

การศึกษาระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารที่มีผลต่อ
การลดอุณหภูมิใต้แผงและความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา



ชาญชัย ทิมทับ

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2563

การศึกษาระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารที่มีผลต่อ
การลดอุณหภูมิใต้แผงและความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา



ชาญชัย ทิมทับ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

สำนักบริหารและพัฒนาวិชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การศึกษาระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารที่มีผลต่อ
การลดอุณหภูมิใต้แผงและความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา

ชาญชัย ทิมทับ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.ณัฐธัญญา สุขเกษม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.ธิดารัตน์ ศิริบูรณ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิกราน หอมดวง)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)

รักษาการแทนรองอธิการบดี ปฏิบัติการแทน

อธิการบดีมหาวิทยาลัยแม่โจ้

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	การศึกษาระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิใต้แผงและความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา
ชื่อผู้เขียน	นายชาญชัย ทิมทับ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	อาจารย์ ดร.ณัฐต์นิชา สุขเกษม

บทคัดย่อ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายองค์ประกอบและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิใต้แผงและความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคาโรงงาน ณ หลังคาโรงงาน ในสวนอุตสาหกรรมลำพูน โดยกำหนดระยะห่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคาร 3 ระดับ คือ 20, 25 และ 30 เซนติเมตร จากนั้นเก็บผล บันทึกผลข้อมูล ค่ารังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวนข้อมูลที่เก็บ 19,467 ข้อมูล จากผลการทดลอง พบว่า ระยะ 25 และ 30 เซนติเมตร อุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ยลดลง 4 และ 6 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับระยะ 20 เซนติเมตร และกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 26 กิโลวัตต์ คิดเป็น 3.25 เปอร์เซ็นต์ และ 32 กิโลวัตต์ คิดเป็น 4.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะ 20 เซนติเมตร ระยะห่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงขึ้นมีผลทำให้โครงสร้างหลังคารับแรงลมที่กระทำต่อจุดรองรับของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแรงยกเท่ากับ 68.4 กิโลกรัม ต้องพิจารณาการยึดรั้งให้แข็งแรงเพียงพอ อนึ่งยังมีแรงโมเมนต์ที่มีผลให้โครงหลังคาเหล็ก แป ที่รับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยเปรียบเทียบการออกแบบโครงหลังคาเหล็กเดิมที่ไม่ได้ติดตั้ง ใช้แปขนาด C-125x50x20x2.3 มม (4.51 กก./ม.) เมื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระยะ 20, 25 และ 30 เซนติเมตร ควรใช้แปขนาด C-150x65x20x2.3 มม (5.50 กก./ม.) และทั้ง 3 ระยะค่าวัสดุแปเพิ่มขึ้น 10 เปอร์เซ็นต์ และวัสดุอื่น ๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อ ทั้งนี้การเพิ่มระยะห่างให้การถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้นเพื่อลดอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องพิจารณาในโครงสร้างของอาคารควบคู่กันไปเพื่อความปลอดภัยต่อการใช้อาคาร

คำสำคัญ : การถ่ายเทความร้อน, อุณหภูมิ, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, แรงลม, การวิเคราะห์โครงสร้าง

Title	STUDY OF DISTANCE BETWEEN SOLAR ARRAYS AND BUILDING ROOF THAT EFFECTS THE REDUCTION OF PANEL TEMPERATURE AND STRENGTH OF THE ROOF STRUCTURE
Author	Mr. Chanchai Timtub
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Dr. Natthanicha Sukasem

ABSTRACT

There are many factors effecting the efficiency of a solar cell panel and solar cell panel temperature is an important factor. This study investigates the distance between a solar panel and a roof having an effect on a decrease in temperature under the solar cell panel and the strength of the plant roof structure in Lamphun industrial estate. The distance between the solar cell panel and the structure roof is set at 20, 25, and 30 cm. After that, data on solar radiation value, ambience temperature, and temperature under the solar cell panel are collected (19,467 data). It is found that the temperature under the solar cell panel decreases for 4 and 6 °C at the distance of 25 and 30 cm, the electric power increased 26 kW or 3.25% and 32 kW or 4% at the distance 25 and 30 cm, respectively. When compares with the distance of 20 cm. An increase in the distance of the solar cell panel is horizontal roof beam equivalent to 68.4 kg force and restraint to be strong enough must be considered. In addition, there is moment force having an effect on an increase in the strength of the iron roof and the horizontal roof beam where the solar cell panel is located. This is based on the comparison of the design of the existing iron roof structure which is not installed (a horizontal roof beam of C-125x50x20x2.3 mm-4.51 kg./m). A horizontal roof beam of C-150x65x20x2.3 mm (5.50 kg./m) should be used when a solar cell panel is installed at 20, 25, and 30 cm. The horizontal roof beam material value of the 3 distances increase for 10%. An increase

in the distance made a better heat transfer and this reduce the temperature under solar cell panel. However, structure of the building must also be considered for safety in the building using.

Keywords : Heat transfer, Temperature, Solar cell panel, Wind force, Structure analysis



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับคำชี้แนะ คำแนะนำที่มีคุณค่าอย่างมากจากคณาจารย์หลายท่าน

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐธัญญา สุขเกษม ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักช่วยตรวจสอบความเหมาะสม ความเรียบร้อยของเนื้อหางานวิจัย ให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องและปัญหาต่างๆ ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ธิดารัตน์ ศิริบุรณ สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยิ่งรัชต์ อรรถเวชกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิกราน หอมดวง ที่กรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ขอขอบพระคุณศูนย์ บริการวิชาการที่ 7 (จังหวัดเชียงใหม่) กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์ พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับใช้ในการศึกษา

ขอขอบพระคุณ บริษัท แพนดอร่า โพรดักชั่น จำกัด อนุญาตให้ศึกษา ทดลอง ระบบ Solar Rooftop ให้ใช้สถานที่ในการทดลองงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบพระคุณผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมบริการ เพื่อนร่วมงาน ที่สนับสนุน ช่วยเหลือในการทดลองต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลายท่านที่มีได้กล่าวชื่อในครั้งนี้ เจ้าหน้าที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ทุกท่านที่ให้ความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย รวมถึงเพื่อน และญาติมิตร ทุกท่านที่ให้การสนับสนุน ช่วยเหลือทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยที่ไม่สามารถจะกล่าวได้หมดสำหรับคุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านทั้งหลายที่กล่าวถึง ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้

ชาญชัย ทิมทับ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญตารางผนวก	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	7
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.3 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	12
2.4 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.4.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy conversion efficiency).....	13
2.4.2 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current).....	13
2.4.3 แรงดันไฟฟ้าวงจรถวายเปิด (Open Circuit Voltage).....	15
2.5 มรสุม (Monsoon).....	18

2.5.1	การหมุนเวียนของบรรยากาศ และอิทธิพลของฤดูกาล	18
2.5.2	ระบบการหมุนเวียนของบรรยากาศโลก.....	20
2.5.3	อิทธิพลของฤดูกาล	22
2.5.4	อุณหภูมิและแสงอาทิตย์	23
2.6	ทิศทางลม ที่มีผลต่อหลังคา.....	24
2.7	สมบัติของวัสดุ.....	26
2.7.1	สมบัติทางกลของวัสดุ	29
2.8	การวิเคราะห์โครงสร้าง (Introduction to Structural analysis).....	32
2.8.1	ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง.....	32
2.9	รูปแบบโครงสร้าง	33
2.9.1	โครงสร้างรับแรงดึงและแรงอัด (Tension and Compression Structures)	33
2.9.2	คาน (Beam)	36
2.9.3	โครงข้อแข็ง (Frame)	37
2.9.4	โครงสร้างเปลือกบาง (Membrane, Plate and Shell Structure).....	38
2.10	น้ำหนักบรรทุก และแรงกระทำต่ออาคาร (Loads and forces on building).....	39
2.10.1	น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load).....	39
2.10.2	น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load).....	40
2.10.3	น้ำหนักของยานพาหนะวิ่งบนสะพาน.....	42
2.10.4	แรงลม (Wind Load).....	43
2.10.5	แรงแผ่นดินไหว (Earthquake Load).....	45
2.10.6	แรงดันน้ำและแรงดันดิน (Hydrostatic and Soil Pressures)	48
2.10.7	แรงที่เกิดจากอุณหภูมิและอื่น ๆ (Thermal and Other Effects).....	49
2.11	การถ่ายน้ำหนัก (Load Transfer).....	49
2.11.1	การถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงคาน	49

2.11.2 การกระจายน้ำหนักลงคาน: พื้น 2 ทาง.....	50
2.11.3 การกระจายน้ำหนักลงคาน: พื้นทางเดียว.....	51
2.12 การออกแบบโครงสร้างเหล็ก.....	53
2.12.1 วิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ Allowable Stress Design (ASD)	53
2.12.2 วิธีพลาสติก Plastic Design Method.....	53
2.12.3 วิธี Load and Resistance Factor Design (LRFD).....	54
2.12.4 แรงโมเมนต์ (Moment).....	56
2.12.5 การออกแบบแป.....	59
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	61
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	67
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	73
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	90
บรรณานุกรม.....	92
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดสอบ.....	96
ภาคผนวก ข การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า	111
ภาคผนวก ค ผลงานวิชาการ	135
ประวัติผู้วิจัย.....	137

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 สเกลการหมุนเวียนอากาศ	19
ตารางที่ 2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของวัสดุต่าง ๆ	39
ตารางที่ 3 น้ำหนักบรรทุกจรของอาคารแต่ละประเภทตามกฎกระทรวงฯ	40
ตารางที่ 4 อัตราลดหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรบนพื้นที่แต่ละชั้นตามกฎกระทรวงฯ	41
ตารางที่ 5 การเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่กรณีมีแรงสั่นสะเทือนตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544	42
ตารางที่ 6 น้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO	43
ตารางที่ 7 หน่วยแรงลมตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527	45
ตารางที่ 8 อุปกรณ์วัดสภาพอากาศและอุณหภูมิแฝง	69
ตารางที่ 9 การคำนวณกำลังไฟฟ้าของระยะ 20, 25 และ 30 cm	73
ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของพื้นที่ระบายอากาศ	81
ตารางที่ 11 หน่วยแรงลม ที่คำนึงถึงในการออกแบบ	81
ตารางที่ 12 การคำนวณแรงโมเมนต์ของแต่ละระยะห่าง	84
ตารางที่ 13 การคำนวณโครงสร้างเหล็กแป การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังคา	88
ตารางที่ 14 การประเมินราคา การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังคา	89
ตารางที่ 15 ผลอุณหภูมิ กำลังไฟฟ้า ที่เปลี่ยนแปลง	90
ตารางที่ 16 ผลของแรงโมเมนต์	90

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง ปี 2560.....	2
ภาพที่ 2 เป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง ปี 2579	2
ภาพที่ 3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่าง ๆ ปี 2560.....	3
ภาพที่ 4 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งปี 2560.....	4
ภาพที่ 5 แผนภูมิข้อมูลภูมิอากาศ Annual Mean Temperature in Thailand.....	5
ภาพที่ 6 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกราฟ I-V	6
ภาพที่ 7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโรงงาน	7
ภาพที่ 8 หลักการทำงานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์.....	9
ภาพที่ 9 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	10
ภาพที่ 10 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	10
ภาพที่ 11 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	11
ภาพที่ 12 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิคอนชนิดต่าง ๆ.....	12
ภาพที่ 13 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป	14
ภาพที่ 14 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป.....	16
ภาพที่ 15 นายเอ็ดมอนด์ ฮาลเลย์ ผู้ที่อธิบายหลักการเกิดมรสุม.....	18
ภาพที่ 16 ลมบก ลมทะเล	19
ภาพที่ 17 ลมหุบเขา ลมภูเขา.....	20
ภาพที่ 18 การหมุนเวียนของบรรยากาศ หากโลกไม่หมุนรอบตัวเอง	21
ภาพที่ 19 การหมุนเวียนของบรรยากาศ เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง.....	21
ภาพที่ 20 แกนของโลกเอียงขณะที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดฤดูกาล	23
ภาพที่ 21 การเคลื่อนที่ของ ITCZ เนื่องจากฤดูกาล	23
ภาพที่ 22 ทิศทางลม	24

ภาพที่ 23	ทิศทางการพัดของลมอยู่ในแนวตั้งฉากกับสันหลังคา.....	25
ภาพที่ 24	ทิศทางการพัดของลมอยู่ในแนวขนานกับสันหลังคา	26
ภาพที่ 25	(ก) วัสดุรับแรงดึง (ข) วัสดุรับแรงอัด (ค) วัสดุรับแรงเฉือน	29
ภาพที่ 26	ความสัมพันธ์ของความเค้น – ความเครียด.....	32
ภาพที่ 27	สะพานแขวน : Golden Gate ประเทศสหรัฐอเมริกา.....	34
ภาพที่ 28	รูปแบบสะพานโค้ง : Bowstring Arch Bridge ประเทศสหรัฐอเมริกา.....	34
ภาพที่ 29	เสาและคานเสา.....	35
ภาพที่ 30	โครงข้อหมุน.....	36
ภาพที่ 31	คาน.....	37
ภาพที่ 32	โครงข้อแข็ง (ก) โครงข้อแข็งเหล็ก (Steel Frame) และ (ข) โครงข้อแข็งคอนกรีต (Concrete Frame).....	37
ภาพที่ 33	โครงสร้างเปลือกบาง	38
ภาพที่ 34	แรงลมที่กระทำกับโครงสร้าง	44
ภาพที่ 35	แผ่นดินไหวกับโครงสร้าง	46
ภาพที่ 36	แรงดันน้ำ.....	48
ภาพที่ 37	การแบ่งพื้นที่รับผิวดขอบของคาน เพื่อรองรับน้ำหนักจากแผ่นพื้น.....	50
ภาพที่ 38	การแบ่งพื้นที่รับผิวดขอบของคาน เพื่อรองรับน้ำหนักจากแผ่นพื้น.....	50
ภาพที่ 39	ลักษณะการกระจายของน้ำหนักแผ่นบนพื้นที่คานที่รองรับทั้ง 4 ด้าน (กรณี $m > 0.5$).....	51
ภาพที่ 40	ลักษณะการกระจายของน้ำหนักแผ่นบนพื้นที่คานด้านยาว (กรณี $m < 0.5$).....	51
ภาพที่ 41	การถ่ายแรงแบบทางเดียว สำหรับแผ่นพื้นที่มี m ใด ๆ แต่มีคานรองรับเพียง 2 ด้าน....	52
ภาพที่ 42	การถ่ายแรงแบบทางเดียว สำหรับแผ่นพื้นที่สำเร็จรูป ที่มี m ใด ๆ แม้ว่าจะมีคานรองรับที่ด้านก็ตาม	52
ภาพที่ 43	แรงกระทำต่อคานให้คานอยู่ในแนวระดับ.....	57
ภาพที่ 44	องค์ประกอบของหลังคา	59

ภาพที่ 45	น้ำหนักที่โครงสร้างหลังคา แปะ.....	60
ภาพที่ 46	การถ่ายน้ำหนักที่โครงสร้างหลังคา แปะ.....	60
ภาพที่ 47	ผังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดลอง	69
ภาพที่ 48	ตำแหน่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดลอง	70
ภาพที่ 49	เครื่องมือวัดรังสีรวมของความเข้มแสงอาทิตย์ ไพรานอมิเตอร์ (PYRANOMETER).....	70
ภาพที่ 50	อุปกรณ์พิเศษเพื่อยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	70
ภาพที่ 51	การยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ระยะ 20 cm.....	71
ภาพที่ 52	การยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ระยะ 25 cm.....	71
ภาพที่ 53	การยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ระยะ 30 cm.....	72
ภาพที่ 54	ผลอุณหภูมิใต้แผง อุณหภูมิแวดล้อม ความเข้มแสงอาทิตย์.....	79
ภาพที่ 55	ผลอุณหภูมิใต้แผง อุณหภูมิแวดล้อม ความเข้มแสงอาทิตย์ ทั้ง 3 ระยะ.....	80
ภาพที่ 56	ความสูงของอาคาร ที่ทดลองในงานวิจัย.....	82
ภาพที่ 57	ระยะห่างของจุดรองรับ ด้านขนาน.....	82
ภาพที่ 58	ระยะห่างของจุดรองรับ ด้านเอียงลาด.....	83
ภาพที่ 59	ตารางสลักเกลียว ที่จำหน่ายในท้องตลาด	83
ภาพที่ 60	แรงลมทำให้เกิดแรงโมเมนต์ที่โครงสร้างหลังคา.....	84
ภาพที่ 61	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนโครงสร้างหลังคา	85
ภาพที่ 62	แรงโมเมนต์เกิดขึ้นที่แปะเพิ่มจากเดิม	85
ภาพที่ 63	ตัวอย่างการคำนวณโครงสร้างเหล็กแปะ ที่ไม่ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	87

สารบัญตารางผนวก

	หน้า
ตารางผนวกที่ 1 อุณหภูมิใต้แผง อุณหภูมิแวดล้อมและค่าความเข้มแสงแดด	96
ตารางผนวกที่ 2 การคำนวณกำลังไฟฟ้า.....	111



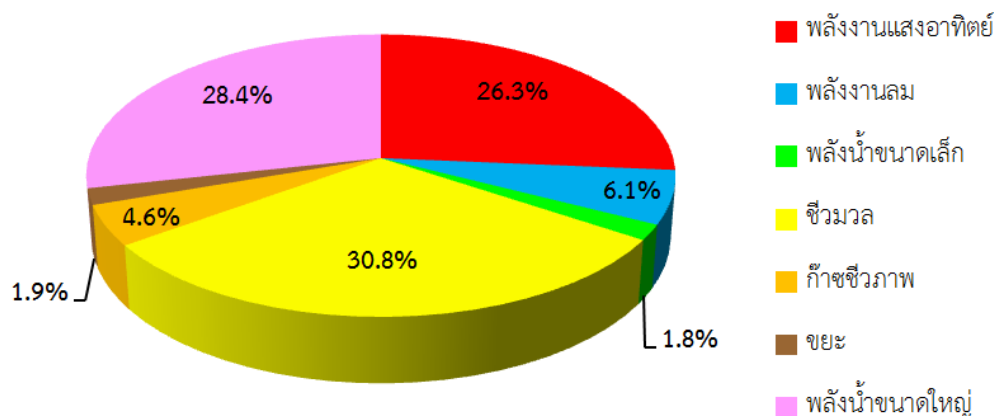
บทที่ 1

บทนำ

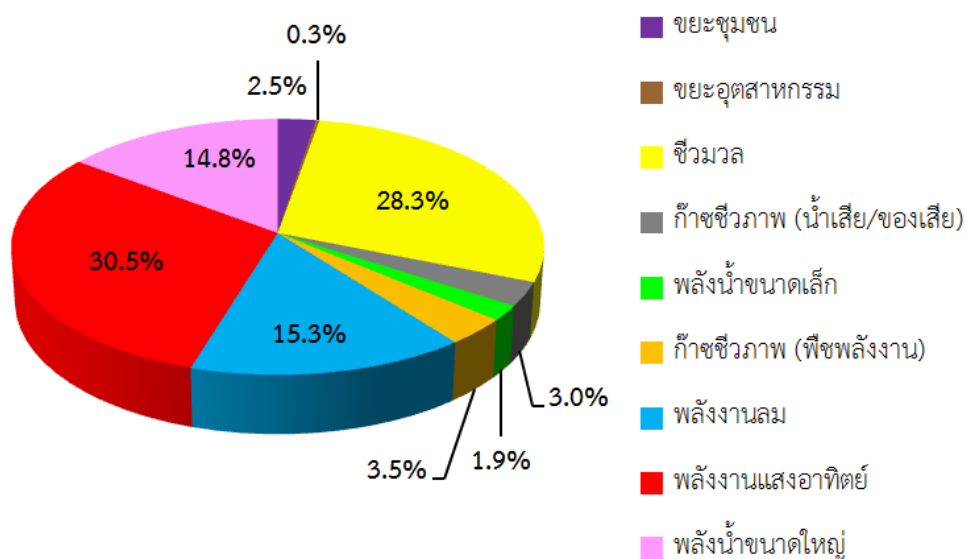
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) ได้จัดทำแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 (พ.ศ.2560-2564) (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2561) บนพื้นฐานของกรอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี รวมทั้งปรับโครงสร้างประเทศไทยไปสู่ประเทศ 4.0 ได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศมีทั้งหมด 10 ยุทธศาสตร์ โดยยุทธศาสตร์ที่ 7 มีรายละเอียดมุ่งเน้นในเรื่องการลดความเข้มของการใช้พลังงาน การพัฒนาด้านพลังงานเพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนต่อปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายและลดการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้า โดยในปี 2560 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นต้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.4 เปรียบเทียบกับปี 2559 ซึ่งมีผลมากจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจโดยผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ทั้งปีขยายตัวร้อยละ 3.9 และการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งปี 185,370 จิกะวัตต์ชั่วโมง (GWh) เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.4 เปรียบเทียบกับจากปี 2559

แผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2015) กรอบการพัฒนาพลังงานของไทยในระยะ 20 ปี คาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสุทธิของประเทศตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plan : PDP) พ.ศ. 2558–2579 (PDP2015) ในปี 2579 มีค่าอยู่ที่ 326,119 GWh เป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิงตามแผน AEDP2015 มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในภาพรวมของทั้งประเทศ มีค่า 65,588.07 GWh ดังภาพที่ 1 สัดส่วนที่ร้อยละ 20 และการใช้พลังงานทดแทน คิดเป็นสัดส่วนของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายร้อยละ 30 กระทรวงพลังงานกำหนดยุทธศาสตร์เพื่อส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทน โดยการเตรียมความพร้อมด้านวัตถุดิบและเทคโนโลยีพลังงานทดแทน การเพิ่มศักยภาพการผลิต การใช้ และตลาดพลังงานทดแทน การสร้างจิตสำนึกและเข้าถึงองค์ความรู้ ข้อเท็จจริงด้านพลังงานทดแทน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], 2558; สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2560)

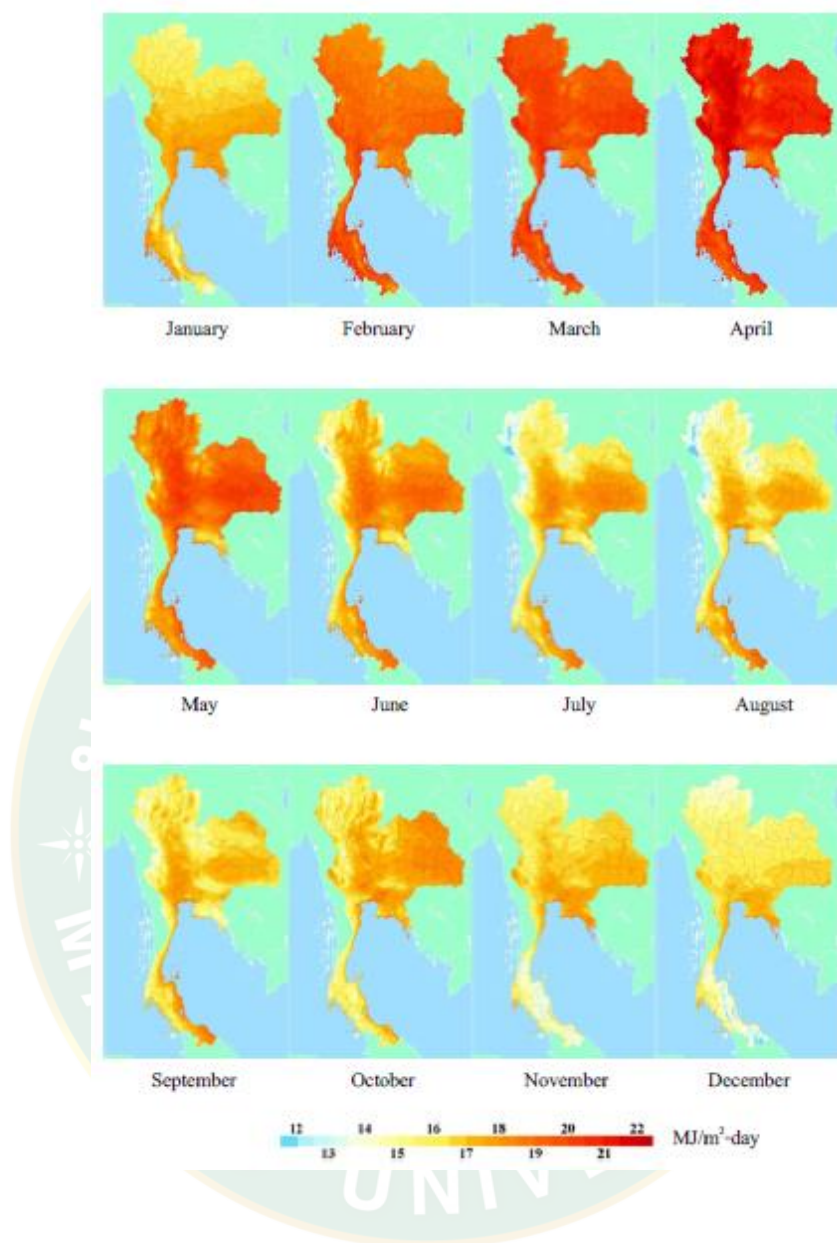


ภาพที่ 1 กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง ปี 2560
ที่มา : พพ. (2558)

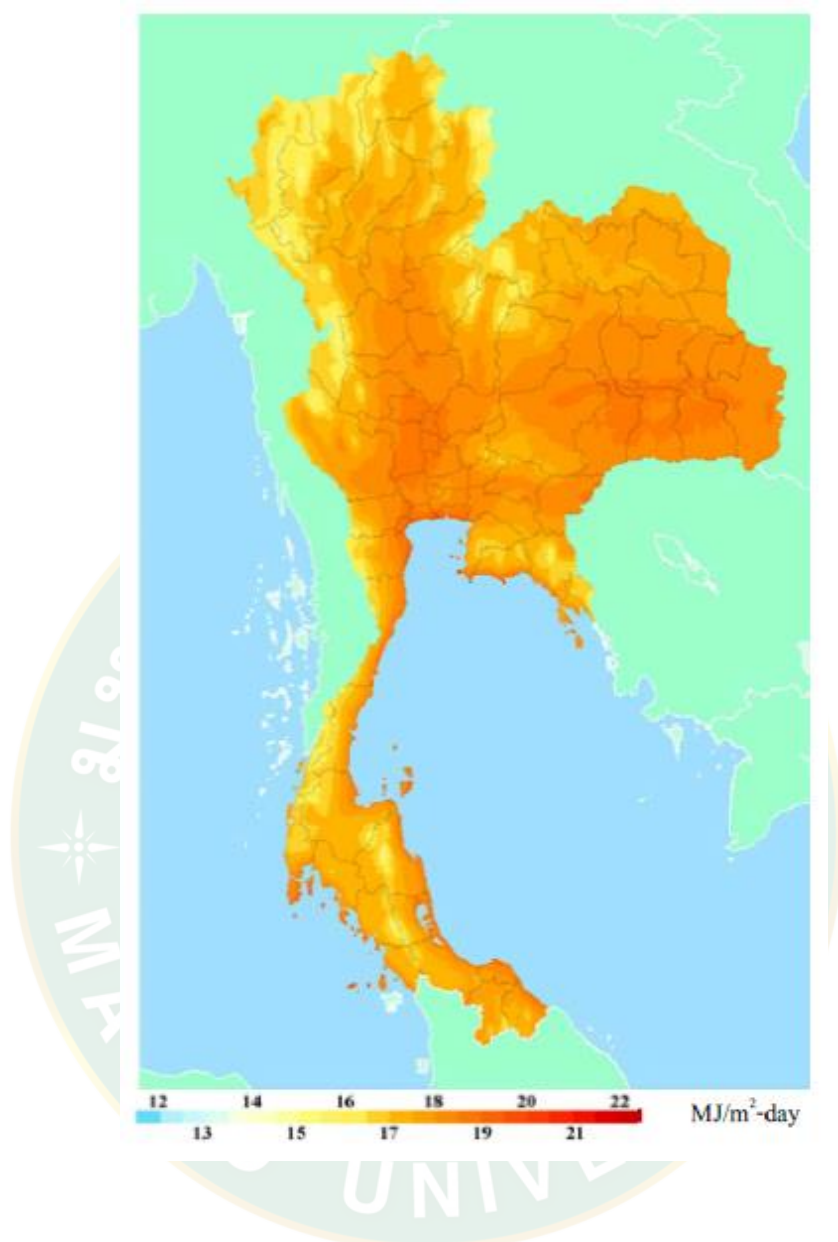


ภาพที่ 2 เป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื้อเพลิง ปี 2579
ที่มา : พพ. (2558)

ปี 2560 กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีสัดส่วนร้อยละ 26.3 และภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่า ประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น พบว่าปี 2579 เน้นเป้าหมายไปที่การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้มีสัดส่วนมากถึง ร้อยละ 30.5



ภาพที่ 3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของเดือนต่าง ๆ ปี 2560
ที่มา : พพ. (ม.ป.ป.)

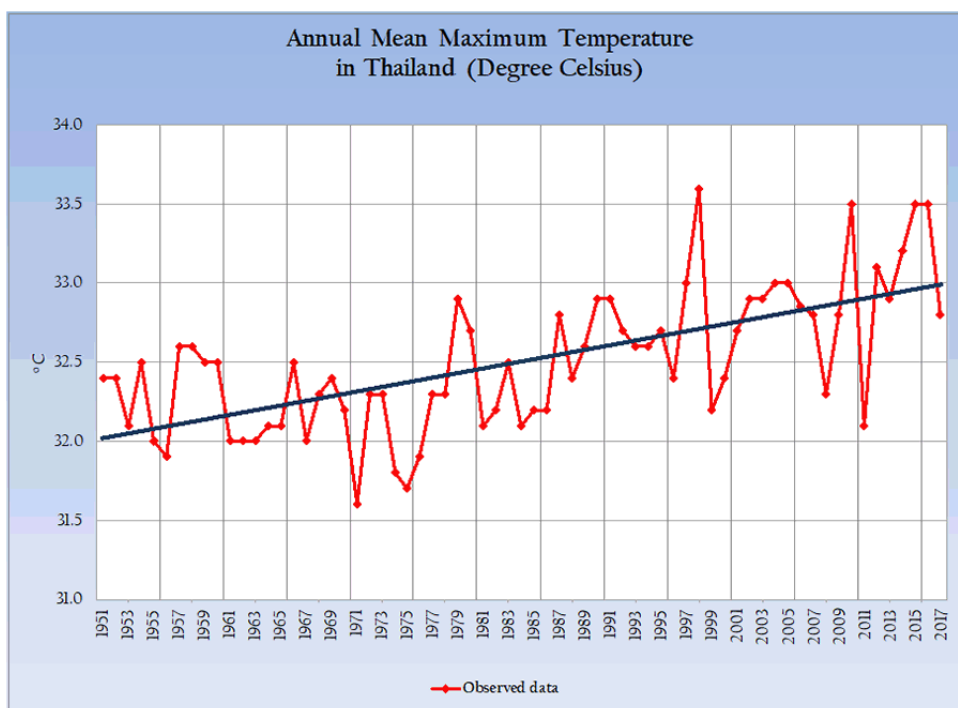


ภาพที่ 4 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งปี 2560

ที่มา : พพ. (ม.ป.ป.)

ประเทศไทยมีที่ตั้งตามพิกัดภูมิศาสตร์ ดังนี้คือ ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 5 องศา 37 ลิปดาเหนือ กับ 20 องศา 27 ลิปดาเหนือ และระหว่างลองจิจูด 97 องศา 22 ลิปดาตะวันออก กับ 105 องศา 37 ลิปดาตะวันออก ซึ่งถ้าจะกล่าวโดยทั่วไปแล้วก็คือตั้งอยู่ในบริเวณซีกโลกเหนือในเขตละติจูดต่ำ (Low Latitude) ระหว่างเส้นศูนย์สูตร (Equator) กับเส้นทรอปิกออฟแคนเซอร์ (Tropic of Cancer) นับว่าที่ตั้งของประเทศไทยเป็นบริเวณที่มีโอกาสได้รับรังสีหรือพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลมากแห่งหนึ่งของโลก จึงจัดอยู่ในประเทศเขตร้อน (Tropic Zone) มีอุณหภูมิของอากาศเฉลี่ยสูง

เกือบตลอดปี โดยค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ มีค่าเท่ากับ 18.0 MJ/m².day ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง เหมาะแก่การนำพลังงานนี้มาผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ในปีที่ผ่านมา 2560 มีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ 2,697.2 MW (สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, 2559)

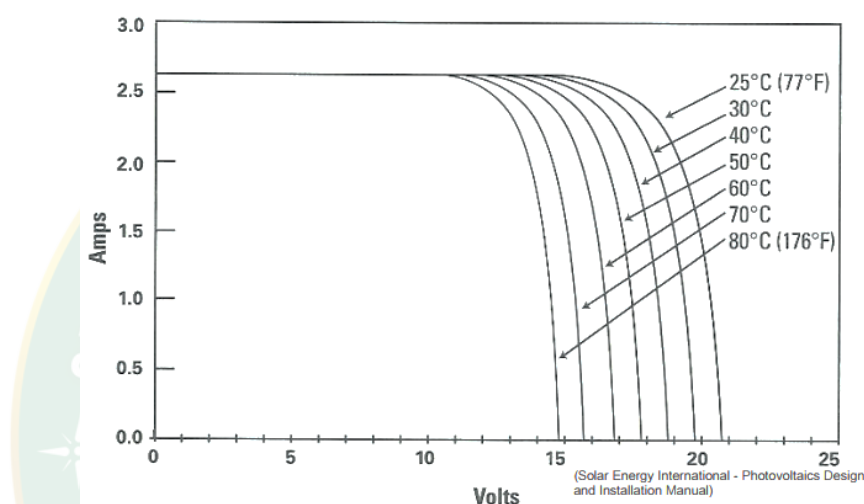


ภาพที่ 5 แผนภูมิข้อมูลภูมิอากาศ Annual Mean Temperature in Thailand

ที่มา : Thai Meteorological Department (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

เมื่อศึกษาข้อมูลแผนภูมิข้อมูลภูมิอากาศ Annual Mean Temperature in Thailand จากภาพที่ 5 พบว่าช่วงเวลาปี ค.ศ. 1951 – 2017 มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีสูงกว่า 25 °C ซึ่งอุณหภูมิที่สูงนี้มีผลอย่างนัยสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้านั้น อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ลดทอนประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาตรฐานที่ใช้กำหนดภาวะทดสอบมาตรฐาน (Standard Test Conditions; STC) ที่อุณหภูมิ 25 °C โดยที่กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงด้วยซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 °C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.) เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่

35 V ณ อุณหภูมิ 25 °C จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 °C จะเท่ากับ 35 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 °C เช่น อุณหภูมิ 30 °C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) นั่นคือ แรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง 0.875 V ($35\text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 34.125 V ($35\text{ V} - 0.875\text{ V}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย ซึ่งแสดงผลได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อกราฟ I-V

ที่มา : Thai Meteorological Department (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

จากที่ประเทศไทยมี กรอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี รวมทั้งปรับโครงสร้างประเทศไทยไปสู่ประเทศ 4.0 ที่ได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศมีทั้งหมด 10 ยุทธศาสตร์ โดยยุทธศาสตร์ที่ 7 มีรายละเอียดมุ่งเน้นในเรื่องการลดความเข้มของการใช้พลังงาน การพัฒนาด้านพลังงานเพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนต่อปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายและลดการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติในการผลิตไฟฟ้า รวมถึงแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2015) กรอบการพัฒนาพลังงานของไทยในระยะ 20 ปี ในปี 2579 มีเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนแต่ละประเภทเชื่อเพลิงตามแผน AEDP2015 มีสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนในภาพรวมของทั้งประเทศ สัดส่วนที่ร้อยละ 20 และการใช้พลังงานทดแทนคิดเป็นสัดส่วนของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายร้อยละ 30 ซึ่งในสัดส่วนนี้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นลำดับที่ 1 มากถึงร้อยละ 30.5 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนจากพลังงาน

แสงอาทิตย์นั้นใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลัก การพัฒนาทางเศรษฐกิจที่เติบโตอย่างต่อเนื่อง มีอาคารโรงงานมากมายที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นปัจจัยให้สนใจงานวิจัย การศึกษาระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคาร ที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิใต้แผง และความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา เนื่องจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา อาคารโรงงานนั้น จะอยู่บริเวณหรือจุดสูงสุดของอาคารดังภาพที่ 7 และไม่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความสูงได้มากนัก ทำให้ระยะห่างในการติดตั้งน้อย ทำให้การกระจายอากาศ และถ่ายเทความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ไม่ดีเท่าที่ควร เกิดการสะสมความร้อน



ภาพที่ 7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโรงงาน
(ภาพจากบริษัทแพนดอรา โพรดักชั่น จำกัด จังหวัดลำพูน)

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ในการกระจายอากาศใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) เพื่อศึกษาการความแข็งแรงโครงสร้างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา
- 3) เพื่อศึกษาช่องว่างที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ การติดตั้งโครงหลังคา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ศึกษาการกระจายอากาศใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา
- 2) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงช่องว่างการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

- 3) ศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly Crystalline Silicon ที่ติดตั้งบนหลังคาทรงจั่ว วัสดุ มุงหลังคาชนิดเหล็กแผ่นเคลือบอะลูมิเนียม/สังกะสีความลาดเอียง 3 องศา
- 4) ความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังคา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการลดอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) ลดความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร จากการบังแดดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) ทราบถึงความแข็งแรงจตุรรองรับที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารที่สามารถรับ ได้และแรงกระทำต่อหลังคาที่เปลี่ยนแปลง



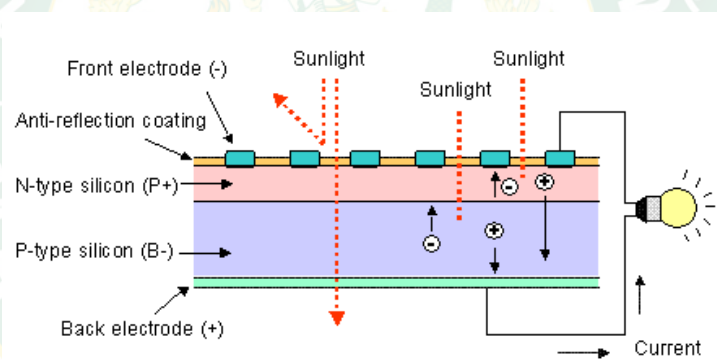
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย (1) การถ่ายความร้อน (2) ลมมรสุม (3) ทฤษฎีโครงสร้าง การวิเคราะห์โครงสร้าง (4) การออกแบบโครงสร้างเหล็ก โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรงโดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกันพลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำจึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายไปใช้งานได้ดังภาพที่ 8 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ม.ป.ป.; พพ., ม.ป.ป.; นรินทร์ และคณะ, ม.ป.ป.)



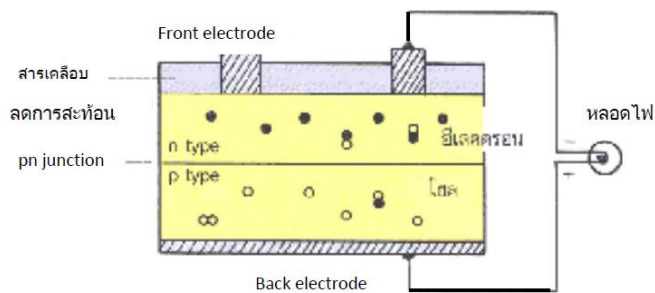
ภาพที่ 8 หลักการทำงานของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

ขั้นตอนการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์มีดังนี้

- 1) n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์คือสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการโด๊ปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ p - type ซิลิคอนคือสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการโด๊ปปิ้งด้วยสารโบรอนทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนเมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันด้วย p - n junction จึงทำให้เกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์

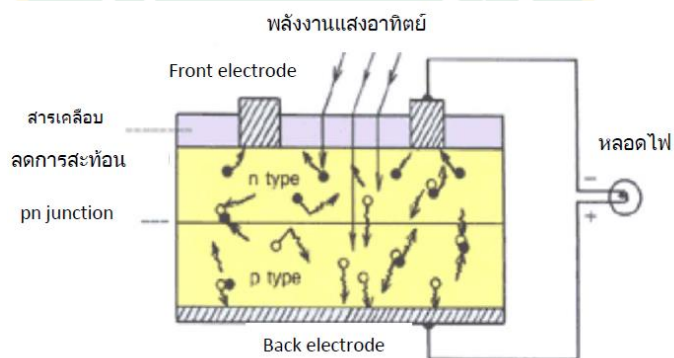
ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กทรอนิกส์แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับ อิเล็กตรอนส่วน p - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์โครงสร้างส่วนให้เป็นโฮลแต่ ยังคงมีอิเล็กทรอนิกส์ปะปนบ้างเล็กน้อยด้านหลังของ p - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะ เรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮลดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

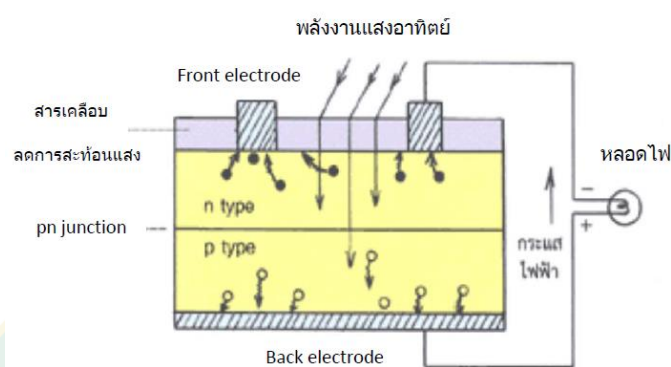
- 2) เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์และโฮลทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กทรอนิกส์และโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p - type ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

- 3) อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กันดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

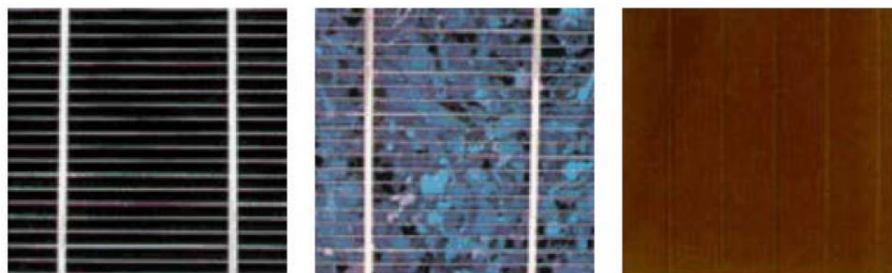
เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

- 1) กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนจะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นคือแบบที่เป็นรูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึกคือชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)
- 2) กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไปแต่มีราคาสูงมากไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลกจึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลงและนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่ผลิตจากซิลิคอนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

- ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Cell) ดังภาพที่ 12 (ก)
- ซิลิคอนแบบหลายผลึก (Poly Crystalline Silicon Cell) ดังภาพที่ 12 (ข)

- ซิลิคอนแบบไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous Silicon Cell) ดังภาพที่ 12 (ค)



(ก) แบบผลึกเดี่ยว

(ข) แบบหลายผลึก

(ค) แบบไม่เป็นรูปผลึก

ภาพที่ 12 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทซิลิคอนชนิดต่าง ๆ

ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

2.3 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ที่ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่มีดังนี้

- 1) ความเข้มแสงอาทิตย์ กระแสไฟฟ้า (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์หมายความว่าเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์สูงกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลกซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW/cm^2 หรือ $1,000 \text{ W/m}^2$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60° กับพื้นโลกความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW/cm^2 หรือ 750 W/m^2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง
- 2) อุณหภูมิกระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1°C ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25°C เช่นกำหนดไว้ว่า

แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 35 V ณ อุณหภูมิ 25 °C ก็จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 °C จะเท่ากับ 35 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 °C เช่นอุณหภูมิ 30 °C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) นั่นคือแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.875 V ($35 \text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 34.125 V ($35 \text{ V} - 0.525 \text{ V}$) สรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลงซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.4 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้อธิบายลักษณะสมบัติเอาต์พุต (Output Characteristics) ของเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้

2.4.1 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Energy conversion efficiency)

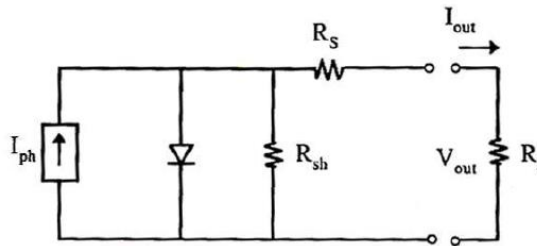
คืออัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจเรียกสั้น ๆ ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เขียนเป็นสูตรดังสมการที่ 1

$$\eta = \frac{P_{\max} (W)}{\text{Area} (m^2) \times P_{in} (W)} \times 100\% \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่ η	คือ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์
P_{\max}	คือ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด
$\text{Area} (m^2)$	คือ พื้นที่รับแสง
$P_{in} (W)$	คือ กำลังของแสงที่ตกกระทบเซลล์

2.4.2 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current)

ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาพลัดวงจรเราเรียกกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรว่า กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current: I_{sc})



ภาพที่ 13 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

ที่มา : นรินทร์ อั้งสุวรรณ และคณะ (2557)

ภาพที่ 13 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ถูกส่องด้วยแสง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ามืด I และแรงดันไฟฟ้า V ของเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะมืดจะมีรูป เหมือนกับสมการของกระแสไฟฟ้าของไดโอดตามสมการที่ 2 และสมการที่ 3 กล่าวคือ

$$I_o = qA \left[\frac{D_h p_n}{L_h} + \frac{D_e p_p}{L_e} \right]$$

สมการที่ 2

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right]$$

สมการที่ 3

โดยที่ I_o	คือกระแสไฟฟ้ายอนิมิตัว
q	คือประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ 1.6×10^{-19} C
A	คือพื้นที่รับแสง
D_h	คือสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของโฮล
D_e	คือสัมประสิทธิ์การแพร่ซึมของอิเล็กตรอน
L_h	คือระยะทางแพร่ซึมของโฮล
L_e	คือระยะทางแพร่ซึมของอิเล็กตรอน
n_p	คือจำนวนอิเล็กตรอนต่อพื้นที่ในชั้น p
p_n	คือจำนวนโฮลต่อพื้นที่ในชั้น n

โดยที่ I_o เรียกว่ากระแสไฟฟ้ายอนิมิตัวและ n คือค่าแฟกเตอร์/กระแสไฟฟ้าโฟโต I_{ph} (I_{sc}) ตามสมการที่ 4 ดังนี้

$$I_{out} = I - I_{ph}$$

สมการที่ 4

ในที่นี้ I_{ph} (I_{sc}) คำนวณได้จากสมการที่ 5 และถ้าให้ A คือพื้นที่รับแสง ตามสมการที่ 5 จะได้ว่า

$$I_{sc} = qA \int_0^{\infty} F(\lambda) \eta_{ext}(\lambda) d\lambda \quad \text{สมการที่ 5}$$

โดยที่ $F(\lambda)$ คือ โฟตอนฟลักซ์ซึ่งหมายถึงจำนวนโฟตอนต่อหน่วยพื้นที่และหน่วยเวลาที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

$\eta_{ext}(\lambda)$ คือ ประสิทธิภาพการรวบรวมพาหะภายนอก

ถ้าพิจารณาความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้แก่ความต้านทานอนุกรม R_s และความต้านทานขนัต์ R_{sh} ด้วยจะทำให้กระแสไฟฟ้าเอาต์พุต I_{out} ตามสมการที่ 6 มีค่าดังนี้

$$I_{out} = I_o \left[\exp \left\{ \frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right\} - 1 \right] + \frac{V - IR_s}{R_{sh}} - I_{ph} \quad \text{สมการที่ 6}$$

โดยที่ I_o คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอ้อมตัว

q คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ 1.6×10^{-19} C

R_s คือ ความต้านทานอนุกรม

R_{sh} คือ ความต้านทานขนัต์

I_{ph} คือ กระแสไฟฟ้าโฟโต

2.4.3 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage)

ถ้าเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในสภาพวงจรเปิด (Open circuit) แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ เรียกว่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage: V_{oc}) ค่า V_{oc} คำนวณได้จากสมการที่ 7 โดยแทนค่า I_{out} ดังนั้นจึงได้ว่า

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left[\frac{I_{sc}}{I_o} + 1 \right] \quad \text{สมการที่ 7}$$

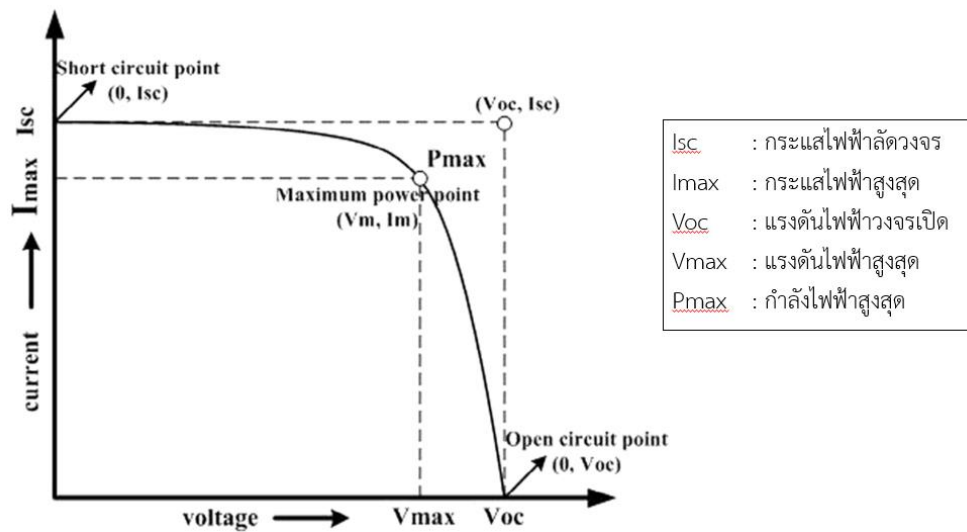
โดยที่ n คือ จำนวนอิเล็กตรอน

I_{sc} คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร

I_o คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอ้อมตัว

q คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ 1.6×10^{-19} C

ภาพที่ 14 แสดงตัวอย่างลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์จุดที่กราฟตัดแกนแรงดันไฟฟ้าคือแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด จุดที่กราฟตัดแกนกระแสไฟฟ้าคือกระแสไฟฟ้าลัดวงจรในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์กำลังไฟฟ้าสูงสุด P_{max} (Maximum Power) ที่จะได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใหญ่ที่สุดภายในกราฟ ลักษณะสมบัตินี้ซึ่งแสดงด้วยเส้นประให้ V_{max} (Maximum Voltage) และ I_{max} (Maximum Current) คือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุดตามลำดับที่จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ตามสมการที่ 8



ภาพที่ 14 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

ที่มา : นรินทร์ อังสุวัฒน์ และคณะ (2557)

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max}$$

สมการที่ 8

สามารถคำนวณหาค่า V_{max} ได้ด้วยการหาค่าอนุพันธ์ของ P_{max} เทียบกับ V_{max} ตามสมการที่ 9 ดังนี้

$$\frac{\partial P_{max}}{\partial V_{max}} = 0$$

สมการที่ 9

$$\exp\left(\frac{qV_{max}}{nkT}\right) \left(1 + \frac{qV_{max}}{nkT}\right) = \left(\frac{I_{sc}}{I_o} + 1\right)$$

สมการที่ 10

ด้วยวิธีการคำนวณในทำนองเดียวกัน I_{max} จะมีค่าเท่ากับ

$$I_{\max} = \frac{(I_{sc} + I_o) \frac{qV_{\max}}{nkT}}{1 + \frac{qV_{\max}}{nkT}} \quad \text{สมการที่ 11}$$

- โดยที่ I_{sc} คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
 I_o คือ กระแสไฟฟ้าย้อนอิมิตัว
 V_{\max} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด
 q คือ ประจุของอิเล็กตรอนค่าคงที่ $1.6 \times 10^{-9} \text{ C}$

สมการที่ 9 สมการที่ 10 และสมการที่ 11 ซึ่ให้ทราบว่า P_{\max} จะมีค่ามากเมื่อ I_o มีค่าน้อย (นั่นก็คือช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำควรมีค่ากว้างพอสมควร) และ n มีค่าน้อย

ฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor) เอาต์พุตพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือฟิลล์แฟกเตอร์ (Fill Factor) เขียนย่อว่า FF นิยามของ FF คืออัตราส่วนของพื้นที่ของ $V_{\max} \times I_{\max}$ ต่อพื้นที่ของ $V_{oc} \times I_{sc}$ และเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$FF = \frac{P_{\max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{P_{\max} \times I_{\max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad \text{สมการที่ 12}$$

$$FF = \frac{V_{\max}}{V_{oc}} \left[1 - \frac{\exp\left(\frac{qV_{\max}}{nkT}\right) - 1}{\exp\left(\frac{qV_{oc}}{nkT}\right) - 1} \right] \quad \text{สมการที่ 13}$$

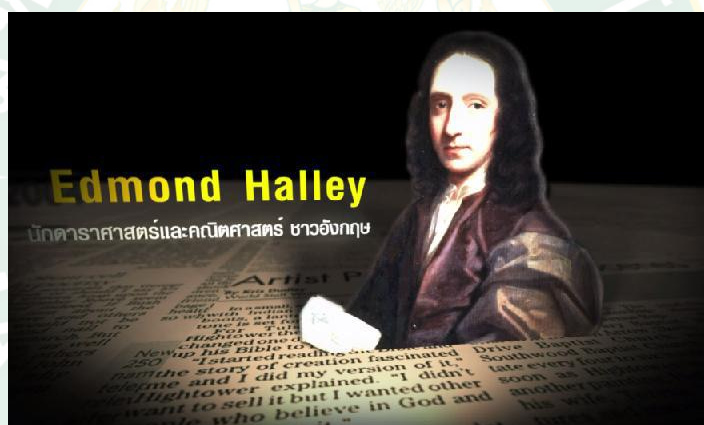
ถ้าความต้านทานอนุกรม R_s ในเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยจะทำให้ฟิลล์แฟกเตอร์ FF มีค่ามากถ้าทราบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น สามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ตามสมการที่ 14 ได้ดังนี้

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{V_{\max} \times I_{\max}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \times I_{\max} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \quad \text{สมการที่ 14}$$

2.5 มรสุม (Monsoon)

มรสุม (Monsoon) มาจากรากศัพท์ภาษาอารบิกว่า Mausim หมายถึง ฤดูกาลที่ลมมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางในทิศตรงกันข้ามในทันที หมายถึง ลมระดับต่ำใกล้ผิวพื้นโลก ระบบมรสุมเกิดขึ้นในหลายภูมิภาคของโลกโดยมีสาเหตุหลักมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างพื้นทวีปและมหาสมุทร โดยการสะสมหรือคายความร้อนของพื้นทวีปหรือมหาสมุทรในแต่ละฤดูซึ่งได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์แตกต่างกัน (บุศรา ศิริชนะ, 2555; ลม, ม.ป.ป.:ระบบออนไลน์)

ในค.ศ. 1668 นักดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อเอ็ดมอนด์ ฮาลเลย์ (ภาพที่ 15) เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่อธิบายสาเหตุการเกิดมรสุมมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิของพื้นทวีปและมหาสมุทร ซึ่งคำอธิบายดังกล่าวยังคงเป็นที่ยอมรับกันอยู่ในปัจจุบัน ลักษณะอากาศที่เกิดขึ้นและความชัดเจนหรืออิทธิพลจากมรสุม อาจมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละภูมิภาคโดยมรสุมที่สำคัญแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ มรสุมฤดูหนาวและมรสุมฤดูร้อน



ภาพที่ 15 นายเอ็ดมอนด์ ฮาลเลย์ ผู้ที่อธิบายหลักการเกิดมรสุม
ที่มา : บุศรา ศิริชนะ (2555)

2.5.1 การหมุนเวียนของบรรยากาศ และอิทธิพลของฤดูกาล

เมื่อกล่าวถึง “ลม” หมายถึงการเคลื่อนที่หมุนเวียนถ่ายเทของอากาศ ในลักษณะเป็นวงรอบ (Circulation) ซึ่งเกิดขึ้นด้วยความแตกต่างของความกดอากาศ (อุณหภูมิ) เหนือพื้นผิว การหมุนเวียนอากาศมีทั้งวงรอบขนาดเล็ก ปกคลุมพื้นที่เพียงไม่ถึงตารางกิโลเมตร และวงรอบขนาดใหญ่ ปกคลุมพื้นที่ทั้งทวีปและมหาสมุทร แบ่งสเกลการหมุนเวียนอากาศออกเป็น 3 ระดับ ดังตารางที่ 1 (ศูนย์การวิจัยวิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ [LESA], ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

ตารางที่ 1 สเกลการหมุนเวียนอากาศ

สเกล	ช่วงเวลา	ขนาด (ระยะทาง)	ตัวอย่าง
ระดับใหญ่ (Macroscale)			
โลก	สัปดาห์ - ปี	1,000 – 40,000 km	ลมค้า ลมเวสเทอริส
ทวีป	วัน - สัปดาห์	100 – 5,000 km	ลมมรสุม ไชโคลน พายุไต้ฝุ่น เฮอริเคน
ระดับกลาง (Mesoscale)			
	นาที - ชั่วโมง	1 - 100 km	ลมบก-ลมทะเล พายุ ฝนฟ้าคะนอง
ระดับเล็ก (Microscale)			
	วินาที - นาที	<1 km	ลมบ้าหมู ลกรรโชก

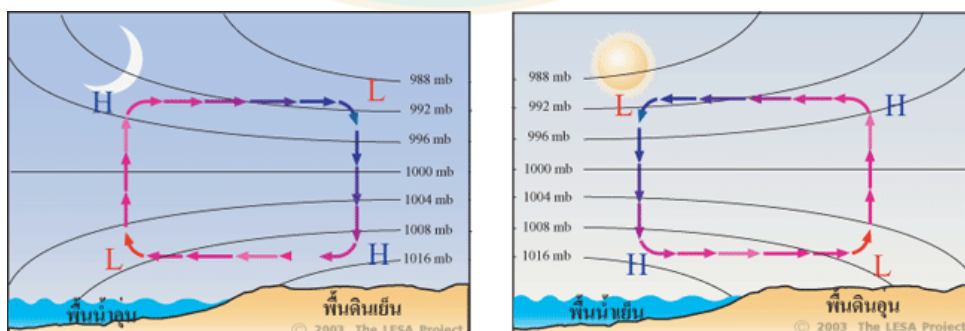
ระบบลมท้องถิ่น

ลมท้องถิ่น (Local winds) เป็นลมซึ่งเกิดขึ้นในช่วงวัน คลอบคลุมพื้นที่ขนาดจังหวัด การหมุนเวียนของอากาศในสเกลระดับกลางเช่นนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพภูมิศาสตร์และความแตกต่างของอุณหภูมิภายในท้องถิ่น ตัวอย่างเช่น ลมบก-ลมทะเล ลมภูเขา-ลมหุบเขา

ลมบก - ลมทะเล

เวลากลางวัน พื้นดินดูดกลืนความร้อนเร็วกว่าพื้นน้ำ อากาศเหนือพื้นดินร้อนและขยายตัวลอยสูงขึ้น (ความกดอากาศต่ำ) อากาศเหนือพื้นน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความกดอากาศสูง) จึงจมตัวและเคลื่อนเข้าแทนที่ ทำให้เกิดลมพัดจากทะเลเข้าสู่ชายฝั่ง เรียกว่า ลมทะเล (Sea breeze)

เวลากลางคืน พื้นดินคลายความร้อนได้เร็วกว่าพื้นน้ำ อากาศเย็นเหนือพื้นดินจมตัวลง (ความกดอากาศสูง) และเคลื่อนตัวไปแทนที่อากาศอุ่นเหนือพื้นน้ำซึ่งยกตัวขึ้น (ความกดอากาศต่ำ) จึงเกิดลมพัดจากบกไปสู่ทะเล เรียกว่า ลมบก (Land breeze) ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ลมบก ลมทะเล

ที่มา : LESA (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

ลมหุบเขา – ลมภูเขา

เวลากลางวัน พื้นที่บริเวณไหล่เขาได้รับความร้อนมากกว่าบริเวณพื้นที่ราบหุบเขา ณ ระดับสูงเดียวกัน ทำให้อากาศร้อนบริเวณไหล่เขายกตัวลอยสูงขึ้น (ความกดอากาศต่ำ) เกิดเมฆคิวมูลัสลอยอยู่เหนือยอดเขา อากาศเย็นบริเวณหุบเขาเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ จึงเกิดลมพัดจากเชิงเขาขึ้นสู่ลาดเขา เรียกว่า ลมหุบเขา (Valley breeze) หลังจากดวงอาทิตย์ตก พื้นที่ไหล่เขาสูญเสียความร้อน อากาศเย็นตัวอย่างรวดเร็ว จมตัวไหลลงตามลาดเขา เกิดลมพัดลงสู่หุบเขา เรียกว่า ลมภูเขา (Mountain breeze) ในบางครั้งกลุ่มอากาศเย็นเหล่านี้ปะทะกับพื้นดินในหุบเขาซึ่งยังมีอุณหภูมิต่ำอยู่ จึงควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ ทำให้เกิดหมอก (Radiation fog) ดังภาพที่ 17

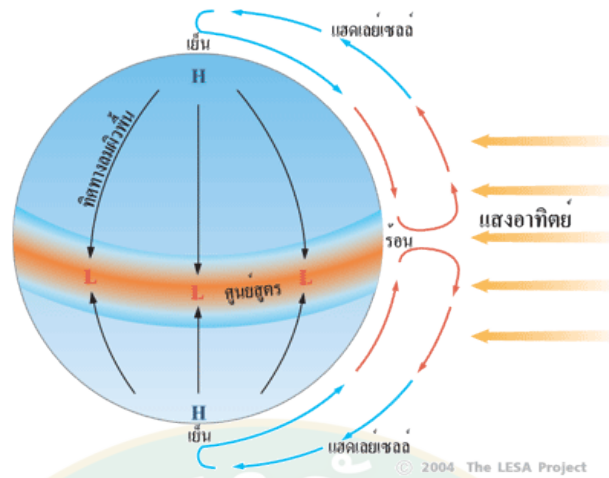


ภาพที่ 17 ลมหุบเขา ลมภูเขา

ที่มา : LESA (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

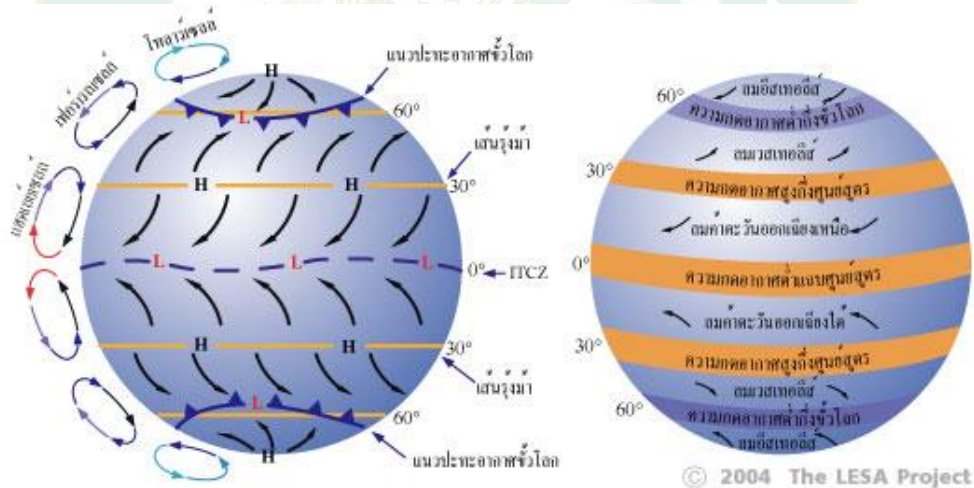
2.5.2 ระบบการหมุนเวียนของบรรยากาศโลก

โลกมีเส้นฐานเป็นทรงกลม โคจรรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ ใช้เวลา 1 ปี หากโลกไม่หมุนรอบตัวเอง บริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกจะเป็นแถบความกดอากาศต่ำ (อุณหภูมิต่ำ) เนื่องจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเป็นมุมชัน ส่วนบริเวณขั้วโลกทั้งสองจะเป็นแถบความกดอากาศสูง (อุณหภูมิสูง) เนื่องจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเป็นมุมลาด อากาศร้อนบริเวณศูนย์สูตรยกตัวขึ้น ทำให้อากาศเย็นบริเวณขั้วโลกเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ เราเรียกการหมุนเวียนของอากาศทั้งสองซีกโลกว่า เซลล์แฮดเลย์ (Hadley cell) ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การหมุนเวียนของบรรยากาศ หากโลกไม่หมุนรอบตัวเอง
ที่มา : LESA (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

ในความเป็นจริง โลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง เซลล์การหมุนเวียนของบรรยากาศจึงแบ่งออกเป็น 3 เซลล์ ได้แก่ แฮดลีย์เซลล์ (Hadley cell), เฟอร์เรลเซลล์ (Ferrel cell) และ โพลาร์เซลล์ (Polar cell) ในแต่ละซีกโลก ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การหมุนเวียนของบรรยากาศ เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง
ที่มา : LESA (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

แถบความกดอากาศต่ำบริเวณเส้นศูนย์สูตร (Equator low) เป็นเขตที่ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุด กระแสลมค่อนข้างสงบ เนื่องจากอากาศร้อนขึ้นยกตัวขึ้น ควบแน่นเป็นเมฆ

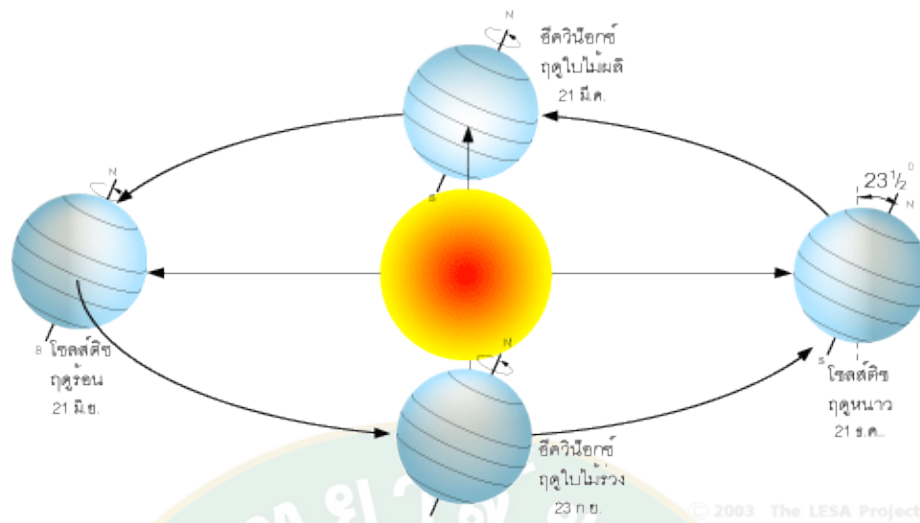
คิวมูลัสขนาดใหญ่ และมีการคายความร้อนแฝงจำนวนมาก ทำให้เป็นเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง อากาศชั้นบนซึ่งสูญเสียไอน้ำไปแล้ว เคลื่อนตัวไปทางขั้วโลก

แถบความกดอากาศสูงกึ่งศูนย์สูตร (Subtropical high) ที่บริเวณละติจูดที่ 30° เป็นเขตแห้งแล้ง เนื่องจากเป็นบริเวณที่อากาศแห้งจากแอสทิลย์เซลล์ และเฟอร์เรลเซลล์ ปะทะกันแล้วจมตัวลง ทำให้พื้นดินแห้งแล้งเป็นเขตทะเลทราย และพื้นน้ำมีกระแสลมอ่อนมาก เราเรียกเส้นละติจูดที่ 30° ว่า เส้นรุ้งม้า (horse latitudes) เนื่องจากเป็นบริเวณที่กระแสลมสงบ จนบางครั้งเรือใบไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ลูกเรือต้องโยนสินค้า ข้าวของ รวมทั้งม้าที่บรรทุกมาทิ้งทะเล อากาศเหนือผิวพื้นบริเวณเส้นรุ้งม้าเคลื่อนตัวไปยังแถบความกดอากาศต่ำบริเวณเส้นศูนย์สูตร ทำให้เกิด ลมค้า (Trade winds) แรงแครีออริสซึ่งเกิดจากการหมุนรอบตัวของโลกเข้ามาเสริม ทำให้ลมค้าทางซีกโลกเหนือเคลื่อนที่มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และลมค้าทางซีกโลกใต้เคลื่อนที่มาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ลมค้าทั้งสองปะทะชนกันและยกตัวขึ้นบริเวณเส้นศูนย์สูตร แถบความกดอากาศต่ำนี้จึงมีอีกชื่อหนึ่งว่า แนวปะทะอากาศยกตัวเขตร้อน หรือ ITCZ ย่อมาจาก Intertropic Convection Zone

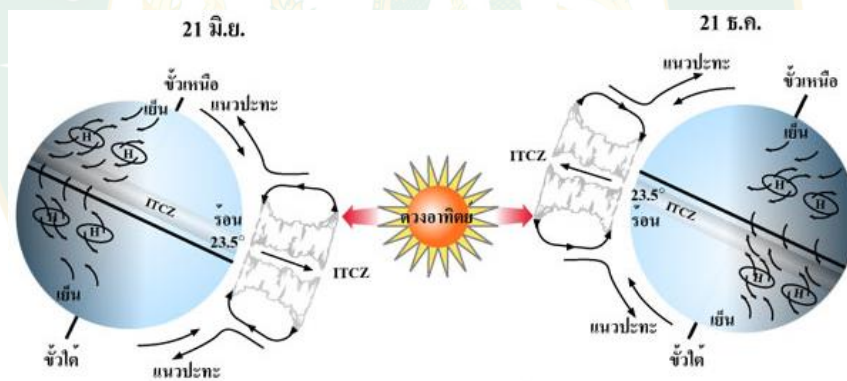
แถบความกดอากาศต่ำขั้วโลก (Subpolar low) ที่บริเวณละติจูดที่ 60° เป็นเขตอากาศยกตัว เนื่องจากอากาศแถบความกดอากาศสูงกึ่งศูนย์สูตร (H) เคลื่อนตัวไปทางขั้วโลก ถูกแรงโครีออริสเบี่ยงเบนให้เกิดลมพัดมาจากทิศตะวันตก เรียกว่า ลมเวสเทอเลียส (Westerlies) ปะทะกับ ลมโพลาร์อีสเทอเลียส (Polar easterlies) ซึ่งพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียง โดยถูกแรงโครีออริสเบี่ยงเบนมาจากขั้วโลก มวลอากาศจากลมทั้งสองมีอุณหภูมิแตกต่างกันมาก ทำให้เกิดแนวปะทะอากาศขั้วโลก (Polar front) มีพายุฝนฟ้าคะนอง อากาศชั้นบนซึ่งสูญเสียไอน้ำไปแล้ว เคลื่อนตัวไปยังจมตัวลงที่เส้นรุ้งม้า และบริเวณขั้วโลก

2.5.3 อิทธิพลของฤดูกาล

เนื่องจากแกนของโลกเอียง 23.5° ขณะที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ ในช่วงฤดูร้อนของซีกโลกเหนือด้านซ้าย โลกจะหันซีกโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์ และจะหันขั้วโลกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์ในอีกหกเดือนต่อมา ซึ่งจะเป็นช่วงฤดูหนาวของซีกโลกเหนือด้านขวา ดังภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ส่งผลให้ “แนวปะทะอากาศยกตัวเขตร้อน” หรือ ITCZ เลื่อนขึ้นทางเหนือในฤดูร้อนของซีกโลกเหนือ และเลื่อนลงทางใต้ในฤดูหนาวของซีกโลกเหนือ ดังในภาพที่ 21 การหมุนเวียนของบรรยากาศโลกที่เปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการกระจายความร้อนบนพื้นผิวโลก และมีผลต่อลมฟ้าอากาศดังนี้



ภาพที่ 20 แกนของโลกเอียงขณะที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดฤดูกาล
ที่มา : LESEA (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)



ภาพที่ 21 การเคลื่อนที่ของ ITCZ เนื่องจากฤดูกาล

ที่มา : LESEA (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

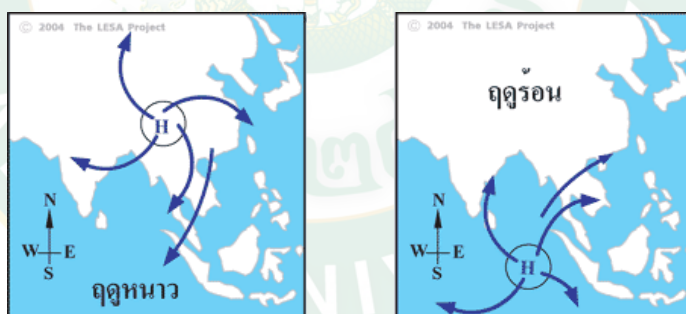
2.5.4 อุณหภูมิและแสงอาทิตย์

ในช่วงฤดูร้อน ซีกโลกที่เป็นฤดูร้อนจะได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์มากกว่าซีกโลกที่เป็นฤดูหนาว กลางวันยาวนานกว่ากลางคืน อุณหภูมิของกลางวันและกลางคืนมีความแตกต่างกันมาก ในเขตละติจูดสูงใกล้ขั้วโลกจะได้รับผลกระทบมาก แต่ในเขตละติจูดต่ำใกล้กับเส้นศูนย์สูตรไม่มีความแตกต่างกัน

ทิศทางลม ลมเกิดขึ้นจากความแตกต่างของความกดอากาศ (แรงเกรเดียนความกดอากาศ) ดังนั้นการเปลี่ยนตำแหน่งของหย่อมความกดอากาศย่อมมีผลต่อทิศทางของลม ลมจึงมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางไปตามฤดูกาล ลมมรสุมเกิดขึ้นในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีความเกี่ยวเนื่องมาจากอุณหภูมิพื้นผิวและสภาพภูมิศาสตร์ คล้ายกับการเกิดลมบกลมทะเล แต่มีสเกลใหญ่กว่ามาก

ในช่วงเดือนพฤศจิกายน – กุมภาพันธ์ อากาศแห้งบริเวณตอนกลางของทวีปมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศชื้นเหนือมหาสมุทรอินเดีย กระแสลมพัดจากหย่อมความกดอากาศสูงในเขตไซบีเรีย ในลักษณะตามเข็มนาฬิกา (แอนตี้ไซโคลน) มายังหย่อมอากาศต่ำในมหาสมุทรอินเดีย ทำให้เกิด ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ดังภาพที่ 22 (ก) พัดผ่านประเทศไทย ทำให้อากาศหนาวเย็น และแห้งแล้งท้องฟ้าใส

ในช่วงเดือนมีนาคม – ตุลาคม อากาศบริเวณตอนกลางทวีปมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศเหนือมหาสมุทรอินเดีย อากาศร้อนยกตัวพัดเข้าหาแผ่นดินใจกลางทวีป ในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา (ไซโคลน) ทำให้เกิด ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ดังภาพที่ 22 (ข) เมื่ออากาศชื้นปะทะเข้ากับชายฝั่งและภูมิประเทศซึ่งเป็นภูเขา มันจะยกตัวอย่างรวดเร็วและควบแน่น ทำให้เกิดเมฆและพายุฝนฟ้าคะนอง



(ก) ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ข) ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

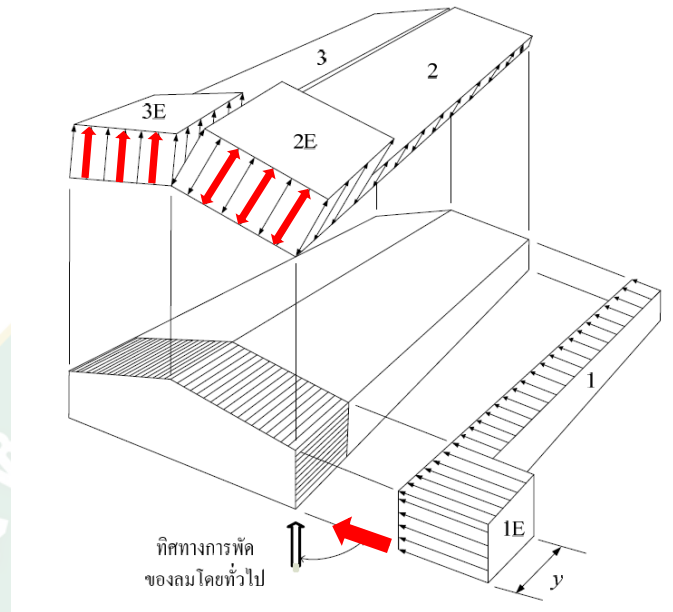
ภาพที่ 22 ทิศทางลม

ที่มา : LESA (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

2.6 ทิศทางลม ที่มีผลต่อหลังคา

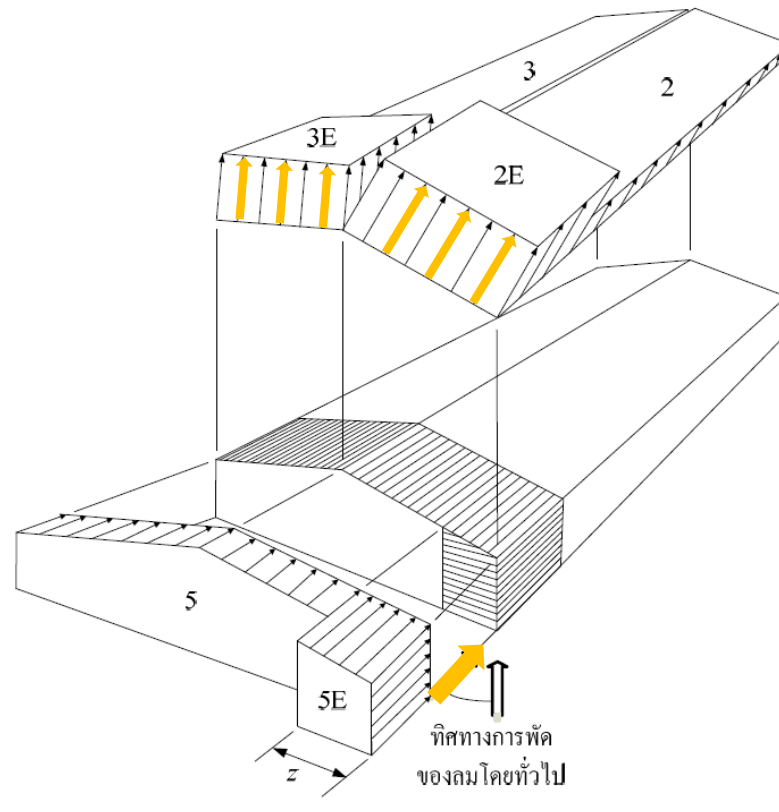
ทิศทางลม ที่พัดผ่านหลังคา สามารถแบ่งออกเป็น 2 ทิศทาง คือ 1. แนวตั้งฉากกับสันหลังคา และ 2. แนวขนานกับสันหลังคา (กรมโยธาธิการและผังเมือง [มยผ.], 2550)

- 1) ทิศทางการพัดของลมอยู่ในแนวตั้งฉากกับสันหลังคา ทิศทางการพัดผ่านลักษณะนี้ ก่อให้เกิดแรงกระทำหน้าหลังคาเป็นรูปแบบแรงยกและแรงดัน ส่วนด้านหลังลมเป็นรูปแบบแรงยก ตามภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ทิศทางการพัดของลมอยู่ในแนวตั้งฉากกับสันหลังคา
ที่มา : มยผ. (2550)

- 2) ทิศทางการพัดของลมอยู่ในแนวขนานกับสันหลังคา ทิศทางการพัดผ่านลักษณะนี้ ก่อให้เกิดแรงกระทำเป็นรูปแบบแรงยก ตามภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ทิศทางการตัดของลมอยู่ในแนวขนานกับสันหลังคา
ที่มา : มยผ. (2550)

2.7 สมบัติของวัสดุ

ชนิดต์ รัตน์สุมาวงศ์ (ม.ป.ป.) ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีส่งผลทำให้วัสดุมีสมบัติและประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น ซึ่งสมบัติของวัสดุเกิดจากการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมทางเคมี โครงสร้างของวัสดุ โครงสร้างผลึกและขนาดของเม็ดเกรนต่าง ๆ ในวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลง การเลือกใช้วัสดุวิศวกรต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดเป็นอย่างดี ที่จะเลือกนำมาใช้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน การตัดสินใจเลือกใช้วัสดุแต่ละชนิดนั้น จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการพิจารณาสมบัติของวัสดุในการผลิตเครื่องจักรกลหรือโครงสร้างต่าง ๆ ล้วนทำการสร้างและประกอบด้วยวัสดุที่หลากหลายชนิดเข้าด้วยกัน ซึ่งโครงสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ จะทำหน้าที่แตกต่างกันที่จะรับแรงที่มากระทำอย่างเช่น แรงดึง แรงอัด แรงเฉือน แรงบิด เป็นต้น รวมทั้งผลกระทบที่มีต่อสมบัติของวัสดุอันได้แก่ การกัดกร่อน การสึกหรอ ความร้อน ความเย็น เป็นต้น ทั้งนี้ก็เพื่อประโยชน์แก่ผู้ที่จะนำวัสดุต่าง ๆ ไปใช้งานให้ได้ตาม

สมบัติของวัสดุที่ต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเรียนรู้ถึงสมบัติของวัสดุในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของวัสดุ สมบัติทางกลของวัสดุ การทดสอบวัสดุ และความเสียหายของวัสดุ เป็นต้น

วัสดุเป็นสารเคมีที่มีองค์ประกอบของสิ่งต่าง ๆ หรือที่สร้างขึ้น เพื่อช่วยให้ความเป็นอยู่ของมนุษย์ดีขึ้น ซึ่งวัสดุทั้งหลายที่อยู่รอบ ๆ ตัวเราต่างก็ผลิตขึ้นมาจากวัสดุชนิดต่าง ๆ เช่น คอนกรีต แก้ว เซรามิก เหล็กกล้า ทองแดง กาว และอิฐ หรืออาจเกิดขึ้นเองจากธรรมชาติ เช่น โครงสร้างทางเคมีของไม้เป็นโพลิเมอร์ที่ต้นไม้สร้างขึ้นเอง ส่วนพลาสติกที่เราใช้ในชีวิตประจำวันเป็นโพลิเมอร์ที่ผ่านการสังเคราะห์ขึ้นมาโดยมนุษย์สามารถสัมผัสได้ และมีสมบัติเฉพาะตัว ทางฟิสิกส์ ทางเคมี ไฟฟ้า หรือสมบัติทางกลแตกต่างกัน ในการพิจารณาเลือกวัสดุ เพื่อนำมาใช้ในงานในลักษณะต่าง ๆ จำเป็นจะต้องทราบถึงสมบัติของวัสดุ เพื่อให้ได้วัสดุที่เหมาะสมกับสภาพงานนั้น ๆ สมบัติของวัสดุที่ควรจะต้องนำมาพิจารณามีดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพ (Physical properties) เป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุต่อพลังงานที่มากกระทำในรูปต่าง ๆ กัน เช่น จุดหลอมเหลว ความร้อนสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า การสะท้อนของผิว การสะท้อนของเสียง ความหนาแน่น ลักษณะของสี เป็นต้น

2) สมบัติทางเคมี (Chemical properties) เป็นสมบัติที่ใช้บอกถึงลักษณะเฉพาะตัวที่เกี่ยวกับโครงสร้างและองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ของวัสดุนั้น ๆ เช่น ส่วนผสม โครงสร้างจุลภาค โครงสร้างผลึก เฟส ความสามารถต้านทานการกัดกร่อน น้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น

3) สมบัติทางกล (Mechanical properties) เป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุแต่ละชนิดที่ถูกกระทำด้วยแรงและตอบสนองต่อแรง เช่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อแรงอัด ความต้านทานต่อแรงเฉือน ความเหนียว ความแข็ง การล้า การคืบ เป็นต้น

4) สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical properties) เป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ เมื่อมีสนามไฟฟ้าจากภายนอกมากกระทำต่อวัสดุ จะมีกระแสไฟฟ้าในเนื้อวัสดุ ซึ่งจะเกิดจากการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า อนุภาคที่มีประจุบวกจะถูกเร่งไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก ส่วนอนุภาคที่มีประจุลบจะไปในทิศทางตรงกันข้าม ในวัสดุของแข็งส่วนใหญ่ กระแสไฟฟ้าจะเกิดจากการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน จึงเรียกว่าเป็นการนำไฟฟ้าโดยอิเล็กตรอน สำหรับวัสดุไอออนิกหรือวัสดุที่ประกอบด้วยไอออน การเคลื่อนตัวของไอออนที่มีประจุจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าเป็นการนำไฟฟ้าโดยไอออน

5) สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) เป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ ในการตอบสนองของวัสดุที่ใช้กับความร้อน ขณะที่ของแข็งดูดซับพลังงานในรูปของความร้อน อุณหภูมิของวัสดุจะเพิ่มขึ้นและขนาดจะใหญ่ขึ้น ดังนั้นพลังงานอาจถูกถ่ายเทไปสู่บริเวณของวัสดุที่เย็นกว่า เมื่อมี

ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสองบริเวณและในที่สุดวัสดุอาจจะหลอมเหลว ความจุความร้อน การขยายตัวเชิงความร้อน และความนำความร้อนเป็นสมบัติสำคัญในการใช้งานของแข็ง

6) สมบัติทางแม่เหล็ก (Magnetic properties) เป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ ความเป็นแม่เหล็กเป็นปรากฏการณ์ที่วัสดุแสดงแรงดูดหรือผลักกับวัสดุอื่น ๆ ตามหลักพื้นฐานและกลไก ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในปัจจุบันต่างก็มีพื้นฐานอยู่บนความเป็นแม่เหล็กและวัสดุแม่เหล็ก อย่างไรก็ตามคงไม่เป็นที่รู้กันอย่างกว้างขวางนักที่ว่าวัสดุทุกชนิดล้วนแสดงปฏิกิริยาต่อสนามแม่เหล็กไม่ว่าจะมากหรือน้อยก็ตาม

7) สมบัติทางแสง (Optical properties) เป็นสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุ ซึ่งสมบัติของแสงของวัสดุของแข็ง เกิดจากการตอบสนองของวัสดุนั้นต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วงแสงขาวเกิดปรากฏการณ์เช่น การหักเห การสะท้อน การดูดซับ และการส่องผ่านของแสง เป็นต้น

สำหรับการเลือกใช้วัสดุในงานวิศวกรรมนั้น สมบัติประการแรกที่เราควรจะต้องทำการพิจารณา ได้แก่ สมบัติทางกลของวัสดุ โดยวัสดุที่จะนำมาใช้งานนั้นจำเป็นที่จะต้องมีความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความเหนียว เพียงพอต่อการที่จะนำไปใช้งานนั้น ๆ ซึ่งสมบัติเหล่านี้ล้วนเป็นสมบัติทางกลทั้งสิ้น ซึ่งสมบัติทางกลนี้ได้ผ่านการทดสอบด้วยเครื่องมือมาตรฐานจากการทดสอบ สำหรับชิ้นส่วนของวัสดุที่ผ่านการทดสอบมาตรฐานมาแล้ว สามารถให้ความเชื่อถือได้ ซึ่งการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุสามารถแบ่งตามลักษณะของแรงที่มากระทำจากการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) แรงสถิต (Static load) หมายถึง แรงกระทำต่อวัสดุขณะวัสดุอยู่นิ่ง เช่น การทดสอบแรงดึง

2) แรงสลับ (Cyclic load) หมายถึง แรงกระทำต่อวัสดุที่มีขนาดแตกต่างกันและทำซ้ำ ๆ เช่น การทดสอบความล้า

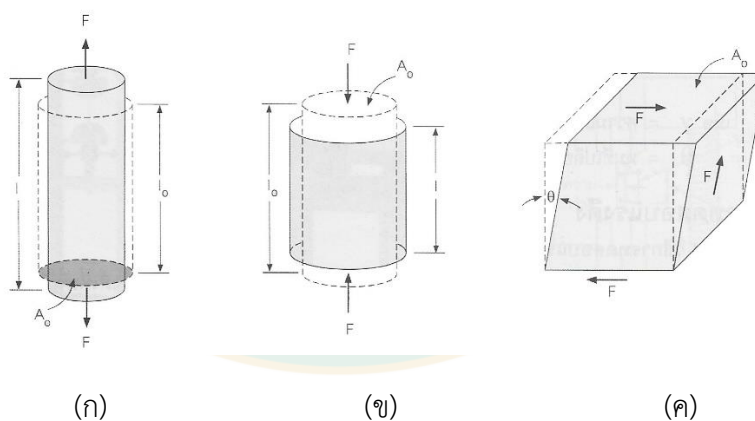
3) แรงกระแทก (Impact load) หมายถึง แรงกระทำกับวัสดุอย่างรวดเร็วในทันทีทันใด เช่น การทดสอบแรงกระแทก

จะเห็นได้ว่า สมบัติของวัสดุ ซึ่งวัสดุเป็นสารเคมีที่มีองค์ประกอบของสิ่งต่าง ๆ ที่ทำขึ้น หรืออาจเกิดขึ้นเองจากธรรมชาติ โดยมนุษย์สามารถสัมผัสได้ และมีสมบัติเฉพาะตัว ทางฟิสิกส์ ทางเคมีไฟฟ้า หรือสมบัติทางกลแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติประการแรกที่เราควรจะต้องทำการพิจารณา ได้แก่ สมบัติทางกลของวัสดุ โดยวัสดุที่จะนำมาใช้งานนั้น จำเป็นที่จะต้องมีความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความเหนียว เพียงพอต่อการที่จะนำไปใช้งานนั้น ๆ ซึ่งสมบัติเหล่านี้ล้วนเป็นสมบัติทางกลทั้งสิ้นและได้ผ่านการทดสอบด้วยเครื่องมือมาตรฐาน จากการทดสอบวัสดุที่มีความเชื่อถือจากองค์กรที่ได้รับการรับรองมาตรฐานสากล

2.7.1 สมบัติทางกลของวัสดุ

วัสดุเมื่อถูกแรงภายนอกกระทำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุที่ถูกกระทำนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ การเปลี่ยนรูปร่างยืดหยุ่น (Elastic deformation) เกิดขึ้นกับวัสดุ เมื่อมีแรงกระทำแล้ววัสดุเกิดการเปลี่ยนรูป หรือขนาด และเมื่อปล่อยแรงกระทำวัสดุจะกลับสู่สภาพเดิม หรือกลับสู่ขนาดปกติเหมือนเดิมก่อนที่จะรับแรง เช่น การดึงหนังยางให้ยืดออก แล้วปล่อยแรงหนังยางจะกลับสู่สภาพเดิม และการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic deformation) เกิดขึ้นกับวัสดุรับแรงแล้วเกิดการเปลี่ยนรูปหรือเปลี่ยนขนาดจากเดิมไป และเมื่อปล่อยแรงกระทำวัสดุจะไม่กลับสู่สภาพเดิมหรือกลับสู่สภาพเดิมได้ไม่ครบ 100% เช่น การดัดลวดโลหะให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ

- 1) **ความเค้น (Stress)** หมายถึงแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่พยายามต้านทานแรงภายนอกที่มากระทำ เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนรูปไปจากเดิม แรงที่มากระทำจะถูกกระจายไปอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ ถ้าแบ่งตามลักษณะของแรงที่มากระทำต่อวัสดุ จะทำให้เกิดความเค้นขึ้น 3 ลักษณะดังนี้ ความเค้นแรงดึง ความเค้นแรงอัด ความเค้นแรงเฉือน ซึ่งความเค้นแรงดึงกับความเค้นแรงอัดจะรับที่มากระทำในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด ส่วนความเค้นแรงเฉือน แรงที่มากระทำจะขนานกับพื้นที่หน้าตัด



ภาพที่ 25 (ก) วัสดุรับแรงดึง (ข) วัสดุรับแรงอัด (ค) วัสดุรับแรงเฉือน

ที่มา : ชนิตต์ รัตนสุมาวงศ์ (ม.ป.ป.)

- **ความเค้นแรงดึง (Tensile stress)** ลักษณะของแรงที่กระทำแรงดึงเราสามารถหาความเค้นที่เกิดขึ้นได้ โดยคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัดดังสมการ

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

สมการที่ 15

เมื่อ	σ_t	คือ ความเค้นแรงดึงที่เกิดขึ้น
	F	คือ แรงดึงที่กระทำกับพื้นที่หน้าตัด
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดขวางที่ถูกแรงกระทำ

- **ความเค้นแรงอัด (Compressive stress)** ลักษณะของแรงที่กระทำแรงอัดเราสามารถหาความเค้นที่เกิดขึ้นได้ โดยคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัดดังสมการ

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

สมการที่ 16

เมื่อ	σ_c	คือ ความเค้นแรงอัดที่เกิดขึ้น
	F	คือ แรงอัดที่กระทำกับพื้นที่หน้าตัด
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดขวางที่ถูกแรงกระทำ

- **ความเค้นแรงเฉือน (Shear stress)** ลักษณะของแรงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแนวแรงดังสมการ

$$\tau = \frac{F}{A}$$

สมการที่ 17

เมื่อ	τ	คือ ความเค้นแรงเฉือนที่เกิดขึ้น
	F	คือ แรงเฉือนที่กระทำกับพื้นที่หน้าตัด
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดขนานกับแรง

- 2) **ความเครียด (Strain)** หมายถึง การเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุเมื่อมีแรงมากระทำโดยแบ่งเป็นความเครียดยืดหยุ่น ความเครียดถาวร ซึ่งความเครียดยืดหยุ่น เกิดขึ้นกับวัสดุเมื่อให้แรงกระทำ แล้ววัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปหรือขนาด และเมื่อปล่อยแรงกระทำ วัสดุจะกลับสู่สภาพเดิม หรือกลับสู่ขนาดปกติเหมือนเดิมก่อนที่จะรับแรง ส่วนความเครียดถาวร เกิดขึ้นกับวัสดุรับแรงแล้วเกิดการเปลี่ยนรูปหรือเปลี่ยนขนาดจากเดิมไป และเมื่อปล่อยแรงกระทำ วัสดุจะไม่กลับสู่สภาพเดิม การหาความเครียดทางวิศวกรรม จากอัตราส่วนของขนาดที่เปลี่ยนแปลงไปต่อขนาดเดิม โดยแบ่งตามลักษณะแรงที่กระทำได้ 2 แบบคือ ความเครียดเชิงเส้น

ความเครียดเฉือน ความเครียดเชิงเส้นเกิดขึ้นเมื่อวัสดุรับแรงดึงหรือแรงอัด ส่วนความเครียดเฉือนเกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับแรงเฉือน

- **ความเครียดแรงดึง (Tensile strain)** เมื่อวัตถุถูกกระทำด้วยแรงดึงตามแนวแกนและเพิ่มแรงดึงขึ้นอย่างช้า ๆ วัตถุจะเกิดการยืดออกทีละน้อยตามขนาดของแรงดึงที่เพิ่มขึ้นของแรง ทำให้วัตถุยืดออกตามแนวตั้งของวัตถุ ดังสมการที่ 18

$$\epsilon_t = \frac{\delta}{L} \quad \text{สมการที่ 18}$$

เมื่อ ϵ_t คือ ความเครียดแรงดึงที่เกิดขึ้น
 δ คือ ส่วนที่ยืดออกของวัตถุ
 L คือ ความยาวเดิมของวัตถุ

- **ความเครียดแรงอัด (Compressive strain)** เมื่อวัตถุถูกกระทำด้วยแรงกดตามแนวแกนและเพิ่มแรงกดขึ้นอย่างช้า ๆ จนทำให้วัตถุหดตัวลง ดังสมการที่ 19

$$\epsilon_c = \frac{\delta}{L} \quad \text{สมการที่ 19}$$

เมื่อ ϵ_c คือ ความเครียดแรงกดที่เกิดขึ้น
 δ คือ ส่วนที่หดเข้าของวัตถุ
 L คือ ความยาวเดิมของวัตถุ

- **ความเครียดแรงเฉือน (Shear strain)** เมื่อแรงเฉือนกระทำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเกิดความเครียดขึ้น ความเครียดที่เกิดขึ้นเรียกว่า ความเครียดแรงเฉือน ดังสมการที่ 20

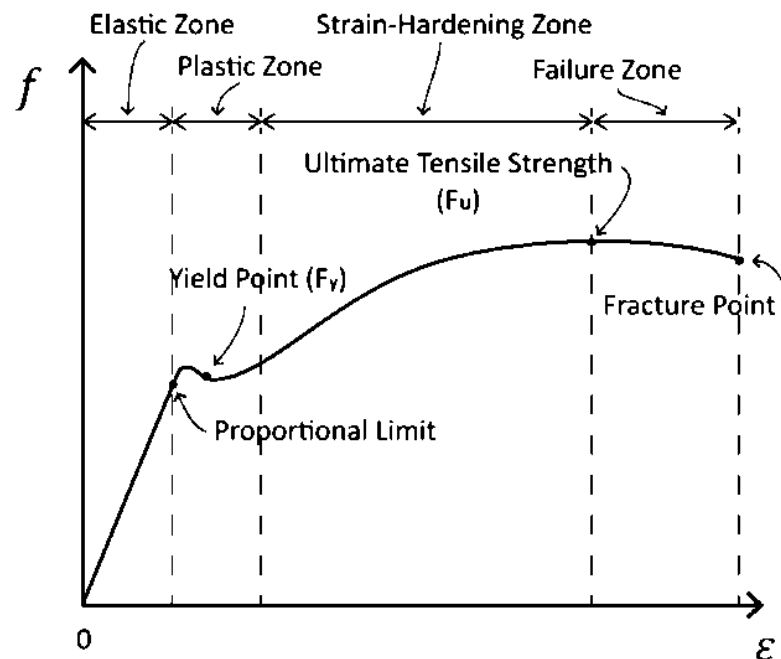
$$\gamma = \frac{\delta}{L}$$

$$\tan \theta = \frac{\delta}{L}$$

$$\gamma = \tan \theta \quad \text{สมการที่ 20}$$

เมื่อ γ คือ ความเครียดแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

δ คือ ส่วนที่ยืดออกของวัตถุ
 L คือ ความยาวเดิมของวัตถุ



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ของความเค้น – ความเครียด

ที่มา : ชนิตต์ รัตนสุมาวงศ์ (ม.ป.ป.)

จุดคราก (Yield point) หมายถึงถ้าออกแรงดึงต่อไปจนเลยพิกัดความยืดหยุ่น วัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างถาวรไม่สามารถคืนกลับสภาพเดิมได้ จุดนี้จะเป็นค่าหน่วยแรงของวัสดุที่ยอมให้ในการออกแบบโครงสร้างเหล็ก

2.8 การวิเคราะห์โครงสร้าง (Introduction to Structural analysis)

สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์) กล่าวถึงรูปแบบโครงสร้างที่สำคัญในทางวิศวกรรมโยธา ซึ่งผู้ออกแบบจำเป็นต้องทราบถึงพฤติกรรมเพื่อให้การจำลองโครงสร้าง หรือการตั้งสมมุติฐานในการวิเคราะห์เป็นไปอย่างถูกต้อง

2.8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง

โครงสร้าง คือ ชิ้นส่วนโครงสร้างหรือส่วนขององค์อาคารที่ประกอบกันเป็นระบบเพื่อทำหน้าที่รับน้ำหนักต่าง ๆ ลักษณะของโครงสร้างที่เห็นกันโดยทั่วไปได้แก่ อาคาร สะพาน อุโมงค์ เป็นต้น

สระน้ำ หลังกา ฯลฯ โดยชิ้นส่วนโครงสร้างจะประกอบกันเป็นโครงสร้างและทำหน้าที่รับน้ำหนักอย่างสัมพันธ์กัน

การวิเคราะห์โครงสร้างเป็นการคำนวณหาผลตอบสนองและทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกหรือแรงที่กระทำ ในการหาผลตอบสนองของโครงสร้างมักจะสนใจค่าของแรงภายในต่าง ๆ เช่น แรงตามแนวแกน แรงเฉือน และโมเมนต์ดัด เป็นต้น รวมถึงหน่วยแรงความเครียด แรงปฏิกิริยา และการโก่งตัว ในจุดต่าง ๆ ที่สนใจหรือทั้งหมดของโครงสร้างที่ต้องการออกแบบเพื่อรับน้ำหนักต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักของตัวโครงสร้าง น้ำหนักบรรทุกใช้งาน หรือแรงที่เกิดจากสาเหตุอื่นเช่น การทรุดตัวจากฐานรองรับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เป็นต้น

ส่วนการออกแบบโครงสร้างเป็นการกำหนดขนาดและรายละเอียดการก่อสร้างของชิ้นส่วนโครงสร้างหรือโครงสร้างโดยรวมให้สามารถต้านแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ในระหว่างที่โครงสร้างนั้นใช้งานโดยคำนึงถึงความปลอดภัยผู้ใช้โครงสร้างนั้นหรือต่อสาธารณะ สามารถตอบสนองต่อการใช้งานได้เหมาะสม มีความประหยัด การออกแบบในปัจจุบัน มักต้องคำนึงถึง ความคงทนและการบำรุงรักษาโครงสร้างด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์โครงสร้างได้ใกล้เคียงพฤติกรรมจริง จะเป็นส่วนที่สำคัญในการออกแบบโครงสร้างที่ดี ความสัมพันธ์ระหว่างการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างรวมขั้นตอนการดำเนินงานโครงการก่อสร้าง

2.9 รูปแบบโครงสร้าง

รูปแบบโครงสร้างที่ใช้และพบเห็นกันโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.9.1 โครงสร้างรับแรงดึงและแรงอัด (Tension and Compression Structures)

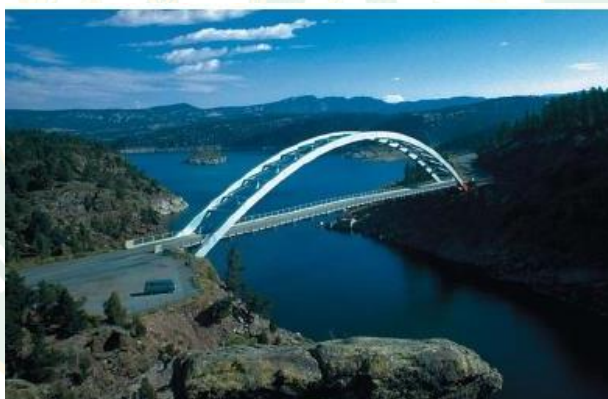
โครงสร้างประเภทนี้ จะรับแรงตามแนวแกนของโครงสร้างแต่เพียงอย่างเดียวสำหรับโครงสร้างรับแรงดึงหรือแรงอัดสามารถแบ่งได้อีก 4 ประเภท ดังนี้

- 1) เคเบิล (Cable) เป็นโครงสร้างที่ยึดหุ้่นและรับแรงดึง เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เนื่องจากความยึดหุ้่นของเคเบิล สำหรับงานวิศวกรรมโครงสร้างมักใช้เคเบิลในงานสะพานเป็นส่วนใหญ่ เช่น สะพานซิง (Cable-Stayed Bridge) หรือ สะพานแขวน (Suspension Bridge) ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 สะพานแขวน : Golden Gate ประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา: สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

- 2) โครงสร้างโค้ง (Arch Structure) โครงสร้างโค้งเป็นโครงสร้างที่มีรูปร่างแบบเคเบิ้ลกลับหัว จะรับแรงอัดเป็นส่วนใหญ่โครงสร้างโค้งส่วนใหญ่จะใช้ในการงานสะพาน ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 รูปแบบสะพานโค้ง : Bowstring Arch Bridge ประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

- 3) เสา (Column) เสาเป็นโครงสร้างที่รับแรงอัดตามแนวแกนแต่เพียงอย่างเดียว แต่เมื่อเสารับแรงทางข้างหรือโมเมนต์ร่วมด้วย จะเรียกว่า คาน-เสา (Beam-Column) โดยทั่วไปเสาจะเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างพื้นฐานในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วย ดังภาพที่



ภาพที่ 29 เสาและคานเสา

ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

- 4) โครงข้อหมุน (Truss) เกิดจากการประกบกันของชิ้นส่วนตรงหลายชิ้น โดยมีข้อต่อเป็นแบบข้อต่อหมุน (Pinned Joint) และรับแรงตามแนวแกน (แรงดึงหรือแรงอัด) แต่เพียงอย่างเดียว (ตามสมมติฐานของการวิเคราะห์โครงสร้างแบบโครงข้อหมุน) ชิ้นส่วนต่าง ๆ อาจต่อเชื่อมกันด้วย ตะปู(Nail) สลักเกลียว (Bolt) แผ่นประกบ (Gusset Plate) โครงข้อหมุนมักนำมาใช้ในงานก่อสร้างหลังคา สะพาน เสาส่งไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น ดังภาพที่ 30



(ก) โครงหลังคา

(ข) เสาส่งไฟฟ้าแรงสูง



(ค) สะพานโครงข้อหมุนแบบ Warren

ภาพที่ 30 โครงข้อหมุน

ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

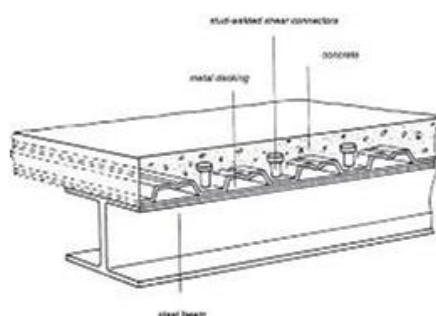
2.9.2 คาน (Beam)

โครงสร้างคานสามารถพบเห็นกันโดยทั่วไปและเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นในการศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้าง คานมีหลายประเภท เช่น คานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Beam) คานเหล็กรูปพรรณ (Steel Beam) คานประกอบ (Composite Beam) คานเหล็กประกอบ (Built-up Plate Girder) เป็นต้น น้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกที่กระทำส่วนใหญ่จะตั้งฉากกับแนวแกนของคาน โดยทั่วไปคานเป็นองค์อาคารที่ทำหน้าที่รับแรงดัดและแรงเฉือน ดังภาพที่ 31



(ก)

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 31 คาน

(ก) คานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Beam), (ข) คานเหล็กรูปพรรณ (Steel Beam), (ค) คานประกอบ (Composite Beam), (ง) คานเหล็กประกอบ (Built-up Plate Girder)
ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

2.9.3 โครงข้อแข็ง (Frame)

เป็นโครงสร้างประเภทแข็งเกร็ง (Rigid Structure) พบได้ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ โครงข้อแข็งจะพิจารณาแรงตามแนวแกน แรงเฉือน แรงดัด และแรงบิด (กรณี โครงสร้าง 3 มิติ) โครงข้อแข็งจะประกอบด้วยชิ้นส่วนโครงสร้างอย่างน้อย 2 ชิ้นต่อกัน โดยอาจวางในแนวราบ แนวตั้งหรือแนวเอียงก็ได้ ดังนั้นพฤติกรรมการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้างในโครงข้อแข็งมักจะเป็นคาน-เสา ดังภาพที่ 32



(ก)



(ข)

ภาพที่ 32 โครงข้อแข็ง (ก) โครงข้อแข็งเหล็ก (Steel Frame)

และ (ข) โครงข้อแข็งคอนกรีต (Concrete Frame)

ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

2.9.4 โครงสร้างเปลือกบาง (Membrane, Plate and Shell Structure)

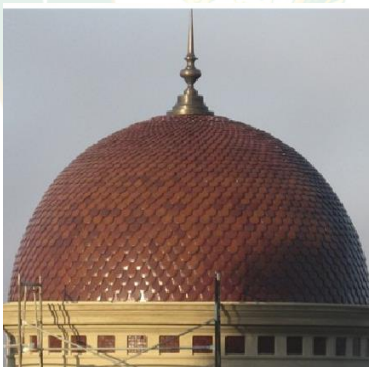
จะทำมาจากวัสดุที่มีความหนาอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของโครงสร้าง อาจมีความยืดหยุ่น (Flexible) หรือแข็งเกร็ง (Rigid) ก็ได้ โครงสร้างเปลือกบางที่มีความยืดหยุ่นสามารถรับแรงดึงได้เพียงอย่างเดียว เช่น หลังคาผ้าใบ เต็นท์ เป็นต้น ส่วนโครงสร้าง Plate หรือ Shell เป็นโครงสร้างแบบแข็งเกร็ง สามารถรับแรงดัด แรงเฉือน แรงดึง หรือแรงอัด ได้เช่น โครงหลังคาแบบพับ โครงหลังคารูปโดม ถังเก็บน้ำ ไซโล เป็นต้น ดังภาพที่ 33



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 33 โครงสร้างเปลือกบาง

(ก) โครงสร้าง Membrane, (ข) โครงหลังคาแบบพับ, (ค) โครงหลังคารูปโดม และ (ง) ไซโล
ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

2.10 น้ำหนักบรรทุก และแรงกระทำต่ออาคาร (Loads and forces on building)

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- 1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load) ได้แก่ น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง รวมถึงน้ำหนักที่บรรทุกคงที่อื่น ๆ ที่ติดอยู่กับตัวโครงสร้าง
- 2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ไม่อยู่นิ่งนาน ๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของโครงสร้าง
- 3) น้ำหนักอื่น ๆ (Other Load or Environmental Load) เป็นน้ำหนักหรือแรงกระทำต่อโครงสร้างที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ โครงสร้างเช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว แรงที่เกิดจากการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน แรงดันน้ำ แรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เป็นต้น

2.10.1 น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load)

ประกอบด้วยน้ำหนักของตัวโครงสร้างเองและน้ำหนักอื่น ๆ ที่ติดอยู่กับโครงสร้างอย่างถาวร เช่น น้ำหนักของพื้น คาน เสา ของโครงสร้างคอนกรีต โครงหลังคาเหล็ก โครงเคร่า ผนังก่ออิฐ เป็นต้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 น้ำหนักบรรทุกคงที่ของวัสดุต่าง ๆ

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุก	หน่วย
คอนกรีตล้วน	2,300	Kg/m ³
คอนกรีตเสริมเหล็ก	2,400	Kg/m ³
เหล็ก	7,850	Kg/m ³
ไม้	500	Kg/m ³
อิฐ	1,900	Kg/m ³
โครงหลังคา	10-30	Kg/m ³
กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่	14	Kg/m ³
กระเบื้องคอนกรีต	50	Kg/m ³
เหล็กรีดลอน	14	Kg/m ³
สังกะสี	5	Kg/m ³
ฝ้าเพดาน	14-26	Kg/m ³

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนักบรรทุก	หน่วย
กำแพงอิฐมอญ	180-360	Kg/m ³
กำแพงอิฐบล็อก	100-200	Kg/m ³

2.10.2 น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load)

เป็นน้ำหนักที่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาด ตำแหน่ง และเวลาที่กระทำ อันเนื่องมาจากการใช้งานของโครงสร้าง น้ำหนักบรรทุกจรที่เห็นกัน โดยทั่วไปอาทิ น้ำหนักของนักศึกษาบนพื้นที่ห้องเรียน การเคลื่อนที่ของครนน้ำหนักของรถบนสะพาน เป็นต้น

ตารางที่ 3 แสดงน้ำหนักบรรทุกจรต่ำสุด (kg/m²) สำหรับอาคารแต่ละประเภทตาม (กฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527, ระบบออนไลน์) และแก้ไขเพิ่มเติมฉบับที่ 48 พ.ศ. 2540 (ข้อ 15) อนึ่งหากผู้คำนวณออกแบบเห็นสมควรจะใช้น้ำหนักบรรทุกจรสูงกว่ากำหนดขั้นต่ำดังกล่าวก็สามารถทำได้

ตารางที่ 3 น้ำหนักบรรทุกจรของอาคารแต่ละประเภทตามกฎกระทรวงฯ

ลำดับ	ประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	หน่วยน้ำหนักบรรทุก (kg/m ²)
1	หลังคา	30
2	กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต	100
3	ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม	150
4	ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และ ห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล	200
5	สำนักงานธนาคาร	250
6	(ก)อาคารพาณิชย์ ส่วนของห้องแถว ตึกแถวที่ใช้เพื่อการ พาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัยโรงเรียน และโรงพยาบาล	300
	(ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร	300
7	(ก)ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องประชุมห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอด หรือเก็บรถยนต์นั่งหรือรถจักรยานยนต์	400

ลำดับ	ประเภทและส่วนต่าง ๆ ของอาคาร	หน่วยน้ำหนักบรรทุก (kg/m ²)
	(ข)ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน	400
8	(ก)คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑสถาน อิมจันทร์ โรงงาน อุตสาหกรรม โรงพิมพ์ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ	500
	(ข)ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงแรมหอพัก ภัตตาคารห้องสมุด และหอสมุด	500
9	ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด	600
10	ที่จอดรถหรือเก็บรถบรรทุกเปล่า	800

อนึ่ง กฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 และแก้ไขเพิ่มเติมฉบับที่ 48 พ.ศ. 2540 ยังกำหนดเรื่องอัตราลดหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรในข้อ 19 “ในการคำนวณน้ำหนักที่ถ่ายลงเสาคานหรือโครงที่รับเสาและฐานรากให้ใช้น้ำหนักของอาคารเต็มอัตราส่วนหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรให้ใช้ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 15 โดยให้ลดส่วนลงได้ตามชั้นของอาคาร” ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราลดหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรบนพื้นที่แต่ละชั้นตามกฎกระทรวงฯ

การรับน้ำหนักของพื้น	อัตราการลดหน่วยน้ำหนักบรรทุกจร บนพื้นที่แต่ละชั้นเป็นร้อยละ
(1) หลังคาหรือดาดฟ้า	0
(2) ชั้นที่หนึ่งถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	0
(3) ชั้นที่สองถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	0
(4) ชั้นที่สามถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	10
(5) ชั้นที่สี่ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	20
(6) ชั้นที่ห้าถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	30
(7) ชั้นที่หกถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า	40
(8) ชั้นที่เจ็ดถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้าและชั้นต่อไป	50

สำหรับโรงมหรสพห้องประชุม หอประชุม ห้องสมุด หอสมุด พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ คลังสินค้า โรงงานอุตสาหกรรมอาคารจอดรถหรือเก็บรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ให้คิดหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรเต็มอัตราทุกชั้น

ส่วนแรงกระแทกหรือแรงสั่นสะเทือน (Impactor Vibration) มีกำหนดในข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครพ.ศ. 2544 ข้อ 110 ความว่าในการออกแบบคำนวณส่วนต่าง ๆ ของอาคารเพื่อรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกคงที่นั้น ๆ มีลักษณะที่ทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนแก่ส่วนต่าง ๆ ของอาคารได้เช่น น้ำหนักบรรทุกคงที่ จากเครื่องจักร ทางวิ่งเครื่องบินต้น จะต้องคำนึงถึงผลจากแรงสั่นสะเทือนและแรงกระแทกด้วยโดยให้เพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ขึ้นอีกตามความเหมาะสม ในกรณีที่ไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้แสดงผลทดลองหรือการคำนวณให้เพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ขึ้นอีก ดังตารางที่ 5

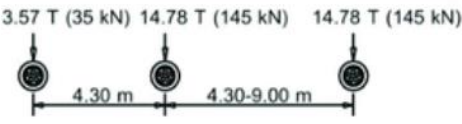
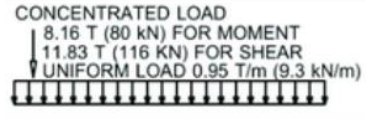
ตารางที่ 5 การเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่กรณีมีแรงสั่นสะเทือนตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544

ประเภทชิ้นส่วนอาคารและน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่าง ๆ	เพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ขึ้นอีก (ร้อยละ)
โครงสร้างที่ประกอบด้วยเสาและคานยึดโยงกันเป็นโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนักลิฟต์หรือน้ำหนักรอกยกของ	100
ฐานรากทางเท้าและตอม่อรับลิฟต์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับรอกยกของ	40
เครื่องจักรขนาดเบาที่ต่าง ๆ และมอเตอร์	ไม่น้อยกว่า 20
เครื่องจักรขนาดเบาชนิดลูกสูบชักเครื่องไฟฟ้า	ไม่น้อยกว่า 20

2.10.3 น้ำหนักของยานพาหนะวิ่งบนสะพาน

น้ำหนักของยานพาหนะวิ่งบนสะพานประกอบไปด้วยรถบรรทุก รถโดยสาร รถยนต์ส่วนบุคคล น้ำหนักสมทบและน้ำหนักอื่น ๆ มาตรฐาน AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) ได้กำหนดรูปแบบรถบรรทุกมาตรฐาน AASHTO (AASHTO Standard HS Truck) พร้อมน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการออกแบบ เรียกว่า HS20-44 ซึ่งมีน้ำหนักบรรทุกและระยะห่างเพลาดังตารางที่ 6 โดยกำหนดรถบรรทุกมาตรฐานและน้ำหนักบรรทุกเป็นแบบน้ำหนักแม่ (Lane Loading) เป็นน้ำหนักบรรทุกจรที่กระทำต่อโครงสร้างสะพาน ซึ่งจะใช้รูปแบบน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดหน่วยแรงบนสะพานมากกว่า

ตารางที่ 6 น้ำหนักบรรทุกจรตามมาตรฐาน AASHTO

Truck	HS20-44 (Truck)	HS20-44 (UCL)
Types		
Axle	3.57 T (35 kN) 14.78 T (145 kN) 14.78 T (145 kN)	CONCENTRATED LOAD
Loads		
Remarks	(1) HS20-44 is the bridge standard loading specified by AASHTO (STD) (2) L	

เมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ไปบนสะพาน จะทำให้เกิดการสั่นซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดความรู้สึกไม่สะดวกในการใช้งานแล้ว ยังทำให้เกิดความล้าในองค์อาคารของสะพาน และในบางครั้งอาจเกิดการวิบัติเนื่องจากความล้าได้มาตรฐาน AASHTO จึงกำหนดให้เพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกจรขึ้นไปอีกเพื่อคำนึงถึงผลของการสั่นของสะพานดังกล่าวนี้ ตามสมการที่ 21 แต่จะมีค่ามากที่สุดไม่เกิน 30% ของน้ำหนักบรรทุกจร

$$\text{Impact Factor} = \frac{15.24}{L + 38} \leq 0.30$$

สมการที่ 21

เมื่อ L คือ น้ำหนักกระแทกที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร
คือ ความยาวช่วงสะพานที่น้ำหนักบรรทุกจร (เมตร)

2.10.4 แรงลม (Wind Load)

แรงลมเกิดจากการไหลของลมผ่านโครงสร้าง ทำให้เกิดแรงกระทำกับโครงสร้าง ซึ่งอาจเป็นแรงดัน (Pressure) หรือแรงดูด (Suction) ดังภาพที่ 34 ขนาดของแรงลมอาจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะภูมิประเทศที่โครงสร้างนั้นตั้งอยู่ สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ รอบ ๆ โครงสร้าง ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้าง เป็นต้น การคำนวณแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างจึงเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบระบบโครงสร้างหลักเพื่อต้านทานแรงลมของอาคาร เพื่อให้สามารถต้านทานแรงเฉือน (Shear) การเลื่อนไถล (Sliding) การพลิกคว่ำ (Overturning) แรยกขึ้น (Uplift) ได้

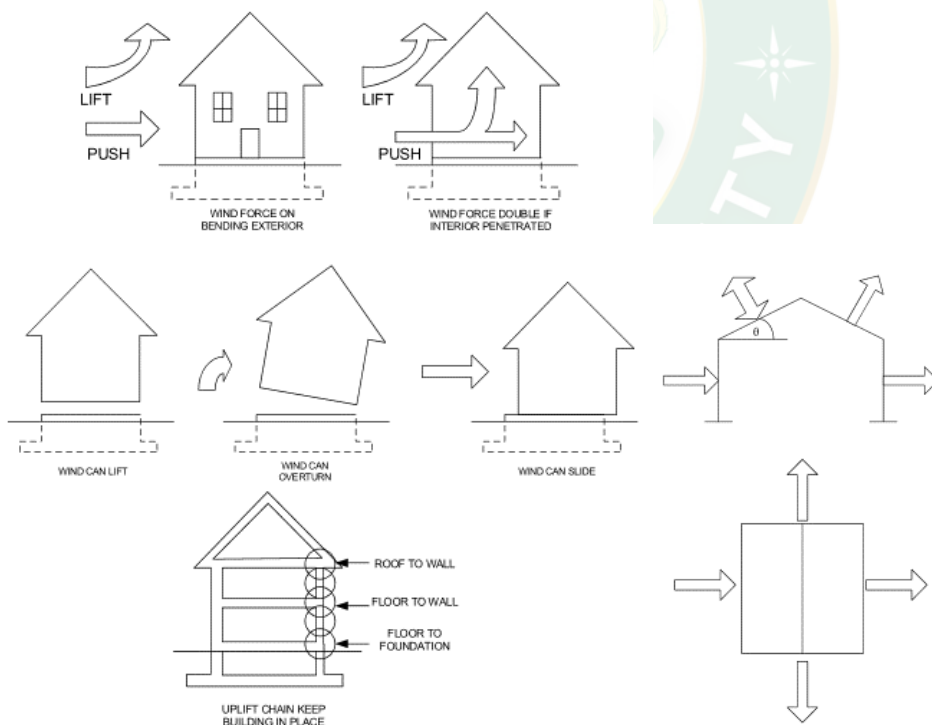
ในปัจจุบัน มาตรฐานการคำนวณแรงลมมีมากมายทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น กฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 มาตรฐานการคำนวณแรงลมสำหรับการออกแบบอาคารของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ ปี พ.ศ.2546 (E.I.T. Standard 1018-46) มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร/กรมโยธาธิการและผังเมือง (มยพ. 1311-50) ข้อบังคับการ

ออกแบบอาคารของประเทศแคนาดา ปี ค.ศ. 2005 (National Building Code of Canada :NBCC) ข้อเสนอแนะน้ำหนักบรรทุกทุกสำหรับ อาคารของประเทศญี่ปุ่น ปี ค.ศ.2004 (Recommendation for Loads on Building, AIJ) มาตรฐานน้ำหนักบรรทุกทุกออกแบบต่ำสุดสำหรับอาคารและโครงสร้างอื่น ๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 2005 (Minimum Design Loads for Building and Other Structures, ASCE7-05) ถึงแม้ว่าในการประมาณแรงลมที่กระทำกับโครงสร้างของแต่ละมาตรฐานจะแตกต่างกันไปในรายละเอียด แต่ก็ยังคงยึดหลักการพื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและแรงดันพลศาสตร์ที่กระทำต่อโครงสร้าง โดยใช้สมการของ Bernoulli

$$q = \frac{1}{2} \rho v^2$$

สมการที่ 22

เมื่อ q คือ แรงดันพลศาสตร์ (Dynamic Pressure)
 ρ คือ ความหนาแน่นของมวลอากาศ (Air Mass Density)
 v คือ ความเร็วลม (Wind Speed)



ภาพที่ 34 แรงลมที่กระทำกับโครงสร้าง

ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

กฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 และแก้ไขเพิ่มเติมฉบับที่ 48 พ.ศ. 2540 กำหนดเรื่องหน่วยแรงลมโดยข้อ 17 ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารให้คำนึงถึงแรงลมด้วยหากจำเป็นต้องคำนวณและไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้ ให้ใช้หน่วยแรงลมดังตารางที่ 7 อนึ่งข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครพ.ศ. 2544 กำหนดหน่วยแรงลมไว้ในข้อ 109 โดยมีรายละเอียดทำนองเดียวกัน อย่างไรก็ตามปัจจุบันกรมโยธาธิการและผังเมืองได้จัดทำมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยผ. 1311-50) ซึ่งปรับปรุงจากกฎกระทรวงฉบับที่ 6 สามารถศึกษาได้จากเอกสารของกรมโยธาธิการและผังเมือง

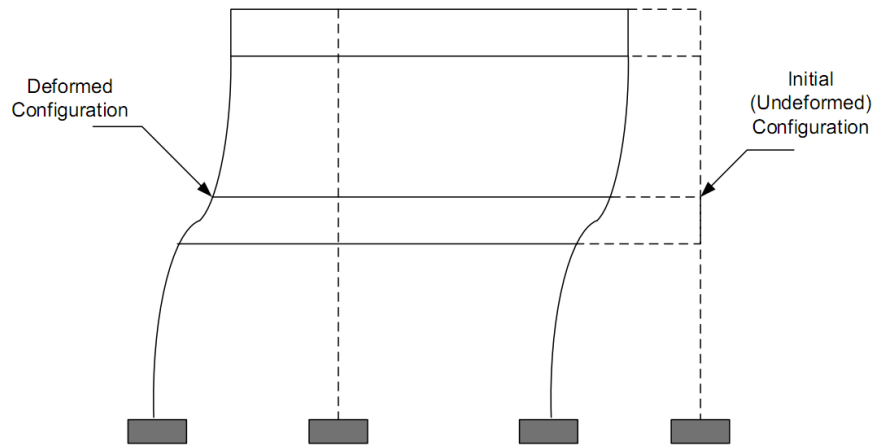
ตารางที่ 7 หน่วยแรงลมตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 (กฎกระทรวง ฉบับที่ 6, ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

ความสูงของอาคารหรือส่วนของอาคาร	หน่วยแรงลมอย่างน้อยกิโลปาสกาล (kgf/m ²)
(1) ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 m	0.5 (50)
(2) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 10 m แต่ไม่เกิน 20 m	0.8 (80)
(3) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 20 m แต่ไม่เกิน 40 m	1.2 (120)
(4) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 40 m	1.6 (160)

ในการนี้ยอมให้ใช้ค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของอาคารตลอดจนความต้านทานของดินได้ฐานรากเกินค่าที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงนี้ ได้ร้อยละ 33.3 แต่ทั้งนี้ต้องไม่ทำให้ส่วนต่าง ๆ ของอาคารนั้นมีความมั่นคงน้อยไปกว่าเมื่อคำนวณตามปกติโดยไม่คิดแรงลม

2.10.5 แรงแผ่นดินไหว (Earthquake Load)

แรงแผ่นดินไหว เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก การเคลื่อนตัวนี้จะเกิดเป็นคลื่นแผ่นดินไหวทำให้ผิวโลกเคลื่อนตัว เมื่อเกิดแผ่นดินไหว ฐานรากที่ติดกับผิวโลกจะเคลื่อนตัว (แนวราบ) แต่ส่วนบนของโครงสร้างจะต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเฉื่อยของโครงสร้าง ดังภาพที่ 35 ปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดการสั่นในแนวราบของโครงสร้าง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดแรงภายในต่าง ๆ ในองค์อาคาร



ภาพที่ 35 แผ่นดินไหวกับโครงสร้าง

ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนักความต้านทานความคงทนของอาคารและพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ.2550 ได้กำหนดให้ผู้คำนวณออกแบบการคำนวณออกแบบโครงสร้างอาคารที่มีลักษณะเป็นตึกบ้านเรือนโรงงานหรือสิ่งก่อสร้างอย่างอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันและไม่อยู่ในบริเวณเฝ้าระวัง สามารถรับแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวได้โดยคำนวณแรงเฉือนตามวิธีการดังต่อไปนี้

$$V = ZIKCSW$$

สมการที่ 23

- โดยที่ V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน
- Z คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มของแผ่นดินไหวตามพื้นที่ที่เสี่ยงต่อแผ่นดินไหว
- I คือ ตัวคูณเกี่ยวกับการใช้อาคารตามความสำคัญและความจำเป็นต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของสาธารณชน
- K คือ สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบตามความความเหนียวของโครงสร้างอาคาร
- C คือ สัมประสิทธิ์เมื่อ $C = \frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12$
- สำหรับอาคารทั่วไปทุกชนิด $T = \frac{0.09h_n}{\sqrt{D}}$

สำหรับอาคารที่มีโครงสร้างต้านแรงดัดที่มีความเหนียว $T = 0.01N$

- h_n คือ ความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดินมีหน่วยเป็นเมตร
- D คือ ความกว้างของโครงสร้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรงแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นเมตร
- N คือ จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน
- S คือ สัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติระหว่างอาคารและชั้นดินที่ตั้งอาคาร
- W คือ น้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมทั้งน้ำหนักของวัสดุอุปกรณ์ซึ่งยึดตรึงกับที่โดยไม่รวมน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับอาคารทั่วไปหรือน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมกับร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจรสำหรับโกดังหรือคลังสินค้า

เมื่อได้ค่าแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดินแล้วให้กระจายแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดินออกเป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ดังนี้แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคารให้คำนวณดังนี้ $F_t = 0.07 TV$ ค่าของ F_t ที่ได้จากสูตรนี้ไม่ให้ใช้เกิน 0.25 V และถ้าหาก T มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 0.7 วินาทีให้ใช้ค่าของ F_t เท่ากับ 0 แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ของอาคารรวมทั้งชั้นบนสุดของอาคารด้วยให้คำนวณดังนี้

$$F_x = \frac{(V - F_t) W_x h_x}{\sum_{i=1}^n W_t h_i}$$

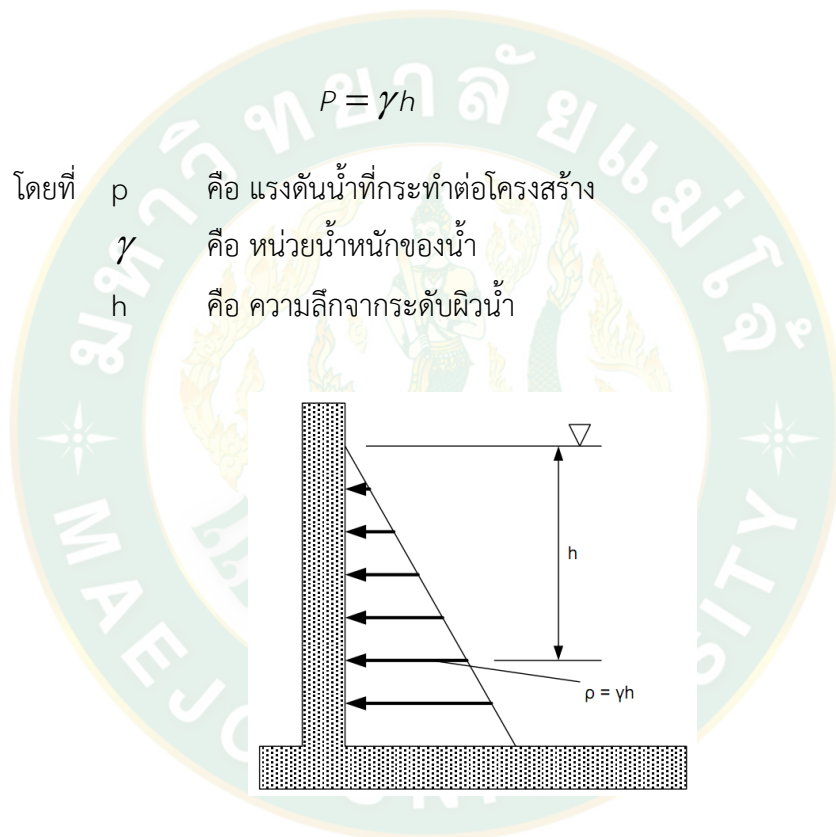
สมการที่ 24

- โดยที่ F_t คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร
- F_x คือ แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นที่ x ของอาคาร
- T คือ คาบการแกว่งตามธรรมชาติของอาคารมีหน่วยเป็นวินาที
- V คือ แรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน
- W_x, X_i คือ น้ำหนักของพื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ
- h_x, h_i คือ ความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ
- $i=1$ คือ สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคาร
- $x=1$ คือ สำหรับพื้นชั้นแรกที่อยู่สูงถัดจากพื้นชั้นล่างของอาคาร
- $\sum_{i=1}^n w_t h_i$ คือ ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นชั้นที่ 1 ถึงชั้น n

n คือ จำนวนชั้นทั้งหมดของอาคารที่อยู่เหนือระดับพื้นชั้นล่างของอาคาร

2.10.6 แรงดันน้ำและแรงดันดิน (Hydrostatic and Soil Pressures)

โครงสร้างที่รับแรงดันน้ำ เช่น ถังเก็บน้ำ เขื่อน หรือโครงสร้างที่อยู่หรือจุ่มอยู่ในน้ำ แรงดันน้ำจะกระทำ ตั้งฉากกับตัวโครงสร้าง ขนาดของแรงดันจะมากขึ้นหากความลึกมากขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กันเป็นแบบเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 36 แรงดันน้ำสามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้



สมการที่ 25

ภาพที่ 36 แรงดันน้ำ

ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

สำหรับโครงสร้างที่อยู่ใต้ผิวดิน จะมีแรงดันดินกระทำกับโครงสร้างซึ่งมีลักษณะการกระจายของแรงดันเหมือนกับของแรงดันน้ำและสามารถใช้สมการที่ 25 ในการคำนวณหาแรงดันได้เพียงแต่ต้องเปลี่ยนค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำเป็นหน่วยน้ำหนักของดินที่ติดอยู่กับโครงสร้างแทน

2.10.7 แรงแท้เกิดจากอุณหภูมิและอื่น ๆ (Thermal and Other Effects)

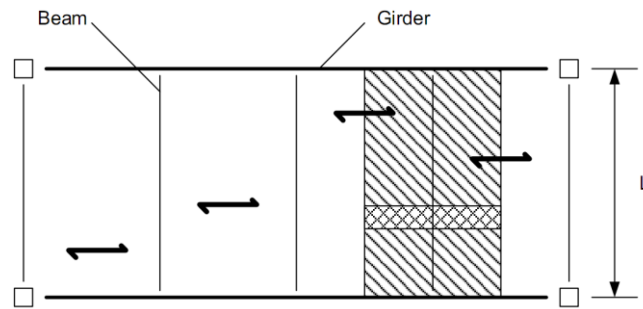
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทำให้เกิดหน่วยแรงหรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้างได้ สำหรับโครงสร้างอินดิเทอร์มิเนท จะมีหน่วยแรงเพิ่มขึ้นและอาจเกิดการเคลื่อนตัวร่วมด้วย แต่ถ้าเป็นโครงสร้างดีเทอร์มิเนท จะเกิดการเคลื่อนตัวเท่านั้น แต่ไม่เกิดหน่วยแรงเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ไม่เพียงแต่เฉพาะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเท่านั้น การคืบและการหดตัวของคอนกรีต การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของโครงสร้าง การยึดรั้งขององค์อาคารเนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการก่อสร้าง ก็ล้วนแต่ทำให้เกิดหน่วยแรงหรือการเคลื่อนตัวของโครงสร้างด้วย

2.11 การถ่ายน้ำหนัก (Load Transfer)

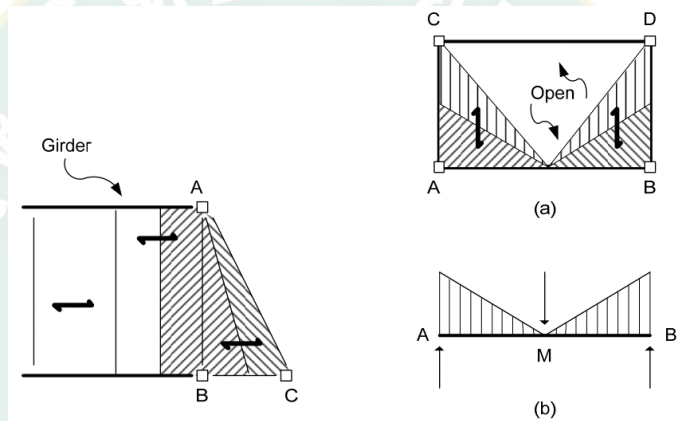
การถ่ายน้ำหนัก (Load Transfer) ถือเป็นหัวข้อที่สำคัญซึ่งผู้ออกแบบโครงสร้างต้องเข้าใจในรูปแบบหรือเส้นทางที่แรงจะไหลไปยังองค์อาคารแต่ละชิ้นในโครงสร้าง กรณีของการวิเคราะห์อาคารรับเฉพาะแรงในแนวดิ่ง การกระจายน้ำหนักจากพื้นสู่คาน หรือจากพื้นสู่เสาอาจอาศัยหลัก พื้นที่รับผิวดชอบ (Tributary Area) อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติวิศวกรอาจเลือกใช้วิธีการคำนวณที่ละเอียดขึ้นเพื่อความประหยัด ในหัวข้อนี้จะเสนอแนวทางการประมาณน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายจากพื้นลงสู่คานและเสา ตามลำดับ

2.11.1 การถ่ายน้ำหนักจากพื้นลงคาน

การกระจายน้ำหนักจากพื้นสู่คานเป็นกรณีแผ่นพื้นวางพาดลงบนคานในทิศทางเดียวจะเป็นไปตามกฎของพื้นที่รับผิวดชอบ อย่างไรก็ดีหากแผ่นพื้นมีการเทในที่และตัวแผ่นพื้นมีการเชื่อมต่อกับคานรอบด้าน การกระจายแรงจากแผ่นพื้นสู่คานแปรผันตามสัดส่วนระหว่างด้านทั้ง 2 ของแผ่นพื้น โดยในภาพที่ 37 แสดงการแบ่งพื้นที่ พื้นที่ยาวพาดบนคานตามแนวของลูกศร โดยในกรณีนี้ คาน (Beam) ที่ถูกแรงจะรับน้ำหนักบรรทุกจากแผ่นพื้นทางฝั่งซ้ายและฝั่งขวาอย่างละเท่า ๆ กัน (ครึ่งหนึ่งของพื้นที่ทางด้านซ้าย และอีกครึ่งหนึ่งของพื้นที่ทางด้านขวา จะถูกถ่ายเข้าสู่คานที่สนใจ) ในขณะที่ภาพที่ 38 แสดงแนวคิดของพื้นที่รับผิวดชอบกรณีมิติของแผ่นพื้นรอบคานไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งในกรณีข้างต้นการกระจายแรงจะแบ่งไปตามสัดส่วนของแผ่นพื้นที่ถ่ายลงคานแต่ละด้าน



ภาพที่ 37 การแบ่งพื้นที่รับผิวดขอบของคาน เพื่อรองรับน้ำหนักจากแผ่นพื้น
ที่มา : สุณิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

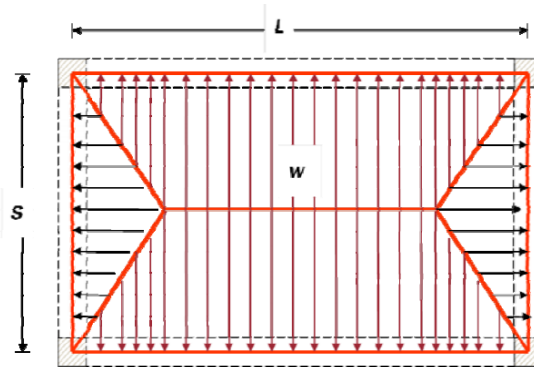


ภาพที่ 38 การแบ่งพื้นที่รับผิวดขอบของคาน เพื่อรองรับน้ำหนักจากแผ่นพื้น
ที่มา : สุณิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

กรณีแผ่นพื้นไม่ได้เป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยในกรณีนี้คานต้องรับน้ำหนักบรรทุกทุกเป็นรูปสามเหลี่ยม

2.11.2 การกระจายน้ำหนักลงคาน: พื้น 2 ทาง

กรณีแผ่นพื้นมีคานรองรับทั้ง 4 ด้าน ซึ่งหมายถึงแผ่นพื้นนั้นหล่อเป็นเนื้อเดียวกับคานที่รองรับโดยใช้สมมติฐานที่ว่าฐานรองรับดังกล่าวมีพฤติกรรมแบบ คมมีด (Pined support) สำหรับส่วนระหว่าง “ด้านสั้น/ด้านยาว” หรือ $m = S/L$ มากกว่า 0.5 การกระจายน้ำหนักจากพื้นจะถ่ายลงสู่คานด้านสั้นเป็นรูปสามเหลี่ยม ในขณะที่ถ่ายลงคานด้านยาวเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ดังภาพที่ 39 ทั้งนี้แนวทางปฏิบัติของอเมริกันได้กระจายแรงดังกล่าว (ทั้งสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมคางหมูให้มีลักษณะแผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดความยาวคาน)



S = ความยาวพื้นช่วงสั้น, L = ความยาวพื้นช่วงยาว เมื่อ $m=S/L > 0.5$

ภาพที่ 39 ลักษณะการกระจายของน้ำหนักแผ่นพื้นสู่คานที่รองรับทั้ง 4 ด้าน (กรณี $m > 0.5$)
ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

$$W_s = \frac{w_s}{3}$$

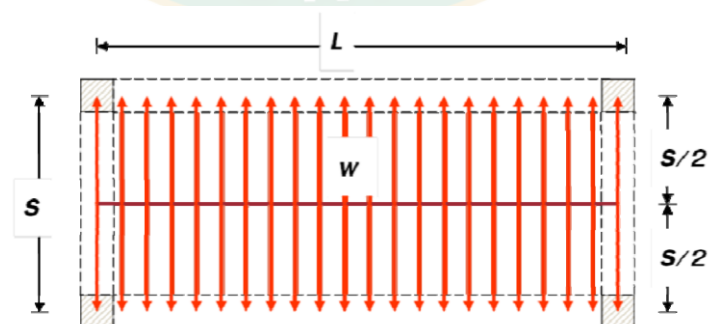
สมการที่ 26

$$W_L = \frac{w_s \times (3 - m^2)}{2}$$

สมการที่ 27

2.11.3 การกระจายน้ำหนักลงคาน: พื้นทางเดียว

จากสมมติฐานข้างต้น เมื่อ m มีค่าน้อยกว่า 0.5 ($m < 0.5$) หรือหมายความว่า ด้านยาวเริ่มยาวกว่าด้านสั้นเกิน 2 เท่า ด้วยแนวทางการออกแบบของอเมริกันอาจสมมติให้แรงทั้งหมดถ่ายลงคานด้านสั้น โดยสัดส่วนการถ่ายแรงเป็นไปตามกฎพื้นที่รับผัดชอบ ดังภาพที่ 40



S = ความยาวพื้นช่วงสั้น, L = ความยาวพื้นช่วงยาว เมื่อ $m=S/L < 0.5$

ภาพที่ 40 ลักษณะการกระจายของน้ำหนักแผ่นพื้นสู่คานด้านยาว (กรณี $m < 0.5$)
ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

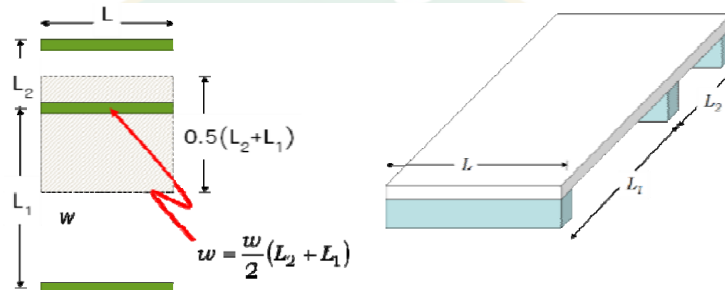
$$W_s = 0$$

สมการที่ 28

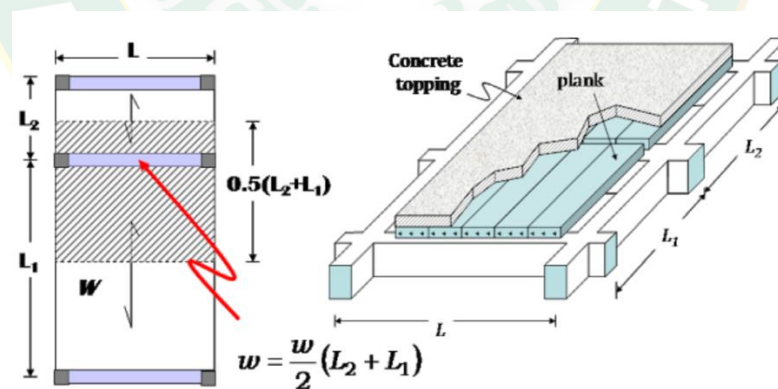
$$W_L = \frac{wS}{2}$$

สมการที่ 29

ทั้งนี้แม้ m จะมีสัดส่วนค่าเท่าใดก็ตาม “แต่แผ่นพื้นมีคานรองรับเพียงสองด้าน” (กรณีแผ่นพื้นสะพาน) การถ่ายน้ำหนักจะถูกบังคับด้วยลักษณะของโครงสร้างหรือเป็นการถ่ายแรงจะถ่ายแบบทางเดียว ดังภาพที่ 41 หรือการถ่ายแรงแบบทางเดียว สำหรับแผ่นพื้นสำเร็จรูป ที่มี m ใด ๆ แม้ว่าจะมีคานรองรับที่ด้านก็ตาม ดังภาพที่ 42



ภาพที่ 41 การถ่ายแรงแบบทางเดียว สำหรับแผ่นพื้นที่มี m ใด ๆ แต่มีคานรองรับเพียง 2 ด้าน
ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)



ภาพที่ 42 การถ่ายแรงแบบทางเดียว สำหรับแผ่นพื้นสำเร็จรูป ที่มี m ใด ๆ แม้ว่าจะมีคานรองรับที่ด้านก็ตาม

ที่มา : สุนิติ สุภาพ และคณะ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

2.12 การออกแบบโครงสร้างเหล็ก

2.12.1 วิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ Allowable Stress Design (ASD)

การออกแบบโครงสร้างเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ มีการใช้กันตั้งแต่ในยุคแรกเริ่มที่มีการใช้โครงสร้างเหล็กจนถึงในปัจจุบัน วิธีหน่วยแรงใช้งาน หรือ Allowable Stress Design (ASD) มีหลักการคือการจำกัดหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในภาวะใช้งาน (Service Level) ไม่ให้เกินค่าที่ยอมให้ โดยค่าที่ยอมให้จะหาจากการลดค่าหน่วยแรงที่จุดครากหรือที่ภาวะขีดสุด (Limit Stress) ของเหล็กลง โดยอาศัยตัวประกอบความปลอดภัย (Factor of Safety) การออกแบบจะตั้งอยู่บนพื้นฐานการวิเคราะห์ด้วยวิธีอีลาสติก (Elastic Analysis) เป็นหลัก โดยมีสมมุติฐานคือไม่มีส่วนใดในโครงสร้างที่มีค่าหน่วยแรงถึงจุดคราก

วิธี ASD Method จะจำกัดค่าของหน่วยแรงที่ยอมให้ใช้ (f_a) จากหน่วยแรงที่ภาวะขีดสุด (limit state) ซึ่งอาจจะเป็น Yield Stress (F_y); Critical Buckling Stress (F_{cr}); Ultimate Tensile (F_u) ขณะที่ชิ้นส่วนแตกหักหรือ Fatigue Stress สำหรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบกระทำซ้ำแล้วหารด้วยค่าความปลอดภัย FS (Factor of Safety) ดังนี้

$$f_a = \frac{F_{lim}}{FS}$$

สมการที่ 30

เมื่อ	f_a	คือ หน่วยแรงที่ยอมให้ใช้
	F_{lim}	คือ หน่วยแรงที่ภาวะขีดสุด
	FS	คือ ค่าความปลอดภัย

2.12.2 วิธีพลาสติก Plastic Design Method

ในยุคปี ค.ศ. 1960 มาตรฐานต่าง ๆ เริ่มยอมรับแนวคิดที่ว่า ถึงแม้หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในบางจุดของโครงสร้างจะเกินกว่าค่าหน่วยแรงที่จุดครากของเหล็ก ก็ไม่ได้หมายความว่าโครงสร้างนั้นจะเกิดการวิบัติขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างจะสามารถกระจายแรงภายใน (Redistribution) ไปยังจุดอื่นได้ ทำให้โครงสร้างยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกต่อไปได้อีก จนกระทั่งถึงค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate load) เมื่อโครงสร้างนั้นไม่สามารถที่จะกระจายแรงภายในต่อไปได้อีก ในส่วนนี้จึงเป็นที่มาของแนวคิดที่จะนำเอาประโยชน์ของการที่โครงสร้างสามารถกระจายแรงภายในไปใช้ในการออกแบบ เกิดเป็นวิธีการออกแบบที่เรียกว่าวิธีพลาสติก (Plastic design) ที่อาศัยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Plastic analysis เพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (Ultimate load) ของโครงสร้างโดยกำหนดให้การออกแบบต้องเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$(LF)P_w \leq P_u$$

สมการที่ 31

เมื่อ	LF	คือ Load Factor ตัวคูณความปลอดภัย
	P_w	คือ น้ำหนักบรรทุกที่ระดับใช้งาน
	P_u	คือ น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของโครงสร้างที่หาจากวิธี Plastic analysis

Load Factor จะเป็นตัวประกอบความปลอดภัยที่นำไปคูณกับค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (P_w) จะต้องได้ค่าเท่ากับหรือน้อยกว่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (P_u) ซึ่งเป็นค่าของน้ำหนักบรรทุกที่จะทำให้โครงสร้างเกิดจุดหมุนพลาสติก (Plastic Hinge) เพียงพอที่จะให้โครงสร้างไม่มีเสถียรภาพ โดยค่า LF จะขึ้นกับภาวะใช้งานต่าง ๆ

LF = 1.7 สำหรับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง เช่น Dead Load หรือ Live Load

LF = 1.3 สำหรับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง ร่วมกับแรงต้านข้างเช่น แรงลม หรือ แรงแผ่นดินไหว

2.12.3 วิธี Load and Resistance Factor Design (LRFD)

ในยุคนปี ค.ศ. 1980 ได้มีการพัฒนาแนวคิดการออกแบบที่เรียกว่า LRFD ขึ้น โดยที่วิธีนี้มีหลักการออกแบบโดยการเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุก โดยใช้ค่าตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเพิ่ม γ_i (Load Factor) ซึ่งค่า γ_i จะมากกว่าหนึ่งเสมอขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำหนักบรรทุกและรูปแบบการการรวมกันของน้ำหนักบรรทุกชนิดต่าง ๆ และใช้ค่าตัวคูณความต้านทาน ϕ (Resistance Factor) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่งเสมอ ในการลดกำลังรับแรงที่ขีดสุดในภาวะต่าง ๆ (Limit state) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i Q_i \leq \phi R_n$$

สมการที่ 32

เมื่อ	Q_i	คือ น้ำหนักบรรทุกชนิดต่าง ๆ
	R_n	คือ กำลังที่คำนวณได้ (Nominal Strength) ของโครงสร้างแต่ละชนิด
	γ_i	คือ ค่าตัวคูณเพิ่มน้ำหนักบรรทุก
	ϕ	คือ ค่าตัวคูณความต้านทาน มาจากการวิเคราะห์ Reliability Analysis

ค่าตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเพิ่ม (Load Factors, γ)

ค่าของตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเพิ่ม Load Factor (γ) ที่กำหนดให้ใช้ในมาตรฐาน AISI (1986) และในมาตรฐานของ วสท. ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำหนักบรรทุกมีค่าดังนี้

$$1.4D_n \quad (3.1-7)$$

$$1.2D_n + 1.6L_n + 0.5(L_{nr} \text{ หรือ } S_n \text{ หรือ } R_n) \quad (3.1-8)$$

$$1.2D_n + 1.6(L_{nr} \text{ หรือ } S_n \text{ หรือ } R_n) + (0.5L_n \text{ หรือ } 0.8W_n) \quad (3.1-9)$$

$$1.2D_n + 1.3W_n + 0.5L_n + 0.5(L_{nr} \text{ หรือ } S_n \text{ หรือ } R_n) \quad (3.1-10)$$

$$1.2D_n \pm 1.0E_n + 0.5L_n + 0.2S_n \quad (3.1-11)$$

$$0.9 + D_n \pm (1.3W_n + 1.0E_n) \quad (3.1-12)$$

เมื่อ D_n , L_n , L_{nr} , S_n , R_n , W_n และ E_n เป็นน้ำหนักบรรทุกที่กำหนด (Nominal Load) จาก Dead Load (น้ำหนักบรรทุกคงที่) Live Load (น้ำหนักบรรทุกจร) Roof Live Load (น้ำหนักบรรทุกจรบนหลังคา) Snow Load (น้ำหนักหิมะ) Rain Load (น้ำหนักน้ำฝน) Wind Load (แรงลม) และ Earthquake Load (แรงแผ่นดินไหว) ตามลำดับ

ค่าตัวคูณความต้านทาน (Resistance Factor, ϕ)

ส่วนค่าของตัวคูณความต้านทาน ϕ (Resistance Factor) ใน AISC (1986) และในมาตรฐานของ วสท. กำหนดให้ใช้ดังนี้

1) ชิ้นส่วนรับแรงดึง (Tension Member, AISC LRFD-D1)

$$\phi_t = 0.9 \text{ สำหรับพิกัดยึดหยุน } F_y$$

$$\phi_t = 0.75 \text{ สำหรับพิกัดประลัย } F_u$$

2) ชิ้นส่วนรับแรงอัด (Compression Member, AISC LRFD-E2)

$$\phi_c = 0.85$$

3) ชิ้นส่วนรับแรงดัด (Flexural Member, AISC LRFD-F1.2)

$$\phi_b = 0.90$$

4) รอยเชื่อม (Welds, AISC LRFD-Table J2.3)

$$\phi = 0.9 \text{ หรือ } 0.75 \text{ สำหรับชิ้นส่วนรับแรงดึงแล้วแต่กรณี}$$

$$= 0.85 \text{ สำหรับชิ้นส่วนรับแรงอัด}$$

$$= 0.9 \text{ สำหรับคาน}$$

5) ข้อต่อสลักเกลียว (Bolt, AISC LRFD-Table 3.2)

$$\phi_t = 0.75 \text{ สำหรับกำลังรับแรงดึง}$$

$$\phi_t = 0.65 \text{ สำหรับกำลังรับแรงเฉือน}$$

6) เหล็กรับแรงดึงที่มีปลายรับสลัก (Eyebars) ที่คำนวณรับแรงกดบนเนื้อที่ตั้งฉากกับแนวแรง (Project area)

$$\phi_t = 1.0$$

(อาานนท์ วงษ์แก้ว และคณะ, ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์; กรมโยธาธิการและผังเมือง, ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

2.12.4 แรงโมเมนต์ (Moment)

เมื่อออกแรงกระทำต่อวัตถุในแนวผ่านจุดศูนย์กลางของมวลของวัตถุ พบว่าวัตถุจะเกิดการเคลื่อนที่ตามแนวแรงที่กระทำด้วยความเร่ง แต่ถ้าแนวแรงที่กระทำไม่ผ่านจุดศูนย์กลางของมวลของวัตถุ พบว่าวัตถุจะเกิดการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของมวล เรียกจุดศูนย์กลางของมวลว่า จุดหมุน ผลของการหมุนเนื่องจากแรงรอบจุดหมุนเรียกว่า โมเมนต์ของแรง โดยค่าโมเมนต์ของแรงจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงและระยะห่างของแนวแรงจากจุดหมุน ซึ่งหาได้จากสูตรสมการ ดังต่อไปนี้ (ชนิดรัตน์สุมาวงศ์, ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

ค่าโมเมนต์ของแรง = แรง \times ระยะทางจากจุดหมุนไปตั้งฉากกับแนวแรง

หรือ

$$M = F \times l$$

สมการที่ 33

เมื่อ M คือ โมเมนต์ของแรง
F คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุ
l คือ ระยะทางจากจุดหมุนไปตั้งฉากกับแนวแรง

หน่วยของโมเมนต์ในระบบ SI คือ นิวตันเมตร (Nm)

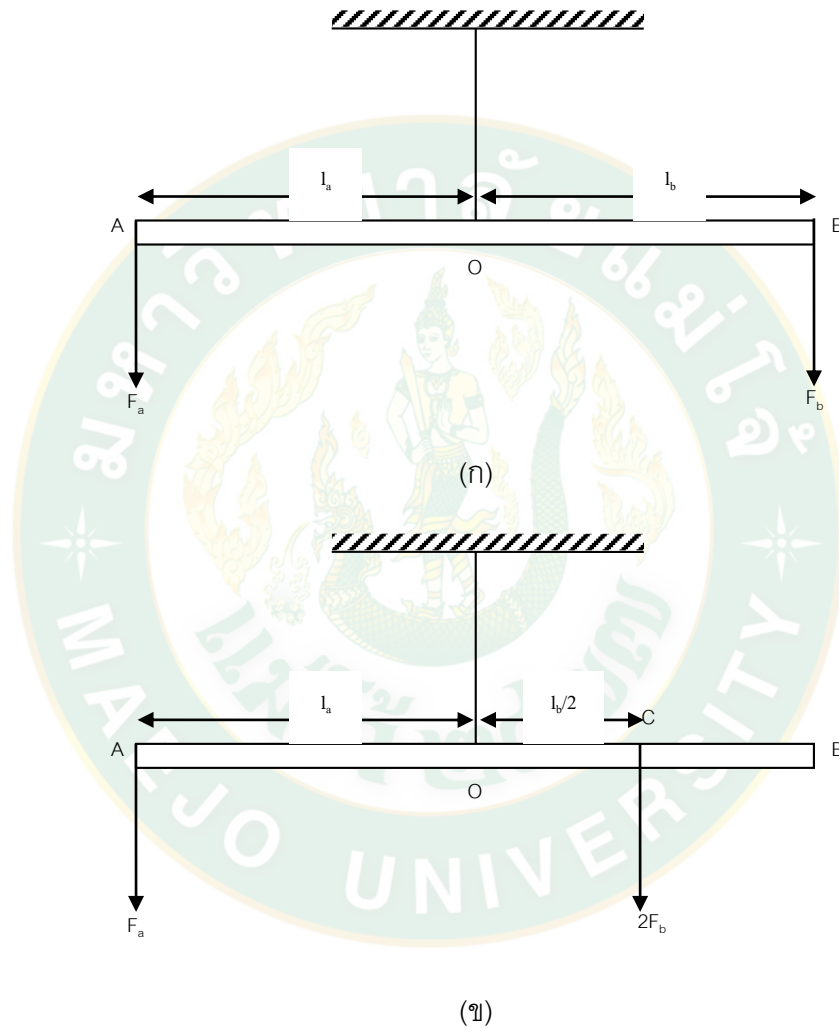
ประเภทของโมเมนต์

เมื่อวัตถุถูกแรงกระทำในแนวไม่ผ่านจุดหมุนของวัตถุ พบว่าวัตถุจะเกิดการหมุน โดยทิศทางการหมุนของวัตถุมีสองทิศทาง จึงแบ่งประเภทของโมเมนต์ของแรงเป็น 2 ประเภท คือ

- 1) โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา
- 2) โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

สภาพสมดุลต่อการหมุน (Rotational Equilibrium)

เป็นสภาพเมื่อวัตถุไม่มีการหมุน แต่สภาพการเคลื่อนที่จะอยู่นิ่ง หรือเคลื่อนที่อย่างไรก็ได้ หรือเป็นการหมุนที่มีอัตราเร็วคงที่ เช่น วัตถุหมุนอยู่นิ่งบนพื้นที่ไม่มีความเสียดทาน โดยออกแรงกระตุ้นครั้งแรก วัตถุก็จะหมุนอยู่กับที่ด้วยอัตราเร็วคงที่



ภาพที่ 43 แรงกระทำต่อคานให้คานอยู่ในแนวระดับ

ที่มา : อานนท์ วงษ์แก้ว และสุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์ (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

จากภาพที่ 43 (ก) และ (ข) คาน AB แขนงเชิงอกในแนวดิ่ง ให้คานอยู่แนวระดับจุด O เป็นจุดแขวนเชิงอก ณ กึ่งกลางคานสม่าเสมอพอดี จากภาพที่ 43 (ก) เมื่อวัตถุถูกแรง F กระทำ ณ จุด A

และจุด B ปรากฏว่าคานยังวางตัวอยู่ในแนวระดับโดยไม่หมุน เมื่อหาค่าโมเมนต์ของแรงรอบจุด O พบว่า

โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกาเกิดจากแรง ณ จุด B

$$(M_1) = F_b \times l_b \quad \text{สมการที่ 34}$$

โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเกิดจากแรง ณ จุด A

$$(M_2) = F_a \times l_a \quad \text{สมการที่ 35}$$

โมเมนต์รวม

$$\begin{aligned} (\Sigma M) &= M_1 \times M_2 \\ &= (F_b \times l_b) - (F_a \times l_a) \\ &= 0 \end{aligned}$$

ดังนั้นโมเมนต์รวม

$$(\Sigma M) = 0 \quad \text{สมการที่ 36}$$

จากภาพที่ (ข) เมื่อวัตถุถูกแรง F_a กระทำ ณ จุด A และแรง $2F_b$ กระทำ ณ จุด C ปรากฏว่าคานยังวางตัวอยู่ในแนวระดับ โดยไม่หมุนเมื่อหาค่าโมเมนต์ของแรงรอบจุด O พบว่า

โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกาเกิดจากแรง ณ จุด C

$$(M_1) = 2F_b \times \frac{l_b}{2} = F_b \times l_b \quad \text{สมการที่ 37}$$

โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเกิดจากแรง ณ จุด A

$$(M_2) = F_a \times l_a \quad \text{สมการที่ 38}$$

โมเมนต์รวม

$$\begin{aligned} \Sigma M &= M_1 + M_2 \\ &= (F_b \times l_b) - (F_a \times l_a) \\ &= 0 \end{aligned}$$

ดังนั้นโมเมนต์รวม

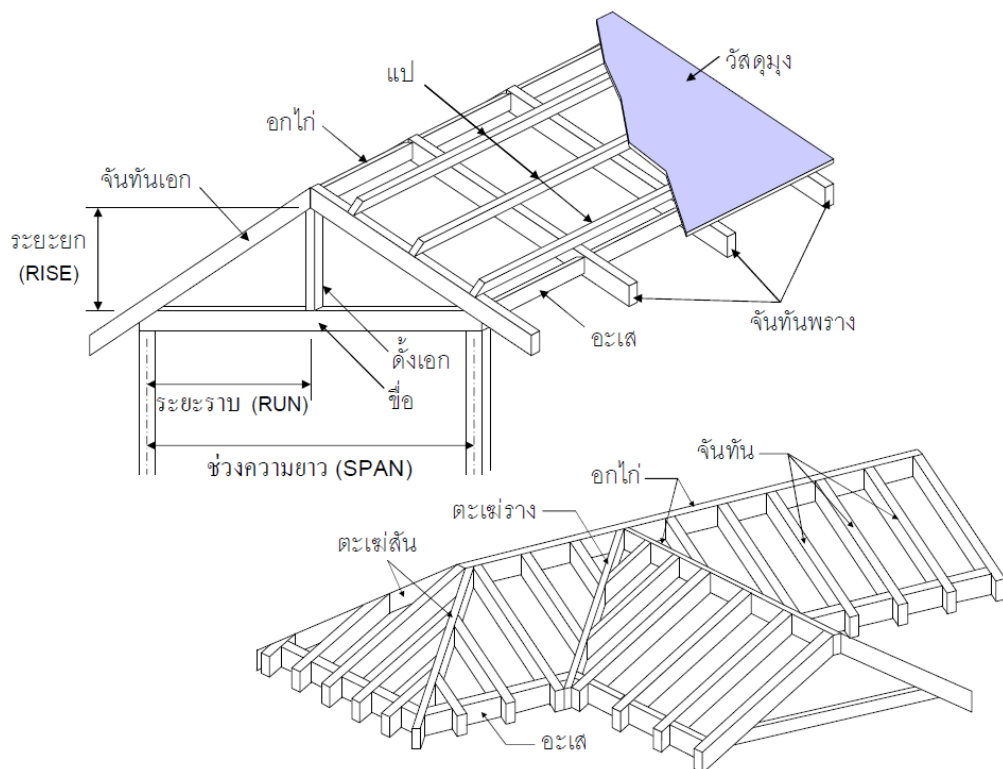
$$(\Sigma M) = 0$$

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลต่อการหมุน โมเมนต์ของแรงรอบจุดหมุนมีค่าเท่ากับศูนย์ ผลที่ตามมาก็คือ

$$\text{โมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา} = \text{โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา}$$

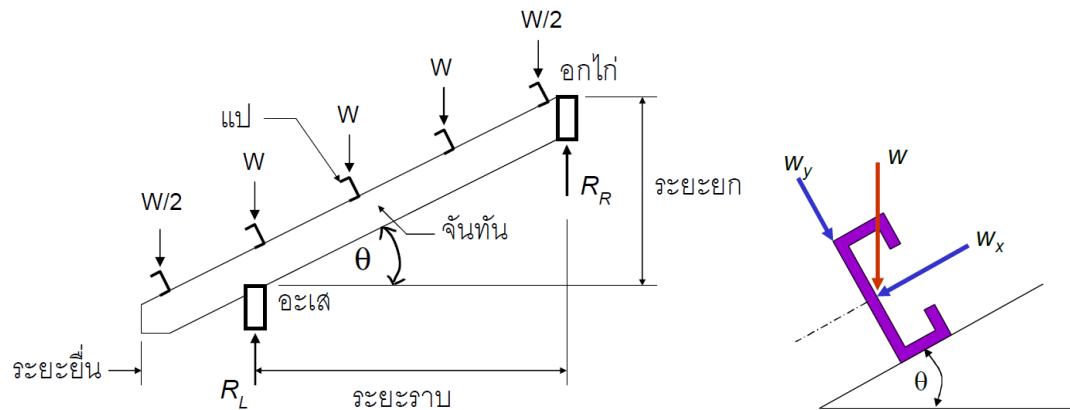
2.12.5 การออกแบบแป

แปหรือระแนง คือ องค์ประกอบหนึ่งของโครงหลังคา เป็นโครงสร้างที่วางอยู่บนจันทันรองรับวัสดุคลุมหลังคาประเภทต่าง ๆ เช่น กระเบื้อง แผ่นหลังคาเหล็ก โดยวางขนานกับแนวอกไก่เริ่มจากส่วนที่ต่ำสุดไปสู่ส่วนที่สูงสุดของหลังคา โดยแปจะวางตั้งฉากกับจันทันและวัสดุคลุมหลังคา ซึ่งหลังคามีความเอียงลาด ดังภาพที่ 44 (Mongkol Jirawacharadet, ม.ป.ป.)



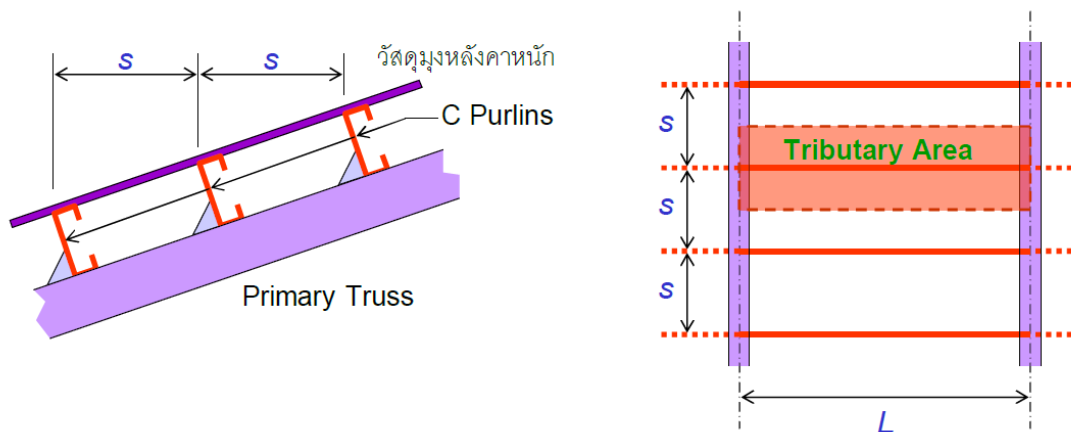
ภาพที่ 44 องค์ประกอบของหลังคา

ที่มา : Mongkol Jirawacharadet (ม.ป.ป.)



ภาพที่ 45 น้ำหนักที่โครงหลังคา แป้

ที่มา : Mongkol Jirawacharadet (ม.ป.ป.)



ภาพที่ 46 การถ่ายน้ำหนักที่โครงหลังคา แป้

ที่มา : Mongkol Jirawacharadet (ม.ป.ป.)

ตามภาพที่ 45 และภาพที่ 46 การถ่ายน้ำหนักไปที่ แป้ มีรายละเอียดดังนี้

แป้ห่างกัน s เมตร ช่วงยาว L (m)

- 1) น้ำหนักบรรทุกจร + น้ำหนักวัสดุหลังคา = น้ำหนักรวม kg/m^2
- 2) น้ำหนักบรรทุกต่อความยาวถ้ายลงแป้ = น้ำหนักรวม $\times s$ kg/m
- 3) น้ำหนักแป้โดยประมาณ = xx kg/m
- 4) รวมน้ำหนักถ้ายลงแป้ทั้งหมด = (1) + (2) + (3)

การติดตั้งแป๊มีมุมของความเอียงลาดหลังคามากเกี่ยวข้อง ต้องพิจารณาทั้ง 2 แกน คือ แกน X และ แกน Y ทั้งนี้มีค่าหน่วยแรงที่ใช้งานและหน่วยแรงที่ยอมให้ที่ตรวจสอบอีกด้วย ดังสมการต่อไปนี้

แกน X

$$f_{bx} = \frac{M_x}{s_x} \leftarrow M_x = \frac{w_y l^2}{8} \leftarrow w_y = w \cos \theta + w_0 \quad \text{สมการที่ 39}$$

แกน Y

$$f_{by} = \frac{M_y}{s_y} \leftarrow M_y = \frac{w_x l^2}{8} \leftarrow w_x = w \sin \theta \quad \text{สมการที่ 40}$$

การตรวจสอบ ค่าหน่วยแรงที่ใช้งานและหน่วยแรงที่ยอมให้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} = \frac{f_{bx}}{0.66F_y} + \frac{f_{by}}{0.75F_y} \leq 1.0 \quad \text{สมการที่ 41}$$

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา สามารถแยกประเด็นได้ 2 ประเด็น คือ

- 1) ขนาดช่องระบายอากาศ และระยะห่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคาร
- 2) การระบายอากาศช่องว่าง

J. Oh and G. TamizhMani (2011) ศึกษาของ INSTALLED-NOCT และค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ ที่ติดตั้ง ใช้งานมาแล้ว 1 ปี Building Applied Photovoltaics (BAPV) เป็นหนึ่งในการประยุกต์ใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิมีผลอย่างมากกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ชนิดผลึกรวมซิลิคอนประสิทธิภาพลดลงประมาณ 0.5%/°C อุณหภูมิในการผลิตไฟฟ้ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิห้อง แสงแดดและความเร็วลม อิทธิพลเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของการติดตั้ง Open-Rack และ BAPV การออกแบบจะอ้างอิงคุณสมบัติ มาตรฐานของแผง PV, IEC 61215 และ NOCT (Normal Operating Cell Temperature) งานวิจัยนี้ นำเสนอเกี่ยวข้องกับ NOCT ของ BAPV ในกรณีนี้เรียกว่า INOCT (Installed-NOCT) ผลของช่องว่างอากาศ (ระหว่างโมดูลกับหลังคา) INOCT จะหาค่าเป็นเชิงปริมาณในงานนี้ ค่า INOCT กำหนดช่องว่างอากาศที่แตกต่างกัน (0, 1, 2, 3 และ 4 นิ้ว) โดยใช้รูปแบบความร้อนแบบเดิมของ IEC61215 เปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดใช้แบบจำลองความร้อน BAPV ที่พัฒนาขึ้นก่อนหน้านี้โดยมหาวิทยาลัยรัฐแอริโซนา สมมุติฐานว่าอุณหภูมิมีผลต่อสัมประสิทธิ์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ได้เปลี่ยนแปลง

ตลอดเวลาที่ใช้งานและการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ของแผงใหม่ งานวิจัยนี้ตรวจสอบว่าสมมุติฐานถูกต้องหรือไม่ โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ 14 แผง ก่อนติดตั้งและหลังใช้งานแล้ว 1 ปี ที่ติดตั้งบนหลังคารายละเอียดในงานวิจัยของ Laboratory of Arizona State University, Mesa, Arizona ติดตั้งแผงผลึกรวมซิลิคอน 20 แผง (ภายใต้สภาวะเปิด) โดยกำหนดช่องว่างอากาศ 5 ช่อง (0- 4 นิ้ว) บนหลังคาที่มีความเอียง 23° การเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ระหว่างเวลา 10.00 น. ถึง 15.00 น. ช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุก 6 นาที ค่า INOCT พิจารณาจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ในช่วงหนึ่งปี (ระหว่างพฤษภาคม 2009 ถึงพฤษภาคม 2010) ในการทดลองนี้ ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 14 แผง ติดตั้งมาแล้ว 1 ปี ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเริ่มต้นของ 14 แผง อุณหภูมิค่าสัมประสิทธิ์ถูกกำหนดโดยการใช้เส้นกราฟ I-V ระหว่าง 20°C ถึง 40°C ในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง แจ่มใส ระดับแสงแดดประมาณ 1000 W/m^2 สรุปได้ว่า ติดตั้ง INOCT แบบ BAPV ที่ช่องว่างสูง 3 นิ้ว มีอุณหภูมิสูงกว่า ติดตั้ง NOCT แบบ Open-rack ประมาณ 2°C

J. Hrica et al. (2011) แบบจำลองความร้อนและลดความร้อนจากการใช้พัดลม ผลกระทบสำหรับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประยุกต์ใช้กับอาคาร ได้กลายเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตพลังงานและลดต้นทุนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) อุณหภูมิในการทำงานของโมดูล BAPV สามารถขึ้นไปได้ถึงสูงถึง 90 องศาเซลเซียส เช่นในสภาพภูมิอากาศในทะเลทรายฟินิกซ์ แอริโซนาอุณหภูมิการทำงานที่สูงเหล่านี้จะมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าและมีผลกระทบอย่างมากต่ออายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ วิธีการลดอุณหภูมิในการทำงานแบบเดิมของ BAPV โมดูลได้รวมช่องว่างอากาศที่เหมาะสมสำหรับการระบายอากาศระหว่างบนหลังคาและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ งานวิจัยก่อนหน้านี้เน้นไปที่ผลกระทบของช่องว่างอากาศต่าง ๆ ของอุณหภูมิแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนในงานวิจัยนี้ศึกษารูปแบบความร้อนสำหรับแถวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วย 12 แผงวางใกล้กันซึ่งเหมือนกันกับ แบบผลึกรวมซิลิคอน ที่ช่องว่างอากาศ 2.5 นิ้ว ลาดเอียงของหลังคามุม 23° ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองความร้อนสำหรับการจัดลำดับได้มาจากการทดสอบภาคสนามแบบจำลองที่ ASU และถูกนำเสนอในเอกสารฉบับนี้นอกจากนี้ โครงการสำรวจผลของการระบายความร้อนด้วยพัดลมดูดอากาศขนาดเล็ก 40 W พัดลมมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเกี่ยวกับกำลังไฟหรือประสิทธิภาพสำหรับช่องว่างอากาศ 2.5 นิ้ว แต่ให้อุณหภูมิต่ำกว่าเล็กน้อย (อายุการใช้งานสูงขึ้น) และความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่ดีขึ้นตลอดแถวงานวิจัยนี้ดำเนินการบนหลังคาอาคารพักอาศัยแบบจำลองที่ Arizona State University's Photovoltaic Reliability Laboratory in Mesa, Arizona. โครงสร้างถูกสร้างขึ้นสำหรับวัตถุประสงค์ของการจำลองหลังคาที่อยู่อาศัยทั่วไป ทำจากโครงไม้และวัสดุอื่น ๆ ที่ใช้ทั่วไปในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย หันหน้าไปทางใต้และทำมุมที่ 23° จากแนวนอนการติดตั้งแถวประกอบด้วยโพลีซิลิคอนโมดูล 12 ชิ้นที่มีช่องว่างระหว่างอากาศ 2.5 นิ้ว จากหลังคามุมแนวตั้ง 3 แถว แนวนอน 4 แถว ระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 1 นิ้ว และระยะห่างระหว่างแถว

แนวตั้งคือ 1/8 นิ้ว ติดตั้งพัดลม 40 W 210CFM กระแสลมเข้าผ่านท่อกลมอลูมิเนียม สรุปได้ว่า ความเร็วลมและทิศทางมีผลต่ออุณหภูมิ ความเร็วลมต่ำที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิตั้งแต่ 75.7 ถึง 79.9 °C มีความแตกต่าง 4.2 °C และความเร็วลมสูงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิตั้งแต่ 47.4 ถึง 53.4 °C มีความแตกต่าง 6 °C เปรียบเทียบกับการติดตั้งพัดลมโดยเปิดพัดลมเป็นระยะเวลา 7 วัน ผลได้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิลดลง 3 ถึง 4 °C แม้ว่าพัดลมจะไม่มีผลกระทบต่อพลังงานหรือประสิทธิภาพมากนัก แต่มีผลสำคัญต่ออุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

B. Schams and G. Tamizhmani. (2011) ความแตกต่างของช่องว่าง อุณหภูมิได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลกับพลังงานไฟฟ้าและอายุการใช้งาน อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการใช้งาน มีค่าสูงกว่า Standard Test Conditions (STC) ที่กำหนดอุณหภูมิ 25 °C ข้อเสียเปรียบของ BAPV คือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาพภูมิอากาศร้อน เช่น แอริโซนา อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ BAPV สูงไปถึง 95 °C ประสิทธิภาพที่ลดลงมาพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการทำงาน ในงานวิจัยนี้คือเก็บจากหลังคาจำลองที่ ASU-PRL ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2009 ถึง มีนาคม 2010 การติดตั้งบนชั้นดาดฟ้าการทดลองประกอบด้วย 20 แผ่น mono-si และ poly-si โมดูล แนวตั้ง 4 แถวและแนวนอน 5 แถว ถูกติดตั้งบนหลังคาช่องว่างของระยะห่างจาก 0 ที่ แถวล่างและเพิ่มขึ้นตามลำดับเป็นนิ้วแต่ละแถว โดยแถวด้านบนสุดช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว ช่องว่างอากาศหมายถึงระยะห่างระหว่างด้านล่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และด้านบนของหลังคากระเบื้อง ใช้ Thermocouple เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ตามแบบการทดสอบ NOCT ของ IEC 61215 ผลสรุปได้ว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง เมื่อช่องว่างอากาศลดลง แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าช่องว่างอากาศมีผลกระทบเล็กน้อยสำหรับฤดูหนาว และติดตั้ง BAPV โดยไม่มีที่ว่างทำให้การพาความร้อนสูญเสียมากกว่าร้อยละ 6 และการติดตั้งบนหลังคาโดยไม่มีระยะห่าง การนำพาความร้อนอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะที่อัตรา 28% เร็วกว่าการติดตั้งบนหลังคาที่มีช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว เพื่อระบายความร้อนด้วยการพาความร้อน

วดียา เนตรพระ (2560) ศึกษาการเพิ่มอัตราการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในอาคาร สนามกีฬาในร่มปัจจุบันอาคารสนามกีฬาในร่มระดับโรงเรียนของรัฐหรือการแข่งขันระดับสโมสรได้ออกแบบให้มีพื้นที่ช่องเปิดเพียง 9% ของพื้นที่ใช้งานซึ่งต่ำกว่ากฎกระทรวงฉบับที่ 39 หมวด 3 ระบบจัดการแสงสว่างและการระบายอากาศกำหนดไว้ (10% ของพื้นที่ใช้งาน) และเกณฑ์การระบายอากาศยิมเนเซียมจำกัดความเร็วลมภายในอาคารควรรอยู่ที่ 0.1 m/s เนื่องด้วยกระแสลมส่งผลกระทบต่อการแข่งขันหรือซ้อมกีฬาในแต่ละประเภท อีกทั้งเกณฑ์การระบายอากาศสำหรับยิมเนเซียมจะต้องมีอัตราการระบายอากาศในอาคาร 3 ACH ขึ้นไป โดยที่อาคารกรณีศึกษาอัตราการระบายอากาศเพียง 2-2.5 ACH ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์และพบว่ามีสภาวะอากาศนิ่ง การแลกเปลี่ยนอากาศน้อย จึงมีวัตถุประสงค์หารูปแบบการระบายอากาศที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศด้วยความเร็วลม

ที่ 0.1 m/s ในการศึกษาใช้โปรแกรม Design Builder version 3.4 ซึ่งได้รับการทดสอบความแม่นยำในการจำลองของไหลและอุณหภูมิภายในอาคาร โดยเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่วัดในสถานที่จริงและข้อมูลการจำลองจากโปรแกรมโดยแบ่งการทดลองเป็น 2 รูปแบบคือรูปแบบการระบายอากาศแบบ Wind Driven (หลักการเคลื่อนที่ของอากาศจากอิทธิพลของลม) และรูปแบบการระบายอากาศแบบ Combined Ventilation (รวมอิทธิพลของลมและหลักการลอยตัวของอากาศที่อุณหภูมิต่างกัน) ซึ่งกำหนดวันทำการทดลองตามฤดูร้อนฤดูฝนและฤดูหนาว โดยเลือกวันที่ได้รับผลกระทบด้านอุณหภูมิสูงในแต่ละฤดูและกำหนดช่วงเวลาเรียน 8.00-16.00 น. จากนั้นรวบรวมข้อมูลอัตราการระบายอากาศและนำมาเปรียบเทียบทั้ง 2 รูปแบบการระบายอากาศ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมต่ออาคารกีฬาในร่มพบว่า การระบายอากาศที่ใช้ความแตกต่างของแรงดันอากาศร่วมกับความแตกต่างของอุณหภูมิ (Combined Ventilation) มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบการระบายอากาศที่พัดผ่านตลอดเพียงอย่างเดียว (Wind Driven) โดยพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศจากเดิม 2.5 ACH เพิ่มเป็น 3.19 ACH โดยที่ความเร็วลมอยู่ที่ 0.12 m/s อย่างไรก็ตามสามารถนำงานวิจัยนี้ไปปรับใช้กับอาคารสนามกีฬาในร่มและอาคารช่วงพาดยาวได้

จารุณี เข้มพิลา (2554) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มรังสีอาทิตย์ ความกว้างของช่องระบายอากาศและขนาดของช่องเปิดอากาศทั้งขาเข้าและออกจากผนังอาคารสองชั้นที่มีต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศโดยใช้เทคนิคคำนวณพลศาสตร์ของไหลผนังอาคารสองชั้นที่ทำการศึกษาที่มีช่องเปิดอากาศขาเข้าอยู่ที่ด้านบนและขาออกอยู่ที่ด้านล่างของผนังอาคารชั้นในโดยกำหนดให้ผนังชั้นในมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับอุณหภูมิห้องส่วนผนังชั้นนอกกำหนดให้ได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์ในปริมาณที่สม่ำเสมอซึ่งเมื่ออากาศที่ไหลเข้าทางช่องเปิดด้านล่างได้รับปริมาณพลังความร้อนจากการนำผ่านผนังอาคารชั้นนอกจะส่งผลให้อากาศลอยตัวสูงขึ้นออกทางช่องเปิดด้านบนจากการศึกษาพบว่าความเร็วและอุณหภูมิของอากาศภายในช่องระบายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีอาทิตย์แต่ความเร็วอากาศที่ขอบผนังมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากความฝืดของผนังอาคารและความหนืดของอากาศอีกทั้งการเพิ่มขนาดของช่องระบายอากาศส่งผลต่อการลดลงของค่าความเร็วอากาศเป็นอย่างมากเนื่องจากแรงลอยตัวมีค่าต่ำลง และการเพิ่มขนาดของช่องเปิดอากาศที่ผนังชั้นในส่งผลให้ค่าความเร็วอากาศสูงขึ้นแต่อุณหภูมิอากาศมีค่าลดลงเนื่องจากอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศมีค่าสูงขึ้นการวิจัยในหัวข้อนี้ต้องการศึกษาผลกระทบจากปริมาณพลังความร้อนที่ผนังอาคารที่มีต่อลักษณะการกระจายตัวของความเร็วและอุณหภูมิอากาศโดยทำการจำลองการไหลของอากาศผ่านช่องระบายอากาศเมื่อปริมาณพลังความร้อนที่ผนังมีค่า 100 และ 700 W/m² เมื่อช่องระบายอากาศกว้าง 0.05 m ช่องเปิดอากาศขาเข้าและออกมีขนาด 0.05 m จากการศึกษาพบว่า ความเร็วและอุณหภูมิของอาคาร ณ จุดต่าง ๆ ภายในช่องระบายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีอาทิตย์ เนื่องจากได้รับปริมาณพลังความร้อนที่เพิ่มขึ้นในขณะที่

ปริมาตรควบคุม (ช่องระบายอากาศ) มีค่าเท่าเดิม ตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน อุณหภูมิอากาศภายในช่องระบายอากาศจึงมีค่าสูงขึ้น ทำให้ความหนาแน่นอากาศมีค่าลดลงและด้วยแรงลอยตัวที่เพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลให้ความเร็วอากาศมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ความเร็วอากาศที่ขอบผนังมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความเสียดทานของผนังอาคาร การเพิ่มขนาดช่องระบายอากาศส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิและความเร็วอากาศ เนื่องจากการเพิ่มปริมาตรควบคุม ในขณะที่ได้รับพลังความร้อนเท่าเดิม อีกทั้งส่งผลให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของการกระจายตัวของความเร็วอากาศจากที่ช่องระบายอากาศที่กว้างมากขึ้น ทำให้อากาศเกิดการไหลย้อนกลับใกล้กับผนังชั้นใน

ชญ์ภูริ ลังกาดี และอรุณกร อาสนคำ (2559) งานวิจัยนี้จะศึกษาสมรรถนะของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยในการศึกษาใช้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ขนาด $0.99 \text{ m} \times 1.96 \text{ m}$ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 250 W ตามมาตรฐานการทดสอบสากลแต่ในสภาวะการทำงานจริงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิของโมดูลสูงขึ้นการศึกษาค้นคว้านี้จะพิจารณาในกรณีที่มีและไม่มีการระบายความร้อนที่บริเวณด้านหลังของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาจากการทดสอบพบว่า การเป่าอากาศระบายความร้อนได้โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจาก 187.9 W เป็น 220.95 W หรือเพิ่มขึ้น 17.59% ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ $1,000 \text{ W/m}^2$ และยังได้พัฒนาโมเดลเพื่อนำไปใช้ประเมินปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดทั้งปีของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพอากาศของจังหวัดเชียงใหม่ ในกรณีที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการระบายความร้อนปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่า 229.41 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และในกรณีที่โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์การระบายความร้อนโดยกรณีใช้งานพัฒนาผลระบายอากาศตลอดในช่วงเวลา $09.00-16.00 \text{ น.}$ มีค่าเท่ากับ 243.32 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ และกรณีเปิดพัดลมเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่ามากกว่า 950 W/m^2 มีค่าเท่ากับ 234.64 kWh/y ต่อ 1 โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการระบายความร้อนจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดีกว่าโมดูลแบบปกติ

ศิริวรรณ โรโห (2018) ศึกษาผลกระทบของความเร็วลมที่มีผลต่ออาคาร ที่อาคารเรียนรวม 35 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา โดยใช้โปรแกรมคำนวณ พลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic : CFD) ทำการจำลองสถานการณ์ 2 ลักษณะในทิศทางลมเข้าปะทะอาคาร ได้แก่ กรณีพื้นที่ด้านอาคารเป็นพื้นที่โล่ง มีสิ่งกีดขวางน้อย กับกรณีพื้นที่ด้านหน้าอาคารมีสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากความเร็วลม ผลการศึกษาพบว่า กรณีทิศทางที่ลมเข้าปะทะอาคารเป็นพื้นที่โล่ง ค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นภายในอาคารมีค่า ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 52.7 ของความเร็วลมภายนอก สามารถคาดการณ์ได้ว่าอัตราความเสียหายจากความเร็วมที่กระทำต่ออาคารอาจมีผลกระทบเพิ่มสูงขึ้นด้วย และกรณีที่ทิศทางลมเข้า

ปะทะอาคาร มีอาคารหรือสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ พบว่าค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ลดลงร้อยละ 36.6 ของความเร็วลมเฉลี่ยในอาคารจากกรณีที่เป็นพื้นที่โล่งแต่ในช่วงความเร็วลมจากบรรยากาศภายนอกเป็นลมสงบ ก็ส่งผลให้ลมที่จะเข้ามาในอาคารมีความเร็วลมน้อยลงด้วย กล่าวคือ อาคารที่สามารถนำกระแสลมเข้ามาในอาคารได้มาก อัตราความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายของอาคารเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราความเร็วลมในช่วงที่เกิดความแปรปรวนของสภาพอากาศ



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยการศึกษาระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิใต้แผงและความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เมื่อแผงรับแสงแดดก็เกิดความร้อนและอุณหภูมิที่แผงสูง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคารโดยส่วนใหญ่ติดตั้งบนหลังคาโดยมีระยะตามขนาดของโครงสร้างที่รับแผง ซึ่งค่อนข้างมีระยะห่างน้อย ทำให้การระบายอากาศได้ไม่ได้และเป็นการสะสมความร้อน ที่อาจทำให้แผงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย มีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการของงานวิจัยแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) ศึกษา ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การระบายอากาศ
- 2) ศึกษาข้อมูล การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า Solar Roof ที่ โรงงานของบริษัทแพนดอรา โพรดักชั่น จำกัด จังหวัดลำพูน
- 3) ศึกษาข้อมูล ระยะห่างที่จะทำการยกขึ้นเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ลดลง
- 4) ออกแบบอุปกรณ์ การยึดแน่นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยกแผงขึ้น
- 5) ทำการเก็บข้อมูล เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับทำการศึกษาวิจัยโดยเก็บข้อมูล ที่ระยะห่าง 20, 25 และ 30 cm
 - 5.1) ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์
 - 5.2) ข้อมูลอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์
 - 5.3) ข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อม
- 6) ทดลองวิธีการที่น่าเสนอ วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองและสรุปผลการทดลอง
- 7) เสนอแนวทางการพัฒนา

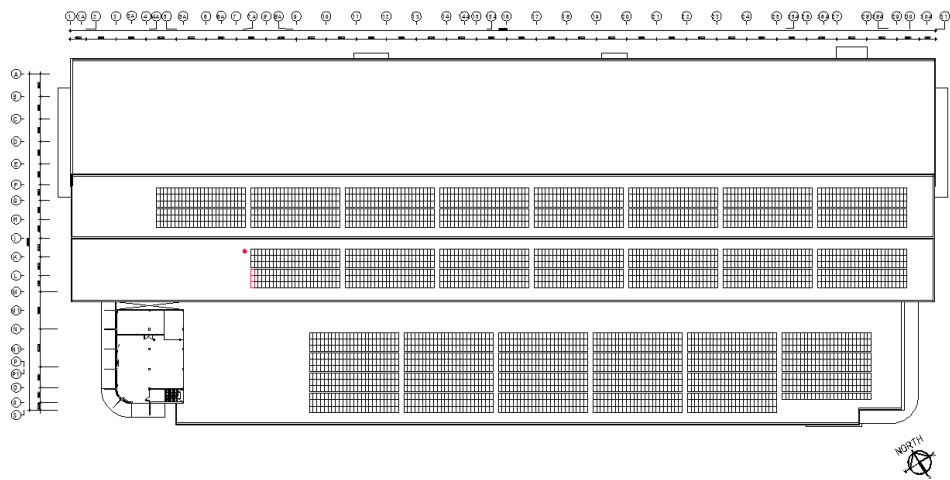
ในส่วนของการกำหนดระยะห่างของการยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ประเมินจากงานวิจัยของ J. Oh and G. TamizhMani (2011) ศึกษาของ INSTALLED-NOCT และค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ ที่ติดตั้ง ใช้งานมาแล้ว 1 ปี Building Applied Photovoltaics (BAPV) กำหนดช่องว่างอากาศที่แตกต่างกัน 0, 1, 2, 3 และ 4 นิ้ว สรุปได้ว่า ติดตั้ง INOCT แบบ BAPV ที่ช่องว่างสูง 3 นิ้ว มีอุณหภูมิสูงกว่า ติดตั้ง NOCT แบบ Open-rack ประมาณ 2 องศาเซลเซียส J. Hrica et al. (2011) แบบจำลองความร้อนและลดความร้อนจากการใช้พัดลมติดตั้งแถวประกอบด้วยโพลีซิลิคอนโมดูล 12 ชิ้นที่มีช่องว่างระหว่างอากาศ 2.5 นิ้ว จากหลังคามีแนวตั้ง 3 แถวแนวนอน 4 แถว ระยะห่างระหว่าง

แถวประมาณ 1 นิ้ว และระยะห่างระหว่างแถวแนวตั้งคือ 1/8 นิ้ว ติดตั้งพัดลม 40 W 210CFM กระแสลมเข้าผ่านท่อกลมอลูมิเนียมสรุปได้ว่า ความเร็วลมและทิศทางมีผลต่ออุณหภูมิ ความเร็วลมต่ำที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิแตกต่าง 4.2 °C และความเร็วมสูงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิแตกต่าง 6 °C เปรียบเทียบกับการติดตั้งพัดลมโดยเปิดพัดลมเป็นระยะเวลา 7 วัน ผลได้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิลดลง 3 ถึง 4 องศาเซลเซียส B. Schams and G. Tamizhmani (2011) ความแตกต่างของช่องว่าง อุณหภูมิได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลกับพลังงานไฟฟ้าและอายุการใช้งานทำการทดลองประกอบด้วย 20 แผ่น mono-si และ poly-si โมดูล แนวตั้ง 4 แถวและแนวนอน 5 แถว ถูกติดตั้งบนหลังคาช่องว่างของระยะห่างจาก 0 ที่แถวล่างและเพิ่มขึ้นตามลำดับเป็นนิ้วแต่ละแถว โดยแถวด้านบนสุดช่องว่างอากาศ 4 นิ้ว ผลสรุปได้ว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง เมื่อช่องว่างอากาศลดลง จารุณี เข็มพิลา (2554) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มรังสีอาทิตย์ความกว้างของช่องระบายอากาศและขนาดของช่องเปิดอาคารทั้งขาเข้าและออกจากผนังอาคารสองชั้นเมื่ออากาศที่ไหลเข้าทางช่องเปิดด้านล่างได้รับปริมาณพลังความร้อนจากการนำผ่านผนังอาคารชั้นนอกจะส่งผลให้อากาศลอยตัวสูงขึ้นออกทางช่องเปิดด้านบนจากการศึกษาพบว่าความเร็วและอุณหภูมิของอากาศภายในช่องระบายอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีอาทิตย์การเพิ่มขนาดช่องระบายอากาศส่งผลต่อการลดลงของอุณหภูมิและความเร็วอากาศจะเห็นได้ว่าการเพิ่มการระบายอากาศมีผลต่ออุณหภูมิที่ลดลง จึงกำหนดระยะห่างเพิ่มขึ้น 2 ระดับจากเดิม ระดับละ 5 cm โดยระดับเดิมคือ 20 cm เพิ่มขึ้นเป็นระดับ 25 cm และ 30 cm ตามลำดับ เพื่อให้มีความแตกต่างของการทดลอง

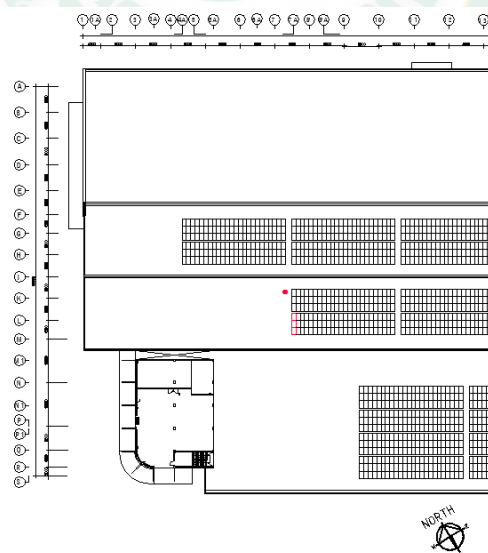
จากที่ได้กำหนดระดับการยกแผงแล้ว ทำการสำรวจแผงที่มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิได้แผงรวมถึงแผงที่เหมาะสม และสำรวจการติดตั้งเพื่อทำการออกแบบอุปกรณ์การยกแผงที่สะดวก ใช้เวลาน้อยในการปรับยกและแข็งแรงเพียงพอในช่วงทำการทดลอง ได้พิจารณาเลือกการยกแผงขึ้น 3 แผง ดังภาพที่ 47 ในแนวตั้งเดียวกันเพื่อให้ทิศทางการไหลของลม มีความต่อเนื่อง ไม่มีการขวางทางลม โดยทำการทดลองกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly Crystalline Silicon ยี่ห้อ REC รุ่น REC PEAK ENERGY SERIES PRODUCT CODE REC260PE ที่ติดตั้งบนหลังคาทรงจั่ว วัสดุผนังหลังคาชนิดเหล็กแผ่นเคลือบอะลูมิเนียมสังกะสีความลาดเอียงหลังคา 3° ณ หลังคาโรงงาน ในสวนอุตสาหกรรมลำพูน (18°32'48.5"N 99°00'32.2"E)

ตารางที่ 8 อุปกรณ์วัดสภาพอากาศและอุณหภูมิแผง

อุปกรณ์	จำนวนติดตั้ง
ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ วัดในระดับ 3° ทำมุมกับพื้นราบ (มุมเดียวกับแผงและหลังคา)	1 จุด
อุณหภูมิโดยรอบ (Ambient Temperature)	1 จุด
ค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Module Temperature)	1 จุด



(ก) แผงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดลอง



(ข) แบบขยายตำแหน่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดลอง

ภาพที่ 47 แผงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดลอง
(ภาพจากบริษัทแพนดอรา โพรดักชั่น จำกัด จังหวัดลำพูน)



ภาพที่ 48 ตำแหน่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดลอง
(ภาพจากบริษัทแพนดอรา โพรดักชั่น จำกัด จังหวัดลำพูน)



ภาพที่ 49 เครื่องมือวัดรังสีรวมของความเข้มแสงอาทิตย์ ไพรานอมิเตอร์ (PYRANOMETER)

หลังจากสำรวจได้จัดทำอุปกรณ์พิเศษเพื่อยกแผงเป็นลักษณะการหนีบแผ่นและปรับขึ้นด้วย
นอตเกลียวยาว ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 อุปกรณ์พิเศษเพื่อยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการเตรียมอุปกรณ์ ได้ทดลองการประกอบ และถอดชุดอุปกรณ์ยึดดั้งเดิมออก เพื่อหาอุปสรรค ประเมินวิธีการ ลำดับการทำงาน เพื่อป้องกันไม่ไห้ระบบและแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการชำรุดเสียหาย เมื่อเตรียมการพร้อมแล้ว จึงทำการทดลองโดยที่

ระยะ 20 cm เก็บข้อมูลของการยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 27 ถึง 29 ตุลาคม 2561 และหลังเวลา 18.00 น. ของวันที่ 29 ตุลาคม 2561 ได้ทำการปรับ ยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปที่ระยะ 25 cm ดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 การยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ระยะ 20 cm

ระยะ 25 เซนติเมตรเก็บข้อมูลของการยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 30 ตุลาคม ถึง 1 พฤศจิกายน 2561 และหลังเวลา 18.00 น. ของวันที่ 1 พฤศจิกายน 2561 ได้ทำการปรับ ยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปที่ระยะ 30 cm ดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 การยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ระยะ 25 cm

ระยะ 30 cm เก็บข้อมูลของการยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ วันที่ 2 ถึง 4 พฤศจิกายน 2561
ดั่งภาพที่ 53



ภาพที่ 53 การยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ระยะ 30 cm



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย การศึกษาระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิใต้แผงและความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา ผู้วิจัยนำข้อมูลอุณหภูมิใต้แผง อุณหภูมิแวดล้อม ความเข้มแสงอาทิตย์ ทั้ง 3 ระยะ มาคำนวณกำลังไฟฟ้า ตามสมการที่ 41 ดังนี้ (T. Huld and G. Amillo, 2015)

$$P(G', T') = G' P_{STC} (1 + k_1 \ln(G') + k_2 (\ln(G'))^2 + k_3 T' + k_4 T' \ln(G') + k_5 T' (\ln(G'))^2 + k_6 T'^2) \quad \text{สมการที่ 41}$$

$$G' = G/1,000 \text{ W.m}^2$$

$$T' = T_{mod} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

โดยที่ $k_1 = -0.017237$

$$k_2 = -0.040465$$

$$k_3 = -0.004702$$

$$k_4 = 0.000149$$

$$k_5 = 0.000170$$

$$k_6 = 0.000005$$

ในการคำนวณกำลังไฟฟ้า ได้คำนวณทุก ๆ 1 นาที ตามที่ได้เก็บข้อมูล ทั้งนี้ขอเสนอการคำนวณบางส่วน ช่วงเวลา 6:00 น. ถึง 7:00 น. และ ช่วงเวลา 17:00 น. ถึง 18:00 น. ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การคำนวณกำลังไฟฟ้าของระยะ 20, 25 และ 30 cm

เวลา	ระยะ 20 cm		ระยะ 25 cm		ระยะ 30 cm		P(G', T') กำลังไฟฟ้า (W)		
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		ระยะ 20	ระยะ 25	ระยะ 30
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	cm	cm	cm
6:00 น.		-4.0000		-5.4000		-9.4000	29/10/18	1/11/18	2/11/18
6:01 น.		-4.0000		-5.4000		-9.3000			
6:02 น.		-3.9000		-5.4000		-9.3000			

เวลา	ระยะ 20 cm		ระยะ 25 cm		ระยะ 30 cm		$P(G',T')$ กำลังไฟฟ้า (W)		
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		ระยะ 20	ระยะ 25	ระยะ 30
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	cm	cm	cm
6:03 น.		-3.9000		-5.4000		-9.4000			
6:04 น.		-3.9000		-5.4000		-9.4000			
6:05 น.		-3.9000		-5.4000		-9.5000			
6:06 น.		-3.8000		-5.4000		-9.6000			
6:07 น.		-3.8000		-5.4000		-9.7000			
6:08 น.		-3.8000		-5.4000		-9.7000			
6:09 น.		-3.8000		-5.5000		-9.7000			
6:10 น.		-3.8000		-5.4000		-9.6000			
6:11 น.		-3.7000		-5.4000		-9.5000			
6:12 น.		-3.7000		-5.4000		-9.5000			
6:13 น.		-3.6000		-5.3000		-9.4000			
6:14 น.		-3.5000		-5.2000		-9.4000			
6:15 น.		-3.5000		-5.2000		-9.5000			
6:16 น.		-3.5000		-5.1000		-9.5000			
6:17 น.		-3.5000		-5.1000		-9.5000			
6:18 น.		-3.5000		-5.1000		-9.4000			
6:19 น.		-3.5000		-5.0000		-9.4000			
6:20 น.		-3.5000		-5.0000	0.0010	-9.4000			
6:21 น.	0.0010	-3.5000		-5.0000	0.0010	-9.3000			
6:22 น.	0.0010	-3.5000	0.0010	-5.1000	0.0020	-9.2000			
6:23 น.	0.0020	-3.5000	0.0020	-5.1000	0.0030	-9.0000			
6:24 น.	0.0020	-3.6000	0.0020	-5.1000	0.0030	-9.0000			
6:25 น.	0.0030	-3.6000	0.0030	-5.2000	0.0040	-8.9000			
6:26 น.	0.0030	-3.6000	0.0030	-5.2000	0.0050	-8.9000			
6:27 น.	0.0040	-3.6000	0.0040	-5.2000	0.0050	-8.8000			
6:28 น.	0.0050	-3.6000	0.0050	-5.2000	0.0060	-8.8000			0.0624
6:29 น.	0.0050	-3.7000	0.0060	-5.2000	0.0060	-8.8000		0.0562	0.0624
6:30 น.	0.0060	-3.7000	0.0070	-5.2000	0.0070	-8.7000	0.0537	0.1778	0.1863
6:31 น.	0.0070	-3.7000	0.0070	-5.2000	0.0080	-8.8000	0.1742	0.1778	0.3224
6:32 น.	0.0080	-3.8000	0.0090	-5.2000	0.0090	-8.9000	0.3065	0.4538	0.4687
6:33 น.	0.0090	-3.8000	0.0100	-5.2000	0.0100	-8.9000	0.4483	0.6050	0.6230
6:34 น.	0.0100	-3.8000	0.0110	-5.2000	0.0120	-8.9000	0.5983	0.7637	0.9531
6:35 น.	0.0110	-3.7000	0.0130	-5.1000	0.0140	-8.9000	0.7552	1.0988	1.3068
6:36 น.	0.0130	-3.7000	0.0140	-5.1000	0.0151	-8.9000	1.0884	1.2747	1.4911

เวลา	ระยะ 20 cm		ระยะ 25 cm		ระยะ 30 cm		$P(G',T')$ กำลังไฟฟ้า (W)		
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		ระยะ 20	ระยะ 25	ระยะ 30
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	cm	cm	cm
6:37 น.	0.0151	-3.6000	0.0151	-5.0000	0.0161	-8.8000	1.4414	1.4544	1.6786
6:38 น.	0.0171	-3.5000	0.0171	-5.0000	0.0181	-8.8000	1.8111	1.8280	2.0672
6:39 น.	0.0191	-3.6000	0.0191	-5.0000	0.0201	-8.7000	2.1975	2.2161	2.4680
6:40 น.	0.0201	-3.6000	0.0201	-5.0000	0.0221	-8.7000	2.3949	2.4148	2.8819
6:41 น.	0.0221	-3.5000	0.0221	-4.9000	0.0241	-8.6000	2.7965	2.8193	3.3042
6:42 น.	0.0261	-3.4000	0.0241	-4.9000	0.0261	-8.6000	3.6301	3.2355	3.7375
6:43 น.	0.0291	-3.4000	0.0271	-4.8000	0.0271	-8.5000	4.2778	3.8743	3.9549
6:44 น.	0.0311	-3.2000	0.0291	-4.8000	0.0291	-8.4000	4.7132	4.3111	4.3974
6:45 น.	0.0331	-3.1000	0.0331	-4.7000	0.0301	-8.3000	5.1567	5.2018	4.6199
6:46 น.	0.0351	-3.0000	0.0351	-4.6000	0.0321	-8.2000	5.6055	5.6542	5.0719
6:47 น.	0.0381	-2.9000	0.0381	-4.6000	0.0341	-8.1000	6.2893	6.3468	5.5294
6:48 น.	0.0411	-2.8000	0.0421	-4.5000	0.0361	-8.0000	6.9826	7.2824	5.9920
6:49 น.	0.0432	-2.7000	0.0462	-4.4000	0.0381	-7.9000	7.4484	8.2331	6.4593
6:50 น.	0.0462	-2.6000	0.0411	-4.4000	0.0401	-7.9000	8.1556	7.0422	6.9345
6:51 น.	0.0492	-2.4000	0.0411	-4.4000	0.0421	-7.8000	8.8650	7.0422	7.4101
6:52 น.	0.0522	-2.3000	0.0391	-4.4000	0.0452	-7.8000	9.5852	6.5729	8.1364
6:53 น.	0.0552	-2.2000	0.0371	-4.3000	0.0482	-7.8000	10.3112	6.1048	8.8712
6:54 น.	0.0582	-2.1000	0.0462	-4.3000	0.0522	-7.8000	11.0421	8.2288	9.8621
6:55 น.	0.0612	-2.1000	0.0612	-4.3000	0.0552	-7.9000	11.7840	11.9179	10.6186
6:56 น.	0.0642	-2.0000	0.0472	-4.3000	0.0592	-7.9000	12.5241	8.4694	11.6295
6:57 น.	0.0672	-2.0000	0.0672	-4.2000	0.0632	-7.9000	13.2752	13.4251	12.6500
6:58 น.	0.0692	-2.0000	0.0692	-4.2000	0.0682	-7.8000	13.7782	13.9334	13.9303
6:59 น.	0.0733	-1.9000	0.0733	-4.1000	0.0723	-7.7000	14.7820	14.9479	14.9609
7:00 น.	0.0753	-1.9000	0.0733	-4.1000	0.0763	-7.6000	15.2899	14.9479	15.9975
17:00 น.	0.1214	12.9000	0.1254	9.4000	0.1164	7.3000	25.3301	26.7967	24.7955
17:01 น.	0.1184	12.7000	0.1224	9.2000	0.1144	7.2000	24.6136	26.0668	24.3011
17:02 น.	0.1144	12.5000	0.1184	9.0000	0.1104	7.0000	23.6504	25.0850	23.3129
17:03 น.	0.1104	12.3000	0.1144	8.8000	0.1084	6.9000	22.6879	24.1038	22.8191
17:04 น.	0.1064	12.2000	0.1104	8.7000	0.1044	6.6000	21.7152	23.1115	21.8436
17:05 น.	0.1034	11.9000	0.1064	8.5000	0.1014	6.3000	21.0117	22.1326	21.1205
17:06 น.	0.0993	11.7000	0.1024	8.3000	0.0983	6.0000	20.0520	21.1549	20.3968
17:07 น.	0.0943	11.3000	0.0983	8.1000	0.0943	5.8000	18.8699	20.1787	19.4122
17:08 น.	0.0913	11.0000	0.0943	8.0000	0.0923	5.5000	18.1667	19.1944	18.9400

เวลา	ระยะ 20 cm		ระยะ 25 cm		ระยะ 30 cm		$P(G',T')$ กำลังไฟฟ้า (W)		
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		ระยะ 20	ระยะ 25	ระยะ 30
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	cm	cm	cm
17:09 น.	0.0883	10.8000	0.0913	7.8000	0.0883	5.3000	17.4549	18.4699	17.9577
17:10 น.	0.0853	10.4000	0.0873	7.6000	0.0853	5.0000	16.7614	17.4995	17.2358
17:11 น.	0.0823	10.1000	0.0833	7.4000	0.0823	4.7000	16.0595	16.5319	16.5147
17:12 น.	0.0783	9.8000	0.0783	7.4000	0.0783	4.5000	15.1169	15.3070	15.5383
17:13 น.	0.0702	9.5000	0.0743	7.1000	0.0743	4.3000	13.2193	14.3555	14.5654
17:14 น.	0.0472	9.3000	0.0723	6.9000	0.0713	4.1000	7.8780	13.8847	13.8424
17:15 น.	0.0271	9.1000	0.0592	6.7000	0.0682	3.9000	3.5801	10.7820	13.1215
17:16 น.	0.0251	8.9000	0.0371	6.6000	0.0562	3.7000	3.1841	5.7536	10.2358
17:17 น.	0.0241	8.7000	0.0241	6.3000	0.0371	3.5000	2.9904	3.0328	5.8524
17:18 น.	0.0231	8.4000	0.0221	6.1000	0.0281	3.3000	2.8003	2.6430	3.9101
17:19 น.	0.0221	8.3000	0.0211	5.8000	0.0261	3.1000	2.6086	2.4545	3.4984
17:20 น.	0.0211	8.1000	0.0211	5.7000	0.0251	3.0000	2.4207	2.4559	3.2950
17:21 น.	0.0201	7.9000	0.0201	5.5000	0.0241	2.8000	2.2349	2.2677	3.0953
17:22 น.	0.0191	7.8000	0.0191	5.3000	0.0231	2.7000	2.0503	2.0820	2.8959
17:23 น.	0.0181	7.6000	0.0181	5.1000	0.0221	2.5000	1.8695	1.8988	2.7000
17:24 น.	0.0171	7.5000	0.0171	4.9000	0.0201	2.3000	1.6906	1.7186	2.3119
17:25 น.	0.0161	7.2000	0.0161	4.7000	0.0191	2.2000	1.5167	1.5413	2.1218
17:26 น.	0.0140	7.0000	0.0151	4.5000	0.0181	2.0000	1.1759	1.3676	1.9356
17:27 น.	0.0130	6.9000	0.0140	4.3000	0.0171	1.8000	1.0118	1.1974	1.7524
17:28 น.	0.0130	6.8000	0.0130	4.2000	0.0161	1.7000	1.0125	1.0309	1.5711
17:29 น.	0.0120	6.6000	0.0120	4.0000	0.0151	1.5000	0.8535	0.8697	1.3946
17:30 น.	0.0110	6.4000	0.0110	3.7000	0.0140	1.4000	0.6999	0.7144	1.2209
17:31 น.	0.0100	6.3000	0.0110	3.5000	0.0130	1.3000	0.5515	0.7155	1.0518
17:32 น.	0.0090	6.1000	0.0100	3.4000	0.0120	1.1000	0.4105	0.5647	0.8880
17:33 น.	0.0070	6.0000	0.0080	3.2000	0.0110	1.0000	0.1521	0.2850	0.7291
17:34 น.	0.0060	5.9000	0.0070	3.0000	0.0100	0.8000	0.0385	0.1587	0.5767
17:35 น.	0.0060	5.8000	0.0060	2.9000	0.0090	0.7000	0.0387	0.0431	0.4308
17:36 น.	0.0050	5.7000	0.0050	2.7000	0.0080	0.5000			0.2932
17:37 น.	0.0040	5.5000	0.0040	2.6000	0.0070	0.4000			0.1647
17:38 น.	0.0030	5.5000	0.0030	2.4000	0.0060	0.3000			0.0472
17:39 น.	0.0020	5.3000	0.0020	2.3000	0.0050	0.1000			
17:40 น.	0.0010	5.2000	0.0020	2.1000	0.0040	0.0000			
17:41 น.	0.0000	5.1000	0.0010	2.0000	0.0030	-0.2000			
17:42 น.	0.0000	5.0000	0.0000	1.8000	0.0020	-0.3000			

เวลา	ระยะ 20 cm		ระยะ 25 cm		ระยะ 30 cm		P(G',T') กำลังไฟฟ้า (W)		
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		ระยะ 20	ระยะ 25	ระยะ 30
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	cm	cm	cm
17:43 น.	0.0000	4.8000	0.0000	1.6000	0.0010	-0.5000			
17:44 น.	0.0000	4.7000	0.0000	1.5000	0.0000	-0.6000			
17:45 น.	0.0000	4.6000	0.0000	1.3000	0.0000	-0.8000			
17:46 น.	0.0000	4.5000	0.0000	1.2000	0.0000	-0.9000			
17:47 น.	0.0000	4.4000	0.0000	1.1000	0.0000	-1.0000			
17:48 น.	0.0000	4.3000	0.0000	0.9000	0.0000	-1.1000			
17:49 น.	0.0000	4.2000	0.0000	0.8000	0.0000	-1.1000			
17:50 น.	0.0000	4.1000	0.0000	0.7000	0.0000	-1.3000			
17:51 น.	0.0000	4.0000	0.0000	0.5000	0.0000	-1.4000			
17:52 น.	0.0000	3.8000	0.0000	0.4000	0.0000	-1.4000			
17:53 น.	0.0000	3.7000	0.0000	0.3000	0.0000	-1.6000			
17:54 น.	0.0000	3.6000	0.0000	0.2000	0.0000	-1.7000			
17:55 น.	0.0000	3.5000	0.0000	0.1000	0.0000	-1.8000			
17:56 น.	3.4000	0.0000	0.0000	0.0000		-1.9000			
17:57 น.	3.2000	0.0000	-0.1000	0.0000		-1.9000			
17:58 น.	3.1000	0.0000	-0.1000	0.0000		-2.0000			
17:59 น.	3.0000	0.0000	-0.3000	0.0000		-2.1000			
18:00 น.	2.9000	0.0000	-0.4000	0.0000		-2.2000			
รวมกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น (W)							83,485.94	86,195.74	86,828.11
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น								3.25%	4.00%

จากที่ได้ทำการคำนวณเรียบร้อยแล้ว ผลลัพธ์ดังนี้

กำลังไฟฟ้า ที่ระยะ 20 cm ผลิตได้ 83,485.94 W

กำลังไฟฟ้า ที่ระยะ 25 cm ผลิตได้ 86,195.74 W

กำลังไฟฟ้า ที่ระยะ 30 cm ผลิตได้ 86,828.11 W

เมื่อทำการเปรียบเทียบ จำนวนเปอร์เซ็นต์กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับระยะ 20 cm ผลลัพธ์ดังนี้

กำลังไฟฟ้า ที่ระยะ 25 cm เปรียบเทียบกับระยะ 20 cm

$(86,195.74 / 83,485.94) \times 100\% = 103.25\%$

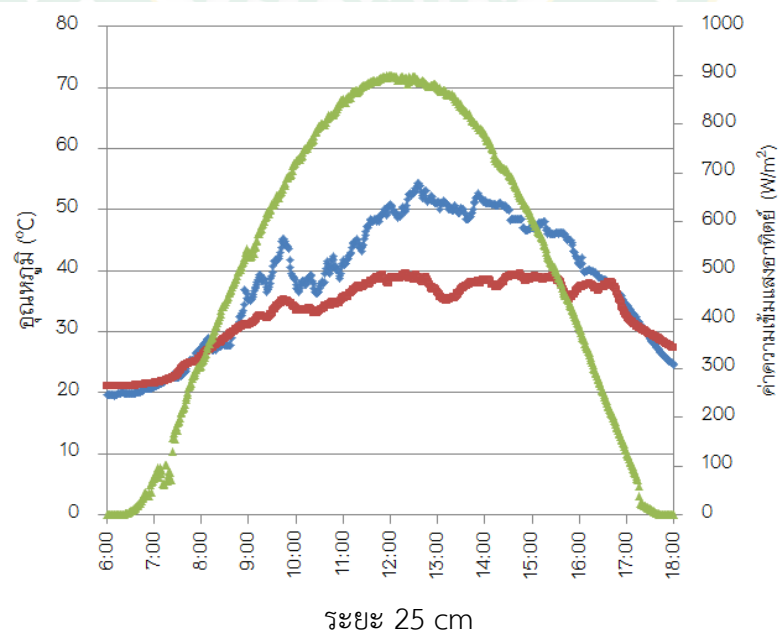
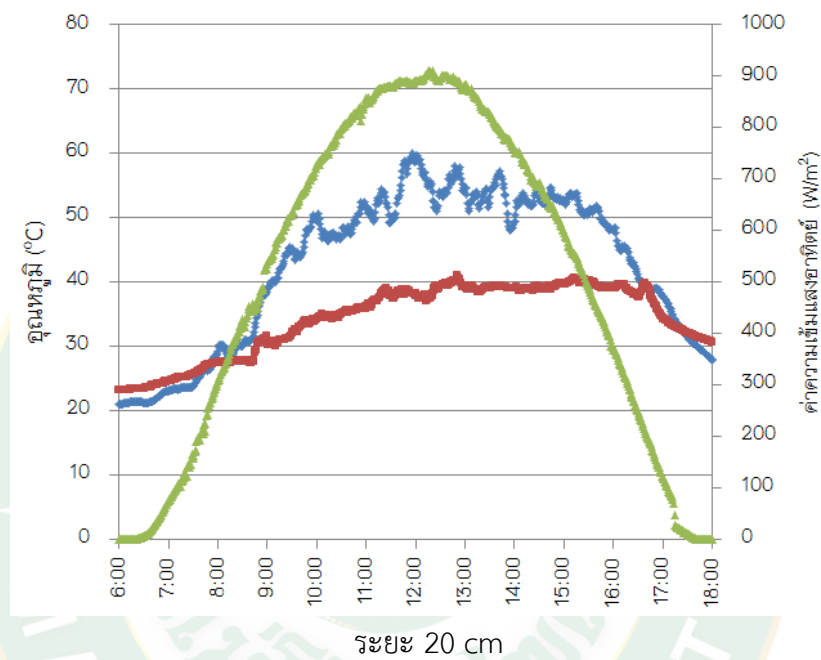
เพิ่มขึ้น 3.25%

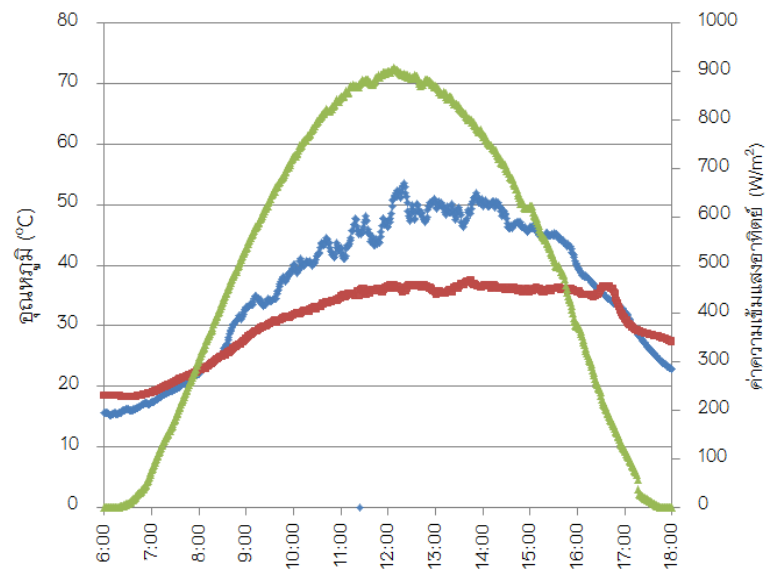
กำลังไฟฟ้า ที่ระยะ 30 cm เปรียบเทียบกับระยะ 20 cm

$$(86,828.11 / 83,485.94) \times 100\% = 104.00\%$$

เพิ่มขึ้น 4.00%

ได้นำค่าข้อมูลอุณหภูมิได้แกง อุณหภูมิแวดล้อม ความเข้มแสงอาทิตย์ มาสร้างกราฟ โดยแยกแสดงผลที่ ระยะ 20, 25 และ 30 cm ตามลำดับ ดังภาพที่ 54



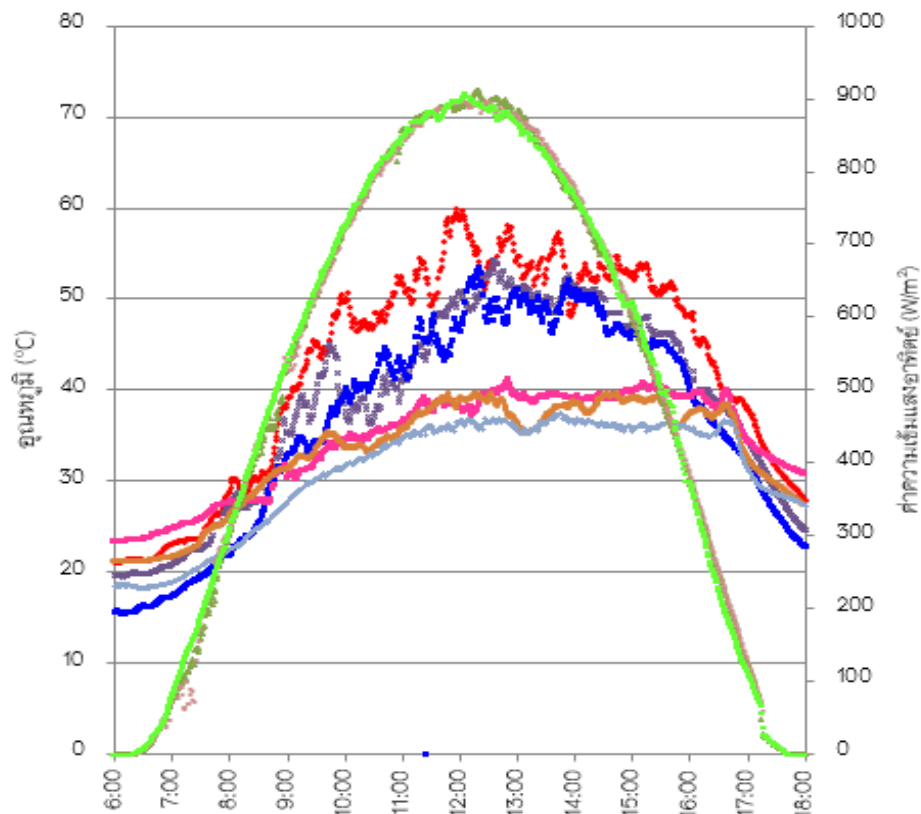


ระยะ 30 cm

- อุณหภูมิใต้แผง (°C)
- อุณหภูมิแวลด้อม (°C)
- ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²)

ภาพที่ 54 ผลอุณหภูมิใต้แผง อุณหภูมิแวลด้อม ความเข้มแสงอาทิตย์

และได้ทำการสร้างกราฟ รวมผลทั้ง 3 ระยะ ที่แสดงผลอุณหภูมิใต้แผง อุณหภูมิแวลด้อม ความเข้มแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 55



- อุณหภูมิได้แสง (°C) ระยะ 20 cm
- อุณหภูมิได้แสง (°C) ระยะ 25 cm
- อุณหภูมิได้แสง (°C) ระยะ 30 cm
- อุณหภูมิแวดล้อม (°C) ระยะ 20 cm
- อุณหภูมิแวดล้อม (°C) ระยะ 25 cm
- อุณหภูมิแวดล้อม (°C) ระยะ 30 cm
- ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²) ระยะ 20 cm
- ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²) ระยะ 25 cm
- ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m²) ระยะ 30 cm

ภาพที่ 55 ผลอุณหภูมิได้แสง อุณหภูมิแวดล้อม ความเข้มแสงอาทิตย์ ทั้ง 3 ระยะ

การยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ระบายอากาศได้แสง สามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แสดงผลตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของพื้นที่ระบายอากาศ

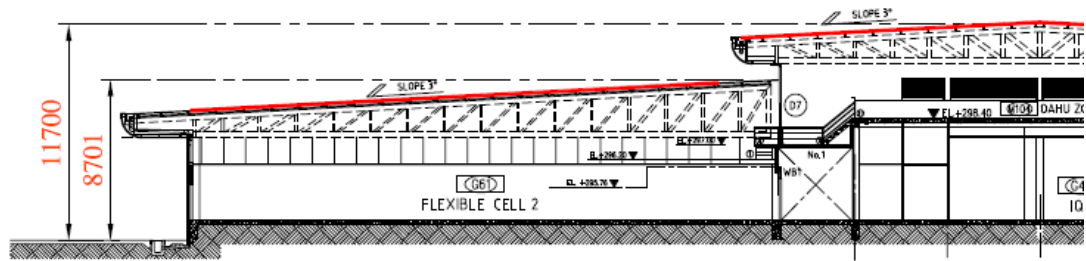
ระยะห่าง (cm)	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)	พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (%)
20	100	-
25	125	3.25
30	150	4.00

ทั้งนี้ การยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคาอาคาร มีโอกาสรับกระแสลม เมื่อพิจารณาในเรื่องการออกแบบโครงสร้างอาคารจะแรงลมมาเกี่ยวข้อง โดยอ้างอิงตามกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ข้อ 17 ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ให้คำนึงถึงแรงลมด้วยหากจำเป็นต้องคำนวณและไม่มีเอกสารที่รับรองโดยสถาบันที่เชื่อถือได้ ให้ใช้หน่วยแรงลม

ตารางที่ 11 หน่วยแรงลม ที่คำนึงถึงในการออกแบบ

ความสูงของอาคาร หรือส่วนของอาคาร	หน่วยแรงลมอย่างน้อยกิโลปาสกาล (kg/m ²)
(1) ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 m	0.5 (50)
(2) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 10 m แต่ไม่เกิน 20 m	0.8 (80)
(3) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 20 m แต่ไม่เกิน 40 m	1.2 (120)
(4) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 40 m	1.6 (160)

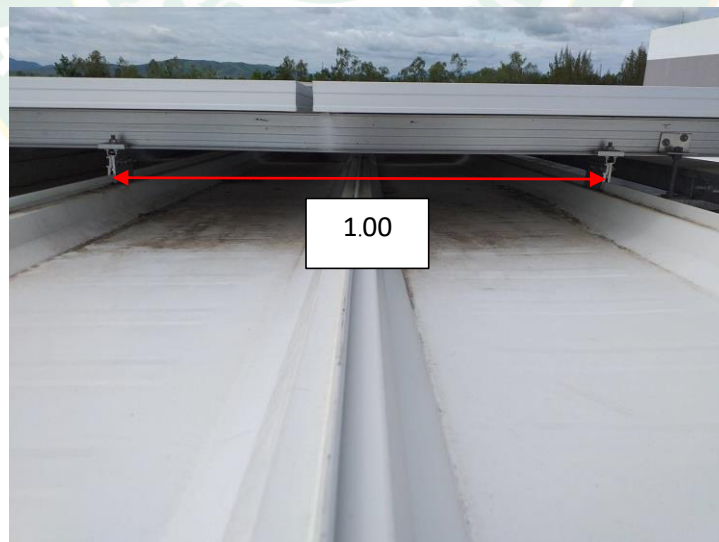
จากตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าหน่วยแรงลมแปรผันตามช่วงความสูงของอาคาร ดังนั้นในการคำนึงถึงการออกแบบขึ้นอยู่กับความสูงอาคารแต่ละอาคาร ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยอาคารที่ได้ทำการทดลองยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีความสูงประมาณ 11.70 m ดังภาพที่ 56 หน่วยแรงลมที่ใช้พิจารณา ข้อ (2) ส่วนของอาคารที่สูงเกิน 10 m แต่ไม่เกิน 20 m คือ หน่วยแรงลมอย่างน้อย 80 kg/m²



ภาพที่ 56 ความสูงของอาคาร ที่ทดลองในงานวิจัย

ความแข็งแรงของโครงสร้างจากระยะห่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างแรงกระทำที่เกิดขึ้นต่อโครงสร้าง ให้ทำการการถ่ายแรงกระทำไปที่ละส่วนจากบนลงล่างและพื้นที่รับผิวดชอบ ตามหัวข้อ 2.8 ในงานวิจัยนี้แรงกระทำคือแรงลม พื้นที่ที่รับแรงลมคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีระยะห่างจุดรับรองรับด้านขนาน 1 m และด้านลาดเอียงห่าง 1 m ดังนั้นมีพื้นที่รับผิวดชอบ คือ 1 m^2 ในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบแรงลมตามตารางที่ 11 ให้กระทำตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องด้วยเป็นสภาวะที่รุนแรงมากที่สุด เพื่อความปลอดภัยต่อโครงสร้างหลังคา จะพิจารณาทิศทางลมที่ตั้งฉากกับแนวสันหลังคา เพื่อคำนวณทั้งแรงยกและแรงโมเมนต์ แสดงการคำนวณดังนี้



ภาพที่ 57 ระยะห่างของจุดรองรับ ด้านขนาน



ภาพที่ 58 ระยะห่างของจุดรองรับ ด้านเอียงลาด

คำนวณแรงยก

ความสูงประมาณ 11.70 m หน่วยแรงลมที่ใช้พิจารณา คือ 80 kg/m²

มีพื้นที่รับผิวดชอบ $1.00 \times 1.00 = 1 \text{ m}^2$

จุดรองรับมีแรงยกหรือแรงดัน $80 \times 1.00 = 80 \text{ kg/จุด}$

จากที่คำนวณจุดรองรับ รับแรงยกต่อจุด 80 kg นั้น นำค่านี้พิจารณาการเลือกขนาดสลักเกลียว ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด โดยให้ค่าที่คำนวณได้ต่ำกว่า ตามภาพที่ 59 แนะนำเลือก M5 Strength Class 10.9 มี Allowable Load 111 kgf ซึ่งค่ามากกว่าที่คำนวณได้

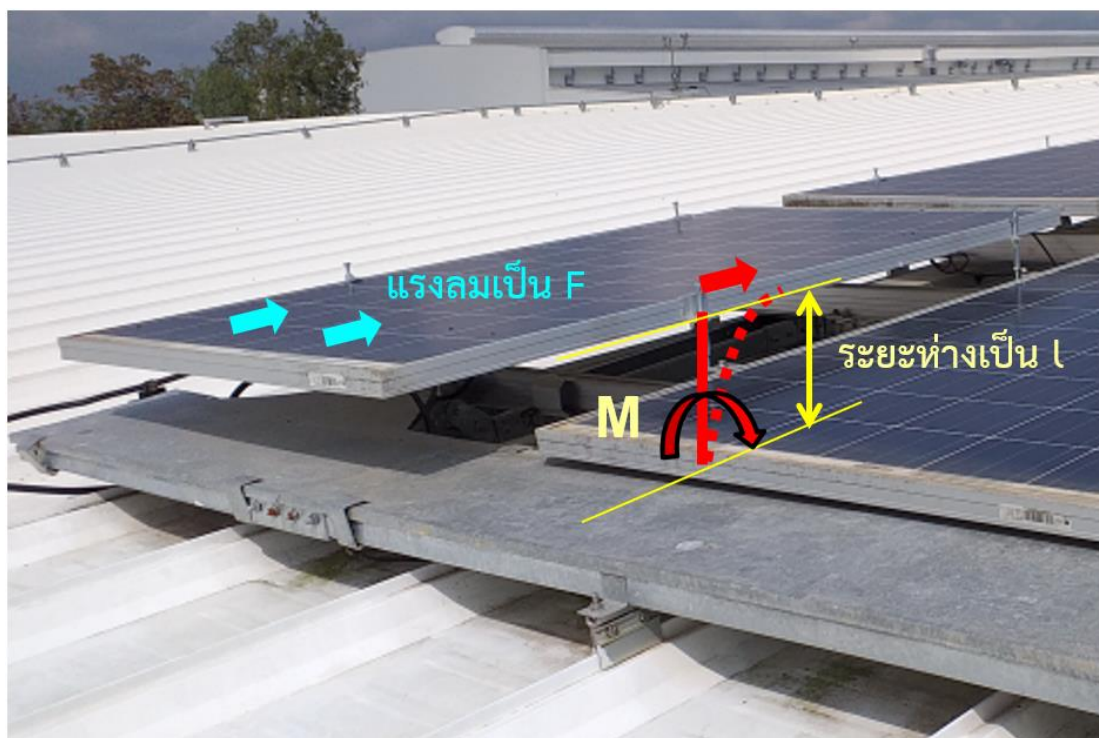
Nominal of Thread	Effective Sectional Area As mm ²	Strength Class			
		12.9		10.9	
		Fatigue Strength* kgf/mm ²	Allowable Load kgf	Fatigue Strength* kgf/mm ²	Allowable Load kgf
M 4	8.78	13.1	114	9.1	79
M 5	14.2	11.3	160	7.8	111
M 6	20.1	10.6	213	7.4	149
M 8	36.6	8.9	326	8.7	318
M10	58	7.4	429	7.3	423
M12	84.3	6.7	565	6.5	548
M14	115	6.1	702	6	690
M16	157	5.8	911	5.7	895
M20	245	5.2	1274	5.1	1250
M24	353	4.7	1659	4.7	1659

ภาพที่ 59 ตารางสลักเกลียว ที่จำหน่ายในท้องตลาด

ที่มา : พื้นฐานเกี่ยวกับสกรู (ม.ป.ป.: ระบบออนไลน์)

คำนวณแรงดัน แรงโมเมนต์

แรงดันใช้การคำนวณแรงโมเมนต์ ความสูงที่ยกขึ้น มีผลในด้านแรงโมเมนต์ที่กระทำต่อโครงหลังคา เมื่อมีลมพัดผ่านมาที่แผงโซลาร์เซลล์ แรงลมดันบนแผงโซลาร์เซลล์จะทำให้เซหรือขยับไปตามทิศทางของลม ทำให้เกิดแรงโมเมนต์ที่โครงหลังคา



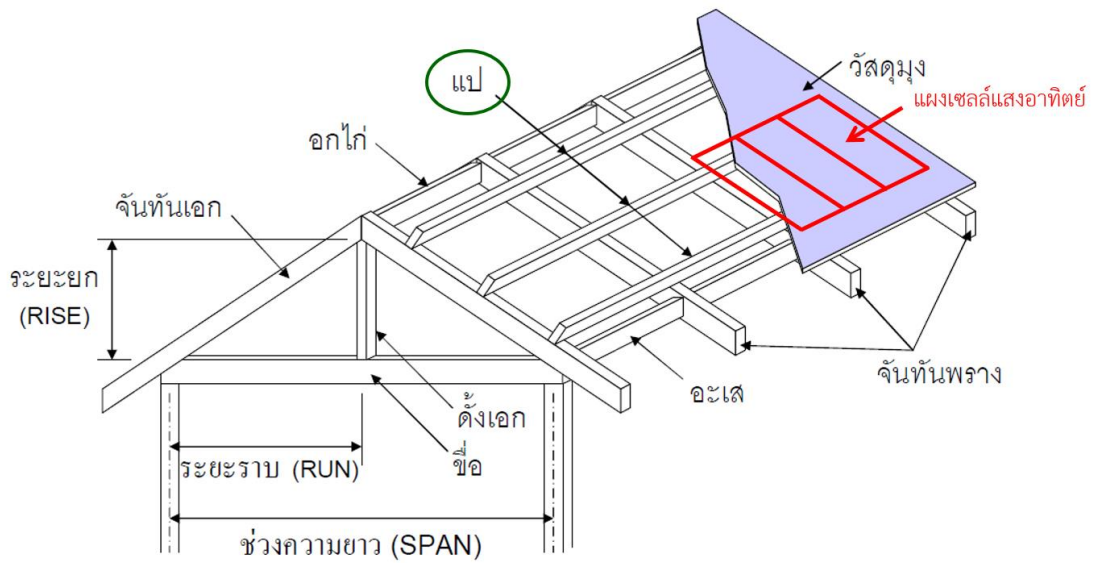
ภาพที่ 60 แรงลมทำให้เกิดแรงโมเมนต์ที่โครงสร้างหลังคา

ตามทฤษฎีของแรงโมเมนต์ คือ แรงคูณระยะทาง ในที่นี้ระยะทาง คือระยะห่าง ที่ยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละระยะ ซึ่งคำนวณได้ตามตารางที่ 12 ดังนี้

ตารางที่ 12 การคำนวณแรงโมเมนต์ของแต่ละระยะห่าง

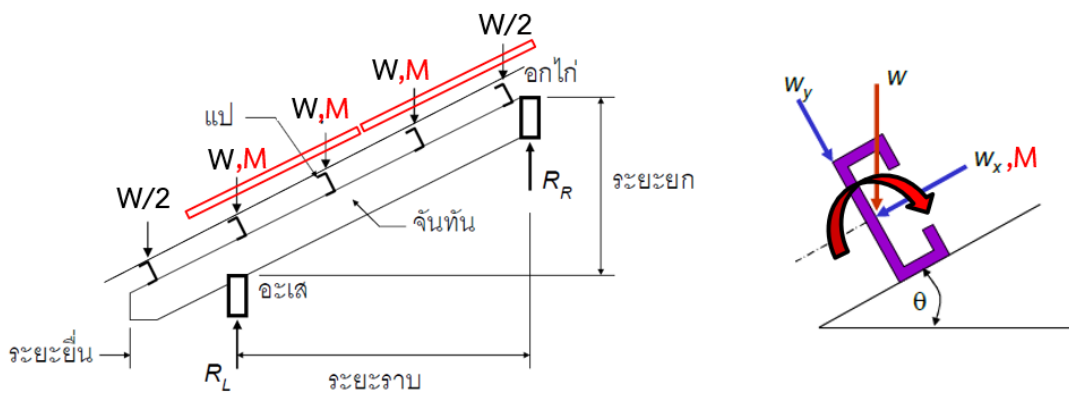
ระยะห่าง (l)	แรงลมที่จุดรองรับ (F)	แรงโมเมนต์ $M = F \times l$
20 cm	80 kg	$0.20 \times 80 = 16 \text{ kg.m}$
25 cm	80 kg	$0.25 \times 80 = 20 \text{ kg.m}$
30 cm	80 kg	$0.30 \times 80 = 24 \text{ kg.m}$

ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนโครงหลังคานั้น ติดตั้งบนวัสดุค้ำหลังคาและยึดรั้งพาดผ่านลงบนแป 2 แนว การติดตั้งแสดงได้ตามภาพที่ 61



ภาพที่ 61 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนโครงหลังคา
ที่มา : Mongkol Jirawacharadet (ม.ป.ป.)

เมื่อได้ทราบแรงโมเมนต์ที่กระทำต่อแปแล้ว ต่อไปจะนำเสนอการคำนวณเปรียบเทียบโครงสร้างแป ระหว่างหลังคาที่ไม่ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับที่ติดตั้งทั้ง 3 ระยะ โดยแรงโมเมนต์เกิดขึ้นที่แปเพิ่มจากเดิม ที่ไม่ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 62



ภาพที่ 62 แรงโมเมนต์เกิดขึ้นที่แปเพิ่มจากเดิม
ที่มา : Mongkol Jirawacharadet (ม.ป.ป.)

โดยสมการที่คำนวณหน่วยแรง มีเพิ่มแรงโมเมนต์ที่แกน y สมมุติค่าเป็น M_{yy}
แกน X

$$f_{bx} = \frac{M_x}{S_x} \leftarrow M_x = \frac{w_y l^2}{8} \leftarrow w_y = w \cos \theta + w_0 \quad \text{สมการที่ 42}$$

แกน Y

$$f_{by} = \frac{M_y}{S_y} \leftarrow M_y = \frac{w_x l^2}{8} \leftarrow w_x = w \sin \theta \quad \text{สมการที่ 43}$$

การตรวจสอบ ค่าหน่วยแรงที่ใช้งานและหน่วยแรงที่ยอมให้ ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} = \frac{f_{bx}}{0.66F_y} + \frac{f_{by}}{0.75F_y} \leq 1.0 \quad \text{สมการที่ 44}$$

การออกแบบแป:	น้ำหนักบรรทุกจร	= 30 กก./ตรม.
	น้ำหนักกระเบื้องลอนคู่	= 14 กก./ตรม.
	น้ำหนักรวม	= <u>44 กก./ตรม.</u>

แปห่างกัน 1.0 เมตร ยาว 5.0 เมตร

$$\text{น้ำหนักลงแป} = 44 \times 1.0 = 44 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{น้ำหนักแปโดยประมาณ} = 6 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{รวมน้ำหนักลงแปทั้งหมด} = 44 + 6 = \underline{50 \text{ กก./ม.}}$$

$$w_x = 50 \sin 14.04^\circ = 12 \text{ kg/m}, \quad M_y = \frac{12 \times 5^2}{8} = 38 \text{ kg-m}$$

$$w_y = 50 \cos 14.04^\circ = 49 \text{ kg/m}, \quad M_x = \frac{49 \times 5^2}{8} = 153 \text{ kg-m}$$

$$\text{ค่าที่ต้องการของ } S_x = \frac{M_x}{F_{bx}} = \frac{153(100)}{0.66(2,500)} = 9.27 \text{ cm}^3$$

เลือกใช้แป C125x50x20x2.3 มม. ($S_x = 21.9 \text{ ซม.}^3$, $S_y = 6.22 \text{ ซม.}^3$,
 $I_x = 137 \text{ ซม.}^4$, $I_y = 20.6 \text{ ซม.}^4$, หนัก 4.51 กก./ม.)

$$\text{หน่วยแรงจากโมเมนต์ดัดรอบแกน } x : f_{bx} = \frac{M_x}{S_x} = \frac{153(100)}{21.9} = 698.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{หน่วยแรงจากโมเมนต์ดัดรอบแกน } y : f_{by} = \frac{M_y}{S_y} = \frac{38(100)}{6.22} = 610.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{f_{bx}}{0.66F_y} + \frac{f_{by}}{0.75F_y} = \frac{698.6}{0.66(2,500)} + \frac{610.9}{0.75(2,500)} = 0.75 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{ตรวจสอบการโก่งแอ่น: } \Delta_{\max} &= \frac{5wl^4}{384EI} = \frac{5(49/100)(500)^4}{384(2.1 \times 10^6)(137)} \\ &= 1.38 \text{ cm} < \left(\frac{l}{300} = \frac{500}{300} = 1.67 \text{ cm} \right) \quad \text{OK} \end{aligned}$$

ภาพที่ 63 ตัวอย่างการคำนวณโครงสร้างเหล็กแป ที่ไม่ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : Mongkol Jirawacharadet (ม.ป.ป.)

ตัวอย่างการคำนวณในภาพที่ 63 โครงสร้างเหล็กแปที่ไม่ได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเหล็ก C-125x50x20x2.3 mm 4.51 kg/m. ($S_x=21.9 \text{ cm}^3$, $S_y = 6.22 \text{ cm}^3$) ตามกรอบสีแดง และได้คำนวณเปรียบเทียบเมื่อติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระยะห่างต่าง ๆ โดยใช้ขนาดเหล็กเดิม และขนาดเหล็กใหม่ที่แข็งแรงตามมาตรฐานการออกแบบ ค่าหน่วยแรงใช้งานต้องน้อยกว่าหน่วยแรงที่ยอมให้ ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การคำนวณโครงสร้างเหล็กแป การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังคา

รายละเอียดการคำนวณ	ขนาดแปเดิม				ขนาดแป ความแข็งแรงตามการออกแบบ			
	20 ซม.	25 ซม.	30 ซม.		20 ซม.	25 ซม.	30 ซม.	
M	16	20	24		16	20	24	
1 ช่วงแป มี M 3 จุด	48	60	72		48	60	72	
$M_{y,y} = M_y + M$	86	98	110		86	98	110	
M_x	153	153	153		153	153	153	
S_x	21.90	21.90	21.90		33.00	33.00	33.00	
S_y	6.22	6.22	6.22		9.37	9.37	9.37	
$f_{bx} = \frac{M_x}{S_x}$	698.63	698.63	698.63		463.64	463.64	463.64	
$f_{by} = \frac{M_y}{S_y}$	1,382.64	1,575.56	1,768.49		917.82	1,045.89	1,173.96	
$\frac{f_{bx}}{0.66F_y}$	0.42	0.42	0.42		0.28	0.28	0.28	
$\frac{f_{by}}{0.75F_y}$	0.74	0.84	0.94		0.49	0.56	0.63	
$\frac{f_{bx}}{0.66F_y} + \frac{f_{by}}{0.75F_y}$	1.16	1.26	1.37	<1	0.77	0.84	0.91	<1
ผลลัพธ์	X	X	X		OK	OK	OK	

กรอบสีแดง เหล็กขนาดเดิม C-125x50x20x2.3 mm 4.51 kg/m ($S_x=21.9 \text{ cm}^3$, $S_y=6.22 \text{ cm}^3$)

กรอบสีเขียว เหล็กขนาดใหม่ C-150x65x20x2.3 mm 5.5 kg/m ($S_x=33.0 \text{ cm}^3$, $S_y=9.37 \text{ cm}^3$)

จะเห็นได้ว่า โครงหลังคาเหล็กแปเดิมเมื่อจะติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว จำเป็นต้องเปลี่ยนขนาดเหล็กเพื่อความปลอดภัย มั่นคง แข็งแรงของโครงหลังคา

ความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังคา

ผลจากการคำนวณที่ขนาดเหล็กแปต้องเปลี่ยนไป ได้ประเมินราคาวัสดุเหล็กแปที่ต้องเปลี่ยนขนาดเพื่อให้แข็งแรงตามมาตรฐานการออกแบบ อ้างอิงราคาวัสดุในท้องตลาดเปรียบเทียบได้ ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 การประเมินราคา การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลังคา

ระยะห่าง	ขนาดเหล็ก	ราคาเพิ่มขึ้น (± %)
หลังคาเดิม 20 cm (ไม่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์)	C-125x50x20x2.3 mm (4.51 kg/m)	
20 cm	C-150x65x20x2.3 mm (5.5 kg/m)	+10%
25 cm	C-150x65x20x2.3 mm (5.5 kg/m)	+10%
30 cm	C-150x65x20x2.3 mm (5.5 kg/m)	+10%

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์การศึกษาระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารที่มีผลต่อการลดอุณหภูมิใต้แผงและความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา จากการทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly Crystalline Silicon ยี่ห้อ REC รุ่น REC PEAK ENERGY SERIES PRODUCT CODE REC260PE จำนวน 3 แผง ที่เป็นส่วนหนึ่งของ ARRAY โดยมีตัววัดค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Module temperature) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคาทรงจั่ว วัสดุผนังหลังคาชนิดเหล็กแผ่นเคลือบอะลูมิเนียมสังกะสีความลาดเอียงหลังคา 3° กำหนดระยะห่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคาร 3 ระยะด้วยกัน คือ 20 cm (ระยะห่างเดิมที่ติดตั้งแล้ว) 25 cm และ 30 cm โดยใช้อุปกรณ์พิเศษเพื่อยกระดับแผง ณ หลังคาโรงงาน ในสวนอุตสาหกรรมลำพูน ($18^{\circ}32'48.5''N99^{\circ}00'32.2''E$) สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 15 ผลอุณหภูมิ กำลังไฟฟ้า ที่เปลี่ยนแปลง

ระยะห่าง (cm)	อุณหภูมิใต้แผงเฉลี่ย ($^{\circ}C$)	อุณหภูมิใต้แผง \pm ($^{\circ}C$) (เทียบกับระยะ 20 cm)	กำลังไฟฟ้า (kW)	% กำลังไฟฟ้า (เทียบกับ ระยะ 20 cm)
20	42.59		83.48	
25	38.48	- 4.11 $^{\circ}C$	86.19	+ 3.25%
30	36.47	- 6.12 $^{\circ}C$	86.82	+ 4.00%

แรงลมที่เกิดเป็นแรงยกมีผลต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จุตรองรับ 68.4 kg แนะนำควรใช้สลักเกลียว Strength Class 10.9 M5 ที่สามารถรับแรงกระทำที่ยอมรับได้ 111 kg ส่วนแรงดันที่มีผลต่อโครงหลังคาเกิดเป็นแรงโมเมนต์

ตารางที่ 16 ผลของแรงโมเมนต์

ระยะห่าง (cm)	แรงลมที่จุตรองรับ (kg)	แรงโมเมนต์ (kg.m)
20	80	$0.20 \times 80 = 16$
25	80	$0.25 \times 80 = 20$
30	80	$0.30 \times 80 = 24$

โดยที่ระยะ 20, 25 และ 30 cm ควรใช้เหล็ก C-150x65x20x2.3 mm 5.5 kg/m ($S_x=33.0 \text{ cm}^3$, $S_y=9.37 \text{ cm}^3$) ผลจากการเปลี่ยนขนาดเหล็กทำให้ราคาวัสดุของเหล็กแปเพิ่มขึ้น 10%

จะเห็นได้ ระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับหลังคาอาคารมีผลต่อการลดอุณหภูมิใต้แผงและความแข็งแรงของโครงสร้างหลังคา ในงานวิจัยนี้ ระยะห่าง 30 cm ได้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากที่สุด 4%โดยที่ค่าวัสดุแปเพิ่มขึ้น 10% และค่าวัสดุอื่น ๆ ไม่ส่งผลกระทบในการเปลี่ยนขนาดเหล็กแป นั้น มีขั้นตอนหลายอย่าง เช่น การรื้อถอน ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กลับคืน ที่ต้องคำนึงถึงกับระยะห่างนี้ บนหลังคาอาคารที่สร้างใหม่เพื่อประเมินความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ การเพิ่มระยะห่างทำให้การถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น ลดอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้ต้องพิจารณาในโครงสร้างของอาคารควบคู่กันไปเพื่อความปลอดภัยต่อการใช้อาคาร



บรรณานุกรม

- กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.dpt.go.th/wan/lawdpt/data/02/101_143_111027_6.pdf (6 พฤษภาคม 2561).
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), กระทรวงพลังงาน. [ม.ป.ป.]. **โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย (ปี 2560)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/download/OpenBigData/Solar_Map_1_2560.pdf (12 สิงหาคม 2561)
- _____. [ม.ป.ป.]. **แผนที่พลังงานแสงอาทิตย์**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www4.dede.go.th/dede/images/stories/solarmap.pdf> (6 พฤษภาคม 2561).
- _____. 2557. **ความปลอดภัยในการผลิตและการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop Safety)**, กรุงเทพมหานคร.
- _____. 2558. **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42195 (14 มีนาคม 2560).
- กรมโยธาธิการและผังเมือง, กระทรวงมหาดไทย. 2550. **มาตรฐานการคำนวณแรงลม และการตอบสนองของอาคาร**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.ddd.go.th/web_egd/KM_Bureau/KM%20WindCode.pdf (16 มิถุนายน 2561).
- _____. [ม.ป.ป.]. **คู่มือการออกแบบอาคารเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://subsites.dpt.go.th/edocument/images/pdf/sd_work/620312_1.pdf (16 มิถุนายน 2561).
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. [ม.ป.ป.]. **เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm> (6/05/2559).
- จารุณี เข้มพิลา. **การศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านอาคารผนังสองชั้น**. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน.
- ชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์. [ม.ป.ป.]. **เอกสารประกอบการสอนกลศาสตร์วิศวกรรม 1**. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ธนัญญ์ ลังกาดี และอรรถกร อาสนคำ. 2559. การประเมินสมรรถนะโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในกรณีที่มีและไม่มีภาระระบายความร้อนด้วยอากาศ. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, Engng.J.CMU.(2016) 23 (3), หน้า 130-141.
- นรินทร์ อึ้งสุวัฒน์, ยุทธพงษ์ ไชยทิศ และพุทธพร กายสิทธิ์. 2557. **สื่อการเรียนรู้คุณสมบัติของแผงพลังงานแสงอาทิตย์**. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- บริษัท มิซูมิ (ไทยแลนด์) จำกัด. [ม.ป.ป.]. **พื้นฐานเกี่ยวกับสกรู**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://th.misumi-ec.com/pr/technical_zone/selection_guide/03.html. (21 มีนาคม 2562).
- บุศรา ศิริชนะ. 2555. **มรสุม (2)**. คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายวิชาโลกดาราศาสตร์และอวกาศ. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานและคณะวิทยาศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มหาวิทยาลัยแม่โจ้. [ม.ป.ป.]. **สรุปแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 1-11**, [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา www.ap.mju.ac.th/ap101/lessons/09/C92.docx (15 พฤษภาคม 2561).
- วดียา เนตรพระ. (2560). การเพิ่มอัตราการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติในอาคารสนามกีฬาในร่ม. **การประชุมวิชาการระดับชาติ “โหมภูมิครั้งที่ 3 : Wisdom to the Future : ภูมิปัญญาสู่นาคต”**. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 15 - 16 มิถุนายน 2560, หน้า 179-190
- ศิริวรรณ โรโห. 2018. การศึกษาผลกระทบของความเร็วมต่ออาคาร: กรณีศึกษาอาคารเรียนรวม 35 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา. **การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอาคารด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม ครั้งที่ 5 (BTAC 2018)**. หน้า 203-217.
- ศูนย์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์โลกและดาราศาสตร์ (LESA). [ม.ป.ป.]. **บรรยากาศ (Atmosphere)**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.lesa.biz/earth/atmosphere>. (16 พฤษภาคม 2561).
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน. 2560. **สถานการณ์พลังงานปี 2560 และแนวโน้มปี 2561**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.eppo.go.th/images/Information_service/public_relations/forecast/Energy2016-Forcast2017.pdf. (12 สิงหาคม 2561).
- สุนิติ สุภาพ, อาทิตย์ เพชรศศิธร, ภาณุวัฒน์ จ้อยก๊อต, อมร พิमानมาศ. [ม.ป.ป.]. **บทที่ 1 กลศาสตร์และการวิเคราะห์โครงสร้าง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา

<http://www.coe.or.th/coe2/Download/Articles/CE/StructuralAnalysis.pdf>.
(15 พฤษภาคม 2561).

อานนท์ วงษ์แก้ว และสุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์. [ม.ป.ป]. **การออกแบบโครงสร้างเหล็ก** .[ระบบออนไลน์] .
แหล่งที่มา . http://www.coe.or.th/http_public/download/Articles/CE/CH3.pdf. (16 มิถุนายน 2561)

B. Schams and G. TamizhMani. 2011. BAPV MODULES WITH DIFFERENT AIR GAPS: EFFECT OF TEMPERATURE ON RELATIVE ENERGY YIELD AND LIFETIME. **37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference**, 19-24 June 2011. p.838–841

J. Oh and G. TamizhMani. 2011. BAPV MODULES: INSTALLED-NOCT AND TEMPERATURE COEFFICIENTS AFTER 1-YEAR EXPOSURE, **37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference**, 19-24 June 2011. p.838–841

J. Hrica, S. Chatterjee and G. TamizhMani. 2011. BAPV ARRAY: THERMAL MODELING AND COOLING EFFECT OF EXHAUST FAN. **37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference**, 19-24 June 2011. p.838–841

Mongkol JIRAWACHARADET. [ม.ป.ป.]. **Lecture 10 - Roof Design**. Institute of Engineering, School of civil Engineering, Suranaree University of Technology.

T. Huld and G. Amillo. 2015. Estimating PV Module Performance over Large Geographical Regions: The Role of Irradiance, Air Temperature, Wind Speed and Solar Spectrum. **Energies**, 8, 5159-5181.

Thai Meteorological Departmen. [ม.ป.ป.]. **แผนภูมิข้อมูลภูมิอากาศ Annual Mean Temperature in Thailand**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=7> (6 พฤษภาคม 2561).



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการทดสอบ

ตารางผนวกที่ 1 อุณหภูมิได้แกง อุณหภูมิแวดล้อมและค่าความเข้มแสงแดด

อุณหภูมิแกง (°C)				อุณหภูมิแวดล้อม (°C)				ค่าความเข้มแสง (W/m ²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18	วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18	วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
06:00	21.00	19.60	15.60	06:00	23.20	21.10	18.40	06:00	-	-	-
06:01	21.00	19.60	15.70	06:01	23.30	21.10	18.40	06:01	-	-	-
06:02	21.10	19.60	15.70	06:02	23.30	21.10	18.50	06:02	-	-	-
06:03	21.10	19.60	15.60	06:03	23.20	21.10	18.50	06:03	-	-	-
06:04	21.10	19.60	15.60	06:04	23.20	21.10	18.40	06:04	-	-	-
06:05	21.10	19.60	15.50	06:05	23.30	21.10	18.40	06:05	-	-	-
06:06	21.20	19.60	15.40	06:06	23.30	21.00	18.50	06:06	-	-	-
06:07	21.20	19.60	15.30	06:07	23.30	21.00	18.50	06:07	-	-	-
06:08	21.20	19.60	15.30	06:08	23.20	21.00	18.50	06:08	-	-	-
06:09	21.20	19.50	15.30	06:09	23.30	21.00	18.50	06:09	-	-	-
06:10	21.20	19.60	15.40	06:10	23.30	21.00	18.40	06:10	-	-	-
06:11	21.30	19.60	15.50	06:11	23.30	21.00	18.50	06:11	-	-	-
06:12	21.30	19.60	15.50	06:12	23.30	21.00	18.40	06:12	-	-	-
06:13	21.40	19.70	15.60	06:13	23.30	21.00	18.50	06:13	-	-	-
06:14	21.50	19.80	15.60	06:14	23.40	21.00	18.50	06:14	-	-	-
06:15	21.50	19.80	15.50	06:15	23.40	21.10	18.50	06:15	-	-	-
06:16	21.50	19.90	15.50	06:16	23.40	21.10	18.40	06:16	-	-	-
06:17	21.50	19.90	15.50	06:17	23.40	21.10	18.40	06:17	-	-	-
06:18	21.50	19.90	15.60	06:18	23.40	21.10	18.40	06:18	-	-	-
06:19	21.50	20.00	15.60	06:19	23.40	21.10	18.40	06:19	-	-	-
06:20	21.50	20.00	15.60	06:20	23.40	21.10	18.40	06:20	-	-	1.00
06:21	21.50	20.00	15.70	06:21	23.50	21.10	18.30	06:21	1.00	-	1.00
06:22	21.50	19.90	15.80	06:22	23.50	21.10	18.30	06:22	1.00	1.00	2.01
06:23	21.50	19.90	16.00	06:23	23.50	21.10	18.20	06:23	2.01	2.01	3.01
06:24	21.40	19.90	16.00	06:24	23.50	21.10	18.20	06:24	2.01	2.01	3.01
06:25	21.40	19.80	16.10	06:25	23.50	21.10	18.20	06:25	3.01	3.01	4.01
06:26	21.40	19.80	16.10	06:26	23.50	21.10	18.20	06:26	3.01	3.01	5.02
06:27	21.40	19.80	16.20	06:27	23.50	21.10	18.20	06:27	4.01	4.01	5.02
06:28	21.40	19.80	16.20	06:28	23.50	21.00	18.20	06:28	5.02	5.02	6.02
06:29	21.30	19.80	16.20	06:29	23.50	21.00	18.20	06:29	5.02	6.02	6.02
06:30	21.30	19.80	16.30	06:30	23.50	21.10	18.20	06:30	6.02	7.03	7.03
06:31	21.30	19.80	16.20	06:31	23.50	21.10	18.20	06:31	7.03	7.03	8.03
06:32	21.20	19.80	16.10	06:32	23.60	21.10	18.20	06:32	8.03	9.03	9.03
06:33	21.20	19.80	16.10	06:33	23.60	21.10	18.30	06:33	9.03	10.04	10.04
06:34	21.20	19.80	16.10	06:34	23.70	21.10	18.20	06:34	10.04	11.04	12.04
06:35	21.30	19.90	16.10	06:35	23.70	21.10	18.20	06:35	11.04	13.05	14.05
06:36	21.30	19.90	16.10	06:36	23.70	21.10	18.30	06:36	13.05	14.05	15.05
06:37	21.40	20.00	16.20	06:37	23.70	21.20	18.30	06:37	15.05	15.05	16.06
06:38	21.50	20.00	16.20	06:38	23.70	21.20	18.30	06:38	17.06	17.06	18.06
06:39	21.40	20.00	16.30	06:39	23.80	21.20	18.30	06:39	19.07	19.07	20.07
06:40	21.40	20.00	16.30	06:40	23.90	21.20	18.30	06:40	20.07	20.07	22.08
06:41	21.50	20.10	16.40	06:41	24.00	21.30	18.30	06:41	22.08	22.08	24.08

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
06:42	21.60	20.10	16.40
06:43	21.60	20.20	16.50
06:44	21.80	20.20	16.60
06:45	21.90	20.30	16.70
06:46	22.00	20.40	16.80
06:47	22.10	20.40	16.90
06:48	22.20	20.50	17.00
06:49	22.30	20.60	17.10
06:50	22.40	20.60	17.10
06:51	22.60	20.60	17.20
06:52	22.70	20.60	17.20
06:53	22.80	20.70	17.20
06:54	22.90	20.70	17.20
06:55	22.90	20.70	17.10
06:56	23.00	20.70	17.10
06:57	23.00	20.80	17.10
06:58	23.00	20.80	17.20
06:59	23.10	20.90	17.30
07:00	23.10	20.90	17.40
07:01	23.20	21.00	17.40
07:02	23.20	21.10	17.50
07:03	23.20	21.10	17.50
07:04	23.30	21.20	17.60
07:05	23.30	21.20	17.70
07:06	23.40	21.30	17.80
07:07	23.40	21.40	17.90
07:08	23.40	21.50	18.00
07:09	23.40	21.50	18.10
07:10	23.40	21.60	18.20
07:11	23.30	21.70	18.20
07:12	23.40	21.80	18.30
07:13	23.40	21.90	18.40
07:14	23.50	22.00	18.50
07:15	23.60	22.10	18.60
07:16	23.60	22.20	18.70
07:17	23.70	22.30	18.80
07:18	23.70	22.40	18.90
07:19	23.60	22.40	18.90
07:20	23.60	22.60	19.00
07:21	23.60	22.60	19.00
07:22	23.60	22.80	19.10
07:23	23.60	22.90	19.20
07:24	23.60	22.90	19.20
07:25	23.60	22.50	19.20
07:26	23.60	22.50	19.30
07:27	23.60	22.60	19.40
07:28	23.60	22.50	19.50
07:29	23.70	22.60	19.50
07:30	23.80	22.50	19.60

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
06:42	24.10	21.20	18.40
06:43	24.10	21.20	18.40
06:44	24.10	21.30	18.40
06:45	24.10	21.30	18.40
06:46	24.10	21.30	18.50
06:47	24.20	21.30	18.50
06:48	24.20	21.30	18.50
06:49	24.20	21.40	18.60
06:50	24.30	21.40	18.60
06:51	24.30	21.40	18.60
06:52	24.30	21.40	18.60
06:53	24.30	21.40	18.60
06:54	24.30	21.40	18.70
06:55	24.50	21.40	18.80
06:56	24.60	21.40	18.80
06:57	24.50	21.50	18.80
06:58	24.60	21.50	18.90
06:59	24.60	21.50	18.90
07:00	24.60	21.50	18.90
07:01	24.70	21.50	19.00
07:02	24.70	21.60	19.00
07:03	24.70	21.60	19.00
07:04	24.80	21.60	19.10
07:05	24.80	21.70	19.20
07:06	24.80	21.70	19.20
07:07	24.90	21.70	19.30
07:08	24.90	21.80	19.30
07:09	25.10	21.90	19.40
07:10	25.10	21.90	19.50
07:11	25.10	21.90	19.50
07:12	25.20	22.00	19.60
07:13	25.20	22.00	19.70
07:14	25.20	22.00	19.70
07:15	25.20	22.10	19.80
07:16	25.20	22.10	19.80
07:17	25.20	22.20	19.90
07:18	25.20	22.20	20.00
07:19	25.20	22.30	20.00
07:20	25.30	22.30	20.10
07:21	25.30	22.40	20.20
07:22	25.20	22.40	20.20
07:23	25.20	22.50	20.30
07:24	25.40	22.60	20.30
07:25	25.40	22.60	20.40
07:26	25.50	22.70	20.50
07:27	25.60	22.70	20.50
07:28	25.70	22.80	20.60
07:29	25.60	22.90	20.60
07:30	25.60	23.10	20.70

ค่าความเข้มแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
06:42	26.09	24.08	26.09
06:43	29.10	27.10	27.10
06:44	31.11	29.10	29.10
06:45	33.12	33.12	30.11
06:46	35.12	35.12	32.11
06:47	38.13	38.13	34.12
06:48	41.14	42.15	36.13
06:49	43.15	46.16	38.13
06:50	46.16	41.14	40.14
06:51	49.17	41.14	42.15
06:52	52.18	39.14	45.16
06:53	55.19	37.13	48.17
06:54	58.20	46.16	52.18
06:55	61.22	61.22	55.19
06:56	64.23	47.17	59.21
06:57	67.24	67.24	63.22
06:58	69.24	69.24	68.24
06:59	73.26	73.26	72.25
07:00	75.26	73.26	76.27
07:01	78.28	79.28	80.28
07:02	79.28	83.29	84.30
07:03	82.29	88.31	88.31
07:04	85.30	91.32	92.32
07:05	89.31	95.33	96.34
07:06	91.32	77.27	100.35
07:07	93.33	91.36	104.37
07:08	96.34	95.37	108.38
07:09	97.34	92.32	111.39
07:10	101.36	83.29	115.41
07:11	102.36	64.23	119.42
07:12	107.38	62.22	122.43
07:13	107.38	64.23	126.44
07:14	112.39	100.43	130.46
07:15	102.36	100.38	134.47
07:16	113.40	69.24	137.48
07:17	115.41	69.24	141.50
07:18	123.43	81.29	144.51
07:19	119.42	89.38	146.51
07:20	129.45	74.26	150.53
07:21	126.44	87.31	153.54
07:22	122.43	72.25	156.55
07:23	141.50	158.56	158.56
07:24	144.51	130.46	162.57
07:25	144.51	166.58	165.58
07:26	139.49	154.54	168.59
07:27	144.51	175.62	172.61
07:28	165.58	179.63	176.62
07:29	157.55	171.32	180.63
07:30	157.55	186.66	183.64

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
07:31	23.90	22.60	19.60
07:32	24.20	22.80	19.60
07:33	24.50	22.90	19.70
07:34	24.80	22.80	19.80
07:35	25.00	23.00	19.90
07:36	25.10	23.00	20.00
07:37	25.20	23.10	20.00
07:38	25.30	23.10	20.20
07:39	25.60	23.40	20.30
07:40	25.80	23.60	20.40
07:41	26.10	24.00	20.50
07:42	26.40	25.00	20.60
07:43	26.70	25.00	20.50
07:44	26.70	25.10	20.50
07:45	26.60	25.30	20.70
07:46	26.50	25.30	20.80
07:47	26.30	25.30	21.00
07:48	26.20	25.30	21.20
07:49	26.40	25.30	21.30
07:50	26.40	25.30	21.60
07:51	26.70	25.30	21.90
07:52	27.00	25.60	21.90
07:53	27.50	26.40	21.90
07:54	28.00	26.50	21.80
07:55	28.20	26.70	21.80
07:56	28.50	26.80	21.90
07:57	28.50	27.00	22.00
07:58	28.60	27.10	21.90
07:59	28.90	27.20	22.00
08:00	29.30	27.30	22.10
08:01	29.80	27.60	22.30
08:02	30.20	27.80	22.50
08:03	30.20	27.90	22.70
08:04	30.10	28.10	22.80
08:05	30.20	28.20	22.90
08:06	30.20	28.40	22.90
08:07	30.10	28.70	23.00
08:08	29.90	28.70	23.00
08:09	29.50	28.90	23.30
08:10	29.20	28.00	23.40
08:11	28.90	27.20	23.60
08:12	28.70	27.10	23.60
08:13	28.50	27.10	23.60
08:14	28.50	27.00	23.60
08:15	28.50	27.00	23.80
08:16	28.60	27.00	23.90
08:17	28.70	27.20	24.00
08:18	28.90	27.40	23.90
08:19	29.10	27.00	23.90

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
07:31	25.70	23.20	20.80
07:32	25.80	23.40	20.80
07:33	25.80	23.60	20.90
07:34	25.90	23.80	21.00
07:35	26.10	24.00	21.10
07:36	26.10	24.10	21.20
07:37	26.20	24.20	21.20
07:38	26.30	24.40	21.30
07:39	26.40	24.50	21.30
07:40	26.50	24.50	21.40
07:41	26.50	24.60	21.40
07:42	26.60	24.70	21.50
07:43	26.70	24.70	21.50
07:44	26.90	24.80	21.50
07:45	27.00	24.90	21.60
07:46	27.00	24.90	21.70
07:47	27.10	25.00	21.80
07:48	27.20	24.90	21.80
07:49	27.30	24.90	21.80
07:50	27.30	24.90	21.80
07:51	27.20	25.00	22.00
07:52	27.30	25.10	22.00
07:53	27.30	25.20	22.10
07:54	27.40	25.20	22.10
07:55	27.40	25.20	22.20
07:56	27.40	25.50	22.30
07:57	27.50	25.50	22.30
07:58	27.50	25.60	22.40
07:59	27.50	25.70	22.40
08:00	27.40	25.90	22.60
08:01	27.50	26.00	22.70
08:02	27.60	26.20	22.70
08:03	27.60	26.40	22.70
08:04	27.70	26.50	22.70
08:05	27.60	26.60	22.80
08:06	27.60	26.70	22.90
08:07	27.50	26.80	22.90
08:08	27.60	27.00	23.00
08:09	27.50	27.00	22.90
08:10	27.60	27.00	23.00
08:11	27.60	27.20	23.20
08:12	27.50	27.20	23.30
08:13	27.50	27.30	23.30
08:14	27.50	27.30	23.50
08:15	27.50	27.30	23.60
08:16	27.60	27.60	23.70
08:17	27.60	27.70	23.80
08:18	27.60	27.80	23.90
08:19	27.60	27.90	24.00

ค่าความเข้มแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
07:31	163.57	189.67	188.66
07:32	171.60	193.68	191.67
07:33	173.61	197.69	195.69
07:34	190.67	207.73	200.70
07:35	195.69	211.74	204.72
07:36	197.69	214.75	208.73
07:37	196.69	217.76	212.75
07:38	192.68	221.78	216.76
07:39	206.73	226.80	220.77
07:40	207.73	234.82	223.79
07:41	213.75	240.85	227.80
07:42	205.72	244.86	231.81
07:43	222.78	251.88	235.83
07:44	224.79	261.92	239.84
07:45	210.74	264.93	243.86
07:46	240.85	263.93	247.87
07:47	243.86	269.95	251.88
07:48	256.90	277.98	257.91
07:49	260.92	282.99	260.92
07:50	264.93	284.00	263.93
07:51	266.94	286.00	266.94
07:52	273.96	292.02	272.96
07:53	275.97	296.04	273.96
07:54	281.99	298.05	278.98
07:55	287.01	301.06	282.99
07:56	290.02	303.06	286.00
07:57	292.02	301.06	292.02
07:58	299.05	301.06	297.04
07:59	303.06	305.07	300.05
08:00	308.08	311.09	305.07
08:01	311.09	313.10	310.09
08:02	316.11	317.11	313.10
08:03	320.12	321.13	319.12
08:04	325.14	321.13	323.13
08:05	327.15	327.15	326.14
08:06	331.16	330.16	328.15
08:07	334.17	339.19	331.16
08:08	336.18	345.21	336.18
08:09	341.20	350.23	342.20
08:10	343.20	350.23	346.21
08:11	347.22	358.26	349.23
08:12	350.23	359.26	352.24
08:13	356.25	362.27	355.25
08:14	361.27	365.28	359.26
08:15	368.29	370.30	363.27
08:16	374.31	374.31	366.29
08:17	378.33	378.33	371.30
08:18	381.34	384.35	377.32
08:19	385.35	387.36	382.34

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
08:20	29.40	27.50	24.00
08:21	29.50	27.50	24.10
08:22	29.80	27.60	24.20
08:23	30.10	27.60	24.30
08:24	30.10	27.60	24.50
08:25	30.40	27.70	24.70
08:26	30.50	27.70	24.90
08:27	30.30	27.90	25.00
08:28	30.10	28.00	25.20
08:29	30.10	28.00	25.40
08:30	30.30	27.80	25.50
08:31	30.40	27.80	25.70
08:32	30.70	27.80	26.20
08:33	31.00	27.80	26.50
08:34	31.00	27.80	26.70
08:35	30.90	27.70	26.80
08:36	30.80	27.70	27.10
08:37	30.80	27.70	27.60
08:38	30.80	28.90	28.10
08:39	30.90	28.90	28.70
08:40	31.10	30.00	29.00
08:41	31.30	30.00	29.30
08:42	31.30	30.00	29.70
08:43	31.70	30.50	30.10
08:44	32.30	30.50	30.20
08:45	33.00	30.50	30.20
08:46	33.70	31.00	30.60
08:47	34.40	31.00	30.80
08:48	34.90	31.60	30.90
08:49	35.40	32.50	31.10
08:50	36.20	32.60	31.30
08:51	36.90	32.70	31.60
08:52	37.50	33.00	31.40
08:53	37.90	33.40	31.10
08:54	37.80	34.40	31.50
08:55	38.10	36.90	31.40
08:56	38.30	36.60	31.80
08:57	38.30	36.20	32.20
08:58	38.10	35.50	32.70
08:59	38.40	35.20	32.90
09:00	39.00	35.20	33.10
09:01	39.20	35.30	33.10
09:02	39.20	35.20	33.00
09:03	39.20	35.10	33.00
09:04	39.80	35.20	33.20
09:05	39.90	35.70	33.50
09:06	40.30	36.10	33.60
09:07	40.30	36.60	33.40
09:08	40.20	37.10	33.50

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
08:20	27.70	27.90	24.10
08:21	27.80	28.10	24.20
08:22	27.80	28.10	24.40
08:23	27.70	28.10	24.50
08:24	27.80	28.10	24.50
08:25	27.70	28.30	24.60
08:26	27.70	28.30	24.70
08:27	27.60	28.60	24.80
08:28	27.70	28.70	24.80
08:29	27.70	28.70	24.80
08:30	27.70	28.80	24.90
08:31	27.70	29.00	25.00
08:32	27.70	29.10	25.20
08:33	27.80	29.10	25.20
08:34	27.70	29.20	25.10
08:35	27.80	29.30	25.20
08:36	27.80	29.50	25.40
08:37	27.80	29.60	25.50
08:38	27.60	29.80	25.60
08:39	27.50	29.90	25.50
08:40	27.50	30.00	25.60
08:41	27.50	30.00	25.80
08:42	27.60	30.00	25.90
08:43	27.70	30.20	26.00
08:44	27.80	30.40	26.20
08:45	29.10	30.50	26.30
08:46	29.30	30.50	26.40
08:47	29.50	30.60	26.40
08:48	30.50	30.60	26.70
08:49	30.60	30.80	26.60
08:50	30.70	30.80	26.80
08:51	30.70	30.90	26.80
08:52	30.80	31.00	26.90
08:53	30.90	31.10	26.90
08:54	31.00	31.20	27.00
08:55	31.00	31.10	27.30
08:56	31.20	31.00	27.30
08:57	31.10	31.10	27.40
08:58	31.30	31.10	27.40
08:59	31.60	31.00	27.70
09:00	31.00	31.20	27.80
09:01	30.30	31.20	27.90
09:02	30.40	31.20	28.10
09:03	30.50	31.30	28.20
09:04	30.60	31.40	28.20
09:05	30.70	31.50	28.40
09:06	30.70	31.60	28.50
09:07	30.60	31.70	28.50
09:08	30.70	31.80	28.60

ค่าความชื้นแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
08:20	386.36	392.38	385.35
08:21	388.36	397.39	389.37
08:22	391.37	400.40	393.38
08:23	396.39	404.42	396.39
08:24	397.39	411.44	401.41
08:25	405.42	417.46	404.42
08:26	404.42	424.49	409.44
08:27	415.46	426.50	411.44
08:28	411.44	425.49	415.46
08:29	425.49	429.51	420.48
08:30	428.50	430.51	423.49
08:31	419.47	436.53	428.50
08:32	412.45	441.55	433.52
08:33	422.48	442.55	437.54
08:34	430.57	446.57	440.55
08:35	431.51	453.59	443.56
08:36	436.53	456.60	448.57
08:37	449.58	458.61	452.59
08:38	453.59	461.62	456.60
08:39	447.57	465.63	459.61
08:40	444.56	470.65	463.63
08:41	449.58	474.67	468.64
08:42	459.61	475.67	472.66
08:43	444.56	480.69	476.67
08:44	449.58	483.70	478.68
08:45	447.87	488.71	482.69
08:46	451.69	495.74	485.70
08:47	459.68	498.75	487.71
08:48	451.58	500.76	492.73
08:49	467.71	500.76	496.74
08:50	463.70	501.76	499.75
08:51	473.56	506.78	503.77
08:52	482.27	513.80	506.78
08:53	486.78	516.81	510.79
08:54	484.77	520.83	515.81
08:55	490.69	525.84	519.82
08:56	522.83	536.88	523.84
08:57	528.86	544.91	525.84
08:58	528.86	541.90	528.86
08:59	524.84	531.87	533.87
09:00	535.88	528.86	536.88
09:01	539.89	536.88	536.88
09:02	542.90	527.85	543.91
09:03	543.91	528.86	549.93
09:04	545.92	529.86	551.94
09:05	545.92	546.92	555.95
09:06	549.93	545.92	555.95
09:07	553.94	534.88	560.97
09:08	563.98	550.93	563.98

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
09:09	40.00	37.30	34.00
09:10	40.10	37.60	34.50
09:11	40.40	38.20	34.90
09:12	40.60	38.60	34.90
09:13	40.70	39.00	34.90
09:14	41.40	39.30	34.60
09:15	42.00	39.40	34.60
09:16	42.10	39.00	34.50
09:17	42.20	38.40	34.20
09:18	42.50	38.30	34.30
09:19	42.80	38.60	33.80
09:20	43.20	38.70	33.40
09:21	44.10	38.20	33.30
09:22	44.50	37.20	33.30
09:23	44.40	36.50	33.50
09:24	44.20	36.90	33.40
09:25	44.40	36.90	33.60
09:26	45.30	37.30	34.00
09:27	45.50	38.00	34.30
09:28	45.30	38.70	34.50
09:29	44.90	39.20	34.30
09:30	45.30	39.80	34.10
09:31	45.10	40.70	34.30
09:32	44.60	41.50	34.20
09:33	43.70	41.70	34.30
09:34	43.40	41.60	34.30
09:35	44.00	41.50	34.50
09:36	44.60	41.60	34.60
09:37	44.50	41.90	34.50
09:38	44.20	41.90	34.60
09:39	44.00	42.30	35.40
09:40	43.90	43.00	35.70
09:41	44.50	43.80	36.00
09:42	44.30	44.70	36.50
09:43	44.70	45.10	37.00
09:44	45.40	45.10	37.30
09:45	46.30	44.30	37.70
09:46	47.20	44.40	38.10
09:47	48.20	44.70	37.90
09:48	48.10	44.20	37.70
09:49	47.80	43.90	37.30
09:50	48.10	43.70	37.50
09:51	48.30	43.50	37.70
09:52	48.40	41.80	38.20
09:53	48.70	40.50	38.60
09:54	49.40	39.60	38.70
09:55	50.10	39.20	38.60
09:56	50.50	39.20	38.90
09:57	49.90	38.90	39.00

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
09:09	30.80	31.80	28.70
09:10	30.00	32.10	28.90
09:11	30.30	32.20	29.00
09:12	30.50	32.50	29.00
09:13	30.70	32.50	29.10
09:14	30.80	32.60	29.10
09:15	31.00	32.50	29.30
09:16	31.10	32.50	29.30
09:17	31.10	32.60	29.40
09:18	31.00	32.50	29.50
09:19	31.10	32.50	29.60
09:20	31.00	32.50	29.60
09:21	31.00	32.50	29.80
09:22	31.20	32.50	29.70
09:23	31.30	32.30	29.80
09:24	31.20	32.40	29.90
09:25	31.30	32.30	29.90
09:26	31.30	32.40	29.80
09:27	31.50	32.70	30.00
09:28	31.50	32.80	30.10
09:29	31.70	32.90	30.20
09:30	32.10	33.10	30.20
09:31	32.30	33.40	30.20
09:32	32.30	33.60	30.40
09:33	32.50	33.70	30.40
09:34	32.60	33.90	30.40
09:35	32.40	34.00	30.60
09:36	32.20	34.20	30.70
09:37	32.60	34.20	30.80
09:38	32.90	34.40	30.80
09:39	33.00	34.50	30.50
09:40	33.10	34.60	30.60
09:41	33.20	34.70	30.90
09:42	33.30	35.00	30.90
09:43	33.50	35.10	30.80
09:44	33.70	35.20	30.90
09:45	33.90	35.10	31.00
09:46	34.10	34.90	31.10
09:47	34.00	34.90	31.20
09:48	33.60	35.00	31.30
09:49	33.50	35.00	31.40
09:50	33.50	35.00	31.30
09:51	33.50	34.80	31.30
09:52	33.60	34.60	31.40
09:53	33.80	34.70	31.20
09:54	34.00	34.60	31.30
09:55	34.20	34.30	31.40
09:56	34.00	34.20	31.30
09:57	33.80	34.20	31.50

ค่าความชื้นแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
09:09	563.98	547.92	570.00
09:10	569.00	558.96	573.01
09:11	579.03	561.97	577.02
09:12	576.02	574.01	579.03
09:13	584.05	576.02	579.03
09:14	587.06	579.03	583.05
09:15	587.06	583.05	587.06
09:16	591.07	585.05	590.07
09:17	589.07	593.08	594.08
09:18	592.08	596.09	596.09
09:19	600.11	601.11	599.10
09:20	603.12	600.11	602.11
09:21	609.14	607.13	606.13
09:22	609.14	610.14	611.14
09:23	616.16	617.17	612.15
09:24	621.18	620.18	617.17
09:25	623.19	620.18	620.18
09:26	619.17	616.16	622.18
09:27	628.20	623.19	623.19
09:28	628.20	625.19	630.21
09:29	631.21	635.23	633.22
09:30	631.21	636.23	638.24
09:31	636.23	634.23	638.24
09:32	636.23	636.23	644.26
09:33	647.27	641.25	647.27
09:34	649.28	645.26	650.28
09:35	651.28	647.27	652.29
09:36	651.28	652.29	653.29
09:37	655.30	652.29	659.31
09:38	659.31	649.28	663.33
09:39	664.33	657.31	662.32
09:40	667.34	659.31	665.33
09:41	671.36	661.32	669.35
09:42	671.36	666.34	672.36
09:43	672.36	667.34	673.36
09:44	675.37	673.36	677.38
09:45	676.37	676.37	680.39
09:46	678.38	673.36	681.39
09:47	682.39	678.38	685.40
09:48	689.42	689.42	687.41
09:49	692.43	689.42	691.43
09:50	690.42	690.42	695.44
09:51	700.46	694.44	700.46
09:52	699.45	693.43	704.47
09:53	702.46	694.44	701.46
09:54	705.48	697.45	703.47
09:55	706.48	703.47	708.49
09:56	709.49	713.50	713.50
09:57	712.50	716.51	716.51

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
09:58	49.90	38.80	39.30
09:59	49.70	38.50	39.50
10:00	49.70	37.60	40.10
10:01	50.10	37.00	40.20
10:02	50.70	36.80	39.70
10:03	49.80	36.70	39.30
10:04	49.00	36.50	39.00
10:05	48.30	37.00	38.70
10:06	47.50	37.70	39.20
10:07	46.90	38.10	39.50
10:08	47.40	38.30	40.70
10:09	47.90	38.30	41.10
10:10	47.40	38.40	40.50
10:11	47.30	38.00	39.80
10:12	46.50	37.60	40.20
10:13	46.60	37.80	40.20
10:14	46.40	38.10	40.00
10:15	46.80	38.70	40.10
10:16	47.50	39.00	40.70
10:17	46.90	39.10	40.60
10:18	47.40	39.10	40.50
10:19	47.70	39.30	40.60
10:20	47.70	39.10	40.60
10:21	47.30	38.30	40.70
10:22	47.00	37.90	40.40
10:23	46.60	37.10	39.90
10:24	47.20	36.40	40.10
10:25	47.00	36.40	40.40
10:26	47.20	36.30	40.50
10:27	47.20	36.20	40.30
10:28	46.60	36.50	40.90
10:29	47.00	36.50	41.50
10:30	47.10	37.00	41.50
10:31	48.40	37.50	41.90
10:32	48.50	37.90	42.10
10:33	48.50	38.30	42.00
10:34	47.80	38.20	42.90
10:35	47.50	37.90	43.80
10:36	47.90	38.10	43.50
10:37	48.30	39.50	43.60
10:38	48.70	40.40	43.40
10:39	48.20	41.20	43.50
10:40	47.70	41.50	43.50
10:41	47.40	40.80	44.10
10:42	47.60	39.80	44.60
10:43	48.20	39.60	44.30
10:44	49.00	40.30	43.70
10:45	49.10	40.90	43.80
10:46	49.60	42.00	42.90

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
09:58	34.00	34.00	31.60
09:59	34.20	34.00	31.60
10:00	34.30	33.80	31.70
10:01	34.40	33.50	31.90
10:02	34.40	33.50	31.90
10:03	34.40	33.50	31.90
10:04	34.60	33.60	32.10
10:05	34.50	33.70	32.10
10:06	34.70	33.60	31.90
10:07	35.00	33.50	31.90
10:08	34.90	33.50	31.80
10:09	34.70	33.60	31.80
10:10	34.80	33.60	32.00
10:11	34.40	33.40	32.10
10:12	34.90	33.40	32.20
10:13	34.60	33.50	32.20
10:14	34.60	33.60	32.40
10:15	34.50	33.70	32.40
10:16	34.50	33.90	32.40
10:17	34.40	33.90	32.40
10:18	34.60	33.70	32.30
10:19	34.50	33.70	32.20
10:20	34.40	33.60	32.30
10:21	34.40	33.40	32.60
10:22	34.80	33.40	32.70
10:23	34.80	33.10	32.80
10:24	34.80	33.10	32.70
10:25	34.70	33.20	32.90
10:26	34.40	33.20	33.00
10:27	34.50	33.10	32.80
10:28	34.90	33.30	32.60
10:29	35.00	33.30	32.70
10:30	35.00	33.50	32.90
10:31	35.20	33.50	33.00
10:32	35.20	33.60	33.10
10:33	35.50	33.70	33.10
10:34	35.40	33.60	33.10
10:35	35.50	33.80	33.00
10:36	35.60	33.90	33.30
10:37	35.30	34.30	33.60
10:38	35.30	34.30	33.60
10:39	35.50	34.30	33.40
10:40	35.50	34.30	33.70
10:41	35.50	34.40	34.00
10:42	35.50	34.20	33.80
10:43	35.40	34.20	33.80
10:44	35.50	34.30	33.70
10:45	35.70	34.70	33.90
10:46	35.60	34.90	33.90

ค่าความชื้นแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
09:58	720.53	720.53	719.52
09:59	725.55	718.52	722.53
10:00	729.56	724.54	724.54
10:01	728.56	723.54	725.55
10:02	732.57	726.55	727.55
10:03	729.56	726.55	725.55
10:04	735.58	728.56	730.56
10:05	738.59	727.55	733.57
10:06	741.60	732.57	738.59
10:07	741.60	737.59	743.61
10:08	742.61	735.58	746.62
10:09	745.62	741.60	744.61
10:10	748.63	746.62	747.62
10:11	748.63	749.63	751.64
10:12	752.64	747.62	755.65
10:13	747.62	748.63	756.65
10:14	747.62	748.63	756.65
10:15	753.64	754.65	759.67
10:16	762.68	760.67	758.66
10:17	762.68	757.66	765.69
10:18	765.69	762.68	766.69
10:19	768.70	761.67	768.70
10:20	770.70	767.69	770.70
10:21	766.69	765.69	771.71
10:22	771.71	768.70	776.72
10:23	775.72	774.72	779.74
10:24	785.76	781.74	783.75
10:25	789.77	782.75	783.75
10:26	787.76	785.76	786.76
10:27	789.77	789.77	788.77
10:28	789.77	792.78	791.78
10:29	795.79	795.79	795.79
10:30	799.81	794.79	796.80
10:31	800.81	794.79	798.80
10:32	802.82	799.81	801.81
10:33	805.83	797.80	801.81
10:34	802.82	799.81	804.82
10:35	808.84	798.81	807.83
10:36	808.84	796.80	810.84
10:37	811.85	801.81	811.85
10:38	810.84	802.82	811.85
10:39	814.86	809.84	814.86
10:40	815.86	811.85	817.87
10:41	819.88	813.86	820.88
10:42	819.88	816.87	821.88
10:43	818.87	814.86	819.88
10:44	824.89	816.88	818.87
10:45	824.89	816.87	819.88
10:46	828.91	816.87	818.87

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
10:47	49.40	42.40	42.40
10:48	49.30	41.70	42.20
10:49	50.20	40.80	41.70
10:50	50.70	40.70	41.70
10:51	50.70	40.20	41.30
10:52	50.60	40.30	41.30
10:53	51.70	40.20	42.00
10:54	52.40	40.10	43.00
10:55	51.60	39.10	43.70
10:56	51.80	38.70	43.30
10:57	52.20	39.60	42.60
10:58	52.50	40.80	42.70
10:59	51.80	41.10	42.80
11:00	51.50	41.80	43.00
11:01	51.70	41.40	42.20
11:02	50.80	41.00	41.60
11:03	50.60	41.10	41.70
11:04	51.00	41.10	41.20
11:05	50.90	41.70	41.20
11:06	51.00	41.90	41.50
11:07	50.30	42.40	42.70
11:08	49.80	42.60	43.30
11:09	49.40	42.80	43.40
11:10	49.80	43.00	43.20
11:11	50.90	43.70	43.50
11:12	52.10	44.30	44.10
11:13	52.70	44.60	44.60
11:14	53.10	44.40	45.80
11:15	52.30	44.70	45.80
11:16	52.60	44.70	46.80
11:17	53.20	44.90	46.80
11:18	54.50	45.10	47.80
11:19	53.90	44.60	47.50
11:20	54.10	43.80	46.60
11:21	54.10	43.90	45.70
11:22	53.80	43.60	45.70
11:23	53.30	43.20	45.20
11:24	52.30	43.70	
11:25	52.30	44.10	45.20
11:26	51.70	44.20	45.60
11:27	50.40	45.10	45.60
11:28	49.20	45.90	45.60
11:29	49.20	46.50	46.30
11:30	49.50	47.20	47.10
11:31	49.50	47.00	47.60
11:32	50.00	47.40	48.20
11:33	49.80	47.60	47.40
11:34	50.40	48.50	46.00
11:35	50.00	48.30	45.30

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
10:47	35.60	34.70	34.00
10:48	35.70	34.70	34.00
10:49	35.80	34.50	34.20
10:50	36.00	34.60	34.20
10:51	35.90	34.40	34.20
10:52	35.90	34.60	34.20
10:53	35.90	34.80	34.20
10:54	35.80	34.80	34.40
10:55	36.00	34.80	34.10
10:56	36.10	34.70	34.10
10:57	36.10	35.10	34.40
10:58	35.90	35.20	34.60
10:59	35.90	35.50	34.50
11:00	36.30	35.60	34.60
11:01	36.30	35.40	34.90
11:02	36.60	35.50	35.00
11:03	36.40	35.60	35.00
11:04	36.00	35.80	35.10
11:05	36.00	35.80	35.00
11:06	36.10	35.70	35.10
11:07	36.50	35.90	34.80
11:08	36.80	36.20	34.90
11:09	37.00	36.20	35.10
11:10	37.00	36.20	35.40
11:11	37.20	36.40	35.20
11:12	37.30	36.60	35.20
11:13	37.00	36.80	35.40
11:14	37.30	36.90	35.10
11:15	37.40	36.90	35.20
11:16	37.60	37.00	35.20
11:17	37.70	37.10	35.20
11:18	38.10	37.30	35.00
11:19	38.20	37.40	35.00
11:20	38.50	37.00	35.40
11:21	38.60	37.10	35.70
11:22	38.70	37.20	35.60
11:23	38.80	37.20	35.60
11:24	39.00	37.20	35.00
11:25	38.30	37.30	35.90
11:26	38.50	37.50	36.00
11:27	38.60	37.40	36.10
11:28	38.10	37.70	35.80
11:29	37.90	37.90	35.90
11:30	38.00	37.80	36.10
11:31	37.90	37.70	35.80
11:32	37.70	37.80	35.40
11:33	37.50	37.80	35.20
11:34	37.50	38.00	35.50
11:35	37.80	38.40	35.50

ค่าความเข้มแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
10:47	827.90	817.87	822.89
10:48	823.89	820.88	823.89
10:49	830.92	823.89	826.90
10:50	835.93	826.90	826.90
10:51	838.94	829.91	830.92
10:52	835.93	831.92	833.93
10:53	839.95	834.93	838.94
10:54	813.86	835.93	839.95
10:55	825.90	839.95	841.95
10:56	834.93	842.96	837.94
10:57	839.95	848.98	838.94
10:58	846.97	847.97	841.95
10:59	856.00	847.97	844.96
11:00	859.01	850.99	848.98
11:01	857.01	847.01	846.97
11:02	858.01	847.01	848.98
11:03	851.99	843.96	848.98
11:04	848.98	850.01	850.99
11:05	854.00	854.00	855.00
11:06	852.99	850.99	856.00
11:07	855.00	855.00	861.02
11:08	858.01	854.00	856.00
11:09	861.02	852.99	856.00
11:10	866.04	860.02	859.01
11:11	868.05	866.04	868.05
11:12	871.06	865.03	868.05
11:13	871.06	865.03	870.05
11:14	873.06	865.03	869.05
11:15	875.07	867.04	872.06
11:16	875.07	868.05	871.06
11:17	875.07	868.05	869.05
11:18	877.08	864.03	871.06
11:19	876.07	865.03	871.06
11:20	875.07	868.05	869.05
11:21	879.08	871.06	868.05
11:22	878.08	874.07	869.05
11:23	878.08	875.07	873.06
11:24	878.08	875.07	874.75
11:25	879.08	877.08	877.08
11:26	880.09	878.09	878.08
11:27	879.08	878.12	883.10
11:28	881.09	879.12	879.08
11:29	881.09	880.11	881.09
11:30	880.09	881.11	881.09
11:31	879.08	882.11	883.10
11:32	881.09	883.10	883.10
11:33	879.08	884.11	883.10
11:34	883.10	885.11	882.09
11:35	885.11	886.10	882.09

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
11:36	50.70	48.20	45.40
11:37	52.20	48.20	44.90
11:38	53.00	48.00	44.00
11:39	53.00	48.20	44.40
11:40	53.40	48.40	44.70
11:41	54.30	48.40	43.80
11:42	55.00	48.40	43.30
11:43	56.20	48.10	43.30
11:44	57.30	48.20	43.80
11:45	58.20	48.10	44.30
11:46	58.50	48.60	43.60
11:47	58.90	48.80	43.90
11:48	58.60	49.00	44.00
11:49	56.80	49.20	43.80
11:50	57.60	49.20	44.80
11:51	58.50	49.50	45.50
11:52	59.00	50.00	46.60
11:53	59.00	49.80	47.80
11:54	59.10	49.40	47.80
11:55	59.50	49.00	46.70
11:56	60.00	49.50	47.20
11:57	59.30	50.50	47.10
11:58	58.80	50.60	47.10
11:59	58.70	50.70	46.40
12:00	58.90	50.90	46.40
12:01	59.70	50.60	47.50
12:02	59.70	50.40	47.80
12:03	59.10	50.00	47.20
12:04	58.80	49.60	48.50
12:05	59.10	49.60	49.70
12:06	58.20	49.30	50.80
12:07	57.70	49.40	50.90
12:08	57.10	49.10	51.40
12:09	56.70	48.70	51.60
12:10	56.90	49.10	52.00
12:11	57.10	49.10	52.30
12:12	56.30	48.90	51.40
12:13	55.90	49.00	52.10
12:14	55.30	49.20	52.40
12:15	54.90	50.20	51.20
12:16	55.10	50.50	51.40
12:17	54.90	50.00	52.20
12:18	55.70	49.70	53.10
12:19	55.30	50.10	53.00
12:20	54.00	50.10	53.50
12:21	52.60	50.70	52.90
12:22	52.50	51.60	51.90
12:23	51.70	52.50	51.40
12:24	51.40	52.50	50.40

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
11:36	38.30	38.30	35.50
11:37	38.20	38.30	35.40
11:38	38.40	38.40	35.80
11:39	38.60	38.50	35.90
11:40	38.50	38.50	35.80
11:41	38.60	38.80	35.70
11:42	38.70	39.00	35.80
11:43	38.60	38.90	35.90
11:44	38.80	38.80	35.80
11:45	38.00	38.60	35.70
11:46	38.10	38.70	36.10
11:47	38.30	39.00	36.10
11:48	38.50	39.10	36.20
11:49	38.80	39.10	36.10
11:50	38.70	39.40	35.70
11:51	38.60	38.90	35.80
11:52	38.40	38.70	35.60
11:53	38.60	38.70	35.50
11:54	38.20	38.70	35.90
11:55	38.30	38.20	36.00
11:56	38.20	38.00	36.40
11:57	38.30	37.90	36.20
11:58	38.20	37.90	36.30
11:59	38.10	38.40	36.50
12:00	38.20	38.80	36.60
12:01	37.90	39.00	36.20
12:02	37.90	38.90	36.40
12:03	37.80	38.90	36.70
12:04	37.40	38.80	36.40
12:05	37.70	38.90	36.10
12:06	37.80	38.90	36.40
12:07	37.70	38.70	36.60
12:08	37.60	38.70	36.80
12:09	37.70	38.80	36.60
12:10	37.90	38.80	36.50
12:11	38.00	38.90	36.60
12:12	38.00	38.80	36.60
12:13	37.00	39.00	36.50
12:14	37.30	39.00	36.20
12:15	37.50	39.20	36.40
12:16	37.50	39.40	36.30
12:17	37.50	39.40	36.00
12:18	37.40	39.50	35.90
12:19	37.60	39.10	35.60
12:20	37.90	39.50	35.70
12:21	38.30	39.30	35.80
12:22	38.70	39.20	35.90
12:23	39.10	39.10	35.70
12:24	39.30	38.80	36.20

ค่าความชื้นแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
11:36	887.12	887.12	879.08
11:37	887.12	887.11	877.08
11:38	889.12	890.12	875.07
11:39	889.13	890.12	872.06
11:40	890.14	887.11	873.06
11:41	890.13	886.11	875.07
11:42	889.12	887.11	877.08
11:43	889.13	889.14	880.09
11:44	888.14	889.15	885.11
11:45	889.14	891.15	887.11
11:46	889.14	892.15	887.11
11:47	889.13	892.19	891.13
11:48	890.14	893.72	892.13
11:49	890.14	894.15	889.12
11:50	889.14	895.16	893.13
11:51	888.15	896.16	894.14
11:52	889.15	897.15	893.13
11:53	886.15	895.14	898.15
11:54	885.16	894.14	898.15
11:55	887.16	898.15	898.15
11:56	887.16	894.14	897.15
11:57	886.17	897.15	896.14
11:58	888.16	898.15	897.15
11:59	890.16	897.15	897.15
12:00	890.14	898.15	900.16
12:01	890.14	898.15	900.16
12:02	891.13	897.15	899.15
12:03	890.15	896.14	899.15
12:04	891.14	896.16	902.16
12:05	893.13	897.15	903.17
12:06	891.13	897.15	904.17
12:07	893.13	897.15	908.19
12:08	894.14	894.14	905.18
12:09	894.14	889.12	904.17
12:10	895.14	889.12	903.17
12:11	902.16	889.12	903.17
12:12	900.16	892.13	902.16
12:13	903.17	894.14	900.16
12:14	906.18	897.15	897.15
12:15	908.19	897.15	898.15
12:16	912.20	894.14	895.14
12:17	909.19	891.13	894.14
12:18	909.19	892.13	894.14
12:19	907.18	894.14	893.13
12:20	911.20	893.13	896.14
12:21	905.18	888.12	892.13
12:22	900.16	882.09	891.13
12:23	899.15	887.11	893.13
12:24	899.15	896.14	892.13

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
12:25	51.40	52.60	49.00
12:26	51.00	52.20	48.10
12:27	51.90	52.40	47.40
12:28	53.40	52.70	47.70
12:29	54.10	52.80	48.50
12:30	53.90	52.60	49.30
12:31	53.40	52.90	49.90
12:32	53.80	53.50	49.00
12:33	53.30	53.30	47.60
12:34	54.00	53.90	47.70
12:35	54.20	54.30	48.70
12:36	54.10	54.30	49.90
12:37	53.80	53.90	50.10
12:38	53.90	53.90	50.00
12:39	54.60	52.90	49.10
12:40	56.10	51.90	48.80
12:41	56.70	52.30	48.60
12:42	55.70	52.20	48.60
12:43	55.20	52.80	48.70
12:44	56.20	53.00	47.90
12:45	55.80	53.00	47.50
12:46	56.40	51.70	47.20
12:47	57.20	51.20	47.30
12:48	58.10	51.70	47.50
12:49	57.50	51.70	48.00
12:50	56.50	51.70	49.10
12:51	56.60	51.55	49.70
12:52	57.50	52.20	49.70
12:53	57.90	52.00	50.40
12:54	56.80	51.40	50.20
12:55	56.10	51.30	50.60
12:56	55.20	51.10	50.50
12:57	54.30	51.00	50.50
12:58	54.00	51.00	51.00
12:59	54.60	51.10	51.00
13:00	54.60	51.20	50.30
13:01	54.60	51.30	49.60
13:02	53.60	51.00	49.30
13:03	52.30	50.00	49.90
13:04	51.10	51.00	50.30
13:05	51.50	51.00	50.50
13:06	52.20	51.00	50.20
13:07	52.70	51.40	49.90
13:08	52.60	51.00	50.40
13:09	53.60	51.20	49.90
13:10	53.40	51.00	49.70
13:11	53.10	51.10	49.40
13:12	53.30	50.90	48.80
13:13	53.90	50.00	48.40

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
12:25	39.50	38.80	36.50
12:26	39.30	38.90	36.80
12:27	38.90	38.70	36.50
12:28	39.10	38.80	36.70
12:29	39.00	38.50	36.50
12:30	39.50	38.60	36.50
12:31	39.50	38.70	36.50
12:32	39.40	39.20	36.50
12:33	39.60	39.40	36.80
12:34	39.60	39.00	36.70
12:35	39.60	38.90	36.70
12:36	39.90	38.90	36.50
12:37	39.90	38.80	36.50
12:38	39.80	38.70	36.50
12:39	39.70	38.30	36.60
12:40	39.50	38.20	36.80
12:41	39.70	38.10	36.70
12:42	39.90	38.60	36.40
12:43	40.10	38.60	36.50
12:44	39.80	38.80	36.70
12:45	40.10	38.90	36.60
12:46	40.20	38.70	36.70
12:47	40.00	38.50	36.60
12:48	40.10	38.10	36.50
12:49	40.20	37.90	36.50
12:50	40.60	37.60	36.40
12:51	41.00	37.30	36.30
12:52	40.70	37.00	36.20
12:53	40.50	36.90	36.10
12:54	40.10	37.20	36.40
12:55	39.90	37.10	36.20
12:56	39.50	37.00	35.90
12:57	39.20	36.80	35.70
12:58	39.20	36.80	35.80
12:59	39.40	36.50	35.80
13:00	39.50	36.50	35.50
13:01	39.20	36.20	35.20
13:02	39.00	36.00	35.20
13:03	38.80	35.60	35.50
13:04	38.80	35.60	35.30
13:05	38.90	35.60	35.40
13:06	39.20	35.50	35.70
13:07	39.10	35.40	35.60
13:08	39.30	35.30	35.60
13:09	39.40	35.20	35.30
13:10	39.00	35.10	35.30
13:11	38.90	35.00	35.40
13:12	38.90	35.00	35.50
13:13	38.90	35.30	35.30

ค่าความเข้มแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
12:25	897.15	893.13	888.12
12:26	893.13	888.12	888.12
12:27	890.12	890.12	890.12
12:28	890.12	897.15	889.12
12:29	892.13	897.15	886.11
12:30	896.14	896.14	887.11
12:31	900.16	891.13	885.11
12:32	900.16	896.14	887.11
12:33	900.16	891.13	892.13
12:34	899.15	891.13	888.12
12:35	900.16	888.12	890.12
12:36	899.15	887.11	890.12
12:37	901.16	884.10	891.13
12:38	901.16	884.10	886.11
12:39	899.15	887.11	880.09
12:40	898.15	889.12	875.07
12:41	894.14	887.11	871.06
12:42	894.14	887.11	876.07
12:43	895.14	886.11	876.07
12:44	897.15	884.10	873.06
12:45	897.15	881.09	878.08
12:46	898.15	882.09	878.08
12:47	891.13	880.09	883.10
12:48	892.13	877.08	884.10
12:49	894.14	876.07	884.10
12:50	888.12	876.07	884.10
12:51	888.12	878.08	881.09
12:52	890.12	878.08	881.09
12:53	888.12	878.08	880.09
12:54	885.11	880.09	877.08
12:55	878.08	881.09	876.07
12:56	877.08	882.09	874.07
12:57	874.07	881.09	872.06
12:58	875.07	880.09	871.06
12:59	881.09	877.08	869.05
13:00	883.10	874.07	870.05
13:01	884.10	871.06	867.04
13:02	881.09	873.06	867.04
13:03	876.07	869.05	866.04
13:04	874.07	865.03	862.02
13:05	871.06	867.04	858.01
13:06	872.06	866.04	857.01
13:07	875.07	868.05	851.99
13:08	874.07	868.05	855.00
13:09	866.04	868.05	854.00
13:10	861.02	865.03	856.00
13:11	861.02	862.02	857.01
13:12	859.01	859.01	855.00
13:13	861.02	861.02	855.00

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
13:14	54.10	50.40	49.40
13:15	53.50	44.90	49.70
13:16	52.00	45.00	49.00
13:17	51.40	45.20	48.80
13:18	52.30	45.00	48.70
13:19	52.30	44.90	48.70
13:20	52.40	44.60	49.80
13:21	53.30	45.10	50.20
13:22	53.70	45.20	49.10
13:23	54.10	45.60	48.50
13:24	54.00	45.60	48.30
13:25	54.50	45.80	47.50
13:26	54.50	46.30	47.90
13:27	52.60	46.50	48.80
13:28	51.70	46.30	49.40
13:29	52.30	46.60	49.60
13:30	53.20	46.50	49.20
13:31	54.30	46.70	48.70
13:32	54.40	47.00	48.40
13:33	54.70	47.00	47.20
13:34	54.90	47.60	46.50
13:35	55.40	48.10	46.30
13:36	55.00	48.50	46.90
13:37	55.10	48.50	47.00
13:38	56.10	48.50	47.40
13:39	56.50	48.50	47.30
13:40	56.70	48.70	47.70
13:41	56.90	48.70	48.70
13:42	57.30	48.80	49.10
13:43	56.40	49.50	48.70
13:44	56.40	49.50	48.50
13:45	56.10	50.00	49.40
13:46	55.20	51.00	50.10
13:47	54.60	51.30	50.60
13:48	53.60	51.80	51.10
13:49	53.40	52.00	51.20
13:50	52.20	52.00	51.40
13:51	50.70	52.20	51.50
13:52	49.40	52.60	52.00
13:53	48.60	52.00	51.30
13:54	48.30	52.00	50.70
13:55	48.00	51.80	50.40
13:56	48.30	51.70	50.70
13:57	48.50	51.50	50.30
13:58	48.80	51.30	50.20
13:59	49.20	51.30	51.00
14:00	49.50	51.50	50.50
14:01	50.40	51.10	49.80
14:02	51.70	51.00	50.40

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
13:14	38.90	35.30	35.50
13:15	38.70	35.30	35.60
13:16	38.50	35.50	35.70
13:17	38.70	35.50	35.80
13:18	38.50	35.50	35.90
13:19	38.70	35.50	35.90
13:20	38.60	35.60	35.80
13:21	38.90	35.60	35.50
13:22	38.90	35.50	35.60
13:23	39.00	35.60	36.20
13:24	39.10	35.90	36.40
13:25	39.20	36.20	36.20
13:26	39.10	36.30	36.40
13:27	39.00	36.10	36.50
13:28	39.20	36.50	36.50
13:29	39.20	36.60	36.20
13:30	39.00	36.80	36.50
13:31	39.10	37.00	36.60
13:32	39.30	37.20	36.70
13:33	39.20	37.10	36.90
13:34	39.40	37.20	36.80
13:35	39.20	37.40	36.80
13:36	39.20	37.40	36.80
13:37	39.30	37.50	36.80
13:38	39.40	37.50	37.20
13:39	39.30	37.70	37.20
13:40	39.40	37.80	37.30
13:41	39.50	38.00	37.30
13:42	39.50	38.10	37.30
13:43	39.40	37.90	37.20
13:44	39.30	38.10	37.50
13:45	39.30	38.10	37.50
13:46	39.30	38.10	37.20
13:47	39.30	38.00	36.90
13:48	39.30	38.10	36.80
13:49	39.20	38.10	36.90
13:50	39.20	38.20	37.00
13:51	39.00	38.30	36.80
13:52	39.00	38.30	36.80
13:53	39.00	38.00	36.50
13:54	39.00	37.90	36.50
13:55	39.00	37.90	36.60
13:56	39.00	38.30	36.60
13:57	39.00	38.50	36.60
13:58	39.00	38.50	36.40
13:59	39.00	38.60	36.30
14:00	39.00	38.30	36.50
14:01	39.00	38.30	36.60
14:02	39.00	38.50	36.80

ค่าความชื้นแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
13:14	859.01	860.02	848.98
13:15	856.00	861.02	842.96
13:16	856.00	859.01	845.97
13:17	849.98	858.01	846.97
13:18	846.97	859.01	846.97
13:19	841.95	860.02	846.97
13:20	835.93	856.00	844.96
13:21	834.93	855.00	842.96
13:22	835.93	849.98	836.94
13:23	835.93	846.97	833.93
13:24	833.93	846.97	833.93
13:25	831.92	846.97	832.92
13:26	830.92	844.96	831.92
13:27	831.92	839.95	832.92
13:28	831.92	835.93	830.92
13:29	828.91	839.95	829.91
13:30	826.90	835.93	824.89
13:31	821.88	832.92	823.89
13:32	819.88	829.91	821.88
13:33	817.87	827.90	820.88
13:34	814.86	828.91	818.87
13:35	810.84	826.90	815.86
13:36	807.83	824.89	814.86
13:37	805.83	823.89	813.86
13:38	802.82	818.87	811.85
13:39	801.81	818.87	808.84
13:40	801.81	819.88	805.83
13:41	799.81	816.87	802.82
13:42	796.80	811.85	800.81
13:43	792.78	806.83	802.82
13:44	789.77	804.82	800.81
13:45	787.76	804.82	800.81
13:46	786.76	803.82	795.79
13:47	778.73	801.81	795.79
13:48	776.72	798.80	794.79
13:49	780.74	797.80	789.77
13:50	781.74	796.80	788.77
13:51	779.74	793.78	786.76
13:52	778.73	792.78	781.74
13:53	778.73	788.77	779.74
13:54	776.72	789.77	774.72
13:55	771.71	787.76	776.72
13:56	765.69	786.76	771.73
13:57	762.68	785.76	779.74
13:58	763.68	783.75	778.73
13:59	760.67	780.74	773.71
14:00	754.65	776.72	770.70
14:01	750.63	773.71	765.69
14:02	752.64	767.69	766.69

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
14:03	52.60	51.00	50.80
14:04	52.20	51.00	50.50
14:05	52.00	51.00	50.20
14:06	52.30	51.10	49.80
14:07	53.00	51.10	49.90
14:08	52.70	50.90	49.80
14:09	53.40	50.90	50.00
14:10	53.90	50.90	50.00
14:11	53.40	50.80	50.40
14:12	53.00	50.90	50.30
14:13	52.60	50.90	50.50
14:14	52.80	50.70	50.50
14:15	52.80	50.60	49.50
14:16	52.30	50.60	49.90
14:17	52.10	50.80	50.50
14:18	52.30	51.00	50.40
14:19	52.10	51.00	50.30
14:20	51.80	51.00	50.00
14:21	51.80	50.70	49.70
14:22	52.00	50.60	49.50
14:23	52.40	50.70	48.90
14:24	53.40	50.70	48.20
14:25	53.90	50.50	48.30
14:26	53.90	50.70	49.10
14:27	53.40	50.50	49.00
14:28	53.50	50.00	48.60
14:29	53.40	50.00	48.40
14:30	53.20	50.00	47.80
14:31	52.70	49.80	46.90
14:32	52.50	48.30	46.40
14:33	52.20	48.40	46.10
14:34	52.30	48.40	46.20
14:35	52.20	48.40	46.20
14:36	52.10	48.40	46.50
14:37	52.40	48.40	46.30
14:38	52.60	48.40	46.20
14:39	52.90	48.50	46.70
14:40	52.90	48.50	46.70
14:41	53.10	48.50	47.00
14:42	53.70	48.50	46.90
14:43	54.70	48.50	47.20
14:44	54.60	48.50	47.20
14:45	54.20	48.50	47.00
14:46	53.70	48.50	47.10
14:47	53.20	48.50	47.10
14:48	53.00	47.00	46.60
14:49	53.00	47.00	46.40
14:50	52.90	47.00	46.30
14:51	53.00	46.70	46.30

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
14:03	39.20	38.50	36.60
14:04	39.10	38.40	36.60
14:05	38.60	38.50	36.60
14:06	38.90	38.30	36.50
14:07	38.70	38.30	36.60
14:08	38.70	37.80	36.70
14:09	38.90	37.80	36.50
14:10	38.80	37.60	36.50
14:11	38.90	37.70	36.20
14:12	38.90	37.60	36.40
14:13	38.90	37.30	36.60
14:14	39.00	37.30	36.70
14:15	38.90	37.40	36.70
14:16	38.80	37.30	36.50
14:17	38.90	37.40	36.40
14:18	38.90	37.40	36.40
14:19	39.00	37.70	36.40
14:20	38.90	37.60	36.20
14:21	38.80	37.90	36.20
14:22	38.70	38.10	36.10
14:23	39.00	38.20	36.30
14:24	39.20	38.20	36.10
14:25	39.10	38.40	36.10
14:26	39.30	38.80	36.10
14:27	39.40	38.90	36.40
14:28	39.30	38.90	36.20
14:29	38.90	38.90	36.00
14:30	39.10	39.00	36.00
14:31	39.10	39.20	36.00
14:32	39.20	39.20	36.20
14:33	38.90	39.40	36.30
14:34	39.10	39.30	36.00
14:35	39.00	39.20	36.00
14:36	39.10	39.40	36.00
14:37	39.10	39.30	36.10
14:38	39.00	39.10	36.20
14:39	39.10	39.30	36.00
14:40	38.90	39.30	36.30
14:41	39.20	39.20	36.30
14:42	39.40	39.20	36.20
14:43	39.00	39.20	35.90
14:44	38.80	39.40	35.80
14:45	39.20	39.50	35.80
14:46	39.20	39.20	35.70
14:47	39.30	39.00	36.00
14:48	39.30	38.90	36.10
14:49	39.30	38.80	35.80
14:50	39.50	38.70	35.50
14:51	39.60	38.40	35.90

ค่าความชื้นแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
14:03	751.64	764.68	764.68
14:04	750.63	765.69	760.67
14:05	754.65	764.68	758.66
14:06	751.64	760.67	755.65
14:07	749.63	757.66	753.64
14:08	741.60	751.64	749.63
14:09	733.57	749.63	748.63
14:10	735.58	747.62	747.62
14:11	730.56	736.58	746.62
14:12	729.56	730.56	743.61
14:13	729.56	728.56	742.61
14:14	731.57	725.55	739.59
14:15	719.52	723.54	738.59
14:16	719.52	721.53	736.58
14:17	716.51	720.53	732.57
14:18	712.50	719.52	728.56
14:19	705.48	717.52	725.55
14:20	697.45	715.51	720.53
14:21	702.46	711.50	720.53
14:22	702.46	710.49	719.52
14:23	696.44	710.49	712.50
14:24	694.44	708.49	710.49
14:25	690.42	706.48	712.50
14:26	686.41	705.48	710.49
14:27	688.42	705.48	708.49
14:28	689.42	703.47	706.48
14:29	691.43	701.46	700.46
14:30	692.43	695.44	695.44
14:31	690.42	694.44	694.44
14:32	689.42	692.43	695.44
14:33	680.39	691.43	689.42
14:34	679.38	687.41	683.40
14:35	673.36	686.41	681.39
14:36	668.34	683.40	679.38
14:37	666.34	677.38	679.38
14:38	665.33	673.36	676.37
14:39	661.32	670.35	670.35
14:40	662.32	669.35	667.34
14:41	651.28	664.33	664.33
14:42	648.27	658.31	658.31
14:43	646.27	652.29	656.30
14:44	643.26	648.27	650.28
14:45	645.26	650.28	645.26
14:46	648.27	647.27	640.25
14:47	644.26	642.25	634.23
14:48	637.24	643.26	628.20
14:49	633.22	639.24	632.22
14:50	631.21	636.23	630.21
14:51	628.20	633.22	627.20

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
14:52	53.30	46.70	46.20
14:53	53.00	46.70	46.00
14:54	52.60	46.70	46.30
14:55	53.10	46.80	46.00
14:56	52.60	46.80	45.60
14:57	52.60	46.80	45.60
14:58	52.50	47.00	45.80
14:59	52.80	47.00	46.00
15:00	52.70	47.10	46.40
15:01	52.30	47.10	46.40
15:02	52.10	47.10	46.30
15:03	52.40	47.10	46.20
15:04	53.00	47.20	46.50
15:05	53.20	47.00	46.00
15:06	53.70	47.00	46.00
15:07	53.60	47.00	45.70
15:08	53.80	47.80	45.50
15:09	53.60	47.80	45.60
15:10	53.30	47.80	45.30
15:11	53.40	47.80	45.10
15:12	53.40	47.80	44.90
15:13	53.60	47.80	44.90
15:14	53.60	48.00	45.10
15:15	53.80	48.00	44.90
15:16	53.30	48.00	45.00
15:17	52.70	47.00	44.60
15:18	52.00	46.60	44.70
15:19	51.30	46.60	44.80
15:20	50.80	46.00	45.30
15:21	51.20	46.50	45.40
15:22	51.20	46.50	45.30
15:23	50.70	46.00	45.00
15:24	50.40	46.00	44.90
15:25	50.40	46.00	45.00
15:26	50.60	46.00	45.00
15:27	50.80	46.00	45.10
15:28	50.40	46.00	45.20
15:29	50.60	46.00	45.00
15:30	50.90	46.20	45.00
15:31	51.30	46.20	45.30
15:32	51.40	46.20	45.10
15:33	51.20	46.20	45.10
15:34	50.90	46.10	45.20
15:35	51.30	46.30	44.90
15:36	51.40	46.30	44.80
15:37	51.30	46.30	44.40
15:38	51.40	46.30	44.30
15:39	51.80	46.30	44.40
15:40	51.70	46.00	44.20

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
14:52	39.60	38.40	35.80
14:53	39.60	38.70	35.90
14:54	39.90	38.90	36.00
14:55	39.90	38.90	36.00
14:56	39.90	38.80	35.90
14:57	39.80	38.80	36.10
14:58	39.90	38.60	36.00
14:59	39.70	38.80	35.50
15:00	39.60	39.00	35.50
15:01	39.70	38.90	35.70
15:02	39.70	38.80	35.80
15:03	39.80	39.00	35.80
15:04	39.80	39.10	35.80
15:05	39.90	38.90	36.10
15:06	40.10	39.00	36.00
15:07	40.10	39.00	36.10
15:08	40.10	38.70	36.20
15:09	40.20	38.70	36.30
15:10	40.30	38.90	36.10
15:11	40.40	38.80	36.20
15:12	40.60	38.70	36.20
15:13	40.50	38.50	36.10
15:14	40.40	38.50	35.80
15:15	40.30	38.70	35.50
15:16	40.20	38.70	35.80
15:17	40.20	38.70	35.90
15:18	40.20	38.70	35.60
15:19	39.90	38.90	35.80
15:20	40.10	38.80	35.80
15:21	40.10	38.90	35.80
15:22	40.10	39.00	35.80
15:23	40.00	38.70	35.90
15:24	40.20	39.00	36.10
15:25	40.40	39.00	35.80
15:26	39.90	39.10	36.00
15:27	40.10	39.10	35.80
15:28	40.20	39.00	36.10
15:29	40.10	38.90	36.10
15:30	39.80	39.00	36.20
15:31	40.00	38.80	36.20
15:32	40.20	38.40	36.20
15:33	39.80	38.50	36.20
15:34	39.70	38.50	36.20
15:35	39.70	38.40	36.40
15:36	40.10	38.20	36.40
15:37	39.90	37.90	36.40
15:38	39.70	37.40	36.40
15:39	39.40	36.90	36.00
15:40	39.50	36.80	36.10

ค่าความเข้มแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
14:52	625.19	630.21	620.18
14:53	622.18	627.20	617.17
14:54	620.18	625.19	619.17
14:55	617.17	622.18	616.16
14:56	612.15	619.17	616.16
14:57	609.14	612.15	618.17
14:58	603.12	612.15	618.17
14:59	601.11	609.14	619.17
15:00	597.09	606.13	621.18
15:01	591.07	603.12	623.19
15:02	589.07	598.10	622.18
15:03	586.06	595.09	616.16
15:04	579.03	589.07	610.14
15:05	572.01	589.07	605.12
15:06	571.00	586.06	601.11
15:07	569.00	581.04	600.11
15:08	562.98	578.03	598.10
15:09	559.96	577.02	593.08
15:10	554.95	574.01	586.06
15:11	556.95	569.00	581.04
15:12	556.95	567.99	575.02
15:13	553.94	563.98	570.00
15:14	549.93	559.96	564.98
15:15	547.92	552.94	561.97
15:16	545.92	548.93	559.96
15:17	539.89	543.91	555.95
15:18	534.88	535.88	553.94
15:19	531.87	530.86	552.94
15:20	528.86	525.84	550.93
15:21	522.83	523.84	546.92
15:22	519.82	521.83	543.91
15:23	515.81	517.82	538.89
15:24	514.81	513.80	535.88
15:25	508.79	511.80	534.88
15:26	501.76	509.79	526.85
15:27	497.75	507.78	524.84
15:28	493.73	505.77	520.83
15:29	492.73	502.76	516.81
15:30	488.71	499.75	511.80
15:31	485.70	495.74	505.77
15:32	481.69	490.72	498.75
15:33	474.67	487.71	495.74
15:34	471.65	484.70	496.74
15:35	466.64	477.68	497.75
15:36	463.63	473.66	496.74
15:37	459.61	470.65	499.75
15:38	456.60	463.63	493.73
15:39	453.59	459.61	485.70
15:40	449.58	454.60	485.70

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
15:41	51.50	46.00	44.10
15:42	51.10	45.50	44.10
15:43	51.00	45.50	43.80
15:44	49.90	45.00	43.70
15:45	49.90	45.00	43.50
15:46	50.00	45.20	43.20
15:47	49.20	45.00	43.30
15:48	49.20	45.00	43.50
15:49	49.00	46.20	43.20
15:50	49.00	46.00	43.10
15:51	49.10	45.00	43.10
15:52	48.90	43.20	42.70
15:53	48.60	43.10	42.20
15:54	48.30	43.00	41.90
15:55	48.00	42.40	41.70
15:56	48.30	42.30	41.40
15:57	48.20	41.90	40.80
15:58	48.30	41.30	40.40
15:59	48.10	41.20	40.10
16:00	48.00	41.00	39.80
16:01	48.50	41.00	39.50
16:02	48.40	41.30	39.40
16:03	47.60	41.10	39.20
16:04	46.50	42.10	38.90
16:05	45.70	39.90	38.70
16:06	45.60	39.80	38.40
16:07	45.50	39.80	38.40
16:08	45.10	39.90	38.30
16:09	44.90	39.90	38.20
16:10	45.00	40.00	38.30
16:11	45.60	40.10	38.20
16:12	45.40	40.10	38.10
16:13	45.40	40.10	37.90
16:14	45.60	40.00	37.80
16:15	45.30	39.90	37.70
16:16	45.30	40.00	37.50
16:17	44.90	40.00	37.30
16:18	44.60	39.80	37.20
16:19	43.80	39.80	37.10
16:20	43.40	39.70	36.80
16:21	43.20	39.60	36.70
16:22	42.90	39.30	36.70
16:23	42.90	39.10	36.50
16:24	43.00	39.00	36.50
16:25	42.70	38.90	36.20
16:26	42.40	38.90	36.10
16:27	42.10	38.80	36.10
16:28	41.70	38.70	36.00
16:29	41.20	38.70	36.00

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
15:41	39.40	36.50	36.00
15:42	39.40	36.30	36.20
15:43	39.30	36.10	36.20
15:44	39.50	35.70	36.00
15:45	39.30	35.60	36.10
15:46	39.00	35.40	36.20
15:47	39.20	35.30	35.90
15:48	39.20	35.60	35.80
15:49	39.30	35.70	35.80
15:50	39.30	35.70	36.00
15:51	39.10	35.80	36.10
15:52	39.00	36.00	36.20
15:53	39.10	36.00	36.10
15:54	39.20	36.10	35.90
15:55	39.00	36.40	35.90
15:56	39.00	36.60	35.90
15:57	39.20	36.80	35.80
15:58	39.00	36.80	35.70
15:59	39.20	37.10	35.80
16:00	39.30	37.20	35.60
16:01	39.30	37.30	35.70
16:02	39.20	37.40	35.80
16:03	39.00	37.30	35.70
16:04	39.30	37.40	35.40
16:05	39.50	37.40	35.40
16:06	39.60	37.50	35.20
16:07	39.60	37.50	35.20
16:08	39.70	37.60	35.20
16:09	39.70	37.70	35.20
16:10	39.60	37.60	35.10
16:11	39.60	37.80	35.10
16:12	39.40	37.90	35.20
16:13	39.60	37.60	35.10
16:14	39.50	37.60	35.10
16:15	39.00	37.70	35.10
16:16	39.00	37.60	35.10
16:17	38.90	37.50	35.10
16:18	38.60	37.40	34.90
16:19	38.70	37.10	34.90
16:20	38.70	37.20	34.80
16:21	38.50	37.30	34.80
16:22	38.50	37.10	35.00
16:23	38.40	36.90	35.00
16:24	38.10	36.70	35.20
16:25	38.20	36.80	35.30
16:26	38.20	36.90	35.10
16:27	38.30	37.20	35.20
16:28	38.20	37.30	35.40
16:29	37.90	37.20	35.70

ค่าความเข้มแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
15:41	445.56	451.58	480.69
15:42	442.55	449.58	480.69
15:43	440.55	447.57	478.68
15:44	436.53	443.56	470.65
15:45	433.52	441.55	458.61
15:46	430.51	437.54	450.58
15:47	426.50	432.52	444.56
15:48	422.48	428.50	435.53
15:49	418.47	424.49	430.51
15:50	412.45	420.48	428.50
15:51	408.43	417.46	423.49
15:52	403.42	414.45	415.46
15:53	399.40	410.44	408.43
15:54	395.39	406.43	400.40
15:55	395.39	402.41	392.38
15:56	389.37	398.40	384.35
15:57	376.32	393.38	376.32
15:58	378.33	389.37	374.31
15:59	369.30	384.35	374.31
16:00	372.31	380.33	375.32
16:01	368.29	376.32	374.31
16:02	365.28	372.31	371.30
16:03	361.27	368.29	367.29
16:04	357.25	363.27	362.27
16:05	352.24	360.26	358.26
16:06	348.22	357.25	352.24
16:07	344.21	350.23	346.21
16:08	340.19	345.21	341.20
16:09	337.18	341.20	336.18
16:10	333.17	339.19	329.16
16:11	329.16	335.18	323.13
16:12	323.13	331.16	317.11
16:13	318.12	326.14	312.10
16:14	315.11	322.13	307.08
16:15	312.10	316.11	304.07
16:16	307.08	312.10	300.05
16:17	302.06	307.08	295.04
16:18	298.05	300.05	290.02
16:19	294.03	296.04	284.00
16:20	290.02	292.02	277.98
16:21	284.00	288.01	271.95
16:22	278.98	284.00	264.93
16:23	274.96	279.98	260.92
16:24	270.95	276.97	255.90
16:25	267.94	270.95	251.88
16:26	261.92	267.94	248.87
16:27	258.91	262.92	245.86
16:28	253.89	256.90	241.85
16:29	249.88	252.89	236.83

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
16:30	40.70	38.60	35.90
16:31	40.50	38.60	35.60
16:32	40.20	38.60	35.50
16:33	40.10	38.50	35.30
16:34	40.10	38.40	35.20
16:35	40.10	38.30	35.00
16:36	40.00	38.20	34.90
16:37	39.90	38.10	34.80
16:38	39.90	37.90	34.60
16:39	39.90	37.60	34.60
16:40	39.80	37.50	34.50
16:41	39.50	37.40	34.40
16:42	39.20	37.20	34.30
16:43	39.00	37.00	34.10
16:44	39.10	36.90	34.00
16:45	39.00	36.90	33.90
16:46	39.00	36.90	33.70
16:47	38.90	36.70	33.70
16:48	38.70	36.60	33.60
16:49	38.90	36.30	33.50
16:50	39.00	36.10	33.30
16:51	39.10	36.20	33.20
16:52	39.00	36.10	33.10
16:53	39.00	35.90	33.10
16:54	38.90	35.40	33.10
16:55	38.80	35.20	33.10
16:56	38.50	34.90	32.90
16:57	38.20	34.80	32.80
16:58	38.20	34.60	32.60
16:59	37.90	34.40	32.50
17:00	37.90	34.40	32.30
17:01	37.70	34.20	32.20
17:02	37.50	34.00	32.00
17:03	37.30	33.80	31.90
17:04	37.20	33.70	31.60
17:05	36.90	33.50	31.30
17:06	36.70	33.30	31.00
17:07	36.30	33.10	30.80
17:08	36.00	33.00	30.50
17:09	35.80	32.80	30.30
17:10	35.40	32.60	30.00
17:11	35.10	32.40	29.70
17:12	34.80	32.40	29.50
17:13	34.50	32.10	29.30
17:14	34.30	31.90	29.10
17:15	34.10	31.70	28.90
17:16	33.90	31.60	28.70
17:17	33.70	31.30	28.50
17:18	33.40	31.10	28.30

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
16:30	37.70	37.20	36.10
16:31	37.70	37.30	36.20
16:32	37.80	37.60	36.40
16:33	38.00	37.50	36.50
16:34	38.40	37.70	36.60
16:35	38.80	37.80	36.60
16:36	39.30	38.00	36.50
16:37	39.70	38.20	36.40
16:38	39.70	38.20	36.50
16:39	39.80	38.00	36.50
16:40	39.30	38.00	36.50
16:41	39.50	38.20	36.60
16:42	39.50	37.90	36.30
16:43	39.00	37.50	36.20
16:44	38.70	37.20	36.20
16:45	37.90	37.20	36.10
16:46	37.60	37.00	36.00
16:47	37.40	36.90	35.50
16:48	37.20	36.50	35.30
16:49	36.90	36.00	34.60
16:50	36.70	35.50	34.10
16:51	36.40	35.30	33.80
16:52	36.20	35.00	33.40
16:53	35.90	34.60	33.00
16:54	35.60	34.00	32.70
16:55	35.20	33.80	32.40
16:56	35.20	33.40	32.10
16:57	35.00	33.30	31.90
16:58	34.80	33.10	31.60
16:59	34.60	32.80	31.40
17:00	34.40	32.70	31.30
17:01	34.30	32.50	31.00
17:02	34.20	32.20	30.90
17:03	34.10	32.00	30.80
17:04	34.00	31.90	30.50
17:05	34.00	31.80	30.30
17:06	33.90	31.70	30.20
17:07	33.70	31.60	30.10
17:08	33.70	31.50	30.00
17:09	33.50	31.30	29.80
17:10	33.40	31.30	29.70
17:11	33.30	31.20	29.60
17:12	33.30	31.00	29.50
17:13	33.20	30.90	29.40
17:14	33.10	30.80	29.30
17:15	33.10	30.80	29.20
17:16	33.00	30.70	29.20
17:17	32.90	30.60	29.10
17:18	32.80	30.50	29.00

ค่าความชื้นแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
16:30	245.86	249.88	229.81
16:31	241.85	244.86	223.79
16:32	238.84	240.85	218.77
16:33	233.82	236.83	213.75
16:34	229.81	232.82	209.74
16:35	225.79	227.80	206.73
16:36	221.78	223.79	203.72
16:37	216.76	219.77	200.70
16:38	210.74	216.76	195.69
16:39	206.73	212.75	192.68
16:40	201.71	207.73	188.66
16:41	197.69	204.72	184.65
16:42	194.68	201.71	180.63
16:43	191.67	196.69	176.62
16:44	187.66	192.68	173.61
16:45	184.65	189.67	170.60
16:46	179.63	184.65	166.58
16:47	173.61	180.63	162.57
16:48	169.60	176.62	158.56
16:49	164.58	172.61	155.55
16:50	159.56	168.59	152.54
16:51	156.55	164.58	148.52
16:52	151.53	159.56	144.51
16:53	145.51	155.55	140.49
16:54	140.49	151.53	135.48
16:55	140.49	146.51	130.46
16:56	133.47	143.50	127.45
16:57	131.46	139.49	124.44
16:58	129.45	135.48	121.43
16:59	123.43	131.46	119.42
17:00	121.43	125.44	116.41
17:01	118.42	122.43	114.40
17:02	114.40	118.42	110.39
17:03	110.39	114.40	108.38
17:04	106.37	110.39	104.37
17:05	103.36	106.37	101.36
17:06	99.35	102.36	98.35
17:07	94.33	98.35	94.33
17:08	91.32	94.33	92.32
17:09	88.31	91.32	88.31
17:10	85.30	87.31	85.30
17:11	82.29	83.29	82.29
17:12	78.28	78.28	78.28
17:13	70.25	74.26	74.26
17:14	47.17	72.25	71.25
17:15	27.10	59.21	68.24
17:16	25.09	37.13	56.20
17:17	24.08	24.08	37.13
17:18	23.08	22.08	28.10

อุณหภูมิแสง (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
17:19	33.30	30.80	28.10
17:20	33.10	30.70	28.00
17:21	32.90	30.50	27.80
17:22	32.80	30.30	27.70
17:23	32.60	30.10	27.50
17:24	32.50	29.90	27.30
17:25	32.20	29.70	27.20
17:26	32.00	29.50	27.00
17:27	31.90	29.30	26.80
17:28	31.80	29.20	26.70
17:29	31.60	29.00	26.50
17:30	31.40	28.70	26.40
17:31	31.30	28.50	26.30
17:32	31.10	28.40	26.10
17:33	31.00	28.20	26.00
17:34	30.90	28.00	25.80
17:35	30.80	27.90	25.70
17:36	30.70	27.70	25.50
17:37	30.50	27.60	25.40
17:38	30.50	27.40	25.30
17:39	30.30	27.30	25.10
17:40	30.20	27.10	25.00
17:41	30.10	27.00	24.80
17:42	30.00	26.80	24.70
17:43	29.80	26.60	24.50
17:44	29.70	26.50	24.40
17:45	29.60	26.30	24.20
17:46	29.50	26.20	24.10
17:47	29.40	26.10	24.00
17:48	29.30	25.90	23.90
17:49	29.20	25.80	23.90
17:50	29.10	25.70	23.70
17:51	29.00	25.50	23.60
17:52	28.80	25.40	23.60
17:53	28.70	25.30	23.40
17:54	28.60	25.20	23.30
17:55	28.50	25.10	23.20
17:56	28.40	25.00	23.10
17:57	28.20	24.90	23.10
17:58	28.10	24.90	23.00
17:59	28.00	24.70	22.90
18:00	27.90	24.60	22.80

อุณหภูมิแวดล้อม (°C)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
17:19	32.80	30.50	29.00
17:20	32.80	30.40	29.00
17:21	32.70	30.30	28.90
17:22	32.60	30.30	28.90
17:23	32.60	30.20	28.90
17:24	32.50	30.10	28.80
17:25	32.40	30.00	28.70
17:26	32.40	29.90	28.70
17:27	32.30	29.80	28.70
17:28	32.20	29.70	28.60
17:29	32.10	29.70	28.60
17:30	32.10	29.60	28.60
17:31	32.00	29.60	28.50
17:32	32.00	29.50	28.50
17:33	32.00	29.40	28.40
17:34	31.90	29.30	28.40
17:35	31.90	29.20	28.40
17:36	31.90	29.20	28.40
17:37	31.80	29.10	28.30
17:38	31.70	29.00	28.30
17:39	31.60	28.90	28.30
17:40	31.60	28.90	28.30
17:41	31.50	28.80	28.20
17:42	31.50	28.70	28.20
17:43	31.40	28.60	28.20
17:44	31.40	28.50	28.10
17:45	31.30	28.40	28.10
17:46	31.30	28.40	28.00
17:47	31.30	28.30	28.00
17:48	31.20	28.20	27.90
17:49	31.20	28.10	27.80
17:50	31.10	28.00	27.80
17:51	31.10	28.00	27.80
17:52	31.10	27.90	27.80
17:53	31.10	27.80	27.70
17:54	31.00	27.70	27.70
17:55	30.90	27.70	27.60
17:56	30.80	27.60	27.50
17:57	30.80	27.50	27.50
17:58	30.80	27.40	27.50
17:59	30.70	27.30	27.40
18:00	30.70	27.30	27.30

ค่าความเข้มแสง (W/m²)			
วันที่ เวลา	29/10/18	1/11/18	2/11/18
17:19	22.08	21.07	26.09
17:20	21.07	21.07	25.09
17:21	20.07	20.07	24.08
17:22	19.07	19.07	23.08
17:23	18.06	18.06	22.08
17:24	17.06	17.06	20.07
17:25	16.06	16.06	19.07
17:26	14.05	15.05	18.06
17:27	13.05	14.05	17.06
17:28	13.05	13.05	16.06
17:29	12.04	12.04	15.05
17:30	11.04	11.04	14.05
17:31	10.04	11.04	13.05
17:32	9.03	10.04	12.04
17:33	7.03	8.03	11.04
17:34	6.02	7.03	10.04
17:35	6.02	6.02	9.03
17:36	5.02	5.02	8.03
17:37	4.01	4.01	7.03
17:38	3.01	3.01	6.02
17:39	2.01	2.01	5.02
17:40	1.00	2.01	4.01
17:41	-	1.00	3.01
17:42	-	-	2.01
17:43	-	-	1.00
17:44	-	-	-
17:45	-	-	-
17:46	-	-	-
17:47	-	-	-
17:48	-	-	-
17:49	-	-	-
17:50	-	-	-
17:51	-	-	-
17:52	-	-	-
17:53	-	-	-
17:54	-	-	-
17:55	-	-	-
17:56	-	-	-
17:57	-	-	-
17:58	-	-	-
17:59	-	-	-
18:00	-	-	-

ภาคผนวก ข
การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า

$$P(G',T') = G' P_{STC} (1 + k_1 \ln(G') + k_2 (\ln(G'))^2 + k_3 T' + k_4 T' \ln(G') + k_5 T' (\ln(G'))^2 + k_6 T'^2) \quad (1)$$

$$G' = G/1000 \text{ W.m}^2$$

$$T' = T_{\text{mod}} - 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

โดยที่ $k_1 = -0.017237$

$$k_2 = -0.040465$$

$$k_3 = -0.004702$$

$$k_4 = 0.000149$$

$$k_5 = 0.000170$$

$$k_6 = 0.000005$$

ตารางผนวกที่ 2 การคำนวณกำลังไฟฟ้า

เวลา	ระยะ 20 cm		ระยะ 25 cm		ระยะ 30 cm		ระยะ 20 cm	ระยะ 25 cm	ระยะ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
6:00		-4.00		-5.40		-9.40			
6:01		-4.00		-5.40		-9.30			
6:02		-3.90		-5.40		-9.30			
6:03		-3.90		-5.40		-9.40			
6:04		-3.90		-5.40		-9.40			
6:05		-3.90		-5.40		-9.50			
6:06		-3.80		-5.40		-9.60			
6:07		-3.80		-5.40		-9.70			
6:08		-3.80		-5.40		-9.70			
6:09		-3.80		-5.50		-9.70			
6:10		-3.80		-5.40		-9.60			
6:11		-3.70		-5.40		-9.50			
6:12		-3.70		-5.40		-9.50			
6:13		-3.60		-5.30		-9.40			

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
6:14		-3.50		-5.20		-9.40			
6:15		-3.50		-5.20		-9.50			
6:16		-3.50		-5.10		-9.50			
6:17		-3.50		-5.10		-9.50			
6:18		-3.50		-5.10		-9.40			
6:19		-3.50		-5.00		-9.40			
6:20		-3.50		-5.00	0.00	-9.40			
6:21	0.00	-3.50		-5.00	0.00	-9.30			
6:22	0.00	-3.50	0.00	-5.10	0.00	-9.20			
6:23	0.00	-3.50	0.00	-5.10	0.00	-9.00			
6:24	0.00	-3.60	0.00	-5.10	0.00	-9.00			
6:25	0.00	-3.60	0.00	-5.20	0.00	-8.90			
6:26	0.00	-3.60	0.00	-5.20	0.01	-8.90			
6:27	0.00	-3.60	0.00	-5.20	0.01	-8.80			
6:28	0.01	-3.60	0.01	-5.20	0.01	-8.80			0.06
6:29	0.01	-3.70	0.01	-5.20	0.01	-8.80		0.06	0.06
6:30	0.01	-3.70	0.01	-5.20	0.01	-8.70	0.05	0.18	0.19
6:31	0.01	-3.70	0.01	-5.20	0.01	-8.80	0.17	0.18	0.32
6:32	0.01	-3.80	0.01	-5.20	0.01	-8.90	0.31	0.45	0.47
6:33	0.01	-3.80	0.01	-5.20	0.01	-8.90	0.45	0.61	0.62
6:34	0.01	-3.80	0.01	-5.20	0.01	-8.90	0.60	0.76	0.95
6:35	0.01	-3.70	0.01	-5.10	0.01	-8.90	0.76	1.10	1.31
6:36	0.01	-3.70	0.01	-5.10	0.02	-8.90	1.09	1.27	1.49
6:37	0.02	-3.60	0.02	-5.00	0.02	-8.80	1.44	1.45	1.68
6:38	0.02	-3.50	0.02	-5.00	0.02	-8.80	1.81	1.83	2.07
6:39	0.02	-3.60	0.02	-5.00	0.02	-8.70	2.20	2.22	2.47
6:40	0.02	-3.60	0.02	-5.00	0.02	-8.70	2.39	2.41	2.88
6:41	0.02	-3.50	0.02	-4.90	0.02	-8.60	2.80	2.82	3.30
6:42	0.03	-3.40	0.02	-4.90	0.03	-8.60	3.63	3.24	3.74
6:43	0.03	-3.40	0.03	-4.80	0.03	-8.50	4.28	3.87	3.95
6:44	0.03	-3.20	0.03	-4.80	0.03	-8.40	4.71	4.31	4.40

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
6:45	0.03	-3.10	0.03	-4.70	0.03	-8.30	5.16	5.20	4.62
6:46	0.04	-3.00	0.04	-4.60	0.03	-8.20	5.61	5.65	5.07
6:47	0.04	-2.90	0.04	-4.60	0.03	-8.10	6.29	6.35	5.53
6:48	0.04	-2.80	0.04	-4.50	0.04	-8.00	6.98	7.28	5.99
6:49	0.04	-2.70	0.05	-4.40	0.04	-7.90	7.45	8.23	6.46
6:50	0.05	-2.60	0.04	-4.40	0.04	-7.90	8.16	7.04	6.93
6:51	0.05	-2.40	0.04	-4.40	0.04	-7.80	8.86	7.04	7.41
6:52	0.05	-2.30	0.04	-4.40	0.05	-7.80	9.59	6.57	8.14
6:53	0.06	-2.20	0.04	-4.30	0.05	-7.80	10.31	6.10	8.87
6:54	0.06	-2.10	0.05	-4.30	0.05	-7.80	11.04	8.23	9.86
6:55	0.06	-2.10	0.06	-4.30	0.06	-7.90	11.78	11.92	10.62
6:56	0.06	-2.00	0.05	-4.30	0.06	-7.90	12.52	8.47	11.63
6:57	0.07	-2.00	0.07	-4.20	0.06	-7.90	13.28	13.43	12.65
6:58	0.07	-2.00	0.07	-4.20	0.07	-7.80	13.78	13.93	13.93
6:59	0.07	-1.90	0.07	-4.10	0.07	-7.70	14.78	14.95	14.96
7:00	0.08	-1.90	0.07	-4.10	0.08	-7.60	15.29	14.95	16.00
7:01	0.08	-1.80	0.08	-4.00	0.08	-7.60	16.05	16.48	17.05
7:02	0.08	-1.80	0.08	-3.90	0.08	-7.50	16.30	17.51	18.09
7:03	0.08	-1.80	0.09	-3.90	0.09	-7.50	17.07	18.81	19.15
7:04	0.09	-1.70	0.09	-3.80	0.09	-7.40	17.83	19.59	20.21
7:05	0.09	-1.70	0.10	-3.80	0.10	-7.30	18.87	20.64	21.27
7:06	0.09	-1.60	0.08	-3.70	0.10	-7.20	19.37	15.94	22.33
7:07	0.09	-1.60	0.09	-3.60	0.10	-7.10	19.89	19.58	23.39
7:08	0.10	-1.60	0.10	-3.50	0.11	-7.00	20.67	20.62	24.46
7:09	0.10	-1.60	0.09	-3.50	0.11	-6.90	20.93	19.82	25.26
7:10	0.10	-1.60	0.08	-3.40	0.12	-6.80	21.98	17.47	26.33
7:11	0.10	-1.70	0.06	-3.30	0.12	-6.80	22.25	12.61	27.42
7:12	0.11	-1.60	0.06	-3.20	0.12	-6.70	23.55	12.10	28.22
7:13	0.11	-1.60	0.06	-3.10	0.13	-6.60	23.55	12.59	29.29
7:14	0.11	-1.50	0.10	-3.00	0.13	-6.50	24.86	21.89	30.37
7:15	0.10	-1.40	0.10	-2.90	0.13	-6.40	22.22	21.87	31.45

ឆ្នាំ	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
7:16	0.11	-1.40	0.07	-2.80	0.14	-6.30	25.11	13.83	32.25
7:17	0.12	-1.30	0.07	-2.70	0.14	-6.20	25.63	13.83	33.33
7:18	0.12	-1.30	0.08	-2.60	0.14	-6.10	27.74	16.88	34.14
7:19	0.12	-1.40	0.09	-2.60	0.15	-6.10	26.70	18.97	34.69
7:20	0.13	-1.40	0.07	-2.40	0.15	-6.00	29.35	15.07	35.77
7:21	0.13	-1.40	0.09	-2.40	0.15	-6.00	28.56	18.41	36.60
7:22	0.12	-1.40	0.07	-2.20	0.16	-5.90	27.49	14.55	37.40
7:23	0.14	-1.40	0.16	-2.10	0.16	-5.80	32.56	37.26	37.93
7:24	0.14	-1.40	0.13	-2.10	0.16	-5.80	33.36	29.72	39.04
7:25	0.14	-1.40	0.17	-2.50	0.17	-5.80	33.36	39.50	39.86
7:26	0.14	-1.40	0.15	-2.50	0.17	-5.70	32.02	36.25	40.67
7:27	0.14	-1.40	0.18	-2.40	0.17	-5.60	33.36	41.93	41.75
7:28	0.17	-1.40	0.18	-2.50	0.18	-5.50	39.02	43.04	42.84
7:29	0.16	-1.30	0.17	-2.40	0.18	-5.50	36.84	40.76	43.94
7:30	0.16	-1.20	0.19	-2.50	0.18	-5.40	36.82	44.95	44.75
7:31	0.16	-1.10	0.19	-2.40	0.19	-5.40	38.42	45.74	46.13
7:32	0.17	-0.80	0.19	-2.20	0.19	-5.40	40.52	46.79	46.96
7:33	0.17	-0.50	0.20	-2.10	0.20	-5.30	41.00	47.86	48.05
7:34	0.19	-0.20	0.21	-2.20	0.20	-5.20	45.53	50.61	49.41
7:35	0.20	0.00	0.21	-2.00	0.20	-5.10	46.83	51.66	50.49
7:36	0.20	0.10	0.21	-2.00	0.21	-5.00	47.35	52.48	51.58
7:37	0.20	0.20	0.22	-1.90	0.21	-5.00	47.05	53.27	52.69
7:38	0.19	0.30	0.22	-1.90	0.22	-4.80	45.95	54.37	53.74
7:39	0.21	0.60	0.23	-1.60	0.22	-4.70	49.66	55.65	54.83
7:40	0.21	0.80	0.23	-1.40	0.22	-4.60	49.88	57.78	55.63
7:41	0.21	1.10	0.24	-1.00	0.23	-4.50	51.42	59.31	56.71
7:42	0.21	1.40	0.24	0.00	0.23	-4.40	49.20	60.11	57.79
7:43	0.22	1.70	0.25	0.00	0.24	-4.50	53.69	62.01	58.93
7:44	0.22	1.70	0.26	0.10	0.24	-4.50	54.23	64.69	60.04
7:45	0.21	1.60	0.26	0.30	0.24	-4.30	50.49	65.45	61.09
7:46	0.24	1.50	0.26	0.30	0.25	-4.20	58.59	65.17	62.17

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
7:47	0.24	1.30	0.27	0.30	0.25	-4.00	59.46	66.80	63.21
7:48	0.26	1.20	0.28	0.30	0.26	-3.80	63.00	68.98	64.81
7:49	0.26	1.40	0.28	0.30	0.26	-3.70	64.02	70.33	65.61
7:50	0.26	1.40	0.28	0.30	0.26	-3.40	65.10	70.60	66.35
7:51	0.27	1.70	0.29	0.30	0.27	-3.10	65.54	71.15	67.08
7:52	0.27	2.00	0.29	0.60	0.27	-3.10	67.33	72.67	68.73
7:53	0.28	2.50	0.30	1.40	0.27	-3.10	67.71	73.47	69.01
7:54	0.28	3.00	0.30	1.50	0.28	-3.20	69.15	73.98	70.42
7:55	0.29	3.20	0.30	1.70	0.28	-3.20	70.42	74.71	71.53
7:56	0.29	3.50	0.30	1.80	0.29	-3.10	71.12	75.22	72.32
7:57	0.29	3.50	0.30	2.00	0.29	-3.00	71.66	74.61	73.94
7:58	0.30	3.60	0.30	2.10	0.30	-3.10	73.49	74.57	75.35
7:59	0.30	3.90	0.31	2.20	0.30	-3.00	74.45	75.61	76.15
8:00	0.31	4.30	0.31	2.30	0.31	-2.90	75.64	77.19	77.49
8:01	0.31	4.80	0.31	2.60	0.31	-2.70	76.26	77.61	78.79
8:02	0.32	5.20	0.32	2.80	0.31	-2.50	77.43	78.61	79.54
8:03	0.32	5.20	0.32	2.90	0.32	-2.30	78.49	79.65	81.11
8:04	0.33	5.10	0.32	3.10	0.32	-2.20	79.86	79.57	82.17
8:05	0.33	5.20	0.33	3.20	0.33	-2.10	80.35	81.14	82.96
8:06	0.33	5.20	0.33	3.40	0.33	-2.10	81.41	81.86	83.51
8:07	0.33	5.10	0.34	3.70	0.33	-2.00	82.25	84.15	84.29
8:08	0.34	4.90	0.35	3.70	0.34	-2.00	82.86	85.75	85.66
8:09	0.34	4.50	0.35	3.90	0.34	-1.70	84.35	87.00	87.18
8:10	0.34	4.20	0.35	3.00	0.35	-1.60	85.01	87.38	88.24
8:11	0.35	3.90	0.36	2.20	0.35	-1.40	86.20	89.87	88.97
8:12	0.35	3.70	0.36	2.10	0.35	-1.40	87.08	90.18	89.79
8:13	0.36	3.50	0.36	2.10	0.36	-1.40	88.77	90.99	90.61
8:14	0.36	3.50	0.37	2.00	0.36	-1.40	90.11	91.84	91.71
8:15	0.37	3.50	0.37	2.00	0.36	-1.20	91.98	93.18	92.71
8:16	0.37	3.60	0.37	2.00	0.37	-1.10	93.53	94.26	93.49
8:17	0.38	3.70	0.38	2.20	0.37	-1.00	94.55	95.24	94.81

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
8:18	0.38	3.90	0.38	2.40	0.38	-1.10	95.26	96.76	96.49
8:19	0.39	4.10	0.39	2.00	0.38	-1.10	96.23	97.75	97.85
8:20	0.39	4.40	0.39	2.50	0.39	-1.00	96.36	98.86	98.62
8:21	0.39	4.50	0.40	2.50	0.39	-0.90	96.84	100.20	99.66
8:22	0.39	4.80	0.40	2.60	0.39	-0.80	97.50	100.95	100.71
8:23	0.40	5.10	0.40	2.60	0.40	-0.70	98.68	102.02	101.47
8:24	0.40	5.10	0.41	2.60	0.40	-0.50	98.95	103.89	102.73
8:25	0.41	5.40	0.42	2.70	0.40	-0.30	100.91	105.45	103.45
8:26	0.40	5.50	0.42	2.70	0.41	-0.10	100.60	107.32	104.71
8:27	0.42	5.30	0.43	2.90	0.41	0.00	103.61	107.75	105.20
8:28	0.41	5.10	0.43	3.00	0.42	0.20	102.65	107.43	106.18
8:29	0.43	5.10	0.43	3.00	0.42	0.40	106.35	108.50	107.43
8:30	0.43	5.30	0.43	2.80	0.42	0.50	107.04	108.87	108.19
8:31	0.42	5.40	0.44	2.80	0.43	0.70	104.61	110.47	109.43
8:32	0.41	5.70	0.44	2.80	0.43	1.20	102.61	111.81	110.52
8:33	0.42	6.00	0.44	2.80	0.44	1.50	105.10	112.07	111.43
8:34	0.43	6.00	0.45	2.80	0.44	1.70	107.22	113.14	112.13
8:35	0.43	5.90	0.45	2.70	0.44	1.80	107.52	115.06	112.88
8:36	0.44	5.80	0.46	2.70	0.45	2.10	108.88	115.86	114.06
8:37	0.45	5.80	0.46	2.70	0.45	2.60	112.30	116.39	114.85
8:38	0.45	5.80	0.46	3.90	0.46	3.10	113.35	116.52	115.64
8:39	0.45	5.90	0.47	3.90	0.46	3.70	111.72	117.58	116.10
8:40	0.44	6.10	0.47	5.00	0.46	4.00	110.83	118.28	116.99
8:41	0.45	6.30	0.47	5.00	0.47	4.30	112.03	119.33	118.15
8:42	0.46	6.30	0.48	5.00	0.47	4.70	114.65	119.59	118.97
8:43	0.44	6.70	0.48	5.50	0.48	5.10	110.50	120.62	119.80
8:44	0.45	7.30	0.48	5.50	0.48	5.20	111.49	121.41	120.27
8:45	0.45	8.00	0.49	5.50	0.48	5.20	110.67	122.72	121.32
8:46	0.45	8.70	0.50	6.00	0.49	5.60	111.28	124.25	121.87
8:47	0.46	9.40	0.50	6.00	0.49	5.80	112.95	125.04	122.28
8:48	0.45	9.90	0.50	6.60	0.49	5.90	110.60	125.20	123.53

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
8:49	0.47	10.40	0.50	7.50	0.50	6.10	114.46	124.65	124.46
8:50	0.46	11.20	0.50	7.60	0.50	6.30	112.98	124.85	125.12
8:51	0.47	11.90	0.51	7.70	0.50	6.60	115.10	126.09	125.98
8:52	0.48	12.50	0.51	8.00	0.51	6.40	116.97	127.72	126.89
8:53	0.49	12.90	0.52	8.40	0.51	6.10	117.88	128.24	128.12
8:54	0.48	12.80	0.52	9.40	0.52	6.50	117.43	128.65	129.17
8:55	0.49	13.10	0.53	11.90	0.52	6.40	118.75	128.35	130.28
8:56	0.52	13.30	0.54	11.60	0.52	6.80	126.72	131.34	131.06
8:57	0.53	13.30	0.54	11.20	0.53	7.20	128.23	133.63	131.33
8:58	0.53	13.10	0.54	10.50	0.53	7.70	128.36	133.32	131.79
8:59	0.52	13.40	0.53	10.20	0.53	7.90	127.16	130.96	132.95
9:00	0.54	14.00	0.53	10.20	0.54	8.10	129.55	130.19	133.60
9:01	0.54	14.20	0.54	10.30	0.54	8.10	130.42	132.18	133.60
9:02	0.54	14.20	0.53	10.20	0.54	8.00	131.17	129.94	135.47
9:03	0.54	14.20	0.53	10.10	0.55	8.00	131.42	130.26	137.02
9:04	0.55	14.80	0.53	10.20	0.55	8.20	131.53	130.45	137.40
9:05	0.55	14.90	0.55	10.70	0.56	8.50	131.47	134.47	138.23
9:06	0.55	15.30	0.55	11.10	0.56	8.60	132.21	133.95	138.17
9:07	0.55	15.30	0.53	11.60	0.56	8.40	133.20	130.83	139.59
9:08	0.56	15.20	0.55	12.10	0.56	8.50	135.76	134.56	140.29
9:09	0.56	15.00	0.55	12.30	0.57	9.00	135.89	133.67	141.49
9:10	0.57	15.10	0.56	12.60	0.57	9.50	137.07	136.25	141.91
9:11	0.58	15.40	0.56	13.20	0.58	9.90	139.35	136.60	142.66
9:12	0.58	15.60	0.57	13.60	0.58	9.90	138.47	139.34	143.17
9:13	0.58	15.70	0.58	14.00	0.58	9.90	140.39	139.57	143.17
9:14	0.59	16.40	0.58	14.30	0.58	9.60	140.64	140.11	144.40
9:15	0.59	17.00	0.58	14.40	0.59	9.60	140.22	141.04	145.42
9:16	0.59	17.10	0.59	14.00	0.59	9.50	141.14	141.82	146.26
9:17	0.59	17.20	0.59	13.40	0.59	9.20	140.58	144.24	147.49
9:18	0.59	17.50	0.60	13.30	0.60	9.30	141.10	145.07	147.93
9:19	0.60	17.80	0.60	13.60	0.60	8.80	142.85	146.10	149.06

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
9:20	0.60	18.20	0.60	13.70	0.60	8.40	143.30	145.78	150.12
9:21	0.61	19.10	0.61	13.20	0.61	8.30	144.12	147.89	151.22
9:22	0.61	19.50	0.61	12.20	0.61	8.30	143.83	149.38	152.50
9:23	0.62	19.40	0.62	11.50	0.61	8.50	145.61	151.66	152.61
9:24	0.62	19.20	0.62	11.90	0.62	8.40	146.97	152.11	153.96
9:25	0.62	19.40	0.62	11.90	0.62	8.60	147.31	152.11	154.58
9:26	0.62	20.30	0.62	12.30	0.62	9.00	145.68	150.81	154.79
9:27	0.63	20.50	0.62	13.00	0.62	9.30	147.70	152.05	154.82
9:28	0.63	20.30	0.63	13.70	0.63	9.50	147.85	152.02	156.45
9:29	0.63	19.90	0.64	14.20	0.63	9.30	148.87	154.14	157.37
9:30	0.63	20.30	0.64	14.80	0.64	9.10	148.58	153.93	158.79
9:31	0.64	20.10	0.63	15.70	0.64	9.30	149.93	152.76	158.64
9:32	0.64	19.60	0.64	16.50	0.64	9.20	150.31	152.64	160.24
9:33	0.65	18.70	0.64	16.70	0.65	9.30	153.66	153.72	160.93
9:34	0.65	18.40	0.65	16.60	0.65	9.30	154.37	154.78	161.69
9:35	0.65	19.00	0.65	16.50	0.65	9.50	154.40	155.35	162.04
9:36	0.65	19.60	0.65	16.60	0.65	9.60	153.94	156.50	162.21
9:37	0.66	19.50	0.65	16.90	0.66	9.50	154.98	156.26	163.82
9:38	0.66	19.20	0.65	16.90	0.66	9.60	156.18	155.53	164.75
9:39	0.66	19.00	0.66	17.30	0.66	10.40	157.55	157.18	163.86
9:40	0.67	18.90	0.66	18.00	0.67	10.70	158.35	157.12	164.38
9:41	0.67	19.50	0.66	18.80	0.67	11.00	158.85	156.98	165.14
9:42	0.67	19.30	0.67	19.70	0.67	11.50	159.01	157.48	165.49
9:43	0.67	19.70	0.67	20.10	0.67	12.00	158.93	157.41	165.34
9:44	0.68	20.40	0.67	20.10	0.68	12.30	159.10	158.85	166.10
9:45	0.68	21.30	0.68	19.30	0.68	12.70	158.62	160.21	166.52
9:46	0.68	22.20	0.67	19.40	0.68	13.10	158.38	159.41	166.44
9:47	0.68	23.20	0.68	19.70	0.69	12.90	158.53	160.38	167.60
9:48	0.69	23.10	0.69	19.20	0.69	12.70	160.27	163.43	168.26
9:49	0.69	22.80	0.69	18.90	0.69	12.30	161.22	163.68	169.59
9:50	0.69	23.10	0.69	18.70	0.70	12.50	160.51	164.08	170.42

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
9:51	0.70	23.30	0.69	18.50	0.70	12.70	162.71	165.21	171.50
9:52	0.70	23.40	0.69	16.80	0.70	13.20	162.39	166.37	172.07
9:53	0.70	23.70	0.69	15.50	0.70	13.60	162.85	167.69	170.99
9:54	0.71	24.40	0.70	14.60	0.70	13.70	162.99	169.17	171.41
9:55	0.71	25.10	0.70	14.20	0.71	13.60	162.64	170.99	172.73
9:56	0.71	25.50	0.71	14.20	0.71	13.90	163.01	173.45	173.71
9:57	0.71	24.90	0.72	13.90	0.72	14.00	164.21	174.45	174.37
9:58	0.72	24.90	0.72	13.80	0.72	14.30	166.09	175.52	174.85
9:59	0.73	24.70	0.72	13.50	0.72	14.50	167.42	175.29	175.41
10:00	0.73	24.70	0.72	12.60	0.72	15.10	168.36	177.55	175.39
10:01	0.73	25.10	0.72	12.00	0.73	15.20	167.79	177.82	175.55
10:02	0.73	25.70	0.73	11.80	0.73	14.70	168.21	178.75	176.47
10:03	0.73	24.80	0.73	11.70	0.73	14.30	168.28	178.83	176.33
10:04	0.74	24.00	0.73	11.50	0.73	14.00	170.37	179.51	177.82
10:05	0.74	23.30	0.73	12.00	0.73	13.70	171.67	178.82	178.82
10:06	0.74	22.50	0.73	12.70	0.74	14.20	173.07	179.45	179.61
10:07	0.74	21.90	0.74	13.10	0.74	14.50	173.60	180.34	180.58
10:08	0.74	22.40	0.74	13.30	0.75	15.70	173.40	179.67	180.25
10:09	0.75	22.90	0.74	13.30	0.74	16.10	173.67	181.15	179.41
10:10	0.75	22.40	0.75	13.40	0.75	15.50	174.82	182.30	180.67
10:11	0.75	22.30	0.75	13.00	0.75	14.80	174.90	183.39	182.27
10:12	0.75	21.50	0.75	12.60	0.76	15.20	176.55	183.26	182.89
10:13	0.75	21.60	0.75	12.80	0.76	15.20	175.28	183.33	183.14
10:14	0.75	21.40	0.75	13.10	0.76	15.00	175.46	183.06	183.32
10:15	0.75	21.80	0.75	13.70	0.76	15.10	176.53	184.00	183.96
10:16	0.76	22.50	0.76	14.00	0.76	15.70	178.03	185.20	183.18
10:17	0.76	21.90	0.76	14.10	0.77	15.60	178.57	184.38	184.97
10:18	0.77	22.40	0.76	14.10	0.77	15.50	178.83	185.61	185.31
10:19	0.77	22.70	0.76	14.30	0.77	15.60	179.27	185.18	185.71
10:20	0.77	22.70	0.77	14.10	0.77	15.60	179.74	186.83	186.19
10:21	0.77	22.30	0.77	13.30	0.77	15.70	179.15	187.07	186.34

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
10:22	0.77	22.00	0.77	12.90	0.78	15.40	180.60	188.18	187.84
10:23	0.78	21.60	0.77	12.10	0.78	14.90	181.91	190.40	189.03
10:24	0.79	22.20	0.78	11.40	0.78	15.10	183.72	192.79	189.82
10:25	0.79	22.00	0.78	11.40	0.78	15.40	184.85	193.04	189.54
10:26	0.79	22.20	0.79	11.30	0.79	15.50	184.20	193.88	190.18
10:27	0.79	22.20	0.79	11.20	0.79	15.30	184.67	194.97	190.86
10:28	0.79	21.60	0.79	11.50	0.79	15.90	185.22	195.43	191.02
10:29	0.80	22.00	0.80	11.50	0.80	16.50	186.27	196.17	191.43
10:30	0.80	22.10	0.79	12.00	0.80	16.50	187.12	195.45	191.67
10:31	0.80	23.40	0.79	12.50	0.80	16.90	186.13	194.97	191.77
10:32	0.80	23.50	0.80	12.90	0.80	17.10	186.51	195.82	192.31
10:33	0.81	23.50	0.80	13.30	0.80	17.00	187.21	194.95	192.40
10:34	0.80	22.80	0.80	13.20	0.80	17.90	187.16	195.54	192.27
10:35	0.81	22.50	0.80	12.90	0.81	18.80	188.85	195.58	192.13
10:36	0.81	22.90	0.80	13.10	0.81	18.50	188.48	194.89	193.14
10:37	0.81	23.30	0.80	14.50	0.81	18.60	188.80	194.78	193.28
10:38	0.81	23.70	0.80	15.40	0.81	18.40	188.19	194.17	193.47
10:39	0.81	23.20	0.81	16.20	0.81	18.50	189.60	195.10	194.09
10:40	0.82	22.70	0.81	16.50	0.82	18.50	190.31	195.30	194.81
10:41	0.82	22.40	0.81	15.80	0.82	19.10	191.53	196.46	194.95
10:42	0.82	22.60	0.82	14.80	0.82	19.60	191.34	198.15	194.70
10:43	0.82	23.20	0.81	14.60	0.82	19.30	190.53	197.86	194.52
10:44	0.82	24.00	0.82	15.30	0.82	18.70	191.16	197.67	194.86
10:45	0.82	24.10	0.82	15.90	0.82	18.80	191.07	197.09	195.00
10:46	0.83	24.60	0.82	17.00	0.82	17.90	191.51	196.02	195.63
10:47	0.83	24.40	0.82	17.40	0.82	17.40	191.47	195.87	197.08
10:48	0.82	24.30	0.82	16.70	0.82	17.20	190.64	197.28	197.51
10:49	0.83	25.20	0.82	15.80	0.83	16.70	191.40	198.88	198.72
10:50	0.84	25.70	0.83	15.70	0.83	16.70	192.07	199.70	198.72
10:51	0.84	25.70	0.83	15.20	0.83	16.30	192.76	200.92	200.08
10:52	0.84	25.60	0.83	15.30	0.83	16.30	192.16	201.31	200.80

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
10:53	0.84	26.70	0.83	15.20	0.84	17.00	192.01	202.14	201.32
10:54	0.81	27.40	0.84	15.10	0.84	18.00	185.39	202.48	200.56
10:55	0.83	26.60	0.84	14.10	0.84	18.70	188.90	204.45	200.35
10:56	0.83	26.80	0.84	13.70	0.84	18.30	190.77	205.58	199.79
10:57	0.84	27.20	0.85	14.60	0.84	17.60	191.53	206.14	200.72
10:58	0.85	27.50	0.85	15.80	0.84	17.70	192.83	204.68	201.34
10:59	0.86	26.80	0.85	16.10	0.84	17.80	195.58	204.38	201.96
11:00	0.86	26.50	0.85	16.80	0.85	18.00	196.56	204.40	202.71
11:01	0.86	26.70	0.85	16.40	0.85	17.20	195.91	203.85	203.04
11:02	0.86	25.80	0.85	16.00	0.85	16.60	197.03	204.25	204.12
11:03	0.85	25.60	0.84	16.10	0.85	16.70	195.85	203.42	204.02
11:04	0.85	26.00	0.85	16.10	0.85	16.20	194.76	204.87	205.00
11:05	0.85	25.90	0.85	16.70	0.85	16.20	196.01	205.22	205.97
11:06	0.85	26.00	0.85	16.90	0.86	16.50	195.68	204.30	205.91
11:07	0.85	25.30	0.85	17.40	0.86	17.70	196.84	204.75	205.89
11:08	0.86	24.80	0.85	17.60	0.86	18.30	198.03	204.31	204.08
11:09	0.86	24.40	0.85	17.80	0.86	18.40	199.12	203.87	203.98
11:10	0.87	24.80	0.86	18.00	0.86	18.20	199.88	205.34	204.90
11:11	0.87	25.90	0.87	18.70	0.87	18.50	199.23	206.06	206.74
11:12	0.87	27.10	0.87	19.30	0.87	19.10	198.71	205.21	206.13
11:13	0.87	27.70	0.87	19.60	0.87	19.60	198.10	204.90	206.09
11:14	0.87	28.10	0.87	19.40	0.87	20.80	198.15	205.11	204.63
11:15	0.88	27.30	0.87	19.70	0.87	20.80	199.42	205.28	205.33
11:16	0.88	27.60	0.87	19.70	0.87	21.80	199.11	205.51	204.08
11:17	0.88	28.20	0.87	19.90	0.87	21.80	198.51	205.31	203.61
11:18	0.88	29.50	0.86	20.10	0.87	22.80	197.65	204.16	203.06
11:19	0.88	28.90	0.87	19.60	0.87	22.50	198.03	204.90	203.36
11:20	0.88	29.10	0.87	18.80	0.87	21.60	197.60	206.43	203.81
11:21	0.88	29.10	0.87	18.90	0.87	20.70	198.50	207.04	204.49
11:22	0.88	28.80	0.87	18.60	0.87	20.70	198.58	208.06	204.73
11:23	0.88	28.30	0.88	18.20	0.87	20.20	199.08	208.71	206.18

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
11:24	0.88	27.30	0.88	18.70	0.87	-25.00	200.10	208.20	255.34
11:25	0.88	27.30	0.88	19.10	0.88	20.20	200.33	208.26	207.13
11:26	0.88	26.70	0.88	19.20	0.88	20.60	201.16	208.40	206.95
11:27	0.88	25.40	0.88	20.10	0.88	20.60	202.26	207.47	208.13
11:28	0.88	24.20	0.88	20.90	0.88	20.60	203.95	206.88	207.19
11:29	0.88	24.20	0.88	21.50	0.88	21.30	203.95	206.50	206.93
11:30	0.88	24.50	0.88	22.20	0.88	22.10	203.41	206.01	206.11
11:31	0.88	24.50	0.88	22.00	0.88	22.60	203.18	206.45	206.06
11:32	0.88	25.00	0.88	22.40	0.88	23.20	203.13	206.27	205.44
11:33	0.88	24.80	0.88	22.60	0.88	22.40	202.87	206.29	206.27
11:34	0.88	25.40	0.89	23.50	0.88	21.00	203.18	205.60	207.48
11:35	0.89	25.00	0.89	23.30	0.88	20.30	204.05	206.03	208.20
11:36	0.89	25.70	0.89	23.20	0.88	20.40	203.79	206.37	207.39
11:37	0.89	27.20	0.89	23.20	0.88	19.90	202.25	206.37	207.44
11:38	0.89	28.00	0.89	23.00	0.88	19.00	201.88	207.27	207.89
11:39	0.89	28.00	0.89	23.20	0.87	19.40	201.88	207.07	206.77
11:40	0.89	28.40	0.89	23.40	0.87	19.70	201.70	206.16	206.70
11:41	0.89	29.30	0.89	23.40	0.88	18.80	200.78	205.93	208.10
11:42	0.89	30.00	0.89	23.40	0.88	18.30	199.84	206.16	209.09
11:43	0.89	31.20	0.89	23.10	0.88	18.30	198.61	206.94	209.80
11:44	0.89	32.30	0.89	23.20	0.89	18.80	197.28	206.84	210.47
11:45	0.89	33.20	0.89	23.10	0.89	19.30	196.59	207.41	210.42
11:46	0.89	33.50	0.89	23.60	0.89	18.60	196.28	207.12	211.15
11:47	0.89	33.90	0.89	23.80	0.89	18.90	195.87	206.92	211.79
11:48	0.89	33.60	0.89	24.00	0.89	19.00	196.40	207.06	211.92
11:49	0.89	31.80	0.89	24.20	0.89	18.80	198.23	206.96	211.42
11:50	0.89	32.60	0.90	24.20	0.89	19.80	197.19	207.19	211.32
11:51	0.89	33.50	0.90	24.50	0.89	20.50	196.06	207.10	210.82
11:52	0.89	34.00	0.90	25.00	0.89	21.60	195.78	206.81	209.43
11:53	0.89	34.00	0.90	24.80	0.90	22.80	195.12	206.56	209.34
11:54	0.89	34.10	0.89	24.40	0.90	22.80	194.80	206.74	209.34

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
11:55	0.89	34.50	0.90	24.00	0.90	21.70	194.84	208.08	210.49
11:56	0.89	35.00	0.89	24.50	0.90	22.20	194.33	206.64	209.74
11:57	0.89	34.30	0.90	25.50	0.90	22.10	194.82	206.29	209.61
11:58	0.89	33.80	0.90	25.60	0.90	22.10	195.76	206.41	209.84
11:59	0.89	33.70	0.90	25.70	0.90	21.40	196.30	206.08	210.58
12:00	0.89	33.90	0.90	25.90	0.90	21.40	196.10	206.10	211.28
12:01	0.89	34.70	0.90	25.60	0.90	22.50	195.28	206.41	210.12
12:02	0.89	34.70	0.90	25.40	0.90	22.80	195.50	206.39	209.57
12:03	0.89	34.10	0.90	25.00	0.90	22.20	195.90	206.58	210.20
12:04	0.89	33.80	0.90	24.60	0.90	23.50	196.42	207.00	209.53
12:05	0.89	34.10	0.90	24.60	0.90	24.70	196.55	207.23	208.50
12:06	0.89	33.20	0.90	24.30	0.90	25.80	197.02	207.54	207.58
12:07	0.89	32.70	0.90	24.40	0.91	25.90	197.97	207.44	208.39
12:08	0.89	32.10	0.89	24.10	0.91	26.40	198.81	207.06	207.18
12:09	0.89	31.70	0.89	23.70	0.90	26.60	199.22	206.32	206.74
12:10	0.90	31.90	0.89	24.10	0.90	27.00	199.23	205.90	206.10
12:11	0.90	32.10	0.89	24.10	0.90	27.30	200.58	205.90	205.78
12:12	0.90	31.30	0.89	23.90	0.90	26.40	200.96	206.80	206.49
12:13	0.90	30.90	0.89	24.00	0.90	27.10	202.04	207.16	205.31
12:14	0.91	30.30	0.90	24.20	0.90	27.40	203.34	207.64	204.32
12:15	0.91	29.90	0.90	25.20	0.90	26.20	204.20	206.60	205.79
12:16	0.91	30.10	0.89	25.50	0.90	26.40	204.89	205.60	204.90
12:17	0.91	29.90	0.89	25.00	0.89	27.20	204.42	205.43	203.84
12:18	0.91	30.70	0.89	24.70	0.89	28.10	203.59	205.97	202.91
12:19	0.91	30.30	0.89	25.10	0.89	28.00	203.56	206.02	202.79
12:20	0.91	29.00	0.89	25.10	0.90	28.50	205.81	205.79	202.95
12:21	0.91	27.60	0.89	25.70	0.89	27.90	205.92	204.02	202.67
12:22	0.90	27.50	0.88	26.60	0.89	26.90	204.89	201.72	203.47
12:23	0.90	26.70	0.89	27.50	0.89	26.40	205.50	201.94	204.44
12:24	0.90	26.40	0.90	27.50	0.89	25.40	205.81	203.99	205.25
12:25	0.90	26.40	0.89	27.60	0.89	24.00	205.35	203.20	205.77

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
12:26	0.89	26.00	0.89	27.20	0.89	23.10	204.85	202.48	206.70
12:27	0.89	26.90	0.89	27.40	0.89	22.40	203.24	202.73	207.90
12:28	0.89	28.40	0.90	27.70	0.89	22.70	201.70	204.01	207.35
12:29	0.89	29.10	0.90	27.80	0.89	23.50	201.43	203.90	205.83
12:30	0.90	28.90	0.90	27.60	0.89	24.30	202.54	203.88	205.23
12:31	0.90	28.40	0.89	27.90	0.89	24.90	203.96	202.44	204.15
12:32	0.90	28.80	0.90	28.50	0.89	24.00	203.54	202.95	205.54
12:33	0.90	28.30	0.89	28.30	0.89	22.60	204.06	202.03	208.15
12:34	0.90	29.00	0.89	28.90	0.89	22.70	203.11	201.41	207.12
12:35	0.90	29.20	0.89	29.30	0.89	23.70	203.13	200.33	206.55
12:36	0.90	29.10	0.89	29.30	0.89	24.90	203.01	200.10	205.30
12:37	0.90	28.80	0.88	28.90	0.89	25.10	203.77	199.83	205.33
12:38	0.90	28.90	0.88	28.90	0.89	25.00	203.67	199.83	204.28
12:39	0.90	29.60	0.89	27.90	0.88	24.10	202.49	201.53	203.82
12:40	0.90	31.10	0.89	26.90	0.88	23.80	200.72	203.01	202.97
12:41	0.89	31.70	0.89	27.30	0.87	23.60	199.22	202.15	202.25
12:42	0.89	30.70	0.89	27.20	0.88	23.60	200.24	202.25	203.41
12:43	0.90	30.20	0.89	27.80	0.88	23.70	200.98	201.41	203.30
12:44	0.90	31.20	0.88	28.00	0.87	22.90	200.40	200.75	203.42
12:45	0.90	30.80	0.88	28.00	0.88	22.50	200.81	200.07	205.00
12:46	0.90	31.40	0.88	26.70	0.88	22.20	200.41	201.62	205.30
12:47	0.89	32.20	0.88	26.20	0.88	22.30	198.04	201.67	206.37
12:48	0.89	33.10	0.88	26.70	0.88	22.50	197.34	200.48	206.39
12:49	0.89	32.50	0.88	26.70	0.88	23.00	198.40	200.25	205.88
12:50	0.89	31.50	0.88	26.70	0.88	24.10	198.08	200.25	204.75
12:51	0.89	31.60	0.88	26.55	0.88	24.70	197.98	200.86	203.44
12:52	0.89	32.50	0.88	27.20	0.88	24.70	197.51	200.20	203.44
12:53	0.89	32.90	0.88	27.00	0.88	25.40	196.66	200.40	202.49
12:54	0.89	31.80	0.88	26.40	0.88	25.20	197.11	201.47	202.00
12:55	0.88	31.10	0.88	26.30	0.88	25.60	196.26	201.80	201.37
12:56	0.88	30.20	0.88	26.10	0.87	25.50	196.94	202.23	201.01

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
12:57	0.87	29.30	0.88	26.00	0.87	25.50	197.17	202.11	200.55
12:58	0.88	29.00	0.88	26.00	0.87	26.00	197.70	201.88	199.82
12:59	0.88	29.60	0.88	26.10	0.87	26.00	198.45	201.09	199.36
13:00	0.88	29.60	0.87	26.20	0.87	25.30	198.90	200.30	200.29
13:01	0.88	29.60	0.87	26.30	0.87	24.60	199.12	199.51	200.31
13:02	0.88	28.60	0.87	26.00	0.87	24.30	199.46	200.27	200.61
13:03	0.88	27.30	0.87	25.00	0.87	24.90	199.64	200.37	199.77
13:04	0.87	26.10	0.87	26.00	0.86	25.30	200.40	198.44	198.45
13:05	0.87	26.50	0.87	26.00	0.86	25.50	199.31	198.90	197.33
13:06	0.87	27.20	0.87	26.00	0.86	25.20	198.83	198.67	197.40
13:07	0.88	27.70	0.87	26.40	0.85	24.90	199.01	198.72	196.54
13:08	0.87	27.60	0.87	26.00	0.85	25.40	198.88	199.13	196.74
13:09	0.87	28.60	0.87	26.20	0.85	24.90	196.06	198.93	197.00
13:10	0.86	28.40	0.87	26.00	0.86	24.70	195.13	198.44	197.67
13:11	0.86	28.10	0.86	26.10	0.86	24.40	195.43	197.65	198.20
13:12	0.86	28.30	0.86	25.90	0.85	23.80	194.78	197.16	198.33
13:13	0.86	28.90	0.86	25.00	0.85	23.40	194.63	198.52	198.73
13:14	0.86	29.10	0.86	25.40	0.85	24.40	193.98	197.89	196.34
13:15	0.86	28.50	0.86	25.40	0.84	24.70	193.90	198.12	194.66
13:16	0.86	27.00	0.86	25.00	0.85	24.00	195.38	198.06	196.04
13:17	0.85	26.40	0.86	25.00	0.85	23.80	194.60	197.83	196.47
13:18	0.85	27.30	0.86	24.90	0.85	23.70	193.03	198.16	196.57
13:19	0.84	27.30	0.86	24.80	0.85	23.70	191.89	198.49	196.57
13:20	0.84	27.40	0.86	24.80	0.84	24.80	190.42	197.57	195.02
13:21	0.83	28.30	0.85	25.70	0.84	25.20	189.32	196.44	194.17
13:22	0.84	28.70	0.85	25.60	0.84	24.10	189.16	195.39	193.85
13:23	0.84	29.10	0.85	24.90	0.83	23.50	188.78	195.39	193.74
13:24	0.83	29.00	0.85	24.80	0.83	23.30	188.42	195.49	193.94
13:25	0.83	29.50	0.85	24.80	0.83	22.50	187.49	195.49	194.48
13:26	0.83	29.50	0.84	24.50	0.83	22.90	187.26	195.32	193.86
13:27	0.83	27.60	0.84	24.50	0.83	23.80	189.31	194.16	193.22

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
13:28	0.83	26.70	0.84	24.40	0.83	24.40	190.18	193.33	192.17
13:29	0.83	27.30	0.84	25.30	0.83	24.60	188.92	193.38	191.74
13:30	0.83	28.20	0.84	25.30	0.82	24.20	187.60	192.45	190.97
13:31	0.82	29.30	0.83	25.10	0.82	23.70	185.41	191.96	191.22
13:32	0.82	29.40	0.83	25.10	0.82	23.40	184.87	191.26	191.04
13:33	0.82	29.70	0.83	25.00	0.82	22.20	184.13	190.90	191.96
13:34	0.81	29.90	0.83	24.50	0.82	21.50	183.26	191.61	192.16
13:35	0.81	30.40	0.83	24.20	0.82	21.30	181.89	191.43	191.64
13:36	0.81	30.00	0.82	23.50	0.81	21.90	181.59	191.64	190.83
13:37	0.81	30.10	0.82	23.50	0.81	22.00	181.04	191.41	190.50
13:38	0.80	31.10	0.82	23.50	0.81	22.40	179.44	190.24	189.65
13:39	0.80	31.50	0.82	23.50	0.81	22.30	178.85	190.24	189.04
13:40	0.80	31.70	0.82	23.70	0.81	22.70	178.66	190.29	187.96
13:41	0.80	31.90	0.82	23.70	0.80	23.70	178.03	189.59	186.32
13:42	0.80	32.30	0.81	23.80	0.80	24.10	176.99	188.33	185.48
13:43	0.79	31.40	0.81	24.50	0.80	23.70	176.92	186.50	186.32
13:44	0.79	31.40	0.80	24.50	0.80	23.50	176.24	186.04	186.04
13:45	0.79	31.10	0.80	25.00	0.80	24.40	176.06	185.57	185.20
13:46	0.79	30.20	0.80	26.00	0.80	25.10	176.65	184.40	183.39
13:47	0.78	29.60	0.80	26.30	0.80	25.60	175.38	183.66	182.92
13:48	0.78	28.60	0.80	26.80	0.79	26.10	175.82	182.50	182.23
13:49	0.78	28.40	0.80	27.00	0.79	26.20	176.91	182.09	180.98
13:50	0.78	27.20	0.80	27.00	0.79	26.40	178.23	181.86	180.57
13:51	0.78	25.70	0.79	27.20	0.79	26.50	179.13	180.99	180.02
13:52	0.78	24.40	0.79	27.60	0.78	27.00	180.07	180.39	178.41
13:53	0.78	23.60	0.79	27.00	0.78	26.30	180.80	180.02	178.58
13:54	0.78	23.30	0.79	27.00	0.77	25.70	180.60	180.25	177.97
13:55	0.77	23.00	0.79	26.80	0.78	25.40	179.70	179.97	178.70
13:56	0.77	23.30	0.79	26.70	0.78	25.70	178.02	179.83	178.66
13:57	0.76	23.50	0.79	26.50	0.78	25.30	177.14	179.79	179.49
13:58	0.76	23.80	0.78	26.30	0.78	25.20	177.11	179.51	179.35

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
13:59	0.76	24.20	0.78	26.30	0.77	26.00	176.05	178.81	177.47
14:00	0.75	24.50	0.78	26.50	0.77	25.50	174.38	177.71	177.22
14:01	0.75	25.40	0.77	26.10	0.77	24.80	172.66	177.38	176.68
14:02	0.75	26.70	0.77	26.00	0.77	25.40	171.99	176.08	176.38
14:03	0.75	27.60	0.76	26.00	0.76	25.80	170.97	175.38	175.56
14:04	0.75	27.20	0.77	26.00	0.76	25.50	171.09	175.61	174.90
14:05	0.75	27.00	0.76	26.00	0.76	25.20	172.19	175.38	174.70
14:06	0.75	27.30	0.76	26.10	0.76	24.80	171.23	174.37	174.35
14:07	0.75	28.00	0.76	26.10	0.75	24.90	170.16	173.67	173.80
14:08	0.74	27.70	0.75	25.90	0.75	24.80	168.58	172.45	172.95
14:09	0.73	28.40	0.75	25.90	0.75	25.00	166.14	171.99	172.54
14:10	0.74	28.90	0.75	25.90	0.75	25.00	166.18	171.52	172.31
14:11	0.73	28.40	0.74	25.80	0.75	25.40	165.46	169.05	171.73
14:12	0.73	28.00	0.73	25.90	0.74	25.30	165.56	167.57	171.11
14:13	0.73	27.60	0.73	25.90	0.74	25.50	165.90	167.11	170.71
14:14	0.73	27.80	0.73	25.70	0.74	25.50	166.19	166.58	170.01
14:15	0.72	27.80	0.72	25.60	0.74	24.50	163.43	166.20	170.64
14:16	0.72	27.30	0.72	25.60	0.74	24.90	163.84	165.73	169.83
14:17	0.72	27.10	0.72	25.80	0.73	25.50	163.32	165.33	168.38
14:18	0.71	27.30	0.72	26.00	0.73	25.40	162.22	164.93	167.53
14:19	0.71	27.10	0.72	26.00	0.73	25.30	160.77	164.46	166.92
14:20	0.70	26.80	0.72	26.00	0.72	25.00	159.16	164.00	166.00
14:21	0.70	26.80	0.71	25.70	0.72	24.70	160.32	163.32	166.25
14:22	0.70	27.00	0.71	25.60	0.72	24.50	160.15	163.17	166.19
14:23	0.70	27.40	0.71	25.70	0.71	23.90	158.44	163.08	165.04
14:24	0.69	28.40	0.71	25.70	0.71	23.20	157.17	162.62	165.16
14:25	0.69	28.90	0.71	25.50	0.71	23.30	155.85	162.31	165.54
14:26	0.69	28.90	0.71	25.70	0.71	24.10	154.93	161.92	164.41
14:27	0.69	28.40	0.71	25.50	0.71	24.00	155.79	162.08	164.02
14:28	0.69	28.50	0.70	25.00	0.71	23.60	155.94	162.02	163.88
14:29	0.69	28.40	0.70	25.00	0.70	23.40	156.48	161.55	162.63

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
14:30	0.69	28.20	0.70	25.00	0.70	22.80	156.87	160.15	161.94
14:31	0.69	27.70	0.69	24.80	0.69	21.90	156.81	160.08	162.43
14:32	0.69	27.50	0.69	23.30	0.70	21.40	156.74	160.82	163.08
14:33	0.68	27.20	0.69	23.40	0.69	21.10	154.89	160.50	161.89
14:34	0.68	27.30	0.69	23.40	0.68	21.20	154.58	159.56	160.37
14:35	0.67	27.20	0.69	23.40	0.68	21.20	153.26	159.32	159.90
14:36	0.67	27.10	0.68	23.40	0.68	21.50	152.18	158.61	159.18
14:37	0.67	27.40	0.68	23.40	0.68	21.30	151.48	157.19	159.34
14:38	0.67	27.60	0.67	23.40	0.68	21.20	151.09	156.24	158.70
14:39	0.66	27.90	0.67	23.50	0.67	21.70	149.94	155.45	156.87
14:40	0.66	27.90	0.67	23.50	0.67	21.70	150.17	155.22	156.15
14:41	0.65	28.10	0.66	23.50	0.66	22.00	147.47	154.03	155.20
14:42	0.65	28.70	0.66	23.50	0.66	21.90	146.32	152.61	153.85
14:43	0.65	29.70	0.65	23.50	0.66	22.20	145.11	151.19	153.14
14:44	0.64	29.60	0.65	23.50	0.65	22.20	144.49	150.24	151.71
14:45	0.65	29.20	0.65	23.50	0.65	22.00	145.25	150.72	150.66
14:46	0.65	28.70	0.65	23.50	0.64	22.10	146.32	150.00	149.39
14:47	0.64	28.20	0.64	23.50	0.63	22.10	145.77	148.82	147.96
14:48	0.64	28.00	0.64	22.00	0.63	21.60	144.29	150.19	146.89
14:49	0.63	28.00	0.64	22.00	0.63	21.40	143.36	149.23	148.00
14:50	0.63	27.90	0.64	22.00	0.63	21.30	142.97	148.51	147.59
14:51	0.63	28.00	0.63	21.70	0.63	21.30	142.20	148.02	146.87
14:52	0.63	28.30	0.63	21.70	0.62	21.20	141.29	147.30	145.26
14:53	0.62	28.00	0.63	21.70	0.62	21.00	140.81	146.58	144.69
14:54	0.62	27.60	0.63	21.70	0.62	21.30	140.63	146.10	144.95
14:55	0.62	28.10	0.62	21.80	0.62	21.00	139.57	145.30	144.44
14:56	0.61	27.60	0.62	21.80	0.62	20.60	138.76	144.59	144.73
14:57	0.61	27.60	0.61	21.80	0.62	20.60	138.06	142.91	145.22
14:58	0.60	27.50	0.61	22.00	0.62	20.80	136.73	142.76	145.07
14:59	0.60	27.80	0.61	22.00	0.62	21.00	136.06	142.04	145.17
15:00	0.60	27.70	0.61	22.10	0.62	21.40	135.19	141.25	145.36

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
15:01	0.59	27.30	0.60	22.10	0.62	21.40	134.07	140.53	145.84
15:02	0.59	27.10	0.60	22.10	0.62	21.30	133.74	139.33	145.67
15:03	0.59	27.40	0.60	22.10	0.62	21.20	132.83	138.61	144.30
15:04	0.58	28.00	0.59	22.20	0.61	21.50	130.79	137.10	142.64
15:05	0.57	28.20	0.59	22.00	0.61	21.00	129.02	137.24	141.79
15:06	0.57	28.70	0.59	22.00	0.60	21.00	128.46	136.52	140.83
15:07	0.57	28.60	0.58	22.00	0.60	20.70	128.06	135.32	140.80
15:08	0.56	28.80	0.58	22.80	0.60	20.50	126.53	134.05	140.46
15:09	0.56	28.60	0.58	22.80	0.59	20.60	125.96	133.81	139.18
15:10	0.55	28.30	0.57	22.80	0.59	20.30	124.99	133.10	137.69
15:11	0.56	28.40	0.57	22.80	0.58	20.10	125.39	131.90	136.62
15:12	0.56	28.40	0.57	22.80	0.58	19.90	125.39	131.66	135.29
15:13	0.55	28.60	0.56	22.80	0.57	19.90	124.56	130.70	134.08
15:14	0.55	28.60	0.56	23.00	0.56	20.10	123.63	129.61	132.73
15:15	0.55	28.80	0.55	23.00	0.56	19.90	123.03	127.93	132.13
15:16	0.55	28.30	0.55	23.00	0.56	20.00	122.88	126.97	131.58
15:17	0.54	27.70	0.54	22.00	0.56	19.60	121.86	126.41	130.87
15:18	0.53	27.00	0.54	21.60	0.55	19.70	121.12	124.73	130.32
15:19	0.53	26.30	0.53	21.60	0.55	19.80	120.84	123.52	130.01
15:20	0.53	25.80	0.53	21.00	0.55	20.30	120.44	122.68	129.19
15:21	0.52	26.20	0.52	21.50	0.55	20.40	118.77	121.88	128.16
15:22	0.52	26.20	0.52	21.50	0.54	20.30	118.06	121.40	127.49
15:23	0.52	25.70	0.52	21.00	0.54	20.00	117.42	120.73	126.47
15:24	0.51	25.40	0.51	21.00	0.54	19.90	117.36	119.76	125.80
15:25	0.51	25.40	0.51	21.00	0.53	20.00	115.93	119.28	125.49
15:26	0.50	25.60	0.51	21.00	0.53	20.00	114.15	118.79	123.54
15:27	0.50	25.80	0.51	21.00	0.52	20.10	113.08	118.30	122.99
15:28	0.49	25.40	0.51	21.00	0.52	20.20	112.36	117.82	121.95
15:29	0.49	25.60	0.50	21.00	0.52	20.00	112.01	117.09	121.10
15:30	0.49	25.90	0.50	21.20	0.51	20.00	110.89	116.24	119.88
15:31	0.49	26.30	0.50	21.20	0.51	20.30	109.95	115.27	118.23

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
15:32	0.48	26.40	0.49	21.20	0.50	20.10	108.94	114.05	116.64
15:33	0.47	26.20	0.49	21.20	0.50	20.10	107.39	113.32	115.91
15:34	0.47	25.90	0.48	21.10	0.50	20.20	106.84	112.65	116.09
15:35	0.47	26.30	0.48	21.30	0.50	19.90	105.44	110.83	116.51
15:36	0.46	26.40	0.47	21.30	0.50	19.80	104.67	109.86	116.33
15:37	0.46	26.30	0.47	21.30	0.50	19.40	103.77	109.13	117.30
15:38	0.46	26.40	0.46	21.30	0.49	19.30	103.01	107.42	115.88
15:39	0.45	26.80	0.46	21.30	0.49	19.40	102.08	106.45	113.86
15:40	0.45	26.70	0.45	21.00	0.49	19.20	101.19	105.39	113.98
15:41	0.45	26.50	0.45	21.00	0.48	19.10	100.34	104.66	112.80
15:42	0.44	26.10	0.45	20.50	0.48	19.10	99.83	104.43	112.80
15:43	0.44	26.00	0.45	20.50	0.48	18.80	99.41	103.94	112.48
15:44	0.44	24.90	0.44	20.00	0.47	18.70	99.01	103.22	110.56
15:45	0.43	24.90	0.44	20.00	0.46	18.50	98.29	102.73	107.71
15:46	0.43	25.00	0.44	20.20	0.45	18.20	97.52	101.65	105.89
15:47	0.43	24.20	0.43	20.00	0.44	18.30	96.96	100.52	104.36
15:48	0.42	24.20	0.43	20.00	0.44	18.50	95.99	99.54	102.02
15:49	0.42	24.00	0.42	20.00	0.43	18.20	95.13	98.55	100.94
15:50	0.41	24.00	0.42	19.50	0.43	18.10	93.68	97.82	100.49
15:51	0.41	24.10	0.42	19.20	0.42	18.10	92.67	97.22	99.25
15:52	0.40	23.90	0.41	18.20	0.42	17.70	91.56	96.97	97.46
15:53	0.40	23.60	0.41	18.10	0.41	17.20	90.73	96.02	95.96
15:54	0.40	23.30	0.41	18.00	0.40	16.90	89.90	95.08	94.11
15:55	0.40	23.00	0.40	17.40	0.39	16.70	90.04	94.37	92.20
15:56	0.39	23.30	0.40	17.30	0.38	16.40	88.45	93.42	90.33
15:57	0.38	23.20	0.39	16.90	0.38	15.80	85.34	92.36	88.59
15:58	0.38	23.30	0.39	16.30	0.37	15.40	85.78	91.63	88.26
15:59	0.37	23.10	0.38	16.20	0.37	15.10	83.68	90.42	88.39
16:00	0.37	23.00	0.38	16.00	0.38	14.80	84.45	89.51	88.78
16:01	0.37	23.50	0.38	16.00	0.37	14.50	83.27	88.50	88.66
16:02	0.37	23.40	0.37	16.30	0.37	14.40	82.58	87.36	87.94

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
16:03	0.36	22.60	0.37	16.10	0.37	14.20	81.95	86.45	87.02
16:04	0.36	21.50	0.36	17.10	0.36	13.90	81.43	84.76	85.88
16:05	0.35	20.70	0.36	14.90	0.36	13.70	80.53	84.94	84.94
16:06	0.35	20.60	0.36	14.80	0.35	13.40	79.59	84.23	83.54
16:07	0.34	20.50	0.35	14.80	0.35	13.40	78.64	82.45	82.01
16:08	0.34	20.10	0.35	14.90	0.34	13.30	77.82	81.15	80.78
16:09	0.34	19.90	0.34	14.90	0.34	13.20	77.16	80.14	79.54
16:10	0.33	20.00	0.34	15.00	0.33	13.30	76.13	79.59	77.72
16:11	0.33	20.60	0.34	15.10	0.32	13.20	74.91	78.54	76.22
16:12	0.32	20.40	0.33	15.10	0.32	13.10	73.51	77.53	74.73
16:13	0.32	20.40	0.33	15.10	0.31	12.90	72.28	76.26	73.53
16:14	0.32	20.60	0.32	15.00	0.31	12.80	71.47	75.29	72.28
16:15	0.31	20.30	0.32	14.90	0.30	12.70	70.84	73.81	71.55
16:16	0.31	20.30	0.31	15.00	0.30	12.50	69.60	72.76	70.60
16:17	0.30	19.90	0.31	15.00	0.30	12.30	68.51	71.49	69.39
16:18	0.30	19.60	0.30	14.80	0.29	12.20	67.63	69.79	68.14
16:19	0.29	18.80	0.30	14.80	0.28	12.10	66.91	68.78	66.63
16:20	0.29	18.40	0.29	14.70	0.28	11.80	66.05	67.80	65.19
16:21	0.28	18.20	0.29	14.60	0.27	11.70	64.62	66.82	63.68
16:22	0.28	17.90	0.28	14.30	0.26	11.70	63.47	65.90	61.88
16:23	0.27	17.90	0.28	14.10	0.26	11.50	62.47	64.95	60.91
16:24	0.27	18.00	0.28	14.00	0.26	11.50	61.44	64.22	59.63
16:25	0.27	17.70	0.27	13.90	0.25	11.20	60.79	62.73	58.69
16:26	0.26	17.40	0.27	13.90	0.25	11.10	59.38	61.97	57.94
16:27	0.26	17.10	0.26	13.80	0.25	11.10	58.72	60.73	57.17
16:28	0.25	16.70	0.26	13.70	0.24	11.00	57.59	59.23	56.17
16:29	0.25	16.20	0.25	13.70	0.24	11.00	56.73	58.21	54.88
16:30	0.25	15.70	0.25	13.60	0.23	10.90	55.86	57.48	53.11
16:31	0.24	15.50	0.24	13.60	0.22	10.60	54.91	56.20	51.64
16:32	0.24	15.20	0.24	13.60	0.22	10.50	54.24	55.19	50.38
16:33	0.23	15.10	0.24	13.50	0.21	10.30	53.00	54.20	49.14

ឆ្នាំ	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
16:34	0.23	15.10	0.23	13.40	0.21	10.20	52.00	53.21	48.13
16:35	0.23	15.10	0.23	13.30	0.21	10.00	50.99	51.96	47.40
16:36	0.22	15.00	0.22	13.20	0.20	9.90	50.00	50.97	46.65
16:37	0.22	14.90	0.22	13.10	0.20	9.80	48.77	49.98	45.90
16:38	0.21	14.90	0.22	12.90	0.20	9.60	47.26	49.26	44.66
16:39	0.21	14.90	0.21	12.60	0.19	9.60	46.25	48.32	43.89
16:40	0.20	14.80	0.21	12.50	0.19	9.50	45.01	47.07	42.88
16:41	0.20	14.50	0.20	12.40	0.18	9.40	44.07	46.33	41.87
16:42	0.19	14.20	0.20	12.20	0.18	9.30	43.38	45.61	40.86
16:43	0.19	14.00	0.20	12.00	0.18	9.10	42.67	44.38	39.87
16:44	0.19	14.10	0.19	11.90	0.17	9.00	41.64	43.38	39.11
16:45	0.18	14.00	0.19	11.90	0.17	8.90	40.91	42.62	38.36
16:46	0.18	14.00	0.18	11.90	0.17	8.70	39.65	41.34	37.37
16:47	0.17	13.90	0.18	11.70	0.16	8.70	38.16	40.37	36.34
16:48	0.17	13.70	0.18	11.60	0.16	8.60	37.19	39.37	35.33
16:49	0.16	13.90	0.17	11.30	0.16	8.50	35.90	38.41	34.58
16:50	0.16	14.00	0.17	11.10	0.15	8.30	34.63	37.43	33.84
16:51	0.16	14.10	0.16	11.20	0.15	8.20	33.86	36.39	32.83
16:52	0.15	14.00	0.16	11.10	0.14	8.10	32.63	35.14	31.82
16:53	0.15	14.00	0.16	10.90	0.14	8.10	31.13	34.16	30.80
16:54	0.14	13.90	0.15	10.40	0.14	8.10	29.90	33.23	29.52
16:55	0.14	13.80	0.15	10.20	0.13	8.10	29.92	31.99	28.25
16:56	0.13	13.50	0.14	9.90	0.13	7.90	28.22	31.28	27.51
16:57	0.13	13.20	0.14	9.80	0.12	7.80	27.77	30.28	26.76
16:58	0.13	13.20	0.14	9.60	0.12	7.60	27.27	29.30	26.03
16:59	0.12	12.90	0.13	9.40	0.12	7.50	25.83	28.31	25.53
17:00	0.12	12.90	0.13	9.40	0.12	7.30	25.33	26.80	24.80
17:01	0.12	12.70	0.12	9.20	0.11	7.20	24.61	26.07	24.30
17:02	0.11	12.50	0.12	9.00	0.11	7.00	23.65	25.08	23.31
17:03	0.11	12.30	0.11	8.80	0.11	6.90	22.69	24.10	22.82
17:04	0.11	12.20	0.11	8.70	0.10	6.60	21.72	23.11	21.84

ពេលវេលា	ទម្រង់ 20 cm		ទម្រង់ 25 cm		ទម្រង់ 30 cm		ទម្រង់ 20 cm	ទម្រង់ 25 cm	ទម្រង់ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
17:05	0.10	11.90	0.11	8.50	0.10	6.30	21.01	22.13	21.12
17:06	0.10	11.70	0.10	8.30	0.10	6.00	20.05	21.15	20.40
17:07	0.09	11.30	0.10	8.10	0.09	5.80	18.87	20.18	19.41
17:08	0.09	11.00	0.09	8.00	0.09	5.50	18.17	19.19	18.94
17:09	0.09	10.80	0.09	7.80	0.09	5.30	17.45	18.47	17.96
17:10	0.09	10.40	0.09	7.60	0.09	5.00	16.76	17.50	17.24
17:11	0.08	10.10	0.08	7.40	0.08	4.70	16.06	16.53	16.51
17:12	0.08	9.80	0.08	7.40	0.08	4.50	15.12	15.31	15.54
17:13	0.07	9.50	0.07	7.10	0.07	4.30	13.22	14.36	14.57
17:14	0.05	9.30	0.07	6.90	0.07	4.10	7.88	13.88	13.84
17:15	0.03	9.10	0.06	6.70	0.07	3.90	3.58	10.78	13.12
17:16	0.03	8.90	0.04	6.60	0.06	3.70	3.18	5.75	10.24
17:17	0.02	8.70	0.02	6.30	0.04	3.50	2.99	3.03	5.85
17:18	0.02	8.40	0.02	6.10	0.03	3.30	2.80	2.64	3.91
17:19	0.02	8.30	0.02	5.80	0.03	3.10	2.61	2.45	3.50
17:20	0.02	8.10	0.02	5.70	0.03	3.00	2.42	2.46	3.30
17:21	0.02	7.90	0.02	5.50	0.02	2.80	2.23	2.27	3.10
17:22	0.02	7.80	0.02	5.30	0.02	2.70	2.05	2.08	2.90
17:23	0.02	7.60	0.02	5.10	0.02	2.50	1.87	1.90	2.70
17:24	0.02	7.50	0.02	4.90	0.02	2.30	1.69	1.72	2.31
17:25	0.02	7.20	0.02	4.70	0.02	2.20	1.52	1.54	2.12
17:26	0.01	7.00	0.02	4.50	0.02	2.00	1.18	1.37	1.94
17:27	0.01	6.90	0.01	4.30	0.02	1.80	1.01	1.20	1.75
17:28	0.01	6.80	0.01	4.20	0.02	1.70	1.01	1.03	1.57
17:29	0.01	6.60	0.01	4.00	0.02	1.50	0.85	0.87	1.39
17:30	0.01	6.40	0.01	3.70	0.01	1.40	0.70	0.71	1.22
17:31	0.01	6.30	0.01	3.50	0.01	1.30	0.55	0.72	1.05
17:32	0.01	6.10	0.01	3.40	0.01	1.10	0.41	0.56	0.89
17:33	0.01	6.00	0.01	3.20	0.01	1.00	0.15	0.29	0.73
17:34	0.01	5.90	0.01	3.00	0.01	0.80	0.04	0.16	0.58
17:35	0.01	5.80	0.01	2.90	0.01	0.70	0.04	0.04	0.43


เวลา	ระยะ 20 cm		ระยะ 25 cm		ระยะ 30 cm		ระยะ 20 cm	ระยะ 25 cm	ระยะ 30 cm
	29/10/18		1/11/18		2/11/18		29/10/18	1/11/18	2/11/18
	G'	T'	G'	T'	G'	T'	P (W)	P (W)	P (W)
17:36	0.01	5.70	0.01	2.70	0.01	0.50			0.29
17:37	0.00	5.50	0.00	2.60	0.01	0.40			0.16
17:38	0.00	5.50	0.00	2.40	0.01	0.30			0.05
17:39	0.00	5.30	0.00	2.30	0.01	0.10			
17:40	0.00	5.20	0.00	2.10	0.00	0.00			
17:41	0.00	5.10	0.00	2.00	0.00	-0.20			
17:42	0.00	5.00	0.00	1.80	0.00	-0.30			
17:43	0.00	4.80	0.00	1.60	0.00	-0.50			
17:44	0.00	4.70	0.00	1.50	0.00	-0.60			
17:45	0.00	4.60	0.00	1.30	0.00	-0.80			
17:46	0.00	4.50	0.00	1.20	0.00	-0.90			
17:47	0.00	4.40	0.00	1.10	0.00	-1.00			
17:48	0.00	4.30	0.00	0.90	0.00	-1.10			
17:49	0.00	4.20	0.00	0.80	0.00	-1.10			
17:50	0.00	4.10	0.00	0.70	0.00	-1.30			
17:51	0.00	4.00	0.00	0.50	0.00	-1.40			
17:52	0.00	3.80	0.00	0.40	0.00	-1.40			
17:53	0.00	3.70	0.00	0.30	0.00	-1.60			
17:54	0.00	3.60	0.00	0.20	0.00	-1.70			
17:55	0.00	3.50	0.00	0.10	0.00	-1.80			
17:56	3.40	0.00	0.00	0.00	-1.90				
17:57	3.20	0.00	-0.10	0.00	-1.90				
17:58	3.10	0.00	-0.10	0.00	-2.00				
17:59	3.00	0.00	-0.30	0.00	-2.10				
18:00	2.90	0.00	-0.40	0.00	-2.20				
ผลรวม กำลังไฟฟ้า (วัตต์)							83,485.94	86,195.74	86,828.11

ภาคผนวก ค
ผลงานวิชาการ

- 1) บทความวิชาการระดับนานาชาติ เรื่อง A study of distance between solar arrays and building roof that effects the reduction of panel temperature in Lamphun province, Thailand



- 2) บทความวิชาการระดับชาติ เรื่อง การศึกษาความแข็งแรงโครงหลังคาอาคารโรงงาน ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระดับความห่างต่างกันเพื่อลดอุณหภูมิได้แฝง




การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15
15th Conference on Energy Network of Thailand
มอบเกียรติบัตรนี้แด่

ชาญชัย ทิมทับ, ภัฏญานันฐ ทองเทพ, ณัฐตฤณีชา สุขเกษม, ยິงรักษ์ อรรถเวชกุล,
นิกราน หอมดวง และ ธิดารัตน์ ศิริบุรณ์

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความ

SEU0033 : การศึกษาความแข็งแรงโครงหลังคาอาคารโรงงาน ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ระดับความห่างต่างกันเพื่อลดอุณหภูมิได้แฝง

ระหว่างวันที่ 21-23 พฤษภาคม 2562



(รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.นตธีร ชำนิประศาสน์)
ประธานคณะกรรมการจัดการประชุม E-NETT ครั้งที่ 15



จัดประชุมโดย



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ร่วมกับ



สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระหว่างวันที่ 21 - 23 พฤษภาคม 2562
ณ โรงแรมเดอะกรีนเนอรี่ รีสอร์ท เขาใหญ่ อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ชาญชัย ทิมทับ
เกิดเมื่อ	9 กรกฎาคม 2519
ประวัติการศึกษา	2542 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ (วศบ.) สาขา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 2554 ปริญญาตรี สาธารณสุขศาสตร์ (สบ.) สาขา อาชีวอนามัยและความ ปลอดภัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ประวัติการทำงาน	2558-ปัจจุบัน Facility & Utility Supervisor บริษัท แพนดอร่า โพรดักชั่น จำกัด ลำพูน
	ผลงานทางวิชาการ Chanchai Timtub, Kunyanat Thongtep, Natthanicha Sukasem, Nigran Homdoug, Thidarat Siriboon and Yingrak Auttawaitkul. (2018). A study of distance between solar arrays and building roof that effects the reduction of panel temperature in Lamphun province, Thailand. The 2nd Maejo-Engineo International Conference on Renewable Energy (MEICRE 2018) 14-15 December. Chiang Mai, Thailand. ชาญชัย ทิมทับ, กัญญาณัฐ ทองเทพ, ณัฐต์ณิชา สุขเกษม, ยิ่งรักษ์ อรรถเวช กุล, นิกราน หอมดวง และธิดารัตน์ ศิริบุรณ. (2562). การศึกษาความ แข็งแรงโครงสร้างหลังคาอาคารโรงงาน ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระดับความ ห่างต่างกันเพื่อลดอุณหภูมิได้แผง. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่ง ประเทศไทย ครั้งที่ 15. นครราชสีมา, ประเทศไทย.