

ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดสำหรับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายกำลังงานต่ำ



ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2562

ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดสำหรับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายกำลังงานต่ำ



อรุณ ศิริภัทรวรินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดสำหรับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายกำลังงาน
ต่ำ

อรุณ ศิริภัทรวรินทร์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงชัย มณีชูเกตุ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญ คงกระพันธ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดสำหรับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายกำลังงานต่ำ
ชื่อผู้เขียน	นายอรุณ ศิริภัทรวรินทร์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานทดแทนขนาดเล็กเพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายขนาดเล็กที่ติดตั้งในถิ่นทุรกันดารซึ่งยากต่อการเดินทางเข้าไปเปลี่ยนแบตเตอรี่ ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานทดแทนแบบผสมผสานขนาดเล็กในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิคการผสมผสานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก กังหันลมขนาดเล็ก และอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตไฟฟ้า โดยการทดสอบจะทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาเก็บในแบตเตอรี่และนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายขนาดเล็กต่อไป นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.5 W และ 10 W ด้วยเครื่องสร้างแสงอาทิตย์จำลอง (solar simulator) จากการศึกษาพบว่าที่ค่าความเข้มแสงในช่วง 50 – 1,000 W/m² แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W และ 10 W สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 6.15 V และ 19.17 V ตามลำดับการทดสอบกังหันลมแกนตั้งและกังหันลมแกนนอนขนาดเล็กภายในอุโมงค์ลม พบว่า กังหันลมแกนตั้งและกังหันลมแกนนอนขนาดเล็กสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.72 V และ 8.76 V ตามลำดับ และผลการทดสอบอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกแบบ TEC112710 และแบบ TEC1-12706 สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าเฉลี่ย สูงสุดเท่ากับ 4.69 V และ 0.99 V ตามลำดับที่ผลต่างอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นเท่ากับ 45°C ซึ่งเมื่อทำการแปลงพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแล้วจะสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับ อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายขนาดเล็กที่ติดตั้งในถิ่นทุรกันดารได้โดยไม่ต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก

คำสำคัญ : ระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน, พลังงานทดแทน, พลังงานสะอาด

Title	A HYBRID ENERGY HARVESTING SYSTEM FOR THE LOW POWER COMMUNICATION DEVICES
Author	Mr. Arun Siribhatharawarin
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Thongchai Maneechukate

ABSTRACT

This research is aimed to test the micro renewable energy harvesting devices for wireless data communication device installed in rural areas which are difficult to reach for battery changing. A micro hybrid energy harvesting system in this research included small photovoltaic cell, micro wind turbine and thermoelectric devices. Electrical voltage from system was measured and power was collected in battery for further use as energy resource of micro wireless data communication device. Moreover, the test of 2.5 W and 10 W photovoltaic module was conducted using solar simulator. The result showed that at solar intensity in the range of 50-1,000 W/m², 2.5 W and 10 W photovoltaic produced maximum voltage of 6.15 V and 19.17 V, respectively. It was found that micro vertical axis wind turbine and horizontal axis wind turbine in wind tunnel generated maximum voltage of 0.72 V and 8.76 V, respectively. The results also showed that TEC112710 and TEC1-12706 thermoelectric generated the average highest voltage of 4.69 V and 0.99 V with temperature difference between hot and cool sides being 45 °C. Power transformed from devices mentioned above could be used as energy resource of wireless data communication device without external power.

Keywords : system, renewable energy, green energy

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย มณีชูเกตุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขงานการรูปเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ทำให้การเรียนรู้อิสระครั้งนี้ ลุล่วงสำเร็จไปด้วยดี ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญ คงกระพันธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการสอบการ เรียนรู้อิสระ รวมถึงตรวจแก้ไข รูปเล่มการเรียนรู้อิสระนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรสาขาวิชาพลังงานทดแทน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้คำแนะนำ และสั่งสอนให้ความรู้ในด้านต่าง ๆ ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลองต่าง ๆ

อรุณ ศิริภักทรวรินทร์



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตารางผนวก.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร.....	4
พลังงานลม (Wind Energy).....	4
ชนิดของกังหันลม.....	6
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator).....	7
เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Dynamo).....	9
เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric).....	11
พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy).....	12
เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell).....	13
ทฤษฎีบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter).....	16

โหมดสวิตช์เปิด (Mode Switch On).....	16
โหมดสวิตช์ปิด (Mode Switch Off).....	17
ทฤษฎีบั๊กคอนเวอร์เตอร์ วงจรทอนระดับแรงดันไฟตรง (Buck Converter).....	19
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย.....	35
อุปกรณ์ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	35
อุปกรณ์ในการทดสอบกั้นหุ้มขนาดจิว กั้นหุ้มขนาดจิวแนวตั้ง.....	37
อุปกรณ์ในการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกเทอร์โมอิเล็กทริก	39
เครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูล ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multi-meter).....	42
วิธีดำเนินงานวิจัย	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	47
ผลการทดสอบชุดทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์	47
ผลการทดสอบชุดการทดลองของกั้นหุ้มขนาดจิว.....	59
ผลการทดสอบชุดการทดลองของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	63
ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์	67
ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v ต่อกับวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V แปลงเป็น 24V.....	71
ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกกรณีรวมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์	72
วิจารณ์ผลการทดลอง	74
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	75
สรุปผลการทดลอง.....	75
ข้อเสนอแนะ	76
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	79



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	ศักยภาพของพลังงานทดแทนและเป้าหมายของประเทศไทยในอนาคต.....	2
ตารางที่ 2	แสดงการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมขนาดจิ๋ว.....	61
ตารางที่ 3	ผลของแรงดันไฟฟ้าที่ผลต่างอุณหภูมิที่ต่างกัน.....	64
ตารางที่ 4	ผลการทดสอบวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิค่าและแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีโหลดและมีโหลด.....	65



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ความเร็วลมที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด	5
ภาพที่ 2 Horizontal Axis Wind Turbine.....	6
ภาพที่ 3 Vertical Axis Wind Turbine.....	7
ภาพที่ 4 อธิบายกฎของฟาราเดย์.....	8
ภาพที่ 5 กฎมือขวาของเฟลมมิง	8
ภาพที่ 6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	9
ภาพที่ 7 โรเตอร์และสเตเตอร์.....	10
ภาพที่ 8 Thermoelectric Generator	12
ภาพที่ 9 ไดอะแกรมเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
ภาพที่ 10 Crystalline Solar Cell	14
ภาพที่ 11 Thin Film Solar Cell.....	14
ภาพที่ 12 Dye-Sensitized Solar Cell.....	15
ภาพที่ 13 Organic Solar Cell.....	15
ภาพที่ 14 วงจรสมมูลของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์เปิด	16
ภาพที่ 15 วงจรสมมูลของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์ปิด.....	17
ภาพที่ 16 โครงสร้างวงจร Buck Converter.....	19
ภาพที่ 17 วงจรสมมูลของ Buck Converterขณะสวิตช์นำกระแส.....	19
ภาพที่ 18 วงจรสมมูลของ Buck Converter ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส	20
ภาพที่ 19 รูปคลื่น i_L , i_C และ i_C ช่วงเวลาสถานะอยู่ตัวในวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์.....	21
ภาพที่ 20 รูปคลื่นกระแส i_C และแรงดัน v_0 ในวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์.....	22
ภาพที่ 21 ระบบ Hybrid Solar-Wind System	23

ภาพที่ 22	แผนผังการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า	24
ภาพที่ 23	แผนผังการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า และเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงทดแทน	24
ภาพที่ 24	ผลการทดสอบกำลังทางเอาต์พุตของวงจร	26
ภาพที่ 25	ไดอะแกรมเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย	27
ภาพที่ 26	ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์	28
ภาพที่ 27	ส่วนประกอบของกังหันลม (a) โบลเวอร์ (b,e,f) กังหันลม และเจนเนอเรเตอร์ (c,g) วงจรเรียงกระแส (d) หลอดไฟ	29
ภาพที่ 28	(a) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าจากกังหันลม (b) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและประสิทธิภาพของกังหันลม	29
ภาพที่ 29	ระบบที่มีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากความร้อน	30
ภาพที่ 30	การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์	31
ภาพที่ 31	ใบพัดที่ได้รับการออกแบบที่แตกต่างกัน	31
ภาพที่ 32	ความเร็วในการหมุนของใบพัดต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลม	32
ภาพที่ 33	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ได้กับความเร็วลม	32
ภาพที่ 34	เครื่องกำเนิดแสง (Solar simulator).....	35
ภาพที่ 35	เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W และ 10 W	36
ภาพที่ 36	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ VICTOR รุ่น 303B	36
ภาพที่ 37	มิเตอร์วัดพลังงานแสงอาทิตย์ยี่ห้อ PROVA รุ่น 210	37
ภาพที่ 38	กังหันลมขนาดจิ๋วแนวตั้ง	38
ภาพที่ 39	กังหันลมขนาดจิ๋วแนวนอน	38
ภาพที่ 40	อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบกังหันลมขนาดจิ๋ว	39
ภาพที่ 41	เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12710	39
ภาพที่ 42	เครื่องให้ความร้อนแบบ Hot Plate ยี่ห้อ Ok Well	40

ภาพที่ 43	วงจร Boost Converter Stage 1 แบบแปลงเป็น 5 V	40
ภาพที่ 44	วงจร Boost Converter Stage 2 แบบแปลงเป็น 24 V	41
ภาพที่ 45	เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ยี่ห้อ KEITHLEY รุ่น 2231A-30-3	41
ภาพที่ 46	ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT55	42
ภาพที่ 47	เครื่องวัดความเร็วลม AH-4223	43
ภาพที่ 48	เครื่อง Oscilloscope ยี่ห้อ RIGOL รุ่น DS1102E	43
ภาพที่ 49	เครื่องการติดตั้งอุปกรณ์ต่อพ่วงและวงจรต่าง ๆ สำหรับการทดสอบระบบต้นแบบ	46
ภาพที่ 50	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	48
ภาพที่ 51	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 50 W/m ²	48
ภาพที่ 52	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 100 W/m ²	49
ภาพที่ 53	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 200 W/m ²	49
ภาพที่ 54	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 300 W/m ²	50
ภาพที่ 55	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 400 W/m ²	50
ภาพที่ 56	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 500 W/m ²	51
ภาพที่ 57	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 600 W/m ²	51
ภาพที่ 58	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 700 W/m ²	52
ภาพที่ 59	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 800 W/m ²	52
ภาพที่ 60	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 900 W/m ²	53
ภาพที่ 61	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 1,000 W/m ²	53
ภาพที่ 62	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 50 W/m ²	54
ภาพที่ 63	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 100 W/m ²	54
ภาพที่ 64	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 200 W/m ²	55
ภาพที่ 65	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 300 W/m ²	55
ภาพที่ 66	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 400 W/m ²	56

ภาพที่ 67	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 500 W/m ²	56
ภาพที่ 68	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 600 W/m ²	57
ภาพที่ 69	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 700 W/m ²	57
ภาพที่ 70	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 800 W/m ²	58
ภาพที่ 71	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 900 W/ m ²	58
ภาพที่ 72	การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 1,000 W/m ²	59
ภาพที่ 73	a) อุโมงค์ลมที่ระยะ 0.4 m b) อุโมงค์ลมที่ระยะ 0.8 m c) อุโมงค์ลมที่ระยะ 1.2 m..	60
ภาพที่ 74	กังหันลมที่ใช้ในการทดสอบ a) กังหันลมแนวแกนตั้ง b) กังหันลมแนวแกนนอน	60
ภาพที่ 75	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยของการทดลองในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	61
ภาพที่ 76	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของการทดลองในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง	61
ภาพที่ 77	ความเร็วลมที่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	62
ภาพที่ 78	ความเร็วลมที่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง.....	62
ภาพที่ 79	ทิศทางของลมของประเทศไทย	63
ภาพที่ 80	แรงดันไฟฟ้าที่ผลต่างอุณหภูมิที่ต่างกัน	64
ภาพที่ 81	ผลการทดสอบวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเป็นการเปรียบเทียบ ความแตกต่างอุณหภูมิ และแรงดันไฟฟ้า ในขณะที่ไม่มีโหลดและขณะที่มีโหลด	66
ภาพที่ 82	วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9 to 5 V.....	67
ภาพที่ 83	วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V.....	67
ภาพที่ 84	ไดอะแกรมการทดสอบวงจร	68
ภาพที่ 85	ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดัน อินพุต 1 V	68
ภาพที่ 86	ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดัน อินพุต 2 V	69
ภาพที่ 87	ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดัน อินพุต 3 V	69

ภาพที่ 88 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดันอินพุต 4 V	70
ภาพที่ 89 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดันอินพุต 5 V	70
ภาพที่ 90 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v ต่อกับ วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V แปลงเป็น 24 V กรณีแรงดันอินพุต 1 V.....	71
ภาพที่ 91 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v ต่อกับ วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V แปลงเป็น 24 V กรณีแรงดันอินพุต 2-24 V	72
ภาพที่ 92 ผลการทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานร่วม ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเทอร์โมอิเล็กทริก.....	73



สารบัญตารางผนวก

	หน้า
ตารางผนวกที่ 1 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.5 W	80
ตารางผนวกที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ระยะ 40 cm.....	82
ตารางผนวกที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ระยะ 80 cm.....	83
ตารางผนวกที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ระยะ 120 cm.....	84
ตารางผนวกที่ 5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ระยะ 40 cm	85
ตารางผนวกที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ระยะ 80 cm	86
ตารางผนวกที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ระยะ 120 cm.....	87
ตารางผนวกที่ 8 ผลการทดสอบการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก.....	88
ตารางผนวกที่ 9 ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 1 V	88
ตารางผนวกที่ 10 ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 2 V	89
ตารางผนวกที่ 11 ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 3 V	89
ตารางผนวกที่ 12 ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 4 V	90
ตารางผนวกที่ 13 ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 5 V	90
ตารางผนวกที่ 14 ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v ต่อกับ วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V แปลงเป็น 24 V กรณีแรงดันอินพุต 1 V.....	90
ตารางผนวกที่ 15 ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v ต่อกับ วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V แปลงเป็น 24 V กรณีแรงดันอินพุต 2-24 V	91
ตารางผนวกที่ 16 ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกกรณีรวมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	91

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่และการพัฒนาประเทศ พลังงานหลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) ซึ่งมีปริมาณที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง อาจส่งผลให้มีราคาสูงขึ้นเกิดวิกฤตพลังงานในอนาคต รวมถึงการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงจากฟอสซิลทำให้เกิดมลภาวะที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming) ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาที่ยั่งยืนจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานทดแทนมาเป็นแหล่งพลังงานในอนาคต เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อน เป็นต้น ต้น โดยประเทศไทย มีการคาดการณ์ความต้องการพลังงานและศักยภาพของพลังงานทดแทนไว้ เพื่อทำการพัฒนาการใช้พลังงานทดแทน และการอนุรักษ์พลังงานโดยกระทรวงพลังงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551) แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานทดแทนที่เพิ่มสูงขึ้น โดยที่พลังงานแสงอาทิตย์ และลม ได้รับความนิยมนและมีศักยภาพสูงกว่าพลังงานทดแทนประเภทอื่นๆ

ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์จึงมีการพัฒนาและมีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในชีวิตประจำวันสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีความสามารถในการทำงานและมีคุณภาพสูงสามารถพกพาได้สะดวกจึงต้องการเครื่องจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็กแต่ได้พลังงานสูง เพื่อใช้ควบคู่กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายที่นำมาใช้ในการเกษตรกรรม เช่น การตรวจวัดอุณหภูมิ การตรวจวัดความชื้นในดิน การตรวจวัดค่าระดับน้ำในแปลงปลูกข้าว การควบคุมการให้น้ำในระบบชลประทาน จึงต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ มีอายุการใช้งานที่คงทน ใช้พลังงานน้อย เช่น โทรศัพท์มือถือ ความพิวเตอร์แบบพกพา เครื่องตรวจจับสัญญาณแบบไร้สาย เครื่องมือตรวจวัดแบบพกพาหรืออุปกรณ์ตรวจวัด

แบตเตอรี่เป็นตัวเก็บสำรองและจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์หรือเครื่องมือเหล่านั้น แต่เนื่องจากแบตเตอรี่มีช่วงอายุและระยะเวลาการใช้งานจึงต้องมีการชาร์จประจุไฟฟ้า เพื่อให้สามารถใช้งานอุปกรณ์หรือเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ได้ตลอดเวลา แต่หากนำอุปกรณ์หรือเครื่องมือไปใช้งานในพื้นที่ห่างไกลก็ไม่สามารถที่จะชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ได้ ซึ่งต้องหาแหล่งจ่ายพลังงานมาใช้ อย่างเหมาะสม หลักการหนึ่งที่มีการศึกษาวิจัยในปัจจุบันคือการประยุกต์ใช้วัสดุบางชนิดเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานขนาดเล็กโดยเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าและนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้

ประโยชน์ ซึ่งเป็นการนำพลังงานในสิ่งแวดล้อมมาใช้ กระบวนการนำหรือเปลี่ยนแปลงพลังงานจากสิ่งแวดล้อมมาใช้ให้เกิดประโยชน์เรียกว่า การเก็บเกี่ยวพลังงาน (Energy Harvesting)

ตารางที่ 1 ศักยภาพของพลังงานทดแทนและเป้าหมายของประเทศไทยในอนาคต

ประเภทพลังงาน	ศักยภาพ	Existing	พ.ศ. 2551-2554		พ.ศ. 2555-2559		พ.ศ. 2560-2565	
	เมกะวัตต์	เมกะวัตต์	เมกะวัตต์	Ktoe	เมกะวัตต์	Ktoe	เมกะวัตต์	Ktoe
ไฟฟ้า								
แสงอาทิตย์	50,000	32	55	6	95	11	500	56
พลังงานลม	1,600	1	115	13	375	42	800	89
ไฟฟ้าพลังน้ำ	700	56	165	43	281	73	324	85
ชีวมวล	4,400	1,610	2,800	1463	3,220	1,682	3,700	1,933
ก๊าซชีวภาพ	190	46	60	27	90	40	120	54
พลังงานขยะ	400	5	78	35	130	58	160	72
ไฮโดรเจน			0	0	0	0	3.5	1
รวม		1,750	3,273	1,587	4,191	1,906	5,608	2,290
พลังงานความร้อน	Ktoe	Ktoe	Ktoe	Ktoe	Ktoe	Ktoe	Ktoe	Ktoe
แสงอาทิตย์	150	1		5		17.5		38
ชีวมวล	7,400	2,781		3,660		5,000		6,760
ก๊าซชีวมวล	600	224		470		540		600
พลังงานขยะ		1		15		24		35
รวม		3,007		4,150		5,582		7,433
เชื้อเพลิงชีวภาพ	ล้านลิตร/ วัน	ล้านลิตร/ วัน	ล้านลิตร/ วัน	Ktoe	ล้านลิตร/ วัน	Ktoe	ล้านลิตร/ วัน	Ktoe
เอทานอล	3.00	1.24	3.00	805	6.20	1,686	9.00	2,447
ไบโอดีเซล	4.20	1.56	3.00	950	3.64	1,145	4.50	1,415
ไฮโดรเจน				0	0	0	0.1 ล้าน กก.	124
รวม			6.00	1,755	9.84	2,831	13.50	3,986
ความต้องการใช้พลังงานรวม		66,248		70,300		81,500		97,300
(ktoe)								
ความต้องการใช้พลังงานหมุนเวียน		4,237		7,492		10,319		13,709
สัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียน		6.4%		10.6%		12.7%		14.1%
ก๊าซ NGV (mmscfd)		108	393	3,469	596	5,260	690	6,090
(ktoe)				10,961		15,579		19,799
สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน				15.6%		19.1%		20.3%

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2551)

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมโดยประยุกต์ใช้ เซลล์แสงอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริกและกักเก็บพลังงานขนาดจิ๋ว เพื่อสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้า นำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่และเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณข้อมูลแบบไร้สาย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กโดยใช้อุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริกและกักเก็บพลังงานขนาดจิ๋ว เป็นต้นกำลังเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม สำหรับใช้เป็นแหล่งจ่ายร่วมกับแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณข้อมูลแบบไร้สาย

ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานแบบไฮบริด เพื่อใช้ร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สำหรับเป็นแหล่งพลังงานให้กับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณข้อมูลแบบไร้สายกำลังต่ำไม่เกิน 1 วัตต์
2. อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เทอร์โม-อิเล็กทริกและกักเก็บพลังงานขนาดจิ๋ว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริกและกักเก็บพลังงานขนาดจิ๋ว
2. ทราบถึงสมรรถนะของระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริกและกักเก็บพลังงานขนาดจิ๋ว

บทที่ 2

ทฤษฎีและการตรวจเอกสาร

พลังงานลม (Wind Energy)

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่ไม่มีปัญหากับสิ่งแวดล้อม พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีประโยชน์ต่อพื้นที่ห่างไกลจากระบบสายส่งไฟฟ้าสามารถประหยัดพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ยังรักษาและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

พลังงานลมคือการเคลื่อนตัวของมวลอากาศมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ความกดของอากาศและจากแรงการหมุนของโลก โลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีของความ ร้อนมายังโลกไม่เท่ากันทุกบริเวณทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศ บริเวณใด ที่มีอุณหภูมิสูง ความกดอากาศจะต่ำ อากาศบริเวณนั้นจะลอยตัวขึ้นสูง ส่วนบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ความกดอากาศสูงจึงไหลเข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศทำให้เกิดกระแสลม จากการ เคลื่อนที่ของกระแสลมจะมีพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) เกิดขึ้น พลังงานจลน์เกิดจากลมในหนึ่ง หน่วยเวลา (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2546; นิพนธ์, 2547; ไกลวัลย์, 2551)

กำลังลม (Wind Power)

กำลังของลมคือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานจลน์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่ตก กระบดตั้งฉากบนหนึ่งหน่วยพื้นที่กับทิศทางไหลของอากาศต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นจึงสามารถ พิจารณากำลังลมได้จากสมการ (1)

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

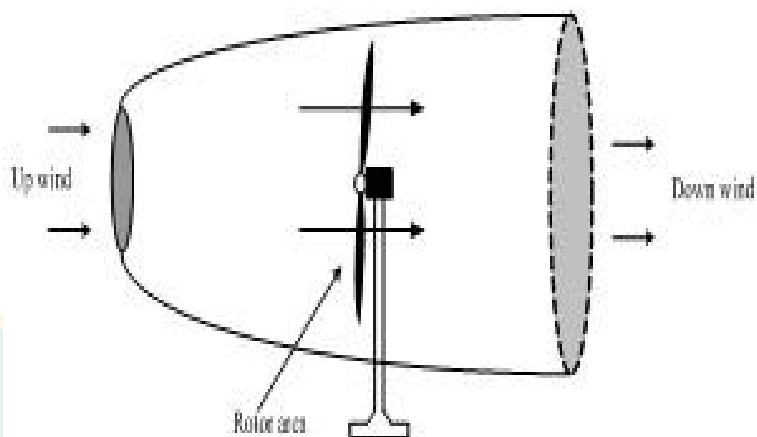
เมื่อ P_w คือ กำลังลม (w)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (มีค่าเท่ากับ 1.225 kg/m^3)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m^2)

V คือ ความเร็วลม (m/s)

ในทางปฏิบัติพลังงานลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานกล เพื่อขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เหนี่ยวนำ พลังงานลมไม่สามารถถ่ายเทให้กับใบพัดได้ทั้งหมด นั่นหมายความว่ามวลของอากาศที่ปะทะเข้ากับใบพัดจะต้องหยุดสนิทอยู่กับที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดของใบพัดทั้งหมด โดยสามารถอธิบายพลังงานทั้งหมดที่ใบพัดสามารถเปลี่ยนรูปได้จากพลังงานลมตามสมการ (2)



ภาพที่ 1 ความเร็วลมที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด

ที่มา: นิคม ผึ้งคำ (2551)

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

เมื่อ P_{wt} คือ กำลังของลม (w)

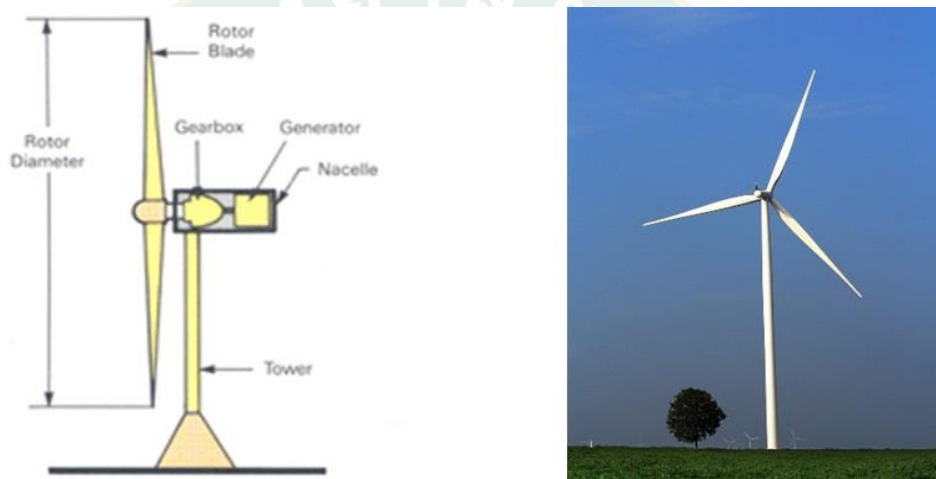
C_p คือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของใบพัด

A_R คือ พื้นที่กวาดใบพัด (m^2)

ชนิดของกังหันลม

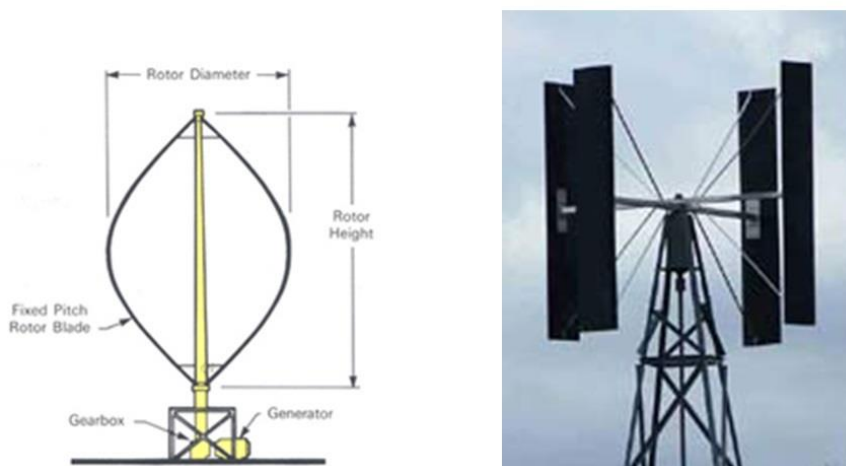
กังหันลมสามารถจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหันเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันที่มีแกนหมุนขนานทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลมเรียกว่าหางเสือและมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแกนแนวนอน ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ (Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน นิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำและกังหันลมแบบก้อจักรยาน



ภาพที่ 2 Horizontal Axis Wind Turbine

2. กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่แกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง กังหันลมแบบแกนตั้งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำมีข้อจำกัดในการขยายให้มีขนาดใหญ่



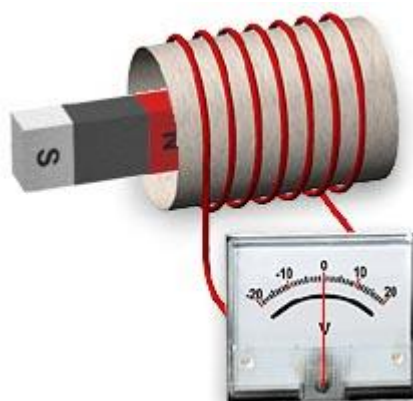
ภาพที่ 3 Vertical Axis Wind Turbine

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า หลักการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ การนำตัวนำไปตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือที่เรียกว่า ไดนาโม (Dynamo) ขดลวดทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟฟ้าเรียกว่า อาร์เมเจอร์ (Armature) อาร์เมเจอร์จะหมุนภายในสนามแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) ของแม่เหล็ก กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตของอาร์เมเจอร์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) และแปรงถ่าน (Brush) จากกฎของฟาราเดย์ ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก จะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นดังสมการ (3)

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \quad (3)$$

- เมื่อ e คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)
 N คือ จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)
 ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก (Wb)
 t คือ เวลา (S)



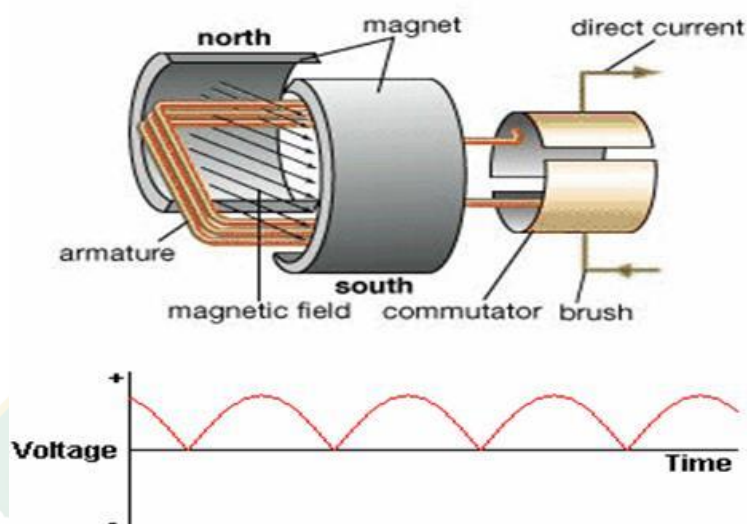
ภาพที่ 4 อธิบายกฎของฟาราเดย์

อธิบายตามกฎมือขวาของเฟลมมิง เมื่อตัวนำเคลื่อนที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นและเกิดกระแสไหลในตัวนำนั้นในทิศทางตั้งฉากดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กฎมือขวาของเฟลมมิง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (Dynamo)



ภาพที่ 6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นโดยการปรับเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดโดยทั่วไปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. โรเตอร์ (Rotor) จะมีขดลวดตัวนำฝังอยู่ในร่องรอบแกนโรเตอร์
2. สเตเตอร์ (Stator) ภายในร่องแกนสเตเตอร์มีขดลวด ซึ่งทำจากแผ่นเหล็กอัดแน่น

เช่นเดียวกับโรเตอร์ที่ฝังอยู่ อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กผ่านตัวนำ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าที่สเตเตอร์



ภาพที่ 7 โรเตอร์และสเตเตอร์

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระทำได้โดยการปรับความเข้มของสนามแม่เหล็กโรเตอร์ ด้วยการปรับกระแสไฟฟ้าตรงที่ป้อนให้กับโรเตอร์ ส่วนความถี่ของไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่างคือ ความเร็วรอบที่มอเตอร์หมุนและจำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นบนโรเตอร์ อธิบายได้จากสมการ (4)

$$n = \frac{120f}{p} \quad (4)$$

เมื่อ n คือ จำนวนรอบในการหมุนต่อนาที

f คือ ความถี่ไฟฟ้า (Hz)

p คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก

เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

เทอร์โมอิเล็กทริก คือ วัสดุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยใช้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของจุดสองจุด โดยอิเล็กตรอนจะเดินทางจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าบนวัสดุทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าและความต่างศักย์ ซึ่งสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาใช้ประโยชน์ได้

หลักการเทอร์โมอิเล็กทริก (นฤชิต, 2553) ประกอบด้วย 2 ปรากฏการณ์ คือ

1. ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) ถูกค้นพบโดย Thomas Seebeck เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในวัสดุที่สามารถสร้างความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นจากความแตกต่างของอุณหภูมิในวัสดุได้ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ตามสมการ (5)

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (5)$$

เมื่อ S คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

V คือ ค่าศักย์ไฟฟ้า

T คือ ค่าอุณหภูมิ

ΔV คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

ΔT คือ ค่าความต่างศักย์อุณหภูมิ

2. ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) ถูกค้นพบโดย Jean Peltier เป็นปรากฏการณ์ที่มีค่าเป็นสัดส่วนระหว่างความร้อนที่เกิดขึ้นในวัสดุกับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปให้วัสดุ สามารถอธิบายความสัมพันธ์ตามสมการ (6)

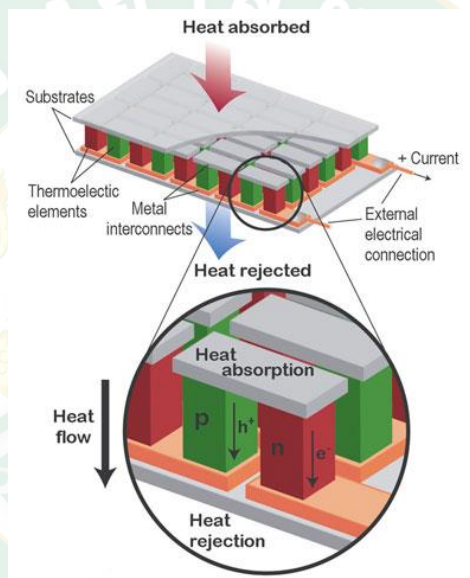
$$Q = \Pi I \quad (6)$$

เมื่อ Q คือ ค่าความร้อน

Π คือ ค่าสัมประสิทธิ์เพลเทียร์

I คือ ค่ากระแสไฟฟ้า

วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถประยุกต์เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าผ่านปรากฏการณ์ซีเบค เรียกว่า Thermoelectric Generator : TEG ส่วนปรากฏการณ์เพลเทียร์นั้นประยุกต์เป็นตัวทำความเย็น เรียกว่า Thermoelectric Cooler : TEC จากรายงานของ Snyder ได้อธิบายการสร้างโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกว่า ประกอบขึ้นจากเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกหลายเซลล์ โดยโมดูลจะถูกประกอบขึ้นจากเซลล์ชนิด N-Type และ P-Type อย่างละ 1 เซลล์ เชื่อมต่อระหว่างทั้ง 2 เซลล์ ด้วยแผ่นตัวนำบางและประกบด้านบนและล่างด้วยแผ่นเซรามิก เพื่อเป็นตัวดูดซับหรือคายความร้อนให้ไหลผ่านอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ในการประยุกต์ใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริก เช่น เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนในท่อไอเสียรถยนต์ ตู้เย็นขนาดเล็กแบบพกพาเคลื่อนที่ได้ เป็นต้น



ภาพที่ 8 Thermoelectric Generator

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)

พลังงานแสงอาทิตย์ คือ พลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ของดวงอาทิตย์ แล้วส่งกระจายพลังงานมายังโลกในรูปของความร้อนและแสง พลังงานที่ได้เป็นพลังงานที่สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานอื่น ๆ ได้ เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานจากมหาสมุทร รวมถึงพลังงานจากฟอสซิล (Fossil) ซึ่งพลังงานเหล่านี้เกิดจากสัตว์และพืช ซึ่งเมื่อได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์จะทำการสร้างเซลล์เนื้อเยื่อผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photo Synthesis) พลังงานในรูปของพลังงานแสงอาทิตย์มีประโยชน์ต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช (จิระศักดิ์, 2557)

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานสะอาดที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด มีศักยภาพในการนำมาใช้ได้สะดวกรวดเร็ว ประเทศไทยมีค่ารังสีเฉลี่ยเท่ากับ 18 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อ day จึงมีการพัฒนาศึกษาวิจัยในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (นิคม, 2551)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ที่สามารถแปลงพลังงานแล้วให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อมีแสงมาตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (อิเล็กตรอน) ประจุบวก (โฮล) ซึ่งอยู่ภายในโครงสร้างรอยต่อ พี-เอ็น จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรง เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งกลุ่มตามเทคโนโลยีการผลิตได้ 3 กลุ่มดังภาพที่ 9



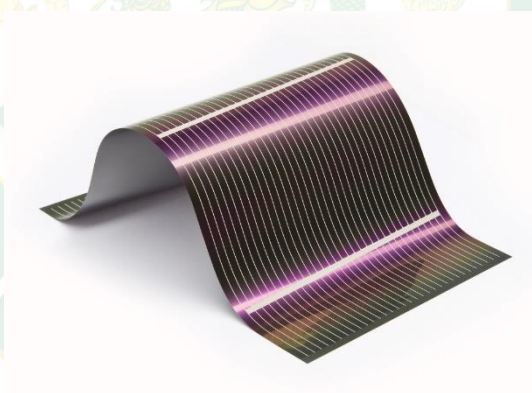
ภาพที่ 9 ไดอะแกรมเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cell) เป็นยุคแรกของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำตั้งต้นมีหลายชนิด ได้แก่ ซิลิกอน (Si) แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาจากซิลิกอนมีการผลิตและใช้งานมากที่สุด โดยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกได้รับการยอมรับและผลิตในเชิงพาณิชย์ มีประสิทธิภาพสูงแต่ต้นทุนการผลิตก็สูงตามไปด้วย



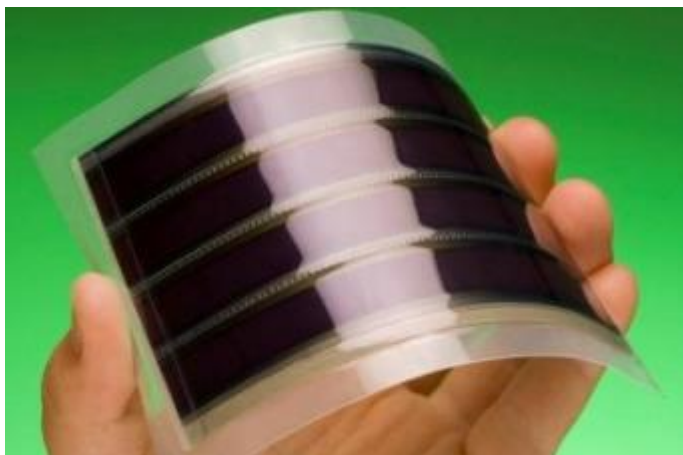
ภาพที่ 10 Crystalline Solar Cell

2. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell) เป็นยุคที่สองของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ ทำมาจากสารประกอบกึ่งตัวนำแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) คอปเปอร์อินเดียมแกลเลียมไดซัลไฟด์ (CIGS) มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงที่สูงและสามารถผลิตเป็นฟิล์มบางได้ข้อดีคือ ต้นทุนการผลิตมีราคาถูกกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก



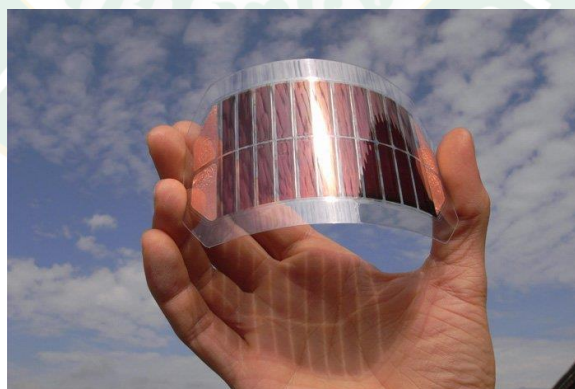
ภาพที่ 11 Thin Film Solar Cell

3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-Sensitized Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงถูกวิจัยและพัฒนาขึ้นในช่วงปี ค.ศ.1991 โดย Prof. Dr. Michael Gratzel โดยมีหลักการการทำงานจะคล้ายกับกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช มีประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 11.18% มีข้อดีคือมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ สารกึ่งตัวนำที่ใช้เป็นสารประกอบโลหะออกไซด์ ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและมีเสถียรภาพสูง



ภาพที่ 12 Dye-Sensitized Solar Cell

4. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์ (Organic Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์ (OPV) หรือบางครั้งเรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอลิเมอร์ (Polymer Solar Cell) หรือเซลล์แสงอาทิตย์แบบพลาสติก (Plastic Solar Cell) เป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดใหม่ที่ใช้วัสดุกึ่งตัวนำแบบสารอินทรีย์มาเป็นส่วนประกอบในการดูดกลืนแสงและส่งผ่านประจุ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีจุดเด่นในเรื่องการผลิตที่ง่าย ราคาสูง สามารถนำไปใช้ในงานที่มีความโค้งงอได้



ภาพที่ 13 Organic Solar Cell

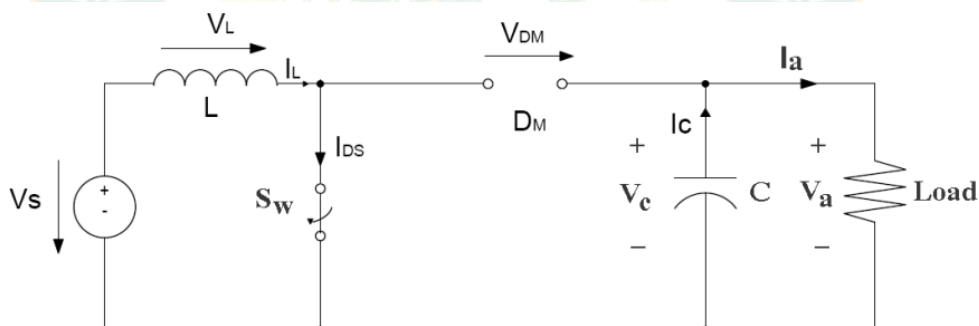
ทฤษฎีบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

หลักการทำงานของบูสคอนเวอร์เตอร์ คือการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้สูงขึ้นโดยมีแรงดันไฟฟ้าขาออก (Output voltage) จะสูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input voltage) ส่วนประกอบที่สำคัญของบูสคอนเวอร์เตอร์มีดังนี้

1. บูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)
2. ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)
3. วงจรสร้างสัญญาณ (Pulse Width Modulation)

วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter Circuit) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับการแปลงแรงดันไฟฟ้าขาออก (Output voltage) ให้มีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า (Input voltage) ที่ป้อนเข้าสู่วงจรหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจรทบระดับ (Step-up Converter) วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์จะประกอบจากอุปกรณ์มอสเฟตกำลัง (MOSFET) หรือไอจีบีที (IGBT)

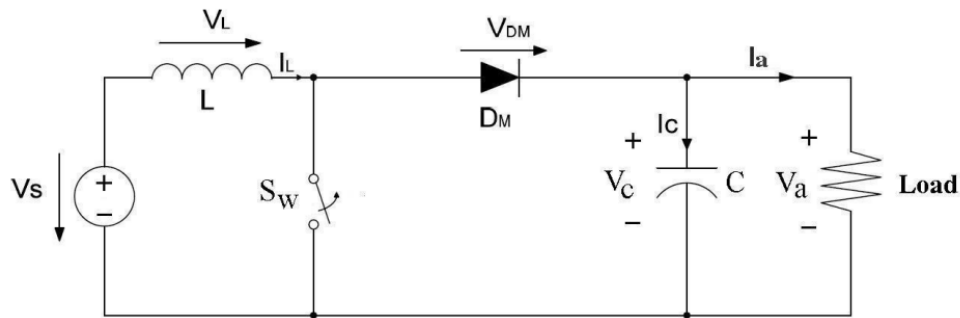
โหมดสวิตช์เปิด (Mode Switch On)



ภาพที่ 14 วงจรสมมูลของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์เปิด

ภาพที่ 14 ได้นำเสนอวงจรการทำงานของบูสคอนเวอร์เตอร์ในสถานะสวิตช์เปิด (Switch On) พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_s) จะจ่ายให้ไปสะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำในระยะเวลาหนึ่งในช่วงเวลาที่สวิตช์เปิด (Switch On) อยู่โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย (V_s) ตามกฎแรงดันของเคอร์ชอฟ

โหมดสวิตช์ปิด (Mode Switch Off)



ภาพที่ 15 วงจรสมมูลของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์ปิด

การทำงานในโหมด (Mode) นี้ซึ่งแสดงในภาพที่ 15 พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_s) และพลังงานไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำ จะถูกส่งมาให้ยังโหลดโดยพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากตัวเหนี่ยวนำเกิดจากการคายพลังงานไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำ หลังจากที่ได้สะสมพลังงานไว้ในช่วงเวลาที่ทำงานในโหมดสวิตช์เปิด (Mode Switch On) และจากการที่โหลดได้รับพลังงานไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย และการคายพลังงานของตัวเหนี่ยวนำนี้เองส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (Output) มีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (Input) จากการทำงานของวงจรทั้ง 2 โหมดนี้ทำให้เห็นได้ชัดว่าวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) จะมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะมีบางส่วนที่สวิตช์ไม่ได้ทำงานก็ตามและจากความสัมพันธ์ของการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ทั้ง 2 โหมดนี้เราสามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกได้จากสมการที่ 7

$$V_a = \frac{V_s}{1-D} \quad (7)$$

โดยที่

- V_s = แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Dc)
- D = ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle)
- V_a = แรงดันเอาต์พุต (Output)

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ทำได้โดยสมมติการสูญเสียภายในวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้ดังต่อไปนี้

$$P_s = P_o \frac{V_o^2}{R} \quad (8)$$

$$P_s = V_s L_s = V_s I_L \quad (9)$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (10)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดหาได้จากค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในช่วงที่สวิตช์นำกระแส

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \frac{V_s D T}{L} \quad (11)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \frac{V_s D T}{L} \quad (12)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวกดังนั้นจะหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่ทำให้วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำแบบต่อเนื่อง

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \frac{V_s D T}{L} = 0 \quad (13)$$

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (14)$$

โดยที่

$\Delta i_{L(on)}$ = ช่วงการนำกระแส

$I_{L,max}$ = กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุด

$I_{L,min}$ = กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด

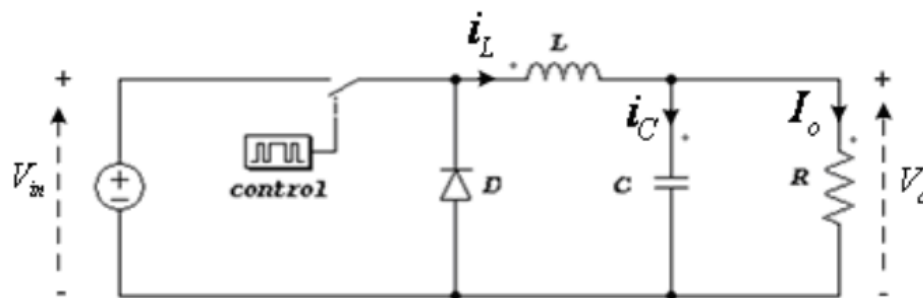
T = คาบเวลาคงที่

P_s = กำลังสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

I_L = ค่าเฉลี่ยของกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

ทฤษฎีบักคอนเวอร์เตอร์
วงจรทอนระดับแรงดันไฟตรง (Buck Converter)

บักคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรทอนระดับให้แรงดันไฟตรงขาออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟตรงขาเข้า และนิยมใช้วงจร LC Low pass filter ทางด้านขาออกเพื่อให้แรงดันขาออกมีความเรียบสูงและมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ผูกผันกับค่ากำลังสองของความถี่ดังแสดงในภาพที่ 16

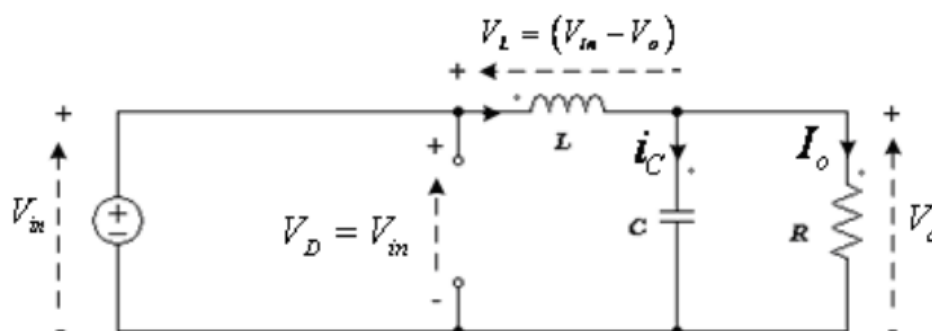


ภาพที่ 16 โครงสร้างวงจร Buck Converter

หลักการทำงาน

การทำงานของบักคอนเวอร์เตอร์แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือขณะสวิตช์นำกระแส และขณะสวิตช์หยุดนำกระแส

ขณะสวิตช์นำกระแส

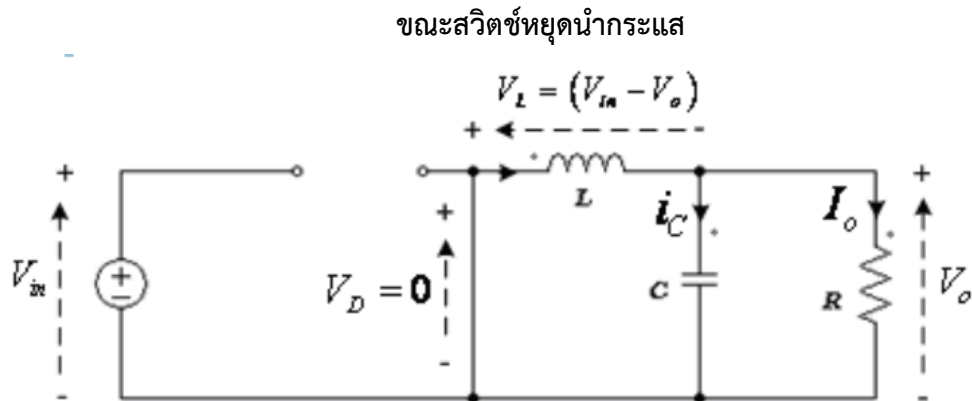


ภาพที่ 17 วงจรสมมูลของ Buck Converter ขณะสวิตช์นำกระแส

กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายผ่านสวิตช์ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด โดยที่กระแสส่วนหนึ่งจะไหลผ่านตัวเก็บประจุซึ่งจะได้สมการที่สำคัญดังต่อไปนี้

$$v_L = V_{in} - V_0 \quad (15)$$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_{in} - V_0}{L} \right) DT \quad (16)$$



ภาพที่ 18 วงจรสมมูลของ Buck Converter ขณะสวิตช์หยุดนำกระแส

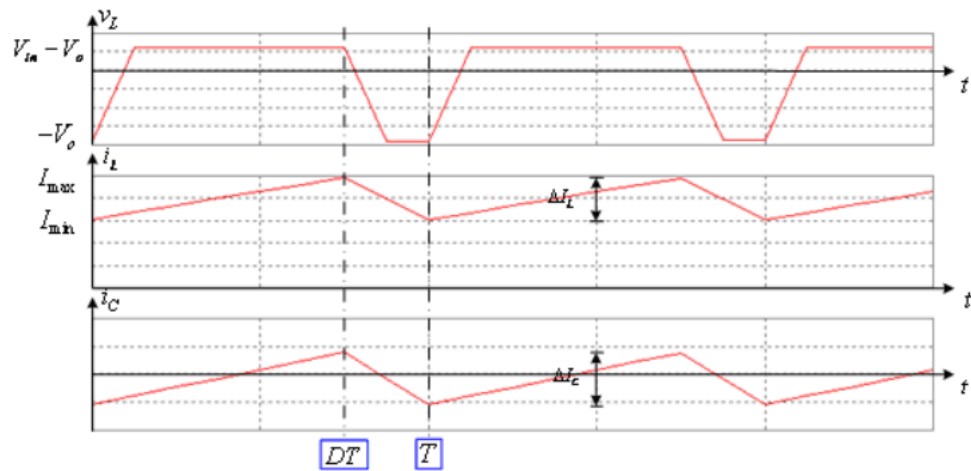
เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสไดโอดจะได้รับ Forward bias กระแสด้านขาออกสามารถไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้อย่างต่อเนื่องซึ่งจะได้สมการที่สำคัญดังนี้

$$v_L = -V_0 \quad (17)$$

$$\Delta i_{L,off} = \frac{-V_0}{L} (1 - D)T \quad (18)$$

เนื่องจากในขณะสภาวะคงตัวการเปลี่ยนแปลงของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส และขณะสวิตช์หยุดนำกระแส จะสมดุลกัน ($\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0$) ซึ่งทำให้ได้สมการอัตราขยายแรงดันของวงจรดังนี้

$$\frac{V_0}{V_s} = 0 \quad (19)$$



ภาพที่ 19 รูปคลื่น v_L , i_L และ i_C ช่วงเวลาสถานะอยู่ตัวในวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

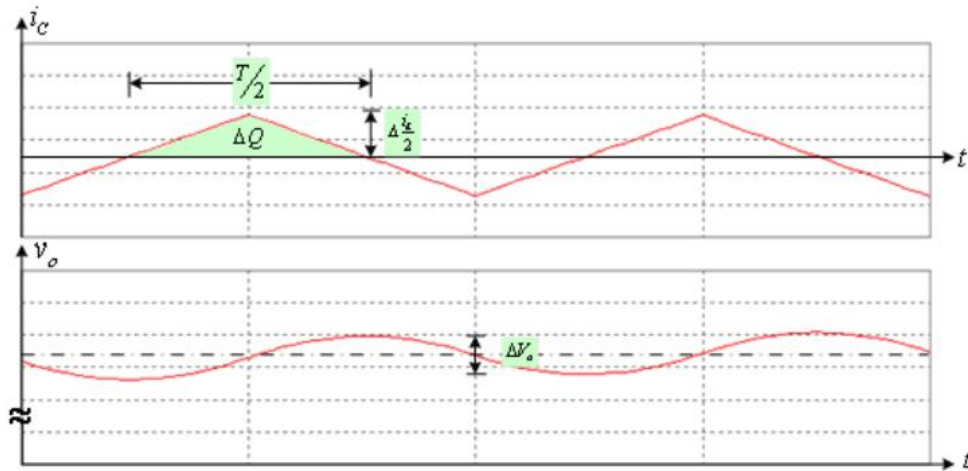
จากภาพที่ 19 รูปคลื่นของกระแสขาออก (i_o) ซึ่งแปรผันตาม i_L สามารถคำนวณได้จากการกระเพื่อมของกระแส i_L ดังสมการที่ (20) และ (21)

$$I_{L,max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left\{ \frac{V_o}{L} (1 - D) T \right\} \quad (20)$$

$$I_{L,min} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left\{ \frac{V_o}{L} (1 - D) T \right\} \quad (21)$$

ค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด (L_{min}) ของวงจร Buck Converter สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (21) ที่กรณี $i_{L,min} = 0$ ซึ่งทำให้คำนวณหาค่า L_{min} ได้จากสมการที่ (22)

$$L_{min} \left\{ \frac{(1-D)R}{2f} \right\} \quad (22)$$



ภาพที่ 20 รูปคลื่นกระแส i_c และแรงดัน v_o ในวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์

เช่นเดียวกันระลอกคลื่นแรงดันขาออกจะสัมพันธ์กับระลอกคลื่นกระแสที่ผ่านตัวเก็บประจุ ดังแสดงในภาพที่ 20 ซึ่งขนาดของตัวเก็บประจุสามารถคำนวณหาค่าได้ดังนี้

เนื่องจาก
$$\Delta Q = C \cdot \Delta V_0 \text{ และ } \Delta Q = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T \cdot \Delta i_L}{8} \quad (23)$$

ทำให้
$$\Delta V_0 = \frac{T \cdot \Delta i_L}{8C}$$

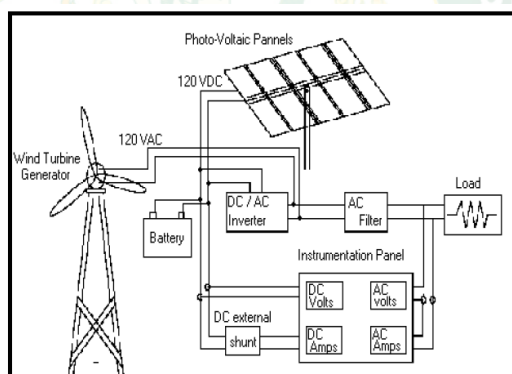
ดังนั้น
$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{(1-D)}{8LC \cdot f^2} \text{ หรือ } C = \frac{(1-D)}{8 \left(\frac{\Delta V_0}{V_0} \right) \cdot L \cdot f^2} \quad (24)$$

เมื่อ $\Delta V_0/V_0$ เป็นอัตรากระเพื่อมแรงดันขาออกที่ยอมรับได้
 F เป็นค่าถี่สวิตชิงของสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจร [Hz.] ($f=1/T$)

อย่างไรก็ตามค่า L และ C ที่จะใช้จริงในวงจร ควรมีค่าสูงกว่าค่าที่คำนวณได้ โดยเฉพาะ L ที่ จะใช้ควรมีค่าสูงกว่า L_{\min} มากกว่า 10 เท่าโดยประมาณ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Subrahmanyam et al. (2012) ทำการพัฒนาาระบบ Hybrid Solar-Wind System ซึ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ผสมผสานเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเข้าด้วยกัน โดยทั้งสองระบบต่อขนานเข้ากับระบบสายส่งขนาด 120 VAC ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แรงดัน 12 V และถูกปรับให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ด้วย DC/AC inverter ที่ให้กระแสขาออกแบบ 1 เฟสขนาด 120 VAC และระบบกังหันผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานลมเป็นแบบถูกติดตั้งบนเสาที่มีความสูงจะพื้น 18.3 เมตร ส่วนใบพัดของกังหันถูกสร้างจากคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีความทนทานสูงและมีน้ำหนักเบา แกนของกังหันถูกต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (Regulator) และอุปกรณ์ควบคุมรอบการทำงานโดยจะตัด-ต่อระบบเมื่อใบพัดเกิดการหมุนเร็วเกินพิกัดที่ปลอดภัยต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานของงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 21

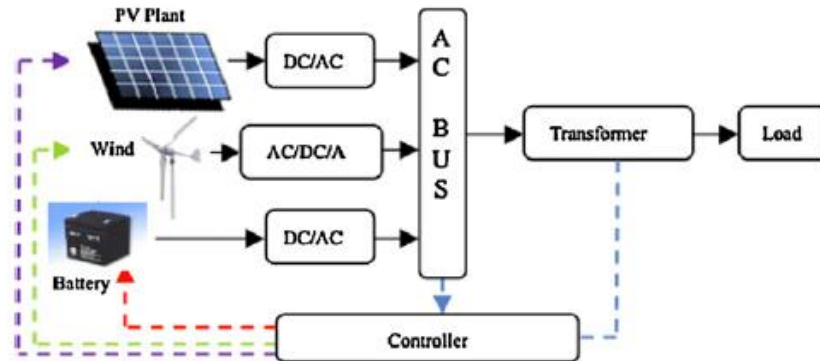


ภาพที่ 21 ระบบ Hybrid Solar-Wind System

ที่มา: Subrahmanyam et al. (2012)

Fadaee and Radzi (2012) ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน (Hybrid Renewable Energy System: HRES) แบบ Stand Alone โดยแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งานของระบบ ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้แหล่งพลังงานทดแทนหลัก ๆ 3 ประเภท คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าและเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงทดแทน สามารถสรุปได้ดังนี้

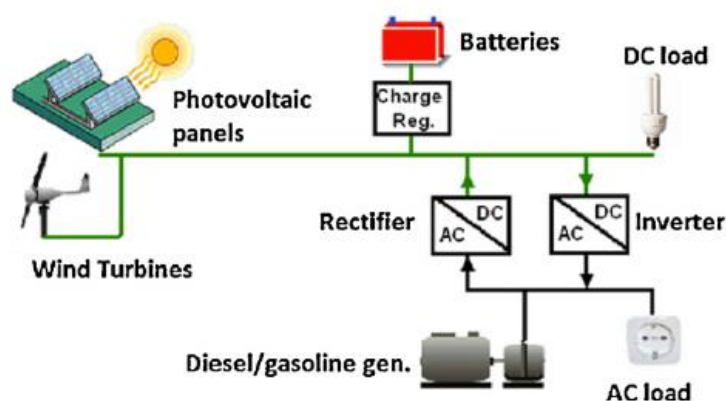
การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า



ภาพที่ 22 แผนผังการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า

ที่มา: Fadaee and Radzi (2012)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ผสมผสานเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเข้าด้วยกันโดยทั้งสองระบบจะถูกแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ต่อเข้ากับระบบ AC BUS เพื่อส่งต่อเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าและจ่ายให้โหลด (load) ระบบนี้จะติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าโดยรับสัญญาณจากหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อตัดต่อการจ่ายไฟฟ้าหรือสั่งการชาร์จแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดกับอุปกรณ์ในกรณี Over Load การใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้าและเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงทดแทน



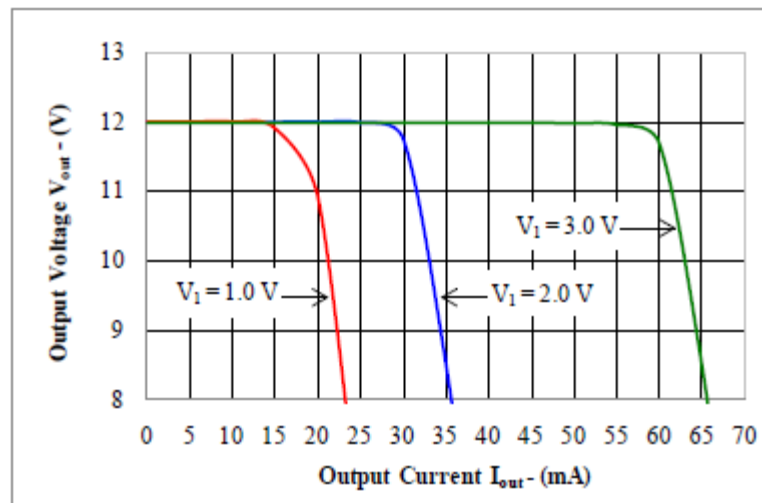
ภาพที่ 23 แผนผังการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับกังหันลมผลิตกระแสไฟฟ้า และเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงทดแทน

ที่มา: Fadaee and Radzi (2012)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ผสมผสานเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล เชื้อเพลิงทดแทนเข้าด้วยกันโดยระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมจะผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง หากกำลังการผลิตเกินความต้องการของภาระไฟฟ้ากระแสตรง (DC load) กระแสที่ผลิตได้จะชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่หรือแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อจ่ายให้กับภาระไฟฟ้ากระแสสลับแทน (AC load) ในขณะเดียวกันเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงทดแทนจะทำงานควบคู่กันไปหรือทำงานเมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง โดยไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์ดีเซลเชื้อเพลิงทดแทนจะเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ หากกำลังการผลิตจากเครื่องยนต์เกินความต้องการของภาระไฟฟ้ากระแสสลับ กระแสที่ผลิตได้จะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อชาร์จแบตเตอรี่หรือจ่ายให้กับภาระไฟฟ้ากระแสตรงแทน

นฤชิต และคณะ (2553) ได้เสนอการใช้เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์บนพื้นฐานของปรากฏการณ์ซีเบคโดยใช้พลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งในกระบวนการผลิต เช่น ความร้อนจากท่อไอน้ำจากระบบทำความร้อนหรือเย็นหรือแผงระบายความร้อนของเครื่องยนต์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายให้กับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย นอกเหนือจากการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ภายในตัวอุปกรณ์แต่เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และยังใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองกรณีทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ โดยไม่ต้องปิดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ มีรายละเอียดของระบบดังนี้

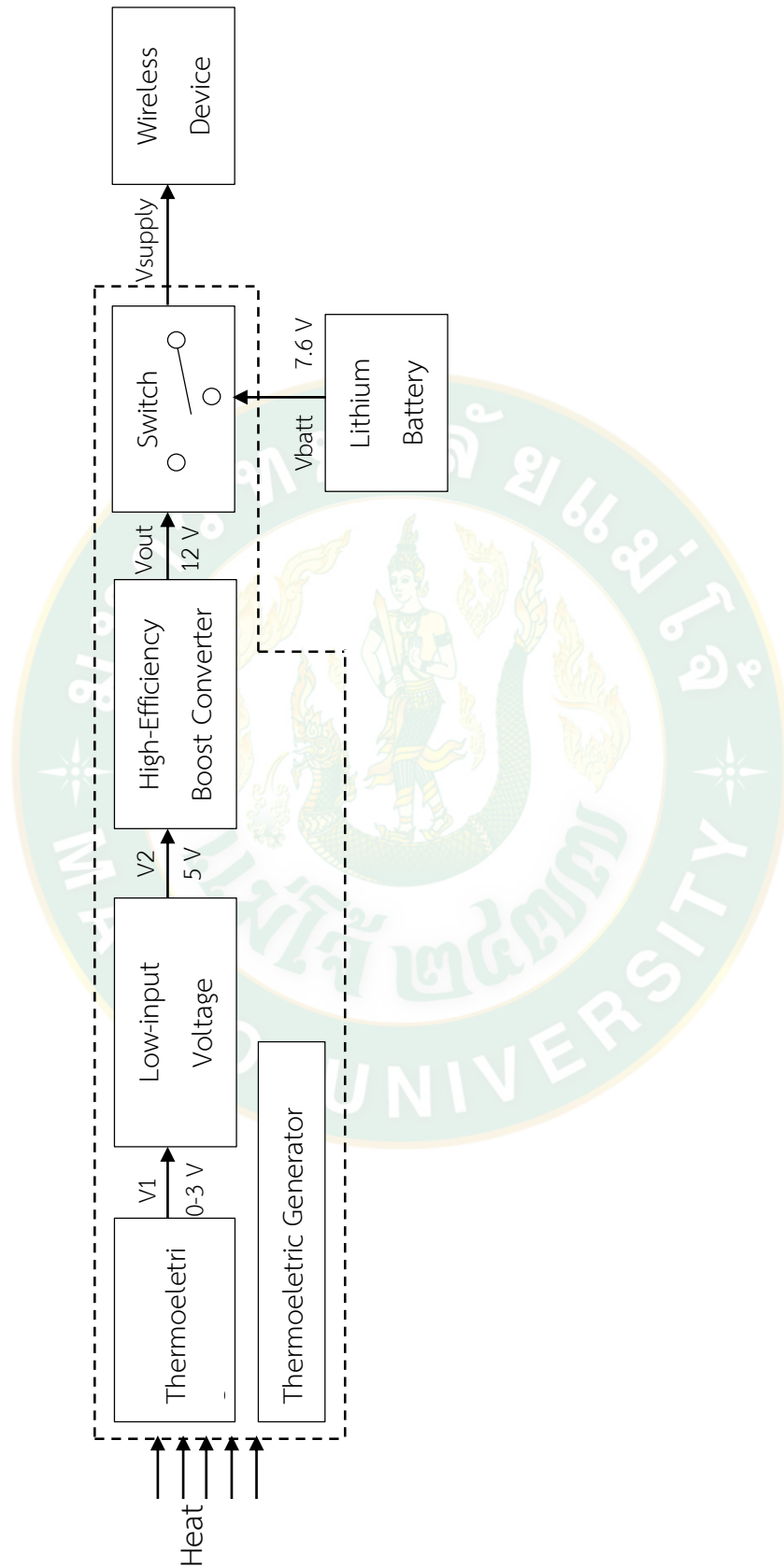
1. เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) จะทำการแปลงความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าให้ได้แรงดัน V_1 ช่วง 0-3 V
2. วงจร Low-Input Voltage Boost Converter จะทำการเพิ่มแรงดันจนได้แรงดัน V_2 มีค่า 5 V
3. เนื่องจากแรงดัน V_2 ยังมีค่าต่ำเกินไปที่จะนำไปใช้งานจึงต้องมีการเพิ่มแรงดันโดยวงจร High-Efficiency Boost Converter เพื่อให้ได้แรงดัน V_{out} ที่ 12 V
4. Switch เลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติจากแหล่งจ่ายจาก Thermoelectric Generator หรือจาก Battery เพื่อจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Wireless Device)



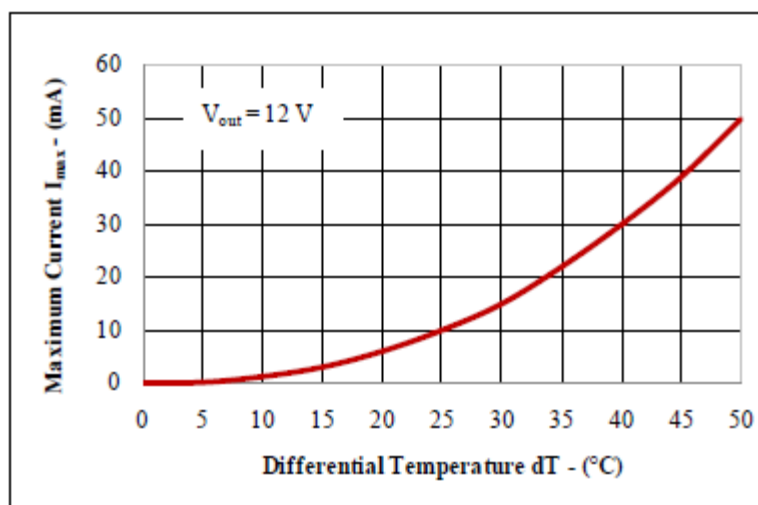
ภาพที่ 24 ผลการทดสอบกำลังทางเอาต์พุตของวงจร

ที่มา: นฤชิต และคณะ (2553)

การทดสอบทางด้านเอาต์พุต โดยการป้อนค่าแรงดัน V_1 ที่แตกต่างกันจำนวน 3 ค่าคือ $V_1 = 1$ V $V_2 = 2$ V และ $V_3 = 3$ V จากนั้นทำการปรับเพิ่มกำลังโหลดทางด้านเอาต์พุตให้มากขึ้นจนทำให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง เพื่อตรวจสอบผลการรักษาค่าระดับแรงดันให้คงที่ สรุปได้ว่าค่ากระแส I_{out} จะแปรผันตามค่าแรงดันอินพุตที่ได้รับ นั่นคือค่า I_{out} จะมีค่าสูงขึ้นตามแรงดันเอาต์พุต V_1



ภาพที่ 25 โดอะแกรมเทอร์โมอิเล็กทริกเจนเนอเรเตอร์สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณไร้สาย

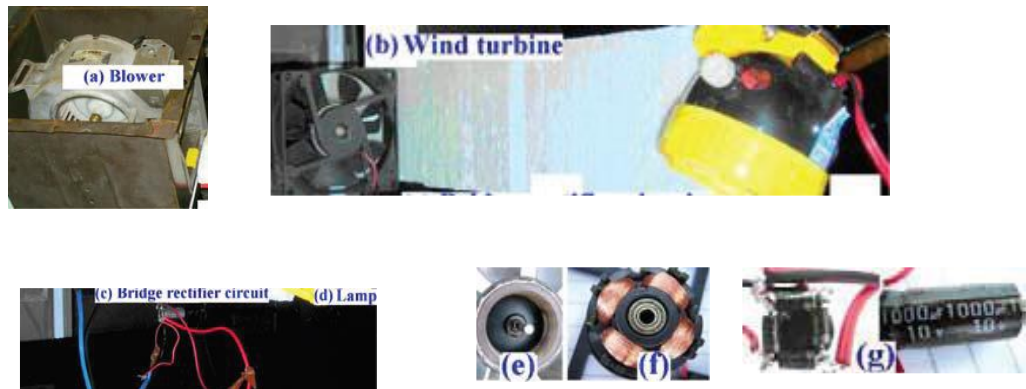


ภาพที่ 26 ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์

ที่มา: นฤชิต และคณะ (2553)

ผลการทดสอบการต่อเทอร์โมอิเล็กทริก ร่วมกับวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก จำนวน 4 แผ่น แต่ละแผ่นมีขนาด 50x50 mm ต่ออนุกรมแล้วป้อนความร้อนให้เกิดผลต่างอุณหภูมิ 0-50 °C เปรียบเทียบระหว่างผลต่างอุณหภูมิ dT และค่ากระแส I_{max} จะเห็นได้ว่าค่า I_{max} เปลี่ยนแปลงตามผลต่าง dT และวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์จะเริ่มทำงานและจ่ายกระแสได้ตั้งแต่ผลต่าง อุณหภูมิ 8 °C

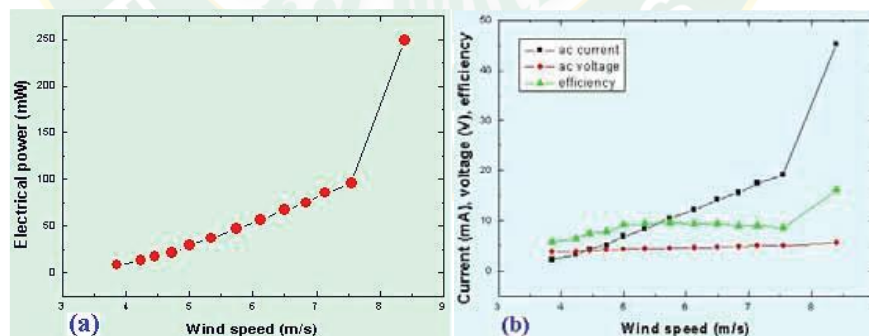
Jugsujinda et al. (2012) ได้ทำการวิจัยโดยการสร้างแบบจำลองกังหันลมผลิตไฟฟ้าและ ศึกษาหลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยใช้ใบพัดของโบลเวอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 12 cm ความเร็ว 2,880 RPM เป็นต้นกำเนิดลมเป่าไปยังกังหันลมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซ้ดัดแปลง จากมอเตอร์พัดลมระบายอากาศของ CPU มอเตอร์ประกอบด้วยแม่เหล็กทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm ความเข้มสนามแม่เหล็ก 70 mT ใบพัดลม 7 ใบ เส้นผ่านศูนย์กลางทั้งหมด 74 mm ล้อมติดกับแกนกลางของกังหันลมหมุนติดกับขดลวดทองแดงเบอร์ 40 จำนวน 550 รอบ พบว่า เนื่องจากกังหันลมห่างจากต้นกำเนิดของลมประมาณ 8 cm อัตราความเร็วของลม 7.14 m/s ทำให้ กังหันลมหมุน 855 RPM และแม่เหล็กหมุนรอบขดลวดทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 4.9 V และ กระแส 17.52 mA จากนั้นวงจรเรียงกระแสจะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง 3.60 V และกระแส 14.90 mA



ภาพที่ 27 ส่วนประกอบของกังหันลม (a) โบลเวอร์ (b,e,f) กังหันลม และเจนเนอเรเตอร์ (c,g) วงจรเรียงกระแส (d) หลอดไฟ

ที่มา: ธงชัย และ ชัชชัย (2556)

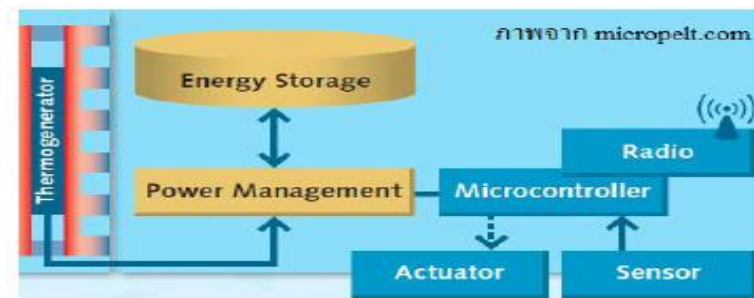
ผลการวิจัยเมื่อวางกังหันลมที่ระยะห่าง 0 cm จากเครื่องเป่าลมมีอัตราความเร็วลม 8.40 m/s ทำให้กังหันลมหมุน 906.76 RPM เมื่อเลื่อนกังหันลมออกไป 4 cm จากเครื่องเป่าลม วัดอัตราความเร็วลมได้ 7.55 m/s กังหันลมจะหมุน 871.46 RPM เมื่อนำความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าที่วัดออกมาเขียนเป็นกราฟได้ตามภาพที่ 28 จะได้ว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง นั่นคือไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วลม



ภาพที่ 28 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าจากกังหันลม
(b) ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับและประสิทธิภาพของกังหันลม

ที่มา: Jugsujinda et al. (2012)

ธงชัย และ ชัชชัย (2556) ได้ทำการวิจัยเพียโซอิเล็กทริกในระบบเก็บเกี่ยวพลังงานสำหรับเซนเซอร์ไร้สายโดยทำการออกแบบทดสอบพัฒนาอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวมาผ่านวงจรจัดการพลังงานเพื่อนำไปจ่ายให้กับตัวเซนเซอร์ไร้สายหรือชาร์จให้กับแบตเตอรี่



ภาพที่ 29 ระบบที่มีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากความร้อน

ที่มา: ธงชัย และ ชัชชัย (2556)

การใช้พลังงานของเซนเซอร์ไร้สายสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (7)

$$I_{avg} = \sum \left(\frac{T_i}{P_i} \times I \right) + \left(1 - \sum \left(\frac{T_i}{P_i} \right) \right) \times I_{sleep} \quad (7)$$

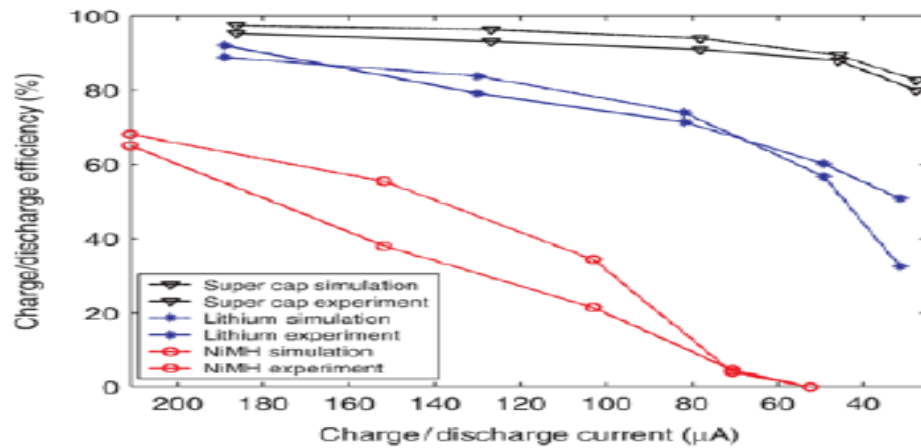
เมื่อ T_i คือ เวลาที่อุปกรณ์บริโภคกระแสเฉลี่ย I_i

P_i คือ รอบเวลาทั้งหมดสำหรับการวัดการบริโภค

I_{sleep} คือ กระแสที่บริโภคขณะ Sleep Mode

I_{avg} คือ การบริโภคเฉลี่ยในรอบ P_i

เมื่อพิจารณาถึง Characteristics of Energy Storage Devices พบว่า Supercapacitor มีประสิทธิภาพดีที่สุดในแง่ความจุพลังงานเทียบกับขนาดต่ำมาก รองลงมาคือ Lithium ion (Li-ion) และ Nickel Metal Hydride (NiMH) หากพิจารณาในแง่ประสิทธิภาพและความจุพลังงานต่อขนาดแล้ว Li-ion เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 30 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์

ที่มา: ธงชัย และ ชัชชัย (2556)

Tabassum et al. (2015) ได้นำเสนอการออกแบบและวิเคราะห์ชนิดใบพัดกังหันลมขนาดจิ๋วความแตกต่างของกังหันลมแกนตั้ง จำนวนใบพัดและความเร็วในการหมุนแยกเป็น 3 แบบ

แบบที่ 1 ใบพัดจำนวน 2 ใบ ทำด้วยแผ่นอลูมิเนียมบิดเป็นเกลียวทำมุม 180 องศา รอบแกนหมุน

แบบที่ 2 ใบพัดจำนวน 2 ใบ ทำด้วยพลาสติกเป็นรูปตัวเอส ใบพัดด้านบนทำมุม 90 องศา กับใบล่าง

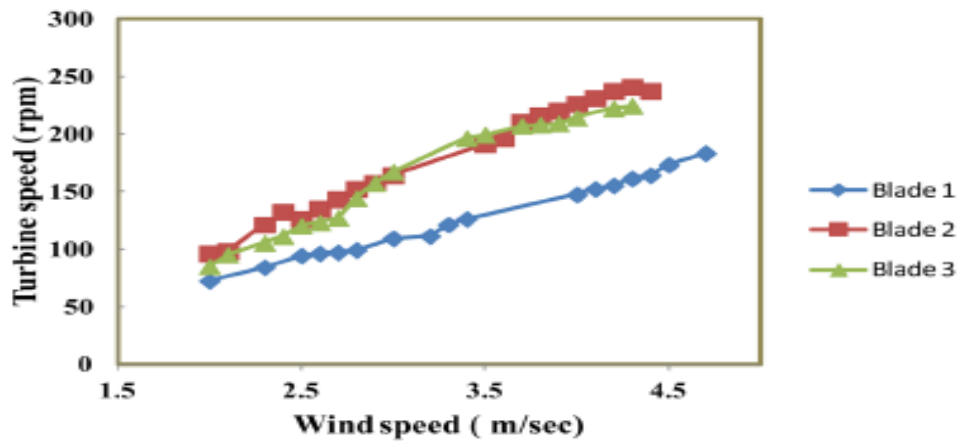
แบบที่ 3 ใบพัดจำนวน 3 ใบ ทำด้วย Galvanized Iron Sheets ใบพัดทำมุม 60 องศา รอบแกนหมุน



ภาพที่ 31 ใบพัดที่ได้รับการออกแบบที่แตกต่างกัน

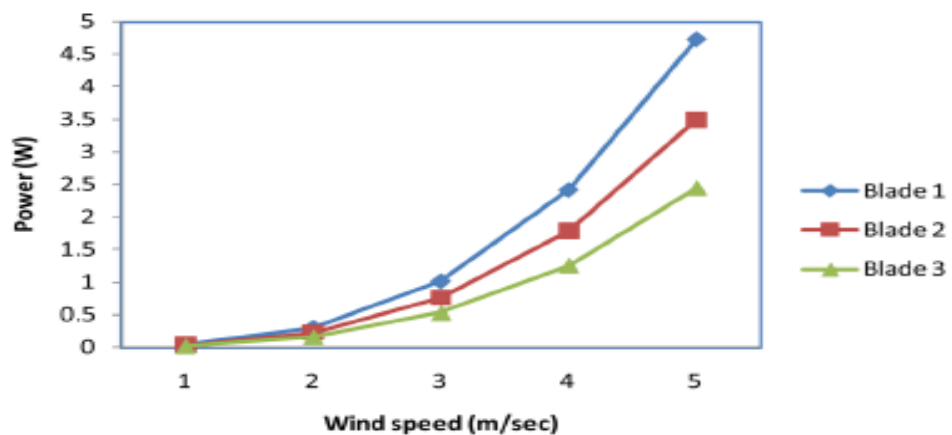
ที่มา: Tabassum et al. (2015)

สรุปผลจากการทดสอบในอุโมงค์ลมของใบพัดกังหันทั้ง 3 แบบ การเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมจาก 2 m/s ถึง 4.4 m/s กังหันลมจะทำงานที่ความเร็วลม 3-4 m/s และสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความเร็วลม พื้นที่ น้ำหนักและการออกแบบใบพัดดังแสดงในภาพที่ 32 และ 33



ภาพที่ 32 ความเร็วในการหมุนของใบพัดต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลม

ที่มา: Tabassum et al (2015)



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ได้กับความเร็วลม

ที่มา: Tabassum et al (2015)

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าผลไบโพัตซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะหมุนด้วยความเร็วสูงแต่มีแรงบิดและพลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่าไบโพัตขนาดใหญ่ซึ่งได้แรงบิดและพลังงานไฟฟ้าที่มากกว่า

Nizetic et al. (2016) ได้ทำการทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยระบายความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้สเปรย์น้ำในการฉีดพ่นน้ำด้านหน้าและด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมกัน เพื่อตรวจสอบการระบายความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 50 W วางแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอียงทำมุม 17° หัวฉีดพ่นทั้งหมด 20 หัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 mm ด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งหัวฉีดพ่นห่างกัน 150 mm จำนวน 10 หัว ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งหัวฉีดพ่นขนาด 80 mm จำนวน 10 หัว แรงดันน้ำในท่อ 4.8 bar อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 17 มีอัตราการไหลของน้ำ 144-225 L/h ทดสอบในช่วง 11.00-14.00 น. ก่อนทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 54 หลังจากการทดสอบฉีดพ่นน้ำทั้งด้านหน้าและด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเฉลี่ย 30 และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น 2% จาก 13.92% เป็น 15.92%

Moharram et al. (2013) ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าความถี่ในการระบายความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการทดสอบตามสภาวะที่ใช้งานจริงโดยวัดอุณหภูมิของแผง วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงและวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การระบายความร้อนของระบบจะทำการทดลอง 7 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที โดยมีการเว้นช่วงการเก็บข้อมูลครั้งละ 15 นาที ใน day ที่ 1 มิถุนายน และ day ที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2012 ตั้งแต่เวลา 11.30 – 13.40 น. ใช้อัตราการไหลของน้ำ 29 L/min พบว่าทุก ๆ 5 นาทีที่ทำการระบายความร้อนอุณหภูมิสามารถลดลง 10 และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเป็น 0.5% จาก 12% เป็น 12.5% โดยใช้ปริมาณน้ำที่ลดลงทำให้สามารถนำไปใช้ในพื้นที่ที่ขาดแคลนแหล่งน้ำ เช่น ประเทศในเขตทะเลทราย อีกทั้งยังเป็นการทำความสะอาดหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อีกด้วย

Choi (2014) งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนน้ำและบนพื้นดินโดยเปรียบเทียบจากกำลังการผลิตขนาด 100 kW และ 1 MW เพื่อวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์โรงไฟฟ้าขนาด 100 kW ใช้แผงขนาด 240 W จำนวน 414 แผง จากเมือง Hapcheon และโรงไฟฟ้าที่ติดตั้งบนพื้นดินขนาด 1 MW ใช้แผงขนาด 250 W จำนวน 4,000 แผง เอียงทำมุม 30° จากเมือง Haman ที่อยู่ห่างกัน 60 km ซึ่งมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

ใกล้เคียงกัน ทำการวิเคราะห์ เริ่มจากเดือนกุมภาพันธ์ 2012 – มกราคม 2013 โดยไม่คิดวันที่ไม่มีแสงแดด ใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ 185 day กำลังการผลิตขนาด 100 kW จากเมือง Hapcheon และกำลังการผลิตขนาด 1 MW จากเมือง Haman จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 421 kWh/day และ 3,486 kWh/day ตามลำดับ โรงไฟฟ้าทั้งสองมีกำลังการผลิตที่ต่างกัน กำลังการผลิตไฟฟ้าจากเมือง Haman คือ 935.9 kWh/day ถูกแปลงให้เป็น 99.36 kWh/day เพื่อให้เท่ากับกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเมือง Hapcheon ที่มีกำลังการผลิต 99.36 kWh/day พบว่าการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าขนาด 100kW และ 1MW เป็น 17.6% และ 15.5% ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าโรงไฟฟ้าขนาด 100 kW ที่ติดตั้งบนน้ำมีค่า 13.5% สูงกว่าโรงไฟฟ้าขนาด 1 MW ที่ติดตั้งบนพื้นดิน และจากการเปรียบเทียบพบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนน้ำมีประสิทธิภาพ 11% ซึ่งสูงกว่าการติดตั้งบนพื้นดิน และทดสอบการเกิดคลื่นจากความเร็วลมที่อาจมีต่อโครงสร้างของการติดตั้งบนน้ำ พบว่าแรงคลื่นที่อาจเกิดขึ้นนั้นไม่มีผลต่อโครงสร้างของการติดตั้งบนน้ำ

ประภาพิทย์ และ นุชิตา (2556) ได้ศึกษาผลของการระบายความร้อนบนผิวหน้าแผงต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิก ซึ่งได้ทำการทดสอบด้วยการพ่นน้ำบนผิวหน้าแผงโฟโตโวลตาอิก 2 ชนิด คือ แผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนขนาด 40 W และแผงชนิดอะมอร์ฟิซขนาด 40 W ในแต่ละการทดสอบประกอบไปด้วยแผงควบคุม คือแผงที่ทำงานในสภาวะปกติ และแผงทดสอบ คือแผงที่ติดตั้งระบบพ่นน้ำ จากข้อมูลพบว่า น้ำสามารถลดอุณหภูมิในการทำงานของแผงได้เป็นอย่างดี โดยจากการทดสอบของแผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนและแผงชนิดอะมอร์ฟิซนั้น อุณหภูมิของแผงทดสอบมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผงควบคุมเท่ากับ 12.52 และ 17.65 ตามลำดับ และจากการลดอุณหภูมิของแผงด้วยวิธีการพ่นน้ำบนผิวหน้าของแผงในแต่ละการทดสอบพบว่า มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของแผง เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผงควบคุมและแผงทดสอบ พบว่าแผงทดสอบจากการทดสอบแผงชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนและแผงชนิดอะมอร์ฟิซมีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 10.05% และ 7.74% ตามลำดับ

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

อุปกรณ์ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เครื่องกำเนิดแสง (Solar simulator)

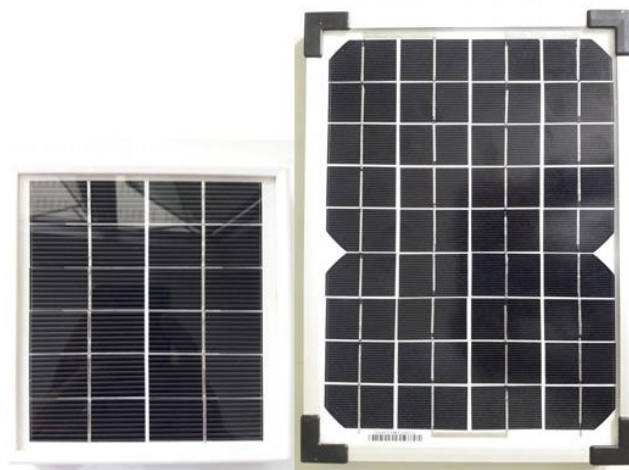
เครื่องกำเนิดแสงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีความเข้มแสงแตกต่างกัน โดยเครื่องกำเนิดแสงดังกล่าวสามารถปรับเปลี่ยนค่าความเข้มแสงได้ในช่วง 0 – 1,000 W/m² ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 เครื่องกำเนิดแสง (Solar simulator)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม ขนาด 2.5 W และ 10 W ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W และ 10 W

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแผงดังกล่าว ในงานวิจัยนี้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดยี่ห้อ VICTOR รุ่น 303B สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -30 ถึง 350 °C ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ VICTOR รุ่น 303B

เครื่องวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

เครื่องวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ใช้สำหรับวัดค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ในหน่วย W/m^2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ยี่ห้อ PROVA รุ่น 210 ที่เชื่อมต่อผ่านพอร์ท RS-232 เพื่อเก็บข้อมูล ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 มิเตอร์วัดพลังงานแสงอาทิตย์ยี่ห้อ PROVA รุ่น 210

อุปกรณ์ในการทดสอบกั้นลมขนาดจิว กั้นลมขนาดจิวแนวตั้ง

กั้นลมขนาดจิวแนวตั้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นกั้นลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง มีขนาดกว้างและสูงเท่ากับ 8 cm และ 10 cm ตามลำดับ ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 กังหันลมขนาดจิ๋วแนวตั้ง

กังหันลมขนาดจิ๋วแนวนอน

กังหันลมขนาดจิ๋วแนวนอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นกังหันลมแบบ 3 ใบที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม มีขนาดกว้าง 10 cm ดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 กังหันลมขนาดจิ๋วแนวนอน

อุโมงค์ลม

อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบโดยมีการออกแบบและจัดสร้างขึ้นเพื่อทดสอบการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมขนาดจิ๋ว มีขนาดหน้าตัดกว้างและสูงเท่ากับ 0.25 m มีความยาวตั้งแต่ปากทางเข้าจนถึงปากทางออกของอุโมงค์ลมเท่ากับ 1.20 m ทางเข้าของอุโมงค์ลมติดตั้งชุดพัดลมยี่ห้อ CNDF ขนาด 0.2 m ดังแสดงในภาพที่ 40



ภาพที่ 40 อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบกิ้งห่านขนาดจิ๋ว

อุปกรณ์ในการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกเทอร์โมอิเล็กทริก

ในงานวิจัยนี้ใช้เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12710 ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของด้านร้อนและด้านเย็น โดยอิเล็กตรอนจะเดินทางจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจนวัสดุทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าและความต่างศักย์ ซึ่งสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาใช้ประโยชน์ได้ ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 เทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12710

เครื่องให้ความร้อน

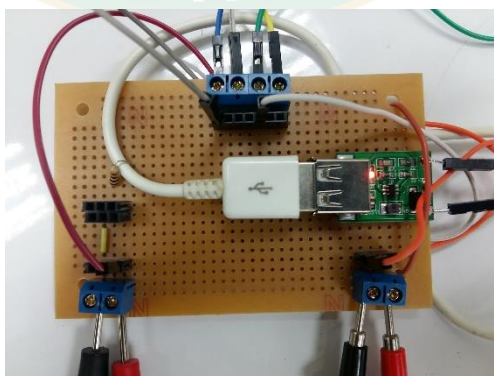
ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องให้ความร้อนแบบ Hot Plate ยี่ห้อ Ok Well ซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิของแผ่นร้อนได้หลายระดับในการให้ความร้อนกับด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก รุ่น TEC1-12710 เพื่อวัดปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิด้านร้อนต่าง ๆ กัน ดังภาพที่ 42



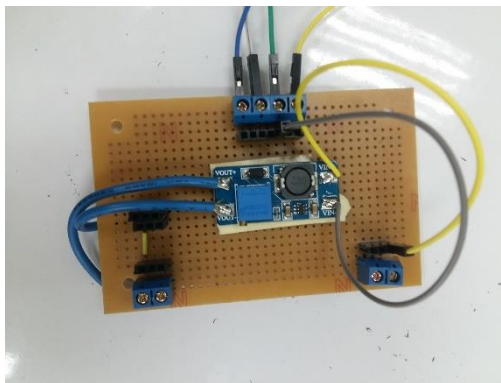
ภาพที่ 42 เครื่องให้ความร้อนแบบ Hot Plate ยี่ห้อ Ok Well

วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าจำนวน 2 Stage โดย วงจร Boost Converter Stage 1 จะปรับระดับแรงดันขาเข้าจาก 0.9-5 V ให้มีแรงดันเท่ากับ 5 V เพื่อส่งไปยังวงจร Boost Converter Stage 2 ซึ่งมีหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าจาก 5 V ให้เป็น 24 V ต่อไป วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 43 และ 44



ภาพที่ 43 วงจร Boost Converter Stage 1 แบบแปลงเป็น 5 V



ภาพที่ 44 วงจร Boost Converter Stage 2 แบบแปลงเป็น 24 V

เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply)

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ยี่ห้อ KEITHLEY รุ่น 2231A-30-3 ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรสวิตชิ่งคอนเวอร์เตอร์เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรดังกล่าว เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply)
ยี่ห้อ KEITHLEY รุ่น 2231A-30-3

เครื่องมือวัดและบันทึกข้อมูล ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multi-meter)

ในงานวิจัยนี้ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT55 ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่กักหั่นขนาดจิวและเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ และกระแสไฟฟ้าขาออกของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 46



ภาพที่ 46 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT55

เครื่องวัดความเร็วลม

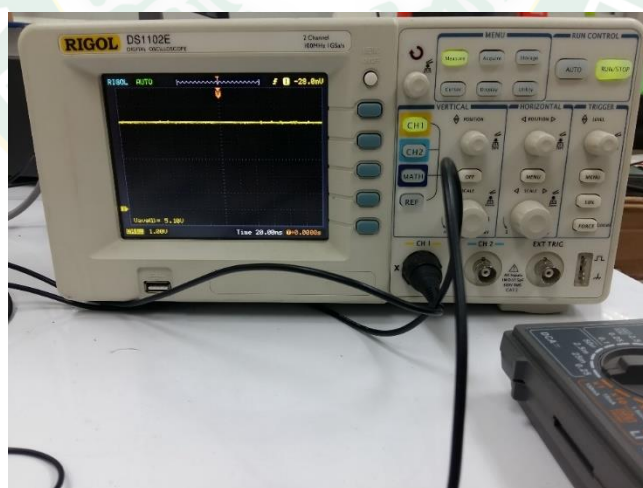
ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบใบพัดยี่ห้อ AH-4223 ในการวัดค่าความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้น ภายในอุโมงค์ลมเพื่อใช้ในการทดสอบกักหั่นขนาดจิวทั้ง 2 แบบ เครื่องวัดความเร็วลมที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 เครื่องวัดความเร็วลม AH-4223

เครื่อง Oscilloscope

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง Oscilloscope ยี่ห้อ RIGOL รุ่น DS1102E ในการวัดแรงดันไฟฟ้าของ วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ และจุดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ เครื่อง Oscilloscope ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังภาพที่ 48



ภาพที่ 48 เครื่อง Oscilloscope ยี่ห้อ RIGOL รุ่น DS1102E

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ ของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริด สำหรับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายกำลังต่ำต้นแบบได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลมขนาดจิ๋ว เทอร์โมอิเล็กทริก วงจรบวสคอนเวอร์เตอร์ โดยเมื่อทำการทดสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงของระบบเสร็จสิ้นจะนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาประกอบเป็นระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดต้นแบบและทำการทดสอบระบบต่อไป โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งทดลองออกเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดลองที่ 2 การทดสอบกังหันลมขนาดจิ๋ว

การทดลองที่ 3 การทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก

การทดลองที่ 4 การทดสอบวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์

การทดลองที่ 5 การทดสอบระบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดสำหรับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายกำลังต่ำต้นแบบ

การทดลองที่ 1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1. ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W กับเครื่องกำเนิดแสง (Solar simulator) ที่ใช้สำหรับการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
2. ปรับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตั้งแต่ 50 100 200 300 400 500 600 700 800 900 และ 1,000 W/m² ตามลำดับ เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในแต่ละค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ
3. วัดอุณหภูมิด้านหน้าและหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด แต่ละค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ
4. เก็บบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณค่าต่าง ๆ ต่อไป
5. เริ่มกระบวนการที่ 1 กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W

การทดลองที่ 2 การทดสอบกังหันลมขนาดจิ๋ว

1. ติดตั้งกังหันลมขนาดจิ๋วแบบแนวนอนภายในอุโมงค์ลมที่ใช้สำหรับการทดสอบกังหันลมขนาดจิ๋ว โดยให้ตัวกังหันห่างจากพัดลมเป็นระยะ 0.4 0.8 และ 1.2 m ตามลำดับ
2. วัดค่าความเร็วลมบริเวณหน้ากังหันลมขนาดจิ๋วเพื่อทราบถึงความเร็วลมปะทะใบพัด
3. วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่กังหันลมขนาดจิ๋วผลิตได้ในแต่ละระยะการติดตั้งและแต่ละความเร็วลมปะทะใบพัด

4. เก็บบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณค่าต่าง ๆ ต่อไป
5. เริ่มกระบวนการที่ 1 กับกั้นลมนขนาดจิวแบบแนวตั้ง

การทดลองที่ 3 การทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก

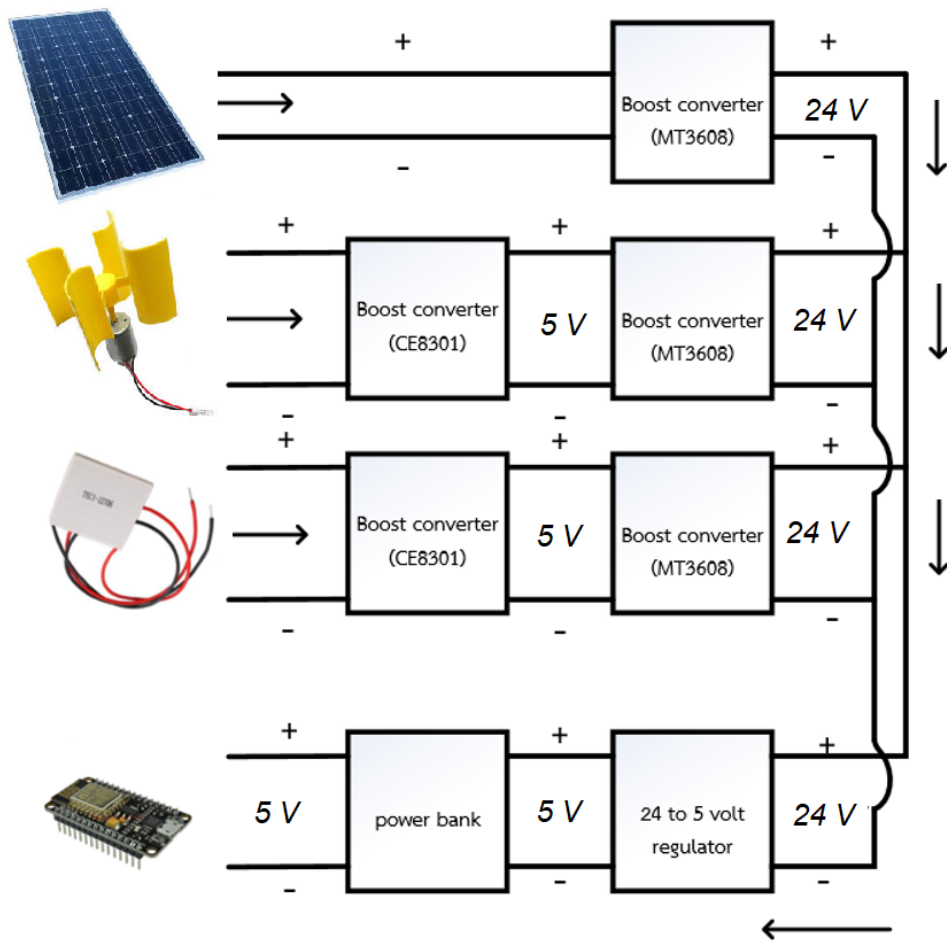
1. ติดตั้งเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนกับเครื่องให้ความร้อนแบบ Hot Plate
2. ปรับอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อนค่าต่าง ๆ
3. วัดค่าอุณหภูมิของเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนและด้านเย็น
4. วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้ในแต่ละค่าอุณหภูมิในขณะที่มีไหลและขณะไม่มีไหล
5. เก็บบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณค่าต่าง ๆ ต่อไป

การทดลองที่ 4 การทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

การทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ทำได้โดยโดยใช้เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ยี่ห้อ KEITHLEY รุ่น 2231A-30-3 ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจรตั้งแต่ 1 - 5 V โดยใช้ตัวต้านทาน (R) ค่าต่าง ๆ เป็นโหลดจำลองและ Digital Multi-meter ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าขาเข้าและกระแสไฟฟ้าขาออก โดยค่าแรงดันไฟฟ้าขาออกจะทำการวัดค่าด้วยเครื่อง Oscilloscope ยี่ห้อ RIGOL รุ่น DS1102E และทำการจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ

การทดลองที่ 5 การทดสอบระบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดสำหรับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายกำลังต่ำต้นแบบ

วิธีการดำเนินงานและขั้นตอนการทดสอบระบบต้นแบบทำได้โดยประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริก และกั้นลมนขนาดจิวเข้าด้วยกัน อุปกรณ์เหล่านี้จะเก็บเกี่ยวพลังงานและผลิตไฟฟ้าโดยส่งผ่านวงจร Boost Converter Stage 1 จะปรับระดับแรงดันจาก 0.9-5 V ให้มีแรงดันเท่ากับ 5 V เพื่อส่งไปยัง Boost Converter Stage 2 เพื่อปรับแรงดันให้เป็น 24 V ผ่าน Zener Diode Voltage Regulator รักษาระดับแรงดันนำไปชาร์จ Battery ที่ระดับแรงดัน 5 โวลต์ Automatic Selector Switch จะทำหน้าที่เลือกแหล่งจ่ายจากแหล่งจ่าย 2 ทางใดทางหนึ่งโดยอัตโนมัติ หากกรณีแหล่งจ่ายเกิดความผิดพลาด เพื่อใช้กับอุปกรณ์ Node MCU ต่อไป โดยหลักการทำงานของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานแสดงดังภาพที่ 49 เมื่อประกอบอุปกรณ์และวงจรต่าง ๆ แล้วเสร็จจึงทำการทดสอบกับสภาวะการทำงานกลางแจ้งต่อไป



ภาพที่ 49 เครื่องการติดตั้งอุปกรณ์ต่อพ่วงและวงจรต่าง ๆ
สำหรับการทดสอบระบบต้นแบบ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

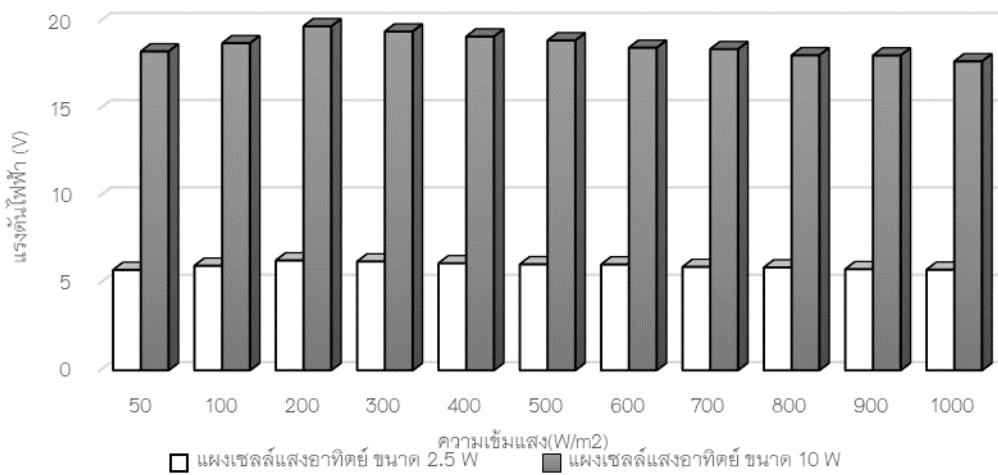
ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานทดแทนแบบผสมผสานขนาดจิ๋ว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลม ส่วนที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนี้

ผลการทดสอบชุดทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ หากความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าลดต่ำลงอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะมีค่าลดลงตามไปด้วย และในการทดสอบใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.5 W และขนาด 10 W มีการวัดค่าจำนวน 5 ครั้งต่อการทดสอบ ซึ่งแบ่งเงื่อนไขการทดลองออกเป็น 11 เงื่อนไขได้แก่

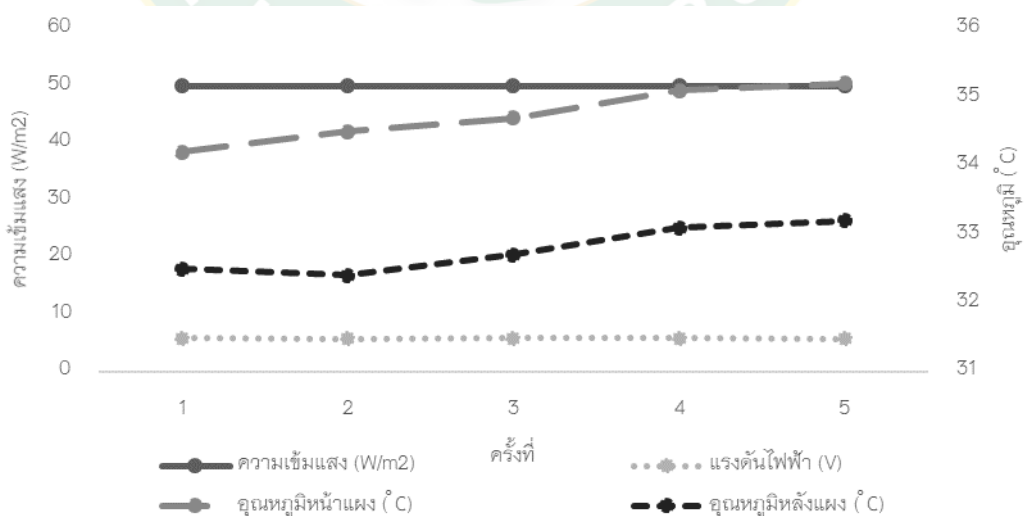
- เงื่อนไขที่ 1 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 50 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 2 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 100 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 3 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 200 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 4 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 300 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 5 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 400 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 6 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 500 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 7 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 600 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 8 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 700 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 9 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 800 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 10 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ 900 W/m^2
- เงื่อนไขที่ 11 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงที่ $1,000 \text{ W/m}^2$

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.5 W และขนาด 10W โดยใช้เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ PROVA-210 เป็นเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นมาตรฐานวัดความแรงของแสงแดด (และทุกแหล่งกำเนิดแสง) ดังแสดงในภาพที่ 50



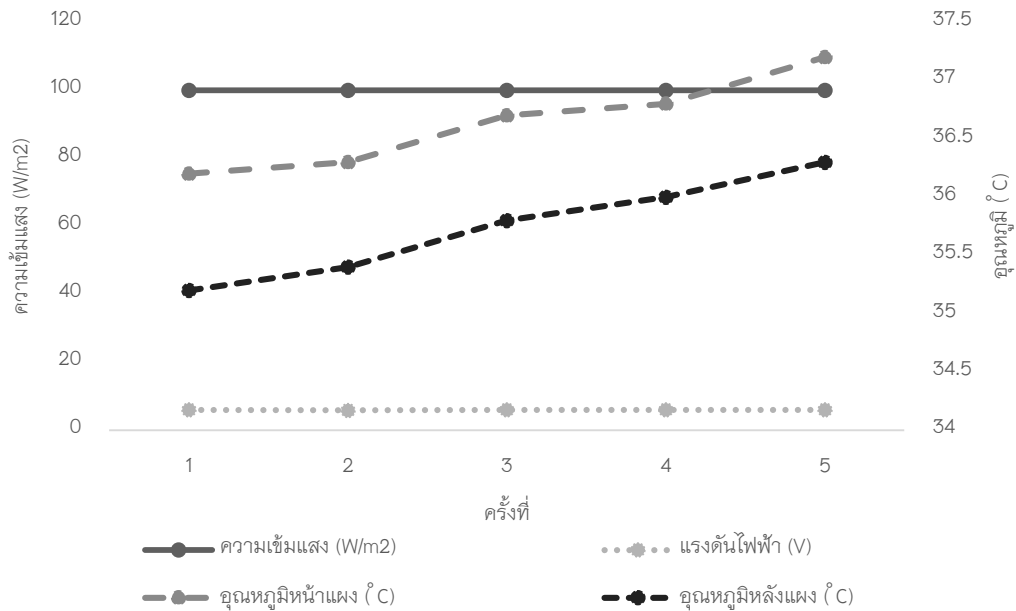
ภาพที่ 50 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ในงานวิจัยนี้มีการวัดค่า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.5 W พบว่าในแต่ละเงื่อนไขของการทดสอบที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 51-62



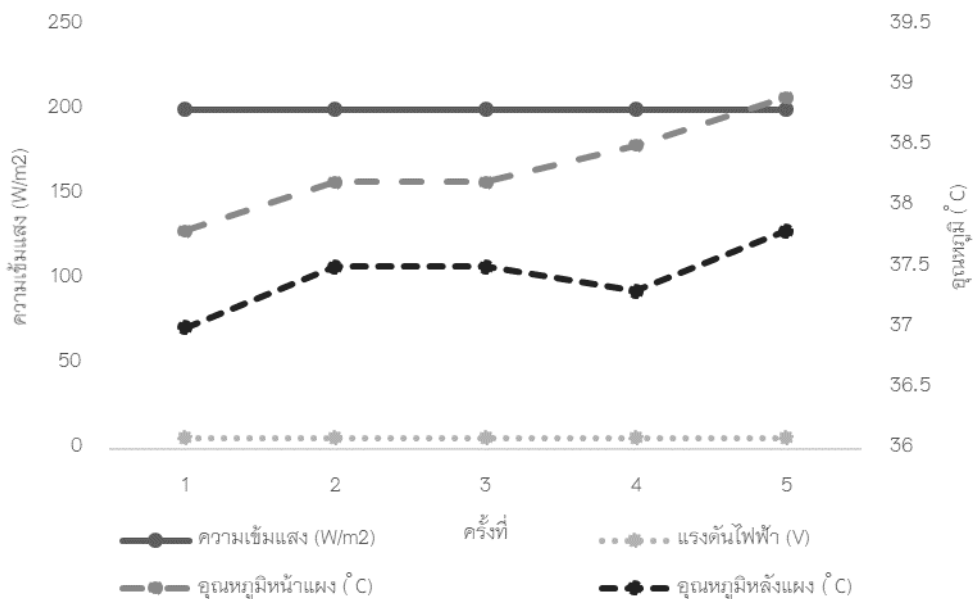
ภาพที่ 51 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 50 W/m²

จากภาพที่ 51 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 1 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 50 W/m² ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 5.75 V



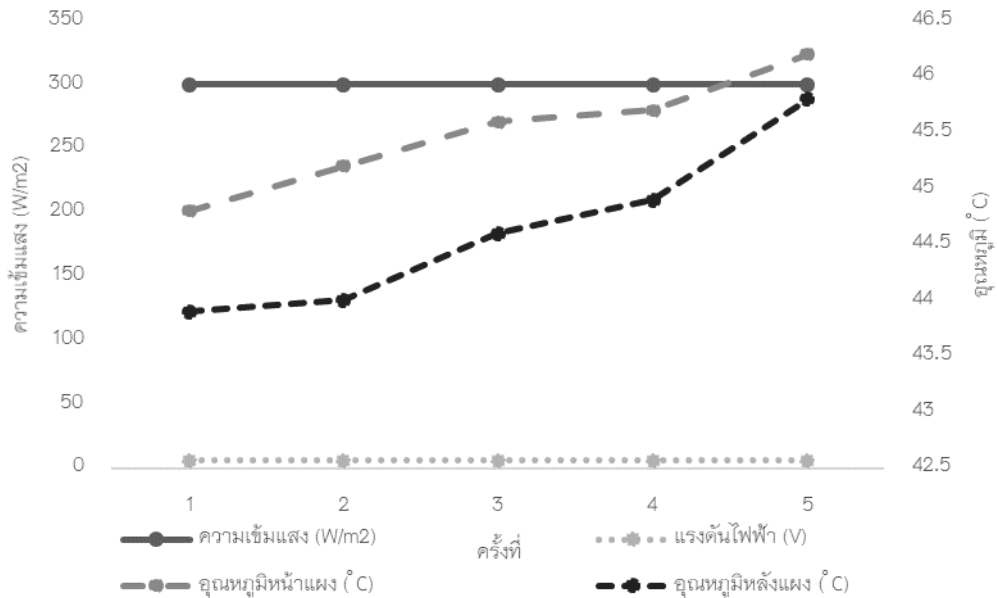
ภาพที่ 52 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 100 W/m²

จากภาพที่ 52 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 2 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 100 W/m² ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 5.99 V



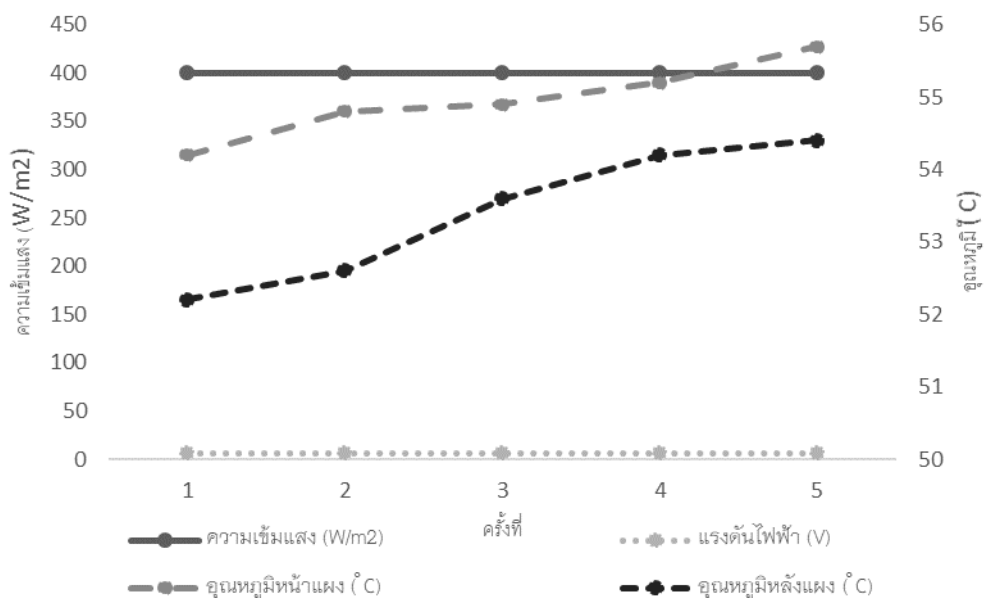
ภาพที่ 53 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 200 W/m²

จากภาพที่ 53 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 3 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 200 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 6.29 V



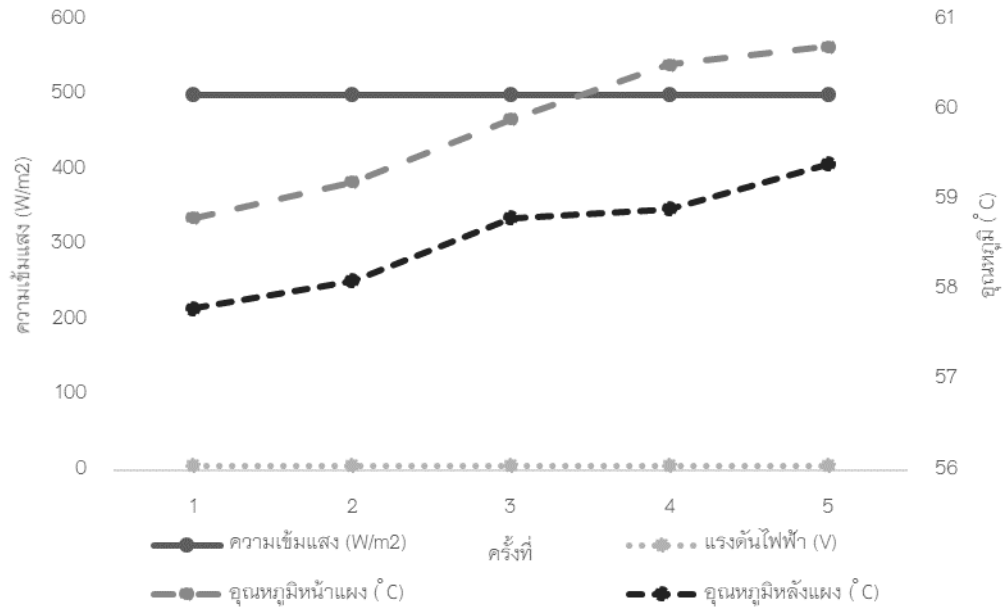
ภาพที่ 54 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 300 W/m^2

จากภาพที่ 54 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 4 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 300 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 6.23 V



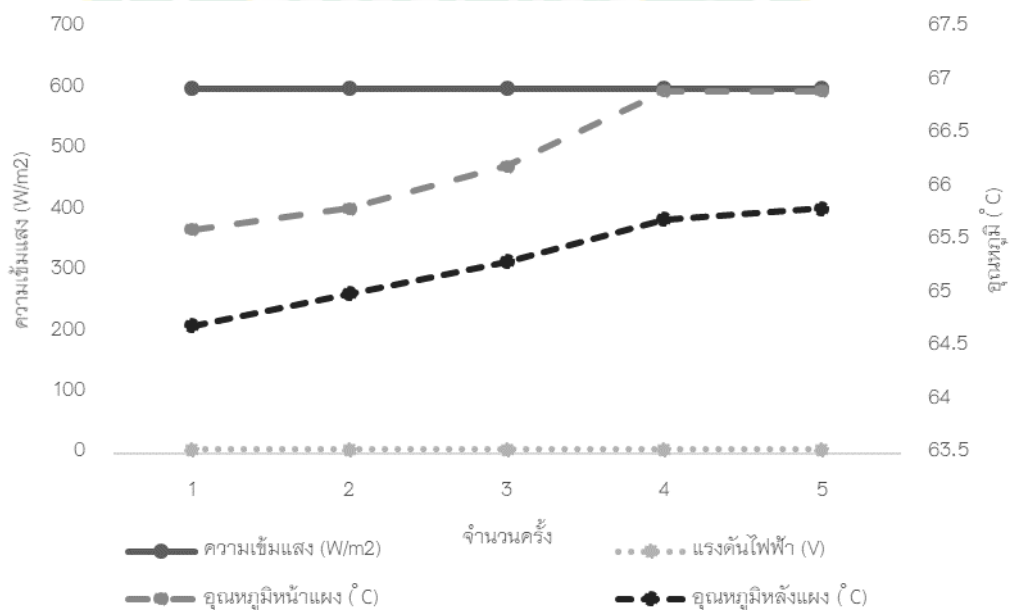
ภาพที่ 55 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 400 W/m^2

จากภาพที่ 55 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 5 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 400 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 6.13 V



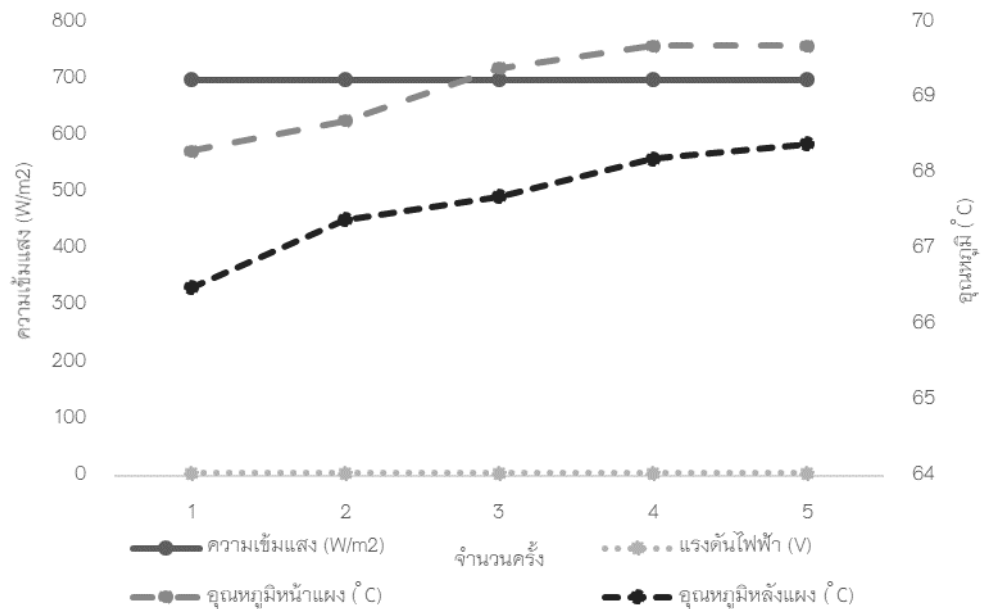
ภาพที่ 56 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 500 W/m^2

จากภาพที่ 56 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 6 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 500 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 6.07 V



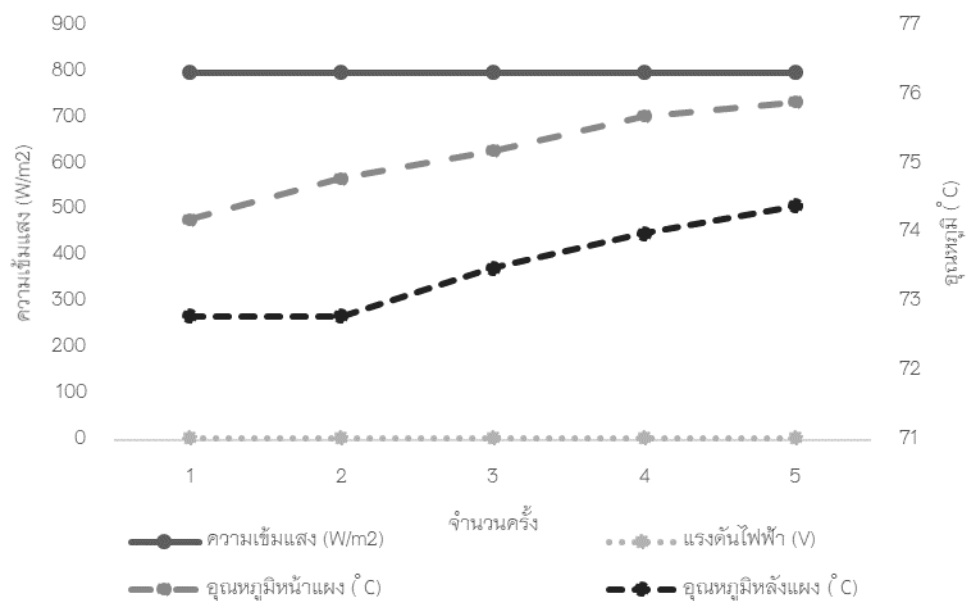
ภาพที่ 57 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 600 W/m^2

จากภาพที่ 57 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 7 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 600 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 6.06 V



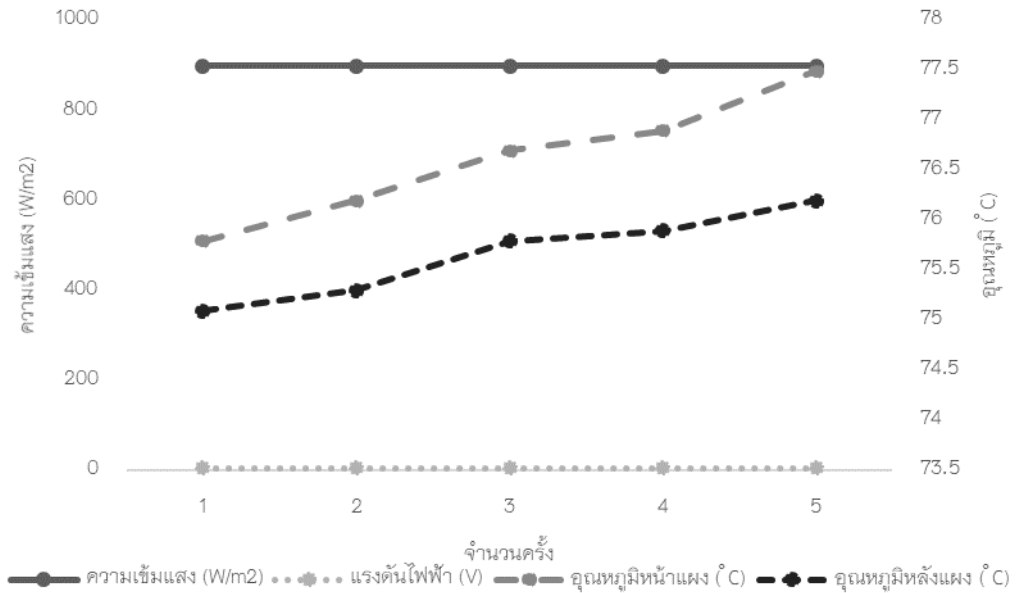
ภาพที่ 58 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 700 W/m^2

จากภาพที่ 58 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 8 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 700 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 5.92 V



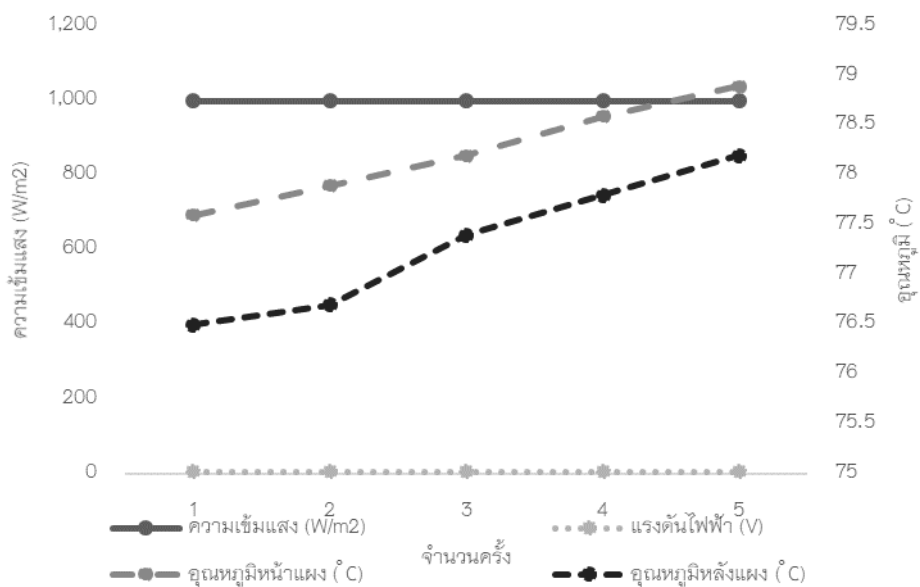
ภาพที่ 59 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 800 W/m^2

จากภาพที่ 59 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 9 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 800 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 5.89 V



ภาพที่ 60 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ 900 W/m^2

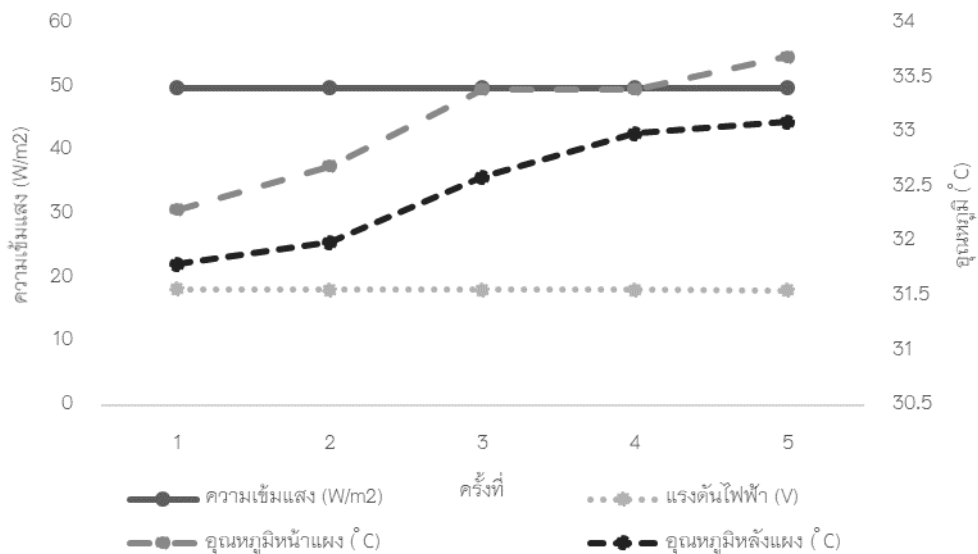
จากภาพที่ 60 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 10 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 900 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 5.79 V



ภาพที่ 61 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W ที่ความเข้มแสงที่ $1,000 \text{ W/m}^2$

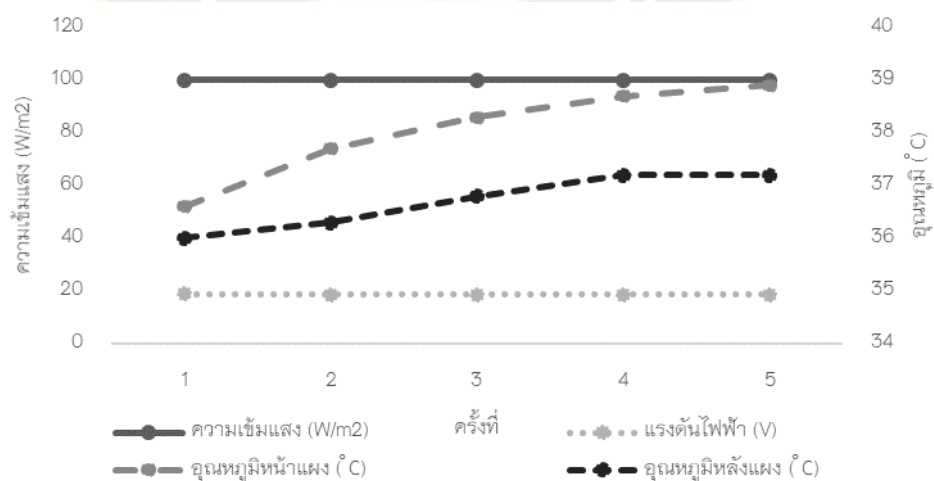
จากภาพที่ 61 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 11 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ $1,000 \text{ W/m}^2$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 5.76 V

ในงานวิจัยนี้มีการวัดค่า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 10 W พบว่าในแต่ละเงื่อนไขของการทดสอบที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้



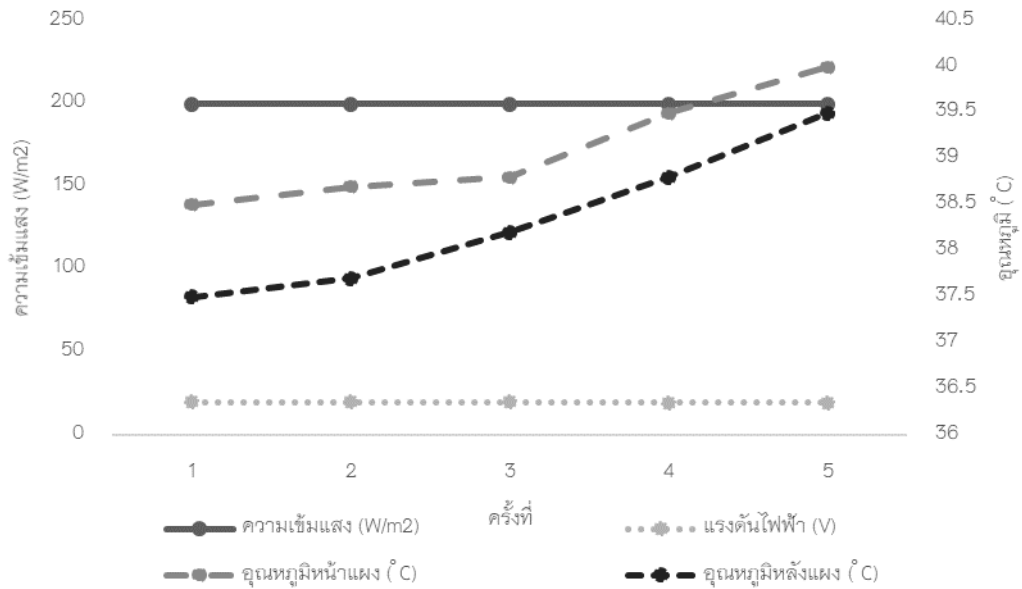
ภาพที่ 62 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 50 W/m^2

จากภาพที่ 62 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 1 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 50 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 18.26 V



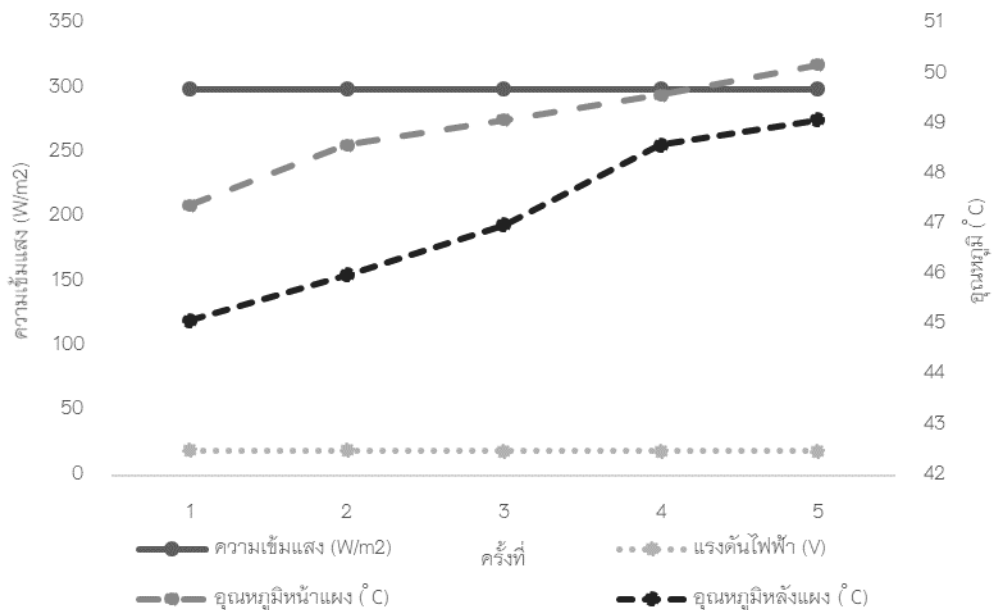
ภาพที่ 63 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 100 W/m^2

จากภาพที่ 63 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 2 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 100 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 18.73 V



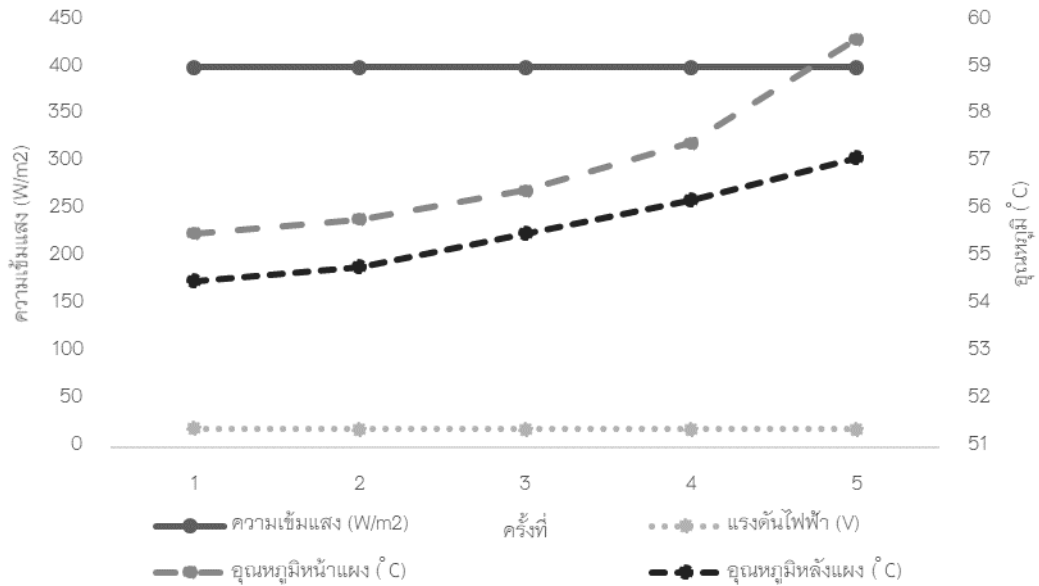
ภาพที่ 64 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 200 W/m^2

จากภาพที่ 64 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 3 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 200 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 19.70 V



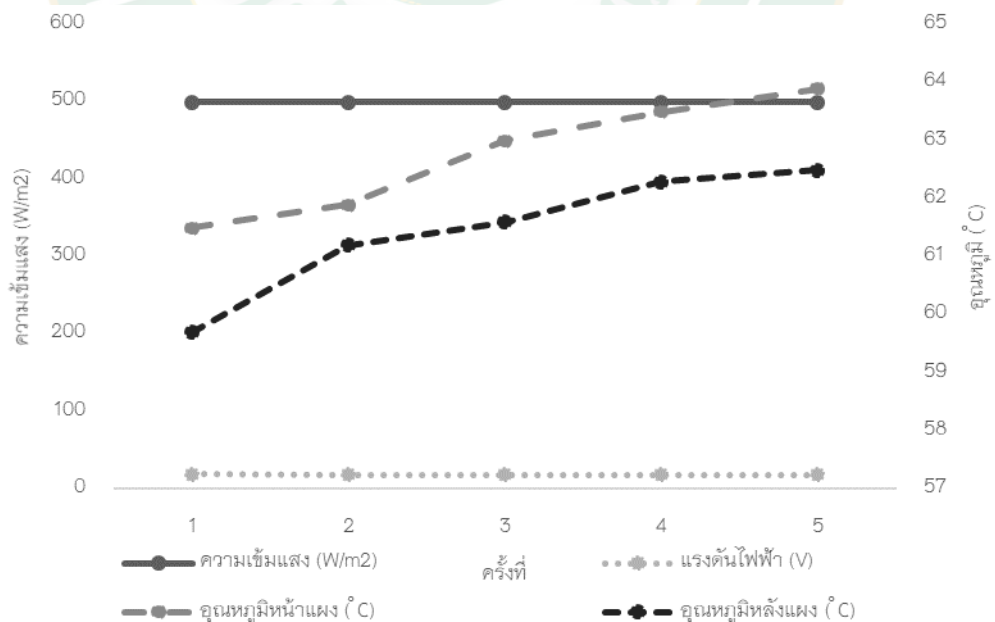
ภาพที่ 65 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 300 W/m^2

จากภาพที่ 65 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 4 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 300 W/m² ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงที่สุดเฉลี่ย 19.40 V



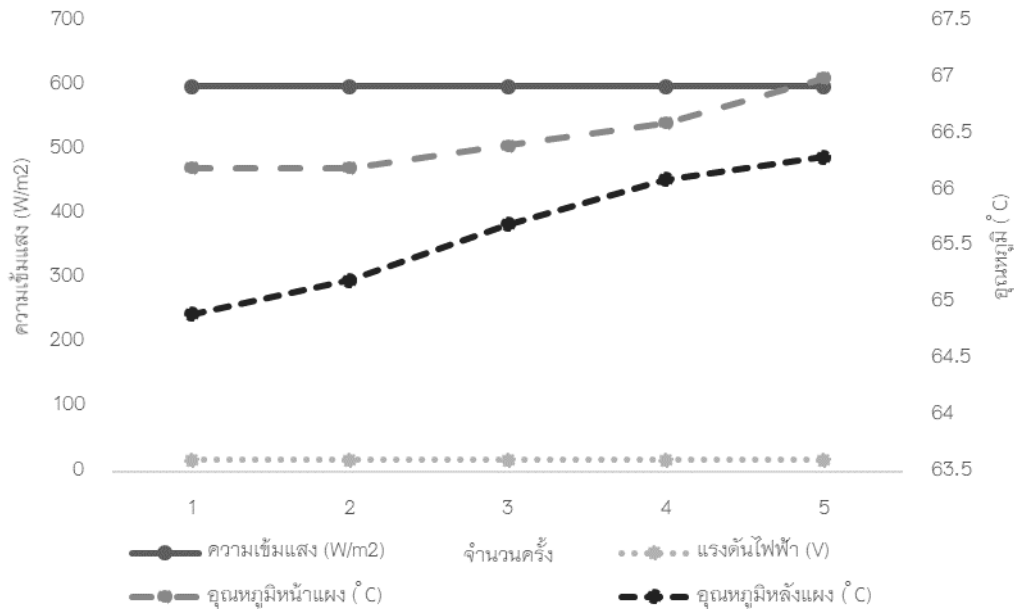
ภาพที่ 66 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 400 W/m²

จากภาพที่ 66 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 5 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 400 W/m² ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงที่สุดเฉลี่ย 19.11 V



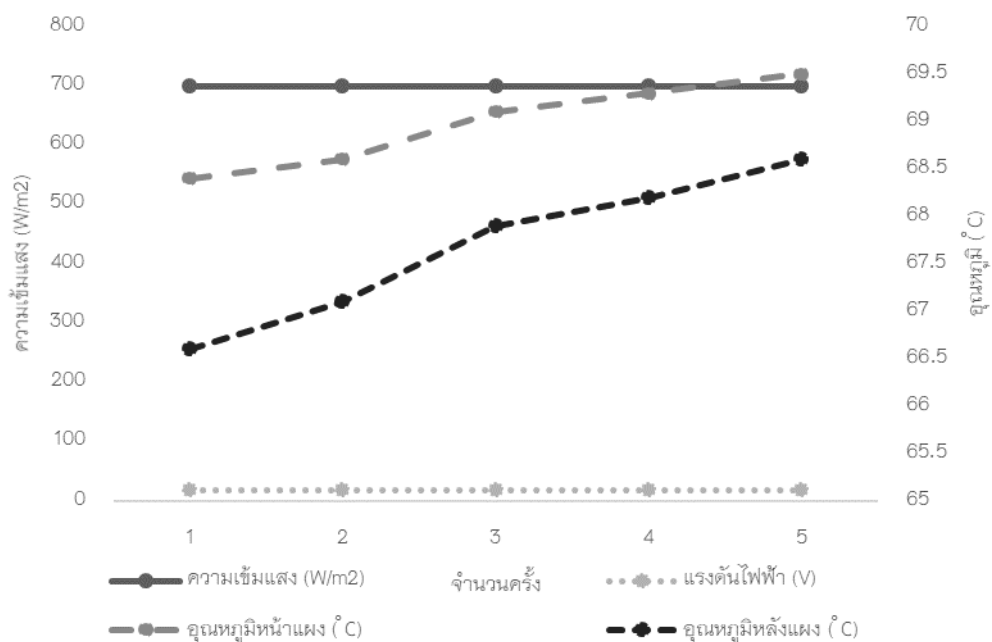
ภาพที่ 67 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 500 W/m²

จากภาพที่ 67 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 6 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 500 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 18.89 V



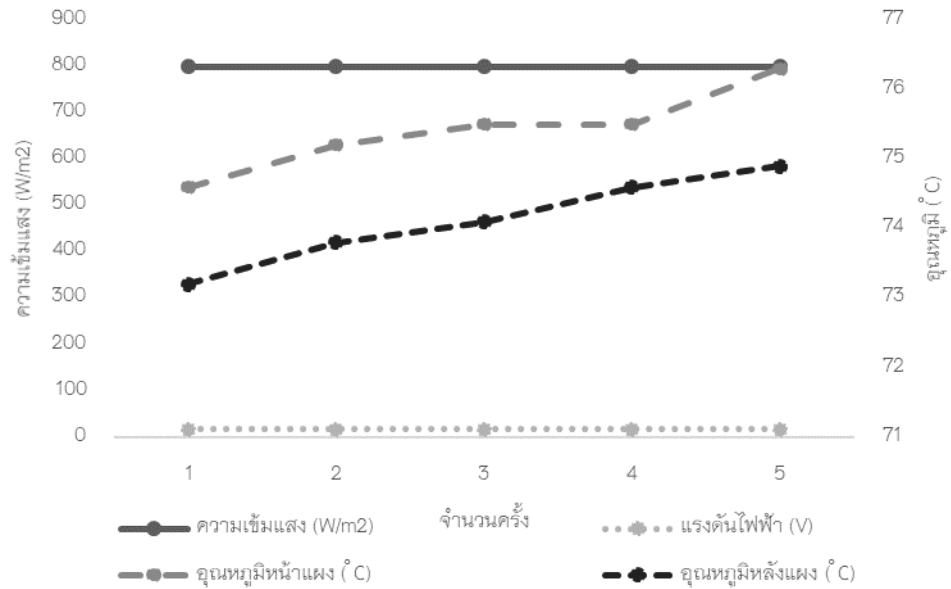
ภาพที่ 68 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 600 W/m^2

จากภาพที่ 68 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 7 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 600 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 18.47 V



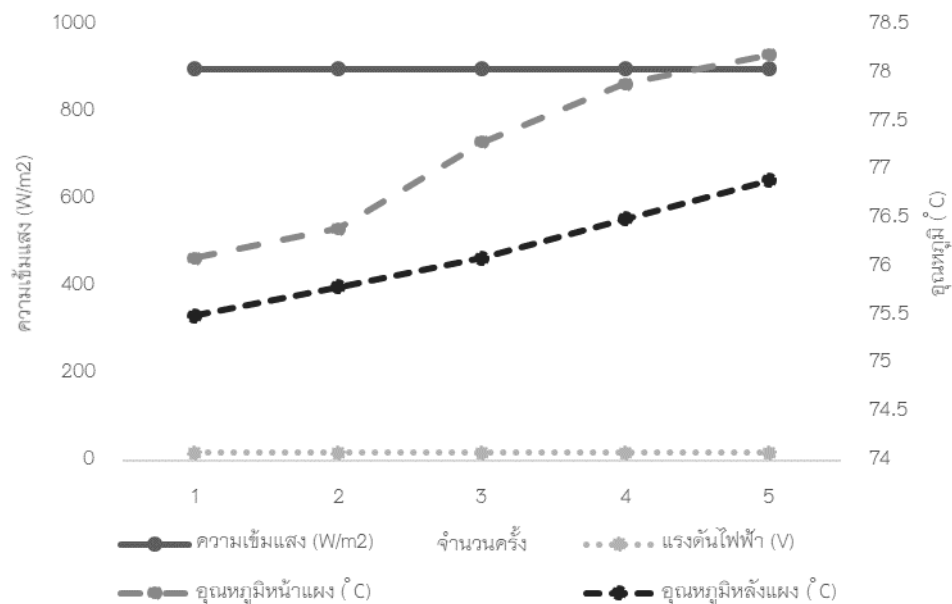
ภาพที่ 69 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 700 W/m^2

จากภาพที่ 69 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 8 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 700 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 18.39 V



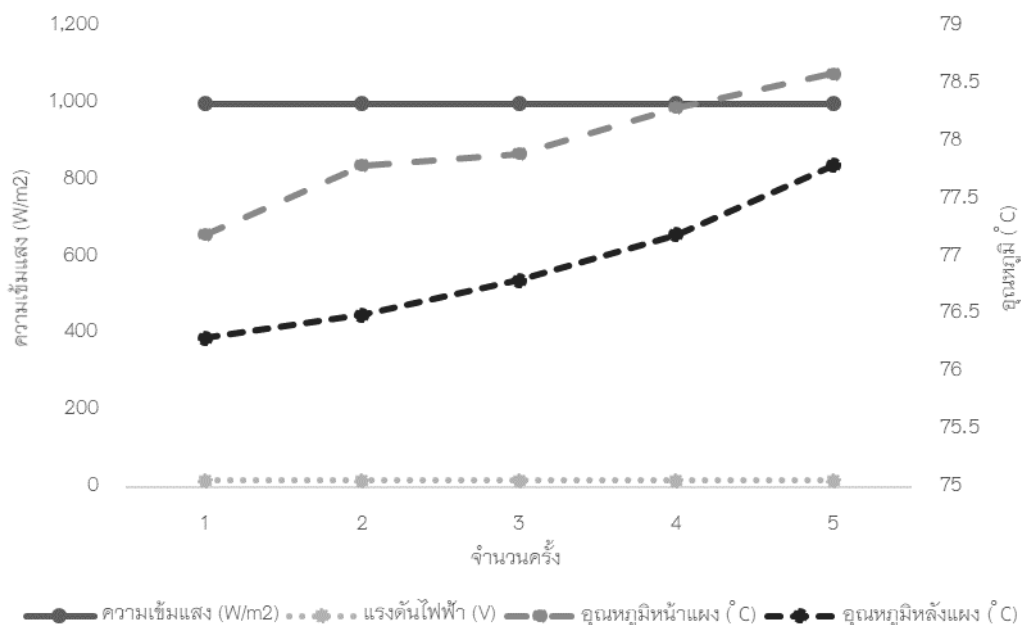
ภาพที่ 70 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 800 W/m^2

จากภาพที่ 70 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 9 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 800 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 18.04 V



ภาพที่ 71 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ 900 W/m^2

จากภาพที่ 71 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 10 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ 900 W/m^2 ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 18.03 V



ภาพที่ 72 การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W ที่ความเข้มแสงที่ $1,000 \text{ W/m}^2$

จากภาพที่ 72 จะเห็นได้ว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเงื่อนไขที่ 11 ที่มีค่าความเข้มแสงที่ $1,000 \text{ W/m}^2$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 17.69 V การทดสอบผลที่ได้จากการทดสอบที่ความเข้มแสงที่ต่างกัน พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบที่ความเข้มแสง $200\text{-}600 \text{ W/m}^2$ ทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้

ผลการทดสอบชุดการทดลองของกันหันลมขนาดจิ๋ว

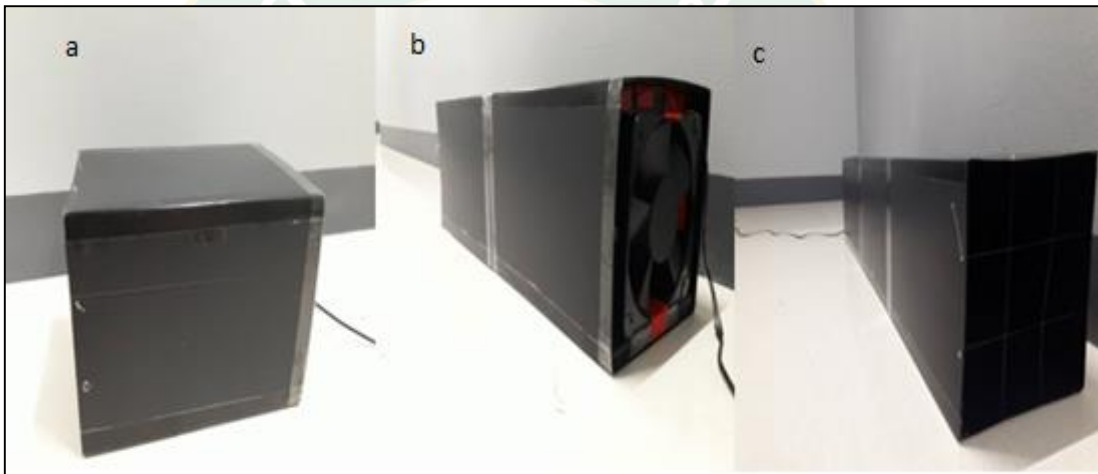
จากการทดสอบประสิทธิภาพของกันหันลมทั้ง 2 แบบ คือ กันหันลมแนวแกนตั้ง กันหันลมแนวแกนนอน ที่มีระยะห่างของกันหันลมกับอุโมงค์ลมที่ระยะที่แตกต่าง 0.4 m 0.8 m 1.2 m ตามลำดับ และความเร็วลมเริ่มลดลง ทำให้ความเร็วรอบของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง ในการทดสอบซึ่งแบ่งเงื่อนไขการทดลองออกเป็น 3 เงื่อนไข ได้แก่

เงื่อนไขที่ 1 การทดสอบกันหันลมที่ระยะห่างจากอุโมงค์ลม 0.4 m

เงื่อนไขที่ 2 การทดสอบกันหันลมที่ระยะห่างจากอุโมงค์ลม 0.8 m

เงื่อนไขที่ 3 การทดสอบกันหันลมที่ระยะห่างจากอุโมงค์ลม 1.2 m

ผลการทดสอบประสิทธิภาพกังหันลมพบว่าในแต่ละเงื่อนไขของการทดสอบที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน และทำการศึกษเปรียบเทียบ การออกแบบการสร้างแบบจำลองกังหันลมทั้งสองภาพแบบ เพื่อใช้ทดสอบ ประสิทธิภาพภายในอุโมงค์ลมจำลองในแต่ละอัตราความเร็วลมและระยะวางกังหันลมที่ 0.4 0.8 1.2 m มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบ สมมุติฐานที่ตั้งไว้ว่าประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลมแต่ละแบบ ที่ระยะที่ต่างกัน มีผลต่อการทำงานหรือไม่ โดยทำการทดสอบการทำงานของกังหันลมทั้ง 2 ลักษณะ ในสภาวะอากาศในแต่ละระดับความเร็วลม อุโมงค์ลมจำลองแล้วทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำผลการทดลองภายในอุโมงค์ลมจำลอง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของกังหันลมแต่ละแบบ ว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานหรือไม่ ดังภาพที่ 74 และ 75 โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 75-78



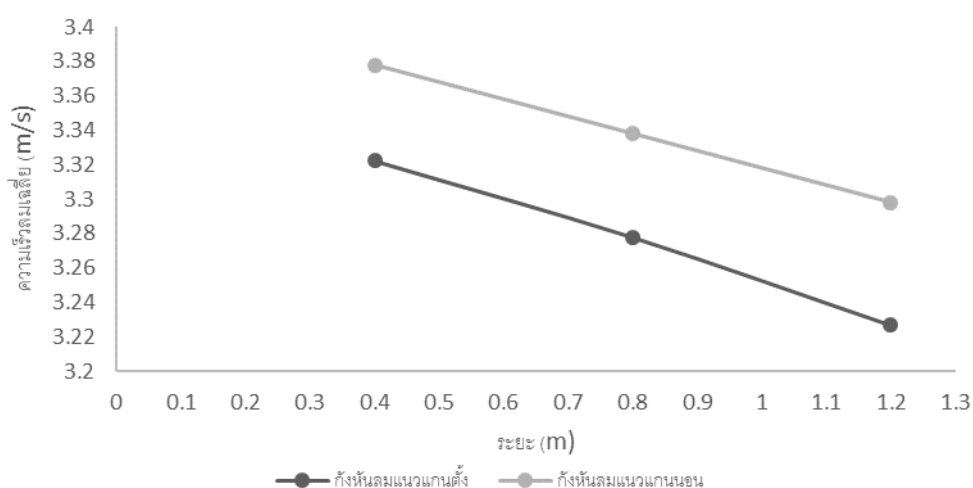
ภาพที่ 73 a) อุโมงค์ลมที่ระยะ 0.4 m b) อุโมงค์ลมที่ระยะ 0.8 m c) อุโมงค์ลมที่ระยะ 1.2 m



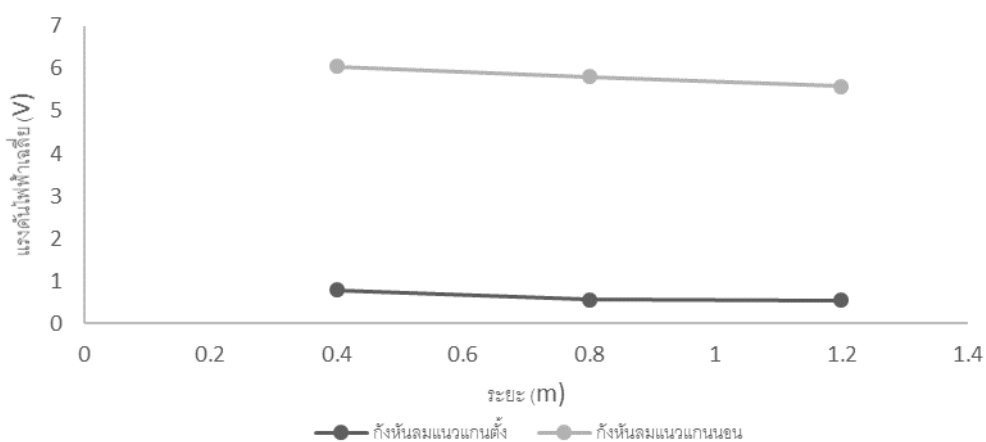
ภาพที่ 74 กังหันลมที่ใช้ในการทดสอบ a) กังหันลมแนวแกนตั้ง b) กังหันลมแนวแกนนอน

ตารางที่ 2 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมขนาดจิ๋ว

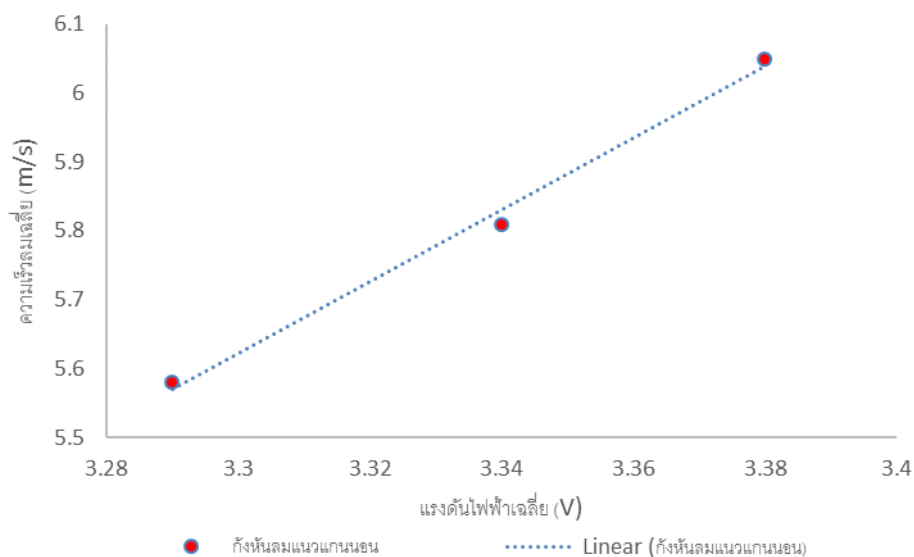
การทดสอบประสิทธิภาพกังหันลม				
ระยะ (m)	กังหันลมแนวแกนตั้ง		กังหันลมแนวแกนนอน	
	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)	ความเร็วลมเฉลี่ย (m/s)	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (V)
0.4	3.32	0.78	3.38	6.05
0.8	3.28	0.57	3.34	5.81
1.2	3.23	0.54	3.29	5.58



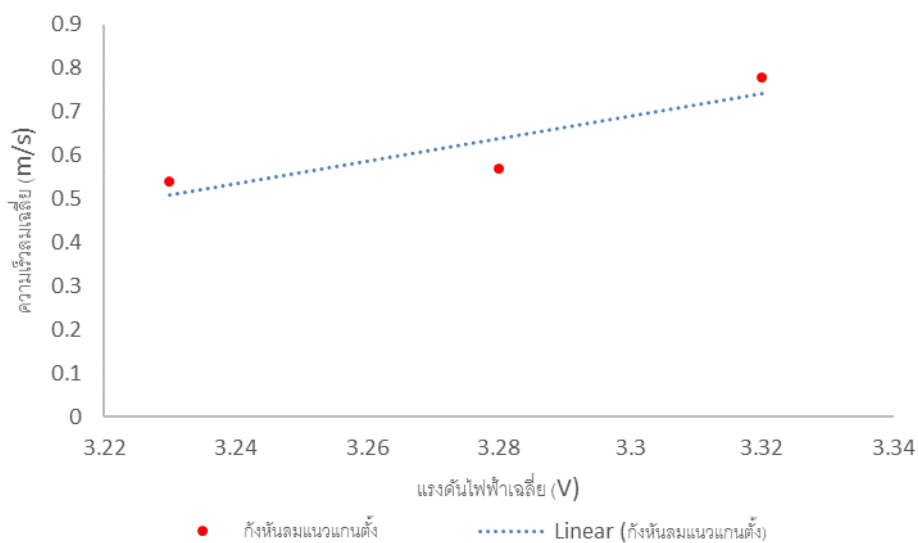
ภาพที่ 75 ค่าความเร็วลมเฉลี่ยของการทดลองในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง



ภาพที่ 76 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของการทดลองในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

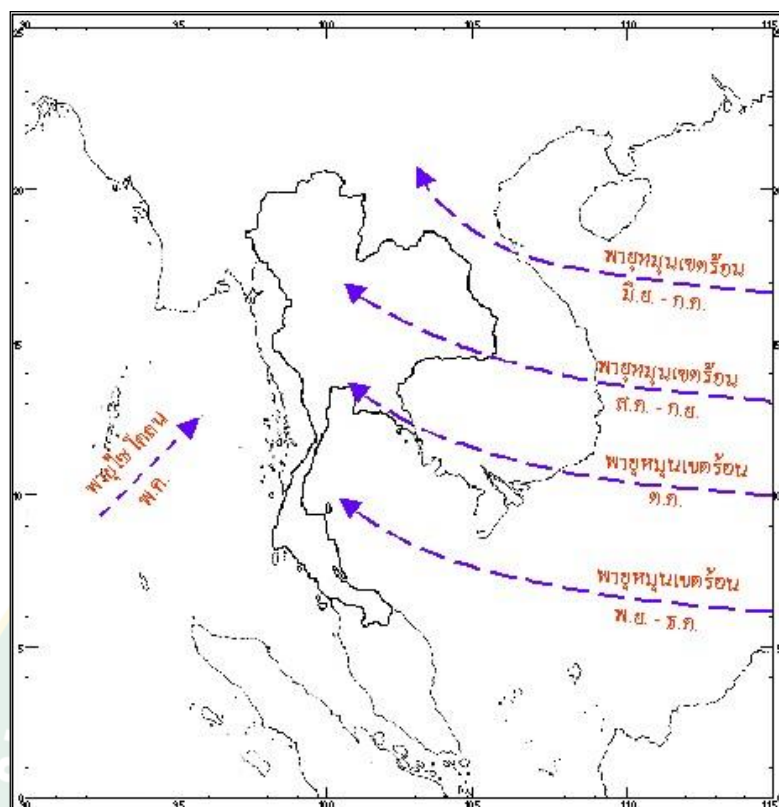


ภาพที่ 77 ความเร็วลมที่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง



ภาพที่ 78 ความเร็วลมที่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ทำการศึกษาข้อมูลจากระดับอัตราความเร็วลม และทิศทางของลมของประเทศไทย ในแต่ละพื้นที่พร้อมทั้งข้อมูลศึกษา โครงการพัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานลมสำหรับประเทศไทย เพื่อนำมาหาปริมาณระดับอัตราความเร็ว ลมภายในพื้นที่ พบว่า ในแต่ละช่วงเวลาลมและทิศทางของลม มีการเปลี่ยนแปลงเสมอ ดังภาพที่ 77-78



ภาพที่ 79 ทิศทางของลมของประเทศไทย

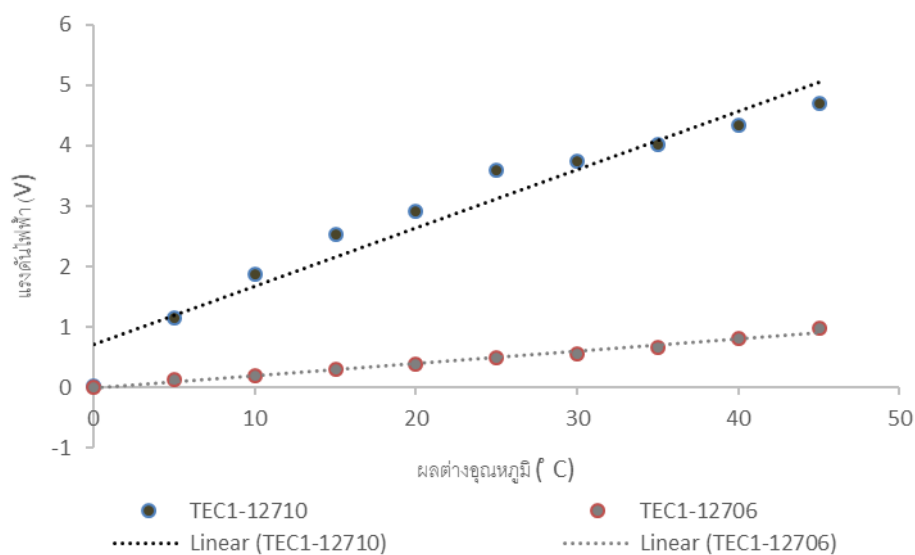
เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของกังหันลมทั้งสองประเภท ก็พบว่าความยาวของอุโมงค์ที่ต่างมีผลต่อ ความเร็วรอบของกังหันลมทั้งสองประเภท จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของกังหันลม ดังนั้น ในการในการทดสอบกังลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ผลการทดสอบชุดการทดลองของเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นเทคโนโลยี นำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยหลักการทำงาน โดยการป้อนพลังงานความร้อนให้เทอร์โมอิเล็กทริก (TEC1-12710) และเทอร์โมอิเล็กทริก (TEC1-12706) แล้ววัดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาในการทดสอบ พร้อมทั้งการทดสอบที่ผลต่างอุณหภูมิที่ 5 10 15 20 25 30 35 40 และ 45 °C พบว่าที่ผลต่างอุณหภูมิที่ 5 10 15 20 25 30 35 40 และ 45 °C แรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้นั้นมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิที่ต่างกัน ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดจะขึ้นอยู่กับผลต่างอุณหภูมิที่ต่างกันสูงๆ ดังแสดงในตารางที่ 3 ดังนั้นจากผลการทดลองที่ผลต่างของอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังแสดงในภาพที่ 80

ตารางที่ 3 ผลของแรงดันไฟฟ้าที่ผลต่างอุณหภูมิที่ต่างกัน

การทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก			
TEC1-12710		TEC1-12706	
ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	0.01	0	0.01
5	1.15	5	0.12
10	1.87	10	0.2
15	2.53	15	0.3
20	2.91	20	0.38
25	3.6	25	0.49
30	3.75	30	0.56
35	4.03	35	0.67
40	4.34	40	0.8
45	4.69	45	0.99

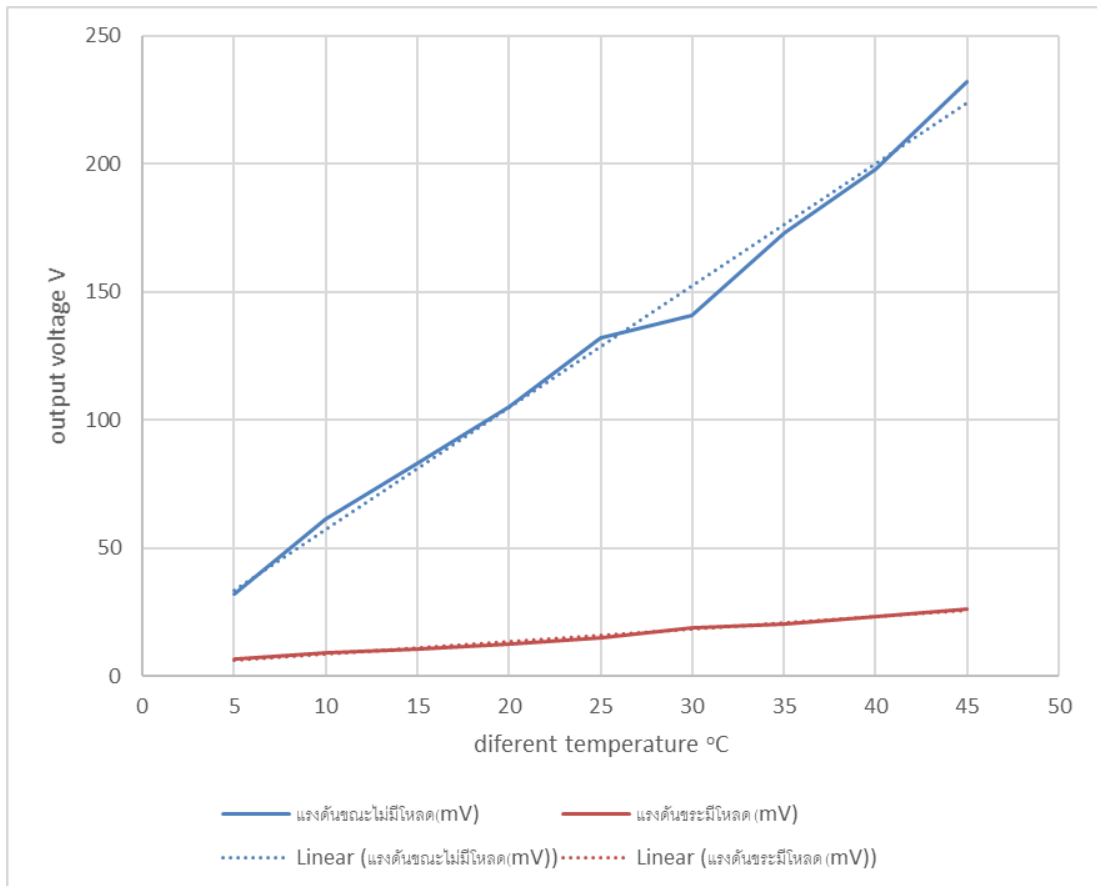


ภาพที่ 80 แรงดันไฟฟ้าที่ผลต่างอุณหภูมิที่ต่างกัน

ในการทดสอบวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิค่าและแรงดันไฟฟ้า ในกรณีที่ไม่มีโหลดและกรณีที่มีโหลดและกรณีไม่มีโหลด โดยใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกในด้านร้อนวางประกบบนเหล็กและด้านเย็นปล่อยให้สัมผัสอากาศอุณหภูมิห้อง ใช้ถ่วงน้ำร้อนวางบนเหล็กด้านที่ไม่มีแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบติดอยู่วัดค่าความต่างโดยใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) FLUKE 2638A HYDRA SERIES III ผลการทดสอบวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีโหลดและกรณีที่มีโหลดแสดงดังตารางที่ 4 และ ภาพที่ 81

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิค่าและแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีโหลดและมีโหลด

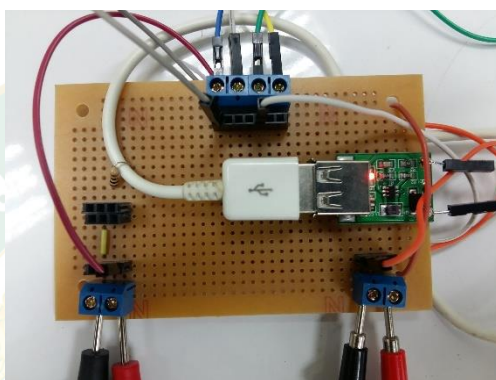
อุณหภูมิ (oC)	อุณหภูมิด้านเย็น (oC)	ผลต่างอุณหภูมิ (oC)	แรงดันขณะไม่มีโหลด (mV)	แรงดันขณะมีโหลด (mV)
35	30	5	32.2	6.83
40	30	10	61.5	8.95
45	30	15	83.2	10.63
50	30	20	105.3	12.48
55	30	25	132	15.1
60	30	30	141	18.8
65	30	35	173	20.5
70	30	40	198	23.2
75	30	45	232	26.3



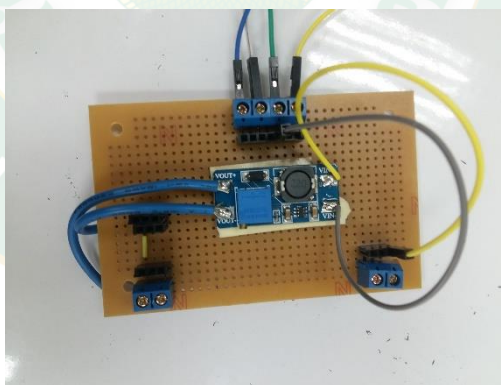
ภาพที่ 81 ผลการทดสอบวงจรเทอร์โมอิเล็กทริกโดยเป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิ และแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ไม่มีโหลดและขณะที่มีโหลด

ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์

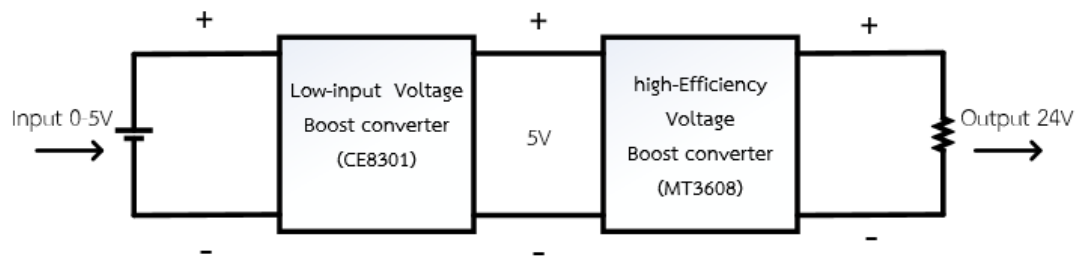
ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้สำหรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ประโยชน์โดยทำการทดสอบวงจร 2 ชนิด คือ 1) วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9 - 5 V แปลงเป็น 5 V และ 2) วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 2-24 V แปลงเป็น 24 V ดังภาพที่ 83 และ 84 โดยการทดสอบวงจรจะเป็นไปตามไดอะแกรมดังภาพที่ 85



ภาพที่ 82 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9 to 5 V

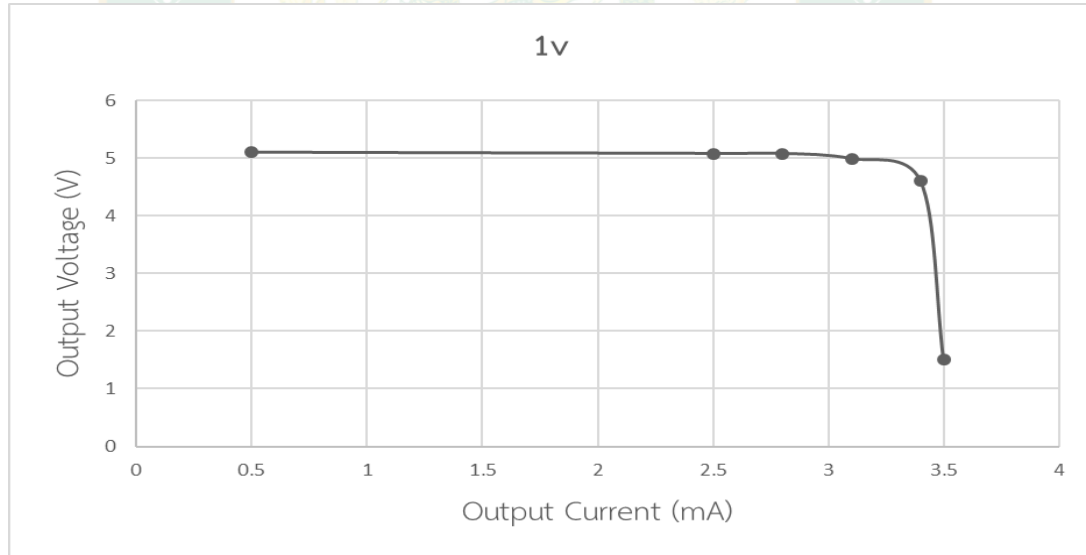


ภาพที่ 83 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V

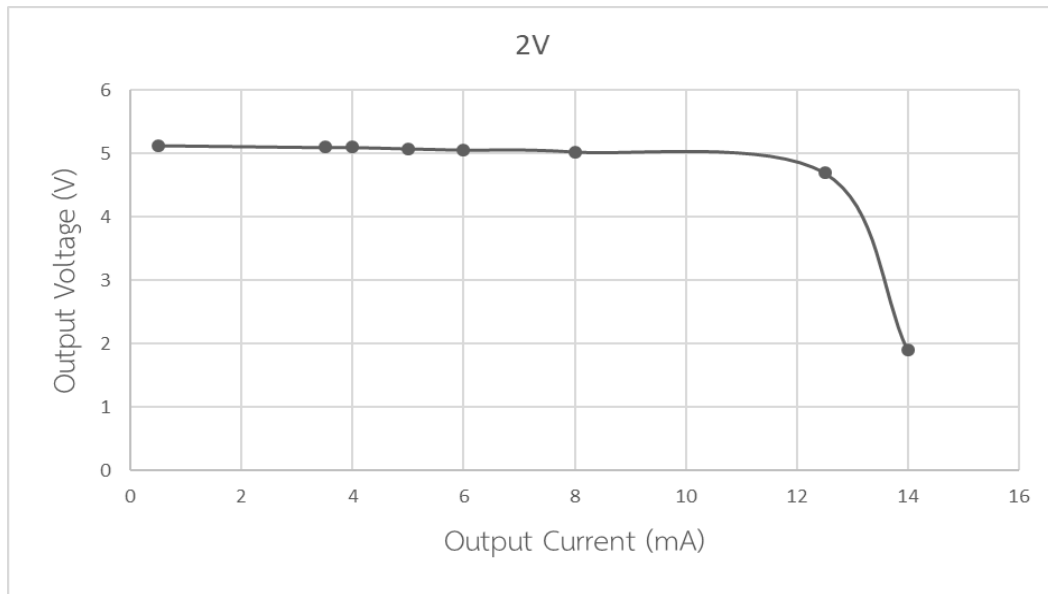


ภาพที่ 84 ไดอะแกรมการทดสอบวงจร

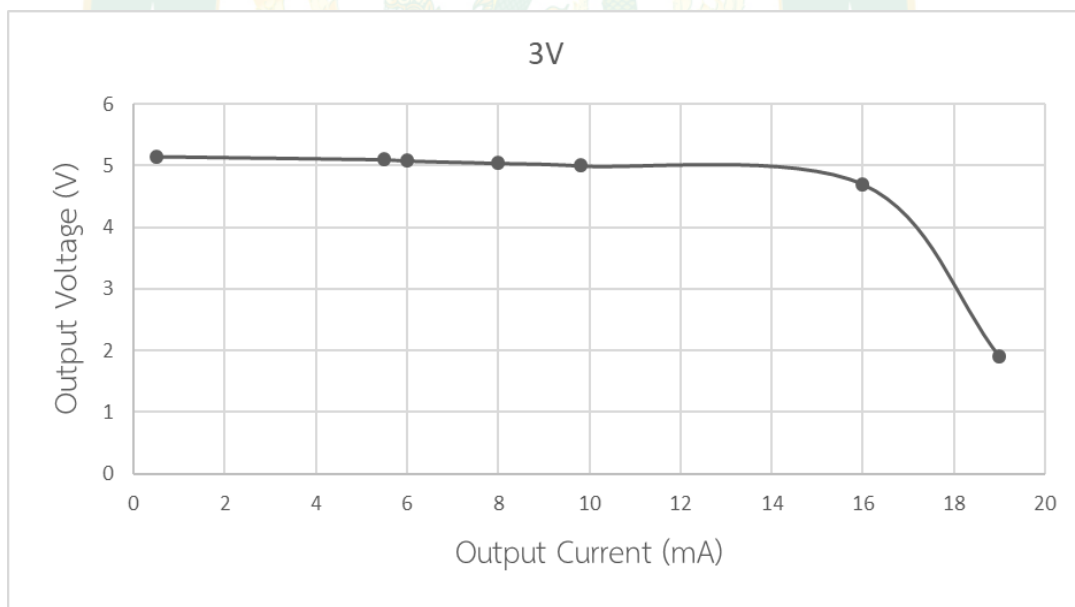
การทดสอบจะใช้เครื่อง Dc power supply เป็นแหล่งกำเนิดในการป้อนไฟฟ้าเข้าสู่วงจร เริ่มต้นตั้งแต่ 1 v ถึง 5 v โดยใช้ R ตัวต้านทาน ¼ 5% เป็นโหลดจำลอง ใช้มิเตอร์แบบเข็ม 2 ตัวในการกระแสวิกซ์และกระแสเอาต์พุตในส่วน output ใช้ เครื่องสโคปมิเตอร์ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต โดยผลการทดสอบวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V แปลงเป็น 5 V แสดงดังภาพที่ 86-90



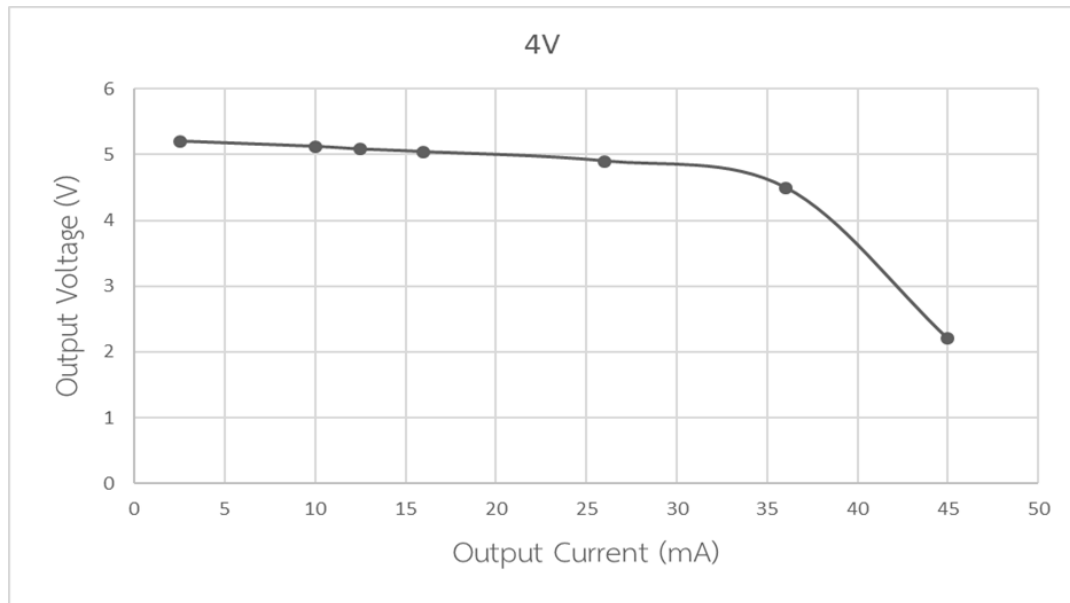
ภาพที่ 85 ผลการทดสอบวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดันอินพุต 1 V



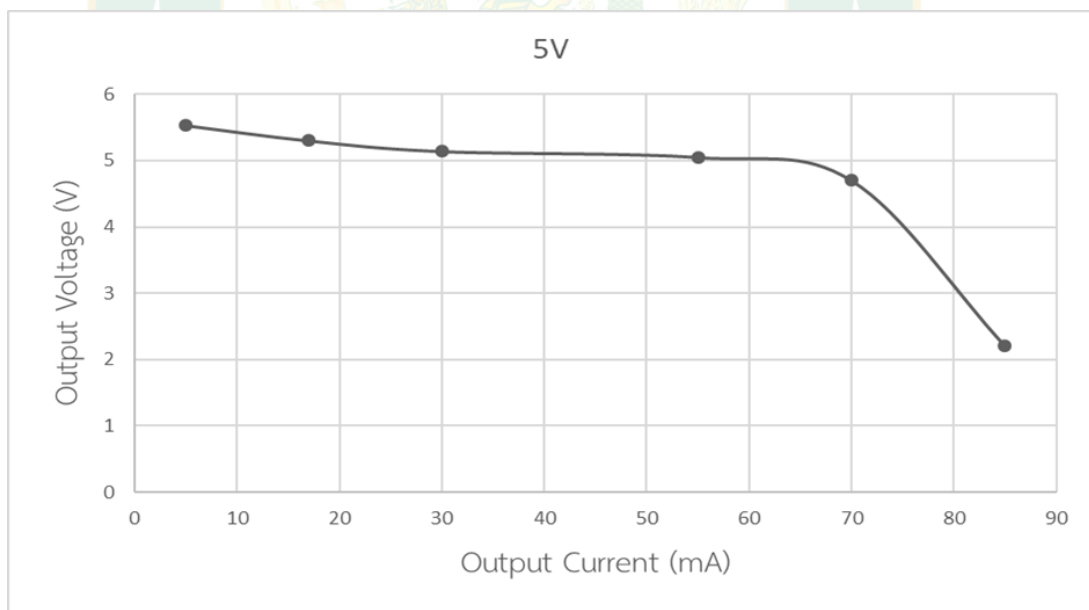
ภาพที่ 86 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V
แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดันอินพุต 2 V



ภาพที่ 87 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V
แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดันอินพุต 3 V



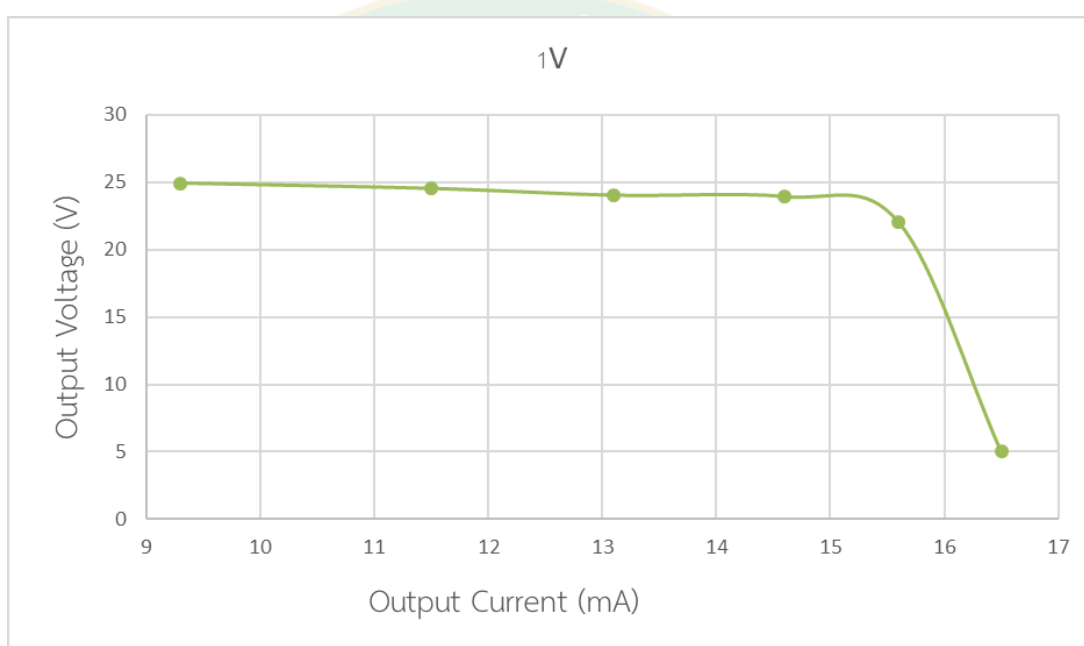
ภาพที่ 88 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V
แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดันอินพุต 4 V



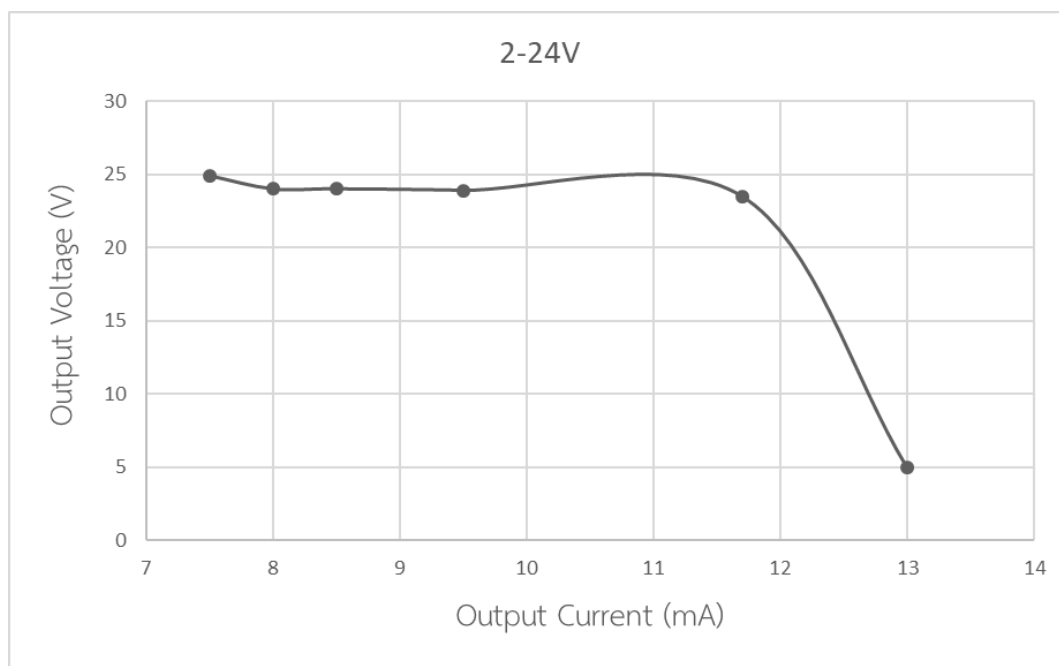
ภาพที่ 89 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5 V
แปลงเป็น 5 V กรณีใช้แรงดันอินพุต 5 V

ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v
 ต่อกับวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V
 แปลงเป็น 24V

ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v ต่อกับ วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V แปลงเป็น 24 V เพื่อเพิ่มแรงดันเอาพุตไปใช้งานในการกักเก็บพลังงานแสดงดังภาพที่ 90-91



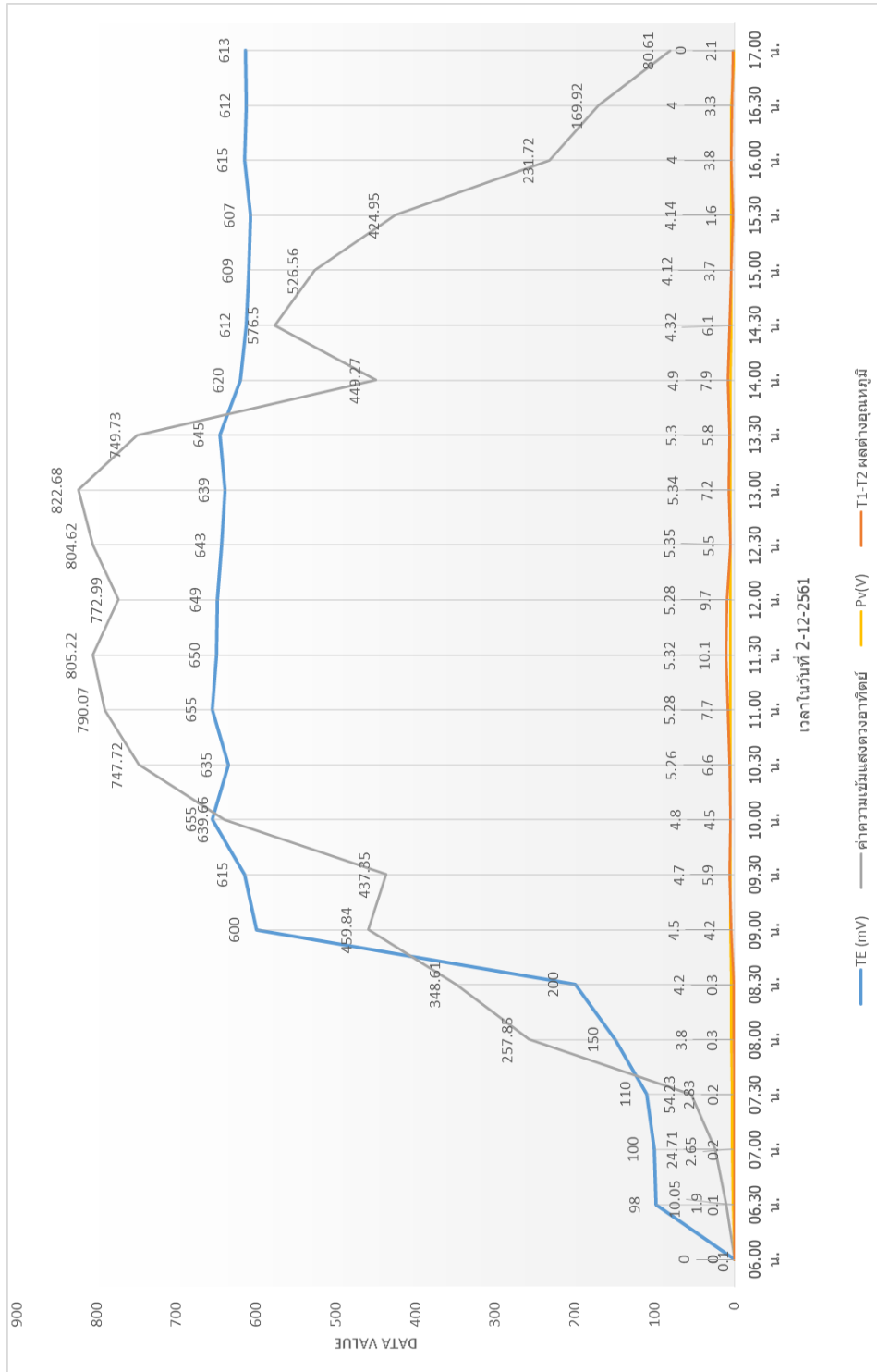
ภาพที่ 90 ผลการทดสอบวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v
 ต่อกับ วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V
 แปลงเป็น 24 V กรณีแรงดันอินพุต 1 V



ภาพที่ 91 ผลการทดสอบวงจรบรูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5V
ต่อกับ วงจรบรูสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V
แปลงเป็น 24 V กรณีแรงดันอินพุต 2-24 V

ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกกรณีร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการผลิตไฟฟ้ารวมกันระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเทอร์โมอิเล็กทริกโดยทำการติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนเข้ากับด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะไม่ทำการติดตั้ง Heat sink ทำการทดสอบในช่วงเวลา 6.00 น. ถึง 17.00 น. ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วง 0 – 900 W/m² ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่ารังสีอาทิตย์ในช่วงดังกล่าวสามารถทำให้เกิดค่าผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้สูงสุดประมาณ 10 °C ทำให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตไฟฟ้าที่มีค่าความต่างศักย์สูงสุดประมาณ 660 mV และให้ค่ากระแสสูงสุดประมาณ 0.1 A ในขณะเดียวกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าที่มีค่าความต่างศักย์สูงสุดประมาณ 5.4 V และให้ค่ากระแสสูงสุดประมาณ 0.6 A ซึ่งผลการทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 92



ภาพที่ 92 ผลการทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานร่วมระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเทอร์โมอิเล็กทริก

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดสำหรับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายกำลังต่ำต้นแบบในงานวิจัยนี้พบว่าการใช้กังหันลมขนาดจิ๋วทั้งแบบแกนตั้งและแกนนอนยังคงผลิตไฟฟ้าได้ไม่ด้นกเนื่องจากในพื้นที่ทดสอบมีสภาพแวดล้อมที่มีความเร็วลมค่อนข้างต่ำจึงไม่เหมาะที่จะใช้กับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานต้นแบบนี้ ในทางกลับกันการใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับวงจรรูสคอนเวอร์เตอร์สามารถผลิตไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการและสามารถใช้ชาร์จแบตเตอรี่ได้เป็นอย่างดี และจากการทดสอบติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกและวงจรรูสคอนเวอร์เตอร์ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ผลการผลิตไฟฟ้าได้ตามต้องการจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดที่ประกอบจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก วงจรรูสคอนเวอร์เตอร์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานให้อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายกำลังต่ำที่ติดตั้งในถิ่นทุรกันดารได้เป็นอย่างดี



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาการทดสอบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานทดแทนแบบผสมผสานขนาดจิ๋ว โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ 2) การทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลม และ 3) การทดสอบประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W และขนาด 10 W โดยการใช้เครื่องกำเนิดแสงหรือ Solar simulator ในการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีการวัดค่าความเข้มแสงที่ต่างกันเริ่มตั้งแต่ 50 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1,000 W/m² และมีการวัดแรงดันไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ รุ่น PROVA-210 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.5 W โดยการทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุด เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.5 W ที่ทดสอบที่ความเข้มแสง 100-600 W/m² สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 6.15 V ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 W โดยการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุด เซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 10 W ที่ทดสอบที่ความเข้มแสง 100-600 W/m² ทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 19.17 V

2. จากการทดสอบกังหันลมทั้งสองรูปแบบ เพื่อใช้ทดสอบภายในอุโมงค์ลมจำลองในอัตราความเร็วลมคงที่ ที่ระยะวางกังหันลมที่ 0.4 0.8 1.2 m พบว่า จากการทดสอบกังหันลมแนวตั้ง กังหันลมแนวนอน ทดสอบการทำงานของทั้งสองรูปแบบ พบว่ากังหันลมแนวนอน สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ในแต่ละระยะการวางกังหันลมที่ระยะ 0.4 m ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.33 m/s ผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 6.06 V ที่ระยะ 0.8 m ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.34 m/s ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เฉลี่ย 5.81 V และที่ระยะ 1.2 m ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.29 m/s ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้เฉลี่ย 5.58 V ลองลงมาคือ กังหันลมแนวตั้ง สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ ในแต่ละระยะการวางกังหันลมที่ระยะ 0.4 m ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.32 m/s ผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 0.78 V ที่ระยะ 0.8 m ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.28 m/s ผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 0.57 V และที่ระยะ 1.2 m ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3.23 m/s ผลิตแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 0.54 V

3. การทดสอบของเทอร์โมอิเล็กทริกทั้งสองแบบ โดยจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พร้อมการทดสอบที่ผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 5 10 15 20 25 30 35 40 และ 45 °C ตามลำดับ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่เทอร์โมอิเล็กทริก (TEC1-12710) ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเกิดขึ้นที่ผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ

45°C แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 4.69 V ส่วนเทอร์โมอิเล็กทริก(TEC1-12706) สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดอยู่ที่ผลต่างอุณหภูมิเท่ากับ 45°C แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 0.99 V

4. การทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้สำหรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์โดยทำการทดสอบวงจร 2 ชนิด คือ 1) วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9 - 5 V แปลงเป็น 5 V และ 2) วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ input 2-24 V แปลงเป็น 24 V พบว่าวงจรทั้งสองแบบที่ทำการออกแบบสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกได้สูงพอที่จะทำการชาร์จให้กับแบตเตอรี่ของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานต้นแบบได้

5. การทดสอบการผลิตไฟฟ้ารวมกันระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทำการติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนเข้ากับด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกจะไม่ทำการติดตั้ง Heat sink ทำการทดสอบในช่วงเวลา 6.00 น. ถึง 17.00 น. ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วง 0 - 900 W/m² ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่ารังสีอาทิตย์ในช่วงดังกล่าวสามารถทำให้เกิดค่าผลต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกได้สูงสุดประมาณ 10 °C ทำให้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตไฟฟ้าที่มีค่าความต่างศักย์สูงสุดประมาณ 660 mV และให้ค่ากระแสสูงประมาณ 0.1 A ในขณะเดียวกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าที่มีค่าความต่างศักย์สูงสุดประมาณ 5.4 V และให้ค่ากระแสสูงประมาณ 0.6 A

ข้อเสนอแนะ

1. ควรให้มีการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงตามธรรมชาติ ทั้งในวันที่ท้องฟ้าโปร่งใส และวันที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก เพื่อจะสามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

2. ควรมีการทดสอบกักเก็บพลังงาน กับลมตามธรรมชาติ ที่ระดับความสูงที่ต่างกัน เพื่อให้ได้พลังงานที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้จริงที่สุดควรมีการทดสอบการใช้งานจริงของอุปกรณ์ทั้ง 3 ประเภทกับระบบกักเก็บพลังงานขนาดจิว

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2546. **โครงการจัดทำแผนที่แหล่งศักยภาพพลังงานลม**. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2551. **2007 Thailand Energy Statistics**. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- ไกลวัลย์ ครุฑกุล. 2551. ลมพลังงานยั่งยืนแห่งอนาคต. **วารสารรักษ์พลังงาน**, 53(12-17).
- จิระศักดิ์ สีนสุขอุดมชัย. 2557. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์แต่ละชนิด. **วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 1(1), 37-45.
- ธงชัย โชติวัฒนกานต์กุล และ ชัชชัย คุณบัว. 2556. เพียโซอิเล็กทริกในระบบเก็บเกี่ยวพลังงานสำหรับเซนเซอร์ไร้สาย. น. 195-201. ใน **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น**. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นฤชิต ธาระธนพล. 2553. เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์สำหรับอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย. **วารสารวิศวกรรม**, 21(1), 61-66.
- นิคม ผึ้งคำ. 2551. **การเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยระบบหล่อเย็น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิพนธ์ เกตุจ้อย. 2547. เทคโนโลยีพลังงานลม. **Naresuan University Journal**, 12(2), 57-73.
- ประภาพิทธิ์ บุญหล้า และ นุชิตา สุวแพทย์. 2556. การระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัส. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับพิเศษ การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ครั้งที่ 9**, กันยายน(381-387).
- Choi, Young-Kwan. 2014. A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact. **International Journal of Software Engineering and its Applications**, 8(1), 75-84.
- Fadaee, M. & Radzi, M.A.M. 2012. Multi-objective optimization of a stand-alone hybrid renewable energy system by using evolutionary algorithms: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16(5), 3364-3369.
- Jugsujinda, S., Jugsujinda, P. & Seetawan, T. 2012. The Derivation of Efficiency Equation of the Prototype of Pico Wind Turbine Produces the Electricity. **Procedia Engineering**, 32(994-999).

- Moharram, K. A., Abd-Elhady, M. S., Kandil, H. A. & El-Sherif, H. 2013. Influence of cleaning using water and surfactants on the performance of photovoltaic panels. **Energy Conversion and Management**, 68(266-272).
- Nizžetić, S., Coko, D., Yadav, A. & Grubisic-Cabo, F. 2016. Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response. **Energy Conversion and Management**, 108, 287-296.
- Subrahmanyam, J.B.V., Sahoo, P.K. & Madhukar, R. 2012. Local PV-Wind Hybrid System Development for Supplying Electricity to Industry. **ACTA Electrotehnica**, 53(1), 10-15.
- Tabassum, S., Rahaman, M., Bashar, M., Islam, S., Sharmin, A., Yousuf, I. A., Hoque, A., Mahbub, N., Khatun, S. & Khanam, M. 2015. Design and Analysis of Different Types of Rotors for Pico-Turbine. **Smart Grid and Renewable Energy**, 6, 141-147.





ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.5 W

การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.5 W			
ความเข้มแสง (W/m ²)	แรงดันไฟฟ้า (V)	อุณหภูมิหน้าแผง (°C)	อุณหภูมิหลังแผง (°C)
50	5.806	34.2	32.5
50	5.716	34.5	32.4
50	5.786	34.7	32.7
50	5.78	35.1	33.1
50	5.677	35.2	33.2
100	6.038	36.2	35.2
100	5.874	36.3	35.4
100	6.027	36.7	35.8
100	6.022	36.8	36
100	6.017	37.2	36.3
200	6.326	37.8	37
200	6.298	38.2	37.5
200	6.291	38.2	37.5
200	6.285	38.5	37.3
200	6.277	38.9	37.8
300	6.247	44.8	43.9
300	6.241	45.2	44
300	6.23	45.6	44.6
300	6.218	45.7	44.9
300	6.212	46.2	45.8
400	6.146	54.2	52.2
400	6.142	54.8	52.6
400	6.136	54.9	53.6
400	6.129	55.2	54.2
400	6.124	55.7	54.4
500	6.085	58.8	57.8
500	6.082	59.2	58.1
500	6.072	59.9	58.8
500	6.067	60.5	58.9
500	6.062	60.7	59.4

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

การทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2.5 W			
ความเข้มแสง (W/m^2)	แรงดันไฟฟ้า (V)	อุณหภูมิหน้าแผง (°C)	อุณหภูมิหลังแผง (°C)
600	6.087	65.6	64.7
600	6.071	65.8	65
600	6.061	66.2	65.3
600	6.043	66.9	65.7
600	6.028	66.9	65.8
700	5.933	68.3	66.5
700	5.926	68.7	67.4
700	5.919	69.4	67.7
700	5.914	69.7	68.2
700	5.908	69.7	68.4
800	5.928	74.2	72.8
800	5.907	74.8	72.8
800	5.891	75.2	73.5
800	5.881	75.7	74
800	5.866	75.9	74.4
900	5.803	75.8	75.1
900	5.794	76.2	75.3
900	5.789	76.7	75.8
900	5.783	76.9	75.9
900	5.777	77.5	76.2
1,000	5.786	77.6	76.5
1,000	5.772	77.9	76.7
1,000	5.762	78.2	77.4
1,000	5.755	78.6	77.8
1,000	5.747	78.9	78.2

ตารางผนวกที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ระยะ 40 cm

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ระยะ 40 cm					
แถวที่ 1		แถวที่ 2		แถวที่ 3	
แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s
8.35	3.8	5.48	3.1	8.67	3.9
7.97	4.2	5.53	3.8	7.68	4.4
7.67	4.2	5.42	3.8	7.94	4.4
7.94	4.2	5.23	3.8	8.17	4.4
8.01	4.2	5.14	3.8	7.57	4.4
5.61	2.3	0	0.4	5.83	3.7
4.96	2.9	0	0.5	5.9	3.3
5.24	2.8	0	0.5	6.17	3.3
5.53	2.7	0	0.5	6.11	3.3
5.44	2.6	0	0.5	6.8	3.3
7.44	1.7	5.3	2.1	8.44	4.3
7.48	2.7	5.09	2.9	8.16	5
7.56	2.3	5.68	3.2	8.58	5
7.69	2.6	5.78	3.3	8.7	5
7.25	2.8	5.55	3.3	9.01	5

ตารางผนวกที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ระยะ 80 cm

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ระยะ 80 cm					
แถวที่ 1		แถวที่ 2		แถวที่ 3	
แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s
8.68	4.4	6.5	3.9	7.74	4.3
8.51	4.5	6.38	3.8	7.66	4.7
8.76	4.5	6.92	3.6	7.82	4.6
8.72	4.4	6.18	3.6	7.97	4.6
8.78	4.4	6.08	3.6	8.05	4.6
6.11	3.4	1.32	1.8	4.91	2.9
6.03	3.5	1.27	1.6	4.62	3.3
6.06	3.5	1.16	2	4.56	3.3
6.11	3.5	0.88	1.5	4.63	3.3
5.98	3.5	1.04	1.6	4.86	3.3
6.9	3.9	4.99	3	5.81	3.4
6.81	3.8	5.48	3	5.43	3.5
6.39	3.7	5.37	2.9	5.05	3.6
6.3	3.7	5.49	2.9	5.4	3.6
6.61	3.7	5.46	2.9	5.69	3.6

ตารางผนวกที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ระยะ 120 cm

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนนอนที่ระยะ 120 cm					
แถวที่ 1		แถวที่ 2		แถวที่ 3	
แรงดันไฟฟ้า	ความเร็วลม	แรงดันไฟฟ้า	ความเร็วลม	แรงดันไฟฟ้า	ความเร็วลม
(V)	m/s	(V)	m/s	(V)	m/s
6.37	3.7	6.02	3.3	5.75	3.2
6.62	3.8	5.9	3.4	5.82	3.7
6.89	3.8	5.82	3.5	5.79	3.7
6.9	3.8	5.51	3.4	5.84	3.7
7.03	3.8	5.72	3.4	5.92	3.7
6.56	3.2	1.62	1.5	4.69	3.4
6.62	3.5	1.59	1.6	4.8	3.5
6.52	3.6	1.82	1.7	4.72	3.5
6.44	3.6	1.61	1.8	4.68	3.4
6.49	3.6	1.62	1.5	4.5	3.4
7.09	3.7	6.05	3.1	5.86	3.4
6.96	3.7	6.12	3.2	5.8	3.5
6.88	3.6	6.1	3.3	5.79	3.6
7.11	3.6	6.24	3.2	5.9	3.5
7.04	3.6	6.17	3.2	6.02	3.5

ตารางผนวกที่ 5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ระยะ 40 cm

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ระยะ 40 cm					
แถวที่ 1		แถวที่ 2		แถวที่ 3	
แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s
0.57	2.1	0.89	2.7	1.08	3.9
0.61	2	0.8	2.8	1.3	4.6
0.69	2	0.83	2.9	1.24	4.6
0.66	2	0.78	3	2.28	4.6
0.62	2	0.74	3	1.22	4.6
0	2.7	0	1.2	1.19	4.4
0	2.8	0	1.1	1.32	4.4
0	2.7	0	1	1.23	4.3
0	2.8	0	0.9	1.19	4.3
0	2.8	0	0.8	1.15	4.3
0.64	4.4	0.89	3.2	1.37	4.4
0.61	3.6	1.02	3.2	1.34	4.4
0.71	3.7	0.96	3.2	1.39	4.4
0.67	3.7	0.85	3.2	1.36	4.4
0.72	3.7	0.91	3.2	1.34	4.4

ตารางผนวกที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ระยะ 80 cm

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ระยะ 80 cm					
แถวที่ 1		แถวที่ 2		แถวที่ 3	
แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s
0.54	4.6	0.59	3.5	0.8	4.3
0.51	4.6	0.66	3.5	0.78	4.8
0.49	4.7	0.55	3.5	0.64	4.9
0.5	4.7	0.58	3.5	0.82	4.9
0.48	4.7	0.6	3.5	0.68	4.9
0	2.7	0	1.4	0.65	3.1
0	3.3	0	1.5	0.71	3.1
0	3.3	0	1.4	0.68	3.2
0	3.3	0	1.4	0.65	3.3
0	3.3	0	1.4	0.66	3.3
0.74	3.8	0.42	2.9	1.02	3.1
0.68	3.8	0.44	2.9	0.81	3.5
0.72	3.8	0.63	2.9	0.83	3.5
0.74	3.9	0.55	2.9	1	3.5
0.75	3.9	0.61	2.9	0.92	3.4

ตารางผนวกที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ระยะ 120 cm

จากการทดสอบประสิทธิภาพของกังหันลมแนวแกนตั้งที่ระยะ 120 cm					
แถวที่ 1		แถวที่ 2		แถวที่ 3	
แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s	แรงดันไฟฟ้า (V)	ความเร็วลม m/s
0.68	3.3	0.45	3.4	0.51	3.7
0.7	3.8	0.48	3.7	0.58	3.7
0.71	3.8	0.53	3.7	0.52	3.8
0.69	3.8	0.51	3.7	0.53	3.7
0.66	3.9	0.5	3.7	0.46	3.7
0	3.6	0	2.3	0.68	3.3
0	3.6	0	2.2	0.71	3.4
0	3.6	0	2.1	0.76	3.5
0	3.6	0	1.9	0.82	3.6
0	3.6	0	1.9	0.81	3.6
0.84	3.7	0.9	3.3	0.62	3.5
0.8	3.8	0.92	3.4	0.69	3.4
0.82	3.7	0.91	3.5	0.71	3.4
0.87	3.7	0.87	3.5	0.73	3.4
0.88	3.8	0.89	3.6	0.69	3.4

ตารางผนวกที่ 8 ผลการทดสอบการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก

การทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริก			
เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12710		เทอร์โมอิเล็กทริก TEC1-12706	
ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	แรงดันไฟฟ้า (V)	ผลต่างอุณหภูมิ (°C)	แรงดันไฟฟ้า (V)
0	0.01	0	0.01
5	1.15	5	0.12
10	1.87	10	0.2
15	2.53	15	0.3
20	2.91	20	0.38
25	3.6	25	0.49
30	3.75	30	0.56
35	4.03	35	0.67
40	4.34	40	0.8
45	4.69	45	0.99

ตารางผนวกที่ 9 ผลการทดสอบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 1 V

โวลต์ อินพุต V	กระแสอินพุต I (mA)	กำลังอินพุต P(mW)	โหลด R Ω	กระแสเอาต์พุต I (mA)	โวลต์เอาต์พุต V (V)	กำลังงานเอาต์พุต P(mV)
1	22	22	∞	0.5	5.1	2.55
1	38	38	2000	2.5	5.08	12.7
1	40	40	1820	2.8	5.08	14.224
1	43	43	1620	3.1	4.99	15.469
1	45	45	1500	3.4	4.6	15.64
1	46	46	1200	3.5	1.5	5.25

ตารางผนวกที่ 10 ผลการทดสอบวงจรบรูสคอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 2 V

โวลต์ อินพุต V	กระแสอินพุต I (mA)	กำลังอินพุต P(mW)	โหลด R Ω	กระแสเอาต์พุต I (mA)	โวลต์เอาพุต V (V)	กำลังงานเอาพุต P(mV)
2	16	32	∞	0.5	5.13	2.565
2	25	50	1500	3.5	5.1	17.85
2	28	56	1300	4	5.1	20.4
2	30	60	1000	5	5.08	25.4
2	33	66	820	6	5.06	30.36
2	40	80	620	8	5.03	40.24
2	55	110	390	12.5	4.7	58.75
2	60	120	350	14	1.9	26.6

ตารางผนวกที่ 11 ผลการทดสอบวงจรบรูสคอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 3 V

โวลต์ อินพุต V	กระแสอินพุต I (mA)	กำลังอินพุต P(mW)	โหลด R Ω	กระแสเอาต์พุต I (mA)	โวลต์เอาพุต V (V)	กำลังงานเอาพุต P(mV)
3	5	15	∞	0.5	5.15	2.575
3	16	48	1000	5.5	5.1	28.05
3	18	54	820	6	5.08	30.48
3	21	63	620	8	5.04	40.32
3	26	78	500	9.8	5	49
3	41	123	300	16	4.7	75.2
3	47	141	150	19	1.9	36.1

ตารางผนวกที่ 12 ผลการทดสอบวงจรบรูสกอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 4 V

โวลต์ อินพุต V	กระแสอินพุต I (mA)	กำลังอินพุต P(mW)	โหลด R Ω	กระแสเอาต์พุต I (mA)	โวลต์เอาต์พุต V (V)	กำลังงานเอาต์พุต P(mV)
4	2.5	10	∞	2.5	5.2	13
4	19	76	500	10	5.12	51.2
4	23	92	400	12.5	5.08	63.5
4	30	120	300	16	5.04	80.64
4	44	176	200	26	4.9	127.4
4	56	224	100	36	4.5	162
4	65	260	80	45	2.2	99

ตารางผนวกที่ 13 ผลการทดสอบวงจรบรูสกอนเวอร์เตอร์กรณีใช้แรงดันอินพุต 5 V

โวลต์ อินพุต V	กระแสอินพุต I (mA)	กำลังอินพุต P(mW)	โหลด R Ω	กระแสเอาต์พุต I (mA)	โวลต์เอาต์พุต V (V)	กำลังงานเอาต์พุต P(mV)
5	2	10	∞	5	5.53	27.65
5	30	150	300	17	5.3	90.1
5	42	210	200	30	5.14	154.2
5	80	400	100	55	5.05	277.75
5	110	550	75	70	4.7	329
5	125	625	50	85	2.2	187

ตารางผนวกที่ 14 ผลการทดสอบวงจรบรูสกอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v ต่อกับ วงจรบรูสกอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V แปลงเป็น 24 V กรณีแรงดันอินพุต 1 V

โวลต์ อินพุต V	กระแสอินพุต I (mA)	กำลังอินพุต P(mW)	โหลด R Ω	กระแสเอาต์พุต I (mA)	โวลต์เอาต์พุต V (V)	กำลังงานเอาต์พุต P(mV)
1	0	0	30000	9.3	24.9	231.57
1	0	0	25000	11.5	24.5	281.75
1	0	0	20000	13.1	24	314.4
1	0	0	15000	14.6	23.9	348.94
1	0	0	14700	15.6	22	343.2
1	0	0	12000	16.5	5	82.5

ตารางผนวกที่ 15 ผลการทดสอบวงจรบรูสคอนเวอร์เตอร์ input 0.9-5v ต่อกับ วงจรบรูสคอนเวอร์เตอร์ input 2 to 24 V แปลงเป็น 24 V กรณีแรงดันอินพุต 2-24 V

โวลต์อินพุต V	กระแสอินพุต I (mA)	กำลังอินพุต P(mW)	โหลด R Ω	กระแสเอาต์พุต I (mA)	โวลต์เอาต์พุต V (V)	กำลังงานเอาต์พุต P(mW)
2	0	0	30000	7.5	24.9	186.75
2	0	0	28000	8	24	192
2	0	0	26800	8.5	24	204
2	0	0	25000	9.5	23.9	227.05
2	0	0	20000	11.7	23.5	274.95
2	0	0	15000	13	5	65

ตารางผนวกที่ 16 ผลการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกกรณีร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Time	Pv (A)	TE (A)	Pv (V)	TE (mV)	T ₁ (C)	T ₂ (C)	ผลต่างอุณหภูมิ	I _A (W/m ²)
06.00 น.	0	0	0	0	20.9	20.8	0.1	0
06.30 น.	0.1	0	1.9	98	21.5	21.4	0.1	10.05
07.00 น.	0.12	0	2.65	100	21.9	21.7	0.2	24.71
07.30 น.	0.28	0	2.83	110	22.6	22.4	0.2	54.23
08.00 น.	0.29	0	3.8	150	23.8	23.5	0.3	257.85
08.30 น.	0.32	0.05	4.2	200	25	24.7	0.3	348.61
09.00 น.	0.38	0.06	4.5	600	36	31.8	4.2	459.84
09.30 น.	0.45	0.07	4.7	615	45	39.1	5.9	437.35
10.00 น.	0.5	0.08	4.8	655	54	49.5	4.5	639.66
10.30 น.	0.54	0.08	5.26	635	61.4	54.8	6.6	747.72
11.00 น.	0.56	0.1	5.28	655	64.9	57.2	7.7	790.07
11.30น.	0.52	0.08	5.32	650	65.9	55.8	10.1	805.22
12.00 น.	0.51	0.08	5.28	649	64.4	54.7	9.7	772.99
12.30 น.	0.5	0.08	5.35	643	60.1	54.6	5.5	804.62

ตารางผนวกที่ 16 (ต่อ)

Time	Pv (A)	TE (A)	Pv (V)	TE (mV)	T ₁ (C)	T ₂ (C)	ผลต่างอุณหภูมิ	I _A (W/m ²)
13.00 น.	0.51	0.08	5.34	639	60.3	53.1	7.2	822.68
13.30 น.	0.49	0.08	5.3	645	59.9	54.1	5.8	749.73
14.00 น.	0.45	0.07	4.9	620	57.7	49.8	7.9	449.27
14.30 น.	0.4	0.07	4.32	612	53.2	47.1	6.1	576.5
15.00 น.	0.36	0.06	4.12	609	49.3	45.6	3.7	526.56
15.30 น.	0.3	0.05	4.14	607	45.7	44.1	1.6	424.95
16.00 น.	0.29	0.05	4	615	42.1	38.3	3.8	231.72
16.30 น.	0	0	4	612	39.8	36.5	3.3	169.92
17.00 น.	0	0	0	613	37.4	35.3	2.1	80.61

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายอรุณ ศิริภัทรวรินทร์
เกิดเมื่อ	9 มีนาคม 2502
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2540 วิศวกรรมไฟฟ้า ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2524-ปัจจุบัน วิศวกร ระดับ 10 กองวิศวกรรมและวางแผน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่

