

การวิเคราะห์ผลที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปทรงพื้นที่ติดตั้ง
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

วสันต์ จันทร์น้อย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้



1140632611

MJU iThesis 5815401018 thesis / recv: 12062563 10:31:05 / seq: 16

การวิเคราะห์ผลที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปทรง
พื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

วสันต์ จันทร์น้อย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล)

วันที่ 12 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 2563

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ ชนะถาวร)

วันที่ 12 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 2563

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน)

วันที่ 12 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 2563

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรนศ ไชยชนะ)

วันที่ 12 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 2563

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่ 12 เดือน มิ.ย. พ.ศ. 2563



ชื่อเรื่อง	การวิเคราะห์ลมที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปทรงพื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย
ชื่อผู้เขียน	นายวสันต์ จันทร์น้อย
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล

บทคัดย่อ

รูปทรงของการจัดเรียงแผงแบบติดตั้งบนพื้นดินโดยทั่วไปมักจะถูกจำกัดการจัดเรียงด้วยพื้นที่การติดตั้งด้วยรูปทรงต่าง ๆ และการจัดเรียงรูปทรงของแผงถูกประเมินในเรื่องของค่าความสูญเสียในสายไฟฟ้าเท่านั้น สัดส่วนของความสูญเสียในสายไฟฟ้ายังมีสัดส่วนที่น้อยกว่า ความสูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผงที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยตรง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการเปรียบเทียบรูปทรงที่ต่างกัน 3 รูปทรงที่ติดตั้งในพื้นที่เดียวกันของโครงการโซลาร์โกอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม เพื่อหาความสัมพันธ์ของรูปทรงที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิแผง หรือการระบายความร้อนของกลุ่มแผง 2 กรณี กรณีที่ 1 เมื่อได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากด้านทิศเหนือ-ใต้ ซึ่งพบว่าค่าพลังงานสูญเสียเนื่องจากความร้อนของรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูน้อยกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า 2.12% และรูปทรงหลายเหลี่ยม 2.5% เนื่องจากพื้นที่ด้านหน้าแผงของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีพื้นที่รับลมที่พัดมาจากทางด้านทิศใต้ได้มากที่สุด และกรณีที่ 2 เมื่อได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้อยู่ในแนวการจัดเรียงแผง พบว่า รูปสี่เหลี่ยมคางหมูด้านต้นลมมีค่าพลังงานสูญเสียเนื่องจากความร้อนน้อยกว่า รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ถูกจัดวางตรงกลาง 0.18% และน้อยกว่ารูปทรงหลายเหลี่ยมด้านที่อยู่ปลายลม 0.7% ด้วยหลักการนี้ สามารถนำไปออกแบบสำหรับจัดเรียงแผงในอนาคตให้ด้านหน้าแผงรับลมได้มากที่สุด ซึ่งจะช่วยให้ลดความสูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผงได้ และกลุ่มแผงที่ถูกจัดเรียงในพื้นที่เดียวกัน ควรจะจัดเรียงให้กลุ่มแผงตั้งฉากกับทิศทางลม เพื่อเพิ่มพื้นที่สำหรับการระบายความร้อนให้กับแผงสำหรับโครงการโซลาร์ฟาร์มที่ติดตั้งบนพื้นดิน ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้น 3.4%

คำสำคัญ : รูปทรง, ทิศทางลม, อุณหภูมิแผง, จุดเซนทรอยด์



Title	WIND EFFECT ANALYSIS ON THE SOLAR PANEL TEMPERATURE FROM INSTALLATION AREA SHAPE OF SOLAR POWER PLANT IN THAILAND
Author	Mr. Wasun Junnoi
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Yingrak Auttawaitkul

ABSTRACT

Generally, the form of panel arrangement of the ground installation type often be limited to the arrangement in the form of various shapes. The shape arrangement of the panels is assessed only terms of lose value in the electric wire. The proportion of loss in the electric wire which is less than the loss since the heat at the panels has a direct effect on the efficiency in the panel temperature. This study proposes a compassion of 3 different shapes installed in the same area of the Solarco project at Banglen district, Nakhon Pathom province. It aims to find a relationship of the shape having an effect on the panel temperature. In other words, there are two cases of heat ventilation of the panel group: 1) influence of the wind blowing in the north-south direction. It is found that the value of loss energy due to heat of the trapezoid is less than that of the rectangle for 2.12 percent and the congruent polygon shape for 2.5 percent. This is because the panel front area trapezoid had an area receiving the wind blowing from the south most. 2) Influence of the wind blowing from the southwest which is in the same line as the panel arrangement. It is found that the trapezoid at the windward has less value of loss energy duce to heat than that of the rectangle arranged to be at the middle for 0.18 percent. Also, it is less than the congruent polygon shape at the leeward for 0.7 percent. Due to this principle, it can be used for the arrangement in the future which the front panel can receive the wind most, results in the reduction of loss, Also, the panel group arranged in the same area should be vertical with the wind direction.



This aims to increase an area for heat ventilation to the panel installed on the ground. Besides, the efficiency in electrical generating from the solar cell will increase for 3.4 percent.

Keywords : Shape, wind direction, solar panel temperature, centroid



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับคำชี้แนะที่มีคุณค่าเป็นอย่างยิ่งจากคณาจารย์หลายท่าน

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรัช อรรถเวชกุล ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ช่วยตรวจสอบความเหมาะสม ความเรียบร้อยของเนื้อหางานวิจัย ให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องและปัญหาต่างๆ ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาภรณ์ ชนะถาวร วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน รองคณบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงใหม่ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยแนะนำและช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณบริษัทโซลาร์โก จำกัด และ บริษัทฮอติลไทยวิศวกรรม จำกัด ที่อนุเคราะห์ข้อมูลของโครงการ เพื่อใช้ประกอบงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลายท่านที่ได้กล่าวชื่อในครั้งนี้ เจ้าหน้าที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ทุกท่านที่ให้ความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย รวมถึงเพื่อน และญาติมิตรทุกท่านที่ไม่สามารถจะกล่าวไว้ในที่นี้ได้หมด สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจเสมอมา คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

วสันต์ จันทร์น้อย



1140632611

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโดยรอบกับแสงอาทิตย์ที่มีผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.4 ลมธรรมชาติ.....	12
2.4.1 ทิศทางของลม	13
2.4.2 ความเร็วลม	13
2.4.3 ลมที่สำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย	13
2.4.4 การเคลื่อนที่ของลม	16
2.5 การพาความร้อน.....	20

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	26
3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยของโครงการ	26
3.1.1 ศึกษาพื้นที่และรูปทรงของโครงการ.....	26
3.1.2 ศึกษาตำแหน่งจุดตรวจวัดสภาพอากาศและอุปกรณ์สำหรับตรวจวัด	27
3.2 การคำนวณหาความแตกต่างของรูปทรงด้วยการหาจุดเซนทรอยด์.....	30
3.3 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิแผงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัฒมาจากด้านทิศเหนือ-ใต้	33
3.4 การวิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิแผงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้เทียบกับทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้	36
3.5 การวิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิแผงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้กับระยะห่างของรูปทรงที่จัดเรียงในแนวเดียวกัน	37
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	38
4.1 ผลการหาจุดเซนทรอยด์ของโครงการ	38
4.2 ผลทิศทางลมและความเร็วลมของโครงการตลอดทั้งปี.....	51
4.3 ผลแสดงย่านแสงแดดที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า	55
4.4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมที่พัฒมาจากด้านทิศใต้กับทิศเหนือโดยทั้ง 3 โครงการแยกอิสระต่อกัน	55
4.5 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้กับทิศตะวันออกเฉียงใต้	61
4.6 หาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างโครงการที่มีการจัดเรียงตามแนวทิศทางลม	64
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก.....	70



ภาคผนวก ก การนำเสนอผลงานวิชาการ	71
ประวัติผู้วิจัย.....	100



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 คำสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลบางชนิด	20
ตารางที่ 2 จุดศูนย์กลางทางเรขาคณิตของแต่ละโครงการ	38
ตารางที่ 3 การวิเคราะห์หาจุดเซนทรอยด์ของไทรเพเซอร์ 1	39
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์หาจุดเซนทรอยด์ของไทรเพเซอร์ 2	43
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์หาจุดเซนทรอยด์ของไทรเพเซอร์ 3	47



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แผนภาพการสูญเสียทั้งระบบ	3
ภาพที่ 2 แผนที่ตั้งกยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่าง ๆ	6
ภาพที่ 3 วัสดุประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก	7
ภาพที่ 4 โครงสร้างเซลล์และส่วนประกอบแผง	8
ภาพที่ 5 การต่อวงจรแบบต่าง ๆ	9
ภาพที่ 6 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)	10
ภาพที่ 7 กราฟกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิและความเข้มแสงต่างกัน	10
ภาพที่ 8 ทิศทางของลมที่ระบุตามองศาที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน	13
ภาพที่ 9 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมทะเล	14
ภาพที่ 10 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมบก	15
ภาพที่ 11 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมหุบเขา	15
ภาพที่ 12 ลมหุบเขาและลมภูเขา	16
ภาพที่ 13 การหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลองวงจรเดียว	17
ภาพที่ 14 การหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลอง 3 วงจร	18
ภาพที่ 15 ลมผิวพื้นและระบบความกดอากาศ	18
ภาพที่ 16 ผลการทดสอบเทียบระหว่างการติดตั้งจริงและการจำลอง	22
ภาพที่ 17 ผลการทดสอบเทียบระหว่างการติดตั้งบนพื้นดินกับการติดตั้งบนหลังคา	22
ภาพที่ 18 ภาพการทดสอบ	23
ภาพที่ 19 ความเร็วลมที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	24
ภาพที่ 20 โครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โซลาร์โก	27
ภาพที่ 21 แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์	28



1140632611

ภาพที่ 22 เครื่องวัดความเร็วลมและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแสง.....	28
ภาพที่ 23 ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอากาศ.....	29
ภาพที่ 24 ภาพด้านบนของตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดลม อุณหภูมิ และความเข้มแสง... ..	29
ภาพที่ 25 รายละเอียดในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดลม อุณหภูมิ และความเข้มแสง.....	30
ภาพที่ 26 การติดตั้งโครงสร้างสำหรับรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	30
ภาพที่ 27 PV array ที่จัดเรียงในพื้นที่โครงการโทรเพชร 1 ลักษณะสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน.....	32
ภาพที่ 28 PV array ที่จัดเรียงในพื้นที่โครงการโทรเพชร 2 ลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	32
ภาพที่ 29 PV array ที่จัดเรียงในพื้นที่โครงการโทรเพชร 3 ลักษณะรูปทรงหลายเหลี่ยม	33
ภาพที่ 30 ลมพัดจากด้านทิศเหนือ - ใต้ ของโทรเพชร 1 รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู.....	34
ภาพที่ 31 ลมพัดจากด้านทิศเหนือ - ใต้ ของโทรเพชร 2 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า	34
ภาพที่ 32 ลมพัดจากด้านทิศเหนือ - ใต้ ของโทรเพชร 3 รูปทรงหลายเหลี่ยม.....	35
ภาพที่ 33 ลมที่พัดจากด้านทิศเหนือและใต้.....	35
ภาพที่ 34 ลมที่พัดจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงใต้.....	36
ภาพที่ 35 ลมพัดจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้	37
ภาพที่ 36 ข้อมูลทิศทางลมเฉลี่ยโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พ.ศ. 2558	51
ภาพที่ 37 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พ.ศ. 2558.....	51
ภาพที่ 38 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยโครงการโทรเพชร 1	52
ภาพที่ 39 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยโครงการโทรเพชร 2	53
ภาพที่ 40 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ย โครงการโทรเพชร 3	54
ภาพที่ 41 ย่านแสงแดดที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า	55
ภาพที่ 42 อุณหภูมิแสงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทางด้านทิศเหนือ-ใต้ ของโทรเพชร 1 รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู.....	56
ภาพที่ 43 คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความร้อนของแสงจากลมที่พัดจากทิศเหนือ เทียบกับลมที่พัดมาจากด้านทิศใต้ของโทรเพชร 1 รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู.....	57



ภาพที่ 44 อุณหภูมิแก๊สที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทางด้านทิศเหนือ-ใต้ ของไทรเพชร 2 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	57
ภาพที่ 45 คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความร้อนของแก๊ส จากลมที่พัดจากทิศเหนือ เทียบกับลมที่พัดมาจากด้านทิศใต้ ของไทรเพชร 2 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า	58
ภาพที่ 46 อุณหภูมิแก๊สที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทางด้านทิศเหนือ-ใต้ ของไทรเพชร 3 รูปทรงหลายเหลี่ยม.....	58
ภาพที่ 47 คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความร้อนของแก๊ส จากลมที่พัดจากทิศเหนือ เทียบกับลมที่พัดมาจากด้านทิศใต้ ของไทรเพชร 3 รูปทรงหลายเหลี่ยม.....	59
ภาพที่ 48 รูปทรงของแต่ละโครงการทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิแก๊สแต่ละโครงการ.....	60
ภาพที่ 49 อุณหภูมิแก๊สที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ทั้ง 3 โครงการ ในช่วงความเร็วลม 1- 5 m/s	62
ภาพที่ 50 ค่าพลังงานสูญเสียไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนของแก๊สที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจาก ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ทั้ง 3 โครงการ ในช่วงความเร็วลม 1- 5 m/s.....	62
ภาพที่ 51 อุณหภูมิแก๊สที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ทั้ง 3 โครงการ ในช่วงความเร็วลม 1- 5 m/s	63
ภาพที่ 52 ค่าพลังงานสูญเสียไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนของแก๊สที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจาก ทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ทั้ง 3 โครงการ ในช่วงความเร็วลม 1- 5 m/s	63
ภาพที่ 53 ระยะห่างของจุดติดตั้งแต่ละโครงการ มีผลต่อของอุณหภูมิแก๊สที่จัดเรียงในแนวเดียวกับลม	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉลี่ย 18 MJ/M²/d (5.0 kWh/m²/d) ซึ่งเป็นพลังงานที่จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 ของกระทรวงพลังงาน (AEDP2015) ได้มีนโยบายส่งเสริมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน โดยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกหนึ่งนโยบายที่ตั้งเป้าหมายในปี 2579 สูงถึง 6,000 MW (กระทรวงพลังงาน, 2558) ทำให้ผู้สนใจทั้งหน่วยงานราชการ สหกรณ์ บริษัท ห้างร้าน และประชาชนทั่วไปสนใจที่จะลงทุนเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้า เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขายให้การไฟฟ้าทั้งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวงในการซื้อขายระบบ Feed in Tariff (FiT) ช่วงระยะเวลา 10 ปี

จากข้อมูลของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (ข้อมูลผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2559) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ที่มีการดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และจ่ายไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภทโซลาร์ฟาร์มเข้าระบบเชิงพาณิชย์ (COD : Commercial Operation Date) เป็นช่วงเวลาประมาณ 7-8 ปีที่มีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ศึกษาระบบโซลาร์ฟาร์มที่ติดตั้งในประเทศไทยอย่างจริงจัง ไม่ว่าจะเป็นการไฟฟ้าที่รับซื้อพลังงานไฟฟ้าต้องศึกษาระบบที่จะสามารถรับรองโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อที่จะจ่ายให้กับโหลดไฟฟ้าในพื้นที่ใกล้เคียง รวมถึงคุณภาพไฟฟ้าด้วย ธนาคารที่ปล่อยเงินกู้สำหรับผู้ลงทุน เพื่อที่จะศึกษาความเป็นได้ของแต่ละโครงการ (Feasibility) ผู้ลงทุนต้องศึกษาอย่างจริงจังเพื่อที่จะทำให้โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแล้วในระยะยาวเกิดประโยชน์สูงสุด รวมทั้งผู้รับเหมาในการติดตั้งที่จะต้องคำนึงในเรื่องของการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ติดตั้ง และเทคนิคเชิงวิศวกรรม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาของการจ่ายไฟให้การไฟฟ้า ดังนั้น ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดิน หรือโซลาร์ฟาร์มนั้นได้ถูกพัฒนาปรับปรุง ให้เหมาะสมสำหรับภูมิประเทศ และภูมิอากาศของประเทศไทยมาระดับหนึ่งแล้ว แต่อย่างไรก็ตามระบบโซลาร์ฟาร์มที่มีการเชื่อมต่อบริการผลิตไฟฟ้าไม่ว่าเป็นระบบขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ จำเป็นต้องคำนึงถึงสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศที่มีความสำคัญอย่างมากในการติดตั้งโรงไฟฟ้าในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งมีผลโดยตรงกับประสิทธิภาพในการผลิตหรือสมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าที่จะทำให้ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด โดยปัจจัยที่ทำให้



ประสิทธิภาพการผลิตของระบบลดลงนั้น มีหลายปัจจัยหลายอย่าง เช่น ภูมิประเทศที่เป็นที่ลาดเชิงเขา พื้นที่ใกล้เคียงต้นไม้หรือสิ่งปลูกสิ่งบดบังแสงจากดวงอาทิตย์ในบางเวลา พื้นที่ที่มีปริมาณฝนตกมากเมื่อเทียบกับพื้นที่อื่น ๆ ในประเทศไทย พื้นที่ที่มีหมอกควัน ยังรวมไปถึงพื้นที่ที่กระแสลมพัดผ่านน้อย ดังนั้น ในการติดตั้งและการเลือกพื้นที่ที่จะติดตั้งก็มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าด้วยเช่นกัน

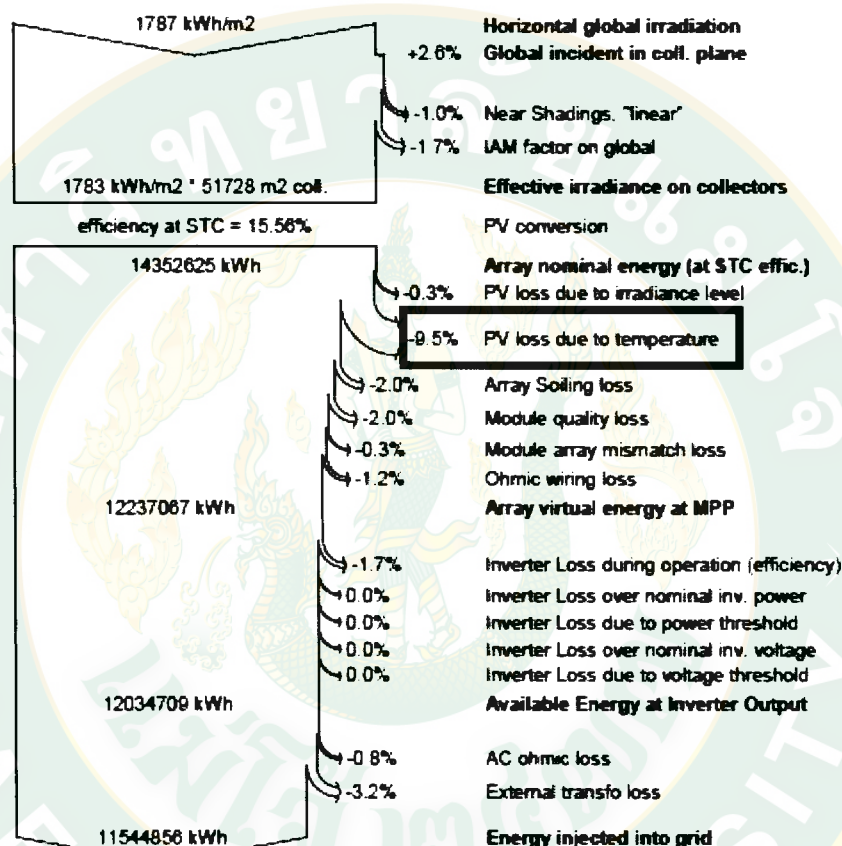
การเลือกที่ติดตั้งในแต่ละโครงการนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อันดับแรกคือ สายส่งไฟฟ้าที่จะสามารถรองรับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต้องมีเพียงพอ อันดับต่อมา การเลือกซื้อพื้นที่หรือเช่าพื้นที่ที่มีผลต่อรูปทรงหรือภาพรวมของโครงการ (Overall layout) ซึ่งปัจจัยนี้มีผลต่อการลงทุนหรือบริหารจัดการพื้นที่ และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น การติดตั้งแผงจัดแต่ละกลุ่มให้อยู่ในระยะที่ใกล้กันก็จะทำให้เกิดการสูญเสียอันเนื่องจากการสูญเสียในสาย สามารถแก้ไขได้ในเชิงวิศวกรรมเพื่อลดความสูญเสียนี้ การบังเงาของแผงเนื่องจากการติดตั้งมุมเอียงของแผง ก็สามารถแก้ไขได้ ในการปรับมุมเอียงหรือภูมิประเทศก็สามารถช่วยได้ในระดับหนึ่ง แต่การสูญเสียอันเนื่องจากร้อนหรืออุณหภูมิแผงและอุณหภูมิโดยรอบที่มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับการสูญเสียด้านอื่น ๆ ซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้ตามต้องการในลักษณะภูมิอากาศในพื้นที่นั้น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 1 (ข้อมูลได้จากการ Simulation PVsyt. Program ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ยอมรับกันทั่วโลก) สัดส่วนที่สูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าระหว่าง 8-10% ของค่าความสูญเสียทั้งระบบ ขึ้นอยู่กับวัสดุและเทคโนโลยีที่นำมาผลิต

จากการวิจัยของ Nuri Gokmen (2016) ได้ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงระหว่างแผงที่ถูกประเมินกับการระบายความร้อนด้วยลมในช่วงฤดูร้อนที่มีลมน้อยกับแผงที่ไม่ได้ถูกประเมินการระบายความร้อนด้วยลมช่วงที่ฤดูหนาวที่มีลมมาก ผลต่างของอุณหภูมิที่ต่างกันนี้ เมื่อนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า พบว่ามีผลต่างกัน ถึง 3.5% ของช่วงระยะเวลาที่ทำการทดลอง

ในความเป็นจริงในมุมของการติดตั้งจริง ความสูญเสียอันเนื่องจากร้อนของแผงมีส่วนที่ทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงทั้งที่ได้จากการประเมินด้วยโปรแกรม และ ผลจากการติดตั้งจริงค่าความสูญเสียเนื่องจากร้อนนี้สูงถึง 9.5% ของทั้งระบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ 2 ส่วนที่จะสามารถลดค่าความสูญเสียลงได้ คือ 1. การพัฒนาวัสดุที่ใช้ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ และเทคโนโลยีที่ใช้ซึ่งในช่วง 3-5 ปีผ่านมามีการพัฒนาจากห้องทดสอบสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์ลดทอนเนื่องจากอุณหภูมิแผงได้ประมาณ $0.1\%/^{\circ}\text{C}$ เท่านั้น สำหรับส่วนที่ 2 การลดความร้อนด้วยให้กับแผงด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งหากสามารถลดความสูญเสียความร้อนของแผงได้โดยตรงก็จะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นเช่นกัน และงานวิจัยของ Ahmad Vasel ได้เก็บข้อมูลในการติดตั้งจริงขนาด 5 MWp ของโครงการโซลาร์ฟาร์มที่ติดตั้งจริงในสหราชอาณาจักรเป็นเวลา 6 เดือน เพื่อที่จะเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการระบายความร้อนด้วยลมธรรมชาติ จากลมที่พัดมาจากทางด้านทิศเหนือ เทียบกับทิศใต้ พบว่าลมที่พัดมาจากทิศใต้ทำให้

เกิดระบายความร้อน ให้กับแผงได้ดีกว่าลมที่พัดมาจากด้านทิศเหนือถึง 2.4 % ผลจากงานวิจัยของ Ahmad Vassel นี้ยังมีข้อเสนอแนะสำหรับการจัดเรียงแผงในการออกแบบโซลาร์ฟาร์มให้ติดตั้งในแนวขวางกับทิศทางของลม เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงผลกระทบของการระบายความร้อนในแผงในแถวถัดไป

Loss diagram over the whole year



ภาพที่ 1 แผนภาพการสูญเสียทั้งระบบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการจัดเรียงแผงลักษณะ 3 รูปทรงที่จัดเรียงในพื้นที่เดียวกัน เพื่อหาความแตกต่างของอุณหภูมิแผงที่จัดเรียงด้วยรูปทรงที่ต่างกัน เมื่อรับอิทธิพลจากลมพัดมาจากด้านทิศทางด้านเหนือ-ใต้ และเมื่อมีการจัดเรียงในแนวตะวันตกเฉียงใต้ การรับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อิทธิพลของลมช่วงความเร็วลมต่าง ๆ มีผลต่อการระบายความร้อน อุณหภูมิแผงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงด้วยอิทธิพลของลมธรรมชาติที่พัดผ่านในพื้นที่ติดตั้งนี้ สามารถที่จะวิเคราะห์เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการจัดเรียงแผงในโครงการอนาคต ในเหมาะสมกับรูปทรงและพื้นที่ที่จะติดตั้ง โดยโครงการโซลาร์โก ประกอบด้วย โครงการโทรเพชร 1, โครงการโทรเพชร 2 และโครงการโทรเพชร 3 ที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ อ.บางเลน จ.นครปฐม เป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่ ที่มีรูปทรงพื้นที่

โครงการที่แตกต่างกัน อุปกรณ์การติดตั้งมีคุณสมบัติเหมือนกัน มีการนำข้อมูลในปี พ.ศ. 2558 ตลอดระยะเวลา 1 ปี นำมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของรูปทรงและอุณหภูมิแฝงเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบหรือประเมินการติดตั้งโซลาร์ฟาร์มในประเทศไทยในอนาคตต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบหรือรูปทรงที่การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบที่สัมพันธ์กับประสิทธิภาพของระบบทั้งหมด
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแฝง อุณหภูมิโดยรอบ ทิศทางลม ความเร็วลมที่เกิดขึ้นของ 3 โครงการในพื้นที่เดียวกันที่สัมพันธ์กับประสิทธิภาพของระบบ
3. เพื่อใช้เป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจเลือกพื้นที่และออกแบบรูปทรงให้เหมาะสมกับพื้นที่พิจารณาเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของระบบมากที่สุด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการเก็บข้อมูล ภายในพื้นที่โครงการโซลาร์โก้ อ.บางเลน จ.นครปฐม ประกอบด้วยโครงการโทรเพชร 1, โครงการโทรเพชร 2 และโครงการโทรเพชร 3 โดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็น เวลา 06.00 น. ถึง 17.59 น. เป็นระยะเวลา 1 ปี ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2558 ถึง 31 ธันวาคม 2558
2. ทำการเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 1) ข้อมูลแสงแดดที่มุม 0 องศา ในแนวระนาบ และมุม 12 องศา มุมเดียวกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์, 2) อุณหภูมิโดยรอบโครงการ, 3) อุณหภูมิแฝง 6 จุดต่อ 1 โครงการ รวมทั้งสิ้น 18 จุด, 4) ความเร็วลม 1 จุดต่อ 1 โครงการ รวมทั้งสิ้น 3 จุด และ 5) กำลังการผลิตในพื้นที่ของโครงการ
3. วิเคราะห์ทิศทางลม ความเร็วลม อุณหภูมิแฝง และอุณหภูมิโดยรอบ ที่มีผลในการจัดเรียงรูปแบบการติดตั้งแผงทั้ง 3 โครงการในพื้นที่เดียวกัน โดยใช้ SQL และ MS excel ในการกรองข้อมูล และแสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ ของค่าต่าง ๆ
4. วิเคราะห์รูปทรงในการติดตั้ง 3 โครงการในพื้นที่เดียวกัน เพื่อหารูปทรงที่มีความสัมพันธ์กับทิศทางลมในการระบายความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ประยุกต์รูปแบบจากการวิจัยในการเลือกพื้นที่และการจัดรูปทรงของกลุ่มแผงในพื้นที่ติดตั้งโซลาร์ฟาร์ม

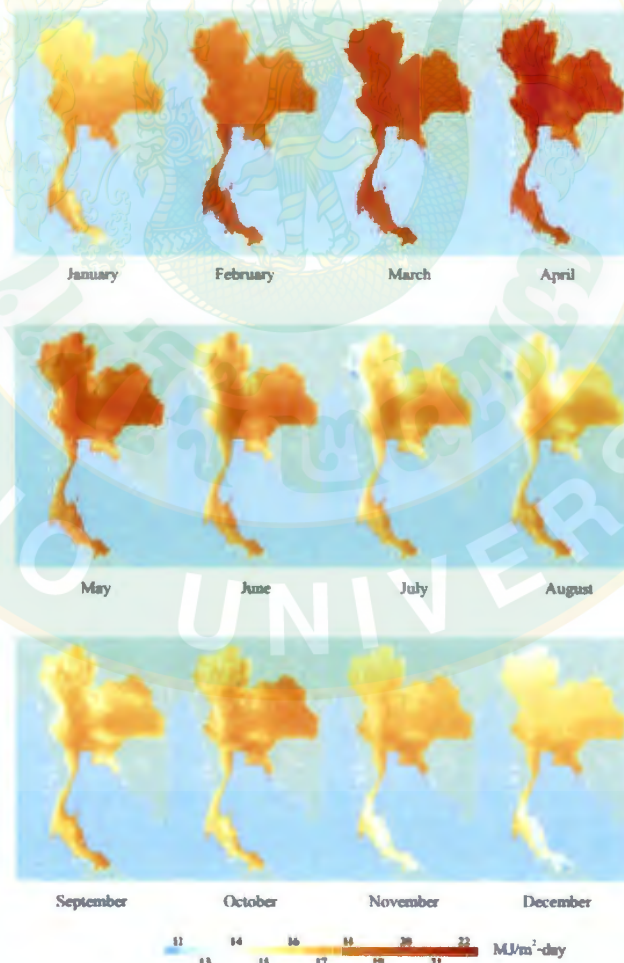
2. ทราบรูปแบบการจัดเรียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจในการออกแบบระบบ
3. ทราบพฤติกรรมของอุณหภูมิ ความเร็วลม ในพื้นที่เดียวกันของโซลาร์ฟาร์มขนาดใหญ่



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

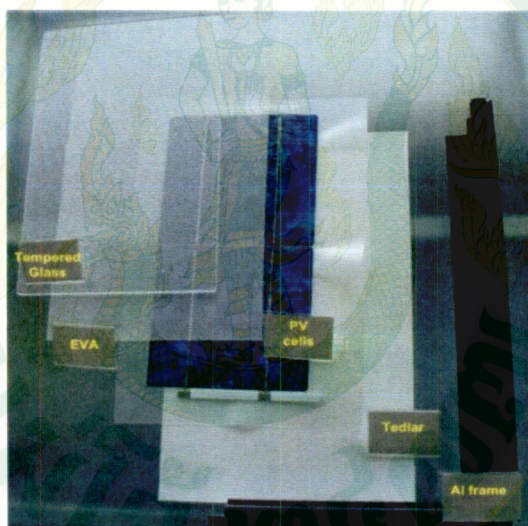
ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์สูง ซึ่งจากโครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทยดำเนินการโดย มหาวิทยาลัยศิลปากร ผลเฉลี่ยความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ เท่ากับ 17.6 MJ/m^2 ค่าลดลงจาก 18.0 MJ/m^2 แผนที่ฉบับเดิม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทน, 2557) อาจจะเป็นผลการเปลี่ยนแปลงสภาพบรรยากาศในประเทศไทย ซึ่งยังถือว่าค่ารังสีแสงอาทิตย์อยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยที่สูงเหมาะสำหรับใช้งานเป็นพลังงานทางเลือก แนวทางการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็นหัวข้อประกอบด้วย สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจัยลดทอนประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ และการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ลักษณะและทิศทางของลม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่าง ๆ

2.1 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและความต่างศักย์ที่ผิวทั้งสองเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเชื่อมต่อระหว่างผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนอิสระ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2552) เป็นวิธีเปลี่ยนรูปพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ โดยอายุการใช้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี โดยความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้ายังมากกว่า 70% การพัฒนาวิจัยเพื่อสรรหาวัสดุสารกึ่งตัวนำและประสิทธิภาพยังคงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งประเภทของสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมมีการใช้งานมากคือ ซิลิกอน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline solar cells) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไม่เป็นผลึก (Thin film solar cells)



ภาพที่ 3 วัสดุประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline solar cells) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบผลึกเดี่ยว (Mono crystalline silicon) และผลึกผสม (Polycrystalline silicon) มีประสิทธิภาพ 12-18% วัสดุที่นำมาประกอบเป็น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนแสดงดังภาพที่ 3 ประกอบด้วย

1) วัสดุห่อหุ้มเซลล์ ช่วยจับยึดระหว่างวัสดุผิวหน้า ตัวเซลล์และวัสดุประกบแผ่นหลังของแผงเซลล์ ซึ่งต้องทนทานต่ออุณหภูมิสูงและรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี รวมถึงการยอมให้แสงส่องผ่านได้ดีและมีความต้านทานอุณหภูมิต่ำได้ โดยส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุจำพวกโพลิเมอร์ที่เรียกว่า EVA (Ethyl vinyl acetate)

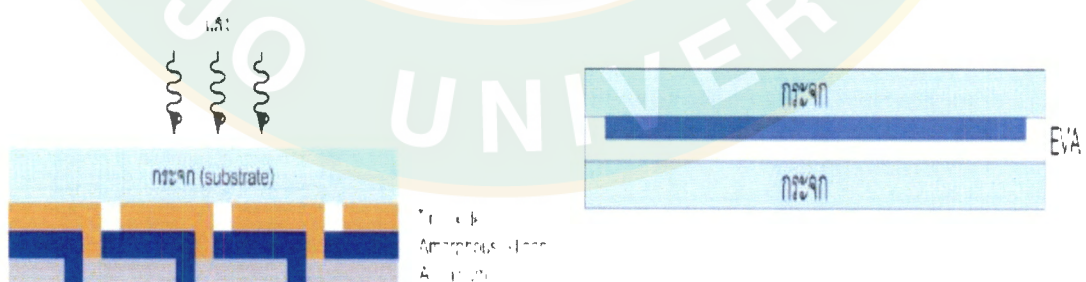
2) วัสดุประกบแผ่นหลัง ทำหน้าที่ป้องกันน้ำและไอน้ำ ทนอุณหภูมิต่ำ รวมถึงสามารถระบายความร้อนได้ดี ส่วนมากเป็นวัสดุจำพวก โพลีเมอร์แผ่นบางที่มีชื่อว่า Tedlar

3) วัสดุประกบผิวหน้าทำหน้าที่กันน้ำ ไอน้ำ ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรก รวมถึงแรงกระแทก คุณสมบัติของวัสดุนี้ ต้องสามารถให้แสงส่องผ่านได้ดี โดยเฉพาะแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เซลล์แสงอาทิตย์ตอบสนองได้ในย่าน 350-1200 nm และต้องมีการสะท้อนแสงที่ต่ำได้ (Anti-reflection) ส่วนมากวัสดุนี้จะเป็นกระจกชนิด Tempered low-iron

4) เฟรม (Frame) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของแผงเซลล์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและป้องกันแรงกระแทก ส่วนมากเป็นอลูมิเนียม

2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไม่เป็นผลึก (Thin film solar cells) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ไม่เป็นผลึกมีประสิทธิภาพ 10-16% ผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรง มีแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์ วัสดุที่นำมาใช้ประกอบเป็นแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางจะค่อนข้างแตกต่างกับชนิดผลึก ซึ่งสามารถออกแบบตามโครงสร้างแบบแข็งและแบบอ่อนตัวได้ ประกอบด้วย

1) โครงสร้างแบบแข็ง เซลล์จะถูกสร้างขึ้นบนกระจกโดยตรง แล้วทำการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าแล้วนำไปลามิเนตด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้งด้านหน้าและหลังภาพที่ 4 (ก) แสดงส่วนประกอบของเซลล์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน (a-Si) ทำหน้าที่เป็นซับสเตรท เทคโนโลยีของเซลล์ใช้ในการผลิตแบบนี้ คือ CdTe, a-Si เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน แบบเซลล์ซ้อนระหว่างอะมอร์ฟิซิลิคอน/อะมอร์ฟิซิลิคอน หรือ อะมอร์ฟิซิลิคอน/ไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอน หรือเรียกว่า Tandem , และ CIGS เป็นต้น ภาพที่ 4 (ข) แสดงการประกอบแผงเซลล์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน (a-Si) แบบ Glass- Glass โดยที่ EVA หุ้มเฉพาะด้านหลัง



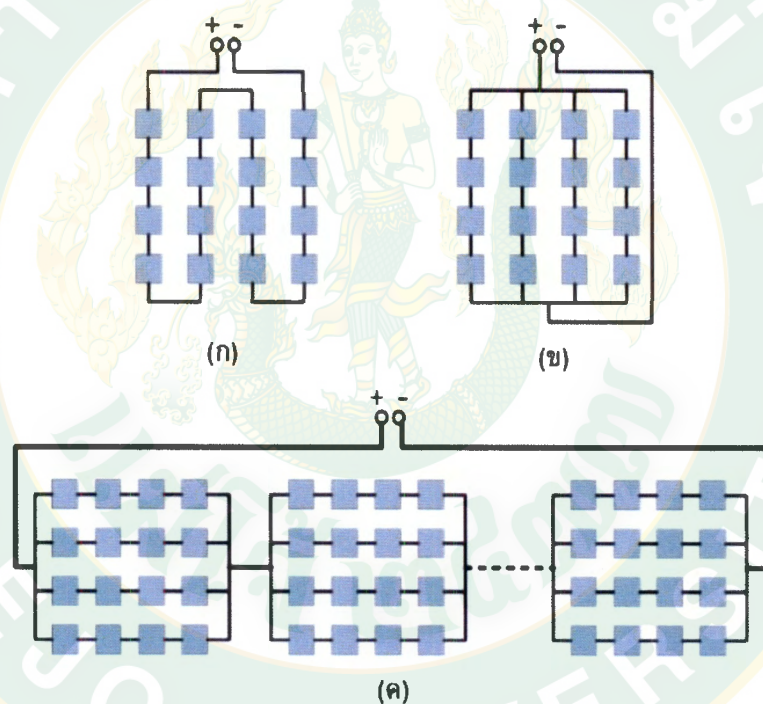
(ก) โครงสร้างเซลล์บนกระจก

(ข) ส่วนประกอบแผงเซลล์ แบบ Glass-Glass

ภาพที่ 4 โครงสร้างเซลล์และส่วนประกอบแผง

2) แผงเซลล์แบบอ่อนตัว มีลักษณะของการเกาะติด (Deposit) บนซับสเตรทที่อ่อนตัว ส่วนการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของซับสเตรท ถ้าวัสดุจำพวกฉนวนไฟฟ้า เช่น Polyester หรือ Polyimide สามารถทำแบบเดียวกันกับที่เป็นแบบกระจก แต่วัสดุจำพวกตัวนำไฟฟ้าต้องใช้วิธีการอื่นจากนั้นจะนำไปลามิเนตด้วยวัสดุพอลิเมอร์ที่ไม่มีสีและยอมให้แสงผ่านได้ เช่น ETFE หรือ FEP

สำหรับรูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์ เพื่อทำเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีอยู่ 3 แบบโดยเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกต่อเข้าด้วยกันในลักษณะการต่ออนุกรมและขนานแสดงดังภาพที่ 5 แสดงการต่อแบบต่าง ๆ (ก) แบบอนุกรม (ข) แบบอนุกรม-ขนาน และ (ค) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม เพื่อประกอบกันเป็นแผงหรือโมดูลตามจำนวนหรือขนาดกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิต ซึ่งลักษณะการต่อวงจรภายในแผงจะแตกต่างกันออกไป



ภาพที่ 5 การต่อวงจรแบบต่าง ๆ

(ก) แบบอนุกรม (ข) แบบอนุกรม-ขนาน และ (ค) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม

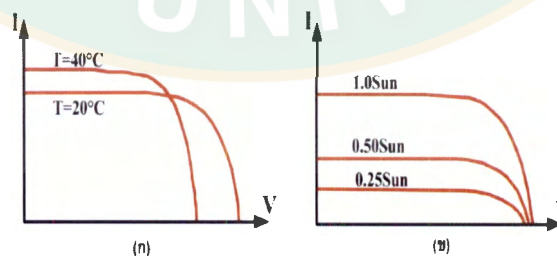
เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกประกอบเป็นแผงเซลล์แล้วจะถูกทดสอบโดยมาตรฐานที่นิยมใช้กันและเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกคือ IEC 61215 สำหรับการทดสอบแผงเซลล์แบบผลึกซิลิกอน และ IEC 61646 สำหรับแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบาง ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกทดสอบโดยการต่อกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะวงจรลัด (Short circuit) ถึงสภาวะวงจรเปิด (Open circuit) โดยตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์จะได้ค่ากระแสที่สภาวะวงจรลัด (Short circuit current: I_{SC}) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (Open circuit voltage: V_{OC}) เมื่อนำ

ค่ากระแสคูณกับแรงดันก็จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุด จะมีค่าเดียวที่คูณกันแล้วได้ค่าสูงสุด เรียกค่านี้ว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด (Power at maximum point: P_{mp}) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดนี้เรียกว่า กระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at maximum power point: I_{mp}) กับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at maximum power point: V_{MP}) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

การทดสอบสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์นั้นจะต้องควบคุมสภาพแวดล้อมที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition, STC) ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ $1,000 \text{ W/m}^2$ สเปกตรัมของแสงที่ Air Mass (AM) 1.5 และอุณหภูมิด้านหลังแผงเท่ากับ 25°C แต่ในลักษณะการใช้งานจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จึงผลทำให้การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่างกันด้วย แสดงลักษณะที่ต่างกันโดยแสดงในกราฟ I-V Curve ดังแสดงในภาพที่ 7 (ก) กรณีที่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์คงที่แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลง แต่กระแสไฟฟ้าวงจรลัดมีค่าสูงขึ้นในทางกลับกันภาพที่ 7 (ข) ความเข้มแสงเพิ่มสูงขึ้น แต่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง จะทำให้กระแสวงจรลัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และแรงดันวงจรเปิดเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสัดส่วนค่ากระแสวงจรลัดที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 7 กราฟกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิและความเข้มแสงต่างกัน



2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงย่อมทำให้กำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์นั้นเปลี่ยนแปลงตามดังแสดงสมการที่ 1

$$P_{MOD} = P_{STC} \times (1 - P_{TC} (T_m - T_{STC})) \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่	P_{MOD}	คือ กำลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์ผลิตได้
	P_{STC}	คือ กำลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์ถูกทดสอบ 25 °C
	P_{TC}	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ลดลงของกำลังงานต่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	P_{TC}	คือ ค่าที่ถูกทดสอบของผู้ผลิต
	T_m	คือ อุณหภูมิของแผงขณะทำงาน (°C)
	T_{STC}	คือ อุณหภูมิของแผงที่ถูกทดสอบ 25 °C

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโดยรอบกับแสงอาทิตย์ที่มีผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิโดยรอบกับแสงอาทิตย์ที่มีผลต่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากการหาค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะทำงาน ในโปรแกรม PVsyst. จะใช้สมการในรูปแบบของ Faïman module temperature model ตามที่แสดงสมการที่ 2

$$T_c = T_a + \frac{\alpha E_{POA} (1 - \eta_{a_m})}{U_0 + U_1 \times WS} \quad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่	T_c	คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงาน (°C)
	T_a	คือ อุณหภูมิโดยรอบ (°C)
	α	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	E_{POA}	คือ ความเข้มของปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W/m ²)
	η_{a_m}	คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	U_0	คือ ค่าคงที่ขององค์ประกอบการถ่ายเทความร้อน (W/m ² K)
	U_1	คือ ค่าองค์ประกอบการพาความร้อน (W/m ² sK)
	WS	คือ ค่าความเร็วลม (m/s)

*สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้กำหนดให้ PVsyst.

มีค่าเท่ากับ 0.9

*สำหรับค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้กำหนดให้ PVsyst. มีค่าเท่ากับ 0.1

*สำหรับการติดตั้งบนพื้นดิน PVsyst. ได้กำหนดให้ ค่า U_0 ค่าเท่ากับ $29 \text{ W/m}^2\text{K}$ และ U_1 ค่าเท่ากับ $0 \text{ W/m}^2\text{K}$ โดยสันนิฐานว่าไม่มีลม

*สำหรับการติดตั้งบนหลังคา PVsyst. ได้กำหนดให้ ค่า U_0 ค่าเท่ากับ $15 \text{ W/m}^2\text{K}$ และ U_1 ค่าเท่ากับ $0 \text{ W/m}^2\text{K}$ โดยสันนิฐานว่าไม่มีลม

จากสมการที่ (1) และสมการที่ (2) แสดงถึงอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งบทความหรืองานวิจัยต่าง ๆ ในปัจจุบันพยายามหาวิธีการที่จะลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการระบายความร้อนด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

- Thermosyphon concept
- Immersing PV in dielectric media
- Evaporative cooling techniques
- Expansion of stored gas for spraying water
- Phase change material
- Cotton wick cooling
- Wind drive roof top turbine ventilator
- Submerged water cooling
- Chimney concept
- Heat spreader
- Heat pipe concept
- Heat sink

วิธีการดังกล่าวล้วนมีความสามารถและให้ผลที่ต่างกัน แต่ในการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ขนาดใหญ่ในเชิงอุตสาหกรรมจำเป็นจะต้องใช้งบประมาณในการดำเนินการเพื่อลดอุณหภูมิและประสิทธิภาพจะต้องมีการลงทุนที่สูงมาก ซึ่งไม่คุ้มค่ากับการลงทุนหรือสามารถลงทุนได้แต่การระยะเวลาในการคืนทุนใช้เวลานานกว่าวิธีการอื่น

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการที่ไม่ต้องเพิ่มการลงทุน แต่เพียงใช้ข้อมูลพื้นที่และข้อมูลลมประจำฤดูกาล หรือลมประจำถิ่นที่จะติดตั้งในการพิจารณาในแง่ของการระบายความร้อนด้วยการพาความร้อนด้วยลมธรรมชาติให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการจัดเรียงในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่

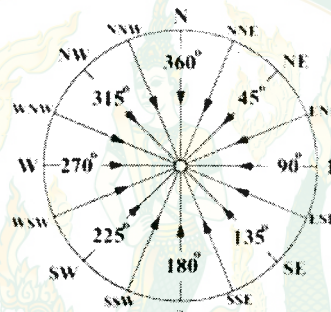
2.4 ลมธรรมชาติ

ลม หมายถึง อากาศที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางในแนวนอน เกิดจากการแทนที่ของอากาศเนื่องจากอากาศในบริเวณที่ร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น ในขณะที่อากาศบริเวณใกล้เคียงที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ เมื่อมีการเคลื่อนไหวของอากาศที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันของ

ความกดอากาศ อากาศบริเวณที่มีความกดอากาศสูงจะเคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาทะเล, 2009) ทำให้เกิดทิศทางลม เรียกตามการเคลื่อนที่ของลมเช่น “ลมเหนือ” เป็นลมที่พัดมาจากทิศเหนือ และ “ลมใต้” เป็นลมที่พัดมาจากทิศใต้ การวัดลมนิยมทำการวัด 2 วิธี คือการวัดทิศทางของลมที่พัดมา (Wind direction) และวัดความเร็วลม (Wind speed)

2.4.1 ทิศทางของลม

ทิศลมจะนิยมวัดทิศของลมที่พัดมาตามเข็มทิศ โดยวัดเป็นองศา จาก 0° ถึง 359° ซึ่งมุมที่ 360° เป็นมุมเดียวกันกับ มุม 0° ทิศทางในการวัดเป็นลักษณะตามเข็มนาฬิกา โดยทิศลมนิยมรายงานทิศลม 8 ทิศ หรือ 16 ทิศ ดังแสดงภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ทิศทางของลมที่ระบุตามองศาที่อากาศเคลื่อนที่ผ่าน

2.4.2 ความเร็วลม

ความเร็วลม คือ การเคลื่อนที่ของอากาศที่ทำให้เกิดแรง หรือความกดที่ผ่านจุดที่กำหนดให้บนพื้นผิวโลก หรือความกดเป็นสัดส่วนกับกำลัง 2 ของความเร็วลม ดังสมการที่ 3

$$P = kV^2$$

สมการที่ 3

โดยที่ P คือ ความกดที่เกิดจากการกระทำของลม (lb/ft²)
V คือ ความเร็วลม (kt, mph)
k คือ ค่าคงที่ของหน่วยที่ใช้ (กรณีที่ใช้มาตรฐานความเร็วลม 1 ไมล์ทะเล 6,080.20 ft/hr K=0.0053 ถ้าหน่วยเป็นไมล์ต่อชั่วโมง K=0.004)

2.4.3 ลมที่สำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

ลมที่สำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศไทย (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2544) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

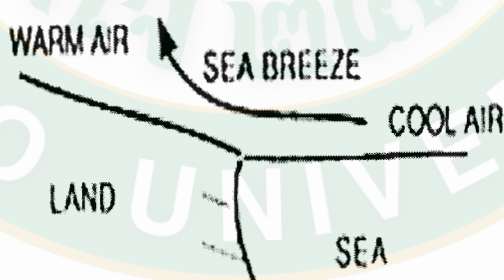
2.4.3.1 ลมมรสุม

ลมมรสุมเกิดขึ้นในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ พัดในทิศทางตะวันออกเฉียงเหนือเป็นระยะเวลา 6 เดือน และพัดในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้เป็นระยะเวลาอีก 6 เดือน ลมมรสุมเหล่านี้จะเกิดขึ้นในมหาสมุทรอินเดียลมจะพัดจากทะเลสู่แผ่นดินจากทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศใต้ในฤดูร้อน และนำความชื้นและไอน้ำทำให้เกิดฝนเรียกลมมรสุมนี้ว่า ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สำหรับประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ส่วนลมมรสุมที่เกิดขึ้นอีกทิศทางหนึ่ง เกิดจากอากาศที่ไหลออกจากบริเวณความกดอากาศสูงไซบีเรียไหลเข้าแทนที่อากาศในภาคพื้นทวีปที่มีความกดอากาศน้อยกว่า ในทิศทางหมุนตามเข็มนาฬิกา ทำให้บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียใต้ มีลักษณะอากาศดีและอากาศแห้ง จึงเรียกลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือลมมรสุมฤดูหนาว ประเทศไทยจะได้รับอิทธิพล ช่วงปลายเดือน ตุลาคม ถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์

2.4.3.2 ลมประจำถิ่น

ลมประจำถิ่น เป็นลมที่เกิดขึ้นภายในท้องถิ่น เนื่องจากความแตกต่างของภูมิประเทศและความเปลี่ยนแปลงความกดอากาศ แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ ลมบก ลมทะเล ลมภูเขาและลมภูเขา

1) ลมทะเล (Sea breeze) เกิดขึ้นตามชายฝั่งในช่วงฤดูร้อน ในกลางวันพื้นดินจะได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิสูงพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นดินได้รับความร้อนจะขยายตัวและลอยสูงขึ้น อากาศเหนือพื้นน้ำมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าจะไหลเข้าไปแทนที่ เกิดลมพัดจากทะเลเข้าหาฝั่ง ระยะทางที่พัดมีระยะประมาณ 16-48 km ความแรงของลมจะลดลงเมื่อเข้าถึงฝั่ง จึงเรียกลมนี้ว่า ลมทะเล ผลของลมทะเลนี้จะส่งผลดีต่ออุณหภูมิของอากาศในบริเวณชายฝั่ง ภาพที่ 9 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศจากทะเลเข้าสู่พื้นดิน



ภาพที่ 9 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมทะเล

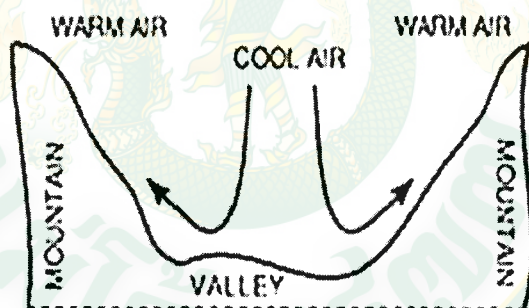
2) ลมบก (Land breeze) เกิดขึ้นในช่วงกลางคืน เมื่อพื้นดินคายความร้อนโดยการแผ่รังสีออกได้เร็วกว่า พื้นน้ำ อุณหภูมิพื้นดินจะต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นน้ำจะลอยตัวสูงขึ้น และอากาศเหนือพื้นดินที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลเข้าแทนที่ เกิดลมพัดจากฝั่งไปสู่ทะเล ความแรงของ

ลมจะน้อยกว่าลมทะเล ระยะทางที่สามารถพัดเข้าทะเลได้เพียง 8-10 km ภาพที่ 10 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมบก



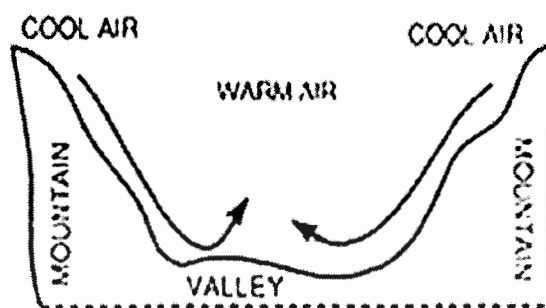
ภาพที่ 10 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมบก

3) ลมหุบเขา (Valley-Mountain breeze) เกิดขึ้นในเวลากลางวัน อากาศตามภูเขาและพื้นที่ลาดเชิงเขาได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์เต็มที่ และอากาศในพื้นที่หุบเขาที่อยู่เบื้องล่างมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ เกิดลมเย็นจากหุบเขาเบื้องล่างพัดไปตามลาดเขาขึ้นสู่เบื้องบน เรียกว่า ลมหุบเขา ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมหุบเขา

4) ลมภูเขา (Mountain-Valley breeze) เกิดขึ้นในเวลากลางคืน อากาศตามภูเขาและพื้นที่ลาดเชิงเขาจะมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วด้วยการคายความร้อน อากาศตามพื้นที่ลาดเชิงเขาจะมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าและหนักกว่า อากาศบริเวณใกล้เคียงกันจึงไหลเข้าแทนที่ เกิดลมพัดมาตามลาดเชิงเขาสู่หุบเขาเบื้องล่าง เรียกว่า ลมภูเขา ดังแสดงภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ลมหุบเขาและลมภูเข

2.4.3.3 ลมตะเภา

ลมตะเภา คือ ทิศทางของลมพัดจากทางทิศใต้ไปทางทิศเหนือ คือพัดจากอ่าวไทยเข้าสู่ภาคกลางตอนล่าง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเมษายน ซึ่งเป็นช่วงระหว่างลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นลมที่นำพาความชื้นเข้าสู่ภาคกลางตอนล่าง เหตุที่เรียกลมตะเภานี้เพราะสมัยโบราณได้ใช้ประโยชน์จากทิศทางลมพัดนี้เดินเรือสำเภาแล่นไปตามแม่น้ำเจ้าพระยา

2.4.3.4 ลมว่าว

ลมว่าว คือ การเคลื่อนที่ของอากาศพัดจากทิศเหนือไปทางทิศใต้ ในช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือนพฤศจิกายนเป็นลมเย็นพัดตามแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นช่วงระหว่างลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะเปลี่ยนเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ หรือเรียกว่า ลมข้าวเบา

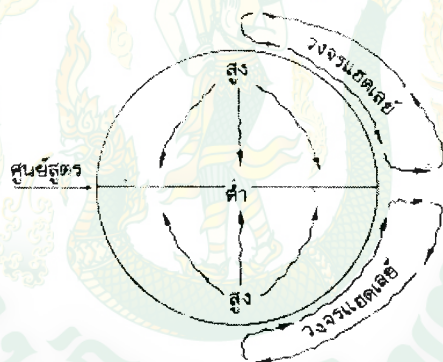
2.4.4 การเคลื่อนที่ของลม

การเคลื่อนที่ของอากาศ เกิดจากพื้นผิวโลกได้รับความร้อนไม่เท่ากัน เมื่อโลกได้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะต้องส่งพลังงานกลับเข้าสู่อวกาศในปริมาณเท่ากับที่โลกได้รับ อย่างไรก็ตามพลังงานความร้อนที่โลกได้รับในแต่ละละติจูดมีปริมาณไม่เท่ากัน เขตร้อนได้รับความร้อนเกินดุล ส่วนเขตขั้วโลกได้รับความร้อนขาดดุล ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสมดุลจึงต้องมีการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณศูนย์สูตรไปยังขั้วโลก และถ่ายเทความเย็นจากขั้วโลกมายังศูนย์สูตร

แบบจำลองวงจรเดี่ยว (Single Cell Model) แบบจำลองแบบแรก ตั้งสมมุติฐานว่าพื้นผิวโลกถูกปกคลุมไปด้วยพื้นน้ำเหมือนกันหมด เนื่องจากพื้นดินและพื้นน้ำจะได้รับความร้อนที่แตกต่างกัน ดวงอาทิตย์ส่องตรงเหนือศูนย์สูตรตลอดเวลาไม่มีฤดูกาลต่าง ๆ และโลกไม่ได้หมุนรอบตัวเอง ดังนั้นแรงที่เกี่ยวข้องมีอยู่เพียงแรงเดียวคือ แรงความชันความกดอากาศกับการสมมติเหล่านี้ การหมุนเวียนทั่วไปคล้ายกับวงจรขนาดใหญ่ ที่ขับเคลื่อนออกในแต่ละซีกโลก (ภาพที่ 13) วงจรนี้ตั้งขึ้นตามชื่อของนักอุทกนิยมหาวิทยาลัยอังกฤษคือ จอร์จ แฮดเลย์ (George Hadley) ซึ่งเป็นผู้ค้นพบการหมุนเวียนที่ขับเคลื่อนความร้อนออกจากดวงอาทิตย์ บริเวณศูนย์สูตรได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์

เต็มที อากาศเหนือศูนย์สูตรจึงลอยตัวขึ้นเป็นเขตความกดอากาศต่ำ ขณะที่บริเวณขั้วโลกอากาศเย็นตัวลงมาก และจมตัวต่ำลงเป็นเขตความกดอากาศสูง การสนองต่อแรงความชันความกดอากาศในแนวนอน ทำให้อากาศเย็นจากขั้วโลกไหลลงมายังศูนย์สูตร และอากาศร้อนจากศูนย์สูตรไหลไปยังขั้วโลก

การหมุนเวียนในลักษณะเช่นนี้จะไม่เกิดขึ้นจริงบนพื้นผิวโลก เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง มีแรงคอริออลิส เป็นแรงที่ทำให้อากาศที่เคลื่อนที่อยู่เฉยไปทางขวาในซีกโลกเหนือ เป็นผลทำให้ลมผิวพื้นเป็นลมตะวันตกที่ทุก ๆ ละติจูด ลมเหล่านี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับ การหมุนรอบตัวเองของโลก และขึ้นอยู่กับความฝืดของผิวโลกที่ทำให้การหมุนของโลกเคลื่อนที่ช้าลง ส่วนบริเวณละติจูดกลาง การหมุนเวียนแบบนี้ไม่เกิดขึ้นเพราะมีลมประจำพัดมาจากทิศตะวันตก ดังนั้นการหมุนเวียนทั่วไปของอากาศระหว่างศูนย์สูตรกับขั้วโลกไม่ใช่เป็นแบบจำลองที่แท้จริง เพราะโลกหมุนรอบตัวเอง แบบจำลองวงจรเดียวจะเป็นจริงได้กับการสมมติ 2 ประการ คือ พื้นผิวโลกต้องถูกปกคลุมไปด้วยพื้นน้ำทั้งหมด และดวงอาทิตย์จะส่องตรงเหนือศูนย์สูตรตลอดเวลา

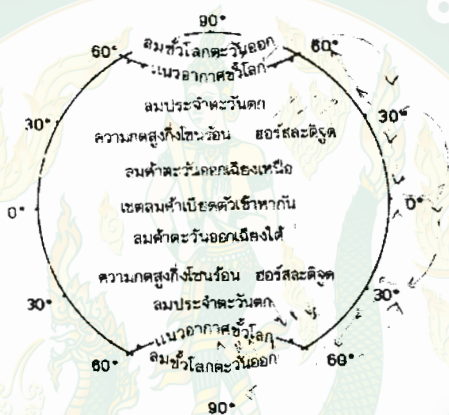


ภาพที่ 13 การหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลองวงจรเดียว

แบบจำลอง 3 วงจร (Three Cell Model) ถ้าโลกหมุนรอบตัวเองระบบการถ่ายเทพลังงานจะแตกแยกออกเป็นวงจรที่มีการหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง 3 วงจร (ภาพที่ 14) แม้แบบจำลอง 3 วงจรจะมีความสลับซับซ้อนมากกว่าแบบจำลองวงจรเดียว แต่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันอยู่บ้าง บริเวณเขตร้อนยังคงได้รับความร้อนเกินดุล และบริเวณขั้วโลกก็ได้รับความร้อนขาดดุล ในแต่ละซีกโลกทั้ง 3 วงจร มีการกระจายพลังงานกันใหม่ ที่ขั้วโลกคงเป็นเขตความกดอากาศสูงและที่ศูนย์สูตรยังคงเป็นร่องความกดอากาศต่ำ จากศูนย์สูตรไปถึงละติจูดที่ 30 องศาเหนือและใต้ การหมุนเวียนของอากาศที่มีลักษณะคล้ายกับวงจรแฮดเลย์ คือ อากาศเหนือศูนย์สูตรเคลื่อนที่ลงมาในขณะที่อากาศใต้ศูนย์สูตรเคลื่อนที่ไป (อ้างถึงภาพที่ 14 และภาพที่ 15)



ภาพที่ 14 การหมุนเวียนทั่วไปของอากาศแบบจำลอง 3 วงจร



ภาพที่ 15 ลมผิวพื้นและระบบความกดอากาศ

พื้นน้ำบริเวณศูนย์สูตรอากาศจะร้อน ความชื้นความกดอากาศในแนวอนอ่อนกำลังลง เป็นเขตสงบหรือลมอ่อน เรียกว่า เขตดอลดรัมส์ อากาศร้อนไหลขึ้นและกลั่นตัวเป็นเมฆก้อนคิวมูลัส ขนาดใหญ่ และคายความร้อนแฝงให้กับบรรยากาศ รวมทั้งมีพายุ ฟ้าคะนอง ความร้อนนี้ทำให้อากาศร้อนจัดมาก แล้วพลังงานถูกขับออกมาในวงจรแฮดเลย์ อากาศที่ลอยขึ้นไปข้างบนเมื่อลอยขึ้นไปถึงโทรโพพอส ซึ่งทำหน้าที่กีดขวางอากาศที่จะเคลื่อนที่ไปขั้วโลก แรงคอริโอลิสทำให้อากาศที่กำลังเคลื่อนที่ไปขั้วโลกเฉไปทางขวาในซีกโลกเหนือและเฉไปทางซ้ายในซีกโลกใต้ ลมชั้นบนเป็นลมตะวันตกทั้ง 2 ซีกโลก ลมตะวันตกนี้ เมื่อมีความเร็วสูงสุดจะชื่อเรียกว่าลมกรดเกิดใกล้ละติจูด 30 และ 60 องศาเหนือและใต้

อากาศเขตร้อน ที่เคลื่อนที่ไปยังขั้วโลกจะมีความหนาแน่นมาก เมื่ออากาศเย็นลง โดยการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ อากาศเหนือศูนย์สูตรจะลอยขึ้นสู่เบื้องบน เมื่ออากาศนั้นเคลื่อนที่ไปถึงละติจูดที่ 30 องศาเหนือและใต้ อากาศจะจมลงทำให้ละติจูดที่ 30 องศาเหนือและใต้ เป็นเขตความกดอากาศสูง เรียกว่า ความกดอากาศสูงกึ่งโซนร้อน (หรือแอนติไซโคลน) อากาศที่ลอยอยู่เหนือความ

กตอากาศสูง จะเคลื่อนตัวลงมาอย่างช้า ๆ การที่อากาศเคลื่อนตัวลงมาทำให้ท้องฟ้าแจ่มใสและอุณหภูมิที่ผิวพื้นจะอุ่นขึ้น เป็นแหล่งกำเนิดทะเลทรายที่สำคัญของโลก บริเวณความกดอากาศสูงประมาณละติจูดที่ 30 ถึง 35 องศาเหนือและใต้ ความชันความกดอากาศ มีกำลังอ่อนลง เป็นเขตลมสงบหรือลมอ่อน และอากาศจะไหลจมลง จึงทำให้มีอากาศร้อนและแห้ง เรียกว่า เขตฮอว์สละติจูดตามตำนานเล่ากันว่า สมัยก่อนการใช้เรือเดินทางจากทวีปยุโรปข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกไปทวีปอเมริกานั้น เมื่อเดินทางมาถึงบริเวณนี้ เรือไม่สามารถเดินทางต่อไปได้ จึงต้องโยนสัมภาระที่บรรทุกมากับเรือทิ้งลงทะเลบ้างไม่ว่าจะเป็นอาหาร เสบียง และ ม้า เพื่อที่จะให้เรือมีน้ำหนักเบาขึ้นและเดินเรือต่อไปได้

บริเวณฮอว์สละติจูด จะมีอากาศเคลื่อนที่ย้อนกลับลงเข้าสู่ศูนย์สูตร เนื่องจากแรงคอริโอลิสทำให้เคลื่อนที่เอนไปจากแนวเดิม ในซีกโลกเหนือเป็นลมที่พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และในซีกโลกใต้เป็นลมที่พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้เรียกว่า ลมค้า (Trade Winds) ซึ่งพัดอยู่ประมาณละติจูด 5 ถึง 30 ทั้งในซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ เป็นลมที่พัดจากเขตความกดอากาศต่ำ ดังนั้นในซีกโลกเหนือเป็นลมค้าตะวันออกเฉียงเหนือ และในซีกโลกใต้ เป็นลมค้าตะวันออกเฉียงใต้ เขตลมนี้ท้องฟ้าแจ่มใสไม่ค่อยมีพายุเกิดขึ้น ลมนี้พัดสม่ำเสมอจึงเป็นประโยชน์ต่อการเดินเรือเป็นอย่างมาก ใกล้ศูนย์สูตรเป็นลมค้าเปียดตัวเข้าหากัน (Intertropical Convergence Zone) เป็นแนวแบ่งระหว่างลมค้าตะวันออกเฉียงเหนือกับลมค้าตะวันออกเฉียงใต้ แนวนี้อุ่นชื้นเหนือ หรือลงใต้ได้ตามฤดูกาล ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนขึ้นลงของแสงอาทิตย์บนพื้นโลก และอาจจะมีพายุโซนร้อนเกิดขึ้นได้

ขณะเดียวกันที่ละติจูด 30 องศาเหนือหรือใต้ หรือบริเวณฮอว์สละติจูดอากาศที่ผิวพื้นไม่ได้เคลื่อนลงไปยังศูนย์สูตรทั้งหมด ยังมีอากาศบางส่วนเคลื่อนเข้าสู่ขั้วโลกทำให้เกิดลมฝ่ายตะวันตกซึ่งพัดอยู่ประมาณละติจูด 35-60 องศาเหนือและใต้ อยู่ในเขตความกดอากาศต่ำ มีทิศทางไม่แน่นอนลมแปรปรวนและมีพายุ เป็นบริเวณที่ได้รับลมประจำตะวันตก ในซีกโลกเหนือเป็นลมที่พัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ส่วนในซีกโลกใต้เป็นลมที่พัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และเป็นลมที่มีกำลังลมแรงมาก เพราะในซีกโลกใต้เป็นพื้นน้ำติดต่อกันไม่มีทวีปคั่นอยู่เป็นตอน ๆ เช่นเดียวกับซีกโลกเหนือประมาณละติจูดที่ 40-60 องศาใต้ อาจเรียกลมนี้ว่า รoringฟอร์ตีส เป็นลมที่ชาวเรือใช้เดินเรือจากมหาสมุทรแอตแลนติกไปยังทวีปออสเตรเลีย เกาะแทสมาเนีย และประเทศนิวซีแลนด์ ส่วนวงจรที่ 2 เป็นวงจรที่เกิดขึ้นในแถบละติจูดกลาง เรียกว่าวงจรเฟอร์เรล ภายในวงจรมลฝ่ายตะวันตกไหลขึ้นตรงแนวความกดอากาศต่ำกึ่งขั้วโลก และอากาศที่ไหลขึ้นบางส่วนจะไหลย้อนกลับเป็นลมชั้นบน ไหลลงไปที่ฮอว์สละติจูด อยู่ในเขตความกดอากาศสูงกึ่งโซนร้อน และวงจรที่สามคือ วงจรขั้วโลก เป็นวงจรที่เกิดจากแนวความกดอากาศต่ำกึ่งขั้วโลก ไปถึงขั้วโลก ที่ผิวพื้นมีลมฝ่ายตะวันออกแถบขั้วโลกพัดจากความกดอากาศสูงแถบขั้วโลกมายังแถบความกดอากาศต่ำกึ่งขั้วโลก (ประมาณ 90-60 องศาเหนือและใต้) เป็นลมอ่อน ท้องฟ้าแจ่มใส ซีกโลกเหนือพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในซีก

โลกได้พัฒนามาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ระหว่างวงจรเฟอร์เรล และวงจรขั้วโลกจะเกิดแนวปะทะอากาศขั้วโลก เป็นแนวที่แบ่งแยกอากาศร้อนที่ไหลขึ้นไปจากวงจรเฟอร์เรลพบกับอากาศเย็นที่ไหลลงมาจากวงจรขั้วโลก

2.5 การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นมี 2 สถานะ คือ ของเหลวและก๊าซ ถ้าสารได้รับความร้อนจะขยายตัวทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือความหนาแน่นสูงกว่าจะคืนรูป ซึ่งการพาความร้อนแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การพาความร้อนแบบธรรมชาติ และการพาความร้อนแบบบังคับ

1) การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection) เป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหล อาจเกิดขึ้นโดยไม่มีกลไกใด ๆ ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่เกิดจากแรงลอยตัวของของไหลเอง หรือ แรงลอยตัวนั้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นที่อุณหภูมิของไหล 2 บริเวณแตกต่างกัน

2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection) เป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งและของไหล โดยที่การเคลื่อนที่นั้นถูกบังคับโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม เครื่องสูบล โดยอัตราการพาความร้อนเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของการไหล ถ้าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังของของแข็งและของไหลมีค่าสูง อัตราการพาความร้อนยิ่งสูงขึ้น อัตราการพาความร้อน (q) แสดงดังสมการที่ 4

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad \text{สมการที่ 4}$$

โดยที่ q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ (W, Joule)
h คือ ค่าคงที่สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทความร้อนโดยการพา มีหน่วยเป็น (W/m²K)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของผนังของแข็ง
T_s คือ อุณหภูมิที่ผิวของผนังของแข็ง
T_∞ คือ อุณหภูมิของของไหลที่อยู่ห่างออกไปจากผิวหรืออุณหภูมิส่วนต้นของของไหล

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลบางชนิด

ประเภทการพาความร้อน และชนิดของการไหล	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (W/m ² K)
การพาความร้อนแบบอิสระ, อากาศ	5-25

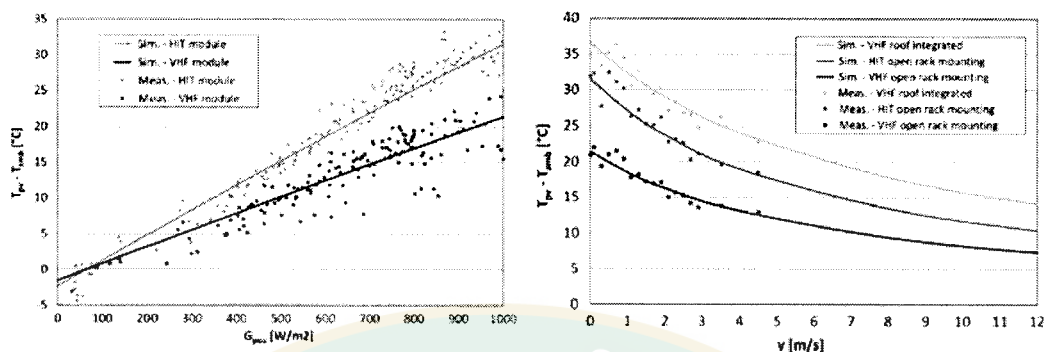
ประเภทการพาความร้อน และชนิดของการไหล	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (W/m^2K)
การพาความร้อนแบบอิสระ, น้ำ	20-100
การพาความร้อนแบบบังคับ, อากาศ	10-200
การพาความร้อนแบบบังคับ, น้ำ	50-10,000
น้ำกำลังเดือด	3,000-100,000
ไอของน้ำที่กำลังกลั่นตัว	5,000-100,000

จากตารางข้างต้น หากพิจารณาการพาความร้อนแบบอิสระโดยใช้อากาศ จะเห็นว่าค่าการระบายหรือค่าการพาความร้อนแบบอิสระจากอากาศมีค่าเฉลี่ยที่ 5-25 W/m^2K คำนี้อาจถือได้ว่าต่ำกว่าการพาความร้อนแบบอื่น แต่จะเป็นวิธีการที่ไม่ต้องลงทุนและใช้พื้นที่หรือการจัดเรียงกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยจะพิจารณาลมในพื้นที่ติดตั้งเป็นสำคัญ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

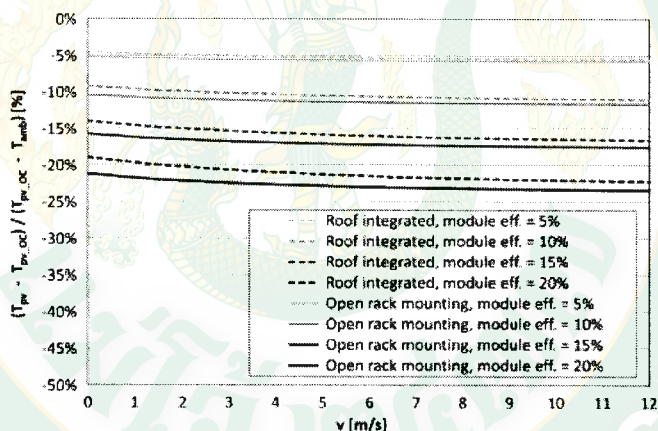
A. Vasel and F. Iadkovidis (2017) ได้บันทึกข้อมูลโซลาร์ฟาร์ม Hadley solar farm ขนาด 5MWp ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึง 1 กรกฎาคม 2560 และทำการจับคู่ผลของลมที่พัดมา 2 ทิศทาง ด้านทิศเหนือ และด้านทิศใต้ ในสภาวะสภาพอากาศเดียวกัน พบว่า ผลของลมที่พัดมาจากทางด้านทิศใต้ ทำให้อุณหภูมิของแผงต่ำกว่า ลมที่พัดมาจากด้านทิศเหนือ และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่างกันถึง 24% ของคู่ที่ 19 จาก จำนวน 42 คู่ที่ทำการเปรียบเทียบ

J. Kurnik et al. (2011) ได้ทำการทดสอบและบันทึกอุณหภูมิและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การติดตั้งกลางแจ้งระหว่างพื้นดินกับบนหลังคา และจำลองผลต่างของอุณหภูมิระหว่างการวัดผลที่ได้จากการติดตั้งบนพื้นดินกับการติดตั้งบนหลังคา โดยการกำหนดให้กำหนดสภาพต่าง ๆ ดังนี้ ค่าแสงอาทิตย์จนถึงค่า $1,000 W/m^2$ โดยไม่มีลม $V=0 m/s$ กำหนดให้ค่าแสงอาทิตย์มีค่า $1,000 W/m^2$ คงที่ โดยมีค่าความเร็วลมเปลี่ยนแปลง ผลการทดลองพบว่า ค่าที่ได้จากการติดตั้งจริงและการจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน ในรูปแบบการติดตั้งบนพื้นดินดังแสดงภาพที่ 16 และเมื่อทราบว่าผลการทดสอบใกล้เคียงกัน จึงทำการจำลองเปรียบเทียบระหว่างการติดตั้งบนพื้นดินและการติดตั้งบนหลังคาเทียบกันในสภาพที่มีลม ได้ผลปรากฏว่า อุณหภูมิผลต่างกันระหว่างแผงเซลล์กับอุณหภูมิโดยรอบมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่อุณหภูมิที่ติดตั้งบนพื้นดินจะมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการติดตั้งบนหลังคา



ภาพที่ 16 ผลการทดสอบเทียบระหว่างการติดตั้งจริงและการจำลอง

เมื่อทราบค่า ผลการทดสอบใกล้เคียงกัน จึงทำการจำลอง ระหว่างการติดตั้งบนพื้นดินและการติดตั้งบนหลังคาเทียบกันในสภาพที่มีลม ได้ผลปรากฏว่า อุณหภูมิผลต่างกันระหว่างแผงเซลล์กับอุณหภูมิโดยรอบมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่อุณหภูมิที่ติดตั้งบนพื้นดินจะมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าการติดตั้งบนหลังคาดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ผลการทดสอบเทียบระหว่างการติดตั้งบนพื้นดินกับการติดตั้งบนหลังคา

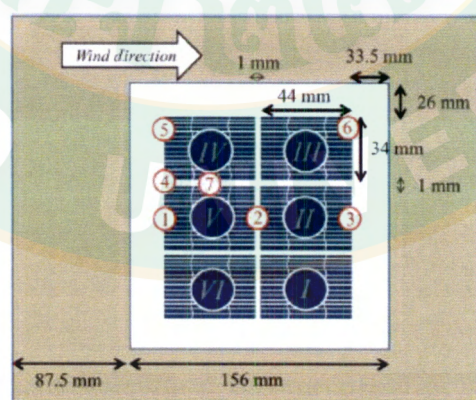
S. Chandra et al. (2018) ได้ทำการทดสอบในห้องทดลอง เปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงในฤดูกาลต่าง ระหว่างฤดูกาลที่มีลมพัด กับฤดูกาลที่ไม่มีลมพัด ในประเทศอินเดียพบว่า เมื่อมีลมพัดทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงดีขึ้น 5.07% และ ประสิทธิภาพของแผงเพิ่มขึ้น 3.4% ซึ่งผลที่ทำการทดสอบและทดลองจากโปรแกรมจำลอง มีค่าใกล้เคียงกัน

N. Gökmen et al. (2016) ได้ทำการทดสอบในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อให้ได้พลังงานสูงสุด โดยเทียบกัน ระหว่างมีลมกับไม่มีลม ในมหาวิทยาลัยอัลบอร์ก ประเทศเดนมาร์ก ทางตอนเหนือของยุโรป ผลการเปรียบเทียบพลังงานรายปีระหว่างมีลมกับไม่มีลม ผลสรุปในการทดสอบในการนำค่าความเร็วมมาใช้ในการประเมิน ทำให้พลังงานที่ผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 3.5% เมื่อเทียบกับ การประเมินที่ไม่มีลม

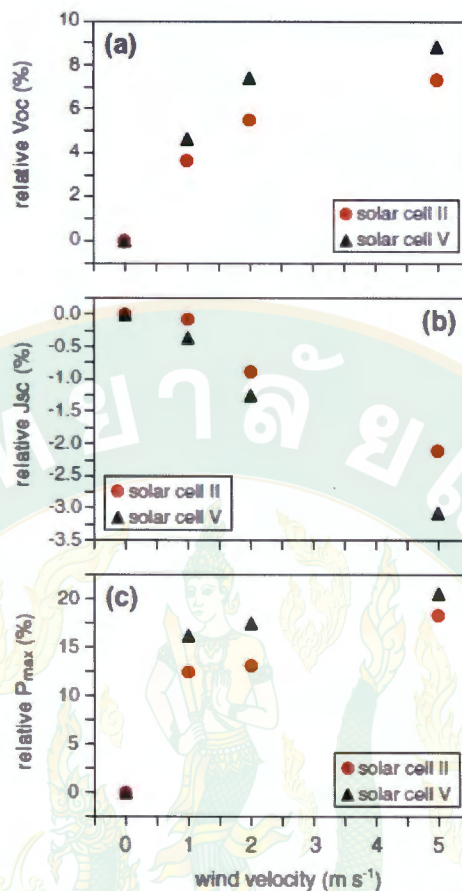
H. Goverde et al. (2015) ได้ทำทดสอบลมที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพในเชิงพื้นที่และเวลา โดยการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก 156×156 mm วางในแนวระนาบ (1) ทดสอบสภาวะไร้แสง และมีแสง 400 W/m^2 โดยเก็บค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเร็วลมที่ผ่านด้านหน้าแผงที่ 1 m/s , 2 m/s และ 5 m/s ตามลำดับ 15 นาที แรก กำหนดให้มีลม และหลังจากนั้นจะเปิดเครื่องเป่าลม และบันทึกค่า พบว่า อุณหภูมิของแผงเซลล์จุดที่อยู่ปลายลม มีอุณหภูมิของแผงเซลล์สูงกว่าจุดที่อยู่ปลายลมที่ความเร็วลม 5 m/s ถึง 21°C

John K. Kaldellis et al. (2014) ทดสอบอุณหภูมิและความเร็วลมที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการติดตั้งบนกลางแจ้งในกรีซ โดยเก็บข้อมูลการติดตั้งจริง ติดตั้งบนพื้นดิน 150 kWp และติดตั้งบนหลังคา 81 kWp เป็นระยะเวลา 1 ปี การเก็บข้อมูลของความเร็วลมทั้งการติดตั้ง 2 รูปแบบมีผลต่ออุณหภูมิเซลล์และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพ และพบว่าผลได้มีค่าใกล้เคียงกับการติดตั้งโซลาร์ฟาร์มแต่ไม่เหมือนกับการจำลองด้วยโปรแกรม

H. Goverde et al. (2017) ได้ทำการทดสอบ ด้วยการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.6×1 m เรียงในแนวราบจำนวน 9 แผงจำนวน 2 แถว และระบายความร้อนด้วยความเร็วลมที่ 1 , 2 , 3 และ 5 m/s ด้านหน้าของแผง ที่ความเข้มแสงของแอลอีดีคงที่ 195 W/m^2 ช่วงการทดสอบ 60 นาที และทำการบันทึกค่าทุก ๆ 0.25 วินาที หลังจาก 60 นาที ทำการปิดพัดลมระบายความร้อน และวัดอุณหภูมิแผง ต่อเนื่องจนอุณหภูมิคงที่หรือไม่เปลี่ยนแปลง พบว่า ผลของลมที่ไหลผ่านหน้าแผงเกิดความเสถียรและไม่เสถียรตามระยะจุดที่วัดความเร็วของลมทั้ง 8 จุด ซึ่งความเร็วลมที่มีความเสถียรที่ 3 m/s ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณหลังการเก็บค่าทดสอบมีค่ามากกว่า ความเร็วลมที่ไม่เสถียร ถึง 4.3%



ภาพที่ 18 ภาพการทดสอบ



ภาพที่ 19 ความเร็วลมที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

C. Correa-Betanzo et al. ได้ทำการเก็บค่าอุณหภูมิแผงและนำไปคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า โดยการคำนวณของ Module Temperature Model ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบในการคำนวณได้แก่วิธีของ Sandia, Faiman, Muzathik และ Skoplaki ที่ในเกิดขึ้นตามฤดูกาล พบว่า วิธีการคำนวณของ Faiman และ Skoplaki ควรถูกใช้เพื่อประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าพื้นที่ที่มีความเร็วลมไม่เกิน 6 m/s และขณะที่วิธีการของ Sandia และ Muzathik ควรถูกใช้คำนวณในพื้นที่ที่มีความเร็วลมสูง แต่วิธีการคำนวณนี้ยังไม่ได้รวมถึงขนาดของการติดตั้งแต่ละพื้นที่

จากงานวิจัยต่าง ๆ ข้างต้น เป็นทดลองและวิเคราะห์อุณหภูมิเซลล์และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งในรูปแบบการจำลองจากโปรแกรม หรือ การเก็บข้อมูลการติดตั้งจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า หรือลดความสูญเสียเนื่องจากความร้อนที่สะสมในแผงเซลล์ให้ลดลง โดยอาศัยการพาความร้อนหรือการระบายความร้อนด้วยลม (Wind speed) โดยเฉพาะงานวิจัยของ Ahmad ได้ทำการวิจัยในการบันทึกข้อมูลจากการติดตั้งจริง ที่ติดตั้งอยู่ในสหราชอาณาจักร ขนาด 5 MWp ด้วยอิทธิพลของลม 2 ทิศทาง แต่ยังไม่ได้กล่าวถึง รูปทรงที่มีผลต่อประสิทธิภาพและระยะห่างของกลุ่มแผงเซลล์ที่เรียงต่อกันในพื้นที่เดียวกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะ

นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบอุณหภูมิ, ความเร็วลม และทิศทางลม ของ 3 โครงการที่ติดตั้งบน
พื้นดินในพื้นที่เดียวกัน ด้วยรูปทรงที่ต่างกันโดยใช้วิธีเดียวกับ Ahmad และเปรียบเทียบอุณหภูมิของ
แผง เมื่อมีการวางกลุ่มแผงในระยะที่ต่างกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการจัดเรียงแผงที่จะติดตั้งใน
อนาคต เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ด้วยวิธีการอาศัยลมธรรมชาติในการระบายความร้อน



114062611

MJU :Thesis 5815401018 thesis / recv: 12062563 10:31:05 / seq: 16

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิเคราะห์ลมที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากรูปทรงพื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย คือการนำข้อมูลสภาพอากาศในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 3 โครงการ ในพื้นที่เดียวกัน ได้แก่ โครงการไทรเพชร 1 ขนาดติดตั้ง 12.136 MWp ไทรเพชร 2 ขนาดติดตั้ง 12.136 MWp และ ไทรเพชร 3 ขนาดติดตั้ง 12.136 MWp รวมการผลิตติดตั้งรวม 36 MWp เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์และหาข้อสรุป สำหรับใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานสำหรับรูปแบบการจัดเรียงแผง (PV array) ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอนาคตที่เหมาะสมกับสภาพอากาศพื้นที่นั้น ๆ ผลของการจัดเรียงแผงจะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้นกว่าการจัดเรียงแผงโดยที่ไม่ได้คำนึงถึงทิศทางของลมในพื้นที่ที่ติดตั้ง

ดังนั้น ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิจัยและการหารูปแบบการจัดเรียงแผงที่เหมาะสม คือ ทิศทางของลม (Wind direction) และความเร็วของลม (Wind speed) ที่จะส่งผลให้อุณหภูมิของแผงลดลงซึ่งแปรผกผันกับการผลิตไฟฟ้าที่จะสามารถผลิตได้เพิ่มขึ้น โดยมีรายละเอียดวิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยของโครงการ

3.1.1 ศึกษาพื้นที่และรูปทรงของโครงการ

ศึกษาพื้นที่และรูปทรงของโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โซลาร์โก อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม (ละติจูด 14.105835 N ลองจิจูด 100.169436 E) ใช้เทคโนโลยีการติดตั้งแผงบนพื้นดิน ขนาดการติดตั้งรวม 36.408 MWpdc (28.5 MWac) พื้นที่ในการติดตั้ง 402 ไร่แสดงภาพที่ 20

โดยแบ่งเป็น 3 โครงการย่อยในพื้นที่เดียวกัน คือ

- 1) โครงการไทรเพชร 1 พื้นที่ 151 ไร่ ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 12.136 MWp
รูปทรงของไทรเพชร 1 ถูกจัดเรียงแผง รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู
- 2) โครงการไทรเพชร 2 พื้นที่ 126 ไร่ ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 12.136 MWp
รูปทรงของไทรเพชร 2 ถูกจัดเรียงแผง รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- 3) โครงการไทรเพชร 3 พื้นที่ 125 ไร่ ขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 12.136 MWp
รูปทรงของไทรเพชร 3 ถูกจัดเรียงแผง รูปทรงหลายเหลี่ยม



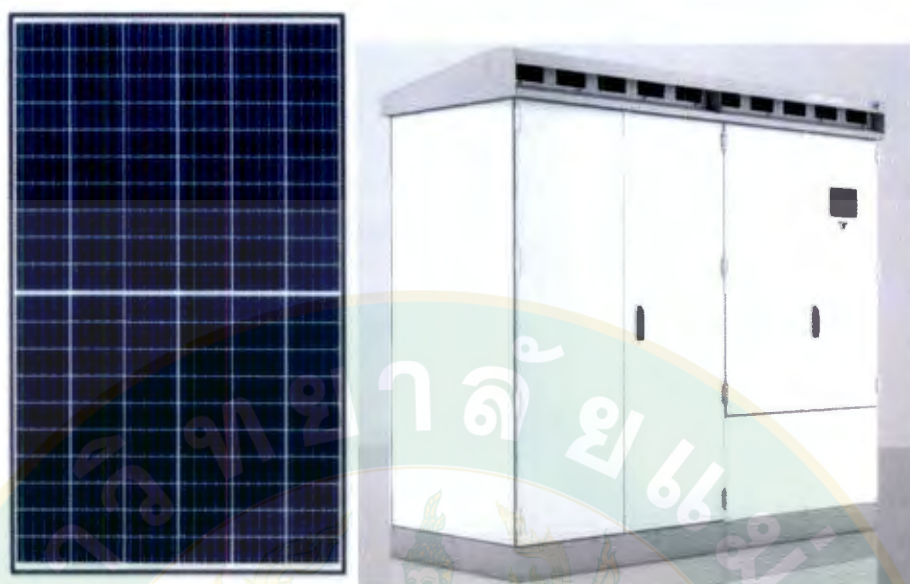


ภาพที่ 20 โครงการโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์โซลาร์โก

3.1.2 ศึกษาตำแหน่งจุดตรวจวัดสภาพอากาศและอุปกรณ์สำหรับตรวจวัด

ศึกษาตำแหน่งจุดตรวจวัดสภาพอากาศและอุปกรณ์สำหรับตรวจวัด ที่ใช้ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่

- 1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสม (Polycrystalline) ขนาด 245 Wp จำนวน 49,536 แผง ในการติดตั้งแต่ละโครงการ แสดงดังภาพที่ 21 ก)
- 2) อินเวอร์เตอร์ ขนาด 800 kWp ดังแสดงในภาพที่ 21 ข)
- 3) อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศและตรวจวัดอุณหภูมิแผง ได้แก่ เครื่องวัดความเข้มแสงแดด (Zonen cp 11) ความสูง 2.6 m ประกอบด้วย เครื่องวัดความเข้มแสงแดดในแนวราบ จำนวน 1 ชุด และเครื่องวัดความเข้มแสงแดดในแนวมุมเอียงของแผง 12 องศา จำนวน 2 จุด เครื่องวัดความเร็วลม ความสูง 3 m จำนวน 1 จุด เครื่องวัดทิศทางลม ความสูง 3 m จำนวน 1 จุด เครื่องวัดอุณหภูมิโดยรอบความสูง 1.5 m จำนวน 1 จุด และเทอร์โมคัปเปิล สำหรับวัดอุณหภูมิแผง จำนวน 6 จุด



(ก) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสม (ข) อินเวอร์เตอร์

ภาพที่ 21 แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์

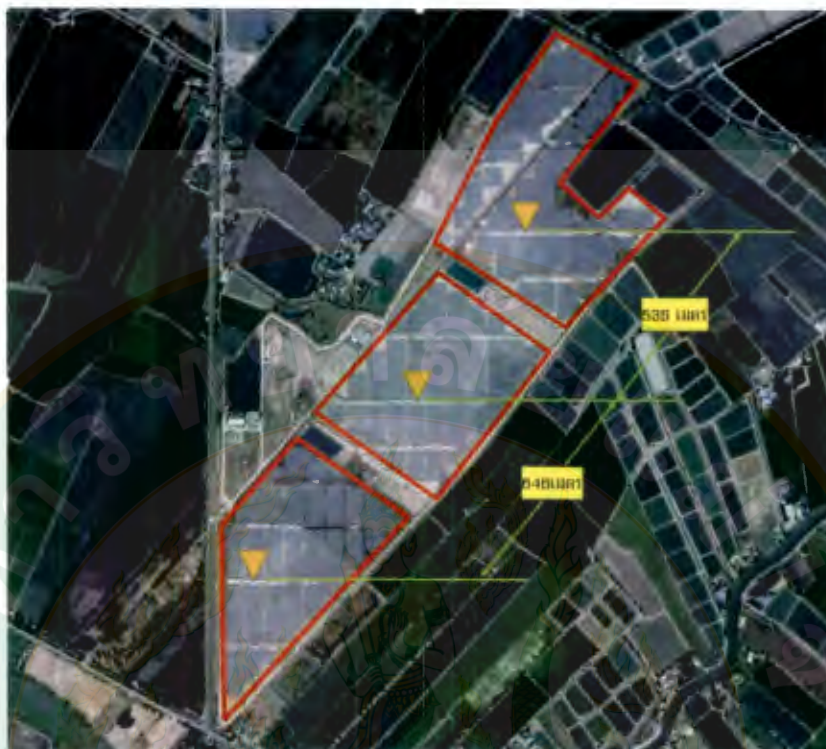


(ก) เครื่องวัดความเร็วลม

(ข) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิแสง

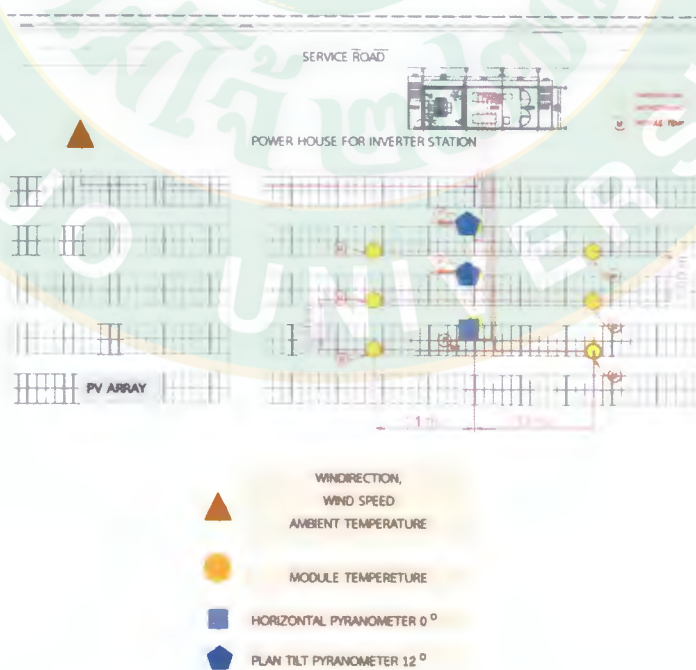
ภาพที่ 22 เครื่องวัดความเร็วลมและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแสง

อุปกรณ์ตรวจวัดอากาศของแต่ละโครงการได้ถูกติดตั้ง 1 จุดเพื่อเป็นตัวแทนทั้งโครงการ โดยโครงการโทรเพชร 1 ห่างจาก โครงการโทรเพชร 2 เป็นระยะ 646 m และโครงการโทรเพชร 2 ห่างจากโครงการโทรเพชร 3 ระยะ 536 m ซึ่งระยะที่ไม่เท่ากันนี้ งานวิจัยจะนำไปวิเคราะห์หาผลต่างของอุณหภูมิกับระยะที่ไม่เท่ากันนี้ด้วย จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

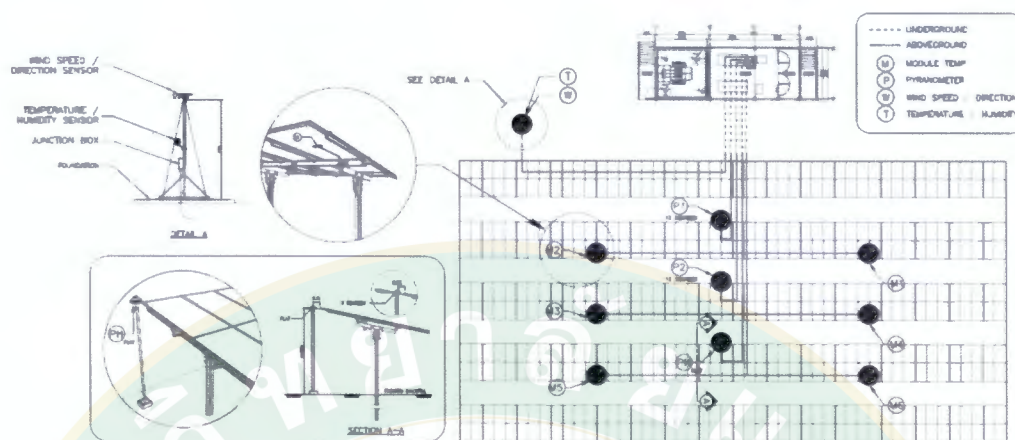


ภาพที่ 23 ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอากาศ

จากภาพที่ 23 ตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดอากาศของแต่ละโครงการจะถูกติดตั้งและวางระยะห่างของแต่ละอุปกรณ์ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ภาพด้านบนของตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดลม อุณหภูมิ และความเข้มแสง



ภาพที่ 25 รายละเอียดในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดลม อุณหภูมิ และความเข้มแสง

จากภาพที่ 25 ตำแหน่งและรายละเอียดการติดตั้งชุดอุปกรณ์ตรวจวัดของแต่ละโครงการจะมีเพียง 1 จุด ซึ่งใช้เป็นตัวแทนในการประเมินค่าพลังงานต่าง ๆ ที่วัดได้ทั้งโครงการ

- 1) ลักษณะการติดตั้งโครงสร้างสำหรับรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบ Monopile หรือเสาเดี่ยว แต่ละแถวถูกติดตั้งห่างกันเป็นระยะ 5.5 m และเอียงมุม 12 องศา ในแนวราบดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การติดตั้งโครงสร้างสำหรับรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.2 การคำนวณหาความแตกต่างของรูปทรงด้วยการหาจุดเซนทรอยด์

การคำนวณหารูปทรงของแต่ละโครงการประกอบด้วย ไทรเพลช1 ไทรเพลช2 และไทรเพลช3 ด้วยวิธีหาจุดเซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ เป็นพื้นที่ที่เกิดจากการหมุนของเส้น โดยจะบอกในเทอมของระยะค่าเฉลี่ยของ โคออร์ดิเนต (Coordinate) (X,Y) พื้นที่ของแต่ละโครงการ

จะถูกแบ่งเป็นพื้นที่เล็ก ๆ คือ พื้นที่ของ PV Array จำนวน 108 Array โดยถูกจัดเรียงในพื้นที่ที่เป็นรูปทรงในแต่ละโครงการ และ Array ที่จัดเรียงนั้นจะอยู่ในตำแหน่ง $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), \dots, (X_n, Y_n)$ ดังนั้น ผลรวมของโมเมนต์ของพื้นที่เล็ก ๆ ทั้งหมด 108 Array นี้จะถูกรวมตำแหน่ง (X, Y) เป็นค่าเดียวสำหรับแต่ละโครงการ ซึ่งจุดหมุน รอบแกน X และ Y จะได้ดังสมการนี้

$$\bar{X} = \frac{a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n} \quad \text{สมการที่ 5}$$

และ

$$\bar{Y} = \frac{a_1y_1 + a_2y_2 + a_3y_3 + \dots + a_ny_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n} \quad \text{สมการที่ 6}$$

หรือจาก สมการที่ 5 และ สมการที่ 6 จะได้

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i X_i}{A} \quad \text{สมการที่ 7}$$

และ

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i Y_i}{A} \quad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ A คือ $a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$
 $\bar{X}$ คือ ระยะจากแกน X ถึงเซนทรอยด์
 $\bar{Y}$ คือ ระยะจากแกน Y ถึงเซนทรอยด์



ภาพที่ 27 PV array ที่จัดเรียงในพื้นที่โครงการโทรเพชร 1 ลักษณะสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน

ภาพที่ 28 PV array ที่จัดเรียงในพื้นที่โครงการโทรเพชร 2 ลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า

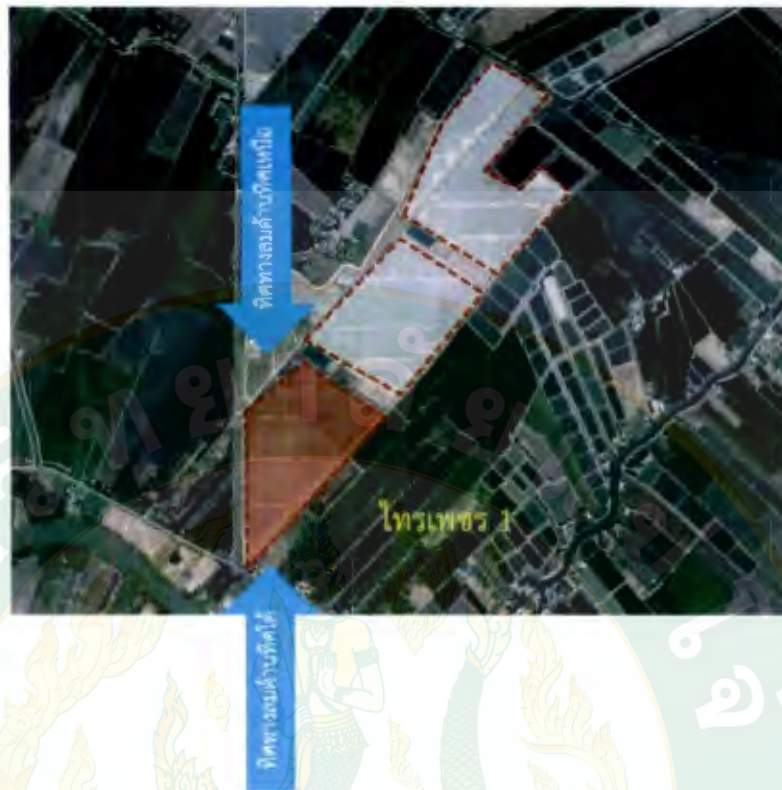


ภาพที่ 29 PV array ที่จัดเรียงในพื้นที่โครงการโทรเพชร 3 ลักษณะรูปทรงหลายเหลี่ยม

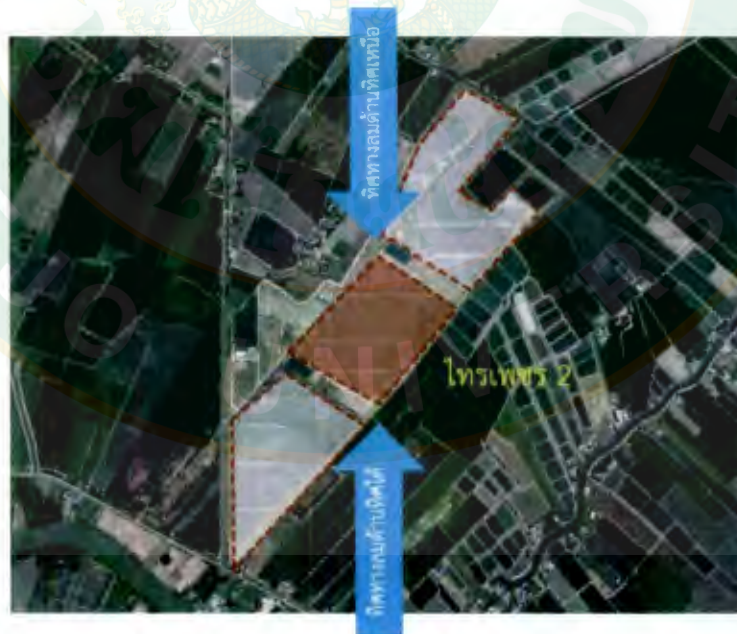
3.3 การเปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิแผงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัฒมาจากด้านทิศเหนือ-ใต้

เปรียบเทียบผลต่างของอุณหภูมิแผงเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมทั้ง 2 ด้าน โดยการกำหนดทิศทางของลมที่พัฒมาจากด้านทิศใต้กระทบหน้าแผงที่มีผลต่ออุณหภูมิของแผง และลมที่พัฒมาจากทางด้านทิศเหนือกระทบเข้าด้านหลังแผง (ส่วนที่ไม่ได้รับแสง) โดยการกำหนดเกณฑ์ที่จะให้อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน เป็นไปตามเงื่อนไข ดังนี้

1. กรองหาข้อมูลทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศเหนือ มุม 275° - 85°
2. กรองหาข้อมูลทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศใต้ มุม 95° - 265°
3. อุณหภูมิแวดล้อม 25°C - 40°C
4. ความเข้มแสงแดด 500 - $1,000\text{ W/m}^2$
5. ความเร็วลม 1 - 6 m/s
6. นำผลของอุณหภูมิแผงมาเปรียบเทียบ ระหว่างผลจากลมที่พัดจากเหนือ-ใต้
7. คำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าจากอุณหภูมิแผงที่ต่างไปจากอุณหภูมิแผงที่ทำการทดสอบ (STC 25°C)
8. เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิแผงและรูปทรงที่ต่างกัน 3 รูปทรง



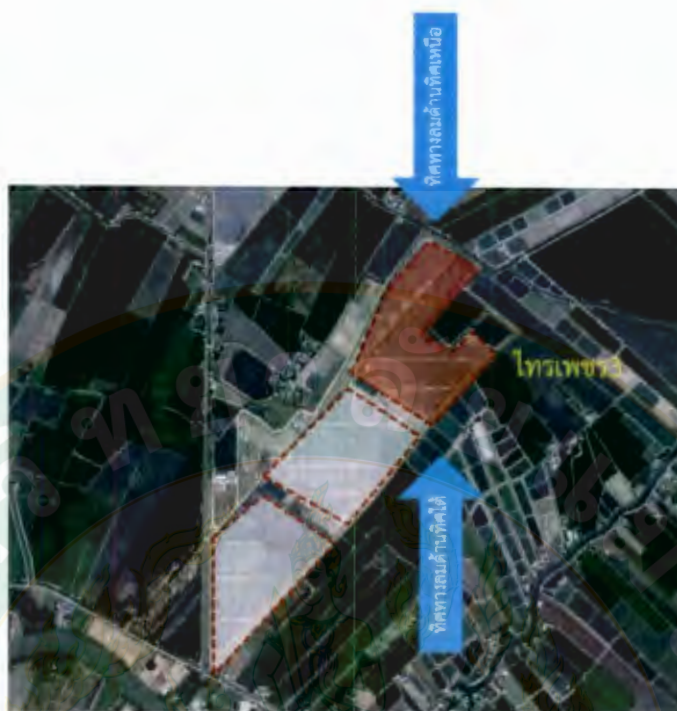
ภาพที่ 30 ลมพัดจากด้านทิศเหนือ - ใต้ ของไร่เพชร 1 รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู



ภาพที่ 31 ลมพัดจากด้านทิศเหนือ - ใต้ ของไร่เพชร 2 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า



1140632611



ภาพที่ 32 ลมพัดจากด้านทิศเหนือ - ใต้ ของโทรเพอร์ 3 รูปทรงหลายเหลี่ยม



ภาพที่ 33 ลมที่พัดจากด้านทิศเหนือและใต้



1140632611

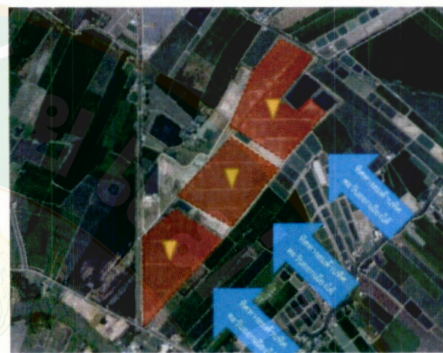
3.4 การวิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิแผงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้เทียบกับทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้

ทำการศึกษาลมที่พัฒมาจากด้านนี้เป็นทิศทางลมอยู่ในแนวการจัดเรียงแผง ทั้ง 3 โครงการ เพื่อหาความสัมพันธ์ของระยะห่างการจัดเรียงแผงและอุณหภูมิแผง เมื่อได้รับอิทธิพลจากลมในช่วงความเร็วลมตั้งแต่ 1-5 m/s เทียบกับทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้



ทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW)

$185^{\circ}-247^{\circ}$



ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE)

$113^{\circ}-175^{\circ}$

ภาพที่ 34 ลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้และตะวันออกเฉียงใต้

ซึ่งแนวการจัดเรียงแผงทั้ง 3 โครงการวางทิศทางลมอยู่ ด้วยการกำหนดเกณฑ์สภาพแวดล้อมเดียวกันดังนี้

1. กรองหาข้อมูลทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ มุม $185^{\circ}-247^{\circ}$
2. กรองหาข้อมูลทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ มุม $113^{\circ}-175^{\circ}$
3. อุณหภูมิแวดล้อม $25^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$
4. ความเข้มแสงแดด $500-1,000 \text{ W/m}^2$
5. ความเร็วลม 1-5 m/s

6. นำผลของอุณหภูมิแผงแต่ละโครงการ ในช่วงความเร็วลม 1-5 m/s ที่ได้รับอิทธิพลลมที่พัฒมาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้เปรียบเทียบกับอุณหภูมิแผงที่ได้รับอิทธิพลลมที่พัฒมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

7. คำนวณหาค่าความสูญเสียของระบบเนื่องจากความร้อนของแผง

3.5 การวิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิแผงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้กับระยะห่างของรูปทรงที่จัดเรียงในแนวเดียวกัน

ทำการศึกษาลมที่พัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นทิศทางที่ทำให้เกิดผลกระทบด้านอุณหภูมิของแผงที่จะได้รับการระบายความร้อนด้านต้นลมและด้านปลายลม ซึ่งตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดโครงการโทรเพชร 2 ห่างจากโครงการโทรเพชร 1 ระยะทาง 646 m และ โครงการโทรเพชร 3 ห่างจากโครงการโทรเพชร 2 ระยะทาง 536 m ดังนั้น การเปรียบเทียบด้วยระยะห่างที่ไม่เท่ากันเพื่อหาว่าตำแหน่งที่จัดวางใกล้เคียงกัน หรือ ไกล ที่มีผลต่ออุณหภูมิแผง



ภาพที่ 35 ลมพัดจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัยของโครงการโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์โซลาร์โก อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม แบ่งออกเป็น โครงการโทรเพชร 1 โทรเพชร 2 และ โทรเพชร 3 เนื่องจากโครงการมีพื้นที่ที่แตกต่างกัน แสดงข้อมูลแต่ละโครงการดังต่อไปนี้

1. ผลการหาจุดเซนทรอยด์ของโครงการ
2. ผลทิศทางลมและความเร็วลมของโครงการตลอดทั้งปี
3. ผลแสดงย่านแสงแดดที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า
4. ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดมาจากด้านทิศใต้กับทิศเหนือ โดยทั้ง 3 โครงการแยกอิสระต่อกัน
5. ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้กับทิศตะวันออกเฉียงใต้
6. หาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างโครงการที่มีการจัดเรียงตามแนวทิศทางลม

4.1 ผลการหาจุดเซนทรอยด์ของโครงการ

การหาความแตกต่างของรูปทรงที่ต่างกัน โดยใช้วิธีหาจุดศูนย์กลาง หรือจุดเซนทรอยด์นี้ เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งระยะค่าเฉลี่ยของ จุดศูนย์กลางวัตถุหรือรูปทรง ตำแหน่ง X และ Y แสดงผลวิเคราะห์โครงการต่าง ๆ ได้แก่ตารางที่ 3 โครงการโทรเพชร 1 รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู ตารางที่ 4 โครงการโทรเพชร 2 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และตารางที่ 5 โครงการโทรเพชร 3 รูปทรงหลายเหลี่ยม

จากตารางที่ 2 เป็นผลรวมของจุดศูนย์กลาง (Centroid) แต่ละโครงการ แสดงตำแหน่งระยะค่าเฉลี่ยของโคออร์ดิเนต X และ Y ผลที่ได้คือ ตำแหน่ง ของ X และ Y ไม่ได้อยู่จุดเดียวกันหรือไม่ทับกัน ดังนั้น รูปทรงของแต่ละโครงการจึงสรุปว่ารูปทรงของพื้นที่ทั้ง 3 โครงการมีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 จุดศูนย์กลางทางเรขาคณิตของแต่ละโครงการ

ระยะค่าเฉลี่ยของ โคออร์ดิเนต	โทรเพชร 1	โทรเพชร 2	โทรเพชร 3
$\bar{X}$	172.559	283.128	248.654
$\bar{Y}$	368.787	258.279	351.612

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์หาจุดเซนทรอยของไทรเพชร 1

Sai Phet 1					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
1	1018.93	36.56	487.47	37255.72	496695.68
2	1234.66	24.37	435.53	30090.52	537735.26
3	1234.66	24.37	408.03	30090.52	503782.11
4	1234.66	24.37	380.53	30090.52	469828.95
5	966.57	24.37	355.78	23556.85	343890.49
6	1234.66	24.37	331.03	30090.52	408713.27
7	1234.66	24.37	287.35	30090.52	354778.37
8	1234.66	24.37	259.85	30090.52	320825.22
9	1234.66	24.37	232.35	30090.52	286872.06
10	966.57	24.37	207.60	23556.85	200659.73
11	1234.66	24.37	182.85	30090.52	225756.38
12	1234.66	24.37	155.35	30090.52	191803.23
13	1234.66	24.37	111.67	30090.52	137868.33
14	1234.66	24.37	84.17	30090.52	103915.18
15	1234.66	24.37	56.67	30090.52	69962.02
16	966.57	24.37	31.92	23556.85	30848.20
17	966.57	24.37	9.92	23556.85	9583.58
18	966.44	81.34	554.61	78610.42	535995.29
19	1234.66	77.11	528.72	95210.08	652785.84
20	966.57	77.11	503.97	74536.75	487121.25
21	1234.66	77.11	479.22	95210.08	591670.16
22	1234.66	77.11	435.53	95209.83	537735.26
23	1234.66	77.11	408.03	95209.83	503782.11
24	1234.66	77.11	380.53	95209.83	469828.95
25	966.57	77.11	355.78	74536.56	343890.49
26	1234.66	77.11	331.03	95209.83	408713.27
27	1234.66	77.11	287.35	95209.83	354778.37



Sai Phet 1					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
28	1234.66	77.11	259.85	95209.83	320825.22
29	1234.66	77.11	232.35	95209.83	286872.06
30	966.57	77.11	207.60	74536.56	200659.73
31	1234.66	77.11	182.85	95209.83	225756.38
32	1234.66	77.11	155.35	95209.83	191803.23
33	1234.66	77.11	111.67	95209.83	137868.33
34	1234.66	77.11	84.17	95209.83	103915.18
35	1234.39	71.82	54.28	88655.03	67000.95
36	1234.66	129.86	599.90	160329.15	740673.89
37	1234.66	129.86	556.22	160329.52	686738.99
38	1234.66	129.86	528.72	160329.52	652785.84
39	966.57	129.86	503.97	125516.55	487121.25
40	1234.66	129.86	479.22	160329.52	591670.16
41	1234.66	129.86	435.53	160329.15	537735.26
42	1234.66	129.86	408.03	160329.15	503782.11
43	1234.66	129.86	380.53	160329.15	469828.95
44	966.57	129.86	355.78	125516.26	343890.49
45	1234.66	129.86	331.03	160329.15	408713.27
46	1234.66	129.86	287.35	160329.15	354778.37
47	1234.66	129.86	259.85	160329.15	320825.22
48	1234.66	129.86	232.35	160329.15	286872.06
49	966.57	129.86	207.60	125516.26	200659.73
50	1234.66	129.86	182.85	160329.15	225756.38
51	1234.66	129.86	155.35	160329.15	191803.23
52	1234.25	121.92	106.29	150475.16	131192.38
53	1234.66	182.60	654.90	225448.58	808580.20
54	1234.66	182.60	627.40	225448.58	774627.04
55	1234.66	182.60	599.90	225448.58	740673.89



Sai Phet 1					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
56	1234.66	182.60	556.22	225448.58	686738.99
57	1234.66	182.60	528.72	225448.58	652785.84
58	966.57	182.60	503.97	176496.07	487121.25
59	1234.66	182.60	479.22	225448.58	591670.16
60	1234.66	182.60	435.53	225448.58	537735.26
61	1234.66	182.60	408.03	225448.58	503782.11
62	1234.66	182.60	380.53	225448.58	469828.95
63	966.57	182.60	355.78	176496.07	343890.49
64	1234.66	182.60	331.03	225448.58	408713.27
65	1234.66	182.60	287.35	225448.58	354778.37
66	1234.66	182.60	259.85	225448.58	320825.22
67	1234.66	182.60	232.35	225448.58	286872.06
68	1234.66	182.60	204.85	225448.58	252918.91
69	1234.39	177.31	174.96	218864.64	215971.49
70	1234.38	230.05	629.79	283969.74	777399.43
71	1234.66	235.34	599.90	290567.89	740673.89
72	1234.66	235.34	556.22	290568.14	686738.99
73	1234.66	235.34	528.72	290568.14	652785.84
74	966.57	235.34	503.97	227475.97	487121.25
75	1234.66	235.34	479.22	290568.14	591670.16
76	1234.66	235.34	435.53	290567.89	537735.26
77	1234.66	235.34	408.03	290567.89	503782.11
78	1234.66	235.34	380.53	290567.89	469828.95
79	966.57	235.34	355.78	227475.77	343890.49
80	1234.66	235.34	331.03	290567.89	408713.27
81	1234.66	235.34	287.35	290567.89	354778.37
82	1234.66	235.34	259.85	290567.89	320825.22
83	1234.39	229.12	230.68	282821.47	284752.92

Sai Phet 1					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
84	966.44	284.70	597.91	275149.12	577844.19
85	1234.66	288.09	556.22	355687.58	686738.99
86	1234.66	288.09	528.72	355687.58	652785.84
87	966.57	288.09	503.97	278455.77	487121.25
88	1234.66	288.09	479.22	355687.58	591670.16
89	1234.66	288.09	435.53	355687.21	537735.26
90	1234.66	288.09	408.03	355687.21	503782.11
91	1234.66	288.09	380.53	355687.21	469828.95
92	966.57	288.09	355.78	278455.48	343890.49
93	1234.66	288.09	331.03	355687.21	408713.27
94	966.30	281.32	287.05	271842.38	277375.50
95	966.44	337.45	554.23	326121.58	535626.39
96	1234.66	340.83	528.72	420806.64	652785.84
97	966.57	340.83	503.97	329435.28	487121.25
98	1234.66	340.83	479.22	420806.64	591670.16
99	1234.66	340.83	435.53	420806.64	537735.26
100	1234.66	340.83	408.03	420806.64	503782.11
101	1234.66	340.83	380.53	420806.89	469828.95
102	1234.25	332.89	347.66	410865.77	429100.04
103	966.57	389.34	527.11	376330.35	509490.76
104	966.57	393.57	503.97	380414.51	487121.25
105	1234.66	393.57	479.22	485925.96	591670.16
106	1234.66	393.57	435.53	485925.96	537735.26
107	1234.66	393.57	408.03	485925.34	503782.11
108	1234.25	438.37	484.59	541060.93	598102.03



ตารางที่ 4 การวิเคราะห์หาจุดเซนทรอยของโทรเพชร 2

Sai Phet 2					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
1	1234.66	24.37	188.35	30090.52	232547.01
2	1234.66	24.37	160.85	30090.52	198593.86
3	966.57	77.11	278.78	74536.85	269464.32
4	966.57	77.11	256.78	74536.85	248199.69
5	1234.66	77.11	232.03	95210.20	286481.91
6	1234.66	77.11	188.35	95210.20	232547.01
7	1234.66	77.11	160.85	95210.20	198593.86
8	1234.66	77.11	133.35	95210.20	164640.70
9	1234.66	129.86	336.53	160329.89	415503.90
10	1234.66	129.86	309.03	160329.89	381550.75
11	1234.66	129.86	281.53	160329.89	347597.59
12	966.57	129.86	256.78	125516.84	248199.69
13	1234.66	129.86	232.03	160329.89	286481.91
14	1234.66	129.86	188.35	160329.89	232547.01
15	1234.66	129.86	160.85	160329.89	198593.86
16	966.57	129.86	136.10	125516.84	131549.71
17	1234.66	129.86	111.35	160329.89	137478.18
18	966.44	133.28	69.65	128807.29	67315.76
19	992.62	191.21	409.50	189794.58	406473.42
20	1234.66	182.60	364.03	225449.57	449457.06
21	1234.66	182.60	336.53	225449.57	415503.90
22	1234.66	182.60	309.03	225449.57	381550.75
23	1234.66	182.60	281.53	225449.57	347597.59
24	966.57	182.60	256.78	176496.84	248199.69
25	1234.66	182.60	232.03	225449.57	286481.91
26	1234.66	182.60	188.35	225449.57	232547.01
27	1234.66	182.60	160.85	225449.57	198593.86



1140632611

MUJ iThesis 5815401018 thesis / recv: 12062563 10:31:05 / seq: 16

Sai Phet 2					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
28	966.57	182.60	136.10	176496.84	131549.71
29	1234.66	182.60	111.35	225449.57	137478.18
30	1234.66	182.60	67.67	225449.57	83543.28
31	1234.66	182.60	40.17	225449.57	49590.13
32	1234.25	243.33	462.59	300325.67	570948.92
33	966.57	235.34	432.47	227476.84	418011.23
34	1234.66	235.34	407.72	290569.25	503391.95
35	1234.66	235.34	364.03	290569.25	449457.06
36	1234.66	235.34	336.53	290569.25	415503.90
37	1234.66	235.34	309.03	290569.25	381550.75
38	1234.66	235.34	281.53	290569.25	347597.59
39	966.57	235.34	256.78	227476.84	248199.69
40	1234.66	235.34	232.03	290569.25	286481.91
41	1234.66	235.34	188.35	290569.25	232547.01
42	1234.66	235.34	160.85	290569.25	198593.86
43	966.57	235.34	136.10	227476.84	131549.71
44	1234.66	235.34	111.35	290569.25	137478.18
45	1234.66	235.34	67.67	290569.25	83543.28
46	1234.66	235.34	40.17	290569.25	49590.13
47	1234.66	235.34	12.67	290569.25	15636.97
48	1234.66	288.09	512.22	355688.94	632413.94
49	1234.66	288.09	484.72	355688.94	598460.79
50	1234.66	288.09	457.22	355688.94	564507.63
51	966.57	288.09	432.47	278456.83	418011.23
52	1234.66	288.09	407.72	355688.94	503391.95
53	1234.66	288.09	364.03	355688.94	449457.06
54	1234.66	288.09	336.53	355688.94	415503.90
55	1234.66	288.09	309.03	355688.94	381550.75



Sai Phet 2					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
56	1234.66	288.09	281.53	355688.94	347597.59
57	966.57	288.09	256.78	278456.83	248199.69
58	1234.66	288.09	232.03	355688.94	286481.91
59	1234.66	288.09	188.35	355688.94	232547.01
60	1234.66	288.09	160.85	355688.94	198593.86
61	966.57	288.09	136.10	278456.83	131549.71
62	1234.66	288.09	111.35	355688.94	137478.18
63	1234.66	288.09	67.67	355688.94	83543.28
64	1234.66	288.09	40.17	355688.94	49590.13
65	1234.66	288.09	12.67	355688.94	15636.97
66	1234.66	340.83	484.72	420808.62	598460.79
67	1234.66	340.83	457.22	420808.62	564507.63
68	966.57	340.83	432.47	329436.83	418011.23
69	1234.66	340.83	407.72	420808.62	503391.95
70	1234.66	340.83	364.03	420808.62	449457.06
71	1234.66	340.83	336.53	420808.62	415503.90
72	1234.66	340.83	309.03	420808.62	381550.75
73	1234.66	340.83	281.53	420808.62	347597.59
74	966.57	340.83	256.78	329436.83	248199.69
75	1234.66	340.83	232.03	420808.62	286481.91
76	1234.66	340.83	188.35	420808.62	232547.01
77	1234.66	340.83	160.85	420808.62	198593.86
78	966.57	340.83	136.10	329436.83	131549.71
79	1234.66	340.83	111.35	420808.62	137478.18
80	1229.49	335.56	65.37	412566.21	80370.16
81	1234.66	393.57	457.22	485928.30	564507.63
82	966.57	393.57	432.47	380416.83	418011.23
83	1234.66	393.57	407.72	485928.30	503391.95



Sai Phet 2					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
84	1234.66	393.57	364.03	485928.30	449457.06
85	1234.66	393.57	336.53	485928.30	415503.90
86	1234.66	393.57	309.03	485928.30	381550.75
87	1234.66	393.57	281.53	485928.30	347597.59
88	966.57	393.57	256.78	380416.83	248199.69
89	1234.66	393.57	232.03	485928.30	286481.91
90	1234.66	393.57	188.35	485928.30	232547.01
91	1234.66	393.57	160.85	485928.30	198593.86
92	1234.66	393.57	133.35	485928.30	164640.70
93	966.44	442.94	433.23	428068.61	418687.61
94	1234.66	446.32	407.72	551047.98	503391.95
95	1234.66	446.32	364.03	551047.98	449457.06
96	1234.66	446.32	336.53	551047.98	415503.90
97	1234.66	446.32	309.03	551047.98	381550.75
98	1234.66	446.32	281.53	551047.98	347597.59
99	966.57	446.32	256.78	431396.82	248199.69
100	1234.66	446.32	232.03	551047.98	286481.91
101	1229.49	441.02	185.96	542233.47	228639.76
102	1234.66	499.06	364.03	616167.67	449457.06
103	1234.66	499.06	336.53	616167.67	415503.90
104	1234.66	499.06	309.03	616167.67	381550.75
105	1234.66	499.06	281.53	616167.67	347597.59
106	1229.49	488.91	249.92	601116.66	307274.25
107	966.44	548.42	351.04	530014.10	339262.02
108	966.30	545.04	325.23	526671.35	314273.19



ตารางที่ 5 การวิเคราะห์หาจุดเซนทรอยของโทรเพชร 3

Sai Phet 3					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
1	1234.2477	56.707	372.0456	69990.484	459196.43
2	1234.6602	48.743	339.174	60181.042	418764.64
3	1234.6602	48.743	311.674	60181.042	384811.48
4	1234.6602	24.3715	284.174	30090.521	350858.33
5	966.2987	17.6335	256.375	17039.228	247734.83
6	1018.937	113.7016	495.608	115854.77	504993.33
7	1234.5227	102.1718	460.155	126133.41	568071.79
8	966.5737	101.486	435.108	98093.699	420563.95
9	1234.6602	101.486	394.174	125300.73	486670.95
10	1234.6602	101.486	366.674	125300.73	452717.79
11	1234.2477	91.3362	259.4046	112731.49	320169.53
12	1234.6602	83.3721	210.349	102936.21	259709.54
13	966.5737	83.3721	185.599	80585.279	179395.11
14	1234.2477	162.1695	575.2296	200157.33	709975.81
15	1234.6602	154.229	542.358	190420.41	669627.84
16	1234.6602	154.229	514.858	190420.41	635674.68
17	1234.6602	154.229	487.358	190420.41	601721.53
18	1234.6602	154.229	459.858	190420.41	567768.37
19	966.5737	154.229	435.108	149073.7	420563.95
20	1234.6602	136.1151	309.033	168055.9	381550.75
21	1234.6602	136.1151	281.533	168055.9	347597.59
22	1234.6602	136.1151	254.033	168055.9	313644.43
23	1234.6602	136.1151	210.349	168055.9	259709.54
24	966.5737	136.1151	185.599	131565.28	179395.11
25	1234.6602	136.1151	160.849	168055.9	198593.86
26	1234.6602	136.1151	133.349	168055.9	164640.7



Sai Phet 3					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
27	1234.2477	214.9125	646.4136	265255.26	797834.5
28	1234.6602	206.972	597.358	255540.09	737534.15
29	1234.6602	206.972	569.858	255540.09	703580.99
30	1234.6602	206.972	542.358	255540.09	669627.84
31	1234.6602	206.972	514.858	255540.09	635674.68
32	1234.6602	206.972	487.358	255540.09	601721.53
33	1234.6602	188.8581	364.0596	233175.58	449489.9
34	1234.6602	188.8581	336.533	233175.58	415503.9
35	1234.6602	188.8581	309.033	233175.58	381550.75
36	1234.6602	188.8581	281.533	233175.58	347597.59
37	1234.6602	188.8581	254.033	233175.58	313644.43
38	1234.6602	188.8581	210.349	233175.58	259709.54
39	966.5737	188.8581	185.599	182545.27	179395.11
40	1234.6602	188.8581	160.849	233175.58	198593.86
41	1234.6602	188.8581	133.349	233175.58	164640.7
42	1234.6602	191.8581	89.665	236879.56	110705.81
43	966.4362	195.262	64.1536	188708.27	62000.361
44	966.1612	269.8587	727.6552	260727.01	703032.22
45	1234.6602	259.715	696.042	320659.77	859375.35
46	1234.6602	259.715	668.542	320659.77	825422.2
47	1234.6602	259.715	641.042	320659.77	791469.04
48	1234.6602	259.715	597.358	320659.77	737534.15
49	1234.6602	259.715	569.858	320659.77	703580.99
50	1234.5227	257.0688	541.7622	317357.27	668817.73
51	966.1883	248.3898	446.8331	239991.32	431724.91
52	1234.6602	241.6011	419.033	298295.26	517363.37
53	1234.6602	241.6011	391.533	298295.26	483410.21
54	1234.6602	241.6011	364.033	298295.26	449457.06



Sai Phet 3					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
55	1234.6602	241.6011	336.533	298295.26	415503.9
56	1234.6602	241.6011	309.033	298295.26	381550.75
57	1234.6602	241.6011	281.533	298295.26	347597.59
58	1234.6602	241.6011	254.033	298295.26	313644.43
59	1234.6602	241.6011	210.349	298295.26	259709.54
60	966.5737	241.6011	185.599	233525.27	179395.11
61	1234.6602	241.6011	160.849	298295.26	198593.86
62	1234.6602	241.6011	133.349	298295.26	164640.7
63	1234.6602	244.6011	89.665	301999.24	110705.81
64	1234.6602	244.6011	62.165	301999.24	76752.651
65	966.4362	248.005	36.6536	239681.01	35423.366
66	966.4362	309.0777	716.0534	298703.88	692019.93
67	966.5737	312.458	693.292	302013.69	670117.81
68	1234.6602	312.458	668.542	385779.46	825422.2
69	1234.6602	312.458	641.042	385779.46	791469.04
70	1234.2477	304.5411	591.9863	375879.15	730657.73
71	1234.5227	297.0139	496.3128	366670.4	612709.42
72	1234.6602	294.3441	452.033	363414.95	558107.15
73	966.9526	287.6094	424.2282	278104.66	410208.56
74	1234.6602	294.3441	281.533	363414.95	347597.59
75	1234.6602	294.3441	254.033	363414.95	313644.43
76	1234.6602	294.3441	210.349	363414.95	259709.54
77	966.5737	294.3441	185.599	284505.27	179395.11
78	1234.6602	294.3441	160.849	363414.95	198593.86
79	1234.6602	294.3441	133.349	363414.95	164640.7
80	1234.6602	297.3441	89.665	367118.93	110705.81
81	1234.6602	297.3441	62.165	367118.93	76752.651
82	966.5737	297.3441	37.415	287404.99	36164.355



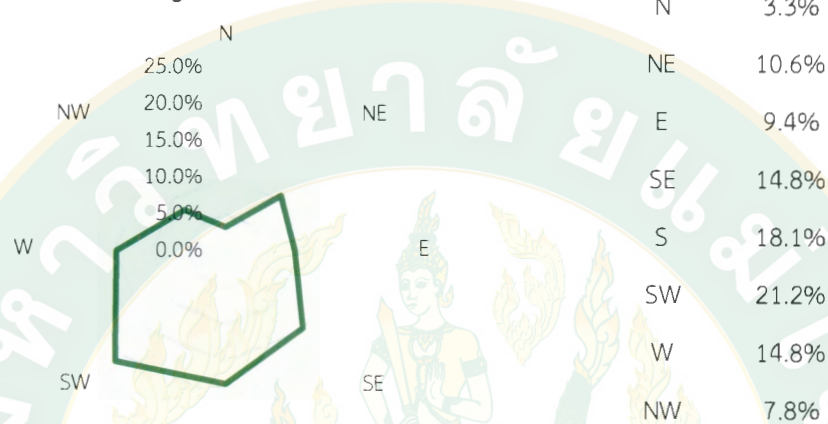
Sai Phet 3					
No.Array	Area	X	Y	xA	yA
83	966.4362	293.9874	14.6536	284120.07	14161.77
84	966.4362	361.8443	683.0534	349699.43	660127.53
85	1234.2477	357.2841	652.1703	440977.08	804939.69
86	1234.3853	352.4038	558.6032	435002.07	689531.58
87	1234.6602	347.0871	528.717	428534.63	652785.84
88	1234.5227	344.4645	500.6212	425249.24	618028.24
89	1234.6602	347.0871	254.033	428534.63	313644.43
90	1234.6602	347.0871	210.349	428534.63	259709.54
91	966.5737	347.0871	185.599	335485.26	179395.11
92	1234.6602	347.0871	160.849	428534.63	198593.86
93	1234.6602	347.0871	133.349	428534.63	164640.7
94	1234.6602	350.0871	89.665	432238.61	110705.81
95	966.2987	406.6153	627.9894	392911.84	606825.34
96	1234.6602	399.8302	600.1904	493654.43	741031.2
97	1234.6602	399.8302	572.6904	493654.43	707078.04
98	966.2987	393.0922	544.8915	379844.48	526527.95
99	1234.6602	399.8301	254.033	493654.31	313644.43
100	1234.6602	399.8301	210.349	493654.31	259709.54
101	966.5737	399.8301	185.599	386465.26	179395.11
102	1234.6602	399.8301	160.849	493654.31	198593.86
103	1286.886	440.4048	613.9404	566750.77	790071.31
104	1234.6602	452.5731	281.533	558773.99	347597.59
105	1234.6602	452.5731	254.033	558773.99	313644.43
106	1234.6602	452.5731	210.349	558773.99	259709.54
107	966.5737	505.3161	278.783	488425.25	269464.32
108	1234.6602	505.3161	254.033	623893.68	313644.43



4.2 ผลทิศทางลมและความเร็วลมของโครงการตลอดทั้งปี

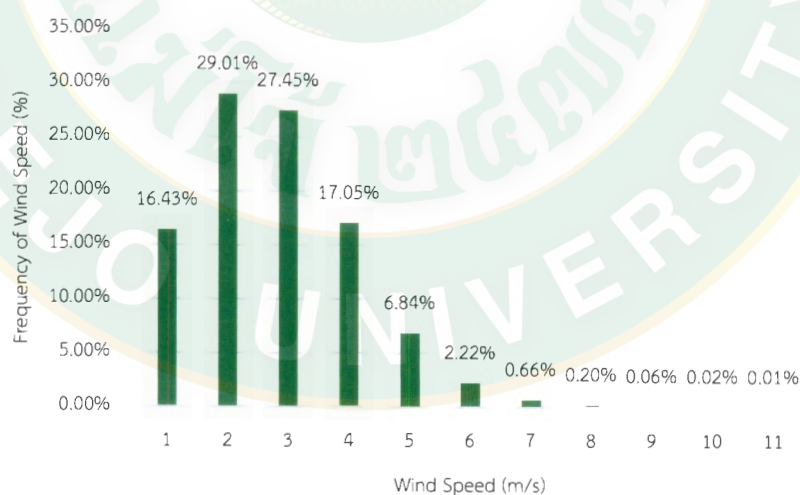
จากข้อมูลในงานวิจัยทั้ง 3 โครงการ เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 6.00-18.00 น. วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2558 ถึง 6.00-18.00 น. วันที่ 31 ธันวาคม โดยทิศทางลมเฉลี่ย แสดงดังภาพที่ 36 และข้อมูลความเร็วลม แสดงดังภาพที่ 37

Total Average of Wind direction



ภาพที่ 36 ข้อมูลทิศทางลมเฉลี่ยโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พ.ศ. 2558

Wind Speed whole year

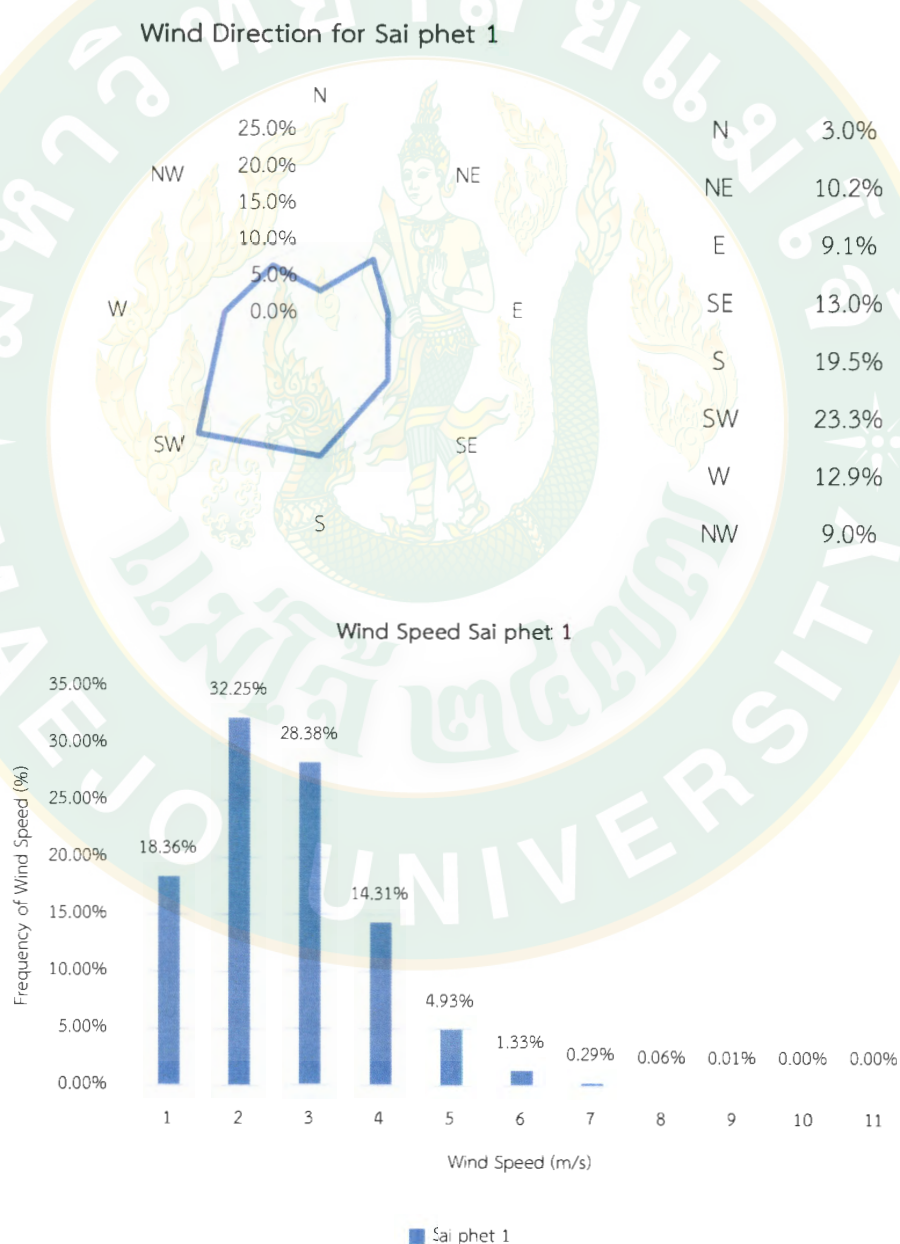


ภาพที่ 37 ข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พ.ศ. 2558

จากผลของทิศทางลมตลอดทั้งปี ช่วงเวลา 06.00-18.00 น. ในการเก็บข้อมูลเนื่องจากเป็นช่วงเวลากลางวันนั้น พบว่าทิศทางที่ลมพัดผ่านมากที่สุด คือ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ เท่ากับ 21.2% และ

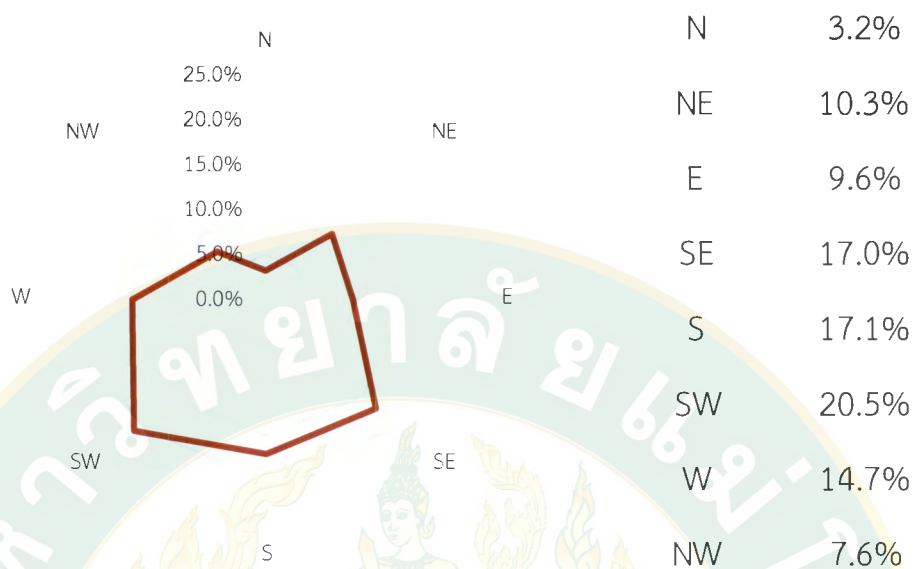
ความถี่ของความเร็วที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ 2 m/s เท่ากับ 29.01% ซึ่งประเทศไทยได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม-เดือนตุลาคม) และได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงฤดูหนาว (เดือนตุลาคม-เดือนกุมภาพันธ์) (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.) ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า ทิศทางที่ตรงกันข้ามกับทิศตะวันตกเฉียงใต้ที่มีค่าความถี่มากที่สุด คือทิศตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าเท่ากับ 10.6%

เมื่อจำแนกทิศทางลมและความเร็วลมในแต่ละโครงการจะมีผลสอดคล้องกันทั้ง 3 โครงการ ดังแสดงในภาพที่ 38 - 40

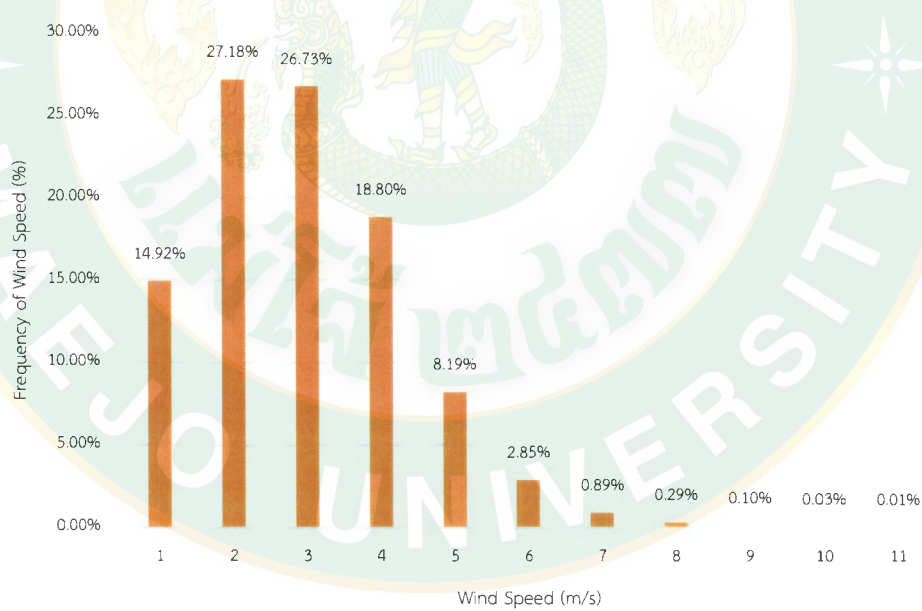


ภาพที่ 38 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยโครงการไทรเพชร 1

Wind Direction for Sai phet 2



Wind Speed Sai phet 2



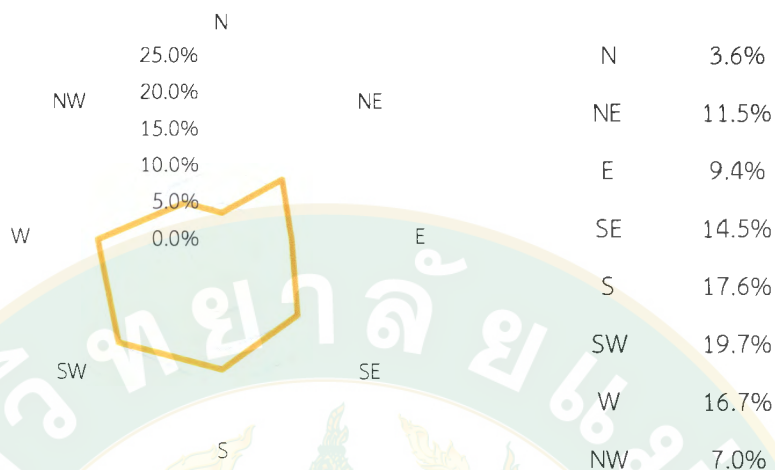
Sai phet 2

ภาพที่ 39 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ยโครงการไพรเพชร 2

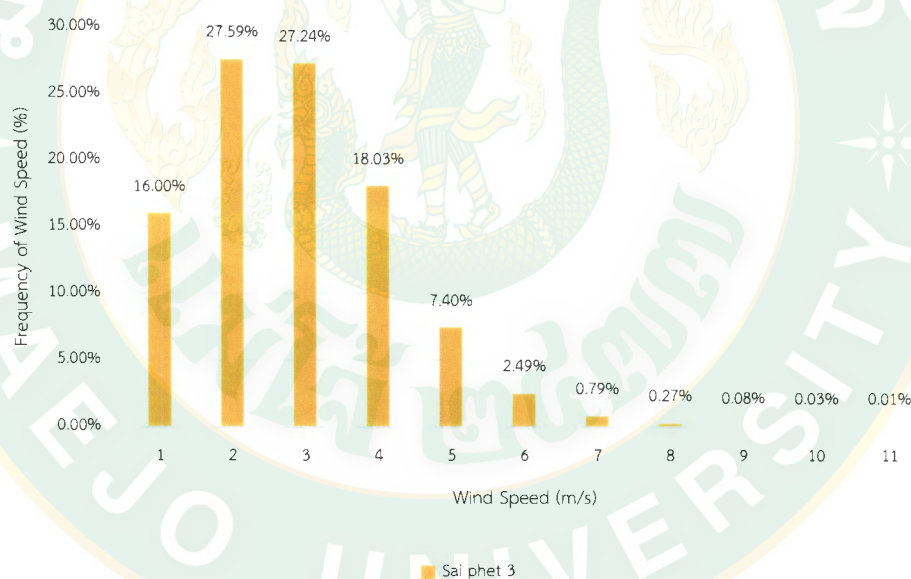


1140632611

Wind Direction for Sai phet 3



Wind Speed Sai phet 3

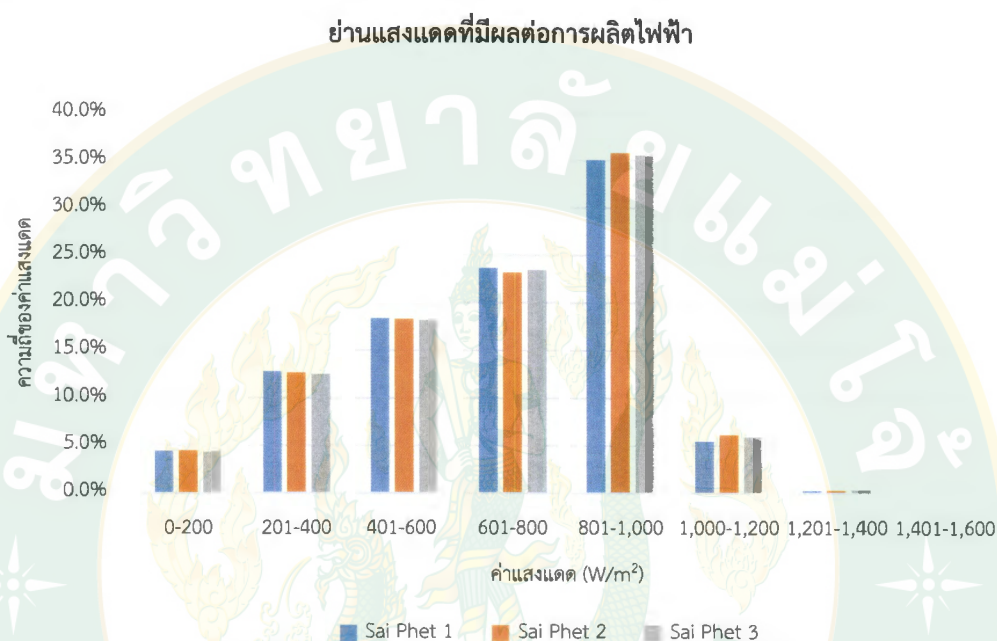


ภาพที่ 40 ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมเฉลี่ย โครงการไทรเพชร 3

จากผลการรวบรวมข้อมูลของทิศทางและความเร็วลมทั้ง 3 โครงการ เป็นทิศทางและความเร็วลมในทิศทางเดียวกัน คือ ทิศทางลมที่พัดมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีค่ามากที่สุดจากทั้งหมด 8 ทิศทาง ซึ่งเป็นทิศทางที่เป็นแนวลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศไทย และมีความถี่สำหรับความเร็วลมที่เกิดขึ้น ช่วงเวลาตั้งแต่ 06.00-18.59 น. มากที่สุดที่ความเร็วลมเฉลี่ย 2 m/s และ 3 m/s จำนวนรองลงมา ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าเป็นที่พัดผ่านทั้ง 3 โครงการนี้เป็นลมอ่อน เมื่อเทียบกับมาตราโบฟอร์ต และเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

4.3 ผลแสดงย่านแสงแดดที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า

ผลจากการรวบรวมข้อมูลค่าแสงแดดทั้ง 3 โครงการ ผลปรากฏว่าย่าน 800-1,000 W/m² มีสัดส่วน 35.0% ของย่านแสงแดดที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดทั้งปี ซึ่งอยู่ในย่านที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดดังแสดงในภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ย่านแสงแดดที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า

จากข้อมูลที่ได้จากย่านแสงแดดช่วงที่ 600-1000 W/m² จากภาพที่ 41 มีค่าความถี่ที่เกิดขึ้นรวมกันได้มากกว่า 50% ของความถี่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจะนำค่าความเข้มแสงในย่านนี้ไปทำการวิเคราะห์ในหัวข้อต่อไป เพราะเป็นย่านที่เกิดขึ้นมากที่สุดและมีผลต่อการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด

4.4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมที่พัฒมาจากด้านทิศใต้กับทิศเหนือ โดยทั้ง 3 โครงการแยกอิสระต่อกัน

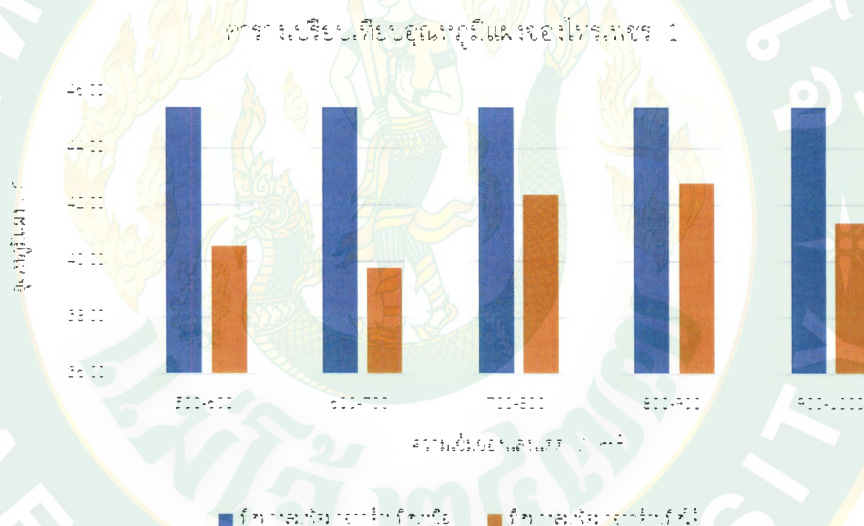
จากการกำหนดอิทธิพลของทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศใต้เปรียบเทียบกับทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศเหนือ เพื่อหาผลต่างของอุณหภูมิแผงว่าลมที่กระพัดด้านหน้าแผง (พัฒมาจากทางด้านทิศใต้) สามารถ ระบายความร้อนให้กับแผงเทียบกับลมที่กระพัดด้านหลังแผง (พัฒมาจากทางด้านทิศเหนือ) สรุปว่า ทิศทางลมที่พัฒมาจากทางด้านทิศใต้สามารถที่จะระบายความร้อนได้ดีกว่า ทิศทางลมที่พัฒมาจากทางด้านทิศเหนือ และสามารถหาค่าความสูญเสียเนื่องจากอุณหภูมิแผงที่เปลี่ยนไปเทียบกับ อุณหภูมิแผง (25° C ที่ STC) ได้จากการสมการดังนี้

$$P_{MOD} = P_{STC} \times (1 - PTC(T_M - T_{STC}))$$

สมการที่ 9

- โดยที่ P_{MOD} คือ กำลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์ผลิตได้
 P_{STC} คือ กำลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์ถูกทดสอบ 25°C
 PTC คือ ค่าสัมประสิทธิ์ลดลงของกำลังงานต่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 มีค่า $0.4\%/^{\circ}\text{C}$
 T_M คือ อุณหภูมิของแผงขณะทำงาน ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{STC} คือ อุณหภูมิของแผงที่ถูกทดสอบ 25°C (Standard Test Condition)

การเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงที่ได้จากการกำหนดทิศทางลม ที่พัฒมาจากด้านทิศเหนือ-ใต้ และทำการคำนวณค่าความสูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผง สามารถจำแนกแต่ละโครงการได้ดังนี้

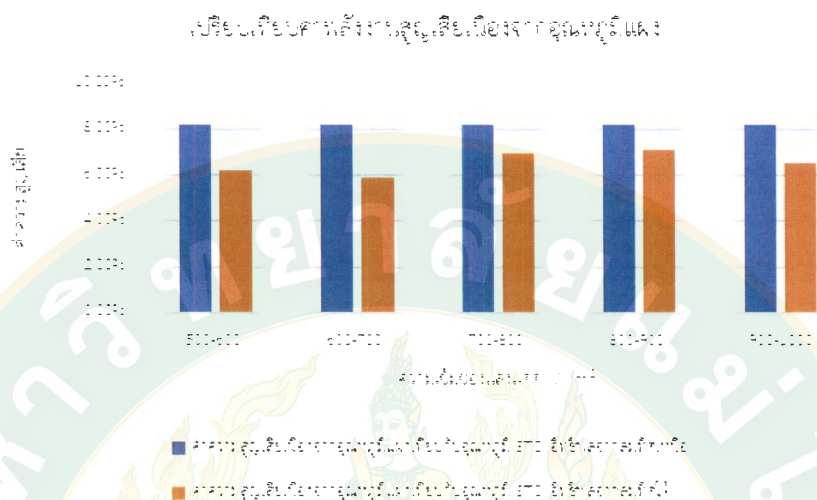


ภาพที่ 42 อุณหภูมิแผงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัฒมาจากทางด้านทิศเหนือ-ใต้ ของโครงการ 1
 รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู

จากภาพที่ 42 พื้นที่ของโครงการโครงการ 1 ที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูนี้ ทำให้เห็นว่า ทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศใต้ทำให้อุณหภูมิแผงน้อยกว่าทางด้านทิศเหนือ และเมื่อนำค่าของ อุณหภูมิของแผงนี้ คำนวณค่าความสูญเสียเมื่อเทียบอุณหภูมิแผงทดสอบ 25°C (Standard Test Condition) จะได้ค่าความสูญเสียตามภาพที่ 43

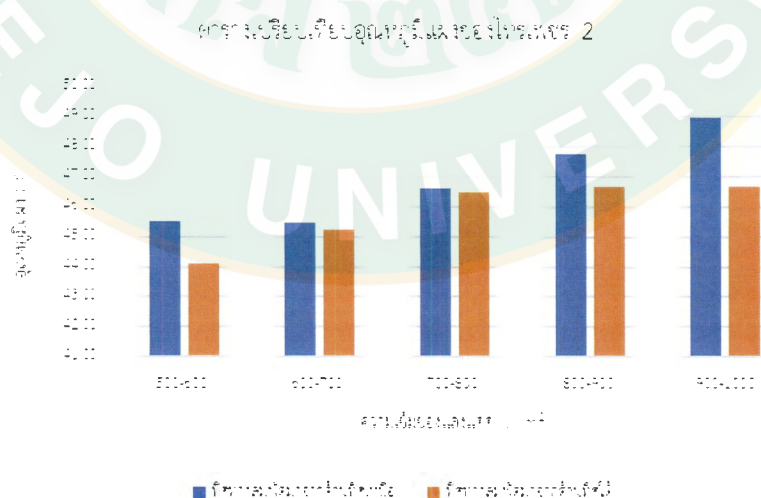
จากผลทิศทางลมที่พัฒมาจากทางด้านทิศใต้ ด้วยความเร็วลมเฉลี่ยที่ 2 m/s จะทำให้ อุณหภูมิแผงน้อยกว่า ทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับย่านความเข้มแสงที่ 600-700

W/m^2 มีค่าความสูญเสียเนื่องจากความร้อนถึง 2.27% และที่ความเข้มแสงที่ย่าน 900-1,000 W/m^2 มีค่าผลต่างเท่ากับ 1.65% ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู



ภาพที่ 43 คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผงจากลมที่พัดจากทิศเหนือ เทียบกับลมที่พัดมาจากด้านทิศใต้ของโทรเพอร์ 1 รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู

จากการกำหนดเกณฑ์สภาพแวดล้อมและทิศทางลมลักษณะเดียวกัน ผลของอุณหภูมิแสง และ ค่าความสูญเสียเนื่องจากความร้อนของโครงการโทรเพอร์ 2 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิแสงของโครงการโทรเพอร์ 2 ที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามารถคำนวณผลต่างของค่าสูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผงได้ดังภาพที่ 45

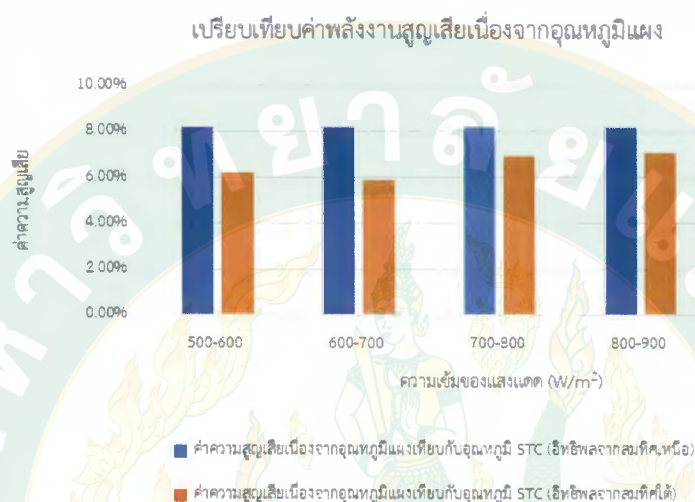


ภาพที่ 44 อุณหภูมิแสงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทางด้านทิศเหนือ-ใต้ ของโทรเพอร์ 2 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า



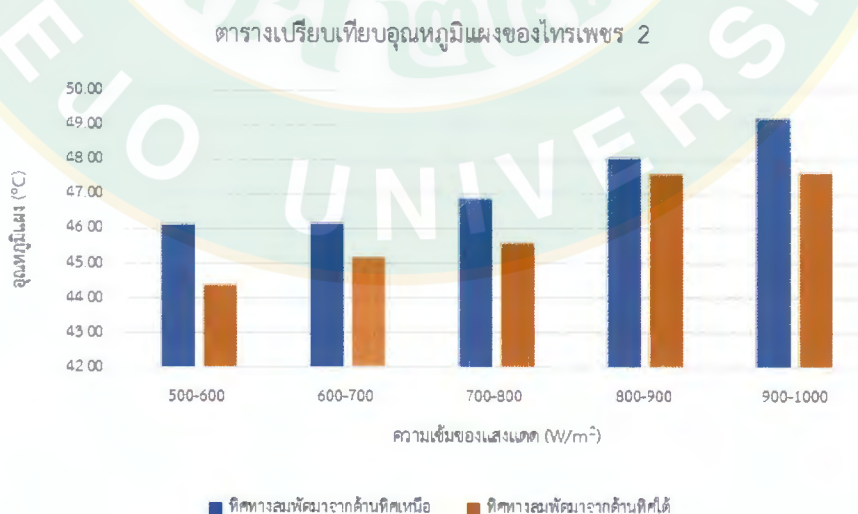
1140632611

จากผลทิศทางลมที่พัฒมาจากทางด้านทิศใต้ ด้วยความเร็วลมเฉลี่ยที่ 2 m/s จะทำให้ อุณหภูมิผิวน้อยกว่า ทิศทางลมที่พัฒมาจากด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับย่านความเข้มแสงที่ 900-1,000 W/m² มีค่าความสูญเสียเนื่องจากความร้อนถึง 0.90% และเป็นผลต่างที่มากที่สุด ด้วยรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า



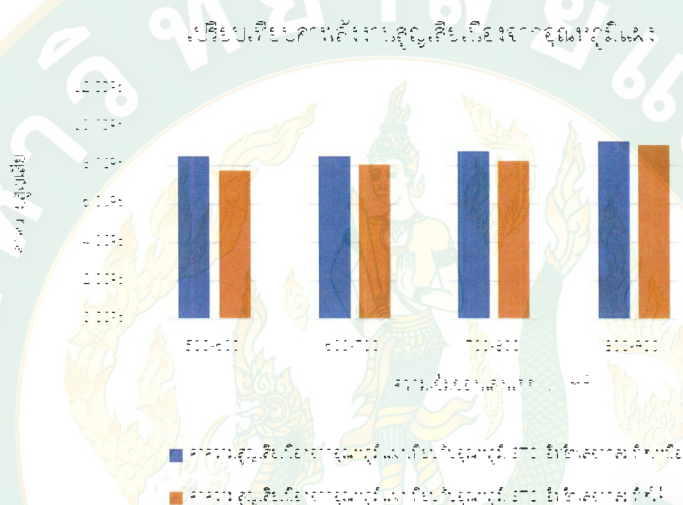
ภาพที่ 45 คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผง จากลมที่พัดจากทิศเหนือ เทียบกับลมที่พัฒมาจากด้านทิศใต้ ของโทรเพเซอร์ 2 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จากการกำหนดเกณฑ์สภาพแวดล้อมและทิศทางลมลักษณะเดียวกัน ผลของอุณหภูมิผิวน้ำ และ ค่าความสูญเสียเนื่องจากความร้อนของโครงการโทรเพเซอร์ 3 แสดงดังนี้



ภาพที่ 46 อุณหภูมิผิวน้ำที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัฒมาจากทางด้านทิศเหนือ-ใต้ ของโทรเพเซอร์ 3 รูปทรงหลายเหลี่ยม

จากผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงของโครงการโทรเพชร 3 ที่เป็นรูปทรงหลายเหลี่ยม สามารถคำนวณผลต่างของค่าสูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผงได้ดังภาพที่ 47 ผลทิศทางลมที่พัดมาจากทางด้านทิศใต้ ด้วยความเร็วลมเฉลี่ยที่ 2 m/s จะทำให้อุณหภูมิแผงน้อยกว่า ทิศทางลมที่พัดมาจากด้านทิศเหนือ เมื่อเทียบกับย่านความเข้มแสงที่ 500-600 W/m² มีค่าความสูญเสียเนื่องจากความร้อนถึง 0.70% และที่ความเข้มแสงที่ย่าน 900-1,000 W/m² มีค่าผลต่างเท่ากับ 0.63% ด้วยรูปทรงหลายเหลี่ยม

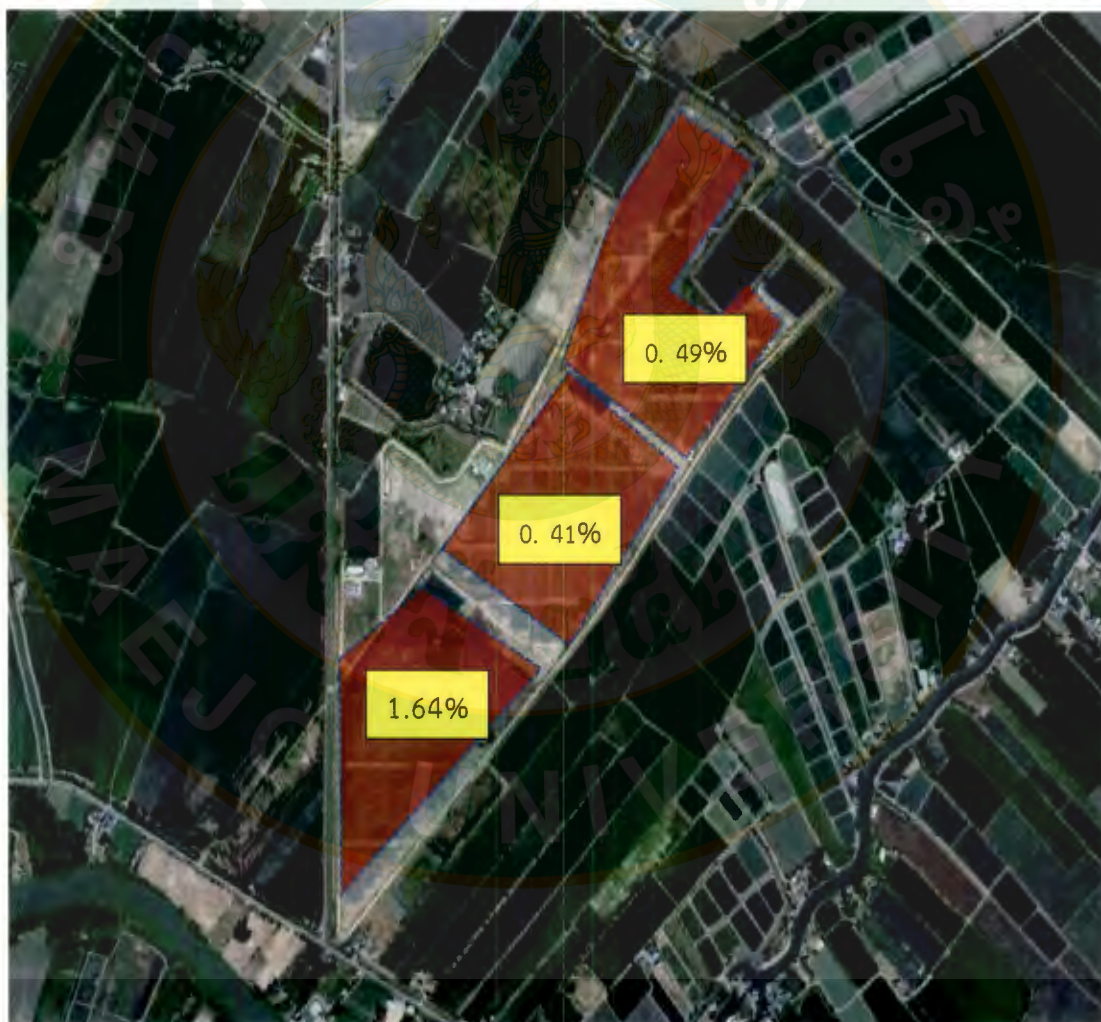


ภาพที่ 47 คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผง จากลมที่พัดจากทิศเหนือ เทียบกับลมที่พัดมาจากด้านทิศใต้ ของโทรเพชร 3 รูปทรงหลายเหลี่ยม

จากการที่ได้กำหนดเกณฑ์สภาพแวดล้อม ลักษณะเหมือนกันทั้ง 3 โครงการ แต่เนื่องด้วยรูปทรงที่ต่างกัน จึงสามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อกำหนดทิศทางลมที่พัดมาจากด้านทิศใต้ (ลมกระทบด้านหน้าแผง) เทียบกับ ลมที่พัดมาจากด้านทิศเหนือ (ลมกระทบด้านหลังแผง) แล้วทำให้อุณหภูมิแผงจากลมที่พัดมาจากด้านทิศใต้ มีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิแผงที่พัดมาจากด้านทิศเหนือ มีค่าผลต่างเช่นเดียวกันทั้ง 3 โครงการ และนำค่าความต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นนี้ คำนวณหาค่าความสูญเสียเนื่องจากความร้อน ทำให้พบว่า ผลของรูปทรงที่ต่างกันนั้น ส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าผลต่างกันด้วย คือโครงการโทรเพชร 1 ที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู มีค่าผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่างกันเท่ากับ 1.64% โครงการโทรเพชร 2 ที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีค่าผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่างกัน 0.41% และโครงการโทรเพชร 3 ที่เป็นรูปทรงหลายเหลี่ยม มีค่าผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่างกัน 0.49% รูปทรงที่มีผลต่างมากที่สุดคือโครงการโทรเพชร 1 ซึ่งเป็นผล มาจาก พื้นที่ของรูปทรง ส่วนที่รับลมที่

พัฒมาจากด้านทิศใต้ มีพื้นที่ของรูปทรง มากกว่าลมที่พัฒมาจากด้านทิศเหนือ จึงทำให้การระบายความร้อนจากด้านหน้าแผง ระบายความร้อนได้ดีกว่า โครงการอื่น และโครงการไทรเพชร 2 รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีค่าผลต่างน้อยที่สุด เนื่องด้วยพื้นที่รับลมทั้งด้านทิศใต้ - เหนือ มีพื้นที่เท่ากัน แต่ด้านลมที่พัฒมาจากด้านทิศใต้สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า จึงมีผลทำให้อุณหภูมิต่างกันน้อย ดังนั้นพื้นที่การจัดเรียงด้วยรูปทรงที่ต่างกันจึงมีผลต่ออุณหภูมิของแผง เมื่อมีลมพัฒมาจากด้านทิศเหนือ-ใต้ ผลต่างที่เกิดขึ้นจึงสรุปว่า รูปทรงทั้ง 3 รูปทรงมีรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นรูปทรงที่ได้มีการระบายความร้อนได้ดีกว่า รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปทรงหลายเหลี่ยม เมื่อได้รับอิทธิพลของลมที่พัฒมาจากทางด้านทิศใต้



ภาพที่ 48 รูปทรงของแต่ละโครงการทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิแผงแต่ละโครงการ



1140632617

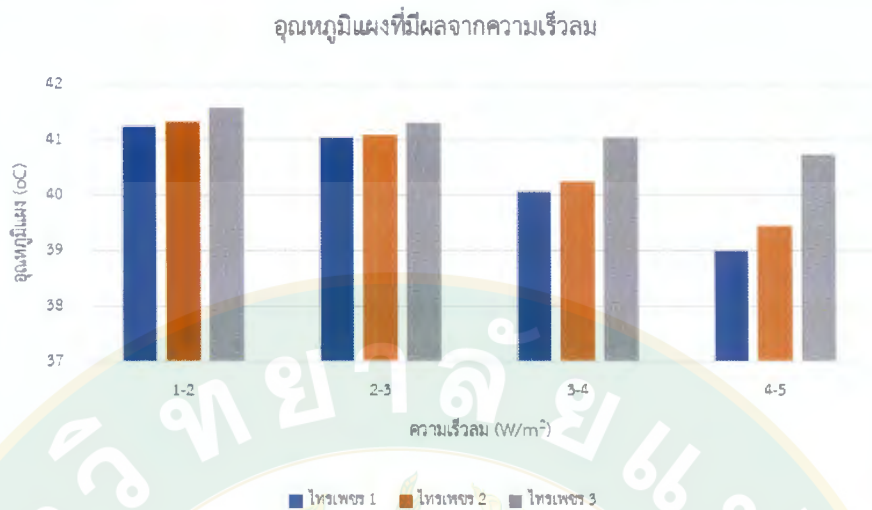
จากการที่เปรียบเทียบผลต่างของค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความร้อน รูปทรงที่ต่างกันถูกจัดเรียงให้พื้นที่เดียวกัน จากมีผลต่ออุณหภูมิแผงที่ต่างกัน และมีอุณหภูมิของแผงมีผลต่อประสิทธิภาพแผงโดยตรง

4.5 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเมื่อได้รับอิทธิพลจากลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ กับทิศตะวันออกเฉียงใต้

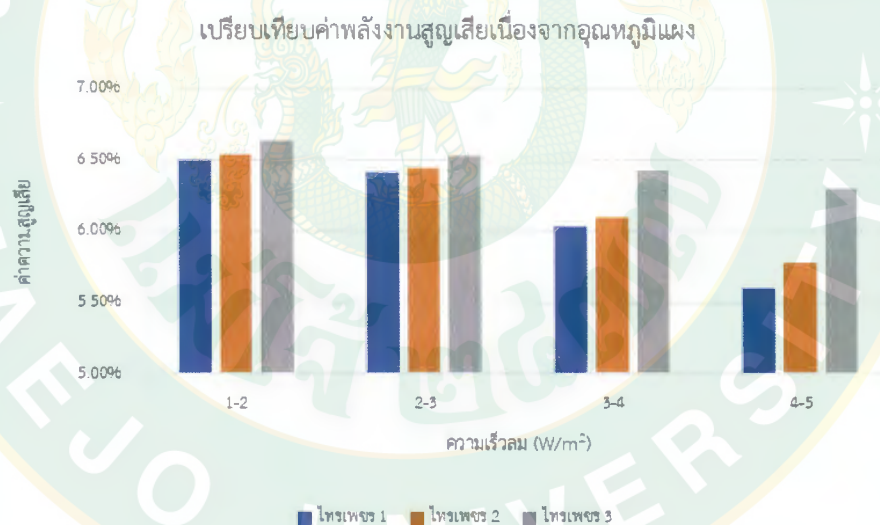
เมื่อการเปรียบเทียบลมที่พัดจากทางด้านทิศใต้ทำให้อุณหภูมิแผงลดลงมากกว่าด้านทิศเหนือ ในหัวข้อที่ผ่านมา ได้ทราบถึงผลกระทบของลมที่พัดมา 2 ด้านเหนือและใต้ ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปลี่ยนทิศทางลม จากด้านที่พัดมาจากด้านทิศเหนือ-ใต้ เป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้และด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงที่อยู่ในแนวเดียวกันกับการจัดเรียงกับอุณหภูมิแผงที่อยู่ในแนวที่ขวางกับทิศทางของลมที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ ที่ความเร็วลมช่วง 1- 5 m/s ดังภาพที่ 49

จากภาพที่ 50 ผลของความเร็วลมที่พัดมาจะส่งผลทำให้อุณหภูมิแผงลดลงเรื่อย ๆ ตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น แต่เนื่องด้วยการจัดเรียงของแผงแต่ละโครงการ ถูกจัดเรียงในแนวเดียวกับทิศทางลม ที่พัฒมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ ผลทำให้กลุ่มแผงของโครงการไทรเพชร 1 มีอุณหภูมิน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ โครงการไทรเพชร 2 และ โครงการไทรเพชร 3 ซึ่งผลที่เป็นเช่นนี้ เพราะโครงการไทรเพชร 1 ด้านที่อยู่ต้นลมถูกลมพัดพาความร้อน หรือทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าโครงการไทรเพชร 3 ด้านที่อยู่ปลายลม ผลต่างของอุณหภูมิแผงระหว่างโครงการไทรเพชร 1 และ ไทรเพชร 3 ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 4-5 m/s ทำให้มีผลต่างของอุณหภูมิมากถึง 1.74°C และความร้อนหรืออุณหภูมิที่สูงกว่าค่าอุณหภูมิทดสอบ 25°C ด้านที่อยู่ต้นลมคือโครงการไทรเพชร 1 มีค่าเท่ากับ 5.6% ของค่าพลังงานที่สูญเสียเนื่องจากความร้อน และด้านที่อยู่ปลายลมคือโครงการไทรเพชร 3 มีค่าความสูญเสียเท่ากับ 6.3% ต่างกัน 0.7%

สรุปผลในหัวข้อนี้ทำให้พบว่า กลุ่มแผงที่ถูกจัดเรียงด้านที่อยู่ด้านต้นลม จะสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่ากลุ่มแผงที่อยู่ด้านปลายลม ซึ่งถูกกลุ่มแผงที่อยู่ด้านต้นลมบังกระแสลมที่พัดมา และความเร็วลมที่พัฒมายังความเร็วลมเพิ่มขึ้น ยิ่งทำให้ผลต่างของอุณหภูมิแผงเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในกรณีที่เทียบอุณหภูมิแผงของต้นลมและปลายลม



ภาพที่ 49 อุณหภูมิแฝงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ทั้ง 3 โครงการ ในช่วงความเร็วลม 1- 5 m/s

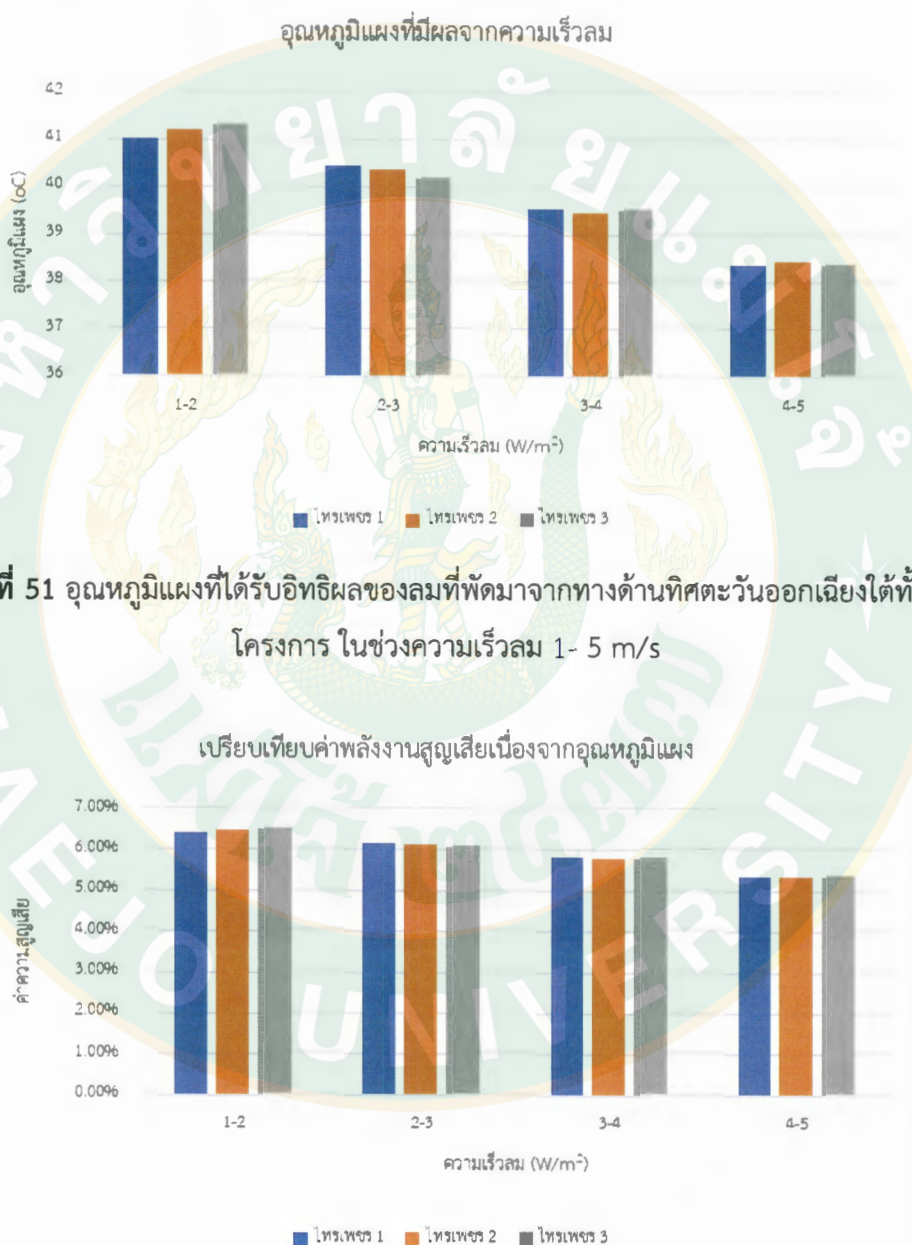


ภาพที่ 50 ค่าพลังงานสูญเสียไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนของแฝงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัดมาจากทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ทั้ง 3 โครงการ ในช่วงความเร็วลม 1- 5 m/s

จากผลของอุณหภูมิแฝงที่ได้รับอิทธิพลลมที่พัดในแนวเดียวกับการจัดเรียงแผง แล้วทำให้เกิดผลต่าง ในส่วนนี้จะเป็นการกำหนดทิศทางของลมที่พัดมาจากด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นแนวของการจัดเรียงแผง ขวางกับทิศทางของลมที่พัดผ่าน จะได้ผลดังภาพที่ 51

จากผลของทิศทางลมที่พัดมาด้านเดียวกันโดยที่ไม่มีกลุ่มแผงบังทิศทางของลมที่พัดมา พบว่าอุณหภูมิแฝงทั้ง 3 โครงการมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแฝงที่ความเร็วลม 1-2

m/s ค่าอุณหภูมิแผงเฉลี่ย 41.18°C ความเร็วลมเฉลี่ย 2-3 m/s ค่าอุณหภูมิแผงเฉลี่ย 40.34°C ความเร็วลมเฉลี่ย 3-4 m/s ค่าอุณหภูมิแผงเฉลี่ย 39.51°C และที่ความเร็วลมเฉลี่ย 4-5 m/s มีค่าอุณหภูมิแผงเฉลี่ย 38.4°C และหากนำไปคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผงแล้วจะได้ดังภาพที่ 52



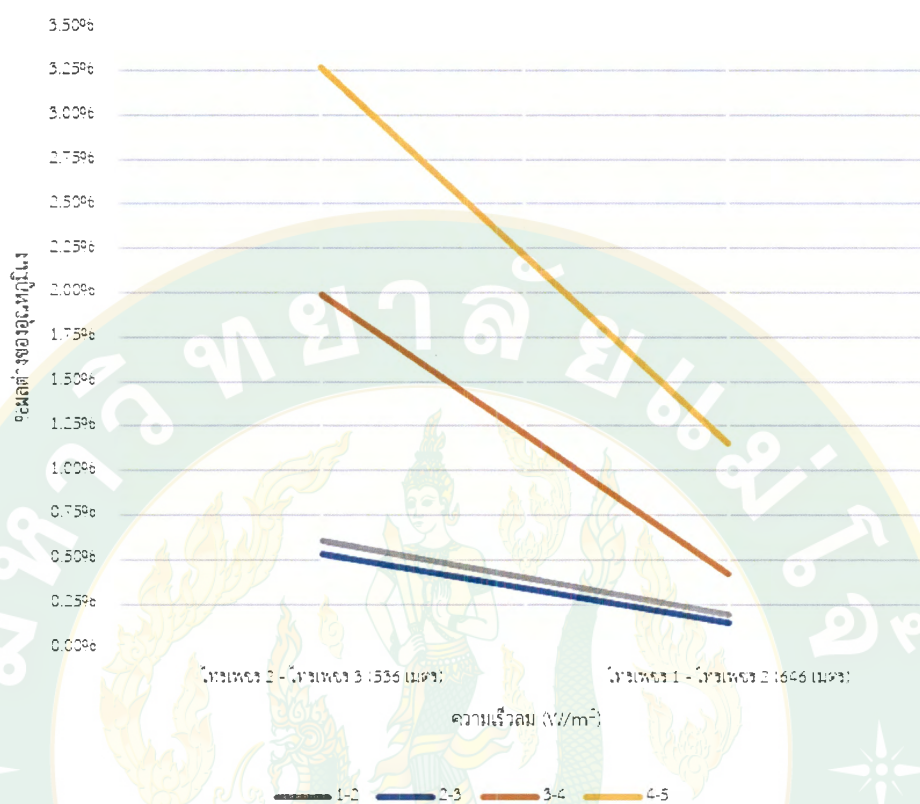
ภาพที่ 52 ค่าพลังงานสูญเสียไฟฟ้าเนื่องจากความร้อนของแผงที่ได้รับอิทธิพลของลมที่พัฒมาจากทางด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ทั้ง 3 โครงการ ในช่วงความเร็วลม 1- 5 m/s

ภาพที่ 52 ผลจากการที่ลมด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่าน 3 โครงการ ที่ความเร็วลมเฉลี่ยต่ำสุด 1-2 m/s ทำให้ค่าพลังงานสูญเสียพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากความร้อนเท่ากับ 6.47% หากเทียบกับความเร็วลมสูงสุดเฉลี่ยที่ 4-5 m/s จะทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียมีค่าเท่ากับ 5.36% ด้วยความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้ลดค่าพลังงานสูญเสียพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากความร้อน หรือ ลมสามารถระบายความร้อนให้กับแผง ได้ 1.11% หรือกล่าวได้ว่าเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ 1.11% เช่นกัน ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงสรุปผลได้ว่า อิทธิพลของลมที่พัดมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ พัดผ่านกลุ่มแผงที่จัดเรียงตามแนวขวางกับทิศทางลมทำให้อุณหภูมิของแผงได้รับการระบายความร้อนพร้อมกัน และไม่มีกลุ่มของแผงใดบังทิศทางของลมที่พัดมา จึงทำให้ผลของอุณหภูมิแผงลดลงใกล้เคียงกัน

4.6 หาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างโครงการที่มีการจัดเรียงตามแนวทิศทางลม

จากผลของหัวข้อที่ 4.5 เมื่อทราบว่า ผลของลมที่พัดมาจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิแผงขึ้น กลุ่มที่อยู่ต้นลมและปลายลม ดังนั้นในหัวข้อนี้จะหาความสัมพันธ์ของระยะห่างของกลุ่มเทียบกับอุณหภูมิแผงที่เกิดขึ้นของแต่ละกลุ่ม ซึ่งตำแหน่งของโครงการไทรเพชร 1 กับโครงการไทรเพชร 2 มีระยะห่างกัน 646 เมตร ที่ความเร็วลม 5 m/s อุณหภูมิแผงต่างกัน 1.15% แต่ตำแหน่งของโครงการไทรเพชร 2 และโครงการไทรเพชร 3 มีระยะห่างกัน 536 เมตร มีอุณหภูมิแผงต่างกันถึง 3.27% ที่ความเร็วลมเฉลี่ย 4-5 m/s ดังภาพที่ 53 จากภาพดังกล่าวอุณหภูมิผลต่างที่เกิดขึ้น เนื่องจากการจัดเรียงแผงอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กันทำให้ อุณหภูมิสูงขึ้น และหากระยะห่างเพิ่มขึ้น ทำให้ผลต่างนั้นกลับลดลง ดังนั้น การติดตั้งที่เว้นระยะห่างเพื่อไม่ให้เกิดผลต่างของอุณหภูมิหรือไม่เกิดการบังทิศทางของกระแสลมที่พัดมา ดังนั้นหากเว้นระยะห่างของกลุ่มติดตั้งแผงได้มากกว่านี้ ก็จะทำให้ผลต่างอุณหภูมิมีค่าน้อยลง ที่ความเร็วลมที่

ผลต่างของอุณหภูมิแผงกับระยะความห่างของโครงการ



ภาพที่ 53 ระยะห่างของจุดติดตั้งแต่ละโครงการ มีผลต่อของอุณหภูมิแผงที่จัดเรียงในแนวเดียวกับลม



1140632611

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์การวิเคราะห์หุ้มที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปทรงพื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย ได้เปรียบเทียบรูปทรง 3 รูปทรงของการติดตั้งกลุ่มแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งบนพื้นดิน ในพื้นที่เดียวกัน เพื่อหารูปทรงที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบรูปทรงที่มีอยู่ในพื้นที่เดียวกัน เมื่อได้รับอิทธิพลของทิศทางลมธรรมชาติแล้ว จะทำให้เกิดการระบายความร้อนให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบสำหรับการจัดเรียงแผงในรูปทรงที่เพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบการติดตั้งบนพื้นดิน โดยผลการวิจัยสามารถสรุปได้ ดังนี้

จากผลการวิจัยพบว่า รูปทรงที่ติดตั้ง 3 โครงการในพื้นที่เดียวกันนี้ เมื่อได้รับอิทธิพลลมที่พัดมาจากด้านทิศใต้ รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมู ของโครงการไทรเพชร 1 เป็นรูปทรงที่สามารถระบายความร้อนให้กับแผงได้ดีที่สุด เนื่องจากพื้นที่ด้านหน้าของแผงที่ได้รับลมจากทางด้านทิศใต้มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ที่ได้รับลมจากทางด้านทิศเหนือ ซึ่งด้านหน้าของแผงเป็นวัสดุกระจกที่รับแสงโดยตรงและถูกระบายความร้อนด้วยลมที่พัดมาจึงทำให้อุณหภูมิแผงลดลงได้มากกว่า ลมที่มากกระทบด้านหลังแผง ซึ่งผลที่จะทำให้การระบายความร้อนนั้นน้อยกว่าด้านหน้าแผง ดังนั้นการจัดเรียงแผงในรูปทรงโครงการไทรเพชร 2 และ 3 พื้นที่ด้านหน้าของแผงหรือพื้นที่รับลมทางด้านทิศใต้มีพื้นที่น้อยกว่าด้านทิศเหนือ และน้อยกว่าโครงการไทรเพชร 1 จึงทำให้การระบายความร้อนทำได้น้อยกว่า

เมื่อพิจารณาด้านรูปทรงที่จัดเรียงในพื้นที่เดียวกัน ตำแหน่งในการจัดวางตามทิศทางของลมก็มีผลต่อการระบายความร้อนให้กับแผง ด้วยผลการวิจัยที่กำหนดทิศทางลมพัดผ่านด้านหน้าแผง และทิศทางที่พัดมาเป็นทิศทางตะวันตกเฉียงใต้ ที่เป็นแนวเดียวกันกับแผง พบว่า โครงการไทรเพชร 1 ที่อยู่ด้านต้นลมนั้น ถูกระบายความร้อนได้ดีกว่า ด้านที่อยู่ปลายลม เมื่อเทียบกับ โครงการไทรเพชร 3 ผลต่างกันถึง 0.7% และหากเปรียบเทียบกับทิศทางลมที่พัดมาจากด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นทิศทางลมที่ระบายความร้อนให้กับแผง โดยที่การจัดเรียงในแนวขวางทิศทางลม ไม่มีโครงการใดบังทิศทางลมซึ่งกันและกัน พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเพียง 0.04% โครงการไทรเพชร 1 กับโครงการไทรเพชร 2 และ 0.03% ระหว่างโครงการไทรเพชร 2 กับไทรเพชร 3

เมื่อกลุ่มที่ถูกจัดเรียงที่อยู่ด้านต้นลม บังกระแสหรือทิศทางลม กลุ่มแผงที่จัดเรียงอยู่ด้านปลายลม ตามทิศทางลมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้พบว่าระยะห่างของการวางตำแหน่งของกลุ่มแผงมีผลเช่นกัน ซึ่งหากจุดที่วางกลุ่มแผงใกล้กันด้วยระยะ 536 เมตรระหว่าง โครงการไทรเพชร 2 กับโครงการเพชร 3 พบว่ามีอุณหภูมิระหว่างกลุ่มที่อยู่ด้านต้นลม กับ กลุ่มที่อยู่ปลายลมสูงถึง 3.27% ที่

ความเร็วลม 4-5 m/s และระยะห่างระหว่าง โครงการโทรเพชร 1 และ โครงการโทรเพชร 2 มีระยะห่างที่เพิ่มขึ้นเป็น 636 m พบว่า ผลต่างของอุณหภูมิแผงลดลง เมื่อเทียบกับระยะเดิมที่ 536 m ระหว่างโครงการโทรเพชร 2 และ 3 มีผลต่างเพียง 1.15% ที่ความเร็วลม 4-5 m/s เช่นกัน

ดังนั้นการจัดเรียงกลุ่มแผงในโซลาร์ฟาร์ม นอกจากปัจจัยหลัก เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ แวดล้อม พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพแผงหรือระบบ คือปัจจัยของรูปทรงในการจัดวาง เมื่อได้รับอิทธิพลของลมธรรมชาติแล้ว จะทำให้เกิดการระบายความร้อน และทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้ 1.64% ในรูปทรงที่เป็นสี่เหลี่ยมคางหมู และระยะห่างของตำแหน่งจุดติดตั้ง ยังมีผลต่อการระบายความร้อนของแต่ละกลุ่มด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาความเร็วลมคงที่ ระยะห่างของจุดติดตั้งโครงการโทรเพชร 1 และ โทรเพชร 2 ระยะ 646 m ระยะนี้ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิ 1.15% น้อยกว่า ระยะห่าง 536 m โครงการโทรเพชร 2 และโทรเพชร 3 พบว่าระยะที่เพิ่มขึ้นทำให้การระบายความร้อนได้ดี เมื่อมีความเร็วลมที่คงที่

ปัจจัยเรื่องรูปทรง และระยะห่างในการจัดเรียงแผงในการติดตั้งบนพื้นดินหรือโซลาร์ฟาร์มนี้ ควรจะถูกประเมินสำหรับขั้นตอนการเลือกพื้นที่และการออกแบบ ร่วมกับทิศทางของลมประจำถิ่นหรือพื้นที่ที่จะติดตั้ง ที่จะให้ด้านหน้าของแผงได้รับลมมากที่สุด หรือ กลุ่มแผงควรถูกเรียงให้ขวางกับทิศทางลม เพื่อการระบายความร้อนให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะความสูญเสียเนื่องจากความร้อนของแผงเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการวางแผนขั้นตอนการเลือกพื้นที่ติดตั้งโครงการ หรือการจัดเรียงแผง ควรจะคำนึงถึงรูปทรงในการจัดเรียงแผง ให้พื้นที่ด้านหน้าของแผงได้รับลมประจำถิ่นได้มากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น ลมมรสุมประจำประเทศไทยคือลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่มีความถี่ในการพัดผ่านโครงการมากที่สุด การจัดวางกลุ่มแผง ควรจะวางเรียงในแนวตะวันออกเฉียงใต้ ในอยู่ในแนวขวางกับทิศทางลม และด้านหน้าของแผง ควรถูกจัดเรียงให้ได้รับลมมากที่สุด และหากมีกลุ่มแผงมีจำนวนมากกว่า 1 กลุ่ม ควรจะประเมินความเร็วลมที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นว่า ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น ก็ส่งผลให้ ระยะห่างระหว่างกลุ่มแผงต้องมีระยะห่างเพิ่มขึ้นด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงการบังกระแสจากกลุ่มด้านหน้าเช่นกัน

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2557. พลังงานลม. สารานุกรมพลังงานทดแทน. กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2015). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/download/files/AEDP_2015_Final_version.pdf. (29 ตุลาคม 2559).
- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2544. แผนที่สำคัญภาพพลังงานลมของประเทศไทย. หน้า 9-22
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (ม.ป.ป.). ลมมรสุม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=52> (18 ตุลาคม 2560)
- ข้อมูลผู้ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานงานแสงอาทิตย์คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. 2559. ระบบฐานข้อมูล VPP/VSP. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.erc.or.th/ERCSP/default.aspx?x=0&muid=23&prid=41> (29 ตุลาคม 2559).
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2552. หลักสูตรการอบรมเทคนิคการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผู้ออกแบบระบบ. หน้า 29-32, 39-42.
- ศูนย์อุตุนิยมวิทยาทะเล. 2009. ลม. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.marine.tmd.go.th> (29 ตุลาคม 2559).
- การกตอากาศ และการเกิดลม [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.electron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=310&Itemid=0&limit=1&limitstart=3 (29 ตุลาคม 2559).
- A. Vasela and Frantzis Iakovidisb. 2017. The effect of wind direction on the performance of solar PV plants. in **Energy Conversion and Management** 153 (2017) 455–461.
- C. Correa-Betanzo, H. Calleja, S.D. Leon-Aldaco. 2018. Module temperature models assessment of photovoltaic seasonal energy yield. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**. 27, 9-16.
- C. Schwingshackla, M. Petitta, J.E. Wagner. 2013. Wind effect on PV module temperature: Analysis of different techniques for an accurate estimation.



1140632611

MPU iThesis 5815401018 thesis / recv: 12062563 10:31:05 / seq: 16

in Energy Procedia 40 77 – 86.

H. Goverde, D. Goossens c, J. Govaerts. 2015. Spatial and temporal analysis of wind effects on PV module temperature and performance. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 11, 36-41.

_____. 2017. Spatial and temporal analysis of wind effects on PV modules: Consequences for electrical power evaluation. **Solar Energy**. 147, 292–299.

J. Kurnik, M. Jankovec, K. Brecl and M. Topic. 2011. Outdoor testing of PVmodule temperature eand performance under different mounting and operational conditions. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, 95, 373-376.

Kaldellis J., Kapsali M., Kavadias k. and Spirkel W. 2013. Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installation. Experience obtained from outdoor measurements in Greece. **Renewable Energy**, 66, 612-624.

N. Gökmen, W. Hu, P. Hou, Z. Chen, D. Sera and S. Spataru. 2016. Investigation of wind speed cooling effect on PV panels in windy Locations. **Renewable Energy**. 90, 283-290.

PV Performance Modeling Collaborative. ม.ป.ป. การหาค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์, [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <https://pvpmc.sandia.gov/modeling-steps/2-dc-module-iv/cell-temperature/pvsyst-cell-temperature-model/> (5 พฤศจิกายน 2559).



ภาคผนวก



1140632611

MJU iThesis 5815401018 thesis / recv: 12062563 10:31:05 / seq: 16



ภาคผนวก ก
การนำเสนอผลงานวิชาการ



1140632611

MJU iThesis 5815401018 thesis / recv: 12062563 10:31:05 / seq: 16

วสันต์ จันทร์หน้อย, สมถวิล ชันเขตต์, อุเทน คำน่าน, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล. (2560). การวิเคราะห์ผลของทิศทางลมที่มีผลต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปทรงการติดตั้งแบบ Array ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13. (หน้า 1,612-1,617). เชียงใหม่, ประเทศไทย.



บรรณาธิการ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ คงภู
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัช ไธวันรินทร์
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนือง ปะลัง
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริสุข จันทารักษ์
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนก ใจเย็น
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ละออง นนทรีย์
7. ดร.นิกรรพ หอมดวง
8. อ.กิตติกร สาสุจิวิ
9. นายชลัน พล ช่างเหล็ก
10. นางสาวรุ่งตะวัน นันทะวงศ์

พิมพ์ครั้งที่ 1

- 25 พฤษภาคม 2560 จำนวน 400 แผ่น

ออกแบบและจัดทำโดย

- วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ดำเนินการจัดงานประชุมโดย

- วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**MAEJO
GO ECO
UNIVERSITY**

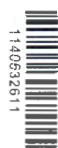


รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.นคร	กิตยาพงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.จอม พ	แก้วศักดิ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร	เกิดโยธิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์	นภกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย	เทพา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ	จาศอยนันทน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร	ไชยญาติ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
รองศาสตราจารย์ ดร.บุรินทร์	ภูริวัณชัยกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัตร	นันทจักร	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ	หริ่งนิพนพานโต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สมิทธิ์	เถินมสธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนาชนม์	ภูมิภิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช	อินต๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.สง	พิชญะจัญญ์กุล	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ สมชาย	กมลพรวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์	คำมริย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสาธน์	สริตย์เรืองศักดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ชัย	เทพนวล	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา	อันทอง	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภพร	แก้วก่อน	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี	ภูวนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนะ	รักความสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พวงมา	เกตุจำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิรัชชัย	โรยบรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญภัทร	ภูมิภา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยา	แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนติ	เผ่าถอย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัมพร	เวียงมูล	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงษ์	เพ็ญพิทักษ์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย	ณัฏฐกรณ์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริบุษ	จินดา รักษ์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรากรณ์	รัตตพงษ์พิสัย	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต	เวียงมูล	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นันทา	ราชประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดลดา	ตั้งตระกูลพงษ์	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อินทนา	พันธุ์เหล็ก	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณชาติ	ต้นตอ นามราช	มหาวิทยาลัยบึงพลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาวิณี	ศักดิ์สุนทรศิริ	มหาวิทยาลัยบึงพลา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัครินทร์	อินทนิเวศน์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัทธา	วงศ์สนธิ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนศ	ไชยชนะ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนศิษฐ์	วงศ์ศิริอำนวย	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย	เมธีชูมาศ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูรัตน์	อัคราภิรักษ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จักรพันธ์	ถาวรงามยิ่งสกุล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาณิศา	แก้วสิทธิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภา	ธนาประยูร	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตต์	สถาพรประสาร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์	เลิศศักดิ์นาม	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณัฐพร	ฤาชัยนัม	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสริมสุข	บัวเจริญ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์	เพชรวิชัยสิทธิ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มณีนา	มณฑิ	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร. นเรศ	สุริยเจริญ	มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
ดร. มณฑนา	รังสิโรภาส	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร. กัญญาพร	ไชยวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
อ. กิตติกร	สาสุจิตต์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร. สุภัทรา	มงคล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร. สราวุธ	พลวงศรี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร. วรวรรณ	เพชรอยู่ไร	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร. รจพรพรรณ	นิรุติสิทธิ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร. ยืนรักษ์	อรรณพกุล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร. ปริญญ	คงการพันธ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ดร.นิกราน	ทอ.ตรง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ธำพน	ส่วยทอง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ณัฐธินิศา	สุเกษม	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.จวีร์เจนี	โจสิน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.จุฬารัตน์	ชนะสุวรรณ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
Dr.Rameshprabu	Ramara	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ประสิทธิ์	โกะสูงเนิน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เนชั่น
ดร.พิพัฒน์พงศ์	วัฒนวิญญู	มหาวิทยาลัยราชภัฏ
ดร.วิชัย	สุนสุวรรณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
ดร.ภรต	หนูทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.สุนทรศักดิ์	ระวีวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ดร.จักรพงษ์	จักรบุญ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ดร.บุญชู	สมิทธิ์สมาน	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ดร.พิสิษฐ์	เมธีไยดี	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ดร.ธีระชาติ	พรพิบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ดร.ณัฐดนัย	พรหมเจริญวงศ์	มหาวิทยาลัยอวามศ.สงคร.ศูนย์วิจัย
Dr. Vantop	Chutponk	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.ศุภลักษณ์	อัสลอย	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.นิรมล	จันทร์ชาติ	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.ฉัตร	ผลนาค	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.อนันต์	นันทิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
Dr Juan Manuel, Jose Domínguez		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



T140632611

การวิเคราะห์ผลของทิศทางลมที่มีผลต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปทรง
การติดตั้งแบบ Array ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
Analysis the Effect of Wind Direction on Module Temperature of
Array Installation in Solar Plant

วสันต์ จันทร์หน้อย¹, สมณวิธ ชันเขตต์², อุเทน คำน่าน³, จุฑาภรณ์ ชนธาวาร^{1*} และ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

³ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนพหลโยธิน ตำบลจตุจักร อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

*E-mail winchana.jc@gmail.com, +66 5387 3000, +66 5387 5599

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากทิศทางลม 2 ทิศทาง ลมที่พัดมาจากทางทิศตะวันออกและลมที่พัดมาจากทางทิศตะวันตก ในรูปทรงการติดตั้งแบบ array ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บันทึกเป็นระยะเวลา 1 ปี โดยวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิแผง ประกอบด้วย ความเข้มแสง ความเร็วลมและทิศทางลม จากผลการทดลองพบว่าในกรณีที่ลมพัดทางทิศตะวันออก พบว่ามีความเร็วลมในช่วง 2-5 m/s ความเร็วลมโดยเฉลี่ย 3.49 m/s ทำให้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่างกัน 2.89 °C และลมความเร็วในช่วง 0-1 m/s มีความเร็วลมโดยเฉลี่ย 0.7 m/s ทำให้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่างกัน 1.87 °C และในกรณีที่ลมพัดทางทิศตะวันตก พบว่ามีความเร็วลมในช่วง 2-5 m/s ความเร็วลมโดยเฉลี่ย 3.37 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่างกัน 5.42 °C และลมความเร็วในช่วง 0-1 m/s มีความเร็วลมโดยเฉลี่ย 0.6 m/s ส่งผลให้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่างกัน 0.34 °C ซึ่งอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่างกันขึ้นอยู่กับทิศทางของลม ความเร็วลมและผลต่างของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่บริเวณด้านต้นลมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านที่อยู่ปลายลมในขณะที่มีลมพัดอย่างต่อเนื่อง

คำหลัก: ความเข้มแสง, ความเร็วลม, ทิศทางลม, อุณหภูมิ

Abstract

The aim of this research is to analyze the module temperature from two wind directions consisting of the east side and west side wind of array installation in solar plant. The data were recorded for 1 year. Light intensity, wind speed and wind direction that affected on the module temperature were analyzed. The result showed that in case of wind direction from east side, wind speed was 2-5 m/s and 3.49 m/s of the average value that affected on the different module temperature 2.89 °C. Wind speed 0-1 m/s with 0.7 m/s of the average value affected on the different module temperature 1.87 °C. And in case of wind direction from west side, wind speed was 2-5 m/s with 3.37 m/s of the average value. The different module temperature was 5.42 °C. And wind speed 0-1 m/s with 0.6 m/s of the average affected on the different module temperature 0.34 °C. The different module temperature depended on wind direction (east-west), wind speed. The different module temperature from upwind edge was lower than downwind edge while the wind was blowing continuously.

Keywords: Light intensity, Wind speed, Wind direction, Temperature

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ สูงสุดโดยเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเฉลี่ย 19-20 MJ/M².d โดยคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมด

ของประเทศ และ 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดเฉลี่ยทั้งปี 18-19 MJ/M².d จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/M².d [1] ซึ่งเป็นพลังงานที่จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 ของกระทรวงพลังงาน (AEDP2015) ได้มีนโยบายส่งเสริมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน โดยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกหนึ่งในนโยบายที่ตั้งเป้าหมายในปี 2579 สูงถึง 6,000 MW [2] ทำให้ผู้สนใจทั้งหน่วยงานราชการ สหกรณ์ บริษัท ห้างร้าน และประชาชนทั่วไปสนใจที่จะลงทุนเกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ขายให้กับการไฟฟ้าทั้ง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ในการซื้อขายระบบ Feed-in-tariff (FIT) ตลอด 25 ปี

ปัจจุบันการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ ทั้งในรูปแบบติดตั้งบนพื้นดินและติดตั้งบนหลังคาบ้านหรือโรงงาน ไม่ว่าในกรณีขายไฟฟ้าหรือลดการใช้ไฟฟ้าที่รับซื้อจากการไฟฟ้า ล้วนมีความสำคัญต่อระบบโดยรวม ซึ่งพลังงานที่ผลิตได้นั้นจะถูกจ่ายเข้าไปในระบบ และทั้งนี้การทำงานของระบบโซลาร์เซลล์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งที่สามารถควบคุมหรือออกแบบได้ และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ความร้อน ถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่ง ที่มีผลต่อการลดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นจากแสงแดด หรืออุณหภูมิโดยรอบที่ติดตั้ง มีผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น การเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตลดลง พลังงานที่ผลิตได้จึงแปรผกผันกับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้รับการถ่ายเทความร้อน หรือการพาความร้อนเพื่อให้อุณหภูมิลดลงได้ก็จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้ และส่งผลให้พลังงานที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

วิธีการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การใช้น้ำในการระบายความร้อน [3] หรือการใช้ลมระบายความร้อนให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลองนำแผงเซลล์ขนาดเล็กขนาดกว้าง 34 มม. และยาว 44 มม. จำนวน 6 แผง ศึกษาผลของลมจากการเป่าแบบทิศทางเดียว พบว่าผลต่างของความเร็วลมที่เพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงแปรผันตรงกับความเร็วม และจุดที่อยู่ต้นลมหรือ Upwind edge จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือเปลี่ยนแปลงมากกว่าด้านที่อยู่ปลายลม หรือจุด (Downwind edge) [4]

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเร็วมและทิศทางลมที่มีผลต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ขนาดใหญ่ ที่จัดเรียงแผงบนพื้นดิน ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พื้นที่ติดตั้ง 125 ไร่ เขตพื้นที่ระหว่างจังหวัดนครปฐมและจังหวัดสุพรรณบุรี เทียบกับผลการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ

2. วิธีการทดลอง

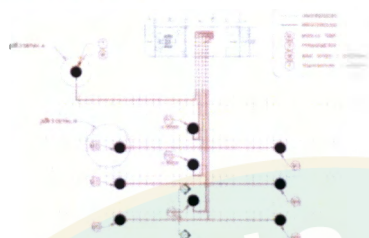
2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

พื้นที่ทำการวิจัยเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 12 MWdc และตั้งอยู่ที่ 1 เขื่อนท่าราบระบบไฟฟ้า 115kV ติดตั้งอยู่ระหว่างจังหวัดนครปฐมและจังหวัดสุพรรณบุรี ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly crystalline (C-Si) 245 วัตต์ต่อแผง จำนวน 49,536 แผง กำลังติดตั้งรวม 12MW ติดตั้งแผงมุม 12° เทียบกับแนวระนาบ, เครื่องวัดความเข้มแสง (ZONEN CP11) จำนวน 3 ชุด โดยแบ่งติดตั้งวัดแสงในแนวระนาบจำนวน 1 ชุด และวัดความเข้มแสงในแนวเดียวกับแผง (12°) จำนวน 2 ชุด, เครื่องวัดความเร็วลม (LSH-ASTEM DNA722) จำนวน 1 ชุด ความสูงในการติดตั้ง 3 เมตรจากระดับพื้นดิน บริเวณที่จัดเรียงแผง, เครื่องวัดอุณหภูมิโดยรอบ (LSI-LASTEM DNA685) จำนวน 1 ชุด ติดตั้งจุดเดียวกับเครื่องวัดความเร็วลม และเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิแผง (EFFECTOR 600 TS9281) จำนวน 6 ชุด ติดตั้งด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มเดียวกัน ตำแหน่งในการติดตั้งและรูปแบบการติดตั้ง แสดงดังรูปที่ 2 และ 3

รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิแผง คือ Module 1-2, Module 3-4 และ Module 5-6 อยู่ในแนวเหนือ-ใต้ หรือติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการวัดในแนวเดียวกัน และแนวเหนือ-ใต้ Module 2-3-5, Module 1-4-6 ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการวัดในแนวเดียวกัน ส่วนรายละเอียดการวัดความเข้มแสงทั้งแนวราบ, แนวเดียวกับแผง, ความเร็วลม และทิศทางลม แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 12 MWdc



รูปที่ 2 ตำแหน่งติดตั้ง Meteorology ภายใน Array

อุปกรณ์ในการวัดและบันทึกผลตามมาตรฐาน IEC 61724 และ IEC 62446 หลังจากติดตั้งเสร็จและดำเนินการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ ในระดับแรงดันไฟฟ้า 115kV บันทึกข้อมูลด้วยระบบ Supervisory control and data acquisition (SCADA) ทุก 1 นาที ตั้งแต่ เวลา 06.00-18.59 น. ทุกวัน จำนวน 356 วัน ดังนั้นข้อมูลประกอบด้วยค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) ที่วัดในแนวระนาบ 1 จุด จำนวน 780 ข้อมูลต่อวัน 284,700 ข้อมูลต่อปี ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ วัดในระดับ 12° ทำมุมกับพื้นราบ (มุมเดียวกับแผง) จำนวน 2 จุด จำนวน 1560 ข้อมูลต่อวัน 569,400 ข้อมูลต่อปี อุณหภูมิโดยรอบ จำนวน 1 จุด จำนวนข้อมูล 780 ข้อมูลต่อวัน 284,700 ข้อมูลต่อปี ค่าทิศทางลม (Wind direction) จำนวน 1 จุด ค่าตั้งแต่ $0-360^\circ$ โดย 0° เป็นทิศเหนือ และองศาที่ถูกบันทึกเป็นทิศทางที่ลมพัดมา จำนวนข้อมูล 780 ข้อมูลต่อวัน 284,700 ข้อมูลต่อปี ค่าความเร็วลม (Wind speed) จำนวน 1 จุด จำนวนข้อมูล 780 ข้อมูลต่อวัน และ 284,700 ข้อมูลต่อปี ค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Module temperature) จำนวน 6 จุด จำนวนข้อมูล 4,680 ข้อมูลต่อวัน 1,708,200 ข้อมูลต่อปี ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้รวมเป็น 3,416,400 ข้อมูล



รูปที่ 3 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดความเข้มแสง, ความเร็วลม และอุณหภูมิโดยรอบ

2.2 การจัดการข้อมูล

ข้อมูลจากระบบ SCADA ใช้โปรแกรม Pentaho data integration ในการจัดเรียงข้อมูลตามเงื่อนไขคือ ความเข้มแสงอาทิตย์ในแนวเดียวกันกับแผงเซลล์ (12°) 800-850 W/m^2 ช่วงเวลา 10.00-14.00 น. กำหนดให้กรณีแรก เลือกทิศทางลมที่เคลื่อนที่ผ่านแผงเซลล์ที่พัฒนาทางทิศตะวันออก ($67.5^\circ-112.5^\circ$) ด้วยความเร็วลม 2-5 m/s และความเร็วลม 0-1 m/s กรณีที่สอง เลือกข้อมูลลมที่พัฒนาทางด้านทิศตะวันตก ($247.5^\circ-292.5^\circ$) ด้วยความเร็วลม 2-5 m/s และความเร็วลม 0-1 m/s เช่นเดียวกันกับกรณีแรก เลือกข้อมูลช่วงเวลาที่มีความต่อเนื่องของลม เวลา 08.00-08.05 น. มีความเร็วลมเฉลี่ย 3 m/s ถือว่ามีความต่อเนื่อง 5 นาที และหากว่า 08.06-08.08 น. มีความเร็วลมเฉลี่ย 6 m/s ถือว่าไม่อยู่ในช่วง 2-5 m/s ดังนั้นลมที่นำมาวิเคราะห์คือช่วงความต่อเนื่องที่ 5 นาที เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลาที่ถูกเลือก

3. ผลและวิจารณ์ผล

3.1 ความเร็วลมช่วง 2-5 m/s ทิศทางลมมาจากทิศตะวันออก

จากผลการทดลองการเก็บข้อมูลผลของทิศทางของลมทางทิศตะวันออกแสดงดังรูปที่ 4 ผลที่ได้จากการจัดเรียงข้อมูลลมที่พัฒนาทางทิศตะวันออก ($67.5^\circ-112.5^\circ$) ความเร็วลมช่วง 2-5 m/s ลมพัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 18 นาที จากผลการเก็บข้อมูลพบว่าลมมีความเร็วลมเฉลี่ย 3.49 m/s



รูปที่ 4 แสดงทิศทางลมจากทิศตะวันออก ความเร็วลมเฉลี่ย 3.49 m/s

3.2 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากความเร็วลมช่วง 2-5 m/s ทิศทางลมมาจากทิศตะวันออก

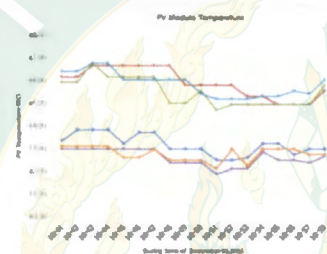
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 6 จุด คือ Module 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 แสดงรูปที่ 5 จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์ของ Module 1, 4 และ 6 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันในช่วงเวลา

10.41-10.58 น. และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 2, 3 และ 5 ช่วงเวลา 10.41-10.58 น. จากผลการเก็บข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 1, 4 และ 6 มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 2, 3 และ 5 เนื่องจากตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากจุดที่ 2 สำหรับ Module 1, 4 และ 6 อยู่ในตำแหน่งของลมที่พัดมาทางทิศตะวันออก หรือด้านต้นลมและตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับ Module 2, 3 และ 5 เป็นตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิที่อยู่ด้านหลังปลายลมที่พัดผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงส่งผลให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน Module 2, 3 และ 5 มีอุณหภูมิที่สูงกว่า Module 1, 4 และ 6 และค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มมีความต่างกัน 2.89 °C

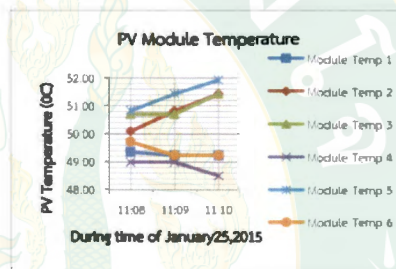
เก็บข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 1, 4 และ 6 มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า อุณหภูมิของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ Module 2, 3 และ 5 ค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มมีความต่างกัน 1.87 °C



รูปที่ 6 แสดงทิศทางลมเบาจากทิศตะวันออก
ความเร็วลมเฉลี่ย 0.7m/s



รูปที่ 5 อุณหภูมิแผงเซลล์ทั้ง 6 จุดจากทิศทางลมพัดมาทางทิศตะวันออก ความเร็วลมเฉลี่ย 3.49 m/s



รูปที่ 7 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทิศทางลมพัดมาทางทิศตะวันออก ความเร็วลมเฉลี่ย 0.7m/s

3.3 ความเร็วลมช่วง 0-1 m/s ทิศทางลมมาจากทิศตะวันออก

จากผลการทดลองการเก็บข้อมูลผลของทิศทางของลมทางทิศตะวันออกแสดงดังรูปที่ 4 ผลที่ได้จากการจัดเรียงข้อมูลคือ ลมที่พัดมาทางทิศตะวันออก (67.5°-112.5°) ความเร็วลมช่วง 0-1 m/s ลมพัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 3 นาที จากผลการเก็บข้อมูลพบว่าลมมีความเร็วเฉลี่ย 0.7 m/s แสดงดังรูปที่ 6

3.4 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากความเร็วลมช่วง 0-1 m/s ทิศทางลมมาจากทิศตะวันออก

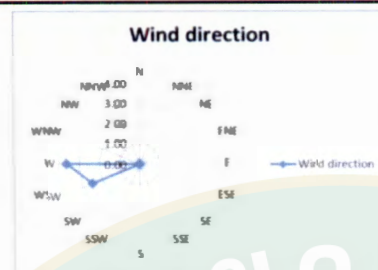
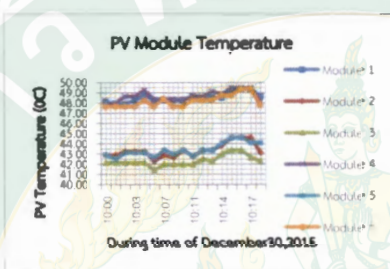
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 6 จุด คือ Module 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 แสดงรูปที่ 7 จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์ของ Module 1, 4 และ 6 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกันช่วงเวลา 11.08-11.10 น. และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 2, 3 และ 5 ช่วงเวลา 11.08-11.10 น. จากผลการ

3.5 ความเร็วลมช่วง 2-5 m/s ทิศทางลมมาจากทิศตะวันตก

จากผลการทดลองการเก็บข้อมูลผลของทิศทางของลมทางทิศตะวันออกแสดงดังรูปที่ 4 ผลที่ได้จากการจัดเรียงข้อมูลคือ ลมที่พัดมาทางทิศตะวันตก (247.5°-292.5°) ความเร็วลมช่วง 2-5 m/s ลมพัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 17 นาที จากผลการเก็บข้อมูลพบว่าลมมีความเร็วเฉลี่ย 3.37 m/s แสดงดังรูปที่ 8

3.6 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 6 จุด จากตำแหน่งการวัดของ Module 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 แสดงรูปที่ 9


 รูปที่ 8 แสดงทิศทางลมจากทิศตะวันตก
 ความเร็วลมเฉลี่ย 3.37 m/s

 รูปที่ 9 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 6 จุดจากทิศทางลม
 พัดมาทางทิศตะวันตก ความเร็วลมเฉลี่ย 3.37 m/s

จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์ของ Module 1, 4 และ 6 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ช่วงเวลา 10.00-10.18 น. และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 2, 3 และ 5 ช่วงเวลา 10.00-10.18 น. จากผลการเก็บข้อมูลมีอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 2, 3 และ 5 มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 1, 4 และ 6 โดยตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปที่ 2 สำหรับ Module 2, 3 และ 5 อยู่ในตำแหน่งของลมที่พัดมาทางทิศตะวันตก หรือ ด้านด้านหลังและตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับ Module 1, 4 และ 6 เป็นตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิที่อยู่ด้านปลายลมที่พัดผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงส่งผลให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน Module 1, 4 และ 6 มีอุณหภูมิที่สูงกว่า Module 2, 3 และ 5 และค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มมีความต่างกัน 5.42 °C

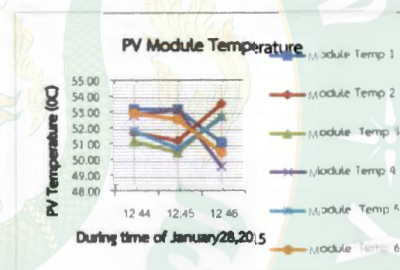
3.6 ความเร็วลมช่วง 0.1 m/s ทิศทางลมมาจากทิศตะวันตก

จากผลการทดลองการเก็บข้อมูลของทิศทางของลมทางทิศตะวันตกแสดงดังรูปที่ 10 ผลที่ได้จากการจัดเรียงข้อมูลคือ ลมที่พัดมาทางทิศตะวันตก (247.5°-292.5°) ความเร็วลมช่วง 0-1 m/s สมพัทธ์ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา ต่อเนื่อง 3 นาที จากผลการเก็บข้อมูลพบว่าลมมีความเร็วเฉลี่ย 0.62 m/s


 รูปที่ 10 แสดงทิศทางลมจากทิศตะวันตก
 ความเร็วลมเฉลี่ย 0.62 m/s

3.7 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 6 จุด คือ Module 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 แสดงรูปที่ 11



รูปที่ 11 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทิศทางลมพัดมาทางทิศตะวันตก ความเร็วลมเฉลี่ย 0.62 m/s

จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์ของ Module 1, 4 และ 6 มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ช่วงเวลา 12.44-12.46 น. และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 2, 3 และ 5 ช่วงเวลา 12.44-12.46 น. จากผลการเก็บข้อมูลมีอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 2, 3 และ 5 มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 1, 4 และ 6 ค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มมีความต่างกัน 0.34 °C

จากผลการเก็บข้อมูลโดยกำหนดทิศทางลมที่พัดมา 2 ทิศทางด้าน ในกรณีลมพัดมาจากทิศตะวันออก ด้วยความเร็ว

ลมที่ 2-5 m/s ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 3.49 m/s ผลต่างของอุณหภูมิ 2.89° C และความเร็วลมที่ 0-1 m/s ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 0.7 m/s ผลต่างของอุณหภูมิ 1.87° C อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 1, 4 และ 6 ด้านต้นลมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าแผงเซลล์ Module 2, 3 และ 5 ด้านปลายลม ในการผลิตไฟฟ้าจากทิศตะวันตก ด้วยความเร็วลมที่ 2-5 m/s ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 3.37 m/s ผลต่างของอุณหภูมิ 5.42° C และความเร็วลมที่ 0-1 m/s ความเร็วลมเฉลี่ยที่ 0.62 m/s ผลต่างของอุณหภูมิ 0.34° C อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Module 2, 3 และ 5 ด้านต้นลมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าแผงเซลล์ Module 1, 4 และ 6 ด้านปลายลม

4. สรุปผล

การวิเคราะห์อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกติดตั้งจัดเรียงบนพื้นดิน ในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ในสภาวะลมพัดอย่างต่อเนื่อง ทิศทางลมที่พัดมา 2 ทิศทางด้าน ในการผลิตไฟฟ้าจากทิศตะวันออก ด้วยความเร็วลมที่ 2-5 m/s และความเร็วลมที่ 0-1 m/s อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ด้านต้นลมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าแผงเซลล์ที่อยู่ด้านปลายลม โดยอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่างกันขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดมา และในการผลิตไฟฟ้าจากทิศตะวันตกผลอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้านต้นลมมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านปลายลม และจากผลการวิจัยในพื้นที่ขนาดใหญ่ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิลักษณะเดียวกันกับการวิจัยระดับในห้องปฏิบัติการ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่เพื่อทำการทดลอง พร้อมอุปกรณ์การทดลอง และขอขอบคุณ บริษัท อีทีลไทยวิศวกรรม จำกัด และบริษัทโซลาร์โก จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน. [ระบบออนไลน์]. http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=80%3A2010-05-03-10-23-13&catid=52&Itemid=68&lang=th, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/04/2560.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579. [ระบบออนไลน์]. http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=4219, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/04/2560

[3] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University, Jomhori Boulevard, Kerman, Iran (2008). Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells. Renewable Energy 34, 91-96

[4] Hans G., Dirk G., and Jonathan G. (2015). Spatial and temporal analysis of wind effects on PV module temperature and performance. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 11, 36-41.

[5] Nuri G., Weihao H., Peng H., Zhe C., Dezso S., and Sergiu S. (2016). Investigation of wind speed cooling effect on PV panels in windy Locations. Renewable Energy. 90, 283-290.

[6] Jurij Kurnik n, Marko Jankovec, Kristijan Brecl, Marko Topic, (2011), Outdoor testing of PV module temperature and performance under different mounting and operational conditions. Solar Energy Materials & Solar Cells. 95, 373-376.

[7] Thai Marine Meteorological Center, Royal Thai Navy, [ระบบออนไลน์], <http://www.marine.tmd.go.th/thai/windhtml/windhtml.html>, เข้าดูเมื่อวันที่ 15/04/2560.

วสันต์ จันทร์หน้อย, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร, สมถวิล ชันเขตต์, อุเทน คำน่าน, เสริมสุข บัวเจริญ และ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล. (2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบจากลมในรูปแบบที่จัดเรียงเป็น Array ในแนวเหนือ-ใต้เทียบกับตะวันออก-ตะวันตกจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 46. (หน้า 680-685). เชียงใหม่, ประเทศไทย.



บทความฉบับสมบูรณ์ในรายงานการประชุมวิชาการ

การประชุมวิชาการและประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 2

(2nd National Graduate Research Conference and Creative Innovation Competition)

“งานวิจัยและนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาเพื่อความยั่งยืนทางเศรษฐกิจและสังคม”

วันที่ 17 - 18 พฤษภาคม 2561

ณ ห้องเชียงใหม่ ชั้น 2 ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส
โรงแรมเอ็มเพรสเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

Copyright © 2018

จัดทำโดย : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เชียงใหม่ ประเทศไทย || พฤษภาคม 2561

x



1140632611

MJU iThesis 5815401018 thesis / recv: 12062563 10:31:05 / seq: 16



รายนามคณะกรรมการจัดงานประชุมวิชาการ

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

รองอธิการบดี (รองศาสตราจารย์ ดร.วิระพล ทองมา)

อธิการบดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิคม มูลเมือง

รองอธิการบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองเลื่อน งามชุม)

รองอธิการบดี (อาจารย์ชาญ) เรือวิโรจน์

รองอธิการบดี (อาจารย์ชัช พรธรรมกุล)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

รองอธิการบดีฝ่ายโลจิสติกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรามคำแหง

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

รองอธิการบดี (รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร อังติภาวกุล)

รองอธิการบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพร ศิริโน ศาจร)

รองอธิการบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์พาวิน มะโนชัย)

รองอธิการบดี (อาจารย์อริชาติ สอนคำทอง)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยพะเยา

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและต่างประเทศ สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้อำนวยการรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย

มหาวิทยาลัยสุโขทัยวังมหาราช

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยทักษิณ

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะกรรมการฝ่ายดำเนินงาน

คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย

รองคณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย ฝ่ายบริหารและวิชาการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ดวง นุศุลย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลลดา ขวัญเดช

อาจารย์ ดร.จิรวิ ตระการศิริวานิช

อาจารย์อรรจน่า แสนไชย จันทร์ประยูร

นางจิรติภา เกษต์ พงษ์ศิริวัฒน์

รองคณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย ฝ่ายยุทธศาสตร์และวิจัย

ศาสตราจารย์ ดร.ศิริวัฒน์ วงษ์ศิริ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์มรกต สุทธิศิริรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วาฬร้อยตรี ดร.นิวัฒน์ สันณรงค์

อาจารย์ ดร.กุลชญา แฉ่นแก้ว

นางสหทัย ดำรงเกียรติคำดี

นางสาวนง เรียนฤณ



คณะกรรมการฝ่ายดำเนินงาน (ต่อ)

นางสาว นาววรรณ แซ่หลี่
นางเกษราภรณ์ ขวัญลูก
นางสาวรุ่งนภา ชมดวง
นางสาวนงศ์วิภา คนดี
ดร.วราวุธ ชลู่คง
นายธีระวัฒน์ รัตนพจน์
นายพัชรพงษ์ พานิช
นางสาวโสภณา เขียวสุข

นายณรงค์ บุญเพิ่มพูน
นายทรงเกียรติ ปานพันธ์โพธิ์
นายประสิทธิ์ มหามิ
นางสาวจิราวรรณ ปิ่นชัยบุรีรัตน์
สัตว์แพทย์หญิง ดร.พชรพร บุญโคตร
นางสาวโยธิตา ชูเนียง
นางสาวศิริลักษณ์ เกิดศิริ
นางสาวมนสิชา กองเพชรวัฒนา

คณะกรรมการฝ่ายวิชาการและประกวดนวัตกรรม

การนำเสนอผลงานระดับชาติ

รองคณบดีฝ่ายศิลปวิทยาการ ฝ่ายยุทธศาสตร์และวิจัย
รองศาสตราจารย์ ดร.อัมปณันท์ พงษ์นพวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.นพวัฒน์ ไทบุญญานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลันดา อธิเบศ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทา นาคประสม
อาจารย์ ดร.วิมลย์ ภัลลณณมิตร
อาจารย์ ดร.อัมปณันท์ อ้นพาทวม
อาจารย์ ดร.นพวัฒน์ ยศบุญตรา
นางนิยณันท์ ไกรภักดิ์ เขียวพจน์
นายชาญวิทย์ รัตนวาศิริ
นางสาวโยธิตา ชูเนียง
นางสาวศิริลักษณ์ เกิดศิริ
นายทรงเกียรติ ปานพันธ์โพธิ์

รองคณบดีฝ่ายศิลปวิทยาการ ฝ่ายบริหารและวิชาการ
ศาสตราจารย์ ดร.นพวัฒน์ พิชัยวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.นพวัฒน์ พูนน้อย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑารัตน์ วาญฤทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรียาตรี ตาณิวงค์ สิ้นณรงค์
อาจารย์ ดร.วิภาภรณ์ นาคประสม
อาจารย์ ดร.กิตติเบญจ จันทวัฒน์
อาจารย์ ดร.กิตติ ดร.ประภาศิริวัฒน์
นางสาวนเรศ ทัพสุขุม
นายธีระวัฒน์ รัตนพจน์
นายพัชรพงษ์ พานิช
นางจิรดิภา นที พงษ์ศิริวัฒน์
ดร.วราวุธ ชลู่คง



การนำเสนอผลงานระดับนานาชาติ

รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย ฝ่ายยุทธศาสตร์และวิจัย

ศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ วงศ์ศิริ

นายกสภาสภามหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาคาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล การบุญวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวัฒน์ สาคะรวาสี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนันต์ จิตะนันท์

อาจารย์ ดร.อมรเชวน บุญระหงษ์

ลัดดาพรหังกูระ ดร.พชรพร บุญโคตร

รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย ฝ่ายบริหารและวิชาการ

นายกสภาสภามหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาคาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนันต์ จิตะนันท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วสันต์ เกียรติวัฒนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ อธิวิธยานนท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ อธิวิธยานนท์

Dr. Jiraporn Jitnanth

นางสาวจิราวรรณ อธิวิธยานนท์

คณะทำงานฝ่ายเตรียมเอกสาร และประชาสัมพันธ์

รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย ฝ่ายบริหารและวิชาการ

นางสาวจิราวรรณ อธิวิธยานนท์

นางจันทิมา น้อยพิทักษ์

นายทรงเกียรติ บานพันธ์โพธิ์

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

นายณรงค์ บุญแก้วพูน

นางสาวจิราวรรณ อธิวิธยานนท์

นางสาวสุภาวดี พรมท่า

ลัดดาพรหังกูระ ดร.พชรพร บุญโคตร

นางสาววิไลพร หุ่นแก้ว

นางสาวศิริลักษณ์ เกียรติ

นางสาวจิราวรรณ อธิวิธยานนท์

นายพนมพิพัฒน์ ราชจันทร์

นายเกรียงศักดิ์ พรมท่า

นางสาววิไลพร หุ่นแก้ว

นายประสิทธิ์ ภาณุ

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

ดร.วิไลพร หุ่นแก้ว

นายธีระวัฒน์ อธิวิธยานนท์

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

คณะทำงานฝ่ายต้อนรับ พิธีการ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย ฝ่ายยุทธศาสตร์และวิจัย

อาจารย์ ดร.นันทิพย์ สรรพต นนท์

อาจารย์อรอนงค์ แสนไชย จันทะประยูร

นางจันทิมา น้อยพิทักษ์

นายเกรียงศักดิ์ พรมท่า

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย ฝ่ายบริหารและวิชาการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล การบุญวงศ์

อาจารย์ ดร.ไพศาล การบุญวงศ์

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

นายเกรียงศักดิ์ พรมท่า

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

นางสาวรุ่งนภา อมตวง

นางสาวรุ่งนภา อมตวง



คณะกรรมการฝ่ายต้อนรับ พิธีการ (ต่อ)

นางสาวโสภา เขียวสุท

นางสาวจุฑา ชัยคุณ

นายธีระวัฒน์ รัตนพจน์

นางสาวมณสิลา ขวัญเพชรวัฒนา

ศาสตราจารย์หญิง ดร. พชรพร บุญโคตร

นางสาวโยษิตา ชูเนียง

คณะกรรมการฝ่ายลงทะเบียนและการนำเสนอผลงานวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. ฝ่ายยุทธศาสตร์และวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยรัตน์ ขลุประเสริฐสุ

อาจารย์อชัญญา ไพศาลนาม

นายประสิทธิ์ มหาวัง

นางสาวสุภาวดี พรมทนต์

นางสาวเอษมา ชูเนียง

นางสาวมณสิลา ขวัญเพชรวัฒนา

รองศาสตราจารย์ ดร. ฝ่ายบริหารและวิชาการ

อาจารย์ ดร. กุลชนา แฉ่นแก้ว

นางเกษรพรณี ทองสุก

นางสาวมณสิลา ขวัญเพชร

ดร. วราวุธ ชัยคุณ

นายทวงเกียรติ ปานพันธ์พิษฐ์

คณะกรรมการฝ่ายการเงินและพัสดุ

รองศาสตราจารย์ ดร. ฝ่ายบริหารและวิชาการ

อาจารย์ ดร. อรุณี ยศบุตร

อาจารย์อชัญญา ไพศาลนาม

นางสาวมณสิลา ขวัญเพชร

นายประสิทธิ์ มหาวัง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยรัตน์ ขลุประเสริฐ

อาจารย์ ดร. ศรุต วารุณกุล

นางสาวนันทิยา ตันติ

นางสาวนันทิยา ตันติ

คณะกรรมการฝ่ายอาหาร สโมสรนักศึกษา เทคโนโลยีสารสนเทศ และสถานที่

รองศาสตราจารย์ ดร. ฝ่ายบริหารและวิชาการ

นายประสิทธิ์ มหาวัง

นางสาวโสภา เขียวสุท

นางสาวจรรววรรณ ปิ่นศิริคุณ

นายทวงเกียรติ ปานพันธ์พิษฐ์

นายธีระวัฒน์ รัตนพจน์

นางสาวนันทิยา ตันติ

นางสาวมณสิลา ขวัญเพชร

นางสาวมณสิลา ขวัญเพชร

นายพัชรพงษ์ พานิช

นายทวงเกียรติ ปานพันธ์พิษฐ์



คณะกรรมการประเมินผล

รองคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย ฝ่ายยุทธศาสตร์และวิจัย

นางจิรติภานต์ พงษ์ศิริวงศ์

นายทรงเกียรติ ปานพันธ์โพธิ์

นายธีระวัฒน์ รัตนพจน์

นางสาวอมรลัษณ์ กษมเพียรวิวัฒนา

ดร.วราวุธ อยู่คง

นางสาวโยธิตา ชูเนียง





รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาทศความวิจัยฉบับสมบูรณ์

กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ต่อ)

[illegible]



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์

กลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (ต่อ)

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ	ที่อยู่/สังกัด
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิวธนฐ ศรีจอมทอง	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวดีกษณ์ ชัยทวีป	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วาทีริยศรี ดร.ณิชากร สันตวงค์	คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภริกา มณีพันธ์	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยงยุทธ ยะบุญจง	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.ชยา วรรณะภูติ	คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.มนต์มโน โมโนการณ	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.สุทธิดา จำรัส	คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.วราพงศ์ กระจ่างศิริวัฒน์	คณะรัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.อติชาต พานิชานชัย	วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ ดร.ขวัญมา สุทธ	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จังหวัดลำปาง
อาจารย์ ดร.ศศิธร วัฒนบุตร	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต จังหวัดลำปาง
อาจารย์ ดร.สุวิธ ฐูปินใจ	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
อาจารย์ ดร.พูนชัย ขาววิราช	คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
อาจารย์ ดร.อนุรัตน์ อนุภินาธร	คณะรัฐศาสตร์และนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
อาจารย์ ดร.อุเทน ลาภิงค์	มหาวิทยาลัยมหามกุฏราชวิทยาลัย วิทยาเขตล้านนา
อาจารย์ ดร.วิภาศิริ เกียรติบุตร	คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
อาจารย์ ดร.สุวรัฐ แดสันกลาง	คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
อาจารย์ ดร.ไธยเทญ เติมเจิม	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรพิศ
อาจารย์ ดร.วันชาติ นากศรี	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.เกรียงไกร เจริญผล	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.สุริยจรัส เศรษฐ์เมินสกุล	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.วิดิ มาเจริญ	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.ธมนชน บุญระพงษ์	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.สุชาดา สายทิ	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ หม่อรัตน์	วิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.อาตริ รอดชำนาญ	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.บงอร ศิริสัญญาพันธ์	คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
อาจารย์ ดร.นทีทิพย์ พรพทานนท์	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความวิจัยฉบับสมบูรณ์

กลุ่มสาขาวิชาบริหารธุรกิจและสังคมศาสตร์

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ

รองศาสตราจารย์ ดร. จำเริญ บุญมาก
รองศาสตราจารย์ ดร. บุญทววรรณ วิงวอน
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิลาภ พันธ์แพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทียน เสงี่ยม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.นิพนธ์ สันตวงค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศพงษ์ อวีโรธามานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชยศ สัมฤทธิ์สกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานวิน สงเคราะห์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภริกา มณีพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูษณิษา เตชะเกิ่ง
อาจารย์ ดร.กฤษณา แว่นแก้ว
อาจารย์ ดร.ศรุต วาญกุล
อาจารย์ ดร.ธนวิทย์ มงคล
อาจารย์ ดร. ศรีรุ่งรัตน์ สุกสมบุญ
อาจารย์ ดร.แคทลียา ขาประวัง
อาจารย์ ดร. สุวรรณภา พลอยศรี
อาจารย์ ดร.ฐิติ ฐิตจำเริญพร

ที่อยู่/สังกัด

คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยพายัพ
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยพายัพ
คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะการบัญชีและการจัดการ ม.มหาสารคาม
คณะการบัญชีและการจัดการ ม.มหาสารคาม
คณะการบัญชีและการจัดการ ม.มหาสารคาม
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยพายัพ
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยพายัพ



นางสาววิภาดา และ นางสาวณัฏฐา วัฒนศิริชัย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วันที่ 11 ตุลาคม 2561



ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร

AGRC02010196

**การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบจากลมในรูปแบบที่จัดเรียง
เป็น Array ในแนวเหนือ-ใต้เทียบกับตะวันออก-ตะวันตก
จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่**

**Performance Comparison of Wind Effects on Vertical and Horizontal PV Array
Arrangements in PV Large Scale**

วสันต์ จันทร์น้อย¹, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร², สมถวิล ชันเชตต์², อุเทน คำน่าน³, เสริมสุข บัวเจริญ⁴ และ
ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล⁵

Wasun Junnoi¹, Jutaporn Chanathaworn², Santhawit Chanchet², Utorn Khamnan³, Semsuk Buachareon⁴ and
Yingrak Autawachul⁵

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย 50290

² School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand, 50290

³ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี ประเทศไทย 34000

⁴ Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, Thailand, 34000

⁵ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย 50300

⁶ Department of Electrical Engineering, Rajabhat Rajabhat University, Chiang Mai, Thailand, 50300

⁷ Chulalongkornrajavidyalaya University, Bangkok, Thailand, 10330

บทคัดย่อ

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกปี 2558-2579 (AEDP 2015) ได้มีนโยบายส่งเสริมการผลิต
พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน โดยพลังงานแสงอาทิตย์ถูกจัดเป็นมาอยู่ในปี พ.ศ. 2579 สูงถึง 6,000 MW ปัจจุบันการ
ติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ในรูปแผงติดตั้งบนพื้นดิน มีจำนวน 2,753 MW การพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
2558 ยังคงเหลือที่ต้องติดตั้งอีก 2,623 MW การผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ใช้ประโยชน์นั้นมีปัจจัยเกี่ยวข้อง 2 อย่าง ปัจจัย
แรกสามารถควบคุมได้ เช่น การออกแบบ การเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้าง และปัจจัยที่สองไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ความ
ร้อน ความเข้มแสง ความเร็วลม เป็นต้น ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่เหมาะสม จะส่งผลต่ออายุขัยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง ส่งผล
ให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น การเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า
ลดลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีปัจจัยจากความเร็วลม
และวิเคราะห์ผลต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ชนบทใหญ่ ที่จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย จัดเรียงแผงบน
พื้นดิน 125 ไร่ กำลังการผลิต 12 MW โดยพิจารณาการวัดการเรียงเซลล์ตามแนวทิศเหนือ-ใต้ เปรียบเทียบกับการวัด
เซลล์ตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก จากสถานที่จริงในพื้นที่เดียวกัน ศึกษาที่ความเร็วลมในช่วง 2-5 m/s พัดจากทิศ
ตะวันตกเฉียงใต้และทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นลมมรสุมที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ตลอดทั้งปีซึ่งผลต่ออุณหภูมิแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ การศึกษาที่แบ่งตามการเรียงเซลล์ตามแนวทิศเหนือ-ใต้ จำนวน 28 Array เท่ากับ 3,292.8 kW ตามแนวทิศ
ตะวันออก-ตะวันตกจำนวนเท่ากัน ผลการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าช่วงเวลา 10.00-14.00 น. เป็นเวลา 1 ปี พบว่าการ
เรียงตัวของเซลล์ตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตกให้ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าการเรียงตัวของเซลล์ในแนว
เหนือ-ใต้ 0.39%.

คำสำคัญ: ความเข้มแสง, ความเร็วลม, ทัศนศาสตร์, อุณหภูมิ, แผงเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract



การประชุมวิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561

ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



GRADUATE
SCHOOL OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบที่จะอยู่ใน Array นั้นมีประสิทธิภาพต่างกันอย่างไร เมื่อการจัดวางไปตามแนวเหนือ-ใต้ เทียบกับ แนวที่จัดวางไปตามแนวตะวันออก-ตก ดังนั้น งานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการจัดเรียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Array ในการจะเริ่มโครงการในอนาคตเมื่อทราบว่า ลมประจำถิ่นหากพัดตามแนวตะวันตกเฉียงใต้ และการจัดเรียง Array แนวตะวันออก-ตก จะทำให้ประสิทธิภาพภายใน Array มีมากกว่าการจัดเรียงในรูปแบบ

อุปกรณ์และวิธีการ/วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

อุปกรณ์ในการวัดและบันทึกผลตามมาตรฐาน IEC 61724 และ IEC 62446 หลังจากติดตั้งเสร็จและดำเนินการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบ ในระดับแรงดันไฟฟ้า 115kV บันทึกข้อมูลด้วยระบบ Supervisory control and data acquisition (SCADA) ทุก 1 นาที ตั้งแต่ เวลา 06.00-18.59 น.ทุกวัน บันทึกข้อมูล 780 ข้อมูลต่อจุดต่อวัน จำนวน 356 วัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงอุปกรณ์วัดสภาพอากาศและอุณหภูมิแสง

อุปกรณ์	จำนวนติดตั้ง
ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2) ที่วัดในแนวราบ	1 จุด
ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ วัดในระดับ 12° ทำมุมกับพื้นราบ (มุมเดียวกับแผง)	2 จุด
อุณหภูมิโดยรอบ	1 จุด
ค่าทิศทางลม (Wind direction)	1 จุด
ค่าความเร็วลม (Wind speed)	1 จุด
ค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Module temperature)	6 จุด
Power Monitoring at Array junction box	65 จุด

การจัดการข้อมูล

ข้อมูลกำลังไฟฟ้าทั้งหมด 28 Array และสภาพภูมิอากาศที่จุด Reference ถูกโปรแกรม Pentaho data integration จำแนกข้อมูล โดยกำหนดเงื่อนไขในสภาวะเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขสำหรับการพิจารณาข้อมูล

รายละเอียด	เงื่อนไข
แสงแดด	800-850 W/m^2
เวลา	10.00-14.00 น.
ความเร็วลม	2-5 m/s
Ambient temperature	$30^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$
ทิศทางลมตะวันตกเฉียงใต้	$213.749^\circ - 258.749^\circ$

ลมที่ใช้ทำการวิเคราะห์ คือ พัดจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมมรสุมที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ตลอดทั้งปี เกิดขึ้นในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม ดังภาพที่ 1

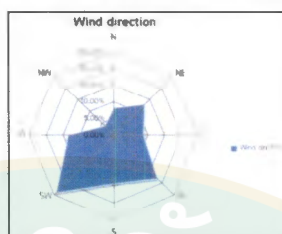


การประจักษ์วิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561

ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติดิเอ็มเพรส โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่



GRADUATE
SCHOOL



ภาพที่ 1 ทิศทางลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เป็นทิศทางที่ลมพัดผ่านโครงการมากที่สุด

กำลังไฟฟ้าแต่ละ Array ในช่วงที่มีลม ถูกคำนวณหาประสิทธิภาพ ตามสมการที่ 1

$$\text{Power Efficiency} = \text{Power output} / \text{Power installation (STC)}$$

(1)

ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าทั้งหมด 28 Array ถูกจัดเป็น 2 ชุด A และ B เพื่อจะหาค่าเฉลี่ยให้อยู่ในรูปทรง Array ที่วางต่อเนื่องกัน แต่เนื่องด้วยความยาวการวาง Array จากตะวันออก-ตะวันตก ดังภาพที่ 2 (ก) และแนวเหนือ-ใต้ ดังภาพที่ 2 (ข) มีความยาวต่อเนื่องที่ต่างกัน จึงพิจารณา ในรูปแบบของ Group ที่เรียงแบบ 2 Array, 3 Array, 4 Array และ 5 Array ตามลำดับ



ภาพที่ 2 การเรียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบ Array ต่อเนื่องในแนว (ก) ทิศตะวันออก-ตะวันตก และ (ข) ทิศเหนือ-ใต้



การประจักษ์วิชาการ และการประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาระดับชาติและนานาชาติ
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561



GRADUATE
SCHOOL OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส โรงแรมเอ็มเพรส เชียงใหม่

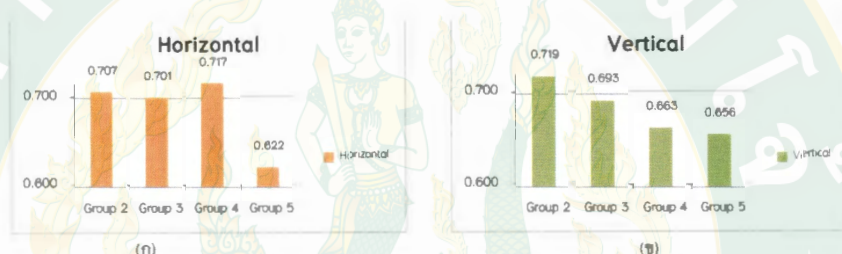
ผลการวิจัย

ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 รูปแบบ คือ 1) การเรียงแผงเซลล์ตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก และ 2) การเรียงแผงเซลล์ตามแนวทิศเหนือ-ใต้ เมื่อถูกคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย ดังนั้น สภาพอากาศที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิต ค่าดังนี้

Average Irradiance	820.82 W/m^2
Average Ambient temperature	32.265 $^{\circ}\text{C}$
Average Wind speed	3.711 m/s
Average Module temperature	45.438 $^{\circ}\text{C}$

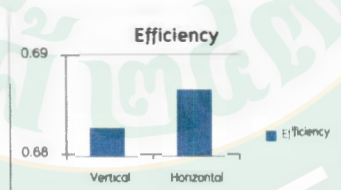
การเรียงแผงเซลล์ตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก

ผลการคำนวณประสิทธิภาพในแต่ละ Group ที่วางต่อเนื่องในแนวตะวันออก-ตะวันตก ในแต่ละ Group มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 0.687% แสดงในภาพที่ 3 (ก) และผลการคำนวณประสิทธิภาพในแต่ละ Group ที่วางในแนวเหนือ-ใต้ ในแต่ละ Group มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 0.683% แสดงในภาพที่ 3 (ข)



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพในแต่ละ Group ที่วางในแนว (ก) ตะวันออก-ตะวันตก เฉลี่ย 0.687 และ (ข) เหนือ-ใต้ ในเฉลี่ย 0.683

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าการเรียงแผงเซลล์ตามแนวทิศเหนือ-ใต้กับการเรียงแผงเซลล์ตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าการเรียงแผงเซลล์ตามแนวทิศเหนือ-ใต้กับการเรียงแผงเซลล์ตามแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก



มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2561

ณ ศูนย์ประชุมมานุษยศาสตร์เพื่อสังคม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน



วิจารณ์ผลการวิจัย

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับผลจากระบบจากสมในรูปแบบที่จัดเรียงเป็น Array ในแนวเหนือ-ใต้เทียบกับตะขอยก-ตะขอยก จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย จัดเรียงแผงบนพื้นดิน 125 ไร่ กำลังการผลิต 12 MW จัดเรียงแผงเซลล์รูปแบบ Array รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า วางต่อเนื่องกัน มีปัจจัยของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. 365 วัน ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2558 ถึง 31 ธันวาคม 2558 ด้วยความเร็วลมเฉลี่ย 3.71 m/s ผลทำให้ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าในแนวตะขอยก-ตะขอยกเฉลี่ย 0.687 และประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าในแนวเหนือ-ใต้เฉลี่ย 0.683 ดังนั้น การจัดเรียงในแนวทิศตะขอยก-ตะขอยก มากกว่า แนวเหนือ-ใต้ 0.395 %

สรุปผลการวิจัย

ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เรียงจัดเรียงในรูปแบบ Array ในรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางเรียงต่อเนื่องกัน บนพื้นดินของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ จังหวัดนครปฐม มีปัจจัยจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ส่งผลกระทบต่อยุทธศาสตร์กำลังไฟฟ้าที่เรียงแผงเซลล์ในแนวทิศตะขอยก-ตะขอยก ด้วยการเรียงแผงเซลล์ในรูปแบบ Array ในแนวเหนือ-ใต้ ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุมชนมีแสงที่ไม่สามารถควบคุมได้ มีอุปสรรคด้วยอิทธิพลของลมที่พัดมาด้วยความเร็วด้วยเนื่อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์ดีขึ้น ผลจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้า ที่อาศัยลมมรสุมช่วยระบายความร้อนให้กับแผงนี้แล้ว นำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แสงแดดจัด บนพื้นดิน ในอนาคตที่มีพื้นที่ติดตั้งเพียงพอก็สามารถจัดเรียงแผงเซลล์ในรูปแบบ Array ได้เช่นเดียวกับการเรียงแผงเซลล์ที่เหมาะสมกับทิศทางของลม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ศูนย์บริการวิชาการที่ 7 เชียงใหม่ ในการให้ความอนุเคราะห์ใช้สถานที่เพื่อทำการทดลองพร้อมอุปกรณ์การทดลอง ขอขอบคุณ บริษัท สติลไทยวิศวกรรม จำกัด และ บริษัท เซลาร์โก จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2558. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**. (ฉบับออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.dede.go.th/ew_news.php?id=4219 (15 เมษายน 2560).
- Jonathan Boulevard and Kerman Iran. 2008. Improving the effectiveness of a photovoltaic water pumping system by spraying water over the front of photovoltaic cells. **Renewable Energy**, 34: 91-96.
- Hans G., Dirk G. and Jonathan G. 2015. Spatial and temporal analysis of wind effects on PV module temperature and performance. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 11: 36-41.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายวสันต์ จันทร์หน้อย
เกิดเมื่อ	8 กรกฎาคม 2531
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553 ปริญญา วิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ภาคพายัพ เชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2556-ปัจจุบัน วิศวกรไฟฟ้า แผนกออกแบบ ฝ่ายธุรกิจพลังงาน พ.ศ.2555-2556 วิศวกรไฟฟ้าประจำโครงการทางจัดรถโซลาร์, ถนนโซลาร์ และแม่สะเรียงโซลาร์ พ.ศ.2553-2555 วิศวกรไฟฟ้าประจำทีม Test and Commissioning โครงการ New Doha International Airport ผลงานวิชาการ วสันต์ จันทร์หน้อย, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร สมถวิล ชันเขตต์, อุเทน คำน่าน, เสริมสุข บัวเจริญ และ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล การวิเคราะห์ผลของทิศทางลมที่มีผลต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปทรงการติดตั้งแบบ Array ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (2560). วสันต์ จันทร์หน้อย, จุฑาภรณ์ ชนะถาวร สมถวิล ชันเขตต์, อุเทน คำน่าน, เสริมสุข บัวเจริญ และ ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบ จากลมในรูปแบบที่จัดเรียงเป็น Array ในแนวเหนือ-ใต้เทียบกับตะวันออก-ตะวันตก จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ (2561).

