โครงงานวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 3/2555

เรื่อง

เรื่อง การประดิษฐ์โคมไฟส่องถนนแบบผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์

(The invention of street lamp using hybrid wind and solar energy.)

โดย

นายภมรชัย อ้นทา รหัสประจำตัวนิสิต 5220501780

นายธนากร หวานเส้ง รหัสประจำตัวนิสิต 5220502522

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พ.ศ.2555

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมชลประทาน

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เรื่อง การประดิษฐ์โคมไฟส่องถนนแบบผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์

(The invention of street lamp using hybrid wind and solar energy.)

นามผู้ทำโครงการ นายภมรชัย อ้นทา

นายธนากร หวานเส้ง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(ผศ.บุญมา ป้านประดิษฐ์)

…...../…...../.....

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์)

...../...../.....

บทคัดย่อ

เรื่อง : การประดิษฐ์โคมไฟส่องถนนแบบผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์

โดย : นายภมรชัย อ้นทา

นายธนากร หวานเส้ง

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : .....

(ผศ. บุญมา ป้านประดิษฐ์)

...../...../.....

โคมไฟส่องถนนแบบผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นในโครงงานวิศวกรรม มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบโคมไฟส่องถนน เพื่อประยุกต์ใช้ในบริเวณที่ขาดแคลนไฟฟ้าส่องสว่าง โดยได้สร้างต้นแบบโคมไฟส่องถนนขึ้นและติดตั้ง ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยเกษตร - ศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน มีขนาดแผงโซลาร์เซลล์ กว้าง 0.40 เมตร ยาว 0.80 เมตร กำลังผลิต 10 วัตต์/ชั่วโมง กังหันลมแบบแกนตั้ง 6 ใบพัด กำลังผลิต 5 วัตต์/ชั่วโมง รวม 15 วัตต์/ชั่วโมง

จากนั้นทำการตรวจวัดการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์และกังหันลม เป็นเวลา 1 สัปดาห์ การตรวจวัด พบว่า โคมไฟส่องสว่างจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมา มีพลังงานเพียงพอทำให้เกิดแสงสว่างใช้ในเวลากลางคืนได้ โดยส่วนใหญ่การผลิตกระแสไฟฟ้ามาจากแผงโซลาร์เซลล์เป็นจำนวน 8.08 วัตต์/ชั่วโมง แต่ในส่วนของกังหันลมนั้นผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาน้อยมาก เนื่องจาก ณ บริเวณที่ติดตั้งมีความเร็วลมน้อยมากและเกิดจากความฝืดของชุดลูกปืน จึงผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 0.144 วัตต์/ชั่วโมง แต่ปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์สามารถนำมาใช้งานกับโคมไฟได้เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์ ซึ่งสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่ขาดแคลนไฟฟ้าส่องสว่างได้

ABSTRACT

Title : The invention of street lamp using hybrid wind and solar energy

By : Mr.Pamonchai Onta

Mr.Thanakorn Whangseng

Project Advisor :

.....

(Asst. Boonma Panpradist)

...../...../.....

The invention of street lamp using hybrid wind and solar energy is engineering project. The aim of engineering project is created a prototype for service lighting in the electrical power shortage area. The prototype was installed at the Energy and Environmental Engineering center, Faculty of engineering at Kampangsaen Campus, Kasetsart University. The designed of prototype consists of solar panel 0.40 meter wide , 0.80 meter length. The total capacity is 15 watts / hour and device from solar panel output 10 watts / hour and wind turbine output 5 watts / hour .

After testing the prototype shown that the total capacity output 8.22 watts / hour. The major capacity output come from solar panel has 8.08 watts / hour and from wind turbine has 0.144 watts / hour. The prototype power output less than design output, the main cause is come from the wind turbine has the friction of bearing and the low speed of the wind . However , the prototype can service lighting at all night, So that it is achieving of the aim of project. This prototype can be apply in the electrical power shortage area.

คำนิยม

การทำโครงงานวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ ผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณ ผศ.บุญมา ป้านประดิษฐ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาโครงงาน ที่กรุณาให้คำแนะนำคำปรึกษา ตลอดจนแนวทางในการจัดทำโครงงาน จนกระทั่งโครงงานวิศวกรรมสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำได้รับความกรุณาจากคุณระวี อยู่สำราญ และคุณสุรพล เจริญชีพ ที่ได้ให้ข้อมูลและวิธีการใช้อุปกรณ์ต่างๆในการจัดเก็บข้อมูลมาใช้ในการทำโครงงานและขอขอบคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงมาไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ท้ายสุดนี้ความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายอันพึงได้จากโครงงานวิศวกรรมชลประทานฉบับนี้ขอมอบให้แก่ บิดา มารดา และครู อาจารย์ ที่ได้ให้การอบรมแก่คณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ

นายภมรชัย อ้นทา

นายธนากร หวานเส้ง

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**I**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**II**
คำนิยม	**III**
สารบัญ	**IV**
สารบัญ(ต่อ)	**V**
สารบัญภาพ	**VI**
สารบัญตาราง	**VII**
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตการศึกษา	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 กังหันลม	2
- กังหันลมแนวแกนนอน	3
- กังหันลมแนวแกนตั้ง	3
2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	6
2.3 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์	6
2.4 แบตเตอรี่	7

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

3.1อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ 9

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 11

บทที่ 4 ผลการศึกษาทดลอง 18

- วิจารณ์ผลการทดลอง 19

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 20

เอกสารอ้างอิง 21

ภาคผนวก 22

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ผังการทำงานของชุดโคมไฟส่องถนน 8

ภาพที่ 3.1 ชุดฐานราก 11

ภาพที่ 3.2 โครงกังหันลม 11

ภาพที่ 3.3 แขนยึดชุดตลับปืน 12

ภาพที่ 3.4 ชุดลูกปืน 12

ภาพที่ 3.5 ใบพัดกังหันลม 13

ภาพที่ 3.6 ชุดตลับลูกปืนประกอบเข้ากับโครงกังหัน 13

ภาพที่ 3.7 การติดตั้งมอเตอร์ DC และชุดเฟืองทดรอบ 14

ภาพที่ 3.8 เสาโคมไฟ 14

ภาพที่ 3.9เสาช่วงที่ติดตั้งโคมไฟ และแผงโซลาร์เซลล์ 15

ภาพที่ 3.10โคมไฟที่ติดตั้งอุปกรณ์เสร็จสมบูรณ์ 15

ภาพที่ 3.11แบบโคมไฟส่องถนน(FRONT VIEW) 15

ภาพที่ 3.12แบบโคมไฟส่องถนน(TOP VIEW) 16

ภาพที่ 3.13แบบชุดกังหัน 17

ภาพที่3.14 แบบใบกังหัน 17

ภาพที่ 6.1 การต่อโหลดแบบอนุกรม 19

ภาพที่ 6.2 การต่อโหลดแบบขนาน 19

ภาพที่ 6.3 การต่อโหลดแบบผสม 20

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	สถิติข้อมูลลมและความยาวนานของแสงเฉลี่ยในแต่ละเดือนจากสถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม	4
ตารางที่ 2.2	ตารางการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากทฤษฎีของกังหันลม	5
ตารางที่ 4.1	ตารางบันทึกความเร็วลม ณ ศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	18
ตารางที่ 4.2	ตารางบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์	18
ตารางที่ 4.3	ตารางบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม	18

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันมนุษย์ได้ให้ความสำคัญในการนำพลังงานจากลมและพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์มากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์มีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อหา เป็นพลังงานที่สะอาด (Green Energy) ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จักหมดสิ้น

การนำพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าถือเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานที่สะอาด (Green Energy) และส่งผลกระต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดโดยเฉพาะผลกระทบทางด้านคุณภาพอากาศซึ่งพลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานที่มีอย่างไม่สิ้นสุด การนำพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับโคมไฟส่องถนนโดยอาศัยการทำงานผสมผสานระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ และการหมุนของกังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจะเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ช่วยลดการใช้พลังงานและเชื้อเพลิง ลดปริมาณการเพิ่มของก๊าซเรือนกระจกและข้อดีของโคมไฟส่องถนนแบบนี้คือในช่วงที่มีแสงแดดโซลาร์เซลล์ จะเป็นตัวผลิตกระแสไฟฟ้าและในช่วงฤดูฝนมีแสงน้อย แต่มีกระแสลมก็จะใช้กังหันลมเป็นตัวผลิตกระแสไฟฟ้าแทนโคมไฟจะทำงานได้ในทุกสภาพอากาศ อีกทั้งยังเหมาะสำหรับการนำมาใช้ในชุมชนและบ้านเรือนที่ขาดแคลนไฟฟ้าส่องสว่าง จึงทำการประดิษฐ์โคมไฟส่องถนนแบบผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างต้นแบบโคมไฟส่องถนนจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ต้นแบบในการนำพลังงานแบบผสมผสานระหว่างพลังงานลมกับพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการใช้พลังงานไม่เกิน 51.38 วัตต์/ วัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

สร้างโคมไฟส่องถนนโดยใช้ไฟฟ้าจากแผง โซลาร์เซลล์ขนาด 10วัตต์และกังหันลมแกนตั้งเจนเนอเรเตอร์DC และใช้หลอดไฟ LED 30 ดวง (2.5 วัตต์) ในการให้แสงสว่าง

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

2.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้า

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้าคือ เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1–2 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5–5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่าช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12–15 เมตรต่อวินาที เป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวมันเอง ในช่วงที่ความเร็วลมไต่ระดับไปสู่ช่วงความเร็วลม เป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency)

การหากำลังของลมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V ผ่านพื้นที่หน้าตัด A หาได้จาก

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A v^3$$

เมื่อP_w คือ กำลังของลม (W)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

v คือ ความเร็วลม (m/s)

การหาความเร็วรอบของกังหันลมสามรถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{RPM} = v \times Tsr \times \frac{60}{3.14 \times r}$$

เมื่อ RPM คือรอบกังหันลม (รอบ/นาที)

v คือ ความเร็วลม (m/s)

R คือ รัศมีของใบกังหันลม (m)

กังหันลมโดยทั่วไปจะมีรูปแบบพื้นฐานคล้ายๆกัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนของรายละเอียด ดังนั้นการแบ่งประเภทของกังหันลมมักจะยึดเอาลักษณะการวางตัวของแกนเพลาของกังหันลมเป็นหลัก ซึ่งประเภทหลักๆของกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. กังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่ในแนวนอน

2. กังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่ในแนวตั้ง

2.1.1 กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

กังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลมมีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง ให้พลังงานมากกว่าแบบแกนตั้ง แต่ต้องใช้ความเร็วลมที่มากกว่าแบบแกนตั้งกังหันลมแบบแกนนอน ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน นิยมใช้กับเครื่องฉุดน้ำ กังหันลมแบบกงล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอบเพลเลอร์ (Propeller)

2.1.2 กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทางออกแบบสำหรับใช้กับความเร็วลมต่ำ-ต่ำมาก 1-2 เมตร/วินาทีกังหันลมแบบแนวแกนนอนเป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนมากออกแบบให้เป็นชนิดที่ขับใบกังหันด้วยแรงยก แต่อย่างไรก็ตาม กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง ซึ่งได้รับการพัฒนามากในระยะหลังก็ได้รับความสนใจมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีกว่าแบบแนวแกนนอนคือ ในแบบแนวแกนตั้งนั้นไม่ว่าลมจะเข้ามาทิศไหนก็ยังหมุนได้ โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมให้กังหันหันหน้าเข้าหาลม นอกจากนี้แล้วแบบแนวแกนตั้งนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบการส่งกำลังวางไว้ใกล้พื้นดินมากกว่าแบบแกนนอน เวลาเกิดปัญหาแก้ไขง่ายกว่าแบบแกนนอนที่ติดอยู่บนหอคอยสูง

ตาราง 2.1 สถิติข้อมูลลมและความยาวนานของแสงเฉลี่ยในแต่ละเดือนจากสถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐม ที่อยู่ใกล้กับศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม

AGROMETEOROLOGICAL DATA FOR JANUARY 2011- September 2012
NAKHONPATHOM METEOROLOGICAL STATION

Month	Wind(2m) m./s.	Sun (hrs)	Mark
January	2.8	7.6	2011
February	3.2	8.2	
March	5.6	4.3	
April	2.7	7.9	
May	3.5	7.1	
June	3.8	3.9	
July	5	5.5	
August	4.4	5	
September	4.4	4.6	
October	3.1	6.2	
November	4	8.7	
December	4.1	7.4	
January	2.1	6.2	2012
February	1.8	8.4	
March	1.9	7.8	
April	2.9	9.2	
May	3.5	7.4	
June	2.9	4.5	
July	2.6	4.5	
August	3.1	4.5	
September	2.3	4.7	
average	3.32	6.36	

ลมประเทศไทยโดยเฉลี่ยต่อวันส่วนมากอยู่ในระดับ1-5 เมตรต่อวินาที และจากสถิติความเร็วลมของจังหวัดนครปฐม ตามตารางที่ 2.1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่3.32เมตรต่อวินาทีมีความเร็วที่สามรถทำให้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยการการสร้างกังหันลมจะสร้างในรูปแบบแกนตั้ง6ใบพัด เพราะมีความเหมาะสมต่อพื้นที่ที่มีความเร็วต่ำ โดยใบพัดจะมีลักษณะบิดเพื่อเพิ่มแรงบิดและทดจำนวนรอบให้กับกังหันลม และจากการคำนวณสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า และเลือกเจนเนอเรเตอร์ ดังนี้

จากตารางที่ 2.1 กำหนดความเร็วลมเฉลี่ยที่ 3 m/s รัศมีกังหัน = 0.3 m พื้นที่ปะทะลม = 0.45 m^2 จะได้

กำลังของลม

$$P_w = \frac{1}{2}\rho A v^3$$

$$= 0.5 \times 1.225 \times 0.45 \times 3^3$$

$$= 7.44 \text{ Watt}$$

ความเร็วรอบของกังหันลม

$$\text{RPM} = v \times Tsr \times \frac{60}{3.14 \times r}$$

$$= 3 \times 6 \times \frac{60}{3.14 \times 0.45}$$

$$= 764.33 \text{ rpm.}$$

จากการคำนวณสามารถเลือก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ที่ 5 Watt โดยมีความเร็วรอบในการหมุนอย่างต่ำ 800 rpm ลักษณะและขนาดของใบพัดมีขนาดตามที่กำหนดข้างต้นและจากการติดตั้งกังหันและตรวจวัดความเร็วลมเฉลี่ยในตารางที่ 4.1 สามารถหากำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 2.2

จากสมการ $P_w = \frac{1}{2}\rho A v^3$

จะได้

ความเร็วลม(ม/วินาที)	กำลังไฟฟ้าที่ได้ทฤษฎี(วัตต์)
1.08	0.35

ตารางที่ 2.2ตารางการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากทฤษฎีของกังหันลม

2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า(*Generator)*

หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนผ่านขดลวดบนสเตเตอร์จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสและแรงดันขึ้นที่ขดลวด สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นได้จากการป้อนไฟ DC เข้าขดลวดของโรเตอร์กระแสไฟ DC จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่โรเตอร์และเมื่อโรเตอร์หมุนจะเหนี่ยวนำแรงดัน AC และกระแสขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์

2.3 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตาม ธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

จากข้อมูลในประเทศไทยเมื่อทำการเฉลี่ยค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศไทยจากทุกพื้นที่เป็นค่ารายวันเฉลี่ยต่อปีจะได้เท่ากับ 18.0 MJ/m2-day เมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากประเทศอื่นๆ จะเห็นว่าประเทศไทยมีค่าศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

- **โซล่าเซลล์**

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเลคตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพ ดังนี้ 1. ความเข้มของแสง กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก 2. อุณหภูมิ กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% สรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่

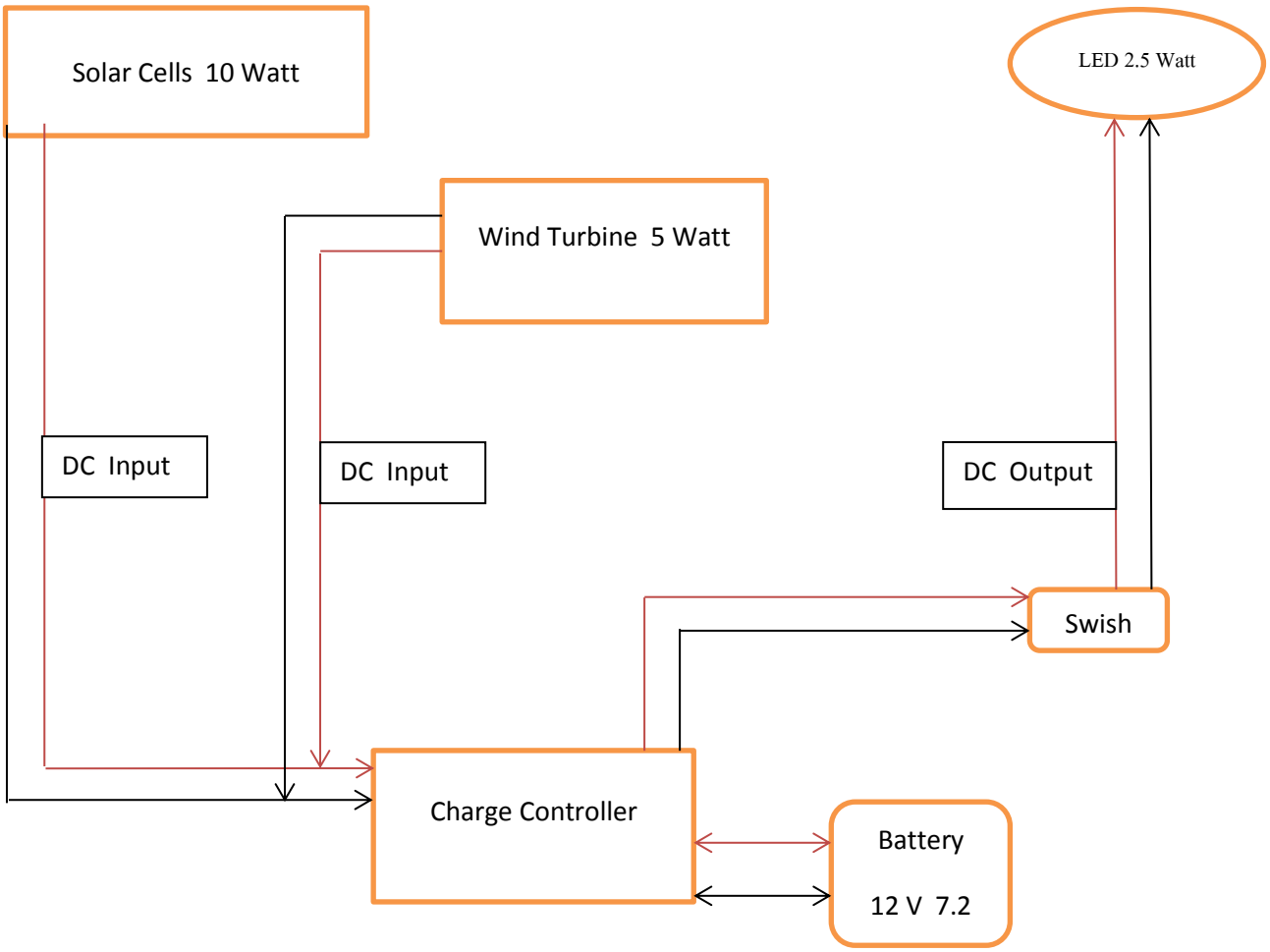
$$\text{ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์} = \frac{\text{กำลังไฟที่ผลิตได้จริงใน } 1 \text{ ชม.}}{\text{กำลังไฟสูงสุดที่สามารถผลิตได้ใน } 1 \text{ ชม.}} \times 100\%$$

จากคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์กำหนดให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 10 วัตต์/ชั่วโมงที่อุณหภูมิ *25* องศาเซลเซียส

2.4 แบตเตอรี่ (*Battery)*

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำหน้าที่ประจุ (ชาร์จ) พลังงานไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ขนาดของแบตเตอรี่ ควรมีความจุมากกว่าพลังงานที่ผลิตได้ในรอบวัน 2 หรือ 3 เท่าขนาดความจุของแบตเตอรี่ จะบอกเป็นแอมแปร์ชั่วโมง (*Ampare-hour* หรือ *Ah)*

ผังการทำงานของชุดโคมไฟส่องถนนแบบผสมผสานพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่2.1ผังการทำงานของชุดโคมไฟส่องถนน

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุอุปกรณ์

1.ชุดฐานราก

- ยางรถยนต์	1 ล้อ
- ปูนซีเมนต์	1 ถุง
- หิน + ทราย	4 ถัง
- เหล็กเพลตสี่เหลี่ยม 15 ×15 ซม.	1 แผ่น
- น็อต4 หุน 3 นิ้ว	4 ตัว

2.ชุดเสาไฟและโคมไฟ

- โคมไฟสนาม	1 ตัว
- หลอด LED	30 หลอด
- สายไฟ	
- ท่อแป๊ป3 นิ้ว	3 เมตร
- ท่อแป๊ป2 นิ้ว	3 เมตร
- เหล็กเพลตสี่เหลี่ยม 15 ×15 ซม.	1 แผ่น
- เหล็กเพลตวงกลม Ø= 5 นิ้ว	4 แผ่น

3.ชุดกังหันลม

- สังกะสีแผ่นเรียบ	4 ตัว
- เหล็กแบน 1 นิ้ว	1 เส้น (6เมตร)
- ตลับลูกปืน 2 นิ้ว	1 ตัว
-เหล็กเพลากลึง 2 นิ้ว	30 เซนติเมตร
- ล้อรถจักรยาน	3 ล้อ
- เหล็กแป๊ป 4 หุน	1 เส้น
- ชุดเฟือง	1 ชุด
-มอเตอร์ DC	1 ตัว
- น็อต 2 หุน	1 ตัว

4.ชุดโซลาร์เซลล์

- แผงโซลาร์เซลล์	1 แผง

5.ชุดคอนโทรลเลอร์

- แบตเตอรี่ 12 โวลต์	1 ตัว
- คอนโทรลเลอร์	1 ชุด

6.อุปกรณ์ติดตั้งและเก็บผลการทดลอง

- เครื่องเชื่อมไฟฟ้า	-ระดับน้ำ
- ไฟเบอร์ตัดเหล็ก	-มัลติมิเตอร์
- หินเจียร	
- สว่านไฟฟ้า	
- ประแจ + ไขควง	

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ชุดฐานราก

1.1 นำยางรถยนต์1ล้อ มาวางไว้ในตำแหน่งที่จะติดตั้งเสาโคมไฟ จากนั้นนำคอนกรีตเทใส่ลงไปในล้อยาง แล้วนำเหล็กเพลตขนาด 15x15 เซนติเมตร ที่เจาะรูใส่น็อตทั้งสี่มุมลงไปตรงกลางดังภาพ 3.1 ใช้ระดับน้ำวัดเพื่อให้แผ่นเพลตได้ระดับ

ภาพที่ 3.1 ชุดฐานราก

2. ชุดกังหันลม

2.1 นำล้อรถจักรยานที่ตัดก้านล้อออกจำนวน 3 ล้อ มาเชื่อมติดกับเหล็กแป๊ปกลมขนาด 2 หุน ยาว 90 เซนติเมตร โดยให้แต่ละล้อห่างกัน 30 เซนติเมตร เชื่อมติดกันจะได้โครงกังหันลมดังภาพ 3.2

ภาพที่ 3.2 โครงกังหันลม

2.2 ตัดเหล็กแบนขนาด 1 นิ้ว ยาว เซนติเมตร จำนวน 3 ชิ้น เชื่อมติดกับล้อรถจักรยานล้อกลางเพื่อทำเป็นแขนยึดชุดตลับลูกปืนดังภาพ 3.3

ภาพที่ 3.3 แขนยึดชุดตลับลูกปืน

2.3 ทำชุดลูกปืนโดยกลึงเหล็กเพลาให้มีขาดพอดีกับตลับลูกปืนนำเหล็กเพลตกลมขนาด Ø = 5 นิ้วมายึดติดกับตลับลูกปืนดังภาพ 3.4

ภาพที่ 3.4 ชุดลูกปืน

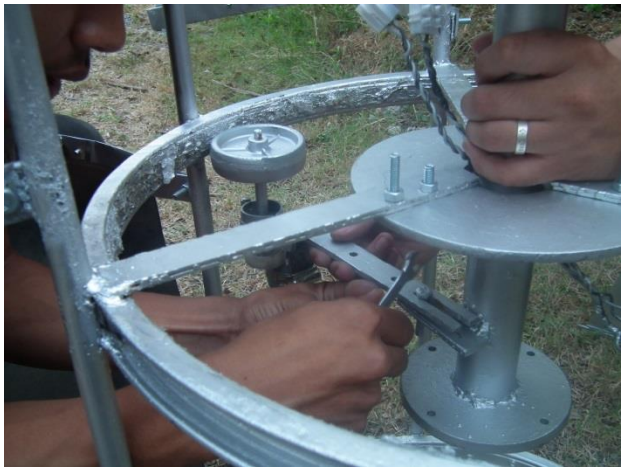
2.4 นำสังกะสีแผ่นเรียบมาตัดดังภาพ 3.5 จำนวน 6 ชิ้น เพื่อนำมาทำใบพัดกังหัน โดยใช้เหล็กแบนขนาด 1 นิ้ว ทำเป็นโครงปีก

ภาพที่ 3.5 ใบพัดกังหันลม

2.5 นำใบพัดกังหันทั้งหมด และชุดตลับลูกปืนประกอบเข้ากับโครงกังหันดังภาพ 3.6

ภาพที่ 3.6 ชุดตลับลูกปืนประกอบเข้ากับโครงกังหัน

2.6 ติดตั้งมอเตอร์ DC และชุดเฟืองทดรอบเข้ากับกังหันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าดังภาพ 3.7



ภาพที่ 3.7 การติดตั้งมอเตอร์ DC และชุดเฟืองทดรอบ

3. ชุดเสาโคมไฟ

3.1 นำเหล็กเพลตสี่เหลี่ยมขนาด15x15เซนติเมตร เจาะรูให้ตรงกับน็อตที่ฐานรากเชื่อมติดเข้ากับเสาขนาด 3 นิ้ว ยาว 3 เมตร ส่วนอีกด้านนำเหล็กเพลตกลมขนาด Ø=5 นิ้ว เชื่อมติดเข้าไปเพื่อทำเป็นฐานรับกังหันดังภาพ 3.6

ภาพที่ 3.8 เสาโคมไฟ

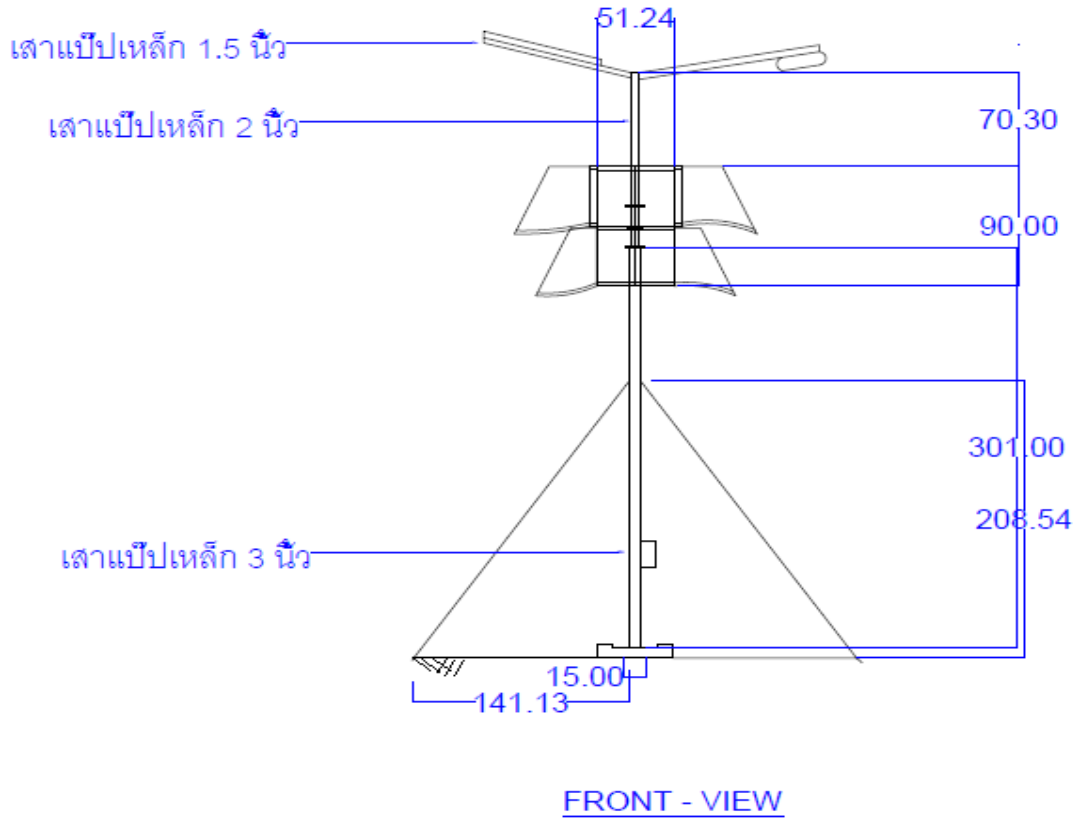
3.2 นำเหล็กแป๊ปกลมขนาด2นิ้ว มาตัดและเชื่อมให้มีลักษณะคล้ายตัว Y ดังภาพ 3.7 เพื่อติดตั้งโคมไฟและแผงโซลาร์เซลล์

ภาพที่ 3.7 เสาช่วงที่ติดตั้งโคมไฟ และแผงโซลาร์เซลล์

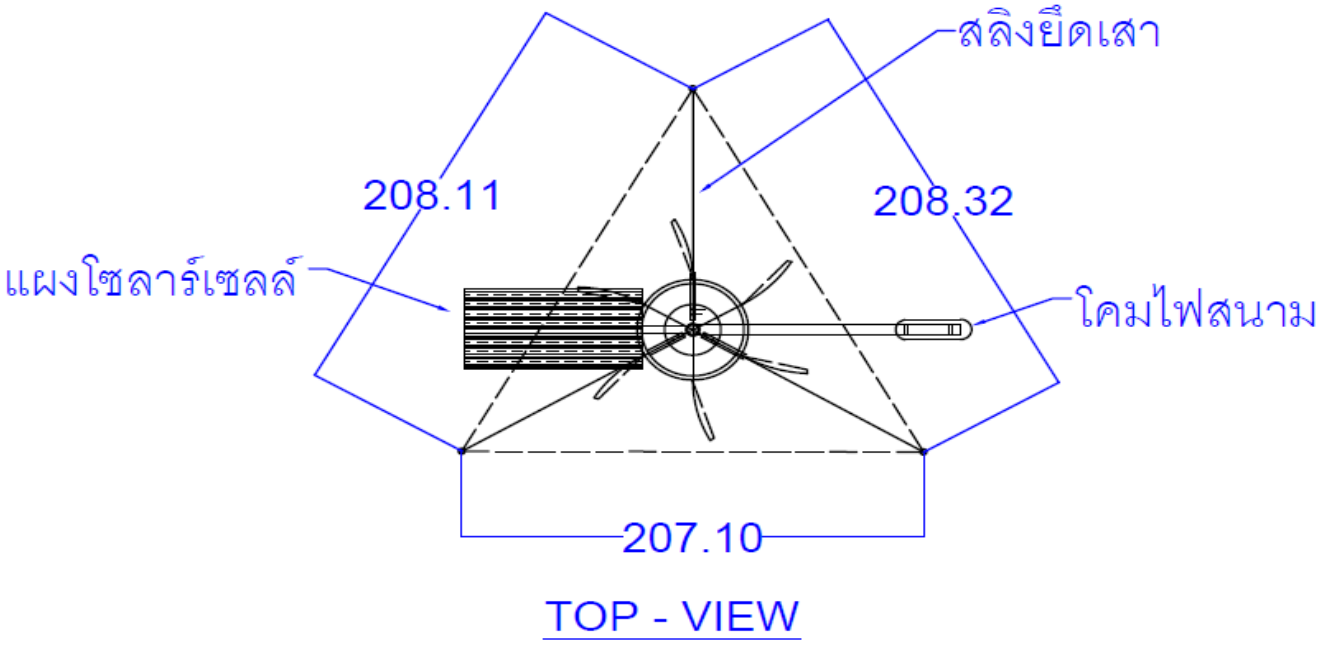
4. **การประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด**

4.1 นำชุดกังหัน และชุดโคมไฟมาติดเข้ากับเสา จากนั้นติดตั้งเข้ากับฐานราก พร้อมกับต่อวงจรการจ่ายกระแสไฟฟ้าและชุดคอนโทรลเลอกับแบตเตอรี่ดังภาพที่ 3.8

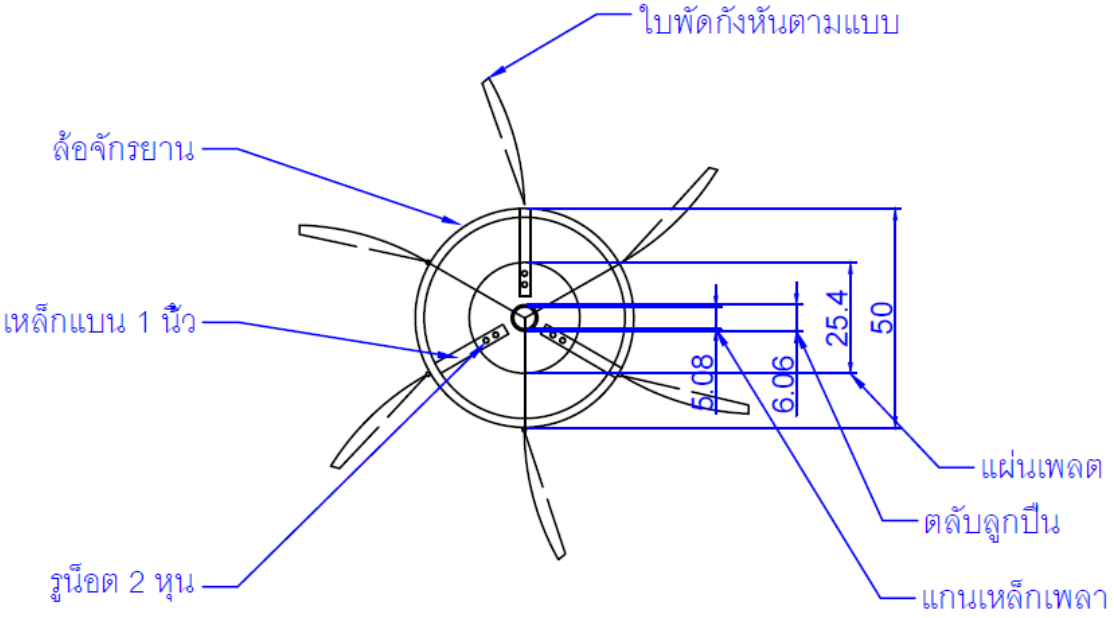
ภาพที่ 3.8 โคมไฟที่ติดตั้งอุปกรณ์เสร็จเรียบร้อย



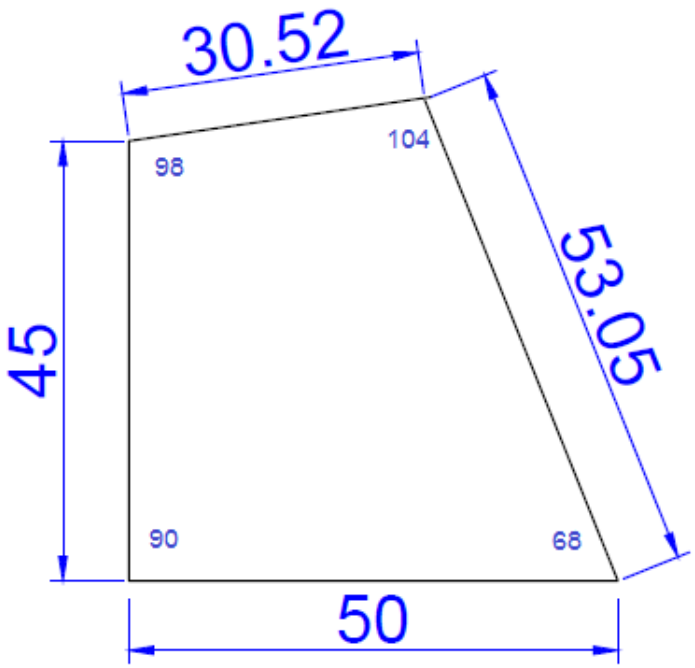
ภาพที่ 3.11 แบบโคมไฟส่องถนน(FRONT VIEW)



ภาพที่ 3.12 แบบโคมไฟส่องถนน(TOP VIEW)



ภาพที่ 3.13 แบบชุดกังหัน



ภาพที่ 3.14 แบบใบกังหัน

บทที่ 4

ผลการศึกษาทดลอง

ตาราง 4.1 ตารางบันทึกความเร็วลม ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนโดยเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย

ช่วงเวลา (นาที)	ระยะก่อนวัด (กิโลเมตร)	ระยะหลังวัด (กิโลเมตร)	ระยะจริง (กิโลเมตร)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
15	4288.2	4289.2	1	1.28
30	4289.2	4291.2	2	1.10
45	4291.2	4293.7	2.5	0.97
60	4293.7	4296.4	2.7	0.95
เฉลี่ย				1.08

ตาราง 4.2 ตารางบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์

ช่วงเวลา	แผงโซลาร์เซลล์	
	ความต่างศักย์	วัตต์/ชั่วโมง
7.00 น.	6.43	6.30
12.00 น.	9.45	9.26
17.00 น.	8.86	8.68
เฉลี่ย	8.25	8.08

ตาราง 4.3 ตารางบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม โดยการจำลองความเร็วลมจากพัดลมไฟฟ้า และความเร็วลมเฉลี่ยที่วัดได้ ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ความเร็วลม(ม/วินาที)	ความต่างศักย์	กำลังไฟฟ้าที่ได้จริง(วัตต์/ชั่วโมง)
1.08	0.02	0.144

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. กังหันลม

จากตารางที่ 4.1ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 1.08 ม./วินาที และตารางที่ 4.3 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 0.144 วัตต์/ชั่วโมง เมื่อพิจารณากำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าทางทฤษฎีตามตารางที่ 2.1 กังหันลมจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 0.35 วัตต์/ชั่วโมง ทำประสิทธิภาพของกังหันลมจึงมีเพียง 41.14 % ซึ่งสาเหตุที่ทำให้กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประสิทธิภาพต่ำนั้น สาเหตุส่วนใหญ่มาจากความฝืดของชุดลูกปืน และจำนวนรอบการหมุนของเจนเนอเรเตอร์ไม่เพียงพอที่จะผลิตกระแสไฟฟ้า

2. โซลาร์เซลล์ขนาด 10 วัตต์

จากการตรวจวัดตามตารางที่ 4.2 แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เฉลี่ย 8.08 วัตต์/ชั่วโมง และจากตารางที่ 2.1 มีจำนวนชั่วโมงแสงอาทิตย์เฉลี่ย 6.36 ชั่วโมง/วัน สามารถหากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ได้ 51.38 วัตต์/ วัน เมื่อพิจารณาทางทฤษฎีโซลาร์เซลล์ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 10 วัตต์/ชั่วโมง หรือ 63.6 วัตต์/วัน ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 80.8% สาเหตุที่ทำให้แผงโซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพลดลงนั้น เกิดจากความเข้มของแสงในแต่ละช่วงเวลามีความเข้มต่างกัน ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้ถือว่าเป็นที่น่าพอใจและสามารถนำไปใช้กับโคมไฟส่องถนนได้จริงและเพียงพอ

โดยเมื่อนำกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ 8.08 วัตต์/ชั่วโมง มารวมกับกระแสไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลม 0.144 วัตต์/ชั่วโมง ได้กระแสไฟฟ้ารวม 8.22 วัตต์/ชั่วโมง โคมไฟมีประสิทธิภาพ 54.8%

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการดำเนินงาน

โคมไฟส่องสว่างจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมา มีพลังงานเพียงพอทำให้เกิดแสงสว่างใช้ในเวลากลางคืนได้โดย

กังหันลม สามารถผลิตไฟฟ้าได้0.144 วัตต์/ชั่วโมง ที่ความเร็วลม 1.08 ม./วินาที

โซลาร์เซลล์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 8.08วัตต์/ชั่วโมง หรือ 51.38 วัตต์/ วัน

สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้รวม 8.22 วัตต์/ชั่วโมง หรือ 52.27 วัตต์/วัน

จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่การผลิตกระแสไฟฟ้าจะมาจากแผงโซลาร์เซลล์ แต่ในส่วนของกังหันลมนั้นผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาน้อยมาก หรือไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เลย เนื่องจาก ณ บริเวณที่ติดตั้งมีความเร็วลมน้อยมาก ในภาพรวมแล้วจึงไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมได้ แต่ปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์-เซลล์สามารถนำมาใช้งานกับโคมไฟได้เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่กำลังไฟฟ้า 50 วัตต์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาพื้นที่ที่มีความเร็วลมมากกว่า 1.5 เมตร/วินาที หรือติดตั้งบริเวณเกาะกลางถนนที่มีรถยนต์วิ่งผ่านเพื่ออาศัยแรงลมจากการวิ่งผ่านของรถ
2. ควรหามอเตอร์ DC ชนิดรอบต่ำมาทำเป็นเจนเนอเรเตอร์กำเนิดไฟของกังหันลม
3. ในกรณีที่ความเร็วลมไม่เพียงพอควรออกแบบให้มีชุดโซลาร์เซลล์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากให้ประสิทธิภาพสูงถึง 80.8 %และไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนของกังหันลมที่ไม่สามารถใช้งานได้

เอกสารอ้างอิง

1.กระทรวงพลังงาน. พลังงานลมhttp://d.energy.go.th/moen/upload/File/AlternativeEnergy/พลังงานลม/6_2_2.pdf

2.กระทรวงพลังงาน. พลังงานแสงอาทิตย์: http://old.energy.go.th/moen/upload/File/AlternativeEnergy/พลังงานแสงอาทิตย์/6_2_1.pdf

3.ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร.2549.พลังงานทดแทน. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครวิทยาเขตพระนครเหนือ, 146 หน้า

4. ยืนยง มาดี. 2537. พลังงานธรรมชาติจากกังหันน้ำ-ลม. วี.ที.เอส.บุ๊กเซ็นเตอร์

5.ไกรพัฒน์ จีนขจร. 2550. พลังงานหมุนเวียน. กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) 168 หน้า

6. http://www.kanhasolar.com

7.http://www.nakhonpathom.tmd.go.th/

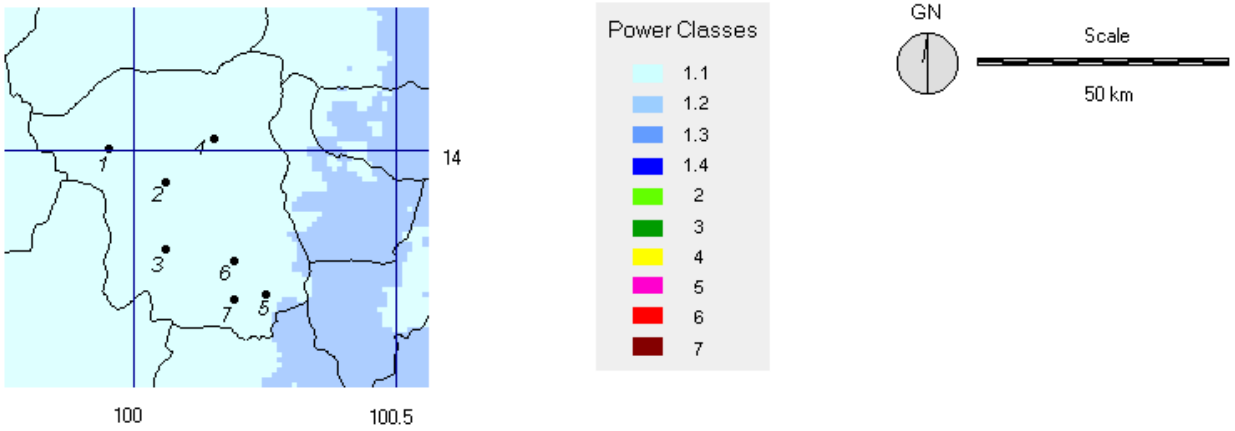
8. http://www.rmutphysics.com/charud/scibook/electric4/topweek7.htm

ภาคผนวก

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ.นครปฐม รวมช่วงลมสงบ เฉลี่ยรายปี

NAKHON PATHOM WIND MAP INCLUDING CALM – ANNUAL AVERAGE

แผนที่ศักยภาพพลังงานลม จ.นครปฐม รวมช่วงลมสงบ - เฉลี่ยรายปี

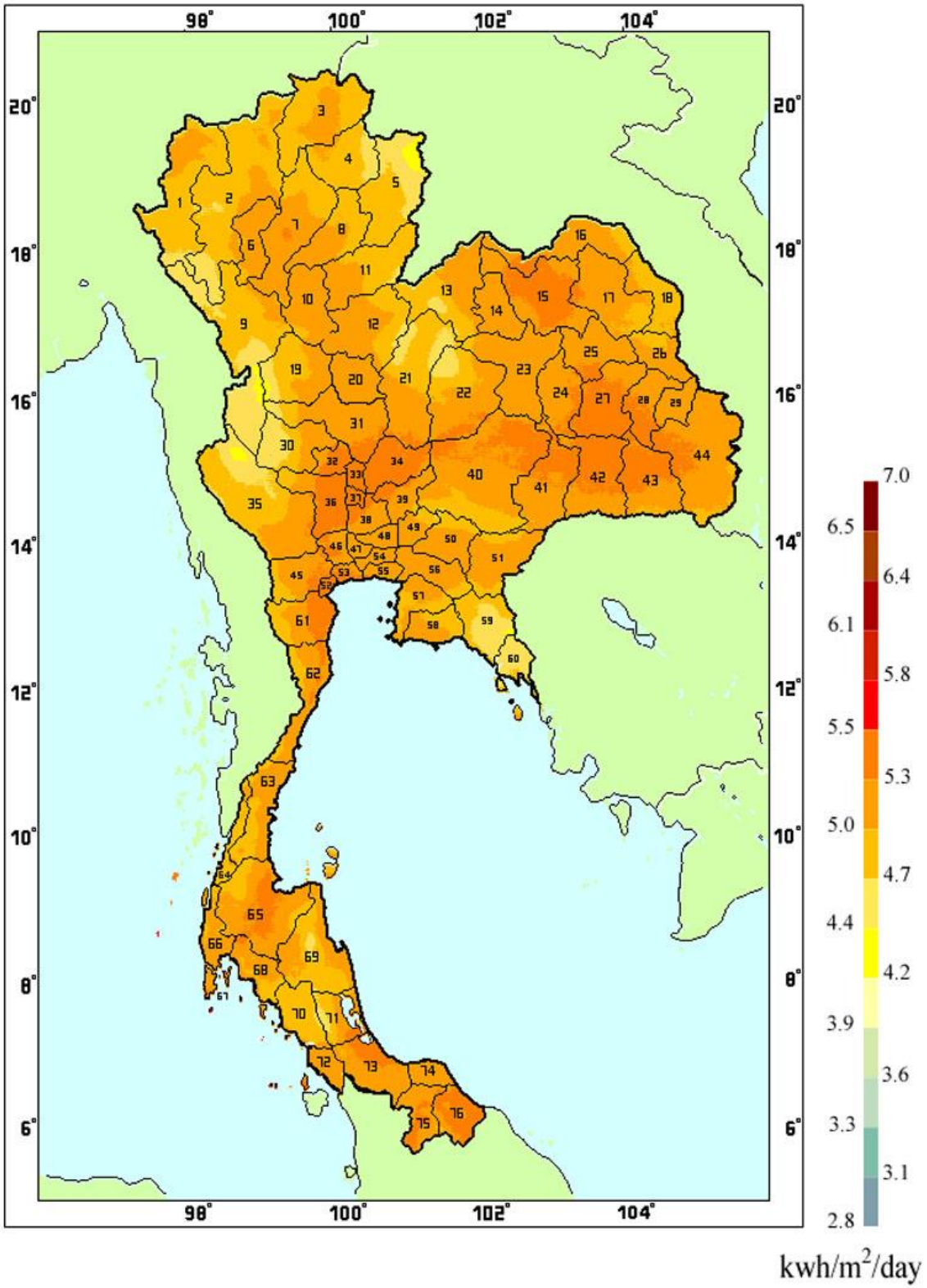


No. / AMPHOE(อำเภอ)	LONG	LAT	CLASS
1.Kamphaeng Saen (อ.กำแพงแสน)	99.95	14	1.1
2.Don Tum (อ.ดอนตูม)	100.06	13.94	1.1
3.Nakhon Chai Sri (อ.นครชัยศรี)	100.19	13.8	1.1
4.Bang Len (อ.บางเลน)	100.15	14.02	1.1
5.Buddha Monthon (อ.พุทธมณฑล)	100.25	13.74	1.1
6.Muang NakhonPathom (อ.เมือง นครปฐม)	100.06	13.82	1.1
7.Sam Phran (อ.สามพราน)	100.19	13.73	1.1

THAILAND WIND POWER CLASSES

Elevation		1.1	1.2	1.3	1.4	2	3	4	5	6	7
10 m	m/s	0 – 2.8	3.6	4.0	4.4	5.1	5.6	6.0	6.4	7.0	9.4
	W/m²	0 – 25	50	75	100	150	200	250	300	400	1,000
30 m	m/s	0 – 3.3	4.1	4.7	5.2	5.9	6.5	7.0	7.4	8.2	11.0
	W/m²	0 – 40	80	120	160	240	320	400	480	640	1,600
50 m	m/s	0 – 3.6	4.4	5.1	5.6	6.4	7.0	7.5	8.0	8.8	11.9
	W/m²	0 – 50	100	150	200	300	400	500	600	800	2.000

แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย



<u>อ้างอิง</u>:กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กระทรวงพลังงาน)

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย(พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรพบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่าง ๆ ในแต่ละเดือนของประเทศ ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m2 - day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีษะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เลี่ยนทั้งปี 19 ถึง 20 MJ/m2 - day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 MJ/m2 - day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2MJ/m2 - day จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

ตารางสรุปข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน (MJ/m2-day) นครปฐมสถานีอุตุนิยมวิทยานครปฐมกรมอุตุนิยมวิทยา

ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายเดือน (หน่วย : MJ/m^2 – Day)												
ปี / เดือน	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2550	16.52	18.47	19.91	21.36	17.96	19.90	17.48	16.09	18.23	15.22	15.00	16.06
2551	16.15	16.79	21.16	21.49	18.98	19.58	17.74	18.19	17.32	15.69	15.81	17.05
2552	17.73	18.32	20.17	22.53	18.70	16.81	16.43	19.18	18.88	17.20	18.14	16.69
2553	15.59	19.59	20.17	23.47	22.51	21.64	20.33	17.26	20.40	15.63	15.21	15.57

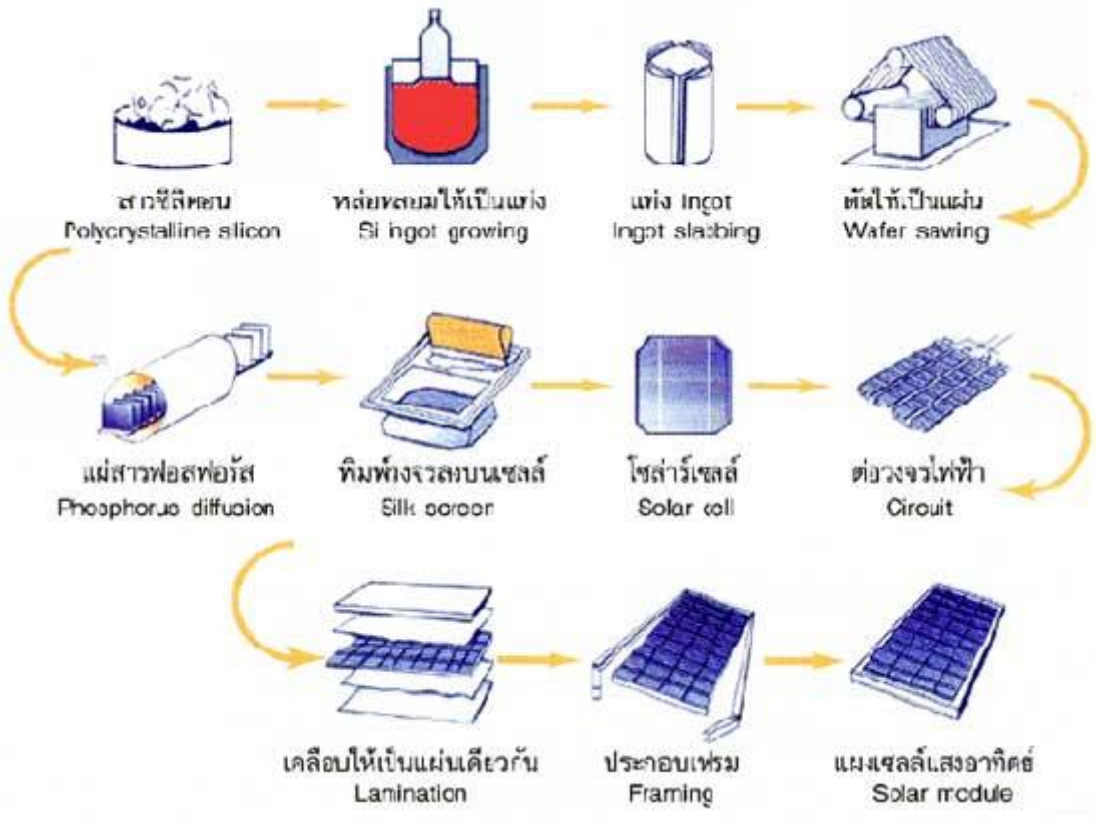
<u>อ้างอิงจาก</u>:แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ.2542) โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดหลัก คือ

1. Mono crystalline หรือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้สร้างโดยการนำเอาซิลิคอนซึ่งผ่านการทำให้เป็นก้อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมากถึง 99.999% ไปหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงถึง 1500 องศาเซลเซียส เพื่อทำการสร้างแท่งผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว) จากผลึกตั้งต้น (Seed crystal) ด้วยเทคโนโลยีการดึงผลึก คุณภาพของผลึกเดี่ยวจะสำคัญมากต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อไปก็จะนำแท่งผลึกเดี่ยวนี้ไปตัดเป็นแผ่น ๆ เรียกว่า เวเฟอร์ หนาประมาณ 300 ไมโครเมตร และขัดความเรียบของผิว จากนั้นก็จะนำไปเจือสารที่จำเป็นในการทำให้เกิดเป็น p-n junction ขึ้นบนแผ่นเวเฟอร์ ด้วยวิธีการ diffusion ที่อุณหภูมิระดับ 1000 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นก็จะเป็นขั้นตอนการทำขั้วไฟฟ้าเพื่อนำกระแสไฟออกใช้ และขั้นสุดท้ายก็จะเป็นการเคลือบฟิลม์ผิวหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนแสงให้น้อยที่สุด ดังรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

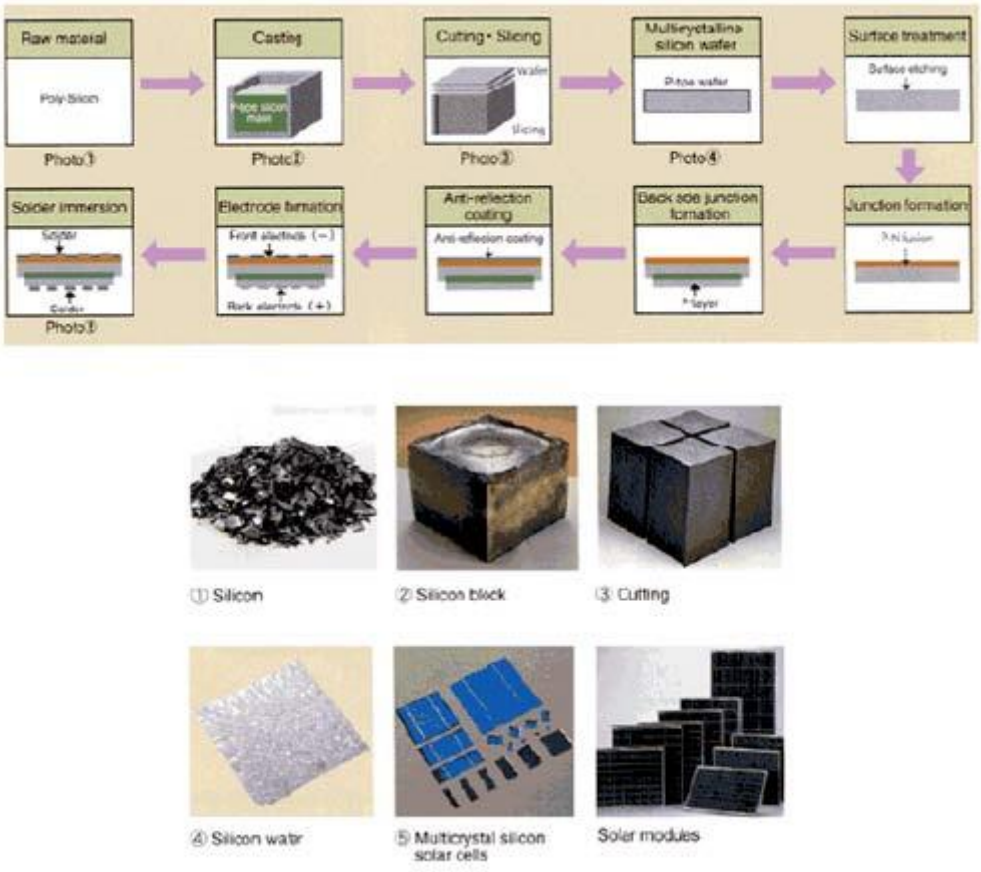


ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

ภาพที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline

2. Poly crystalline หรือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก

เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึกได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว ซิลิคอนแบบหลายผลึกก็คือก้อนซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็ก ๆ (ขนาดระดับไมโครเมตร-มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิคอน รูปที่ 3 เป็นการแสดงขั้นตอนการผลิตของโพลีซิลิคอน ด้านบนของรูปแสดงการผลิตแบบ cast โดยจะเทซิลิคอนที่หลอมละลายเข้าไปใน crucible แล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้า ๆ ซึ่งก็จะได้ก้อน ingot ของซิลิคอนหลายผลึกที่มีรูปร่างตาม crucible ที่ใช้ หลังจากนี้การนำไปทำเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะคล้ายกับกรณีของแบบผลึกเดี่ยว คือนำไปตัดเป็นเวเฟอร์หนาขนาด 300-400 ไมโครเมตร แล้วก็ทำ p-n junction ต่อไป ด้านล่างของรูปเป็นการสร้างแผ่นซิลิคอนหลายผลึกที่จะใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรงจากสารหลอมเหลวของซิลิคอน เรียกวิธีนี้ว่า ribbon โดยวิธีนี้จะช่วยลดขั้นตอนที่จะต้องหั่นเป็นแผ่นเวเฟอร์ในกรณีที่ใช้ ingot

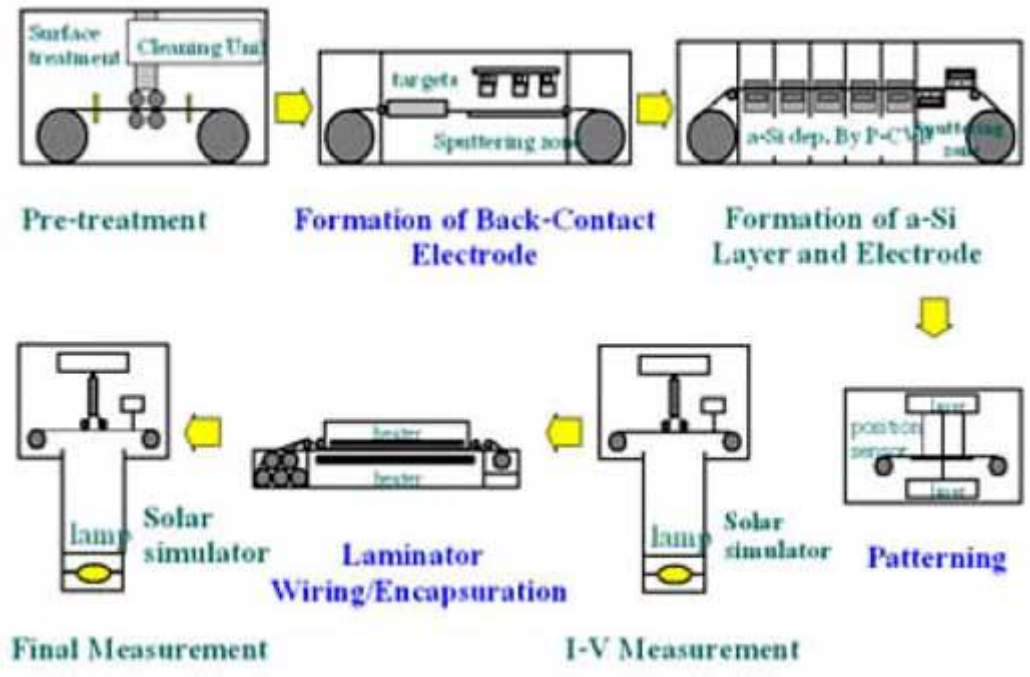


ภาพที่ 3 ขั้นตอนของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก

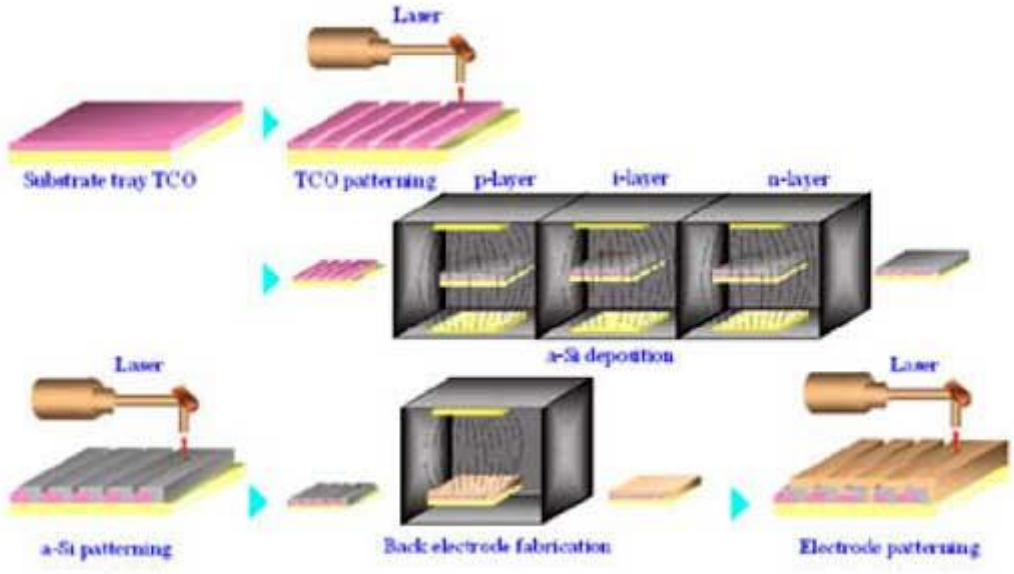
ภาพที่ 4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly crystalline

3. Amorphous silicon หรือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส

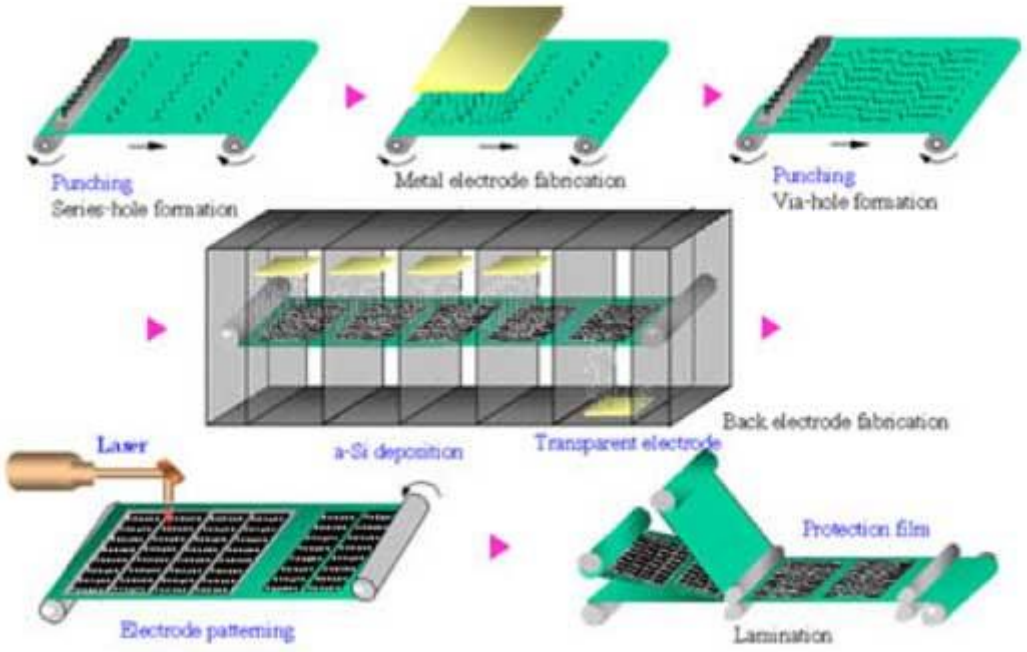
เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสมีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิง โดยจะเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบางไม่ใช่เวเฟอร์ ดังรูปที่ 5 แสดงให้เห็นขั้นตอนการผลิต เราจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิคอนบนแผ่นฐานรองโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่มีซิลิคอนติดอยู่ เช่น ก๊าซไซเลน (SiH4) ผ่านเข้าไปในท่อสูญญากาศ และตรงบริเวณที่วางแผ่นฐานรองก็จะมีการกระตุ้น เช่น โดยพลาสมาเพื่อส่งพลังงานให้ซิลิคอนแยกตัวออกจากก๊าซเข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรอง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นแก้ว สเตนเลส หรือพลาสติก ที่ได้ทำการเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน โดยมีอุณหภูมิบนแผ่นฐานรองประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ซิลิคอนจะทับถมสะสมบนแผ่นเกิดเป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน ในขั้นตอนนี้หากเราใส่ก๊าซที่มีโบรอน เช่น B2H6 เข้าไปด้วย เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด p และถ้าหากใส่ก๊าซที่มีฟอสเฟต เช่น PH3 เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด n ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้เราสามารถควบคุมการไหลของก๊าซเพื่อสร้างให้เกิดชั้นของ pin อะมอร์ฟัสซิลิคอนขึ้นได้อย่างค่อนข้างง่ายดาย หลังจากได้ pin แล้ว เราก็จะสร้างส่วนของขั้วไฟฟ้าให้เสร็จเป็นเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 5 ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Silicon



ภาพที่ 6 ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Si Solar Cell (Glass Substrate)



ภาพที่ 7 ขบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Si Solar Cell (Film Substrate)

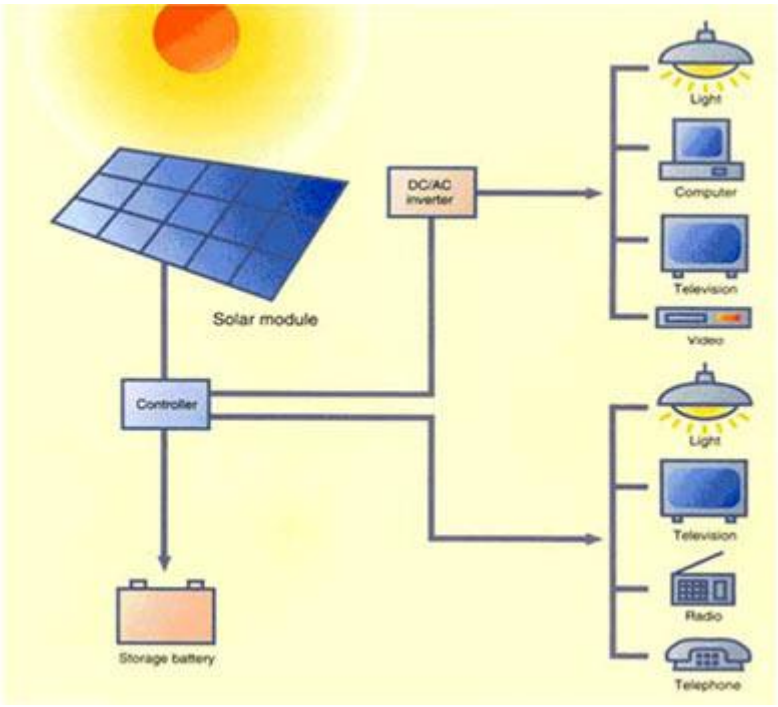
ภาพที่ 8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous silicon

รูปแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีรูปแบบที่หลากหลายต่างกัน แต่ทั้งหมดจะมีรูปแบบการใช้งานหลัก ๆ อยู่ 3 รูปแบบ ดังนี้

1. ระบบติดตั้งแบบอิสระ (Stand alone system)

เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าเข้าถึง หลักการทำงานของระบบติดตั้งแบบอิสระ
แบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน โดยในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้รับแสงแดดจะ
สามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อม ๆ กัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืน
เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้นพลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่าย
ให้แก่โหลด จึงกล่าวได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบอิสระนี้ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน



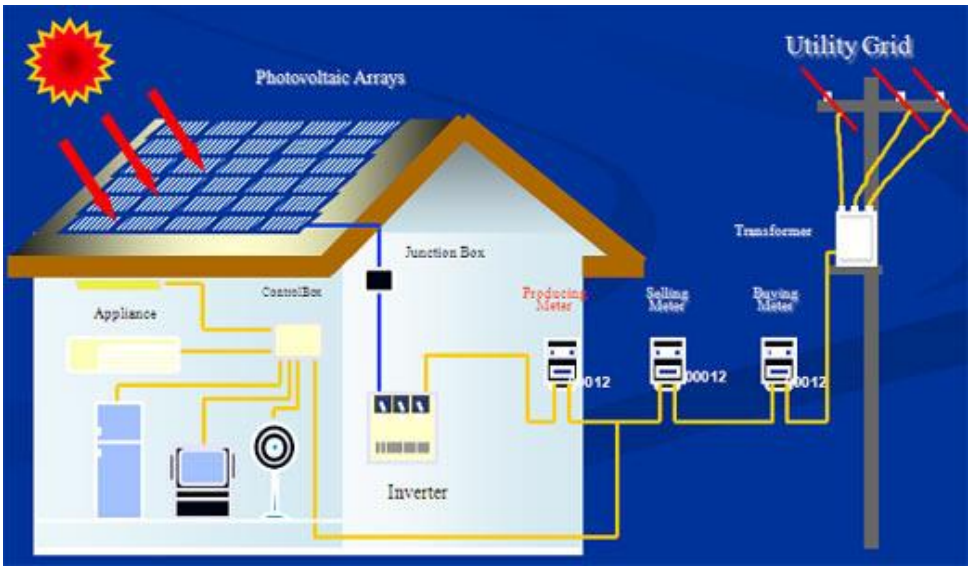
ภาพที่ 9 รูปแบบเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบอิสระ

รายละเอียดของระบบติดตั้งอิสระประกอบด้วย

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่
- แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อไว้ใช้ในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เช่น กรณีที่ฟ้า
  ครึ้ม หรือตอนกลางคืน
- เครื่องแปลงไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมกับเครื่องใช้
  ไฟฟ้า เช่น หากเครื่องใช้ไฟฟ้าต้องการไฟฟ้าที่แรงดัน 220Vac 50Hz เครื่องแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
  จากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220Vac 50Hz เพื่อให้สามารถใช้งานได้ เป็นต้น ส่วนในกรณีที่เครื่องใช้ไฟฟ้าต้องการ
  แรงดันกระแสตรง ก็สามารถใช้งานโดยตรงจากแบตเตอรี่ได้เลย

2. ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย (Grid connected system)

เป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ซับซ้อน การลงทุนไม่สูงมากเท่าแบบติดตั้งอิสระ แต่ต้องติดตั้งใน
พื้นที่ที่มีระบบสายส่งไฟฟ้าอยู่แล้ว ระบบนี้จะไม่มีการเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ ผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แล้วก็จ่ายเข้าระบบได้
เลย ทำให้ช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในส่วนของการดูแลรักษาแบตเตอรี่ แต่หากระบบไฟฟ้าหลักขัดข้อง ระบบนี้ก็จะหยุดจ่ายกระแส
ไฟฟ้าเข้าระบบด้วย เนื่องจากเป็นมาตรฐานความปลอดภัยสำหรับช่างไฟฟ้าที่จะซ่อมบำรุงระบบ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่บังคับใช้ทั่วโลก



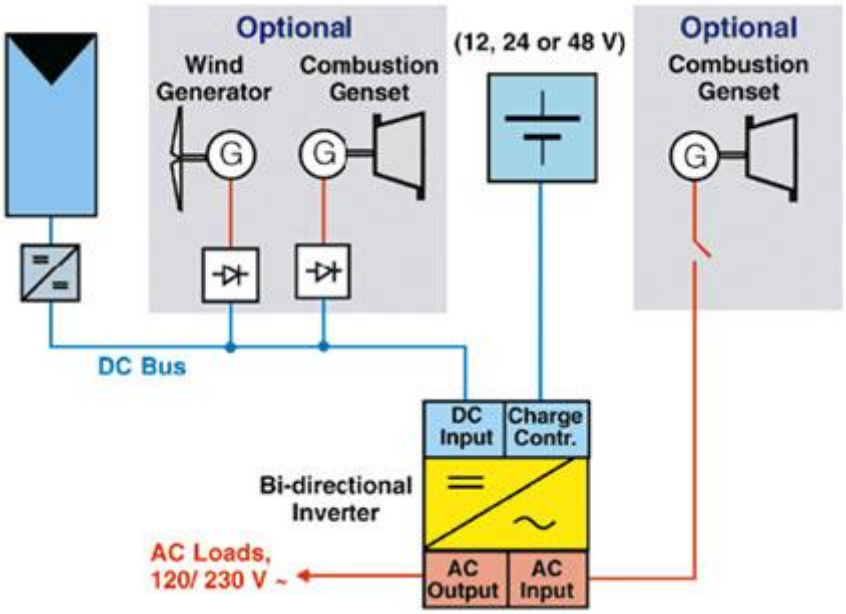
ภาพที่ 10 รูปแบบเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย

รายละเอียดของระบบติดตั้งแบบเชื่อมต่อระบบจำหน่าย ประกอบด้วย

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องแปลงกระแสสลับชนิดเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าที่ได้จากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาดและแรงดันเท่ากับระบบไฟฟ้าหลัก เช่น ระบบไฟฟ้าหลักมีแรงดัน 220Vac 50Hz ก็จะต้องใช้เครื่องแปลงไฟฟ้าเป็นรุ่นที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าที่แรงดัน 220Vac 50Hz ด้วย ซึ่งระบบแบบต่อร่วมระบบจำหน่ายนี้มีการติดตั้งใช้งานกันมากในปัจจุบันเนื่องจากมีการส่งเสริมจากทางภาครัฐ ทำให้ในปัจจุบันจะเห็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ต่าง ๆ กันมาก

3. ระบบติดตั้งแบบผสมผสาน (Hybrid system)

เป็นระบบซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันมากในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ตามเกาะต่าง ๆ และเหมาะสำหรับออกแบบให้เป็นแหล่งไฟฟ้าหลักได้เลย
เนื่องจากจะใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าจากหลาย ๆ แหล่งมาช่วยจ่ายกระแสไฟฟ้า ทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพมากขึ้น เช่น มีแหล่ง
จ่ายจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากชุดกังหันลมผลิตไฟฟ้า จากชุดเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น



ภาพที่11 รูปแบบเซลล์แสงอาทิตย์ระบบติดตั้งแบบผสมผสาน

รายละเอียดของระบบติดตั้งแบบผสมผสาน ประกอบด้วย

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
- เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ทำหน้าที่ในการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่
- แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อไว้ใช้ในตอนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เช่น กรณีที่ฟ้า
  ครึ้ม หรือตอนกลางคืน
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าชนิด 2 ทิศทาง จะทำหน้าที่ในการแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสสลับเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่อง
  ใช้ไฟฟ้า และในขณะเดียวกันหากแรงดันชุดแบตเตอรี่ต่ำลง หรือไม่มีแสงอาทิตย์สำหรับประจุลง

แบตเตอรี่ เครื่องแปลงก็จะทำหน้าที่ในการเป็นเครื่องประจุแบตเตอรี่โดยอัตโนมัติ เมื่อมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ที่จ่ายกระแสเข้ามาและเมื่อเครื่องยนต์ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์เครื่องแปลงไฟฟ้าทำการประจุไฟฟ้าจนแบตเตอรี่เต็มแล้ว เครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้าก็จะหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์เครื่องแปลงไฟฟ้าก็จะกลับมาทำหน้าที่ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยอัตโนมัติทันที ทำให้ระบบสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

การบำรุงรักษาเซลล์แสงอาทิตย์และอายุการใช้งาน

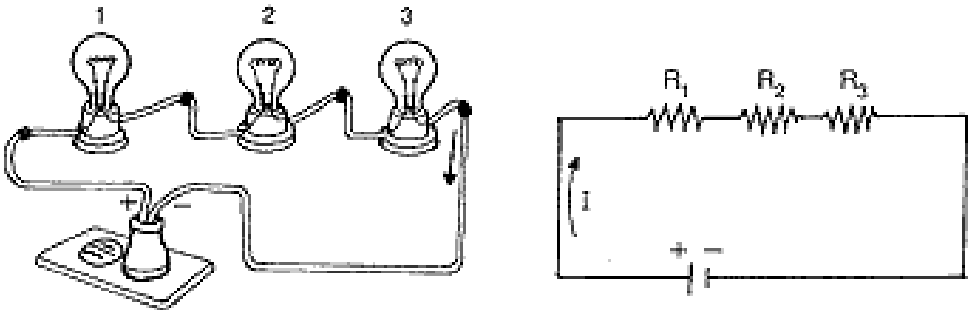
อายุการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปยาวนานกว่า 20 ปี และเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ไม่มีส่วนใดที่เคลื่อนไหว เป็นผลให้ลดการดูแลและบำรุงรักษาระบบดังกล่าว โดยจะมีเพียงในส่วนของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากฝุ่นละอองเท่านั้น

ภาพที่ 12

เทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประกอบกับการนำระบบควบคุมที่ดีมาใช้ในการผลิต ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถที่จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 1,600-1,800 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลวัตต์สูงสุดต่อปี พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากบ้าน 1 หลัง ประมาณ 3,750-4,500 หน่วย/ปี สามารถลดการใช้น้ำมันในการผลิตไฟฟ้าลงได้ 1,250-1,500 ลิตร/ปี และเนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ใช้เชื้อเพลิง จึงมีส่วนช่วยลด CO_2 SOxและ NOxที่เกิดจากโรงไฟฟ้าที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน และช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดสารต่าง ๆ ดังกล่าวนั้นด้วย

การต่อความต้านทานแบบอันดับ หรือแบบอนุกรม

เป็นการต่อความต้านทานเรียงกันไปตามลำดับ โดยที่ปลายสายของความต้านทานหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า (หลอด) ของตัวที่หนึ่งต่อกับต้นสายของความต้านทานหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า (หลอด) ของตัวที่สอง และอีกปลายหนึ่งของความต้านทานหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าตัวที่สองต่อกับต้นสายของความต้านทาน หรืออุปกรณ์ตัวที่สามเรียงต่อกันไปอย่างนี้จนครบวงจร



ลักษณะการต่อโหลดวงจรอันดับ

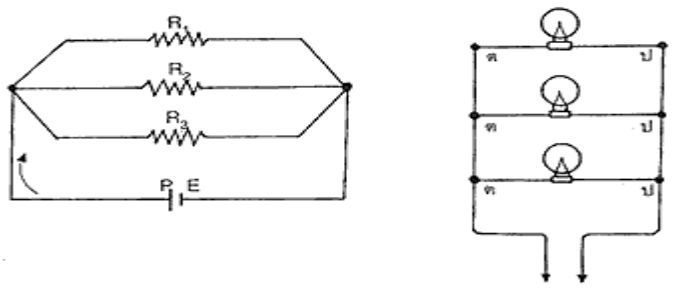
ภาพที่ 13การต่อโหลดแบบอนุกรม

คุณสมบัติของวงจรแบบอันดับหรืออนุกรม

1. กระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัวมีค่าเท่ากัน
2. แรงดันกระแสไฟฟ้าของวงจรทั้งหมดเท่ากัน แรงดันกระแสไฟฟ้าตกคร่อมของแต่ละความต้านทานรวมกัน

การต่อความต้านทานแบบขนาน

การต่อความต้านทานแบบขนาน เป็นการต่อสายของความต้านทานแต่ละตัวไว้ที่เดียวกัน และปลายสายอีกด้านหนึ่งต่อร่วมกันไว้ที่เดียวกัน



ลักษณะการต่อโหลดวงจรขนาน

ภาพที่ 14 การต่อโหลดแบบขนาน

คุณสมบัติของการต่อวงจรแบบขนาน

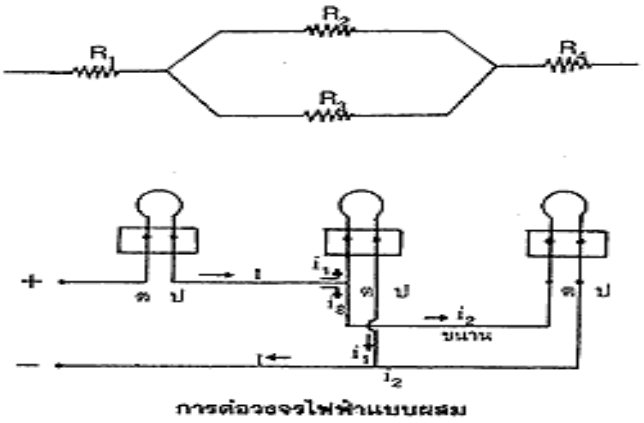
1. ความต้านทานแต่ละตัวได้รับแรงดันกระแสไฟฟ้าเท่ากัน

2. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทานแต่ละตัวมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้านทานนั้น ๆ คือ ถ้ามีความต้านทานมากกระแสไฟฟ้าจะไหลได้น้อย ถ้ามีความต้านทานน้อยกระแสไฟฟ้าจะไหลได้มาก

3. ผลรวมของกระแสไฟฟ้าที่แยกไหลผ่านแต่ละความต้าน เมื่อรวมกันแล้วจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าของวงจร

4. ความต่างศักย์ไฟฟ้าบนความต้านทานแต่ละเส้น จะมีค่าเท่ากัน และเท่ากับความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมทั้งวงจร

การต่อความต้านทานแบบผสม เป็นการต่อความต้านทานที่มีทั้ง 2 แบบในวงจรเดียวกัน



ภาพที่ 15การต่อโหลดแบบผสม

วงจรไฟฟ้าภายในบ้านนิยมแบบขนาน เนื่องจากถ้ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งขาด อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหลือก็จะใช้งานได้

การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้า ใช้ในเวลา 1 วินาที

เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด เช่น หม้อหุงข้าว เตารีด หลอดไฟฟ้า พัดลม ฯลฯ จะมีตัวเลขกำกับไว้ที่เครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น เตารีดไฟฟ้า มีตัวเลขกำกับว่า 220V 1000W มีความหมายดังนี้ 220V แสดงว่าเตารีดนี้ใช้กับไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ 220 โวลต์ 1000W แสดงว่าเตารีดนี้ ใช้กำลังไฟฟ้า 1000 วัตต์ ซึ่งหมายถึง เตารีดนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้า1000จูล ในเวลา1วินาที

การคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า คำนวณได้จาก พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไปในเวลา1วินาที

สูตร **กำลังไฟฟ้า x เวลา = พลังงานไฟฟ้า**

กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า คำนวณได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า ถ้ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมาก แสดงว่า เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นใช้พลังงานไฟฟ้ามาก แสดงว่า ใช้กำลังไฟฟ้ามาก

สูตร **P = VI**

พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) คือพลังงานที่ใช้ไปหรือสร้างขึ้นมาใหม่จากกำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้ามาหรือส่งออกไป โดยมีความสัมพันธ์กับเวล มีหน่วยใช้แสดงพลังงานเป็นจุล (J) พลังงานไฟฟ้าใช้สัญลักษณ์ตัว "W" สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

สูตร **W = Pt**

เมื่อ W = พลังงานไฟฟ้า หน่วยจูล (J)

P = กำลังไฟฟ้า หน่วยวัตต์ (W)

I = เวลาหน่วยวินาที (s)

ตารางบันทึกความเร็วลม ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย

ช่วงเวลา (นาที)	ระยะก่อนวัด (กิโลเมตร)	ระยะหลังวัด (กิโลเมตร)	ระยะจริง (กิโลเมตร)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
15	4297.0	4298.2	1.2	1.33
30	4298.2	4300.2	2	1.11
45	4300.2	4302.9	2.7	1
60	4302.9	4306.2	3.3	0.92
เฉลี่ย				1.09

ตารางบันทึกความเร็วลม ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย

ช่วงเวลา (นาที)	ระยะก่อนวัด (กิโลเมตร)	ระยะหลังวัด (กิโลเมตร)	ระยะจริง (กิโลเมตร)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
15	4306.2	4307.7	1.5	1.67
30	4307.7	4309.6	1.9	1.05
45	4309.6	4312.1	2.5	0.93
60	4312.1	4315.6	3.5	0.97
เฉลี่ย				1.15

ตารางบันทึกความเร็วลม ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย

ช่วงเวลา (นาที)	ระยะก่อนวัด (กิโลเมตร)	ระยะหลังวัด (กิโลเมตร)	ระยะจริง (กิโลเมตร)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
15	4316.0	4317.0	1	1.11
30	4317.0	4319.2	2.2	1.22
45	4319.2	4322.0	2.8	1.03
60	4322.0	4325.7	3.7	1.03
เฉลี่ย				1.09

ตารางบันทึกความเร็วลม ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย

ช่วงเวลา (นาที)	ระยะก่อนวัด (กิโลเมตร)	ระยะหลังวัด (กิโลเมตร)	ระยะจริง (กิโลเมตร)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
15	4326.0	4327.3	1.3	1.44
30	4327.3	4329.3	2	1.11
45	4329.3	4332.2	2.9	1.07
60	4332.2	4335.8	3.6	1.00
เฉลี่ย				1.15

ตารางบันทึกความเร็วลม ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย

ช่วงเวลา (นาที)	ระยะก่อนวัด (กิโลเมตร)	ระยะหลังวัด (กิโลเมตร)	ระยะจริง (กิโลเมตร)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
15	4336.0	4337.0	1	1.11
30	4337.0	4338.9	1.9	1.06
45	4338.9	4341.4	2.5	0.93
60	4341.4	4344.6	3.2	0.89
เฉลี่ย				0.99

ตารางบันทึกความเร็วลม ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย

ช่วงเวลา (นาที)	ระยะก่อนวัด (กิโลเมตร)	ระยะหลังวัด (กิโลเมตร)	ระยะจริง (กิโลเมตร)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
15	4345.0	4345.9	0.9	1
30	4345.9	4347.7	1.8	1
45	4347.7	4350.4	2.7	1
60	4350.4	4353.5	3.1	0.86
เฉลี่ย				0.96

ตารางบันทึกความเร็วลม ณ ศูนย์วิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยเครื่องวัดความเร็วลมแบบถ้วย

ช่วงเวลา (นาที)	ระยะก่อนวัด (กิโลเมตร)	ระยะหลังวัด (กิโลเมตร)	ระยะจริง (กิโลเมตร)	ความเร็วลม (เมตร/วินาที)
15	4353.0	4354.2	1.2	1.33
30	4354.2	4356.3	2.1	1.17
45	4356.3	4358.6	2.3	0.85
60	4358.6	4362.1	3.5	0.97
เฉลี่ย				1.08