปั๊มน้ำและมอเตอร์ขนาด 20 kW จะผลิตไฟฟ้าออกมาที่ 3 kW ระบบบำบัดน้ำสามารถทำงานได้จริงโดยไม่ต้องใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้า ซึ่งในบ่อน้ำมีการปล่อยสั้วน้ำอีกทั้งใช้เคมีบำบัดมานานทำให้การสะสมของเสียมีมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การติดตั้งระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืนด้วยการใช้พลังงานทดแทนอย่างเต็มรูปแบบทำงานได้ดีแต่ต้องใช้เวลาบำบัดอย่างน้อย 6 เดือน จึงเหมาะสมให้เกิดการบำบัดที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่ครบทั้งระบบในบ่อ ระบบผลิตไฟฟ้าจากกักเก็บนำมาขับมอเตอร์ปั๊มน้ำทำให้เกิดการหมุนเวียน

5.5 สรุป

เนื้อหาในบทที่ 5 นี้ได้กล่าวถึงการจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานพื้นที่ทดลอง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ประกอบด้วยการจำลอง 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬาากลาง จังหวัดชัยภูมิ และส่วนที่สองการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสานในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัดชัยภูมิ รวมถึงเสนอการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในพื้นที่กรณีศึกษา จุดประสงค์หลักของการทดสอบทั้งสองส่วนมีเป้าหมายเดียวกัน คือ เพื่อศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับโหลดการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทดลองและใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียน ในบทนี้ผู้ทำวิจัยกล่าวถึงการออกแบบระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน การจำลองระบบโดยโปรแกรม HOMER Pro[®] และการวิเคราะห์ผลการทดลอง รวมถึงนำเสนอการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียที่ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า โดยรายละเอียดทั้งหมดแสดงไว้ดังนี้

การจำลองระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬาากลางจังหวัดชัยภูมิ เป็นการจำลองโดยใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีการจำลองทั้งแบบเชื่อมต่อบริเวณและแบบไม่เชื่อมต่อบริเวณภาระทางไฟฟ้าหลักที่สนามกีฬาากลางจังหวัดชัยภูมิ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่างทั่วไป หลอดไฟสปอร์ตไลท์ของสนามกีฬา ระบบสูบน้ำด้วยไฟฟ้า ช่วงภาระทางไฟฟ้าสูงสุด เกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ซึ่งคำนวณโดยโปรแกรม HOMER Pro[®] คิดเป็นภาระทางไฟฟ้าเฉลี่ย 331.6 kWh/day ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด 85.64 kW ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแบบเชื่อมต่อบริเวณเป็นการใช้ระบบกริดเป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรอง โดยติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ 70 kW กักเก็บลมความเร็วต่ำ 6 ตัว 18 kW ซึ่งมีค่ารวมใกล้เคียงค่าโหลดสูงสุดของระบบ และคอนเวอร์เตอร์ 58.5 kW ในส่วนค่าใช้จ่ายจะ

คำนวณต้นทุนของระบบทั้งหมดเป็นเวลา 25 ปี โดยมีค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 1.77 ล้านบาท ในส่วนของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ ระบบจะใช้พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ และมีขนาดของระบบพลังงานหมุนเวียนที่ขนาดใหญ่ขึ้น โดยติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ 116 kW กังหันลมความเร็วต่ำ 5 ตัว ขนาด 50 kW แบตเตอรี่ขนาด 1,043 kWh และคอนเวอร์เตอร์ 91.5 kW ตามปริมาณค่าภาระทางไฟฟ้าสูงสุด ในส่วนค่าใช้จ่ายจะคำนวณต้นทุนของระบบทั้งหมดเป็นเวลา 25 ปี ดังนั้น ค่าต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) 8.96 ล้านบาท ค่าพลังงาน และค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 5.85 ล้านบาท ซึ่งมากกว่าระบบแบบเชื่อมต่อบระบบ ถึง 3 เท่า การจัดการพลังงานของแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมนั้นมีความสำคัญมากเพื่อให้ใช้อุปกรณ์แปลงพลังงานและใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์มากที่สุด สำหรับพื้นที่ศึกษา ภาระทางไฟฟ้าของสนามกีฬากลาง จังหวัดชัยภูมิ โดยใช้ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าย้อนหลัง 1 ปี จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบย่อยของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสม และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กังหันลมผลิตไฟฟ้า แบตเตอรี่ และอุปกรณ์อื่น ๆ ตามโครงสร้างของระบบทั้งแบบเชื่อมต่อบระบบและแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ สำหรับโหลดการใช้งานไฟฟ้านี้ ควรใช้เป็นระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบเชื่อมต่อบระบบ โดยใช้พลังงานทดแทนที่มีอยู่ในพื้นที่ คือ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีศักยภาพสามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบ และใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าเข้ามาช่วยเมื่อระบบมีโหลดการใช้งานสูงสุดหรือในช่วงเวลาที่ระบบพลังงานหมุนเวียนไม่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอกับความต้องการ

การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ เป็นการจำลองโดยใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานลมเพียงอย่างเดียวเนื่องจากพื้นที่ศึกษามีพื้นที่จำกัดหากติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องใช้พื้นที่หลายตารางเมตร พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียและระบบแสงสว่างในบริเวณบึงหนองปลาเต่า โดยหาขนาดของระบบย่อยจากความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้าของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ กับประเภทของระบบ โดยใช้โปรแกรม HOMER Pro[®] ในการหาขนาดระบบย่อยที่เหมาะสมกับการใช้งานภาระทางไฟฟ้าของระบบ ทำการเลือกส่วนประกอบของระบบจากซอฟต์แวร์ HOMER Pro[®] สำหรับการออกแบบระบบแบบผลิตพลังงานหมุนเวียน เนื่องจากบริเวณบึงหนองปลาเต่ามีพื้นที่ในแนวราบจำกัด ผู้วิจัยจึงศึกษาเฉพาะการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อบระบบและแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ ซึ่งระบบแบบเชื่อมต่อบกับระบบไฟฟ้ามีต้นทุนรวมน้อยกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อบระบบ ถึง 10 เท่า เนื่องจากระบบแบบเชื่อมต่อบกับระบบไฟฟ้าสามารถขายไฟฟ้ากลับไป

ยังโครงข่ายไฟฟ้าหรือระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ ระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าต้องการหน่วยผลิตไฟฟ้ามากกว่าระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า และมีระบบจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาดใหญ่จึงทำให้ระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ามีค่าใช้จ่ายรวมสูงกว่าระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 220,942 kWh/yr. ซึ่งน้อยกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 229,772 kWh/yr. เนื่องจากระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ามีหน่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อยและสามารถซื้อไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า (53,497 kWh/yr.) ที่ใช้สำหรับเป็นพลังงานไฟฟ้าสำรองขณะที่มีโหลดสูงสุดและในช่วงเวลากลางคืน

การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยพลังงานทดแทนจากกังหันลมความเร็วต่ำ พื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่านั้น เพื่อเป็นต้นแบบการบำบัดน้ำแบบระบบอัตโนมัติโดยพลังงานทดแทนแบบยั่งยืน ที่สามารถแก้ปัญหาและป้องกันน้ำเสียในอ่างเก็บน้ำหนองปลาเต่าแบบยั่งยืนและเพื่อการรักษาสัตว์น้ำให้มีคุณภาพสมบูรณ์และการขยายพันธุ์ได้ดียิ่งขึ้น บำบัดและป้องกันน้ำเน่าเสีย เนื่องจากการปล่อยปลาและให้อาหารปลา และลดค่าพลังงานไฟฟ้าและเพิ่มแสงสว่างในสวนสาธารณะหนองปลาเต่า

จากการจำลองของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในหัวข้อก่อนหน้านี้ ทำให้ผู้วิจัยได้ทราบว่า การติดตั้งระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ามีความเหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่กรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงทำการติดตั้งกังหันลมความเร็วต่ำผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้พลังงานบำบัดน้ำเสียและใช้ในส่วนอื่น ๆ ของพื้นที่กรณีศึกษา โดยทำการติดตั้งกังหันลมความเร็วต่ำขนาด 10 kW จำนวน 4 ตัว ตามการวิเคราะห์โหลดการใช้งานทางไฟฟ้าของพื้นที่กรณีศึกษา กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า ขนาด 5 kW จำนวน 1 ชุด และระบบกังหันดินน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 300 W จำนวน 10 ชุด

จากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมสามารถผลิตได้ พบว่ากังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 150 kWh/วัน คิดเป็นรายปีสามารถผลิตได้ 54,750 kWh/ปี ค่าพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้มีค่าน้อยกว่าการจำลอง อาจเนื่องมาจากพลังงานลมในพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยรวมถึงเป็นการวัดค่าเพียง 1 เดือนเท่านั้น แต่ในการจำลองเป็นการวัดค่าเฉลี่ยทั้งปี หลังจากทำการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า 4 ตัว และเชื่อมต่อบริษัทบำบัดน้ำเสีย ผลการทดสอบน้ำ แสดงให้เห็นว่าค่า pH ในแต่ละจุดมีค่าเป็นกลาง ซึ่งอยู่ในสภาวะที่ปกติทั้งก่อนบำบัดและหลังบำบัด ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงความใสของน้ำที่แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านได้และเป็นการใช้แสง UV บำบัดน้ำ และค่าปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในน้ำหลังการทดสอบระบบบำบัดน้ำแสดงให้เห็นว่ามีค่าออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นมากเพียงใช้ระยะเวลาทดสอบเพียง 3 สัปดาห์

ระบบบำบัดน้ำสามารถทำงานได้จริงโดยไม่ต้องใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้า ซึ่งในบ่อน้ำมีการปล่อยสัตว์น้ำอีกทั้งใช้เคมีบำบัดมานานทำให้การสะสมของเสียมีมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการติดตั้งระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืนด้วยการใช้พลังงานทดแทนอย่างเต็มรูปแบบทำงานได้ดีแต่ต้องใช้เวลาบำบัดอย่างน้อย 6 เดือน จึงเหมาะสมให้เกิดการบำบัดที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่ครบทั้งระบบในบ่อ ระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมนำมาขับเคลื่อนมอเตอร์ปั้มน้ำทำให้เกิดการหมุนเวียน

การจัดการพลังงานของแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมนั้นมีความสำคัญมากเพื่อให้ใช้อุปกรณ์แปลงพลังงานและใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์มากที่สุด สำหรับพื้นที่ศึกษาภาระทางไฟฟ้าของพื้นที่ทดลอง จังหวัดชัยภูมิ โดยใช้ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าย้อนหลัง เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบย่อยของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสม และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระบบระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า แบตเตอรี่ และอุปกรณ์อื่น ๆ ตามโครงสร้างของระบบทั้งแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าและแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

การวิเคราะห์ต้นทุนของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เป็นแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าและแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า การเชื่อมต่อบระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าเนื่องจากระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ามีค่าใช้จ่ายของแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่และมีราคาแพง ดังนั้น ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจึงมีความคุ้มค่าด้านการลงทุนมากกว่าและยังสามารถขายพลังงานไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าก็ยังมีข้อดีสำหรับพื้นที่ห่างไกลจากระบบไฟฟ้า และระบบที่มีโหลดขนาดเล็ก หากราคาของแบตเตอรี่ลดลงระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจะมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะในอนาคต

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการศึกษากลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเพื่อชนบท โดยใช้กรณีศึกษา บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า และสนามกีฬากลาง จังหวัดชัยภูมิ โดยมีการผลิตพลังงานทดแทนจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ มีการจำลองทั้งแบบเชื่อมต่อบรรบบไฟฟ้าและแบบไม่เชื่อมต่อบรรบบไฟฟ้าที่มีระบบจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพของพื้นที่กรณีศึกษาและศึกษากลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเพื่อชนบท การดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ดังกล่าวนี้ได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 ได้นำเสนอความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา โดยกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของพลังงานทดแทน พลังงานมีความสำคัญต่อมนุษย์ใน โลกปัจจุบัน และทวีความสำคัญมากขึ้นเมื่อ โลกยังมีการพัฒนา ส่งผลให้แหล่งพลังงานค่อย ๆ เปลี่ยนไปเป็นแหล่งพลังงานที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้น พลังงานหมุนเวียนที่ประกอบด้วยแหล่งผลิตพลังงานหลายชนิดสามารถทำงานร่วมกัน เช่น การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล การผลิตไฟฟ้าพลังลม หรือพลังงานทดแทนอื่น ๆ หรือที่เรียกว่า พลังงานทดแทนแบบผสมผสาน ที่ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน เพื่อทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของประเทศจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยวัตถุประสงค์หลักของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน เป็นการนำเอาประโยชน์สูงสุดของศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนต่าง ๆ มาใช้ จากสถานการณ์พลังงาน ความต้องการใช้ในการใช้ไฟฟ้า และนโยบายในด้านพลังงานของกระทรวงพลังงานข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาพลังงานทดแทนแบบผสมผสานเป็นสิ่งที่มีความต้องการจำเป็นสำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน เนื้อหาในบทนี้ยังรวมถึงวัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของงานวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ด้วย

บทที่ 2 ได้นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและการวิจัยในรูปแบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย โดยการค้นคว้าจากฐานข้อมูลของ IEEE, Science Direct และอื่น ๆ ทำให้ทราบถึงผลงานดำเนินงานวิจัย จุดประสงค์ แนวทางการวิจัยของผู้วิจัยอื่น ๆ ซึ่งจะถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง และเป็นแนวทาง

สำหรับการดำเนินงานวิจัยต่อไป จากการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมเห็นได้ชัดว่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดกำลังเป็นที่สนใจมากในปัจจุบัน ซึ่งประเทศไทยคือประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพของพลังงานทดแทนที่สามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ จึงได้เริ่มทำการวิจัยขึ้นเพื่อศึกษากลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเพื่อชนบท: กรณีศึกษา บริเวณสวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ

บทที่ 3 เป็นการนำเสนอทฤษฎีและสมมติฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์พลังงานในประเทศไทย แหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนที่มีของประเทศไทย แนวคิดเกี่ยวกับการพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน ประเภทของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน โปรแกรมจำลองและการคำนวณในโปรแกรม HOMER Pro®

บทที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงาน บริเวณพื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ สมดุลพลังงานของจังหวัดชัยภูมิ ทำการตรวจวัดความเร็วลมบริเวณหนองปลาเต่า โดยศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการคาดคะเนของโปรแกรม Windy ที่ความลมเฉลี่ยในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเต่าอยู่ที่ประมาณ 5.3 m/s การผลิตไฟฟ้าของกังหันลมความเร็วต่ำขนาด 10 kW สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 21,900 kWh/y การวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PVsyst ซึ่งแสดงกำลังผลิตที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตออกมาแบบรายวันและแบบรายปี การวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 150 W จำนวน 2 แผง บริเวณพื้นที่กรณีศึกษา พบว่ามีความเข้มแสงเฉลี่ยรายปี อยู่ที่ 1790.1 kWh/m² และมีรังสีอาทิตย์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ 1671.3 kWh/m² พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อกำลังการติดตั้ง 1,334 kWh/kW/y ดังนั้น พื้นที่กรณีสึกขานี้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ จึงเหมาะสมที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้

บทที่ 5 กล่าวถึงการจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่ทดลอง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ประกอบด้วยการจำลอง 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกการจำลองระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬาากลางจังหวัดชัยภูมิ และส่วนที่สองการจำลองระบบพลังงานทดแทนแบบผสมผสานในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ จุดประสงค์หลักของการทดสอบทั้งสองส่วนมีเป้าหมายเดียวกัน คือ เพื่อศึกษาระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับโหลดการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทดลองและใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียน รวมถึงนำเสนอการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียที่ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเต่า

บทที่ 6 กล่าวถึงผลการจำลองระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่ทดลอง อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ ประกอบด้วยการจำลอง 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬาากลาง จังหวัดชัยภูมิ และส่วนที่สองการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแบบผสมผสานในพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ รวมถึงเสนอการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียในพื้นที่กรณีศึกษา จุดประสงค์เพื่อศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับโหลดการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทดลองและใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียน

การจำลองระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬาากลางจังหวัดชัยภูมิ เป็นการจำลองโดยใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีการจำลองทั้งแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าและแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ภาระทางไฟฟ้าหลักที่สนามกีฬาากลางจังหวัดชัยภูมิ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่างทั่วไป หลอดไฟสปอร์ตไลท์ของสนามกีฬา ระบบสูบน้ำด้วยไฟฟ้า ช่วงภาระทางไฟฟ้าสูงสุด เกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคมและมิถุนายน ซึ่งคำนวณโดยโปรแกรม HOMER Pro[®] คิดเป็นภาระทางไฟฟ้าเฉลี่ย 331.6 kWh/day ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด 85.64 kW ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแบบ เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าเป็นการใช้ระบบกริดเป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรอง โดยติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ 70 kW กังหันลมความเร็วต่ำ 6 ตัว 18 kW ซึ่งมีค่ารวมใกล้เคียงค่าโหลดสูงสุดของระบบ และคอนเวอร์เตอร์ 58.5 kW ในส่วนค่าใช้จ่ายจะคำนวณต้นทุนของระบบทั้งหมดเป็นเวลา 25 ปี โดยมีค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 1.77 ล้านบาท ในส่วนของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ระบบจะใช้พลังงานสำรองจากแบตเตอรี่ และมีขนาดของระบบพลังงานหมุนเวียนที่ขนาดใหญ่ขึ้น โดยติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ 116 kW กังหันลมความเร็วต่ำ 5 ตัว ขนาด 50 kW แบตเตอรี่ขนาด 1,043 kWh และคอนเวอร์เตอร์ 91.5 kW ค่าต้นทุนของระบบทั้งหมดเป็นเวลา 24 ปี ดังนั้น ค่าต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) 8.96 ล้านบาท ค่าพลังงานและค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับระบบ 5.85 ล้านบาท ซึ่งมากกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ถึง 3 เท่า การจัดการพลังงานของแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมนั้นมีความสำคัญมากเพื่อให้ใช้อุปกรณ์แปลงพลังงานและใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์มากที่สุด สำหรับโหลดการใช้งานไฟฟ้านี้ ควรใช้ระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า โดยใช้พลังงานทดแทนที่มีอยู่ในพื้นที่ คือ พลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีศักยภาพสามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบ และใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าเข้ามาช่วยเมื่อระบบมีโหลดการใช้งานสูงสุดหรือในช่วงเวลาที่ระบบพลังงานหมุนเวียนไม่สามารถผลิตพลังงานได้เพียงพอกับความต้องการ

การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน พื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า จังหวัดชัยภูมิ เป็นการจำลองโดยใช้พลังงานหมุนเวียนจากพลังงานลมเพียงอย่างเดียวเนื่องจากพื้นที่ศึกษามีพื้นที่จำกัดหากติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องใช้พื้นที่หลายตารางเมตร พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียและระบบแสงสว่างในบริเวณบึงหนองปลาเต่า โดยหาขนาดของระบบย่อยจากความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาระทางไฟฟ้าของสวนสาธารณะหนองปลาเต่า โดยใช้โปรแกรม HOMER Pro® ในการหาขนาดระบบย่อยที่เหมาะสม เนื่องจากบริเวณบึงหนองปลาเต่ามีพื้นที่ในแนวราบจำกัด ผู้วิจัยจึงศึกษาเฉพาะการจำลองระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กังหันลมความเร็วต่ำ แบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าและแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ซึ่งระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ามีต้นทุนรวมน้อยกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า ถึง 10 เท่า เนื่องจากระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสามารถขายไฟฟ้ากลับไปยังโครงข่ายไฟฟ้าหรือระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ ระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าต้องการหน่วยผลิตไฟฟ้ามากกว่าและมีระบบจัดเก็บพลังงานแบตเตอรี่ขนาดใหญ่จึงทำให้ระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ามีค่าใช้จ่ายรวมสูงกว่า ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 220,942 kWh/yr. ซึ่งน้อยกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 229,772 kWh/yr. เนื่องจากระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ามีหน่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อยและสามารถซื้อไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า (53,497 kWh/yr.) ที่ใช้สำหรับเป็นพลังงานไฟฟ้าสำรองขณะที่มีโหลดสูงสุดและในช่วงเวลากลางคืน

การติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสีย ด้วยพลังงานทดแทนจากกังหันลมความเร็วต่ำ พื้นที่กรณีศึกษา สวนสาธารณะหนองปลาเต่า นั้น เพื่อเป็นต้นแบบการบำบัดน้ำแบบระบบอัตโนมัติโดยพลังงานทดแทนแบบยั่งยืน ที่สามารถแก้ปัญหาและป้องกันน้ำเสียในอ่างเก็บน้ำหนองปลาเต่าแบบยั่งยืนและเพื่อการรักษาสัตว์น้ำให้มีคุณภาพสมบูรณ์และการขยายพันธุ์ได้ดียิ่งขึ้น บำบัดและป้องกันน้ำเน่าเสีย เนื่องจากการปล่อยปลาและให้อาหารปลา และลดค่าพลังงานไฟฟ้าและเพิ่มแสงสว่างในสวนสาธารณะหนองปลาเต่า

จากการจำลองของระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานในหัวข้อก่อนหน้านี ทำให้ผู้วิจัยได้ทราบว่า การติดตั้งระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ามีความเหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่กรณีศึกษา ผู้วิจัยจึงทำการติดตั้งกังหันลมความเร็วต่ำผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้พลังงานมาบำบัดน้ำเสียและใช้ในส่วนอื่น ๆ ของพื้นที่กรณีศึกษา โดยทำการติดตั้งกังหันลมความเร็วต่ำขนาด 10 kW จำนวน 4 ตัว ตามการวิเคราะห์โหลดการใช้งานทางไฟฟ้าของพื้นที่กรณีศึกษา กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า ขนาด 5 kW จำนวน 1 ชุด และระบบกังหันตึ้นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 300 W จำนวน 10 ชุด

จากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมสามารถผลิตได้ พบว่ากังหันลมสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 150 kWh/วัน คิดเป็นรายปีสามารถผลิตได้ 54,750 kWh/ปี ค่าพลังงานไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้มีค่าน้อยกว่าการจำลอง อาจเนื่องมาจากพลังงานลมในพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยรวมถึงเป็นการวัดค่าเพียง 1 เดือนเท่านั้น แต่ในการจำลองเป็นการวัดค่าเฉลี่ยทั้งปี หลังจากทำการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้า 4 ตัว และเชื่อมต่อระบบบำบัดน้ำเสีย ผลการทดสอบน้ำ แสดงให้เห็นว่าค่า pH ในแต่ละจุดมีค่าเป็นกลาง ซึ่งอยู่ในสภาวะที่ปกติทั้งก่อนบำบัดและหลังบำบัด ค่าอุณหภูมิของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นถึงความใสของน้ำที่แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านได้และเป็นการใช้แสง UV บำบัดน้ำ และค่าปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในน้ำหลังการทดสอบระบบบำบัดน้ำแสดงให้เห็นว่ามีค่าออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้นมากเพียงใช้ระยะเวลาทดสอบเพียง 3 สัปดาห์

ระบบบำบัดน้ำสามารถทำงานได้จริงโดยไม่ต้องใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้า ซึ่งในบ่อน้ำมีการปล่อยสัตว์น้ำอีกทั้งใช้เคมีบำบัดมานานทำให้การสะสมของเสียมีมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น การติดตั้งระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืนด้วยการใช้พลังงานทดแทนอย่างเต็มรูปแบบทำงานได้ดีแต่ต้องใช้เวลาบำบัดอย่างน้อย 6 เดือน จึงเหมาะสมให้เกิดการบำบัดที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่ครบทั้งระบบในบ่อระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมนำมาขับมอเตอร์ปั้มน้ำทำให้เกิดการหมุนเวียน

การจัดการพลังงานของแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมนั้นมีความสำคัญมากเพื่อให้ใช้อุปกรณ์แปลงพลังงานและใช้พลังงานจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์มากที่สุด สำหรับพื้นที่ศึกษาภาระทางไฟฟ้าของพื้นที่ทดลอง จังหวัดชัยภูมิ โดยใช้ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าย้อนหลัง เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ระบบย่อยของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสม และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระบบระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตไฟฟ้า แบตเตอรี่ และอุปกรณ์อื่น ๆ ตามโครงสร้างของระบบทั้งแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าและแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

การวิเคราะห์ต้นทุนของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เป็นแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าและแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษา จังหวัดชัยภูมิ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า การเชื่อมต่อระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า เนื่องจากระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ามีค่าใช้จ่ายของแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่และมีราคาแพง ดังนั้น ระบบแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจึงมีความคุ้มค่าด้านการลงทุนมากกว่าและยังสามารถขายพลังงานไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ายังมีข้อดีสำหรับพื้นที่ห่างไกลจากระบบไฟฟ้า และระบบที่มีโหลดขนาดเล็ก หากราคาของแบตเตอรี่ลดลงระบบแบบไม่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจะมีบทบาทที่สำคัญต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะในอนาคต

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมาและผลที่ได้ทำให้เกิดแนวคิดและข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัยต่อไปในอนาคต ดังต่อไปนี้

- 1) ควรหากรณีศึกษาที่มีการใช้งานของโหลทรายวันที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งกลางวันและกลางคืน และเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนสำหรับโหลทรายใช้งานในช่วงกลางวันและกลางคืน

รายการอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลัง. (ม.ป.ป.). ราชอาณาจักรบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน. พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550). ออนไลน์: จาก http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=134.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2557). สารานุกรมพลังงานทดแทน. กรุงเทพฯ: บริษัท มีเดีย เอกซ์เพอร์ทีส อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559). สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-ธันวาคม ๒๕๕๘. กรุงเทพฯ: กรม.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.). (2558). โรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ของ กฟผ.. กรุงเทพฯ: กองสารสนเทศ ฝ่ายสื่อสารองค์กร.
- การรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระเบียบที่เกี่ยวข้อง. (2558). คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. ออนไลน์: จาก <http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/part3-Solar-Feb%2024%202015-regulation.pdf>.
- กิตติญา กฤติขันธ์. (2554). การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ดำรงค์ เจริญทรัพย์. (2553). การใช้พลังงานลมและแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน เป็นพลังงานทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับหน่วยงานของกองทัพอากาศ. วิทยานิพนธ์รัฐศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรเพื่อความมั่นคงคณะรัฐศาสตร์และนิติศาสตร์) คณะรัฐศาสตร์และนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- คุณกัญญา นิลกุล. (2554). การประเมินเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานด้วยพลังงานสะอาด: กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติภูกระดึง จังหวัดเลย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ธนสิทธิ์ งามสะอาด. (2553). การจัดการระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาการจัดการเทคโนโลยีอาคาร) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

- ชนสิทธิ์ งามสะอาด. (2553). การจัดการระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนทิ้งจากระบบปรับอากาศ. วารสารสุทธิปริทัศน์. ปีที่ 24, ฉบับที่ 73 (พฤษภาคม-สิงหาคม), หน้า 19-36.
- ชนัญชัย ลีภักดิ์ปรีดาและคณะ. (2553). การศึกษาศักยภาพพลังงานลมสำหรับการผลิตไฟฟ้า ในเขตภาคกลางของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- นภัทร วัจนเทพินทร์, ไชยยันต์ บุญมี, วิชัย มาแสง และวนิดา ภู่อสร. (2552). ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็กแบบต่อตรงเข้าระบบห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานทดแทน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. นนทบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- นภัทร วัจนเทพินทร์; ไชยยันต์ บุญมี; วิชัย มาแสง; และวนิดา ภู่อสร. (2550). ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมขนาดเล็กแบบต่อตรงเข้าระบบ. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, วันที่ 29 เมษายน -1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก.
- นภัทร วัจนเทพินทร์. (2550). การผลิตไฟฟ้า โรงไฟฟ้า และพลังงานทดแทน. ปทุมธานี: สกายบุ๊กส์.
- นภาพร พ่วงพรพิทักษ์. (2545). กลยุทธ์ในการควบคุมระบบพลังงานแบบผสมผสานสำหรับหมู่บ้านชนบทในประเทศไทยวิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า) บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นฤมล กนกสิงห์. (2544). ผลของการจัดการด้านความต้องการไฟฟ้าในครัวเรือนชนบทต่อการเลือกขนาดระบบผลิตไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไบโอดีเซล พลังงานทดแทน. (ม.ป.ป.). ความสำคัญพลังงานทดแทน. ออนไลน์: จาก <https://sites.google.com/site/biodeselphlangngnganthdthaen>.
- เผด็จ เผ่าละออ. (2544). วิธีการประหยัดพลังงานในระบบขับเคลื่อนกระแสตรงที่ใช้แหล่งพลังงานผสมผสาน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- พิพัฒน์ นนทนาธรณ์และคณะ. (2550). โครงการวิจัยเชิงบูรณาการเพื่อศึกษาโครงสร้างระบบพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สถาบันปริกษาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (30 มิถุนายน 2551). พลังงานทดแทน. ออนไลน์: จาก www.ku.ac.th/e-magazine/jun51/knownow/know3.htm.
- มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. (ม.ป.ป.). พลังงาน. ออนไลน์: จาก <http://www.green.kmutt.ac.th/news/Question.asp?GID=69>.
- มานิต เลพล. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างโรงไฟฟ้ากับชุมชน. ปทุมธานี. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยปทุมธานี. ปีที่ 6 ฉบับที่ 3 (กันยายน-ธันวาคม 2557), หน้า 50-58.
- มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (มพส.). (ม.ป.ป.). สาเหตุสำคัญการพัฒนาพลังงานทดแทนของประเทศ. ออนไลน์: จาก <http://www.efe.or.th/datacenter/ckupload/files/aedp25.pdf>.
- ยรรยงค์ อัมพวา. (2550). ยุทธศาสตร์การพลังงานแห่งชาติเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา.
- ราชบัณฑิตยสถาน. (2554). พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๕๔. ออนไลน์: จาก <http://www.royin.go.th/dictionary/>.
- วิชา ภูจินดา. (2552). การประยุกต์หลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงในการจัดการพลังงานในระดับชุมชน. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 5 เล่มที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม), หน้า 26-48.
- ศราพร ไกรยะปักย์. (2553). รูปแบบที่เหมาะสมในการจัดการพลังงานชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- สถานการณ์พลังงาน จังหวัดชัยภูมิ. เมษายน 2557. โครงการบูรณาการแผนยุทธศาสตร์พลังงานระดับกลุ่มจังหวัดตามยุทธศาสตร์ประเทศ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์. ออนไลน์: จาก <http://www.thaienergydata.in.th/download/ชัยภูมิ.pdf>.
- สมพล โคศรี. (2554). ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงแรงงาน. (2558). สถานการณ์พลังงานไทย ปี 2558. ออนไลน์: จาก <http://www.eppo.go.th>.
- สำนักงานพลังงานจังหวัดชัยภูมิ กระทรวงพลังงาน. (2560). แผนปฏิบัติการพลังงานจังหวัดชัยภูมิ ปี พ.ศ. 2560 – 2563.
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2560). แผนยุทธศาสตร์ สำนักนโยบายและแผนพลังงาน พ.ศ. ๒๕๖๐-๒๕๖๔. กรุงเทพฯ: สำนักงาน.

- สุกัญญา เพิ่งมา. (2544). การประเมินเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน เปรียบเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้า จากเครื่องยนต์ดีเซล ณ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อรุณ อินทสระ. (2544). ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานโซลาร์เซลล์-กังหันลม-เครื่องยนต์ดีเซล ณ อุทยานแห่งชาติตะรุเตา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อัตราค่าไฟฟ้า. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2558). ออนไลน์: จาก http://peane2.pea.co.th/kalasin/ckfinder/userfiles/files/cls/electricity_rate_11_58.pdf.
- พลังงานทดแทน. (12 กรกฎาคม 2559). เอนไฟร์เน็ต. ออนไลน์: จาก <http://www.environnet.in.th/archives/1455>
- Abbes, D., Martinez, A., and Champenois, G. (2014). Life cycle cost, embodied energy and loss of power supply probability for the optimal design of hybrid power systems. *Mathematics and Computers in Simulation*, 98, 46-62. doi:10.1016/j.matcom.2013.05.004.
- Ali, M. Eeshad. (2002). *Energy Consumption Pattern in Rural Bangladesh-the Opportunity for New Zealand a Household Survey*. New Zealand: Massey University.
- Ani, V. A. (n.d.). Optimal Operational Strategy for PV/Wind-Diesel Hybrid Power Generation System with Energy Storage. *Renewable and Alternative Energy*, 1438-1460. doi:10.4018/978-1-5225-1671-2.ch050.
- Azizivahed, A., Naderi, E., Narimani, H., Fathi, M., and Narimani, M. R. (2017). A New Bi-Objective Approach to Energy Management in Distribution Networks with Energy Storage Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 1-1. doi:10.1109/tste.2017.2714644.
- Basaran, K., Cetin, N. S., and Borekci, S. (2017). Energy management for on-grid and off-grid wind/PV and battery hybrid systems. *IET Renewable Power Generation*, 11(5), 642-649. doi:10.1049/iet-rpg.2016.0545.
- Bhave, A. (1999). Hybrid solar-wind domestic power generating system—a case study. *Renewable Energy*, 17(3), 355-358. doi:10.1016/s0960-1481(98)00123-2.

- Chaouali, H., Othmani, H., Selméne, M., Mezghani, D., and Mami, A. (2017). Energy Management Strategy of a PV/Fuel Cell/Supercapacitor Hybrid Source Feeding an off-Grid Pumping Station. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(8). doi:10.14569/ijacsa.2017.080832.
- H-PVW Hybrid Power Plants | BioEnergon Green Energy. (n.d.). Retrieved from <http://www.bioenergon.eu/bess-battery-energy-storage-system/h-pvw-hybrid-power-plants/>
- Haque, M. H. (2014). Voltage profile and loss assessment of distribution systems with fixed speed wind generators. 2014 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA). doi:10.1109/isgt-asia.2014.6873791.
- Howell, Mark; Alfstad, Thomas; Cross, Nicola; Jefftha, Linsey and Goldstein, Gary. (2002). *Rural Energy Modeling*. South Africa: Energy Research Institute University of Cape town.
- Jahanbani, F., and Riahy, G. H. (2011). *Optimum Design of a Hybrid Renewable Energy System*. INTECH Open Access Publisher.
- Kaabeche, A., and Ibtouen, R. (2014). Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind/diesel /battery generation in a stand-alone power system. *Solar Energy*, 103, 171-182. doi:10.1016/j.solener.2014.02.017.
- Kaabeche, A., Belhamel, M., and Ibtouen, R. (2011). Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system. *Energy*, 36(2), 1214-1222. doi:10.1016/j.energy.2010.11.024.
- Kang, Y., Lo, K., and Kockar, I. (2017). Optimal Energy Management for Virtual Power Plant with Renewable Generation. *Energy and Power Engineering*, 09(04), 308-316. doi:10.4236/epe.2017.94b036.
- Li, H., Eseye, A. T., Zhang, J., and Zheng, D. (2017). Optimal energy management for industrial microgrids with high-penetration renewables. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 2(1). doi:10.1186/s41601-017-0040-6.
- Liu, Y., You, S., and Liu, Y. (2017). Study of Wind and PV Frequency Control in U.S. Power Grids—EI and TI Case Studies. *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, 4(3), 65-73. doi:10.1109/jpets.2017.2744559.

- Maleki, A., Rosen, M., and Pourfayaz, F. (2017). Optimal Operation of a Grid-Connected Hybrid Renewable Energy System for Residential Applications. *Sustainability*, 9 (8), 1314. doi:10.3390/su9081314.
- Maria, E. and Tsoutsos, T. (2004). The sustainable management of renewable energy sources installations: legal aspects of their environmental impact in small Greek islands. *Energy Conservation and Management*. 45: 631-638.
- Nema, P., Nema, R., and Rangnekar, S. (2009). A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2096-2103. doi:10.1016/j.rser.2008.10.006.
- Piphitpattanaprat, N., and Bangerdpongchai, D. (2015). Optimal dispatch strategy of hybrid power generation with battery energy storage system in islanding mode. 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA). doi:10.1109/isgt-asia.2015.7387153.
- PV POWER SYSTEM (2011). สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2561 จาก http://portal.unimap.edu.my/portal/page/portal30/Lecture%20Notes/KEJURUTERAAN_SISTEM_ELEKTRIK/SEMIESTER%201%20Sidang%20Akademik%202011-2012/EET424%20Power%20Electronics%20For%20Energy%20System/Lecture%20Notes/PV%20Power%20System.pdf.
- Renewable energy outlook, Minister of Energy Thailand 197-229. (2017). ออนไลน์ : จาก https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Nov/IRENA_Outlook_Thailand_2017.pdf.
- Ribeiro, E., Cardoso, A., and Boccaletti, C. (2011). Power converters analysis in a renewable energy-based hybrid system with hydrogen storage. *IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011)*. doi:10.1049/cp.2011.0212.
- Thounthong, P., Sikkabut, S., Mungporn, P., Sethakul, P., Pierfederici, S., and Davat, B. (2013). Differential flatness based-control of fuel cell/photovoltaic/wind turbine/supercapacitor hybrid power plant. 2013 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP). doi:10.1109/iccep.2013.6587005.

- Zhang, G., Cao, Y., Cao, Y., Li, D., and Wang, L. (2017). Optimal Energy Management for Microgrids with Combined Heat and Power (CHP) Generation, Energy Storages, and Renewable Energy Sources. *Energies*, 10(9), 1288. doi:10.3390/en10091288.
- Zhang, L., and Li, Y. (2011). Optimal energy management of hybrid power system with two-scale dynamic programming. 2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition. doi:10.1109/psce.2011.5772607.
- Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., and Yang, H. (2010). Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. *Applied Energy*, 87(2), 380-389. doi:10.1016/j.apenergy.2009.08.012.

ภาคผนวก ก

ผลการจำลอง ด้วยโปรแกรม Homer

ก.1 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬากลาง
จังหวัดชัยภูมิ แบบเชื่อมต่อระบบ



System Simulation Report



File: ongridstadium.homer

Author:

Location: (15°48.1'N, 102°0.6'E)

Total Net Present Cost: -฿700,474.70

Levelized Cost of Energy (฿/kWh): -฿0.252

Notes:



Table of Contents

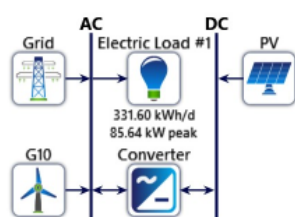
System Architecture	3
Cost Summary	4
Cash Flow	5
Electrical Summary	6
PV: Generic flat plate PV	7
Wind Turbine: Generic 10 kW	8
Converter: System Converter	9
Grid: Grid	10



System Architecture

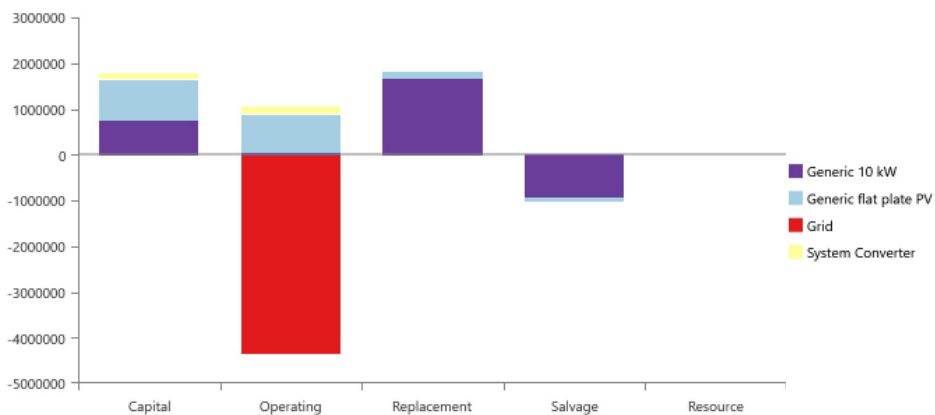
Component	Name	Size	Unit
PV	Generic flat plate PV	70.0	kW
Wind turbine	Generic 10 kW	6	ea.
System converter	System Converter	58.5	kW
Grid	Grid	1,000	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

Schematic





Cost Summary



Net Present Costs

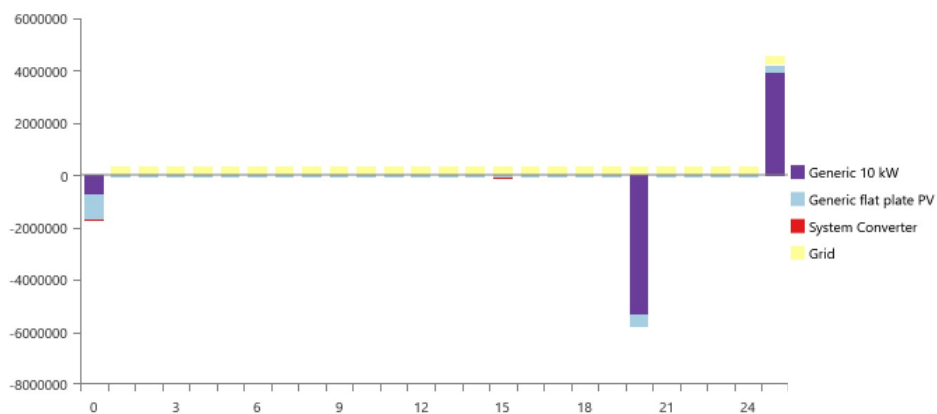
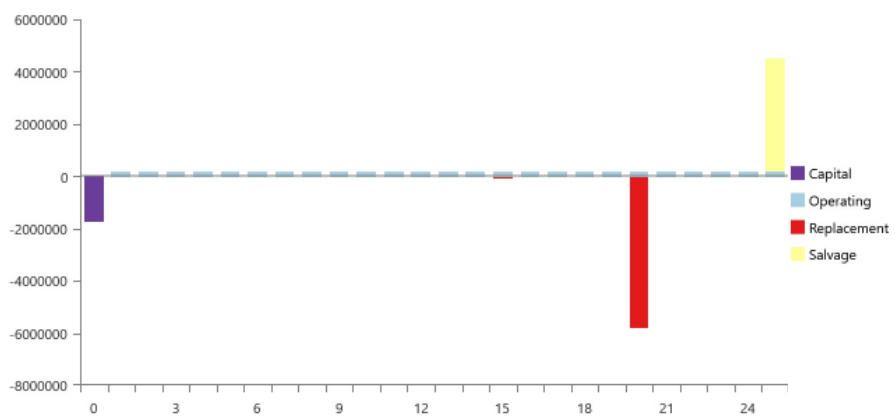
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 10 kW	\$756,000	\$77,565	\$1.69M	-\$954,039	\$0.00	\$1.57M
Generic flat plate PV	\$912,121	\$822,660	\$135,252	-\$76,223	\$0.00	\$1.79M
Grid	\$0.00	-\$4.34M	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$4.34M
System Converter	\$105,216	\$151,131	\$19,840	-\$3,734	\$0.00	\$272,452
System	\$1.77M	-\$3.29M	\$1.85M	-\$1.03M	\$0.00	-\$700,475

Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 10 kW	\$58,480	\$6,000	\$130,951	-\$73,799	\$0.00	\$121,631
Generic flat plate PV	\$70,557	\$63,636	\$10,462	-\$5,896	\$0.00	\$138,759
Grid	\$0.00	-\$335,651	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$335,651
System Converter	\$8,139	\$11,691	\$1,535	-\$288.85	\$0.00	\$21,075
System	\$137,175	-\$254,324	\$142,948	-\$79,984	\$0.00	-\$54,185



Cash Flow





Electrical Summary

Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	139	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	0	kWh/yr

Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Generic flat plate PV	109,892	49.7
Generic 10 kW	57,553	26.0
Grid Purchases	53,497	24.2
Total	220,942	100

Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	121,034	56.2
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	94,281	43.8
Total	215,315	100



PV: Generic flat plate PV

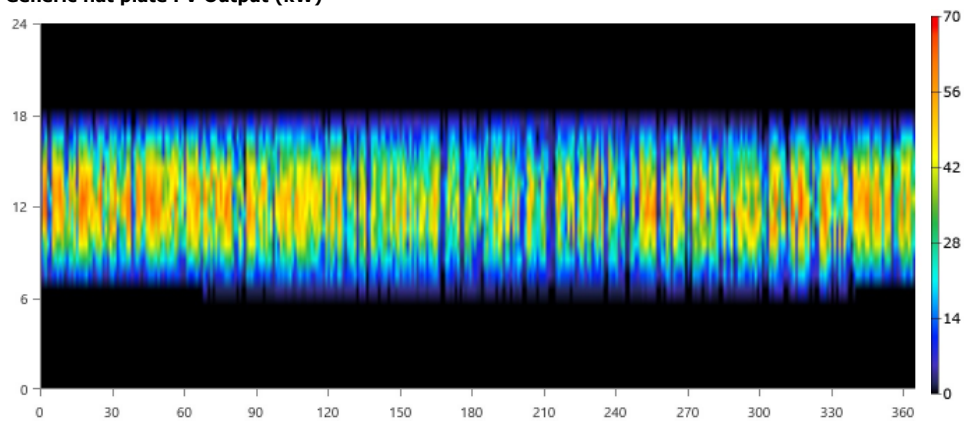
Generic flat plate PV Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	68.7	kW
PV Penetration	90.8	%
Hours of Operation	4,385	hrs/yr
Levelized Cost	1.26	\$/kWh

Generic flat plate PV Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	70.0	kW
Mean Output	12.5	kW
Mean Output	301	kWh/d
Capacity Factor	17.9	%
Total Production	109,892	kWh/yr

Generic flat plate PV Output (kW)





Wind Turbine: Generic 10 kW

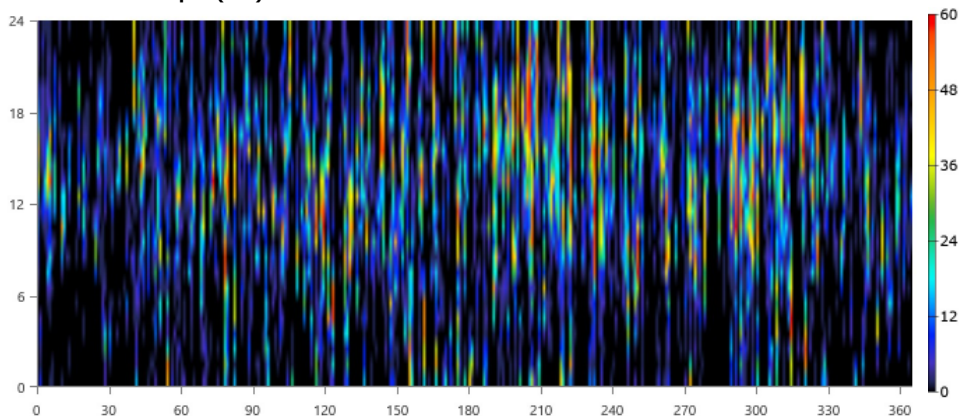
Generic 10 kW Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	60.0	kW
Wind Penetration	47.6	%
Hours of Operation	6,325	hrs/yr
Levelized Cost	2.11	\$/kWh

Generic 10 kW Statistics

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	60.0	kW
Mean Output	6.57	kW
Capacity Factor	11.0	%
Total Production	57,553	kWh/yr

Generic 10 kW Output (kW)





Converter: System Converter

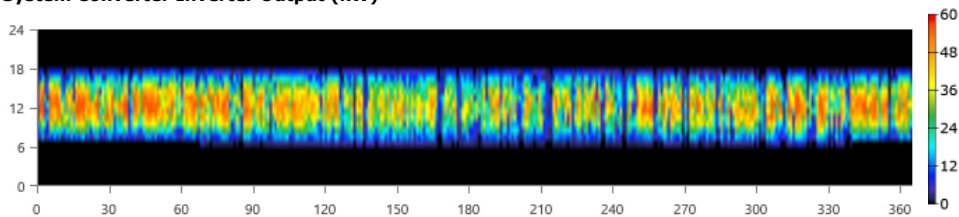
System Converter Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	4,385	hrs/yr
Energy Out	104,265	kWh/yr
Energy In	109,753	kWh/yr
Losses	5,488	kWh/yr

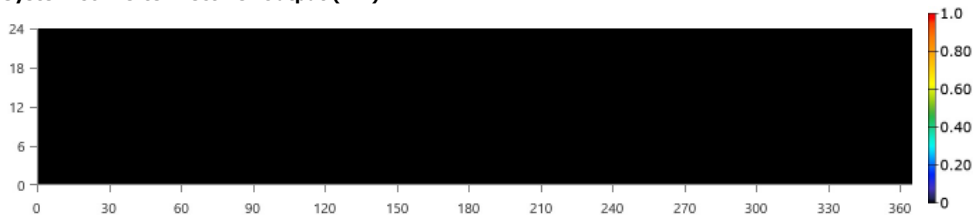
System Converter Statistics

Quantity	Value	Units
Capacity	58.5	kW
Mean Output	11.9	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	58.5	kW
Capacity Factor	20.4	%

System Converter Inverter Output (kW)



System Converter Rectifier Output (kW)





Grid: Grid

Grid rate: Demand 1

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	0	0	0	78.2	\$0.00	\$0.00
February	0	0	0	72.0	\$0.00	\$0.00
March	0	0	0	82.2	\$0.00	\$0.00
April	0	0	0	77.8	\$0.00	\$0.00
May	0	0	0	82.1	\$0.00	\$0.00
June	0	0	0	85.6	\$0.00	\$0.00
July	0	0	0	70.0	\$0.00	\$0.00
August	0	0	0	68.5	\$0.00	\$0.00
September	0	0	0	78.9	\$0.00	\$0.00
October	0	0	0	62.1	\$0.00	\$0.00
November	0	0	0	76.2	\$0.00	\$0.00
December	0	0	0	83.6	\$0.00	\$0.00
Annual	0	0	0	85.6	\$0.00	\$0.00

Grid rate: Rate 1

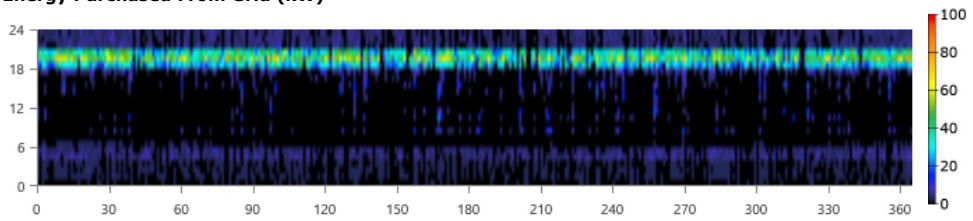
Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	5,159	7,230	-2,071	0	-\$21,194	\$0.00
February	4,037	7,347	-3,310	0	-\$26,723	\$0.00
March	4,836	8,360	-3,524	0	-\$29,365	\$0.00
April	4,521	8,302	-3,781	0	-\$30,371	\$0.00
May	4,466	8,007	-3,541	0	-\$28,840	\$0.00
June	4,373	7,188	-2,814	0	-\$24,322	\$0.00
July	3,773	8,304	-4,532	0	-\$33,604	\$0.00
August	4,378	7,880	-3,502	0	-\$28,455	\$0.00
September	4,626	6,796	-2,170	0	-\$20,886	\$0.00
October	4,292	8,660	-4,368	0	-\$33,506	\$0.00
November	4,021	9,046	-5,025	0	-\$36,983	\$0.00
December	5,014	7,160	-2,147	0	-\$21,402	\$0.00
Annual	53,497	94,281	-40,784	0	-\$335,651	\$0.00

Grid rate: All

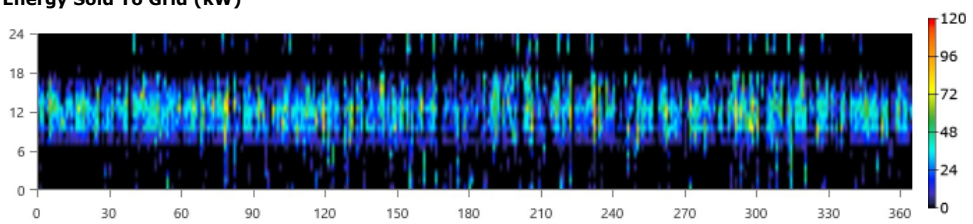
Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	5,159	7,230	-2,071	78.2	-\$21,194	\$0.00
February	4,037	7,347	-3,310	72.0	-\$26,723	\$0.00
March	4,836	8,360	-3,524	82.2	-\$29,365	\$0.00
April	4,521	8,302	-3,781	77.8	-\$30,371	\$0.00
May	4,466	8,007	-3,541	82.1	-\$28,840	\$0.00
June	4,373	7,188	-2,814	85.6	-\$24,322	\$0.00
July	3,773	8,304	-4,532	70.0	-\$33,604	\$0.00
August	4,378	7,880	-3,502	68.5	-\$28,455	\$0.00
September	4,626	6,796	-2,170	78.9	-\$20,886	\$0.00
October	4,292	8,660	-4,368	62.1	-\$33,506	\$0.00
November	4,021	9,046	-5,025	76.2	-\$36,983	\$0.00
December	5,014	7,160	-2,147	83.6	-\$21,402	\$0.00
Annual	53,497	94,281	-40,784	85.6	-\$335,651	\$0.00



Energy Purchased From Grid (kW)



Energy Sold To Grid (kW)



ก.2 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของสนามกีฬากลาง
จังหวัดชัยภูมิ แบบเชื่อมต่อระบบ



System Simulation Report



File: offgridstadium.homer

Author:

Location: (15°48.1'N, 102°0.6'E)

Total Net Present Cost: ฿8,956,710.00

Levelized Cost of Energy (฿/kWh): ฿5.73

Notes:



Table of Contents

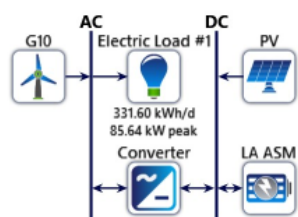
System Architecture	3
Cost Summary	4
Cash Flow	5
Electrical Summary	6
PV: Generic flat plate PV	7
Wind Turbine: Generic 10 kW	8
Storage: Generic 1kWh Lead Acid [ASM]	9
Converter: System Converter	10



System Architecture

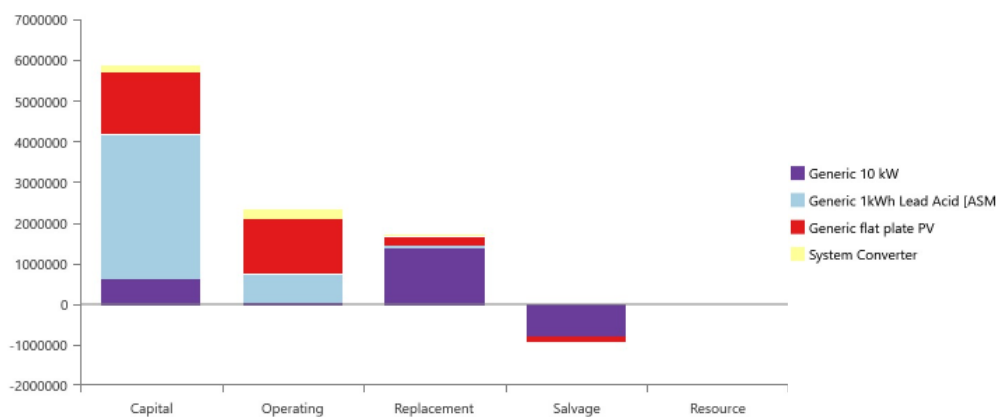
Component	Name	Size	Unit
PV	Generic flat plate PV	116	kW
Storage	Generic 1kWh Lead Acid [ASM]	1,043	strings
Wind turbine	Generic 10 kW	5	ea.
System converter	System Converter	91.5	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

Schematic





Cost Summary



Net Present Costs

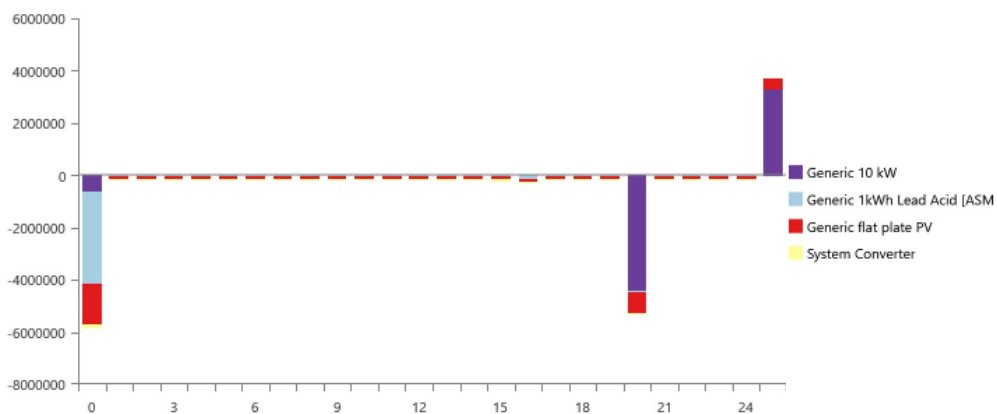
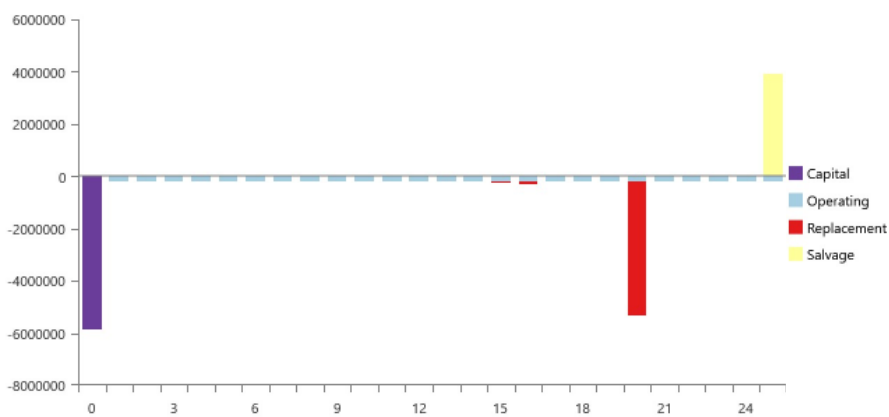
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 10 kW	\$630,000	\$64,638	\$1.41M	-\$795,033	\$0.00	\$1.31M
Generic 1kWh Lead Acid [ASM]	\$3.55M	\$674,170	\$42,197	-\$10,517	\$0.00	\$4.25M
Generic flat plate PV	\$1.51M	\$1.36M	\$223,768	-\$126,108	\$0.00	\$2.97M
System Converter	\$164,723	\$236,607	\$31,061	-\$5,846	\$0.00	\$426,546
System	\$5.85M	\$2.34M	\$1.71M	-\$937,503	\$0.00	\$8.96M

Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 10 kW	\$48,733	\$5,000	\$109,126	-\$61,499	\$0.00	\$101,360
Generic 1kWh Lead Acid [ASM]	\$274,314	\$52,150	\$3,264	-\$813.52	\$0.00	\$328,915
Generic flat plate PV	\$116,733	\$105,284	\$17,309	-\$9,755	\$0.00	\$229,571
System Converter	\$12,742	\$18,303	\$2,403	-\$452.22	\$0.00	\$32,995
System	\$452,522	\$180,736	\$132,102	-\$72,520	\$0.00	\$692,841



Cash Flow





Electrical Summary

Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	93,454	kWh/yr
Unmet Electric Load	73.5	kWh/yr
Capacity Shortage	120	kWh/yr

Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Generic flat plate PV	181,811	79.1
Generic 10 kW	47,961	20.9
Total	229,772	100

Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	120,960	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	120,960	100



PV: Generic flat plate PV

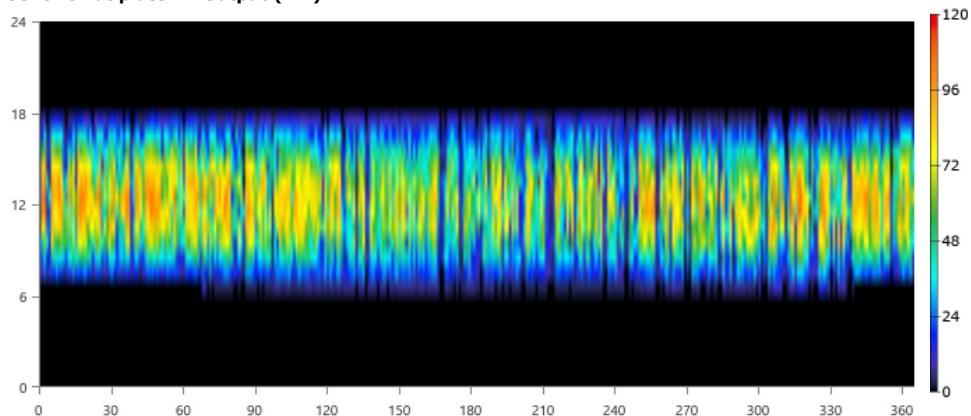
Generic flat plate PV Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	114	kW
PV Penetration	150	%
Hours of Operation	4,385	hrs/yr
Levelized Cost	1.26	\$/kWh

Generic flat plate PV Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	116	kW
Mean Output	20.8	kW
Mean Output	498	kWh/d
Capacity Factor	17.9	%
Total Production	181,811	kWh/yr

Generic flat plate PV Output (kW)





Wind Turbine: Generic 10 kW

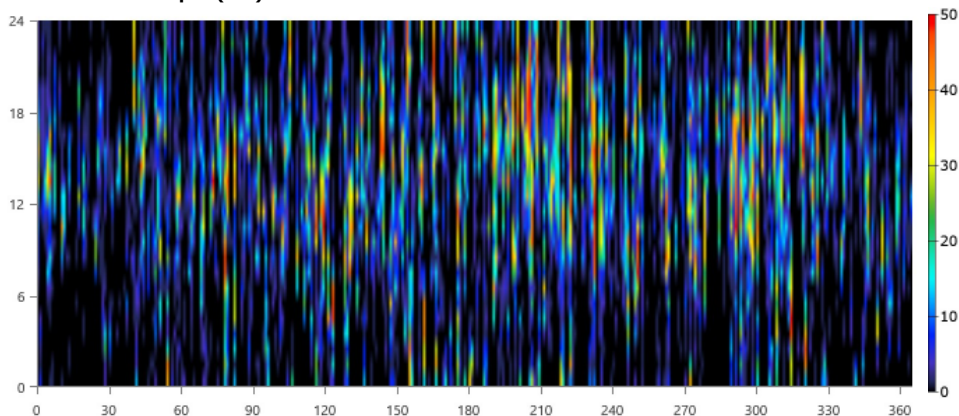
Generic 10 kW Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	50.0	kW
Wind Penetration	39.6	%
Hours of Operation	6,325	hrs/yr
Levelized Cost	2.11	\$/kWh

Generic 10 kW Statistics

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	50.0	kW
Mean Output	5.48	kW
Capacity Factor	11.0	%
Total Production	47,961	kWh/yr

Generic 10 kW Output (kW)





Storage: Generic 1kWh Lead Acid [ASM]

Generic 1kWh Lead Acid [ASM] Properties

Quantity	Value	Units
Batteries	1,043	qty.
String Size	1.00	batteries
Strings in Parallel	1,043	strings
Bus Voltage	2.00	V

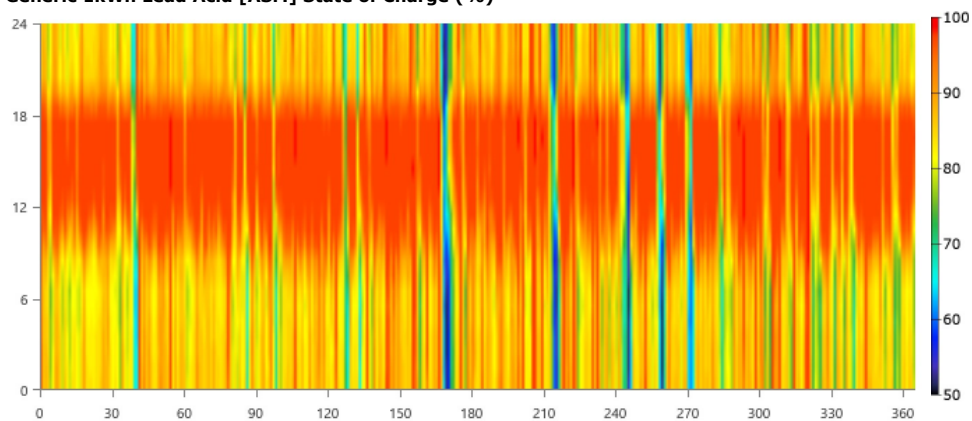
Generic 1kWh Lead Acid [ASM] Result Data

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	\$/kWh
Energy In	65,854	kWh/yr
Energy Out	55,568	kWh/yr
Storage Depletion	199	kWh/yr
Losses	10,485	kWh/yr
Annual Throughput	60,608	kWh/yr

Generic 1kWh Lead Acid [ASM] Statistics

Quantity	Value	Units
Autonomy	62.0	hr
Storage Wear Cost	0.109	\$/kWh
Nominal Capacity	1,070	kWh
Usable Nominal Capacity	642	kWh
Lifetime Throughput	959,539	kWh
Expected Life	15.8	yr

Generic 1kWh Lead Acid [ASM] State of Charge (%)





Converter: System Converter

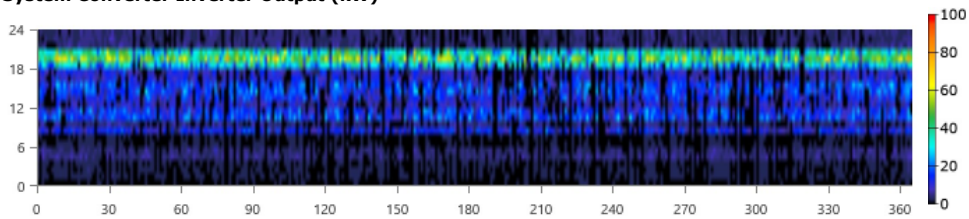
System Converter Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	7,276	hrs/yr
Energy Out	89,886	kWh/yr
Energy In	94,617	kWh/yr
Losses	4,731	kWh/yr

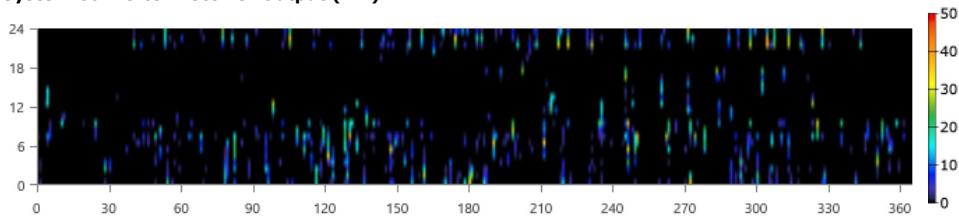
System Converter Statistics

Quantity	Value	Units
Capacity	91.5	kW
Mean Output	10.3	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	85.6	kW
Capacity Factor	11.2	%

System Converter Inverter Output (kW)



System Converter Rectifier Output (kW)



ก.3 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานของพื้นที่หนองปลาเต่า
จังหวัดชัยภูมิ



System Simulation Report



File: nongplataowind10.homer

Author:

Location: (15°48.1'N, 102°0.6'E)

Total Net Present Cost: -฿3,398,797.00

Levelized Cost of Energy (฿/kWh): -฿2.30

Notes:



Table of Contents

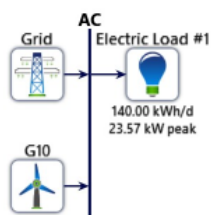
System Architecture	3
Cost Summary	4
Cash Flow	5
Electrical Summary	6
Wind Turbine: Generic 10 kW	7
Grid: Grid	8



System Architecture

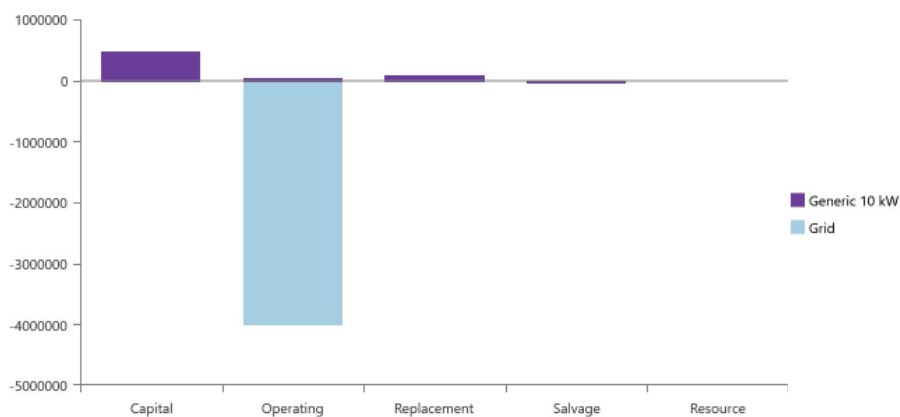
Component	Name	Size	Unit
Wind turbine	Generic 10 kW	4	ea.
Grid	Grid	1,000	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

Schematic





Cost Summary



Net Present Costs

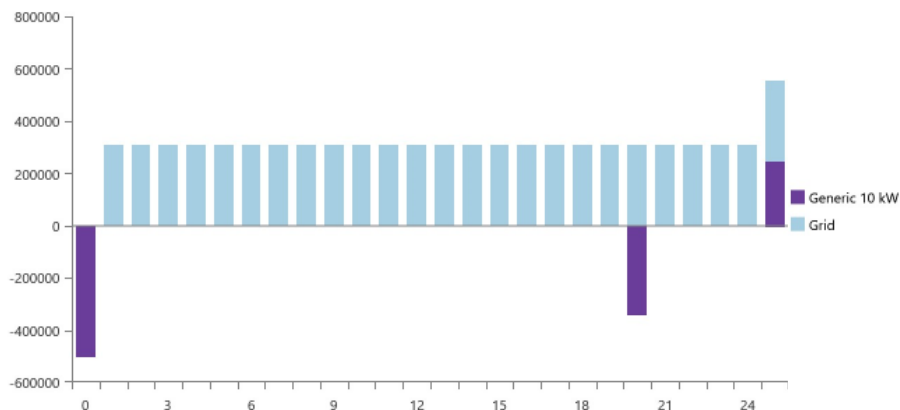
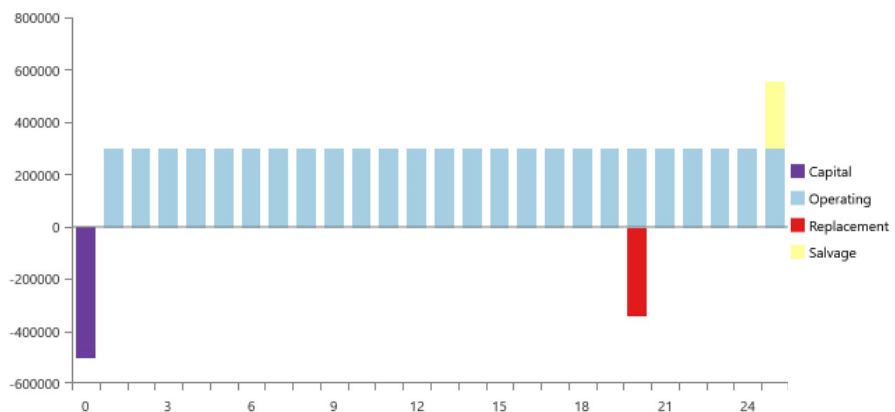
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 10 kW	\$504,000	\$51,710	\$108,394	-\$61,087	\$0.00	\$603,017
Grid	\$0.00	-\$4.00M	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$4.00M
System	\$504,000	-\$3.95M	\$108,394	-\$61,087	\$0.00	-\$3.40M

Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic 10 kW	\$38,987	\$4,000	\$8,385	-\$4,725	\$0.00	\$46,646
Grid	\$0.00	-\$309,558	\$0.00	\$0.00	\$0.00	-\$309,558
System	\$38,987	-\$305,558	\$8,385	-\$4,725	\$0.00	-\$262,912



Cash Flow





Electrical Summary

Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	0	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	0	kWh/yr

Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Generic 10 kW	98,186	86.1
Grid Purchases	15,907	13.9
Total	114,093	100

Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	51,100	44.8
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	62,993	55.2
Total	114,093	100



Wind Turbine: Generic 10 kW

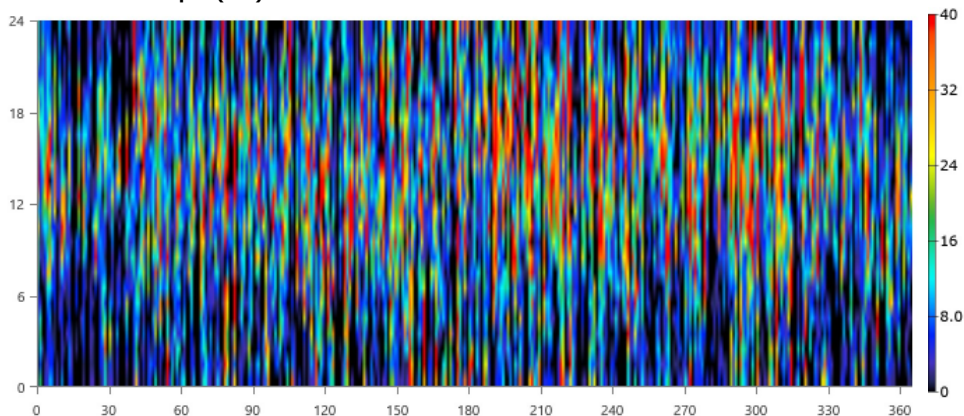
Generic 10 kW Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	40.0	kW
Wind Penetration	192	%
Hours of Operation	8,692	hrs/yr
Levelized Cost	0.475	\$/kWh

Generic 10 kW Statistics

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	40.0	kW
Mean Output	11.2	kW
Capacity Factor	28.0	%
Total Production	98,186	kWh/yr

Generic 10 kW Output (kW)





Grid: Grid

Grid rate: Demand 1

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	0	0	0	20.1	\$0.00	\$0.00
February	0	0	0	18.4	\$0.00	\$0.00
March	0	0	0	17.1	\$0.00	\$0.00
April	0	0	0	15.1	\$0.00	\$0.00
May	0	0	0	12.6	\$0.00	\$0.00
June	0	0	0	13.8	\$0.00	\$0.00
July	0	0	0	14.6	\$0.00	\$0.00
August	0	0	0	14.3	\$0.00	\$0.00
September	0	0	0	16.1	\$0.00	\$0.00
October	0	0	0	16.5	\$0.00	\$0.00
November	0	0	0	18.5	\$0.00	\$0.00
December	0	0	0	21.4	\$0.00	\$0.00
Annual	0	0	0	21.4	\$0.00	\$0.00

Grid rate: Rate 1

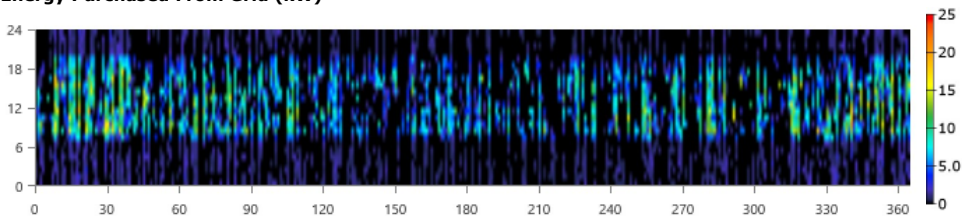
Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	2,129	2,738	-609	0	-\$7,272	\$0.00
February	1,675	3,610	-1,934	0	-\$14,455	\$0.00
March	1,633	4,376	-2,743	0	-\$19,235	\$0.00
April	1,263	4,894	-3,631	0	-\$23,932	\$0.00
May	934	5,770	-4,836	0	-\$30,605	\$0.00
June	1,007	6,255	-5,248	0	-\$33,200	\$0.00
July	791	7,666	-6,875	0	-\$42,594	\$0.00
August	959	6,983	-6,024	0	-\$37,774	\$0.00
September	1,150	5,351	-4,202	0	-\$27,165	\$0.00
October	1,154	6,345	-5,191	0	-\$33,108	\$0.00
November	1,228	5,916	-4,688	0	-\$30,213	\$0.00
December	1,984	3,089	-1,105	0	-\$10,004	\$0.00
Annual	15,907	62,993	-47,086	0	-\$309,558	\$0.00

Grid rate: All

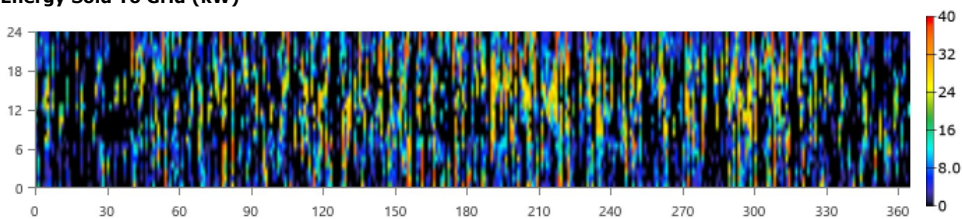
Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	2,129	2,738	-609	20.1	-\$7,272	\$0.00
February	1,675	3,610	-1,934	18.4	-\$14,455	\$0.00
March	1,633	4,376	-2,743	17.1	-\$19,235	\$0.00
April	1,263	4,894	-3,631	15.1	-\$23,932	\$0.00
May	934	5,770	-4,836	12.6	-\$30,605	\$0.00
June	1,007	6,255	-5,248	13.8	-\$33,200	\$0.00
July	791	7,666	-6,875	14.6	-\$42,594	\$0.00
August	959	6,983	-6,024	14.3	-\$37,774	\$0.00
September	1,150	5,351	-4,202	16.1	-\$27,165	\$0.00
October	1,154	6,345	-5,191	16.5	-\$33,108	\$0.00
November	1,228	5,916	-4,688	18.5	-\$30,213	\$0.00
December	1,984	3,089	-1,105	21.4	-\$10,004	\$0.00
Annual	15,907	62,993	-47,086	21.4	-\$309,558	\$0.00



Energy Purchased From Grid (kW)



Energy Sold To Grid (kW)



ภาคผนวก ข

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อวารสารวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Chaleekure, M., Boonraksa, T., Junhuathon, N., and Marungsri, B. (2018). The Energy Management Study of Hybrid Renewable Energy Sources Appropriate to the Load of the Central Sports Stadium in Chaiyaphum Province. GMSARN International Journal. Volume XX, Number XX, December 2018.

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

วิรัช โยชนรินทร์, มนตรี ชาลีเครือ, คุณานันท์ ทายุทธ, วงศกร วิเศษสัจจา, เสาวลักษณ์ บุญยอด และศักดา ปรีชาวัฒน์สกุล (2561). ระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืน ด้วยระบบพลังงานทดแทนกรณีศึกษาพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า อ.เมือง จ.ชัยภูมิ, การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนผู้ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11 (TREC-11), วันที่ 28 – 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

Chaleekure, M., Boonraksa, T., Junhuathon, N., and Marungsri, B. (2018). Optimal Design of Hybrid Renewable Energy Generation Sources Integrated with Battery Energy Storage System; A Case Study of Nongplathao Park, Chaiyaphum Provincial Administration Organization, Thailand. Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Automation (ICEEA 2018). doi:10.2991/iceea-18.2018.18.

Chaleekure, M., Aphichoknithiphuwadol, V., Leeton, U., and Marungsri, B. (2017). Feasibility Study of Potential of Hybrid Renewable Energy Generation Sources for Rural Community; A Case of Nongplathao Park Community, Chaiyaphum Provincial Administration Organization, Thailand. The Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Application Engineering 2017. doi:10.12792/iciae2017.050.

Greater Mekong Subregion Academic and Research Network (GMSARN)



Asian Institute
of Technology



Hanoi
University
of Technology



Ho Chi Minh City
University of
Technology



Institute of
Technology
Cambodia



Khon Kaen
University



Kunming
University of
Science and
Technology

November 19, 2018

Dear Boonruang Marungsri,

Title: The Energy Management Study of Hybrid Renewable Energy Sources Appropriate to the Load of the Central Sports Stadium in Chaiyaphum Province

Ref: GMSARN-2018-EXT-24-E

Thank you for submission of your paper to the GMSARN International Journal. The referral process for your paper is now completed. We are pleased to inform you that your paper has been accepted for publication in the journal.

Please prepare your final manuscript subject to the attached check list and submit it together with the copyright to us by December 31, 2018. Your paper will be scheduled to publish in 2019. Please note that your paper will not be published without your copyright.

Thank you for your cooperation.

Yours sincerely,

Jirawadee P.

Jirawadee Polprasert, D.Eng.
Associate Editor, GMSARN International Journal
c/o Asian Institute of Technology
Km. 42 Paholyothin Highway
Klongluang Pathumthani 12120
Thailand



National
University
of Laos



Royal University
of Phnom Penh



Thammasat
University



Yangon
Technological
University



Yunnan
University

GMSARN Office: Asian Institute of Technology

Postal Address:
P.O. Box 4
Klong Luang
Pathumthani 12120
Thailand

Street Address:
Km. 42 Paholyothin Highway
Klong Luang
Pathumthani 12120
Thailand

Tel: (66-2) 524-5437
Fax: (66-2) 524-6589
(for local calls, dial 02 before the tel/fax nos.)
E-mail: gmsarn@ait.ac.th
Internet: <http://www.gmsarn.org>



The Energy Management Study of Hybrid Renewable Energy Sources Appropriate to the Load of the Central Sports Stadium in Chaiyaphum Province

Montre Chaleekure, Terapong Boonraksa, Nitikorn Junhuathon,
and Boonruang Marungsri*

Abstract— Renewable energy plays a considerable role in Thailand today since the demand for electricity is increasing both in the household and industrial sectors. It can reduce emissions from the production of electricity from coal, and reduce global warming. Therefore, this paper is a study of the energy management of hybrid renewable energy sources suitable for the load of the central sports stadium in Chaiyaphum province. The Homer Pro is used to analyze the size of a system with integrated renewable energy sources, including solar energy and wind power generation. It also analyzes the economics of the system and analyzes the size and cost of the system with the appropriate battery energy storage system. The simulation results show that grid connections (On-Grid) can save cost more than Off-Grid systems. Due to the Off-Grid system, the cost of the battery is large and expensive. So, with the on-grid system, it is more than worth the investment and can sell the electric power back to the electrical system. However, the Off-Grid system also has advantages for remote areas and it is useful for systems with small loads. When the price of the battery decreases, Off-Grid systems will play an important role in smart grid systems.

Keywords— Energy management, Hybrid renewable energy sources, Solar energy, Wind energy, Energy storage system.

1. INTRODUCTION

Currently, electrical energy has a significant role in the survival of the human. With the demand for more energy, they need a power supply to meet demand. In Thailand, the production of electricity is made from crude oil, coal and natural gas which cause air pollution. As the amount of fossil fuels decreases, renewable energy is becoming a valuable alternative that can help to supply enough electricity to meet the needs of consumers. The renewable energy sources in Thailand include solar energy, wind energy, wave energy (water), biomass, biogas, etc., which are clean energy and environmentally friendly [1] [2]. Fig. 1 shows the energy consumption by type of energy.

Electric power is considered to be very important. Therefore, we have conducted research on energy management as well as analysis of hybrid renewable energy systems to be applied to each electrical load system. Finding the optimal size of a standalone solar and wind power system, as well as energy storage, is an essential part of energy management. Therefore, the analysis of renewable energy resources thoroughly to reduce the initial costs and

operating costs of the system [3]. The energy management strategy for microgrids was developed for use in industrial and small-scale groups, both on the grid and off-grid. This system can help to reduce the cost of electricity and fuel costs, whereby the system can predict the load requirements by finding the appropriate value [4].

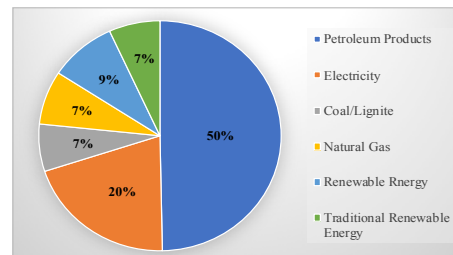


Fig. 1 The energy consumption with the type of energy [2]

The smart grid system gets more attention, which is more intelligent, capable, or more capable of responding to work, using fewer resources and is more efficient, reliable, safe and environmentally friendly. This system has the application of information and communications technology (ICT), sensor systems, data acquisition systems and automatic control technologies so that the power systems can automatically recognize state information for automated decision making [5]. The energy management methods are presented for hybrid renewable energy systems to supply power to the pumping stations. The combined renewable energy systems include solar cells, fuel cells and supercapacitors. Using Fuzzy logic control technique for analysis, it can help improve the system performance [6]. The optimization of the microgrid system using multiple

M. Chaleekure, Graduate Student in Energy Management Engineering Program, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand. Phone: +66-1-876-3336; E-mail: montricha@hotmail.com.

T. Boonraksa, Ph.D. student, School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand. Phone: +66-3-334-5771; E-mail: terapong.boo@rmutr.ac.th.

N. Junhuathon, M.Eng. student, School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand. Phone: +66-0-466-9318; E-mail: doeyno@gmail.com.

*B. Marungsri, (corresponding author) assistant professor in School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand. Phone: +66-9-717-7065; email: bmslvce@sut.ac.th.

renewable sources is a sophisticated system enhancement. The particular swarm optimization techniques have been applied to analysis [7]. One of the essential factors for the excellent performance of an electrical system is to provide sufficient power to the system. Higher load requirements lead to insecurity and inadequate power supply. To ensure a stable electrical system, there must be a correlation between the demand and the available supply. In 2011, household energy consumption in Thailand was in third place of total energy consumption. Also, the demand is also rapidly increasing, close to the energy produced [8], [9]. The renewable energy sources in Thailand have increased dramatically since 2006. This is because the Thai government has the policy to support the renewable energy and clean energy, which has a strategic plan for the country, with incentives for subsidies for biomass and solar power [10]. Fig. 2 shows the proportion of fuel used to generate electricity in the system of EGAT in 2018. In the use of renewable energy sources, whether solar or wind energy, it is necessary to examine the environmental impact of producing such energy. It also analyzes and examines the impact on human health, ecological quality, and resource consumption, especially biomass power plants with the most significant environmental impact [11].

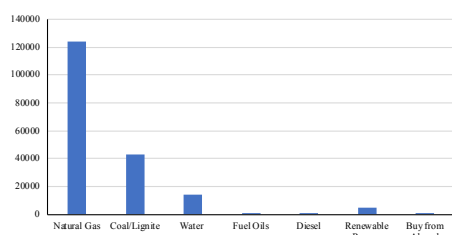


Fig. 2 The proportion of fuel used to generate electricity in the system of EGAT in 2018 [17]

Chaiyaphum province is one of the few areas in Thailand that has the best solar and wind power potential. In order to take advantage of these energies, it is necessary to study the energy management of hybrid renewable energy sources in Chaiyaphum province. Using the HOMER software for analyze to analyzing the renewable energy management to suit the electrical load of this case study. It is the most beneficial use of natural resources, which can reduce the electric charge to a case study area and is a model for other areas.

2. METHODOLOGY

This section describes the theories, techniques for analyzing using the HOMER software, the potential of the area, the case study and the electrical load of the study area.

2.1 HOMER Pro Software

Nowadays, there are several software that has been developed for the design and planning for the production of electricity from renewable energy around the world. HOMER software is a commercially used software developed by the National Renewable Energy Laboratory

(NREL), which is a powerful tool for the simulation of hybrid renewable energy sources [12], [13]. The HOMER software can be used to increase the efficiency of renewable energy systems by considering the system's current cost in different configurations and can check the impact of various loads. HOMER software can simulate similar renewable energy technologies and components available. The results are very detailed for analysis and evaluation, considering the possible combinations of technologies and the different sizes of renewable energy sources, and it can work quickly in multiple conditions. The results may be useful in studying, configuring the system, and optimizing the system [14]. So, Homer version 3.11.2 is used for system simulation in this study, which is a form of renewable energy systems that include PV and WG hybrid system being integrated with the battery energy storage system (BESS), with both models, On-Grid and Off-Grid.

2.2 Study Area

The study area for this research was the central sports stadium in Chaiyaphum Province as shown in Fig. 2. Chaiyaphum Province is located in the northeast of Thailand, while the central sports stadium is under the control of the Chaiyaphum Provincial Administrative Organization. They focus on renewable energy and hybrid renewable energy systems, so this area was selected for this study.

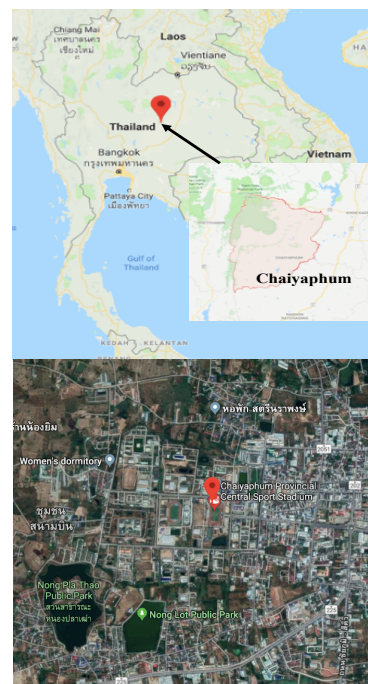


Fig. 3 The study area, the central sports stadium in Chaiyaphum Province

Wind potential in the study area

Wind energy is a natural energy that can be utilized by generating electricity using wind turbines. Wind turbines can change the kinetic energy from the motion of wind into mechanical energy before producing electricity and the wind power generation is not harmful to the environment. The wind speed data of the study area was measured from the Chaiyaphum Station of Thailand Meteorological Department [15]. A month's average maximum wind speed is 6.07 m/s, the minimum wind speed 4.49 m/s and the average annual wind speed 5.35 m/s measured at the height of 50 m.

Solar potential in the study area

Solar energy is a clean, pollution-free natural energy that has been used extensively throughout the world. It is a high potential renewable energy that can be used extensively, especially the use of solar energy to produce electricity. It can enhance the stability of the power system and also reduce global warming to one another. Solar cells are electronic devices created to convert solar energy into electricity. Solar power generation has the highest efficiency in daytime operation, which corresponds to peak load applications in the daytime. In Thailand, the highest average sunshine area is in the northeastern part of the country and the intensity of solar radiation is in the range of 20-24 MJ/m²/day [16]. In Chaiyaphum province, annual solar radiation is measured, with the average annual average of 6.04 kWh/m² in April and the lowest average power of 4.760 kWh/m². In the study area, the average solar energy was 5.17 kWh/m² and average ambient temperature 20 °C.

2.3 Load assessment of the study area

Before selecting any type or size of the renewable energy system, it is necessary to estimate the electrical load carefully. The electrical load data are based on the existing electrical load data of the center sports stadium of the year 2017, which was measured by the installation of a data collection system through the Provincial Electricity Authority. The main electrical load at Chaiyaphum central stadium is the general lighting system, incandescent spotlight and electric water pumping system. The maximum electric load occurred during May and June, which was calculated by the Homer program as a potential electrical load in the future, averaging 331.6 kWh/day and 120,450 kWh/yr. with a maximum power of 85.64 kW [17]. Fig. 6 and Fig. 7 show the characteristics of the daily electrical load curve and monthly electrical load curve, respectively.

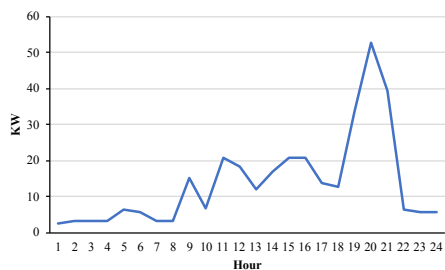


Fig. 6 The daily electrical load curve

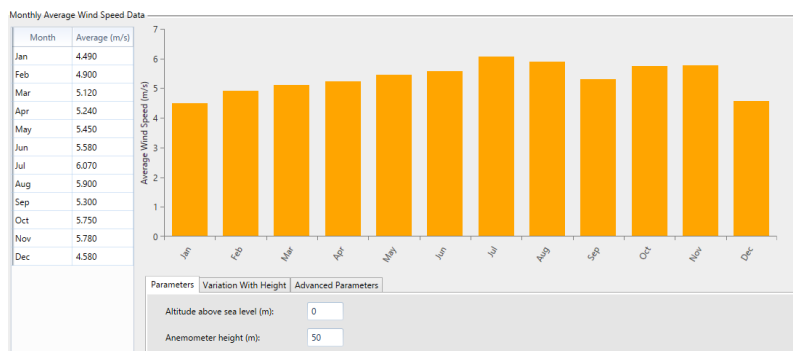


Fig. 4 The data of annual average wind speed for the study area, Chaiyaphum Province

M. Chaleekure, T. Boonraksa, N. Junhuathon, and B. Marungsri / GMSARN International Journal x (2018) xx - xx

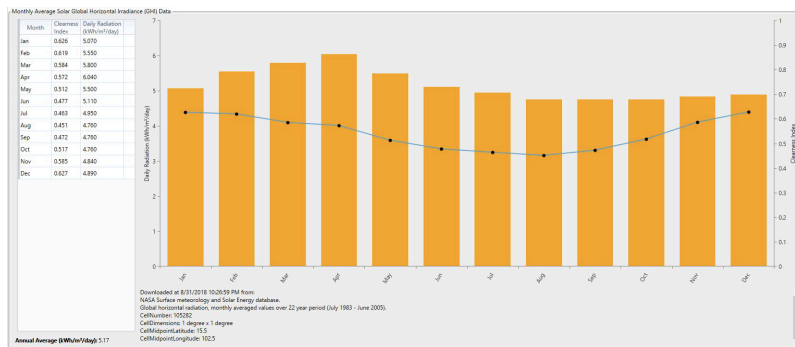


Fig. 5 The data of annual average solar energy for the study area, Chaiyaphum Province

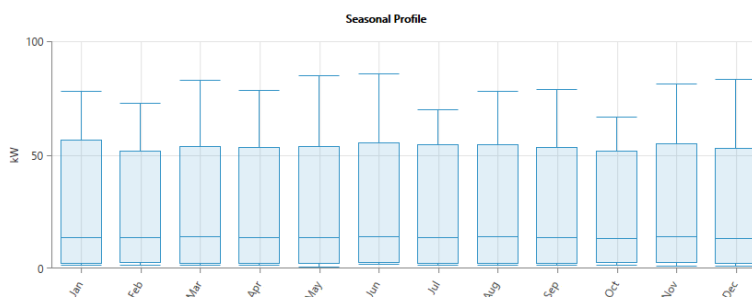


Fig. 7 The monthly electrical load curve

3. DESIGNING ON-GRID AND OFF-GRID RENEWABLE SYSTEMS

The subsystem size is determined by the relationship between the electrical energy demands of the electrical load of the Chaiyaphum central stadium with the system type using the HOMER software. In order to find the appropriate subsystem size of the electrical load on the system, choose the system components from the HOMER software for On-Grid and Off-Grid renewable systems. Fig. 8 shows the grid-connected system consisting of a PV array, wind turbine, converter, and grid for a backup system. Fig. 9 shows an Off-Grid system consisting of a PV array, wind turbine, converter, and batteries for a backup system.

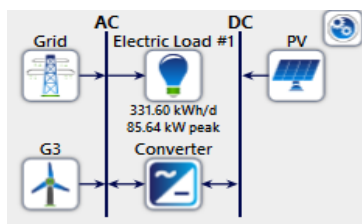


Fig. 8 On-Grid renewable system

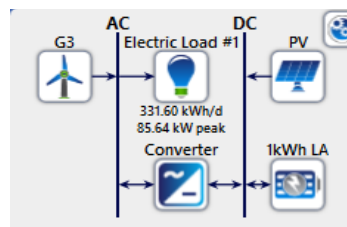


Fig. 9 Off-Grid renewable systems

After the renewable energy system connects to the program, to give the experimental results which were closest to the actual values, some parameters must be set such as the equipment, installation and maintenance costs as well as the purchase and the sale rate of electricity. Table 1: shows the cost of equipment in renewable energy systems, which the EPA has determined the purchase price of electricity produced from renewable energy of 6.01 baht/kWh and the electricity is charged with 4.35 baht/kWh [23], [24]. After entering the information into the program, the simulation results are shown in the section below.

Table 1 Cost of Equipment in Renewable Energy Systems [18-22]

Equipment	Equipment cost (USD)	Installation and Transportation costs (USD)	Maintenance costs/year (USD)
Wind Turbine 3 kW	2,809.85	244.33	24.43
PV array 330 W	128.28	24.43	6.10
Battery 1 kWh	100.9	3.05	1.53
Converter	55.05	1.53	1.53

4. SIMULATION RESULTS

The simulation results of this study show the size of the subsystem of renewable energy sources and the cost of investment. Fig. 11 shows the results of the On-Grid cost analysis of the renewable energy system. Fig. 14 shows the simulation results of the renewable energy system. A combination of hybrid renewable energy sources combined to produce the electricity and supply to the load was used.

4.1 On-Grid cost analysis of Renewable Energy system

The grid connection system uses grid systems as a backup power source. The monthly average electricity production is shown in Fig. 10. Fig. 12 shows the production and consumption of electricity in the On-Grid system. In the component architecture for PV (kW), optimizing capabilities by selecting 70 kW and WG of 18 kW are combined to meet the maximum power load, and converter 301 kW. The cost will calculate the total cost of the system for 25 years. The COE (cost of energy) is 0.0115 USD, NPC (Net Present Cost) 27,307 USD and initial cost for the system 47,380 USD.

4.2 Off-Grid cost analysis of Renewable Energy system

In the systems that are not connected to the grid, the system uses battery power and has a larger size of renewable energy systems. The average monthly electricity production of this system is shown in Fig.13 and the production and consumption of electricity for the Off-grid system is shown in Fig.15. HOMER selects the solar cell size 135 kW, the wind turbine 42 kW, the battery 962 kWh and the converter 93.2 kW are based on the specified electrical load. The cost will calculate the total system cost for 25 years. So, the COE (cost of energy) is 0.163 USD, NPC (Net Present Cost) 255,589 USD, and the initial cost for the system is 193,932 USD.

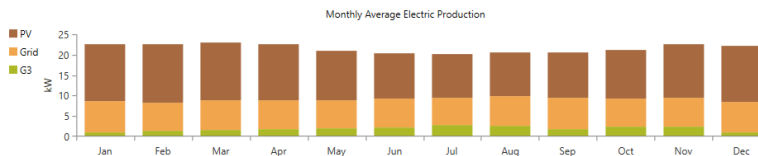


Fig. 10 Monthly electricity production of the On-Grid system

Architecture							Cost			
PV (kW)	G3	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)		
70.0	6	1,000	60.1	CC	\$27,307	\$0.0115	-\$1,553	\$47,380		

Fig. 11 The simulation result of On-Grid power system

Production			Consumption			Quantity		
	kWh/yr	%		kWh/yr	%		kWh/yr	%
Generic flat plate PV	109,892	58.1	AC Primary Load	121,034	65.9	Excess Electricity	57.6	0.0304
Generic 3 kW	16,891	8.92	DC Primary Load	0	0	Unmet Electric Load	0	0
Grid Purchases	62,470	33.0	Deferrable Load	0	0	Capacity Shortage	0	0
Total	189,252	100	Grid Sales	62,669	34.1			
			Total	183,703	100			

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	66.0	%
Max. Renew. Penetration	114	%

Fig. 12 Production and consumption of electricity (On-Grid)

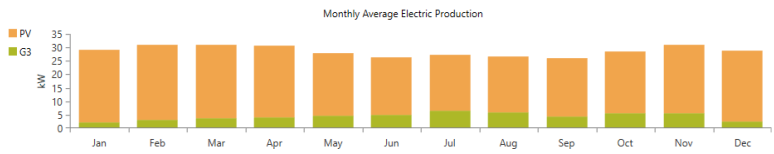


Fig. 13 Monthly electricity production of the Off-Grid system

Architecture					Cost			
PV (kW)	G3	1kWh LA	Converter (kW)	Dispatch	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)
135	14	962	93.2	CC	\$255,589	\$0.163	\$4,769	\$193,932

Fig. 14 The simulation result of an Off-Grid power system

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%	Quantity	kWh/yr	%
Generic flat plate PV	211,600	84.3	AC Primary Load	120,954	100	Excess Electricity	110,936	44.2
Generic 3 kW	39,411	15.7	DC Primary Load	0	0	Unmet Electric Load	79.6	0.0658
Total	251,012	100	Deferrable Load	0	0	Capacity Shortage	120	0.0994
			Total	120,954	100			

Quantity	Value	Units
Renewable Fraction	100	%
Max. Renew. Penetration	4,538	%

Fig. 15 Production and consumption of electricity (Off-Grid)

Table. 2 Comparative Costs of On-Grid and Off-Grid System

System	PV (USD)	G3 (USD)	Grid (USD)	Battery (USD)	Converter (USD)	Total cost (USD)
On-Grid power system	44,659.37	18,957.99	- 40,841.98	-	4,531.37	27,306.75
Off-Grid power system	85,993.06	44,235.31	-	118,333.95	7,026.55	255,588.86

Table. 3 Electricity Productions

System	Generic flat plate PV	Generic 3 kW	Grid purchases	Total
On-Grid power system	109,892 kWh/yr.	16,891 kWh/yr.	62,470 kWh/yr.	189,252 kWh/yr.
Off-Grid power system	211,600 kWh/yr.	39,411 kWh/yr.	-	251,011 kWh/yr.

Table 2 shows the comparative costs of On-Grid and Off-grid system. On-Grid system had a Total cost of less than Off-Grid system up to 10 times. Due to the On-Grid system, the electricity can be sold back to the grid, which can reduce costs. The Off-Grid system requires more power generation units than the On-Grid system and with a large battery energy storage system, Off-Grid systems had a total higher cost.

Table 3 shows electricity production; the On-Grid system generates 189,252 kWh/yr of electricity, which is less than the Off-Grid system that can generate 253,011 kWh/yr. Due to the On-Grid systems having the less power generation unit and can purchase the electricity from the power grid (62,470 kWh/yr). It is used as a backup at peak load and during the night. Simulation of hybrid renewable energy system appropriate to the load of the Central Sports Stadium in Chaiyaphum Province, the On-Grid hybrid renewable energy system is best suited for this case study. Using renewable energy from wind and solar energy, 70 kW solar system and a low speed wind turbine of 18 kW. The system selects the size of the solar system rather than the wind energy because of its low cost. Off-Grid systems are so large that they provide enough electricity to load as they are not

connected to the electrical system and the energy is stored in the battery for backup power.

The obtained results can evaluate by comparison with the Frisk's research [25]. He simulation and optimization of a hybrid renewable energy system for application on a Cuban farm. Using renewable energy from PV, wind, biogas and battery. The annual average electrical load of the system is 264 kWh/day, the peak load is 26.34 kW. As a result, he installed a PV system 100 kW and wind 10 kW. The hybrid system (Off Grid) can produce the electricity 222,374 kWh/yr. The Total cost of the system 419,000 USD. Compared to the results, the size of the installed system and the amount of electricity produced were comparable. The price of the system is high, probably due to the price of each device is not equal, some devices may be expensive. For comparison, this shows the installation size of the hybrid system that tends to go in the same way.

5. CONCLUSION

The energy management of renewable energy sources is essential in making the most of the energy conversion and use of natural energy. In the study area, the electric load of the center sports stadium in Chaiyaphum Provincial, using the 1-year electricity data from the Provincial Electricity Authority was used. It is used as the basis for analyzing subsystems of integrated renewable energy systems and analyzing system interactions between solar cells, wind turbines, battery and other devices, both On-Grid and Off-Grid system.

The grid connection system uses grid systems as a backup power source. This article analyzes the cost of On-Grid and Off-Grid hybrid renewable energy systems at the center sports stadium in Chaiyaphum Provincial. The simulation results show that grid connections (On-Grid) can save cost more than Off-Grid systems. Due to the Off-Grid system, the cost of the battery is large and expensive. So, with the On-Grid system, it is more than worth the investment and can sell the electric power back to the electrical system. However, the Off-grid system also has advantages for remote areas and it is useful for systems with small loads. When the price of the battery decreases, Off-Grid systems will play an essential role in the smart grid systems.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to the Suranaree University of Technology, Thailand, for providing the laboratory and the financial support.

REFERENCES

- [1] Chaleekure, M., Boonraksa, T., Junhuathon, N., and Marungsri, B. (2018). Optimal Design of Hybrid Renewable Energy Generation Sources Integrated with Battery Energy Storage System; A Case Study of Nongplathao Park, Chaiyaphum Provincial Administration Organization, Thailand. *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Electrical Engineering and Automation (ICEEA 2018)*. doi:10.2991/iceea-18.2018.18.
- [2] Renewable energy, biomass, Minister of energy in Thailand, Retrieved August 20, 2018, Available online: <http://www.thailandenergyeducation.com/assets/media/A004.pdf>
- [3] Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., and Yang, H. (2010). Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. *Applied Energy*, 87(2), 380-389. doi:10.1016/j.apenergy.2009.08.012.
- [4] Liu, Y., You, S., and Liu, Y. (2017). Study of Wind and PV Frequency Control in U.S. Power Grids—EI and TI Case Studies. *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, 4(3), 65-73. doi:10.1109/jpets.2017.2744559.
- [5] Smart Grid, Minister of energy in Thailand (2560), Retrieved August 20, 2018, Available online: <http://www.doeb.go.th/kmv2/smart-grid190560.pdf>
- [6] Chaouali, H., Othmani, H., Selmène, M., Mezghani, D., and Mami, A. (2017). Energy Management Strategy of a PV/Fuel Cell/Supercapacitor Hybrid Source Feeding an off-Grid Pumping Station. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(8). doi:10.14569/ijacsa.2017.080832.
- [7] Maleki, A., Rosen, M., and Pourfayaz, F. (2017). Optimal Operation of a Grid-Connected Hybrid Renewable Energy System for Residential Applications. *Sustainability*, 9(8), 1314. doi:10.3390/su9081314.
- [8] H. Swalehe, P. V. Chombo, and B. Marungsri, Appliance Scheduling for Optimal Load Management in Smart Home Integrated with Renewable Energy by Using Whale Optimization Algorithm, *GMSARN International Journal*, 12(2018), 65 – 75.
- [9] Energy Statistics & Information, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of energy in Thailand, Retrieved August 20, 2018, Available online: http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42079.
- [10] P. Gamonwet, S. Dhakal, and K. Thammasiri, The Impact of Renewable Energy Pricing Incentive Policies in Thailand, *GMSARN International Journal*, 11(2017), 51 – 60.
- [11] W. Khaenson, S. Maneewan, and C. Punlek, Life Cycle Assessment of Power Generation from Renewable Energy in Thailand, *GMSARN International Journal*, 10(2016), 145 – 156.
- [12] A. Stiel, M. Skyllas-Kazacos, Feasibility Study of Energy Storage Systems in Wind/ Diesel Applications Using the HOMER Model. *Applied Sciences*, 2(4) (1012), 726-737.
- [13] The HOMER Pro microgrid software by HOMER Energy, Retrieved August 20, 2018, Available online: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>.
- [14] Khare, V., Nema, S., and Baredar, P. (2016). Optimization of hydrogen-based hybrid renewable energy system using HOMER, BB-BC and GAMBIT. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(38), 16743-16751. doi:10.1016/j.ijhydene.2016.06.228.
- [15] Energy situation report of Chaiyaphum Province (2014), Retrieved August 20, 2018, Available online: <http://www.thaienergydata.in.th/download/๕๐๑๖.pdf>.
- [16] Renewable energy outlook, Minister of Energy Thailand, 197-229. (2017), Retrieved August 20, 2018, Available online: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Nov/IR-ENA_Outlook_Thailand_2017.pdf.
- [17] Electricity Generating Authority of Thailand (2018), Retrieved August 20, 2018, Available online: https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=2455&Itemid=116.
- [18] Mone, C., Smith, A., Maples, B., and Hand, M. (2015). 2013 Cost of Wind Energy Review. doi:10.2172/1172936
- [19] Source Batteries Products from Manufacturers & Suppliers in China. (n.d.). Retrieved August 20, 2018, Retrieved from https://www.made-in-china.com/special/batteries/?gclid=EAlaIqobChMI_NG a4_Sd3QIVxjUrCh1Lvw-GEAAAYASAAEgJTRvD_BwE#special1.
- [20] Inverter and power supplies prices, Teleport Corporation Supply, Retrieved August 20, 2018, Available online: <http://www.telepart.net/อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใหม่>

M. Chaleekure, T. Boonraksa, N. Junhuathon, and B. Marungsri / GMSARN International Journal x (2018) xx - xx

- อินเวอร์เตอร์แปลงไฟDC12V-AC220Vเครื่องแปลงไฟDC-AC.html.
- [21] Wind turbine 3 kW, Sanunwongsung, K., Retrieved August 20, 2018, Available online: <http://naturalenergyth.com/product/11/เครื่องปั่นผลิตไฟฟ้า-3-000-วัตต์-wind-turbine-3-kw-.html?pcateId=1>.
- [22] Solar panels prices, supersolarz, Retrieved August 20, 2018, Available online: https://www.supersolarz.com/index.aspx?gelid=EAlaIQobChMlu6CO9fud3QIVlAsrChIzlwexEAAYASAAEgLK2fD_BwE.
- [23] The purchase of electricity from solar power, Energy Regulatory Commission Retrieved August 20, 2018, Available online: <http://www.erc.or.th/ERCWeb2/Upload/Document/part3-Solar-Feb%2024%202015-regulation.pdf>.
- [24] Electricity Tariffs, Provincial Electricity Authority, Retrieved August 20, 2018, Available online: http://peane2.pea.co.th/kalasin/ckfinder/userfiles/files/kls/electricity_rate_11_58.pdf.
- [25] Frisk, M. (2017). Simulation and Optimization of a Hybrid Renewable Energy System for application on a Cuban farm. Uppsala university. Retrieved August 20, 2018, Available online: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1083428/FULLTEXT01.pdf>.

ระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืน ด้วยระบบพลังงานทดแทน กรณีศึกษาพื้นที่สวนสาธารณะ
หนองปลาเฒ่า อ.เมือง จ.ชัยภูมิ

Water treatment with renewable energy systems: Case study at Nong Pla Thao Park
area, Chaiyaphume province

วิรัชย์ ไวยรินทร์^{1*} มนตรี ชาลีเครือ² คุณานันท์ ทายาทร³ วงศกร วิเศษสังจา⁴ เสาวลักษณ์ บุญยอด⁴ และศักดา ปรีชาวัฒน์สกุล⁴

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

² สาขาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา

³ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

⁴ สาขาพลังงานและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันบึงน้ำสาธารณะและพื้นที่น้ำส่วนใหญ่ในประเทศไทยซึ่งเป็นบึงน้ำปิดหรือบึงน้ำที่ไม่มีกระแสเคลื่อนที่ของน้ำซึ่งมีในสวนสาธารณะขนาดใหญ่ มีการใช้พื้นที่ใช้สอยและมีการเลี้ยงและปล่อยสัตว์น้ำมีการเนาเหินและสีที่ไม่สวยงาม อีกทั้งมีค่าออกซิเจนในน้ำที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่สัตว์น้ำจะอยู่ได้ รวมทั้งมีมลภาวะทางกลิ่นและสีที่ไม่สวยงามตามมาหน่วยงานที่ดูแลและรับผิดชอบส่วนใหญ่จึงใช้การบำบัดด้วยการเติมสารเคมีหรือวิธีเคมีบำบัด มาชานาน หรือไม่ก็ใช้เครื่องเติมอากาศ หรือเครื่องตีน้ำที่ใช้ไฟฟ้ามาจากฟอสซิลหรือเครื่องยนต์ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่ตามมาอีกมาก ทั้งค่าสารเคมี หรือค่าใช้จ่ายไฟฟ้าหรือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการบำบัดน้ำในพื้นที่น้ำขนาดใหญ่ ในงานนี้ เช่นเดียวกับกับ บึงหนองปลาเฒ่า ซึ่งเป็นสวนสาธารณะกลางเมือง และเป็นที่ตั้งของศาลเจ้าพ่อพญาแล ซึ่งมีการปล่อยสัตว์น้ำต่างๆอีกทั้งมีการใช้เคมีบำบัดมาชานาน ทางคณะวิจัย ร่วมกับองค์การบริหารจังหวัดชัยภูมิ จึงทำการออกแบบติดตั้งระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืนด้วยการใช้พลังงานทดแทนอย่างเต็มรูปแบบ ด้วยการผลิตไฟฟ้าจาก 3 ระบบพลังงานทดแทน คือกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำขนาด 10 kw จำนวน 4 ชุด กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาด 5kw จำนวน 1ชุด และระบบเครื่องกังหันตีน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 10 ชุด โดยระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมนำมาขับมอเตอร์ปั้มน้ำทำให้เกิดหารหมุนเวียนของน้ำอยู่ที่ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยทำการเดินเครื่องปั้มน้ำอยู่ที่ภาระโหลดที่ 10 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่องเดินเครื่องวันละ 10 ชั่วโมง คิดเป็นการใช้ไฟฟ้าที่วันละ 200 หน่วยไฟฟ้าต่อวันซึ่งกังหันลมที่ติดตั้งนั้น สามารถผลิตรับรองภาระได้อย่างเพียงพอต่อวัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลน้ำและได้มาทำการหมุนเวียนให้น้ำที่อยู่นิ่งให้เกิดการเคลื่อนที่ ให้เกิดวิธีบำบัดน้ำตามธรรมชาติ environmental flows และไหลเวียนน้ำได้ถึงวันละประมาณ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

คำสำคัญ: ระบบบำบัดน้ำ กังหันลมขนาดเล็ก พลังงานทดแทน

Abstract

This paper is to study the water treatment with renewable energy systems in Nong Pla The Park area of Chaiyaphum province. The problem is that the park area consists with large pond, which there is not a water circulation system. Hence, the water would be rotten due to the death animals and inadequate amount of the oxygen in the water. There renewable energy systems are included four sets of 10 kW capacity wind turbines, a 5 kW water turbine and ten 300 W solar turbines for water treatment. The wind turbines are used for generating electricity to power the water pump to circulate the water at 30 m³/h. There are two water pumps with 10 kW each and there operates ten hours per day. The total electrical unit power from the water pumps is 200 kWh, which it is adequate for wind turbines to produce electricity per day. This circulation system would create the natural water treatment and these could circulate the water in the pond for 300 m³/day.

Key words: Water treatment, Small wind turbines, Renewable energy

* Corresponding author: Tel.: 02-5493433. E-mail address: wirachair.en@rmutt.ac.th

1. บทนำ

ด้วยองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ ได้ดำเนินโครงการต้นแบบการบำบัดน้ำการใช้พลังงานทดแทนเพื่อเพิ่มคุณภาพน้ำสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่าแบบยั่งยืน โดยใช้พลังงานทดแทนแบบสะอาด ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมเพื่อสนองนโยบายของภาครัฐบาล เป็นศูนย์การเรียนรู้และการเร่งรัดการใช้งบประมาณขององค์การบริหารส่วนจังหวัด โดยโครงการดังกล่าวขององค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ ไม่มีบุคลากรหรือฝ่ายงานที่เกี่ยวข้องทางด้านพลังงานโดยตรง จึงได้รับความร่วมมือ ความอนุเคราะห์ในโครงการนี้กับศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานทดแทน ได้ทำการศึกษา สืบค้น ตลอดจนการ ออกแบบ ออกข้อกำหนดทางเทคนิค ของระบบพลังงานทั้งหมด และการจัดทำ รายละเอียดขอบเขตของงาน (Term of reference : TOR) ของโครงการนี้ โดยมีรายละเอียดลักษณะของระบบพลังงานต่างๆ ในการติดตั้ง ระบบกักเก็บการผลิตไฟฟ้า การติดตั้งระบบสูบน้ำ การติดตั้งระบบชุดกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า การติดตั้งเครื่องเติมอากาศ เพื่อบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบหมุนลอยน้ำ การสร้างพังกั้นน้ำ และ ทดลองระบบการทำงานจนแล้วเสร็จสมบูรณ์ ของโครงการ โดยมีผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน เป็นที่ปรึกษาให้กับโครงการฯ เพื่อให้โครงการได้ดำเนินงานไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลตามเป้าหมายที่ได้วางกรอบเอาไว้แล้วในโครงการนี้ต่อไป

1.1 หลักการและเหตุผล

ตามพระราชบัญญัติองค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ พ.ศ. ๒๕๔๐ กำหนดให้กิจการดังต่อไปนี้เป็นกิจการที่ราชการส่วนท้องถิ่นสมควรให้องค์การบริหารส่วนจังหวัดดำเนินการ จัดทำ คุ้มครอง ดูแล และ บำรุงรักษาทรัพยากรและธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม การจัดให้มีและ บำรุงรักษาสถานที่สำหรับสนามกีฬา สวนสาธารณะซึ่ง สวนสาธารณะ หนองปลาเฒ่าอยู่ในความรับผิดชอบและบริหารงานขององค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ นับว่าเป็นพื้นที่สำคัญ เป็นสวนสาธารณะขนาดใหญ่ที่อยู่ใจกลางเมือง มีปริมาณพื้นที่โดยรวม 186 ไร่ 3 งาน 88 ตารางวา โดยแบ่งพื้นที่ทั้งหมด เป็นพื้นที่ดินประมาณ 78 ไร่ พื้นที่น้ำ ประมาณ 108 ไร่ กว่า สามารถกักเก็บน้ำได้ในปริมาณกว่า 5 แสนลูกบาศก์เมตร โดยจัดให้เป็นสวนสาธารณะขนาดใหญ่มีประชาชนในพื้นที่และใกล้เคียงมาใช้บริการ สรรพทานการต่างๆ และ เพื่อพักผ่อนออกกำลังกายในช่วงเช้าและเย็นถึงค่าเป็นจำนวนมาก ซึ่งพื้นที่ของสวนสาธารณะติดกับที่เคารพูของชาวชัยภูมิคือ ศาลเจ้าพระยาภักดีชุมพล(แล) จึงทำให้ประชาชนมากราบไว้สักการบูชา มีการทำบุญปล่อยปลาใส่สู่อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่หรือหนองปลาเฒ่าเป็นประจำในแต่ละวัน และ เป็นเวลามายาวนาน ทำให้มีปลาเป็นจำนวนมาก และ พื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่ามีลักษณะเป็นหนองปิด ที่ไม่มีการเชื่อมต่อบนน้ำกับลำน้ำสาธารณะหรือลำคลองใดๆได้ น้ำที่กักเก็บเป็นน้ำฝนที่ตกลงสมในแต่ละปีเป็นหลัก การถ่ายเทของน้ำจึงไม่มีการหมุนเวียนทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำสะสมอย่างช้าๆมาเป็นเวลานาน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นของน้ำเสียคั่งค้างจากการ ทำบุญปล่อยปลาและให้อาหารปลาของผู้ที่มาสักการศาลเจ้าพ่อฯ และมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกๆปี เป็นปัญหาเร่งให้เกิด การเน่าเสียและมีกลิ่นเหม็นในแต่ละปี อันเป็นบ่อเกิดให้การให้บริการสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่าของประชาชน น้อยลง และ ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำโดยตรง เช่น ปลาต่างๆ เต่า กุ้งหอย ที่อาศัยในหนองน้ำ มีปัญหาด้านคุณภาพสัตว์น้ำต่อไปได้มากขึ้น ตลอดจนผู้ที่อาศัยโดยรอบๆและประชาชนที่สัญจรผ่านไปมาเป็นประจำด้วย

ด้านปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข องค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ จึงได้มองเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว พร้อมได้หาแนวทางทางแก้ไขปัญหาย่างยั่งยืนถาวร มุ่งเน้นการแก้ปัญหาที่ไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่การใช้งานของพื้นที่เดิม คือ เป็น สวนสาธารณะเพื่อการพักผ่อนและนันทนาการ ไม่ส่งผลกระทบในระยะยาว โดยมุ่งเน้นการบำบัดน้ำด้วยพลังงานทดแทนที่สะอาด และสามารถเป็นจุดเด่น (Land mark) เพิ่มเติมให้กับพื้นที่เดิมหรือเป็นแหล่งเรียนรู้การใช้

พลังงานทดแทนได้ ซึ่งจังหวัดชัยภูมิเป็นพื้นที่ไม่มีกังหันในประเทศที่มีศักยภาพของพื้นที่ในด้านลมที่ดีที่สุด แห่งหนึ่งของประเทศ ตลอดถึง การศึกษาดูงาน มีการจัดบันทึกความร่วมมือกับ ศูนย์วิจัยฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งมีความเชี่ยวชาญด้านพลังงานลม จึงได้เข้ามาช่วยศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการแก้ไข และการป้องกันในระยะยาวที่ไม่จำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายด้านค่าไฟ และลดการเติมสารเคมีลงไปบ่อย ทำให้เกิดการบำบัดน้ำอย่างยั่งยืนต่อไป

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

2.1 หลักการทำงานของกังหันลม

พลังงานลมสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้กังหันลมเพื่อแปลงพลังงานจลน์ของลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกเชื่อมต่อกับเพลา โดยที่เพลาจะขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้กังหันลมในการรับพลังงานลม จุดตั้งฟาร์มกังหันลมที่ดีที่สุดอยู่ที่ยอดเนินเรียบภูเขากลมชายฝั่งและช่องว่างภูเขาที่เปรียบเสมือนอุโมงค์ลม ความเร็วลมเฉลี่ยของประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 4-5 เมตรต่อวินาที [1,2]

ในการวิจัยนี้ได้มีการติดตั้งกังหันลมขนาด 10 กิโลวัตต์ จำนวน 4 ชุด เพื่อจะทำการผลิตไฟฟ้าเพื่อการใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย มีการสูบน้ำขึ้นถังสูงและใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำด้วยการใช้ปั๊ม โดยการสูบน้ำจากบ่อใหญ่ส่งมายังถังคอกเล็กที่มีสภาพคล้ายการไหลวนของธรรมชาติ โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นหลัก น้ำเสียจะโดนเติมอากาศด้วยกังหันน้ำที่สูบลับด้วยกังหันน้ำขนาดเล็ก ที่ผลิตทั้งไฟฟ้าและเติมอากาศไปด้วยในตัวน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะโดนสูบกลับมาจากอีกด้านของบ่อ เกิดการไหลเวียนตามหลักธรรมชาติที่มีความยั่งยืนทั้งด้านพลังงานทั้งพลังงานไฟฟ้าและการเติมอากาศ และไฟฟ้จากไฟฟ้าแสงสว่าง ในบริเวณสวนสาธารณะยังใช้งานได้เป็นอย่างดีทำให้เกิดการใช้งานอย่างสมดุลตามหลักการพึ่งพาตนเองและยั่งยืน

สมการของกำลังในการผลิตไฟฟ้าของพลังงานลมสามารถอธิบายได้ดังนี้:

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

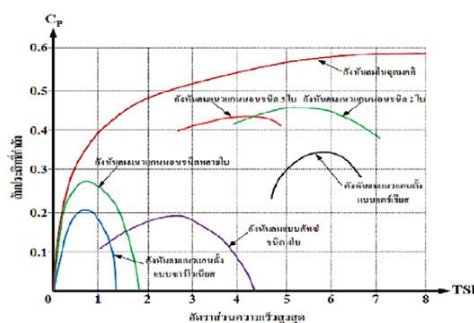
เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (1.225 kg/m³), A = พื้นที่กวาด (m²) V = ความเร็วลม (m/s), C_p = สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

สมการ Tip speed ratio (TSR) สามารถเขียนได้ดังต่อไปนี้

$$TSR = \lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (2)$$

เมื่อ ω = ความเร็วของใบพัดกังหัน (rad/s), R = รัศมีของใบพัดกังหัน (m), V = ความเร็วลม (m/s)

ค่าเฉลี่ยของ C_p สำหรับกังหันความเร็วสูงจะอยู่ที่ประมาณ 0.34 - 0.5 และสำหรับกังหันความเร็วต่ำอยู่ที่ 0.2 - 0.45 ค่าของอัตราส่วนความเร็วปลายที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของพลังงานโรเตอร์สามารถแสดงในรูป



ภาพที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานทั่วไปของประเภทโรเตอร์ที่ต่างกันเมื่อเทียบกับอัตราส่วนความเร็วปลาย

ผลจากการคำนวณ

ค่าเฉลี่ยของลมที่พื้นที่บริเวณหนองปลาเฒ่า = 4.8 เมตรต่อวินาที รัศมีของใบกังหันลม = 4.2 เมตร

พื้นที่กวาดของกังหันลม = 55.42 ตารางเมตร

ดังนั้น จากสมการของกำลังในการผลิตไฟฟ้าของกังหันลม:

$$P_w = \frac{1}{2} \times 1.225 \times 55.42 \times 4.8^3 \times 0.45 = 1,689 \text{ W} \approx 1.7 \text{ kW}$$

สามารถคำนวณการผลิตพลังงานลมต่อวันได้:

$$P_w = 1.7 \text{ kW} \times 24 \text{ hours} = 40.8 \text{ kWh/day}$$

กังหันลมผลิตไฟฟ้า 4 ชุด ได้เฉลี่ยวันละ 164 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน



ภาพที่ 2 พื้นที่ติดตั้งระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าและบึงน้ำสาธารณะ

2.2 กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

พลังงานน้ำ คือ พลังหรือกำลังที่เกิดจากการไหลของน้ำ ซึ่งเป็นพลังที่มีอนุภาพมาก หากไม่สามารถควบคุมได้ พลังน้ำนั้นก็สามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินได้อย่างกว้างขวาง เช่น การเกิดอุทกภัยในบริเวณที่ลาดเชิงเขา หรือบริเวณที่มีความลาดชันสูง และการเกิดสึนามิ เป็นต้น ในทางตรงกันข้าม หากสามารถควบคุมพลังน้ำได้ตามแนวทางที่เหมาะสม พลังน้ำอันมหาศาลนั้น ก็สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์แก่มนุษยชาติได้ พลังน้ำได้ถูกใช้ประโยชน์มาแล้วหลายร้อยปี กังหันน้ำสำหรับยกน้ำขึ้นที่สูงเพื่อใช้ประโยชน์ในครัวเรือนและการชลประทาน เพื่อหมุนเครื่องจักรในโรงงานสีข้าว โรงงานทอผ้า โรงงานเลื่อยไม้ และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในปัจจุบันนิยมใช้ในการผลิตไฟฟ้าเรียกว่า ไฟฟ้าพลังน้ำ

หลักการของการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำจากสถานะพลังงานศักย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยความแตกต่างของระดับน้ำมาใช้หมุนกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าซึ่งในระหว่างกระบวนการเปลี่ยนสภาพพลังงานชั้นต่างๆ จะมีความสูญเสีย (Loss) ของพลังงานเกิดขึ้น เช่น ความสูงของท่อน้ำ ความเร็วของน้ำ ความฝืด การรั่วไหลของน้ำ การสิ้นสะท้อน การเสียดสีระหว่างเพลากับแบริ่ง ฯลฯ เกิดขึ้น การแปรสภาพจากพลังงานน้ำมาเป็นพลัง ไฟฟ้า โดยอาศัยกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นไปตามสูตรแสดงความสัมพันธ์การแปรพลังงานศักย์เป็นพลังงานไฟฟ้า [3,4]

$$P = 9.807QH \quad (3)$$

โดย P = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
 Q = อัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องกังหันน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
 H = ความสูงของน้ำ หรือคัตต์ (เมตร)

ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิต สามารถคำนวณได้จากสมการ

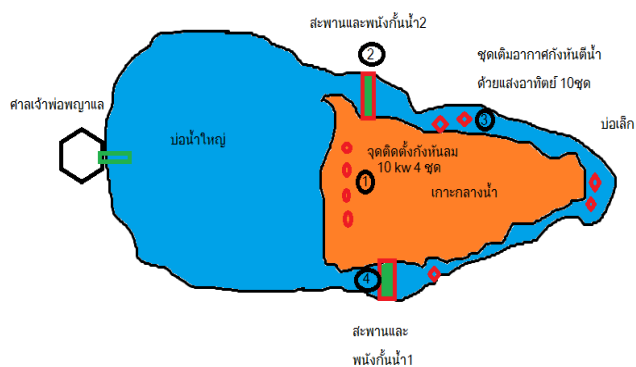
$$W = Pt\eta f \quad (4)$$

โดย P = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)
 t = ระยะเวลาการผลิต (ชั่วโมง)
 η = ประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ-เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
 f = ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับความผันผวนของการไหลของน้ำในลำน้ำ

ทำการติดตั้งชุดกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ชุด ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าและบำบัดน้ำ ทำการติดตั้งบริเวณแนวสะพานข้ามสระที่ 1 โดยการสูบน้ำจากสระใหญ่ส่งมายังคูน้ำเพื่อทำให้เกิดการไหลเวียนซึ่งเป็นระบบการบำบัดน้ำเสีย โดยการไหลเวียนของน้ำพร้อมกับทำให้น้ำแตกตัวเป็นละอองเพื่อเป็นการเติมออกซิเจนลงในน้ำ และนอกจากนี้ยังได้จากการสูบน้ำสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำ เพื่อเป็นการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ใช้ในการสูบน้ำได้มาจากกังหันลมขนาด 10 กิโลวัตต์ สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากกังหันน้ำผลิตไฟฟ้านั้นจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 10 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน ถ้าเดินเครื่อง 6 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งสามารถนำไปเสริมกับพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมที่ทำการผลิตได้ที่ประมาณวันละ 10 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน

2.3 การออกแบบระบบการหมุนเวียนของน้ำในอ่างเก็บน้ำหนองปลาเฒ่า

จากลักษณะบ่อน้ำที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า ที่มีลักษณะปิดไม่มีการไหลเวียนของน้ำและมีปริมาณของสัตว์น้ำจำนวนมาก ทำให้เกิดภาวะน้ำเน่าเสีย



ภาพที่ 3 การออกแบบระบบบนพื้นที่สวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จ. ชัยภูมิ ที่จัดตั้งและทำโครงการ

ลักษณะการออกแบบระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืนในสระน้ำสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า จังหวัด ชัยภูมิ แนวความคิดผู้ออกแบบ ทำการสร้างระบบการหมุนเวียนของน้ำในสวนสาธารณะหนองปลาเฒ่า ซึ่งอาศัยหลักการผลักดันน้ำขึ้นที่สูงและปล่อยให้น้ำไหลลงสู่ที่ต่ำ โดยทำการสร้างพังกั้นน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กที่บริเวณแนวสะพานข้ามสระ ที่ 1 และ 2 เพื่อปิดกั้นน้ำในสระ และยกระดับน้ำให้มีความต่างกันระหว่างสระใหญ่กับแนวคูน้ำรอบเกาะสวนสาธารณะ เพื่อให้สามารถควบคุมการไหลของน้ำภายในสระให้เกิดการไหลเวียนได้ โดยน้ำที่ถูกดูดขึ้น มาในคูน้ำจะไหลไปในแนวคูน้ำรอบเกาะสวนสาธารณะ และทำการบำบัดน้ำให้มีคุณภาพดีขึ้น ด้วยวิธีการนี้ทำให้เกิดฟองอากาศเดิมออกซิเจน ก่อนจะไหลลงพังกั้นน้ำที่ 2 บริเวณสะพานข้ามสระที่ 2 ซึ่งที่พังกั้นน้ำที่ 2 มีระบบการปล่อยน้ำเข้าสู่สระใหญ่ 2 ระบบ ได้แก่

1. การปล่อยน้ำในลักษณะที่สูงลงสู่ที่ต่ำแบบฝายน้ำล้น ซึ่งการไหลของน้ำในลักษณะนี้จะคล้ายม่านน้ำตก ซึ่งน้ำที่ตกลงมาจากพังกั้นน้ำจะเกิดฟองอากาศทำให้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการไหลของน้ำในลักษณะนี้จะถูกควบคุมให้มีการไหลของน้ำไม่มากกว่า 30 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

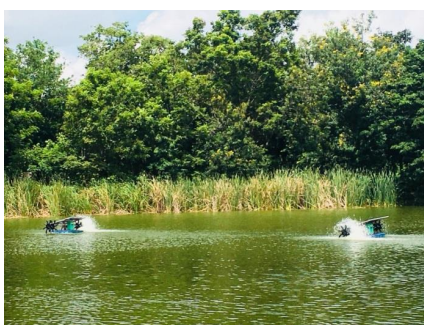
2. ระบบสูบน้ำ ด้วยมอเตอร์ปั้มน้ำ ทำหน้าที่ผลักดันน้ำที่อยู่แนวพังกั้นน้ำ ให้ไหลกลับเข้าสู่สระน้ำใหญ่อีกครั้ง ทั้งนี้ทางผู้ออกแบบได้ทำการติดตั้งท่อ น้ำ ขนาดความยาว 10 เมตรเชื่อมต่อลงไปในสระน้ำเพื่อเป็นการกระจายมวลน้ำที่ได้ทำการบำบัดเพิ่มออกซิเจน ลงไปที่ไกลจากขอบสระ เพื่อเป็นการกระจายน้ำให้เกิดเป็นบริเวณกว้างเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอัตราการไหลของน้ำในลักษณะนี้จะถูกควบคุมให้มีการไหลของน้ำไม่มากกว่า 20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง



ภาพที่ 4 พื้นที่ติดตั้งระบบมอเตอร์สูบน้ำทั้ง 2 ประตุน้ำ



ภาพที่ 5 พื้นที่สะพานและกั้นน้ำผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำที่ 1



ภาพที่ 6 จุดเดิมอากาศกั้นน้ำนี้ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 7 พื้นที่สะพานและพนักกันน้ำที่ 2

จุดบริเวณพนักกันน้ำที่สะพานที่ 1 และ 2 ทางผู้ออกแบบระบบได้ทำการติดตั้งมอเตอร์ปั้มน้ำ ขนาด 30 kw ที่สามารถสร้างแรงดันน้ำสุทธิ (Gross Head) ไม่ต่ำกว่า 30 เมตรน้ำ โดยควบคุมการทำงานด้วยระบบ Inverter ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ เพื่อให้สอดคล้องกับการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมที่ติดตั้งบริเวณเกาะสวนสาธารณะจำนวน 4 ตัว ในสูบน้ำจากสระใหญ่ขึ้นไปบนพนักกันน้ำ เพื่อผันน้ำให้มีความแตกต่างกันระหว่างสระใหญ่กับคูน้ำรอบสวนสาธารณะ ทั้งนี้ในการเปิดมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อสูบน้ำ ต้องสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลม

จากการทดสอบระบบพบว่า กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าได้เฉลี่ย 150 หน่วยไฟฟ้าต่อวัน เพื่อให้การทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำมีระยะเวลาทำงานที่เพิ่มขึ้นและเหมาะสมกับสภาพการดำเนินงาน ทีมงานได้ใช้ Inverter ปรับค่าพลังงานกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ให้ลดลงที่ 10 kw ซึ่งจากการทำงานพบว่า เมื่อเปิดมอเตอร์ปั้มน้ำทำงาน 1 ชั่วโมงจะมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 หน่วยไฟฟ้า และปั้มน้ำสามารถสูบน้ำได้ปริมาตรเท่ากับ 26 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

จากข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม ค่าการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการสูบน้ำจากมอเตอร์ปั้มน้ำ สามารถวางแผนการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำทั้ง 2 แห่งที่พนักกันน้ำได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงเวลาการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำและปริมาณน้ำที่สูบน้ำ

ลำดับ	ช่วงเวลา	พนักกันน้ำที่	เวลาทำงาน (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำที่สูบน้ำเข้า ลบ.เมตร/ชม.	ปริมาณน้ำที่สูบน้ำออก ลบ.เมตร/ชม.
1	06:00 - 08:00	1	2	52	-
2	08:01 - 09:00	2	1	-	26
3	09:01 - 11:00	1	2	52	-
4	11:01 - 12:00	2	1	-	26
5	12:01 - 14:00	1	2	52	-
6	14:01 - 15:00	2	1	-	26
7	15:01 - 17:00	1	2	52	-
8	17:01 - 18:00	2	1	-	26
			12	208	104

จากตาราง พบว่าปริมาณที่สูบน้ำเข้าคูน้ำรอบสระสวนสาธารณะมีปริมาณมากกว่า 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีปริมาณการสูบน้ำออกประมาณ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และปริมาณน้ำที่เหลือจากการสูบน้ำออกก็จะไหลลงบึงก้นน้ำที่ 2 ในลักษณะน้ำตกสร้างความสวยงามให้กับบึงก้นน้ำที่ 2 และเป็นการสร้างออกซิเจนให้กับน้ำด้วยอีกทางหนึ่ง

2.4 การติดตั้งและการทดสอบ

ในการดำเนินโครงการเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างเป็นระบบมีการออกแบบและลำดับขั้นตอนการทำงานและการติดตั้งอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. สร้างผนังก้นน้ำทั้งสองด้าน เพื่อทำการกั้นน้ำบ่อใหญ่และบ่อเล็กให้แยกจากกันเพื่อการบำบัดน้ำและเกิดการต่างระดับของความสูงของน้ำทั้งสองบ่อ
2. วางระบบฐานรากกั้นหินลมนผลิตไฟฟ้าขนาด 10kw จำนวนสี่จุด พร้อมเดินสายไฟฟ้าใต้ดินเพื่อเชื่อมต่อระบบเข้าด้วยกัน
3. สร้างฐานรากในการวางปั๊มน้ำและมอเตอร์ปั๊มน้ำทั้งฝั่งประตูที่ 1 และประตูที่ 2
4. ทำการติดตั้งกังหันลมนผลิตไฟฟ้าขนาด 10kw จำนวนสี่จุดลงบนจุดต่างๆและทำการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า
5. ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันน้ำเพื่อทำการเติมออกซิเจนและเพื่อการผลิตไฟฟ้าบนผนังก้นน้ำที่ประตูน้ำที่ 1
6. ทำการติดตั้งระบบปั๊มน้ำและมอเตอร์ปรับพื้นฐานที่กำหนดทั้งฝั่งผนังก้นน้ำประตูที่ 1 และประตูที่ 2 พร้อมเดินระบบท่อเพื่อทำการสูบน้ำส่งบ่อใหญ่และบ่อเล็ก
7. ติดตั้งระบบกั้นน้ำเติมอากาศขนาด 300วัตต์ ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ใน บ่อเล็กจำนวน 10จุดเพื่อทำการเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
8. ทดลองเกินระบบกั้นหินลมนผลิตไฟฟ้าเพื่อทำการทดลองการสูบน้ำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลน้ำเพื่อทำให้เกิดการเติมออกซิเจนและเกิดการไหลของน้ำตามธรรมชาติจากน้ำนิ่งในบ่อให้เกิดลักษณะคล้ายลำคลองทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนของน้ำดีและน้ำเสียในบึงใหญ่และบึงเล็ก
9. เก็บค่าและบันทึกผลการทำงานของระบบ
10. สรุปผลและติดตามผลการทำงานของระบบ

สรุปผลการดำเนินการ

จากผลการติดตั้งระบบรวมทั้งกังหันลมก้นน้ำและกังหันเติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ทำให้พบว่า กังหันลมนผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยต้นละ 35 กิโลวัตต์ และกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าเมื่อเดินปั๊มน้ำและมอเตอร์ ขนาด 20 กิโลวัตต์จะผลิตไฟฟ้าออกมาที่ 3 กิโลวัตต์ไฟฟ้าของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าและกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ ทำงานเฉลี่ยวันละ 5 ชั่วโมง

จากผลการทดลองที่สำคัญทำให้ทราบว่าระบบบำบัดน้ำสามารถทำงานได้จริงโดยมีจำเป็นจ่ายใช้ไฟฟ้าจากสายส่งหรือใช้เชื้อเพลิงใดๆ ซึ่งในบ่อน้ำมีการปล่อยสัดวันน้ำต่างๆอีกทั้งมีการใช้เคมีบำบัดมาช้านานทำให้การสะสมของเสียมีมาอย่างต่อเนื่องดังนั้นการ ติดตั้งระบบบำบัดน้ำอย่างยั่งยืนด้วยการใช้พลังงานทดแทนอย่างเต็มรูปแบบทำงานได้ดีแต่ต้องใช้เวลาอย่างน้อยประมาณ 6 เดือนเป็นอย่างต่ำ ที่จะเหมาะสมให้เกิดการบำบัดน้ำ กับภาระจะให้น้ำเคลื่อนที่ครบทั้งระบบในบ่อ ด้วยการผลิตไฟฟ้าจาก 3 ระบบพลังงานทดแทน คือกังหันลมนผลิตไฟฟ้าความเร็วลมต่ำขนาด 10 kw จำนวน 4 ชุด กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาด 5kw จำนวน 1ชุด และระบบเครื่องกั้นตื้นน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 10 ชุด โดยระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันน้ำมาขับเคลื่อนปั๊มน้ำทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำอยู่ที่ 30 ลูกบาศก์เมตรต่อ

ชั่วโมงโดยทำการเดินเครื่องปั้มน้ำอยู่ที่ภาระโหลดที่ 10 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่องเดินเครื่องวันละ 10 ชั่วโมง คิดเป็นการใช้ไฟฟ้าที่วันละ 200 หน่วยไฟฟ้าต่อวันซึ่งกังหันลมที่ติดตั้งนั้น สามารถผลิตรับรองภาระได้อย่างเพียงพอต่อวัน ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลน้ำและได้มาทำการหมุนเวียนให้พื้นที่อยู่นิ่งให้เกิดการเคลื่อนที่ให้เกิดวิธีบำบัดน้ำตามธรรมชาติ เกิดระบบตามอากาศและไหลเวียนน้ำได้ถึงวันละ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวันด้วยกระบวนการเคลื่อนที่ของน้ำตามธรรมชาติหรือเรียกกระบวนการนี้ว่า Environmental Flows และในระบบยังจำเป็นต้องเดินทดสอบเพื่อวัดคุณภาพของน้ำต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบพระคุณ องค์การบริหารส่วนจังหวัดชัยภูมิ จ.ชัยภูมิและสมาชิกทุกท่านในการสนับสนุนให้เกิดการดำเนินโครงการและงบประมาณ ขอบคุณคณาจารย์และทีมงานวิศวกรรมเครื่องกล บุคลากรเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและบริการด้านพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และบุคคลต่าง ๆ ที่ได้ช่วยกันในการอำนวยความสะดวกและสนับสนุนการดำเนินการวิจัยและทำงานนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิรัชย์ โยชนรินทร์, อภิชาติ ไชยจันทร์ และ ภาณุ ประทุมพรรัตน์ (2556). “การออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 10 กิโลวัตต์เข้าสู่สายส่ง, Design of 10 kW Wind Machine fir Grid Connected System”, ใน การประชุมวิชาการเครื่องช่วยพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, วันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556. จังหวัดนครนายก.
- [2] วิรัชย์ โยชนรินทร์, สว่าง ขาดทอง และ ศิลปชัย เพิ่มพูล. “กังหันลมชนิดผลิตไฟฟ้าชนิด 2 ชุดโรเตอร์บนเสาเดี่ยวขนาด 2 กิโลวัตต์, 2kW Wind Generator of Two Rotors on a Single-Tower”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [3] สว่าง ขาดทอง, วิรัชย์ โยชนรินทร์. (2553). “การออกแบบระบบทางกลสำหรับกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 20 กิโลวัตต์, Mechanical Design Systems of 20 kW Wind Machine”, ใน การประชุมวิชาการเครื่องช่วยพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 6, วันที่ 5-7 พฤษภาคม 2553. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [4] พลังงานลม, กองพัฒนาพลังงานทดแทนฝ่ายพัฒนาและแผนโรงไฟฟ้า, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- [5] ดร.วิรัชย์ โยชนรินทร์, ดร.สรพงษ์ ภาสุปรีย์, ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช “การออกแบบและสร้างต้นแบบการผลิตแรงลมอัดด้วยกังหันลมความเร็วต่ำสำหรับบำบัดน้ำเสีย, Designing and Prototyping of Air Compressor Using Low Wind Speed Turbine for Waste Water Treatment”.แบบเสนอโครงการวิจัย (Research Project) ประกอบการเสนอของบประมาณของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2554.สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ.

Feasibility Study of Potential of Hybrid Renewable Energy Generation Sources for Rural Community; A Case of Nongplathao Park Community, Chaiyaphum Provincial Administration Organization, Thailand.

Montre Chaleekure^a, Vinthnaphat Aphichoknithiphuwadol^b, Uthen Leeton^c and Boonruang Marungsri^{c,*}

^aGraduate Student in Energy Management Engineering, Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

^bGraduate Student in Information Technology, School of Information Technology,
Sripatum University, Bangkok, Thailand

^cSchool of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology,
Nakhon Ratchasima, Thailand

*Corresponding Author: bmshevee@sut.ac.th

Abstract

Renewable energy utilization is widely concerned all over the world. They are increasingly utilized in Thailand due to the Royal Thai government policy and subsidize that emphasize their utilization in potential areas. Chaiyaphum Province, located in northeastern part of Thailand, is a high potential area for renewable energy utilization. This paper presents the feasibility study of the potential of hybrid renewable energy sources, i.e. solar and wind energies, for the rural community under Chaiyaphum Provincial Organization. In this study, annual data of wind speed, wind direction, wind gust speed and solar irradiation taken from the meteorological department of Chaiyaphum provincial area, Thailand were used in the study. Optimum hybrid renewable energy generation sources, i.e. wind turbine and PV, were designed for Nongplathao Park Community, Muang District, Chaiyaphum province. Results showed the annual average wind speed of 7.02 m/s, and annual average solar energy of 4.6722 kWh/m². Furthermore, the design of On-Grid hybrid renewable generation system was seen to be practical. Initial investment cost was analyzed by Homer Version 3.6.3.0. From the results, the total capacity for generation of electricity from hybrid renewable energy sources of 52 kW was obtained. By considering the community location and its potential, small wind turbines with a capacity of 3 kW/tower, 4 units and PV system of 40 kW were chosen for design in this study.

Keywords: Solar Energy, Wind Energy, Hybrid Renewable Generation, On-Grid Generation.

1. Introduction

Basically, energy is very important and necessary to human life. The world is driven by the energy with power consumption in various categories. However, some energy are limited and not cost effective. The effort to bring renewable energy sources to generate the electricity increases all over the world. Renewable energy sources are natural energy sources including wind, solar, hydropower, biomass, biogas and geothermal energies, that can be recycled, which have been very popular as an alternative energy for electric power generation sources. Renewable energies are known as green energy to reduce pollution and global warming problems.

The hybrid renewable energy system is the electric generation system which combines two or more renewable energy resources with off-grid or on-grid in order to fulfill the demand of a selected area. An energy storage system can also be included or excluded in the hybrid renewable energy system. An example of on-grid PV-wind turbine hybrid renewable energy system is shown in Fig.1.

For renewable energy sources utilization, the feasibility studies of potential and optimal of the hybrid renewable

during summer, rainy, and winter seasons. The average energy consumption per month is 187.18 kWh or equivalent to 162,660.30 Baht/month. Monthly electrical load of the study area is shown in Fig 4.

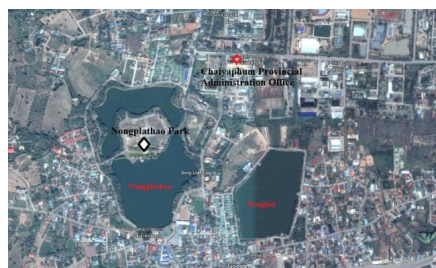


Fig. 3. Location of the study area.

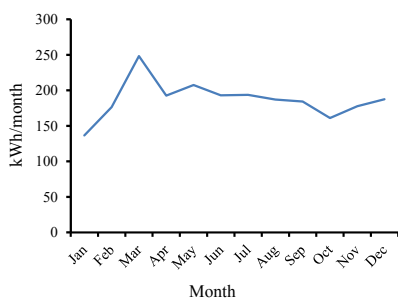


Fig. 4. Monthly average load for a complete year.

2.3 Solar Energy Potential

The global solar radiation incident on the area of Thailand is shown in Fig. 5. As illustrated in Fig. 5, highest solar irradiation, 19-20 MJ/m²-day, was measured in the northeastern area of Thailand, i.e. Nakhon Ratchasima, Chaiyaphum, Khon Khean, Mahasarakham, Buriram, Surin, Srisakhet, Roi Et, Yasothon and Ubon Ratchathani provinces, due to their dry plateau⁽⁶⁾. Annual average global radiation of Thailand during 1964-2008 is 6.82 MJ or 4.672 kWh/m²/d, as shown in Fig.6.

The proper location has the highest potential to utilize solar energy for electric power generation. The selected study area located at 15° 48' 08.81"N, 102 ° 00' 37.50"E has the high potential for generating electricity from solar energy, as shown in Fig. 5. In such area, the highest average energy in April of each year is 5.458 kWh/ day and the

lowest in September, with the average energy 4.161 kWh/day.



Fig. 5 Average annual solar irradiation map of Thailand.

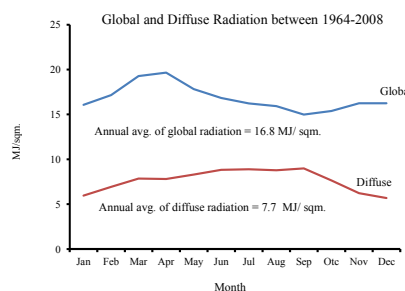


Fig. 6. The annual average of global and diffuse solar.

2.4 The Wind Energy Potential

In order to utilize wind energy to generate electricity, annual monsoon characteristic of selected location is very important. Annual monsoon characteristic of Thailand is illustrated in Fig. 7. Direction and speed of the wind at selected location must continuously measured to obtain correct wind data for analyzing the potential of wind energy to generate electricity.

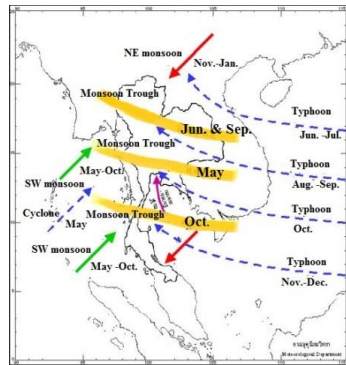


Fig. 7 Season monsoon in Thailand.

Wind data of study area was measured and collected by the department of meteorology in Chaiyaphum Measuring

Station. Wind data of 2015 is shown in Fig. 8. The monthly average wind speed in the minimum is 5.293 m/s and the maximum is 8.844 m/s. The annual average wind speed is 7.019 m/s, which is sufficient for utilizing the wind energy in the selected area. As illustrated in Fig. 8, annual average wind speed measured was seen to be suitable for designing on-grid hybrid renewable energy generation system. From wind speed data, due to the cold season under northeast monsoon and tropical cyclone during November-January resulting average wind speed at 6.264 m/s was measured. In March–April, hot weather in summer under southwest monsoon and tropical cyclone resulting average wind speed at 6.563 m/s was measured. From May–October under rainy season with the effect of tropical cyclone and southwest monsoon, average wind speed at 7.675 m/s. was measured and was recorded as the highest wind speed of the measuring year.

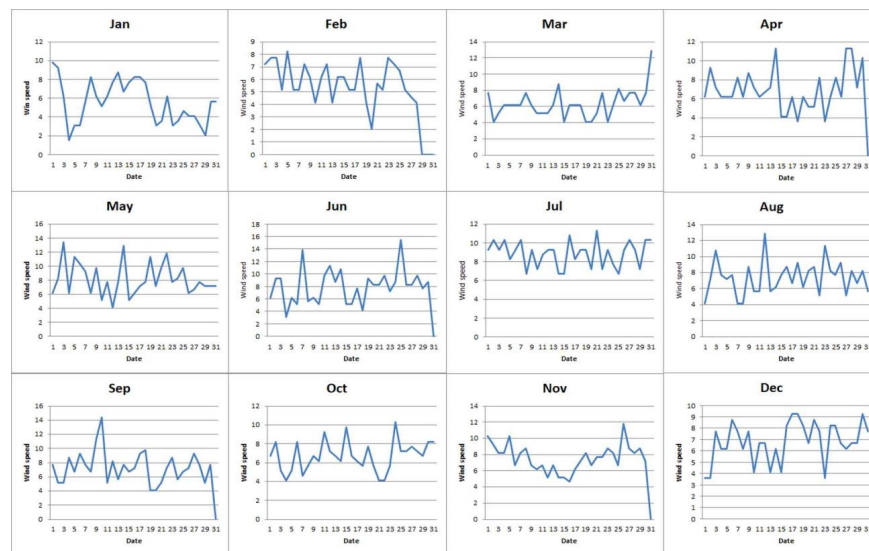


Fig. 8 Daily wind speed for each month of 2015.

2.5 Simulation Model of Hybrid Renewable Energy System

Recently, HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables) is a micropower optimization computer model software developed by the U.S. National

Renewable Energy Laboratory (NREL) to use in the design and the planning of renewable energy generation based microgrids. HOMER is used worldwide as a tool to utilize renewable energy sources^(1-3,7-13). Three mainly tasks, i.e. simulation, optimization, and sensitivity analysis are performed in HOMER to analyze behavior or renewable

energy supply system and its lifecycle cost. This study, the renewable hybrid system model consists of PV and WG, as shown in Fig 9. Homer version 3.6.3.0 was used to simulate the study system. In regular operation, PV and wind turbine feed the load demand to associate energy from the power grid.

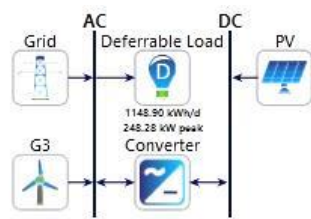


Fig. 9. Simulation Model of the PV-Wind system.

3. Simulation Results

By using all collected data, i.e. load demand, solar energy, and wind energy potentials, average hourly hybrid renewable energy output for each month are shown in Fig. 10. The average load demand at 1,177.22 kW/day was obtained from the simulation results. Furthermore, the average renewable energy output of 173.342 kW/day which represents 14.93% of the total energy demand was obtained. The average ratio of each energy sources to supply the load demand for every month is illustrated in Fig. 11. The ratio of total hybrid renewable power generation and power load demand from is shown in Fig. 12.

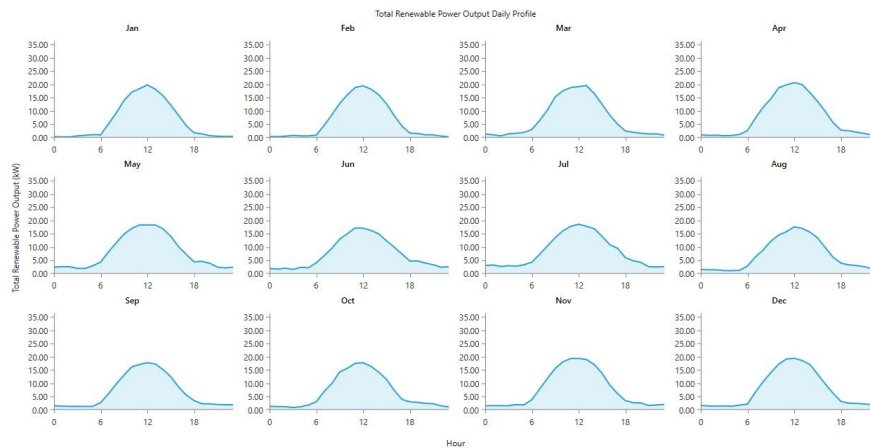


Fig. 10. Obtained average hourly demand for each month.

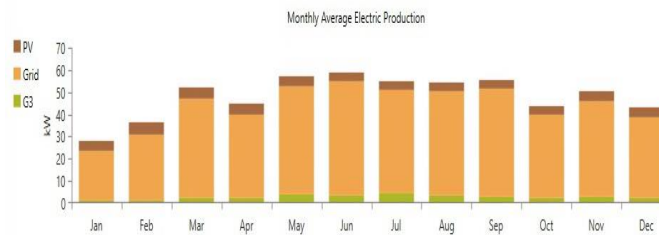


Fig. 11. Obtained monthly power ratio of renewable energies and power of grid.

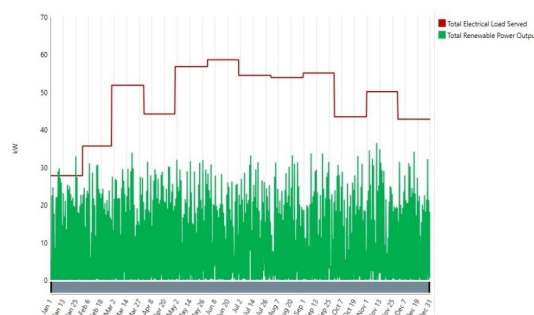


Fig. 12. Obtained ratio of total hybrid renewable power generation and supplied power from the grid.

The simulation results showed that the total capacity for the generation of electricity from hybrid renewable energy sources was 52 kW. By considering the selected area location, for wind energy utilization, slow speed small wind turbines with capacity 3 kW/tower 4 units were chosen to design for installation in the study. For the potential of solar energy, the suitable capacity of PV system for design and installation in the study area is 40 kW.

The results showed that the initial cost for wind turbine installation is 1,199,940 Thai Baht and the initial cost for PV system installation is 2,650,200 Thai Baht. Furthermore, the maintenance cost of 5.312 Baht/kWh, generation capacity of the designed system 63,270 kWh/yr. and selling cost of generated energy of 3.85 Bath/kWh were obtained.

4. Conclusions

This paper presented the feasibility study of hybrid renewable energy system for a rural community in Thailand by using Homer version 3.6.3.0 to simulate and optimize on-grid PV and wind turbine renewable sources. The study considered the selected location data such as global solar radiation, wind speed, and daily load demand. The optimal system was obtained from the simulation results.

References

- (1) Boadzo, A., Kibaara S.K. and Chowdhury S.: "A Study on Dairy Farm-Based Hybrid Renewable Energy Systems in South Africa", Power and Energy Society General Meeting (PESGM), 17-21 July 2016.
- (2) Hossein Shahinzadeh, Alireza Gheiratmand, S. Hamid Fathi and Jalal Moradi : "Optimal Design and Management of Isolated Hybrid Renewable Energy System (WT/PV/ORES);A Case Study of Kish Island", 21th Electrical Power Distribution Conference, pp. 208-215,May 2016.
- (3) Kamal Joshi, Alaknanda Ashok, and Sunita Chandel : "Optimal Economic Analysis of Hybrid Renewable Energy System", International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA), pp. 1-5 , 2016. Regulation PEA on the terms of network connectivity, the year 2008.
- (4) Regulation PEA on the terms of network connectivity, the year 2008.
- (5) Energy situation report of Chaiyaphum Province ,2013.
- (6) Guide for development and investment on energy production, Volume 2, Solar Energy, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy,2010.
- (7) Khan, M.J. and Iqbal, M.T.: "Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland", Renewable Energy, Vol. 30, No. 6, pp. 835-854, 2005.
- (8) Malik, A.Q.: "Assessment of the potential of renewables for Brunei Darussalam", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, No. 1, pp. 427-437, 2011.
- (9) Mahlia, T.M.I.: "Life cycle cost analysis of fuel cell based cogeneration system for residential application in Malaysia", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, No. 1, pp. 416-426,2011.
- (10) Mondal, M.A.H.: "Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in

- Bangladesh”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 14, No. 8, pp. 2401-2413, 2010.
- (11) Shaahid, S.M., El-Amin, I., Rehman, S., Al-Shehri, A., Bakashwain, J. and Ahmad, F.: “Potential of autonomous/off-grid hybrid wind-diesel power system for electrification of a remote settlement in Saudi Arabia”, *Wind Engineering*, Vol. 28, No. 5, pp. 621-628, 2004.
- (12) Van Alphen, K.: “Renewable energy technologies in the Maldives-determining the potential”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 11, No. 8, pp. 1650-1674, 2007.
- (13) Stiel, A. and Skyllas-Kazacos, M.: “Feasibility Study of Energy Storage Systems in Wind/Diesel Applications Using the HOMER Model”, *Applied Sciences*, Vol. 2, pp. 726-737, 2012.

Optimal Design of Hybrid Renewable Energy Generation Sources Integrated with Battery Energy Storage System; A Case Study of Nongplathao Park, Chaiyaphum Provincial Administration Organization, Thailand

Montre Chaleekure¹, Terapong Boonraksa², Nitikorn Junhuathon² and Boonruang Marungsri^{2,*}

¹Graduate Student in Energy Management Engineering Program, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

²School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

*Corresponding author

Abstract—Hybrid renewable energy began to play an essential role after the fossil energy is gradually reduced. In Thailand, the government is very interested in renewable energy, and there are many potential areas in countries where renewable energy sources such as wind energy and solar energy are available. This paper presents the study results of the optimal design of hybrid renewable energy generation sources integrated with battery storage system in a case study of Nongplathao Park, Chaiyaphum Provincial Administration Organization in Thailand. In this study, the On-Grid and the Off-Grid hybrid renewable generation systems were designed, and Homer version 3.11.2 software was used as an analytical tool. The simulation results show that On-Grid renewable energies system can produce electricity supplied to the load and there is also electricity that is sold to the system. The Off-Grid system used renewable energy sources to generate power integrating with the energy storage system for supply electricity to the selection area. Although, an Off-Grid system has expensive installation costs, in the future there is a tendency for lower system equipment costs. This simulation can be used as a case study to promote to other appropriate areas. The simulation results show that On-Grid renewable energies system can produce electricity supplied to the load and there is also electricity that is sold to the system. The Off-Grid system used renewable energy sources to generate power integrating with the energy storage system for supply electricity to the selection area. Although, an Off-Grid system has expensive installation costs, in the future there is a tendency for lower system equipment costs. This simulation can be used as a case study to promote to other appropriate areas.

Keywords—hybrid renewable energy; battery storage system; solar energy; wind energy

I. INTRODUCTION

Currently, energy is very important to human life. It has also driven the economic and transportation as well. The origin of energy can be divided into two types: non-renewable energy and renewable energy. The primary energy used today is

non-renewable energy, such as fossil fuel, uranium, natural gas, etc. In the next few decades, Non-renewable energy is running out. So, we have to focus more on renewable energy. Renewable energy includes solar energy, wind energy, wave energy (water), biomass energy, etc. It is clean energy and preserves the environment [1,2].

The hybrid renewable energy system has played an essential role in the development of electricity. It includes more than two energy sources with off-grid or on-grid to fulfill the load demand. The study of hybrid renewable energy systems has attracted many researchers. They have studied the use of renewable energy systems to meet the load requirements and increase the reliability of the system. The load on each bus was analyzed for the feasibility and the appropriate size of the system model using the Particle Swarm Optimization (PSO) and Genetic Algorithm (GA) methods [3,4]. Develop and design a hybrid renewable energy system consisting of solar and wind energy. Design a stand-alone system with a backup power source. It shows that renewable energy systems are suitable for small community and rural development [5,6]. The optimal size of the standalone hybrid wind-solar power generation system with energy storage is studied. Proper allocation of resources according to load requirements is essential, and a thorough analysis of renewable energy resources can significantly reduce system costs [7,8]. Renewable energy technology has been studied as a guideline for reducing environmental problems. The energy storage system by Vanadium Redox Battery is used because of its flexibility in power transmission, high efficiency, and long life. HOMER software is used to model wind power systems [9]. The modeling shows the cost of installing wind power systems and energy storage systems.

This paper presents the optimal design of hybrid renewable energy generation sources integrated with the battery energy storage system. The renewable energy sources are PV and wind turbine systems with less capacity coal 52 kW to supply electricity as shown in Figure 1. The study area is Nongplathao

Park Community, Chaiyaphum Provincial Administration Organization in Thailand. The energy of 1,147.00 kWh/day is the required energy in the area.

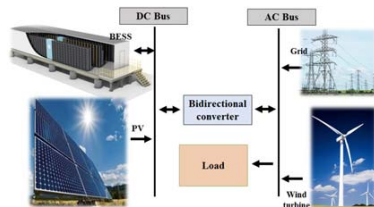


FIGURE I. HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM INTEGRATED WITH THE BESS

II. METHODOLOGY

A. Study Area Location

The hybrid renewable energy system in this study consists of the wind turbine and solar photovoltaic. Chaiyaphum is a province located in Northeastern of Thailand as shown in Figure II. The Nongplathao Park is a public park in Muang district of Chaiyaphum province. This Public Park is under control of Chaiyaphum Provincial Administration Organization. And this park has a high potential for hybrid renewable energy system installation. This area was selected in this study. Based on the electrical load profile in this study, the average energy consumption per month is 187.18 kWh or equivalent to 162,660.30 Baht/month. For the electricity supply to the offices of Chaiyaphum Province and Nongplathao Park, a power capacity of the renewable energy system is not less than 52 kW.

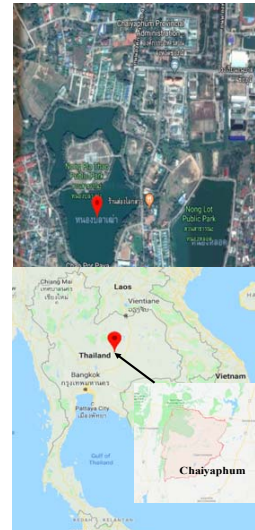


FIGURE II. LOCATION OF THE STUDY AREA

B. Solar Energy Potential

In Thailand, the solar radiation intensity is in the range of 20-24 MJ/m²-day and the highest average annual sunrise area in the northeastern of Thailand [10]. In the area of Chaiyaphum province, the annual solar radiation was measured and was recorded. The highest average energy in April of each year is 5.458 kWh/day, and the lowest average energy is 4.161 kWh/day in September. Figure III shows the annual average of global and diffuse solar [11]. Most photovoltaic power generation in Thailand is used in areas with no access to electricity. It produces electricity for small households and connects to the distribution system. However, Large PV generation system is also increasingly installation in Thailand.

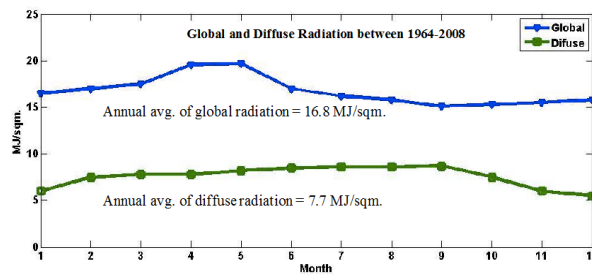


FIGURE III. THE ANNUAL AVERAGE FOR GLOBAL AND DIFFUSE SOLAR

C. The Wind Energy Potential

Wind energy is a natural energy and is clean energy. Wind speed varies with season change in nature. Wind data of study area was measured by the Chaiyaphum measuring station of the department of meteorology, Thailand [12]. For the monthly average, the maximum wind speed is 8.844 m/s, the minimum wind speed is 5.293 m/s, and the annual average wind speed is 7.019 m/s, respectively. For the last decade, low-speed wind turbine for electricity generation has been developed in Thailand. Concerning the wind power potential of the study area, a 10 kW wind turbine with the minimum operating wind speed to drive power generator at 2.5 m/s is suitable for installation. However, due to the fluctuation of wind speed and load demand profile, the energy storage and other reliable sources of renewable energy are required as a hybrid renewable energy generation source.

D. Simulation Model of Hybrid Renewable Energy System

Currently, the software for designing and planning of renewable energy generation based microgrids was developed on over the world. Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources software (HOMER software) is commercial software developed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL). It is a powerful tool used for simulating hybrid renewable energy sources. Homer version 3.11.2 was used to simulate the study system. This study, the hybrid renewable energy system model consists of PV and WG integrated with the battery energy storage system (BESS) as shown in Figure IV. As shown in Figure IV, the on the left-hand side is the On-Grid system, and the right-hand side is the Off-Grid system.

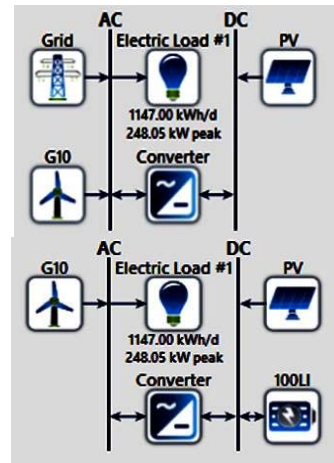


FIGURE IV. SIMULATION MODEL OF THE PV-WIND INTEGRATED WITH BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (ON-GRID AND OFF-GRID)

III. SIMULATION RESULTS

When Homer Software analyzed the data of the simulated area, the simulation results show that the hybrid renewable energy system can produce 814 kW of electricity. By considering the low-speed wind turbines with capacity 10 kW/tower, 17 units were chosen to design for installation in the study area. The solar photovoltaic energy generation, design, and installation in the study area is 644 kW, and the battery energy storage system is a capacity of 1.5 MWh. Figure 5 shows the obtained monthly power ratio of renewable energies and the power grid, and Figure 6 shows the obtained monthly power ratio of off-grid renewable energies.

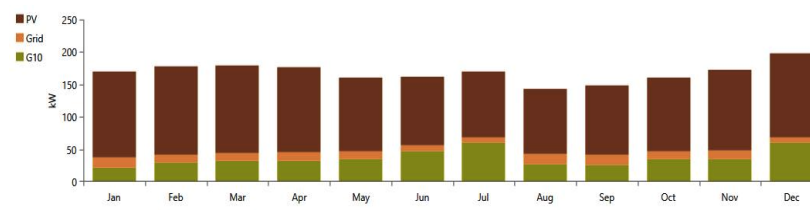


FIGURE V. OBTAINED MONTHLY POWER RATIO OF RENEWABLE ENERGIES AND POWER GRID

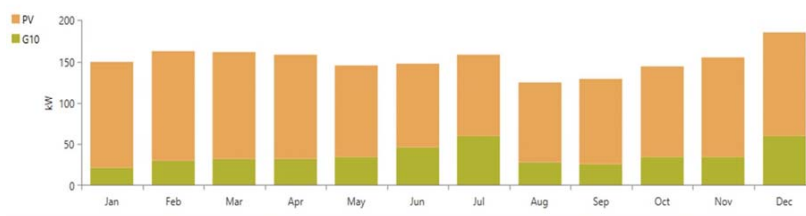


FIGURE VI. OBTAINED MONTHLY POWER RATIO OF OFF-GRID RENEWABLE ENERGIES

The total cost of the On-Grid renewable energy system is 2,906,139 USD which is cheaper than the Off-Grid system. For the Off-Grid system, there is the high cost of PV generation system and the battery energy storage system. If not connected to the power distribution system in the area, the Off-Grid system must have cost a lot. On the other hand, the On-Grid renewable energy system, 110,193 kWh is purchased from the distribution system. The power produced from hybrid renewable energy, 933,575 kWh can be sold to the distribution system. A comparison result is shown in Table I.

TABLE I. INITIAL COST OF THE HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM

Hybrid renewable energy system		
	On-grid	Off-grid
WT (Generic 10 kW)	850,000 USD	850,000 USD
PV (Generic flat plate)	1,932,000 USD	1,931,398 USD
BESS (Generic 100 kWh Li-Ion)	-	1,050,000 USD
System Converter	124,139 USD	84,972 USD
Total cost of the system	2,906,139 USD	3,916,370 USD

IV. CONCLUSION

The optimal design of hybrid renewable energy generation sources integrating with the energy storage system in a case study of the Nongplathao Park, Chaiyaphum Provincial Administration Organization in Thailand was studied and was simulated in this study by using Homer version 3.11.2. The simulation results show the benefit of the two purposed systems. The On-Grid renewable energies system can produce electricity supplied to the load, and there is also sale electricity to the main grid. The Off-Grid system used renewable energy sources integrating with the energy storage system to generate electricity supply to the selected area. Although, the Off-Grid system shows higher installation costs when compared with the On-Grid system. However, in the future, there is a tendency for lower system equipment costs. This simulation can be used as a case study to promote to other appropriate areas.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank the Suranaree University of Technology, Thailand, for providing the laboratory and the financial support.

REFERENCES

- [1] M. Chaleekure, V. Aphichoknithiphuwadol, U. Leeton, B. Marungsri, Feasibility Study of Potential of Hybrid Renewable Energy Generation Sources for Rural Community; A Case of Nongplathao Park Community, Chaiyaphum Provincial Administration Organization, Thailand, The Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Application Engineering (2017)
- [2] Information on <http://www.nead.org/files/curriculum/guides/Primary%20EnergyInfobook.pdf>
- [3] A. Bhawe, Hybrid solar-wind domestic power generating system-a case study. Renewable Energy, 17(3) (1999) 355-358.
- [4] P. Thounthong, S. Sikkabut, P. Mungporn, P. Sethakul, S. Pierfederici, B. Davis, Differential flatness based-control of fuel cell/photovoltaic/wind turbine/supercapacitor hybrid power plant, 2013 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), (2013).
- [5] P. Nema, R. Nema, S. Rangnekar, A current and future state of the art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(8) (1009) 2096-2103.
- [6] K. Basaran, N.S. Cetin, S. Borekci, Energy management for on-grid and off-grid wind/PV and battery hybrid systems, IET Renewable Power Generation, 11(5) (2017) 642-649.
- [7] W. Zhou, C. Lou, Z. Li, L. Lu, H. Yang, Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems. Applied Energy, 87(2) (2010) 380-389.
- [8] A. Kaabeche, M. Belhamel, R. Ibtouen, Sizing optimization of grid-independent hybrid photovoltaic/wind power generation system, Energy, 36(2) (2011) 1214-1222.
- [9] A. Stiel, M. Skyllas-Kazacos, Feasibility Study of Energy Storage Systems in Wind/ Diesel Applications Using the HOMER Model. Applied Sciences, 2(4) (1012) 726-737.
- [10] Renewable energy outlook, Minister of Energy Thailand 197-229. (2017)
- [11] Guide for development and investment on energy production, Volume 2, Solar Energy, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy (2010)
- [12] Energy situation report of Chaiyaphum Province (2013)

ประวัติผู้เขียน

นายมนตรี ชาลีเครือ เกิดเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2503 ปัจจุบันอายุ 59 ปี ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 9 หมู่ที่ 6 บ้านยางเครือ ตำบลหนองโดน อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ ด้านการศึกษา ปี พ.ศ.2534 จบการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์ จบการศึกษาปริญญาโท สาขาบริหารธุรกิจ MBA มหาวิทยาลัยรามคำแหง ปัจจุบัน กำลังศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประสบการณ์ทำงาน ปี พ.ศ. 2525-2525 พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กองระบบสื่อสาร สำนักงานใหญ่ บางเขน ปี พ.ศ. 2526-2538 พนักงานการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 12 ปี ตำแหน่งผู้ช่วยหัวหน้าแผนกวิทยุโทรคมนาคม กรรมการบริหารงานสหภาพแรงงาน กฟผ. 1 สมัย ที่ ปรีกษากิตติมศักดิ์ ประจำคณะกรรมการ คมนาคมวุฒิสภา ในปี พ.ศ. 2538-2549 ที่ปรึกษา ประธานวุฒิสภา ฯพณฯ สุขน ชาลีเครือ ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บริษัท AIS เป็นเวลา 10 ปี ผ่านการศึกษอบรมหลักสูตรนักบริหารงานการงบประมาณระดับสูง (นงส.) รุ่นที่ 5 สำนักงานงบประมาณ ประสบการณ์ดูงานต่างประเทศ ศึกษาดูงานด้านสื่อสารโทรคมนาคม ประเทศ สวีเดน เยอรมัน ญี่ปุ่น จีน สิงคโปร์ อินเดีย และสาธารณรัฐประชาชนลาว ศึกษาดูงานบริหาร กิจการบ้านเมือง ประเทศเวียดนาม และญี่ปุ่น ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง นายกองค้การบริหารส่วน จังหวัดชัยภูมิ ได้รับพระราชทานเครื่องราชอิสริยาภรณ์ชั้นสายสะพาย ชั้นประถมาภรณ์มงกุฎไทย (ป.ม.) ด้านการศึกษาวิจัย มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษาดังปรากฏใน ภาคนวค ข ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง และพลังงานทดแทน