



การศึกษาศักยภาพการลดรังสีอาทิตย์รวม โดยใช้พืชอากาศสำหรับหลังคาเขียว

**The study of capacity in solar radiation reduction**

**by using air plant as green roof**

ศุภศักดิ์ หนูมาก

Supasak Noomak

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of**

**Master of Science in Environmental Management**

**2560**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การศึกษาศักยภาพการลดรังสีอาทิตย์รวม โดยใช้พืชอากาศสำหรับหลังคาเขียว

**The Study of Capacity in Solar Radiation Reduction**

**by Using Air Plant as Green Roof**

ศุภศักดิ์ หนูมาก

**Supasak Noomak**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of**

**Master of Science in Environmental Management**

**Prince of Songkla University**

**2560**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์                    การศึกษาศักยภาพการลดรังสีอาทิตย์รวม โดยใช้พืชอากาศสำหรับหลังคา  
 เจียว

ผู้เขียน                                นายสุภศักดิ์ หนูมาก

สาขาวิชา                            การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกื้ออนันต์ เตชะโต)	.....ประธานกรรมการ (ดร.ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์)
.....	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกื้ออนันต์ เตชะโต)
.....	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทกานต์ ทวีกุล)
.....	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์)
.....	.....กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถจัน เศรษฐบุตร์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ  
 สิ่งแวดล้อม

.....  
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)  
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกื้ออนันต์ เตชะโต)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทกานต์ ทวีกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ลงชื่อ.....

(นายสุกศักดิ์ หนูมาก)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายสุภศักดิ์ หนูมาก)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาศักยภาพการลดรังสีอาทิตย์รวม โดยใช้พืชอากาศสำหรับหลังคาเขียว
ผู้เขียน	นายศุภศักดิ์ หนูมาก
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

ประเทศไทย มีปริมาณรังสีอาทิตย์ (solar radiation) ค่อนข้างสูง ทำให้อาคารพาณิชย์ต้องอาศัยเครื่องปรับอากาศเป็นหลัก ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน ดังนั้น การเพิ่มพื้นที่หลังคาเขียว (green roof) โดยการปลูกพืชบนหลังคาอาคารจะทำให้อุณหภูมิภายในอาคารพาณิชย์ลดลงได้ ผู้วิจัยจึงศึกษาโดยใช้ต้น *Tillandsia Cotton Candy* ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์สับปะรด (Bromeliaceae) สกุล *Tillandsia* ที่มีคุณสมบัติเป็นพืชอากาศ ทนแล้ง ดูแลรักษาง่าย น้ำหนักเบา ไม่อาศัยดินในการเจริญเติบโต มีวิธีการสังเคราะห์แสงแบบ Crassulacean Acid Metabolism (CAM) นอกจากนี้ยังเป็นพืชที่มีไตรโคม (Trichome) ปกคลุมทั่วทั้งต้น โดยทำหน้าที่ในการดูดซับความชื้น และธาตุอาหารในอากาศ โดยงานวิจัยตั้งสมมติฐานว่า หลังคาเขียวสามารถลดรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารได้ การทดลองใช้ระยะเวลาในการศึกษา 1 ปี เริ่มจากเดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 วัดรังสีอาทิตย์ โดยใช้เครื่อง Solarimeter จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอาทิตย์กับดัชนีพื้นที่ผิวใบ และน้ำหนักต้น *Tillandsia Cotton Candy* เปรียบเทียบรังสีอาทิตย์ระหว่างพื้นที่อาคาร และพื้นที่ใต้หลังคาเขียวบนอาคาร จากผลการศึกษาพบว่ารังสีอาทิตย์พื้นที่อาคารรายเดือนมีค่าอยู่ในช่วง 1,086.2 - 1,261.1 W/m<sup>2</sup> พบรังสีอาทิตย์มีค่ามากที่สุดในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 และน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558 หลังคาเขียวสามารถลดรังสีอาทิตย์รายเดือนเฉลี่ยเท่ากับ 907.7 W/m<sup>2</sup> คิดเป็นร้อยละ 78.20 และพบว่ารังสีอาทิตย์มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับดัชนีพื้นที่ผิวใบ ( $r^2 = 0.84, p < 0.001$ ) และน้ำหนักต้น *Tillandsia Cotton Candy* ( $r^2 = 0.89, p < 0.001$ )

**Thesis Title** The study of capability in solar radiation reduction by using air plant as green roof

**Author** Mr. Supasak Noomak

**Major Program** Environmental Management

**Academic Year** 2016

### Abstract

Since a high intensive of solar radiation in Thailand, air conditioner is required to install in many commercial building resulting in the global warming. Therefore, the increasing of area of green roof by growing plants at the rooftop of the building could reduce the temperature inside the building. The researcher was then interested in using the plant named *Tillandsia Cotton Candy* which is the monocots phylum in Bromeliaceae specie (same as pineapple). *Tillandsia* is a lightweight weather-resistant plant which can grow in the air without soil and can well resist with the drought. Besides, *Tillandsia* can photosynthesize by the method of Crassulacean Acid Metabolism (CAM) and consists of Trichome in its whole trunk which help absorb the moistness and nutrients in the air. The hypothesis for this research is that the green roofs can reduce solar radiation on the rooftop. It took one year for the experiment, starting April 2015 to March 2016. The researchers measured the solar radiation by using Solarimeter and investigated the relation between solar radiation and the index of leaves surface area and weight of the *Tillandsia Cotton Candy*. The solar radiation was compared between in the empty area and in the green area under the rooftop. The study result showed that the solar radiation rate in the empty area each month was between 1,086.2-1,261.1 W/m<sup>2</sup> and solar radiation was found having the highest rate in March 2016 and lowest rate in December 2015. The green rooftop could help reducing solar radiation averagely 907.7 W/m<sup>2</sup> per month, or 78.20 percent. It was also found that the relation between the solar radiation and the leaves area ( $r^2 = 0.84, p < 0.001$ ) and weight of the *Tillandsia Cotton Candy* ( $r^2 = 0.89, p < 0.001$ ).

### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีจากอาจารย์หลายๆ ท่าน ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทกานต์ ทวีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกื้ออนันต์ เตชะโต อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ คำแนะนำ ให้มุมมอง แง่คิด รวมถึงช่วยแก้ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ในการทำวิจัย ตรวจสอบแก้ไขความถูกต้องเรียบร้อย อีกทั้งสอนกระบวนการคิด ขั้นตอนการวางแผนงานวิจัย ให้คำปรึกษา ระหว่างการทำวิจัยตลอดจนให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดมาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณอาจารย์นิสา ปานอ่อน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่คอยให้คำแนะนำในการวางแผนการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ และข้อมูลทางด้านสถิติในครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่มอบทุนวิจัย ขอขอบคุณ คุณคุณศศิพัชร พูลสวัสดิ์ และบุคลากรคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องการจัดทำเอกสาร

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ คุณพลิชฐ์ จารุจาริต์ คุณแสงเจริญ วิศิษฎ์ไพบุลย์ คุณกนก กาญจน์ น้อยสุข และคุณจุฑารัตน์ แก้มงาม ที่คอยให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในหลาย ๆ ขั้นตอนของการทำวิจัย ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกในครอบครัวทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจอันสำคัญยิ่ง และมอบเงินทุนสนับสนุนการศึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ศุภศักดิ์ หนูมาก



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการรูป	(10)
สัญลักษณ์และตัวย่อ	(13)
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	3
วัตถุประสงค์	35
2. วิธีดำเนินการทดลอง	36
สำรวจพื้นที่ทำการทดลอง	36
ออกแบบโครงสร้าง แผนวางต้น	37
เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	39
3. ผลการวิจัย	45
4. บทวิจารณ์	56
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	66
ภาคผนวก	72
ประวัติผู้เขียน	98

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	ค่าการนำความร้อนของวัตถุ	4
1.2	แสดงช่วงความยาวคลื่นและสัดส่วนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ที่สำคัญเมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมดของรังสีที่แผ่จากดวงอาทิตย์	7
3.1	การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่ากับพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาอาคาร	48

## รายการรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพแสดงองค์ประกอบของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลก	8
1.2 ภาพแสดงแผนภูมิแสดงการลดลงของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ขณะที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศ	9
1.3 ภาพแสดงการดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในชั้นบรรยากาศ	10
1.4 ภาพแสดงเครื่อง ควอนตัมเซนเซอร์	14
1.5 ภาพแสดงตัวอย่างค่า Leaf Area Index	21
1.6 ภาพแสดงต้น Tillandsia Cotton Candy	23
1.7 ภาพแสดงหลังคาเขียวในชุมชนเมือง	24
1.8 ภาพแสดงตำแหน่งของสถานีวัดรังสีอาทิตย์ทั้งหมดของประเทศไทยของกรมพัฒนา พลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	26
1.9 ภาพแสดงรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นในแนวระนาบต่าง ๆ รังสีระนาบในแนวระดับ	27
1.10 ภาพแสดงเครื่องวัดรังสีรวมแบบโรบิตซ์	29
1.11 ภาพแสดงเครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิก	30
1.12 ภาพแสดงเครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพล์	31
2.1 ภาพแสดงอาคารคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	35
2.2 ภาพแสดงชั้นหลังคาแดดฟ้าของอาคารคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	36
2.3 ภาพแสดงลักษณะอุปกรณ์ในการปลูกต้น <i>T.cotton candy</i>	37
2.4 ภาพแสดงต้น <i>T.cotton candy</i> และการวางแนวของต้น <i>T.cotton candy</i> บนตะแกรง เครื่องวัดความยาวลูกตา แบบใช้แสงเลเซอร์หรือ IOL Master	37
2.5 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ Solarimeter	38
2.6 ภาพแสดงเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ Solarimeter	39
2.7 ภาพแสดงเครื่องวัดสภาพอากาศ แบบชุดอุตุนิยมวิทยา Davis 6152 Vantage Pro2	41

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.1	กราฟแสดงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่บนหลังคาแดดฟ้า	45
3.2	กราฟแสดงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวบนหลังคาแดดฟ้า	46
3.3	กราฟแสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า และพื้นที่หลังคาเขียว (ต้น T. Cotton Candy) บนหลังคาแดดฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน	49
3.4	กราฟแสดงผลปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า และพื้นที่หลังคาเขียว (ต้น T. Cotton Candy) บนหลังคาแดดฟ้า	50
3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับน้ำหนักต้น <i>T. Cotton Candy</i>	52
3.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น <i>T. Cotton Candy</i>	54
4.1	แสดงลักษณะทั่วไปของต้นเคราฤาษี	59
4.2	แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นเคราฤาษี	59
4.3	แสดงลักษณะ Trichome ของต้นเคราฤาษี	60

### สัญลักษณ์และตัวย่อ

T. Cotton Candy	=	Tillandsia Cotton Candy
UV	=	Ultra Violet
XUV	=	Extreme Ultra Violet
FUV	=	Far Ultra Violet
UVA	=	Ultra Violet Aging
UVB	=	Ultra Violet Burning
UVC	=	Ultra Violet Cancer
O <sub>2</sub>	=	Oxygen
O <sub>3</sub>	=	Ozone
H <sub>2</sub> O	=	water
N <sub>2</sub>	=	Nitrogen
N <sub>2</sub> O	=	Nitrous oxide
CO <sub>2</sub>	=	Carbon dioxide
CFCs	=	Chlorofluorocarbon
CH <sub>4</sub>	=	Methane
PAR	=	Photo synthetically Active Radiation
LAI	=	Leaf Area Index
CAM	=	Crassulacean Acid Metabolism
W/m <sup>2</sup>	=	Watt per square meter
ซ	=	ทิศใต้
ซว	=	ทิศตะวันตกเฉียงใต้
ซซว	=	ทิศใต้ค่อนข้างไปทางตะวันตก
ซซอ	=	ทิศใต้ค่อนข้างไปทางตะวันออก
ซอ	=	ทิศตะวันออกเฉียงใต้
ง	=	ไม่มีทิศทาง
ว	=	ทิศตะวันตก
วซว	=	ทิศตะวันตกค่อนข้างไปทางใต้
วนว	=	ทิศตะวันตกค่อนข้างไปทางเหนือ

**สัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)**

น	=	ทิศเหนือ
นนว	=	ทิศเหนือไปทางตะวันตก
นนอ	=	ทิศเหนือค่อนข้างไปทางตะวันออก
นอ	=	ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ
อ	=	ทิศตะวันออก
อชอ	=	ทิศตะวันออกค่อนข้างไปทางใต้
อนอ	=	ทิศตะวันออกค่อนข้างไปทางเหนือ

หมายเหตุ ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

รังสีอาทิตย์ (solar radiation) เป็นพลังงานที่กำเนิดจากดวงอาทิตย์และแผ่ออกสู่อากาศโดยรอบ โดยอยู่ในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ รังสีอาทิตย์ถือว่ามี ความสำคัญและมีบทบาทอย่างยิ่งในระบบภูมิอากาศของโลก เนื่องจากแหล่งพลังงานเกือบทั้งหมด มาจากรังสีอาทิตย์ เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงสว่าง และรังสีอินฟราเรด โดยรังสีอาทิตย์ที่แผ่ มายังโลกจะมีค่าพลังงานเท่ากับ  $3.854 \times 10^{26}$  วัตต์ (Lang, 2001) และพบว่าร้อยละ 30 ของรังสี อาทิตย์จะถูกสะท้อนกลับโดยเมฆ ไอ น้ำ และฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ และมีเพียงร้อยละ 70 ของ รังสีอาทิตย์เท่านั้นที่สามารถแผ่มายังโลกได้ ซึ่งรังสีอาทิตย์ที่แผ่มายังโลกจะถูกดูดซับไว้ด้วยพื้นดิน และพื้นน้ำ จึงทำให้พื้นผิวดินและน้ำมีอุณหภูมิโดยรวมสูงขึ้น นอกจากนั้นยังมีกลุ่มก๊าซที่สามารถ ดูดกลืนรังสีความร้อนที่แผ่จากพื้นโลกได้ดี ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน โอโซน ไนตรัส ออกไซด์ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน โดยเรียกกลุ่มก๊าซนี้ว่า “ก๊าซเรือน กระจก” (greenhouse gases) ฉะนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้มนุษย์ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ในการปรับ อุณหภูมิในพื้นที่อยู่อาศัยให้ลดลง

ปัจจุบัน พบว่าอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นจำนวน มาก โดยเฉพาะอาคารที่เป็นอาคารพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาคารประเภทหนึ่งที่พบเห็นได้มาก และเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็วตามการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจในประเทศไทย เนื่องจากอาคารพาณิชย์เป็นอาคารที่ มีลักษณะเป็นตึกแถวสูงประมาณ 4 - 5 ชั้น จึงทำให้มีพื้นที่ใช้สอยค่อนข้างมาก อีกทั้งต้นทุนในการ ก่อสร้างไม่สูงมากและการขออนุญาตปลูกสร้างสามารถทำได้ง่าย จึงเป็นที่นิยมกันแพร่หลายของ นักลงทุน เพราะนอกจากจะใช้เป็นที่พักอาศัยแล้วยังสามารถใช้เป็นที่ประกอบการค้า สำนักงานต่าง ๆ ได้ด้วย เช่น ธนาคาร ที่ทำการไปรษณีย์ สมาคม สโมสร เป็นต้น เนื่องจากเป็นอาคารที่ไม่ต้องการ ลงทุนสูง การ (อารีรัตน์ วรรณช, 2549) แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบก่อสร้างอาคารพาณิชย์ยังขาด การคำนึงถึงขอบเขตสถานะความสบายของผู้อยู่อาศัย เนื่องจากภายในอาคารพาณิชย์จะมีช่องเปิด จำกัด ทำให้อากาศถ่ายเทได้น้อยมาก เป็นเหตุให้อุณหภูมิภายในอาคารค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่าง ยิ่งห้องใต้ชั้นหลังคาแดดฟ้าของอาคารพาณิชย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นคาบฟ้าคอนกรีตเสริม เหล็ก เพื่อแก้ปัญหาผู้อยู่อาศัยจึงมักจะมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในการควบคุมอุณหภูมิภายใน อาคารให้ลดลง ซึ่งในทางตรงกันข้ามกลับเป็นการเพิ่มภาระให้แก่สภาพแวดล้อมภายนอก เนื่องจาก

การใช้เครื่องปรับอากาศจะส่งผลให้อากาศภายในอาคารร้อนขึ้นจากความร้อนที่ระบายออกของเครื่องปรับอากาศ และพบว่าการใช้เครื่องปรับอากาศเป็นอีกสาเหตุสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น เพราะมีการสร้างเพิ่มขึ้นของก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) (Greenpeace Research Laboratories, 2006; Scheutz, 2003) โดยพบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารพาณิชย์ในแต่ละเดือนจะมาจากเครื่องปรับอากาศมากที่สุด

ดังนั้น การเพิ่มพื้นที่หลังคาเขียว (green roof) โดยการปลูกพืชบนหลังคาอาคารพาณิชย์จะทำให้อุณหภูมิภายในอาคารพาณิชย์ลดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของหลังคาเขียวสำหรับอาคารที่ไม่มีการออกแบบโครงสร้างมาก่อนคือ การรับน้ำหนักของโครงสร้างอาคารจากการปลูกพืชโดยใช้ดิน รวมทั้งการเกิดภาชนะน้ำซึมหลังคาจากการรดน้ำต้นไม้ที่ปลูกไว้ ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดเชื้อราเกาะบริเวณเพดานของอาคารได้ ฉะนั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงใช้ต้น *Tillandsia Cotton Candy* ซึ่งเป็นพืชพืชอากาศ (air plant) ไม่ใช้ดินปลูก และเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์สับปะรด (Bromeliaceae) สกุล *Tillandsia* มีคุณลักษณะเฉพาะคือเป็นพืชทนแล้ง ดูแลรักษาง่าย น้ำหนักเบา ไม่อาศัยดินในการเจริญเติบโต บริเวณของใบพืชค่อนข้างมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก มีวิธีการสังเคราะห์แสงแบบ Crassulacean Acid Metabolism (CAM) นอกจากนั้นยังเป็นพืชที่มีไทรโคม (trichome) ปกคลุมทั่วทั้งต้น โดยไทรโคมจะทำหน้าที่ในการดูดซับความชื้น และธาตุอาหารในอากาศ (Papini et al., 2010; Haslam et al., 2003) จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงเหมาะสมอย่างยิ่งในการศึกษาหลังคาเขียวบนอาคารพาณิชย์ โดยใช้ต้น *Tillandsia Cotton Candy* ที่เอื้ออำนวยต่อสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย โดยสถานที่ทำการวิจัยตั้งอยู่ที่คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา



## 1.2 ตรวจสอบเอกสาร

### 1. การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน (heat transfer) คือการส่งผ่านพลังงานความร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างกันของอุณหภูมิ (temperature gradient) โดยความร้อนจะถูกถ่ายเทจากโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำเสมอ อัตราการถ่ายเทความร้อนจะแปรผันตรงกับแรงขับเคลื่อน (driving force) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ การถ่ายเทความร้อนแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

#### 1.1 การนำความร้อน (conduction heat transfer)

การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลาง โดยความร้อนจะเคลื่อนที่จาก

ตัวกลางที่มีโมเลกุลอุณหภูมิสูงไปยังโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในตัวกลางเดียวกัน หรือการเคลื่อนที่ของความร้อนจากตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงไปยังตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่สัมผัสกัน การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ แต่จะเกิดขึ้นได้ดีในตัวกลางที่มีสภาพเป็นของแข็ง ค่าการนำความร้อน ( $k$ ) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของวัตถุ ดังแสดงในตารางที่ 1.1 โดยทั่วไปค่าการนำความร้อนของวัตถุจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ แต่การนำมาใช้ในการคำนวณนั้นจะเป็นค่าความร้อนคงที่จากอุณหภูมิเฉลี่ย วัตถุที่มีค่าการนำความร้อนสูงที่สุดคือโลหะ ซึ่งจะมีค่า  $k$  สูง ส่วนวัตถุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ ก็จะมีค่า  $k$  ต่ำ ได้แก่ ใยแก้ว ฉนวน หรือก๊าซ เป็นต้น

ดังนั้นในสมการที่ใช้คำนวณเกี่ยวกับการนำความร้อน จึงต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ต่อการ

ถ่ายเทความร้อน ดังเช่นสมการของฟูเรียร์ (Fourier rate equation) ซึ่งอธิบายว่าอัตราการถ่ายเทความร้อน จะแปรผันตรงกับค่าการนำความร้อนต่อพื้นที่ตั้งฉากกับการไหล และอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง (temperature gradient) ดังแสดงในสมการที่ 1.1

$$Q_x = -kA(dT/dx) \dots \dots \dots 1.1$$

โดย  $Q_x$  คืออัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนในทิศทางของ  $x$   
 $k$  คือค่าการนำความร้อน  
 $A$  คือพื้นที่ที่ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านและตั้งฉากกับทิศทางของ  $x$   
 $dT/dx$  คือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับระยะทาง

ตารางที่ 1.1 ค่าการนำความร้อนของวัสดุ

วัสดุ	ค่าการนำความร้อน ( $k$ ), W/mK
โลหะบริสุทธิ์	35 – 430
โลหะผสม	20 – 200
โลหะเหลว	9 – 90
ของเหลว (อโลหะ)	0.2 – 2.0
ของแข็ง (อโลหะ)	0.02 – 20
ฉนวน	0.02 – 0.40
ก๊าซ	0.02 – 0.2

## 1.2 การพาความร้อน (convection heat transfer)

การพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของไหลและของแข็งที่

สัมผัสกันแต่มีอุณหภูมิต่างกัน ความร้อนจะถูกถ่ายโอนโดยการแพร่ (diffusion) ของไหลดังกล่าวได้แก่ ของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็นตัวพาความร้อน การคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน แสดงดังสมการที่ 1.2

$$Q = h(Th - Tc) \dots \dots \dots 1.2$$

โดย  $Q$  คืออัตราการเคลื่อนที่ของความร้อน  
 $h$  คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน  
 $Th$  คืออุณหภูมิผิววัตถุ  
 $Tc$  คืออุณหภูมิอากาศในอาคาร

การพาความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 รูปแบบ ได้แก่

### 1.2.1 การพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection)

การพาความร้อนแบบบังคับคือ การที่ของไหลเคลื่อนที่พาความร้อนไหลผ่านผิวของแข็ง โดยเป็นผลมาจากการกระทำของแรงภายนอก เช่น เครื่องสูบน้ำ พัดลม เป็นต้น

### 1.2.2 การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection)

การพาความร้อนแบบอิสระคือ การที่ของไหลเคลื่อนที่พาความร้อนไหลผ่านผิวของแข็ง โดยไม่มีแรงจากภายนอกกระทำ แต่เป็นการเคลื่อนที่ด้วยแรงลอยตัว ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความหนาแน่นในของไหลมีความแตกต่างกัน อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

### 1.3 การแผ่รังสีความร้อน (radiation heat transfer)

การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีจะแตกต่างจากการถ่ายเทความร้อนโดยการนำและการพาความร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนไม่ต้องอาศัยตัวกลาง แต่จะถ่ายเทความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอน ดังนั้นการแผ่รังสีความร้อนจึงเกิดขึ้นได้ในสุญญากาศ

จากการศึกษาของ Liberman และคณะ (2015) พบว่าการแผ่รังสีที่เกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่น 0.1-100 ไมโครเมตร เรียกว่าเป็นรังสีความร้อน (thermal radiation)

นอกจากนั้น พลังงานที่ได้จากการแผ่รังสีจากผิววัตถุแข็ง ของเหลวหรือก๊าซ ยังเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงและการจัดรูปแบบของอิเล็กทรอนิกส์ภายในองค์ประกอบของอะตอมหรือโมเลกุล

### 1.4 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

รังสีดวงอาทิตย์ เป็นพลังงานอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นจากดวงอาทิตย์ และแผ่รังสีออกสู่อวกาศโดยรอบในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความยาวคลื่นต่าง ๆ ทั้งรูปแบบที่เป็นรังสี และแสงสว่าง

#### 1.4.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ สามารถแบ่งตามช่วงคลื่นได้ 2 ประเภท คือ

##### 1.4.1.1 รังสีคลื่นสั้น (short wave)

รังสีคลื่นสั้น เป็นรังสีความร้อนที่มีอยู่ในแสงสว่าง เช่น แสงสว่างจากดวงอาทิตย์ คุณสมบัติของรังสีชนิดนี้คือ มีอุณหภูมิสูง สามารถทะลุผ่านกระจกได้ดี อีกทั้งสะท้อนได้ดีบนวัตถุที่มีพื้นผิวมัน แต่รังสีประเภทนี้สามารถดูดซับได้ดีในวัตถุสีเข้ม และเป็นรังสีที่สามารถมองเห็นได้เฉพาะช่วงความยาวคลื่นประมาณ 380-780 นาโนเมตรเท่านั้น (Cameron และ Thirimachos, 2015)

รังสีคลื่นสั้น สามารถแบ่งตามช่วงคลื่นที่แตกต่างกันดังนี้

1. รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultra violet) หรือรังสียูวี (UV)

รังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นรังสีที่มีประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์ของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด และมีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 290 – 400 นาโนเมตร (Sandrine et al., 2014) ดังแสดงในตารางที่ 1.2

จากการศึกษาของ Sandrine และคณะ (2014) พบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตจะส่งเสียต่อวัตถุทำให้วัตถุเสื่อมสภาพได้เร็วกว่าอายุการใช้งานจริง

นอกจากนั้น ยังพบว่ารังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นอันตรายต่อผิวหนังของมนุษย์ทั้งระยะสั้น และระยะยาว เช่น ผิวหนังไหมจากแสงแดด, ผิวหนังมีสีคล้ำลงเนื่องจากการกระตุ้นการสร้างเม็ดสีเมลานิน (melanin) ที่ผิวหนัง ส่วนผลกระทบระยะยาว เช่น ทำให้ผิวหนังเสื่อมสภาพก่อนอายุ เกิดรอยเหี่ยวย่น ฝ้า ตกรกระ หรืออาจจะร้ายแรงจนกลายเป็นมะเร็งผิวหนัง (Sindhuja et al., 2014; Alex et al., 2009; Armstrong and Krickler, 2001)

2. รังสีที่มนุษย์สามารถมองเห็น (visible light)

รังสีที่มนุษย์สามารถมองเห็น เป็นรังสีที่มีประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์ของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด และมีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 400 – 700 นาโนเมตร

3. รังสีอินฟราเรด (infrared)

รังสีอินฟราเรด เป็นรังสีที่มีประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด และมีความยาวช่วงคลื่นประมาณ 700 – 3500 นาโนเมตร (Nelson et al., 2015)

จากการศึกษาของ Nelson และคณะ (2015) พบว่ารังสีอินฟราเรดจะอยู่ในรูปของความร้อน เมื่อกระทบกับวัตถุจะทำให้อุณหภูมิของวัตถุสูงขึ้น

ตารางที่ 1.2 แสดงช่วงความยาวคลื่นและสัดส่วนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ที่สำคัญเมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมดของรังสีที่แผ่จากดวงอาทิตย์

รังสีอาทิตย์	ช่วงความยาวคลื่น ( $\mu\text{m}$ )	สัดส่วนพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทั้งหมดที่แผ่ออกมา (%)
รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่นสั้นมาก (extreme ultraviolet, XUV)	0.01 – 0.1	$3 \times 10^{-5}$
รังสีอัลตราไวโอเล็ตไกล (far ultraviolet, FUV)	0.1 – 0.2	0.01
รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (ultraviolet C, UVC)	0.2 – 0.28	0.5
รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (ultraviolet B, UVB)	0.28 – 0.32	1.3
รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (ultraviolet A, UVA)	0.32 – 0.40	6.2
แสงสว่าง	0.40 – 0.78	39
รังสีอินฟราเรด	0.78 – 1,000	52.9

#### 1.4.1 รังสีคลื่นยาว (long wave)

รังสีคลื่นยาว เป็นรังสีที่เกิดจากการตกกระทบกับวัตถุที่บดบังแสงของรังสีคลื่นสั้น โดยรังสีคลื่นสั้นจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว ซึ่งจะมีมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 3,000 นาโนเมตร รังสีชนิดนี้จะมีคุณสมบัติพิเศษคือ เป็นรังสีที่มองไม่เห็นและสะท้อนกับวัตถุที่เป็นพื้นผิวมันได้ดี ส่งผลให้วัตถุมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยการถ่ายเทความร้อนของรังสีคลื่นยาวจะเกิดขึ้นในรูปแบบของการนำความร้อน (Zhu et al., 2015)

## 2.2 ดวงอาทิตย์แผ่รังสีลงสู่พื้นโลก แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1.1

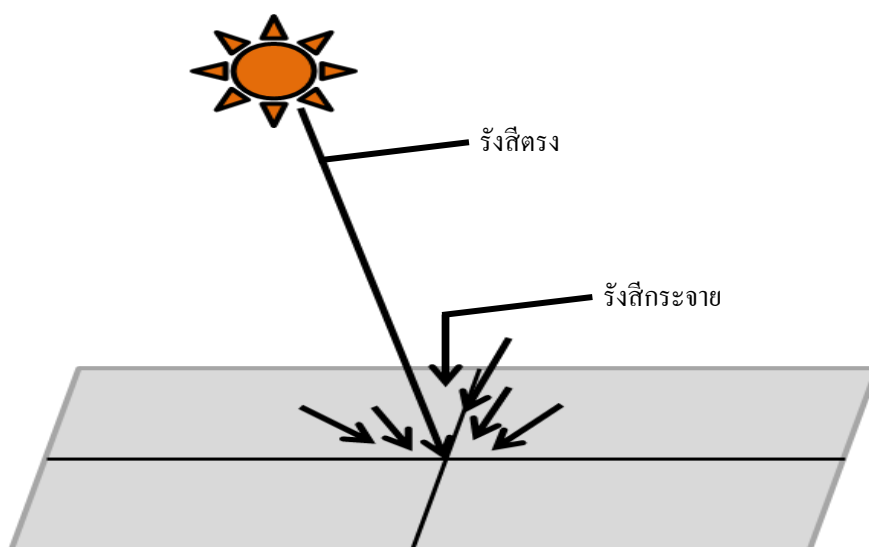
### 2.2.1 รังสีตรง (direct solar radiation)

รังสีตรง คือการแผ่รังสีของรังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์จนกระทั่งถึงพื้นโลก เมื่อมาถึงชั้นบรรยากาศของโลก จะมีค่าประมาณ  $1,350 \text{ W/m}^2$  (Joanna, 2013) และจะถูกโมเลกุลอากาศ ฝุ่นละออง และเมฆกระเจิง ดูดกลืน ส่วนรังสีที่เหลือจะพุ่งตรงลงมาสู่พื้นผิวโลก และรังสีชนิดนี้จะมีค่าความเข้มของพลังงานจะลดลงถ้าแนวรังสีเบี่ยงออกจากแนว  $90$  องศา

### 2.2.2 รังสีกระจาย (diffuse radiation)

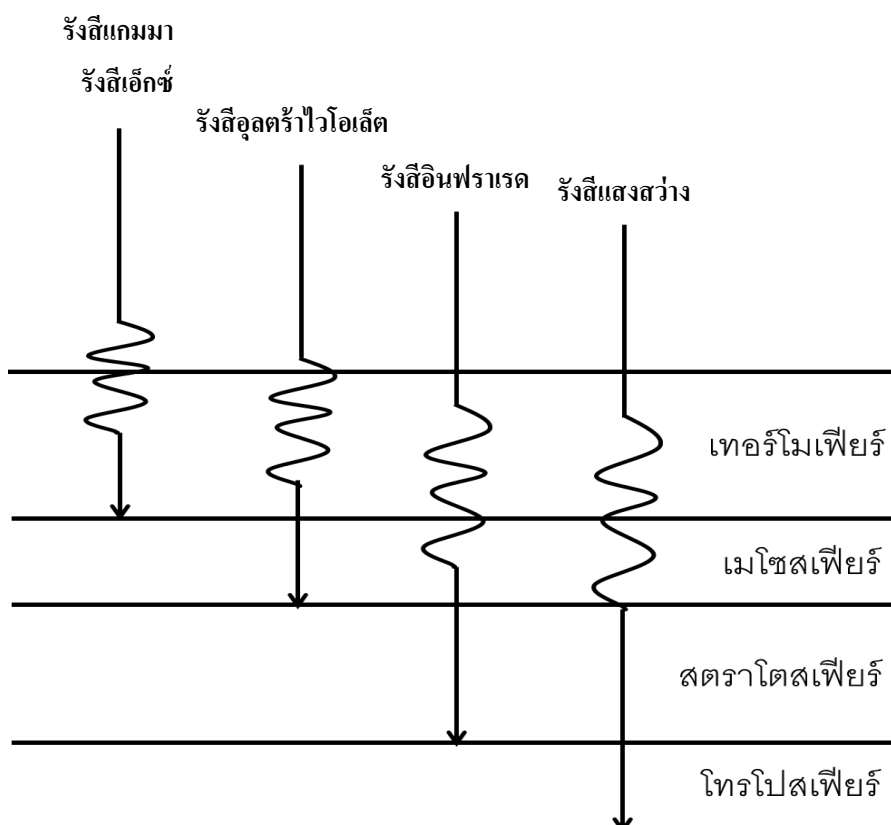
รังสีกระจาย คือการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มาถึงชั้นบรรยากาศ โดยรังสีชนิดนี้จะถูกกระทบด้วยเมฆ ไอน้ำ และฝุ่นละอองที่ลอยอยู่ในอากาศ รังสีกระจายมีค่าประมาณ  $10-90\%$  ของปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมด การกระจายของรังสีจะเป็นการกระจายที่ไม่สม่ำเสมอ จะมีความเข้มสูงสุดบริเวณเส้นขอบฟ้า (Yao et al., 2015)

จากการศึกษาของ เสริม จันทร์ฉาย (2545) ในประเทศไทย พบว่าประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ท้องฟ้ามีปริมาณละอองน้ำและเมฆสูง ทำให้รังสีกระจายมีอิทธิพลต่อปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคารบ้านเรือนในประเทศไทยเป็นอย่างมาก



รูปที่ 1.1 ภาพแสดงองค์ประกอบของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลก (ดัดแปลงจาก จันทร์ฉาย, 2545)

จากการศึกษาของ Wallace and Hobbs (1997) พบว่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก จะมีรังสีอาทิตย์เฉพาะบางช่วงคลื่นเท่านั้นที่สามารถส่งผ่านมาถึงพื้นผิวโลกได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 เนื่องจาก ถูกดูดกลืนโดยองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 1.2 ภาพแสดงแผนภูมิแสดงการลดลงของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ขณะที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศ (ดัดแปลงจาก Wallace and Hobbs, 1997)

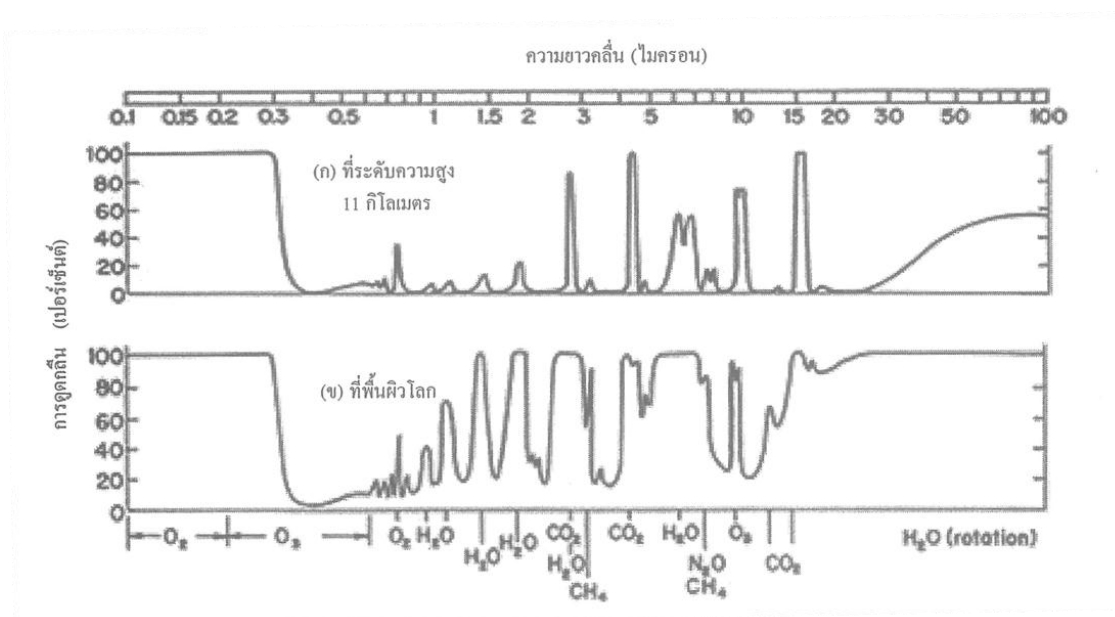
การแผ่รังสีอาทิตย์ สามารถแบ่งการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้ Wallace and Hobbs (1997) ดังนี้ (แสดงในรูปที่ 1.3)

1. รังสีอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.1 ไมครอน ที่ระดับความสูงจากพื้นโลก 90-200 กิโลเมตร หรือภายในบรรยากาศชั้นเทอร์โมสเฟียร์จะถูกดูดกลืนจนหมด โดยออกซิเจน ( $O_2$ ) และไนโตรเจน ( $N_2$ ) เนื่องจากรังสีที่มีความยาวคลื่นดังกล่าวเป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีพลังงานโฟตอนสูง ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตไอออไนเซชัน (photoionization) ส่งผลให้เกิดการ

แตกตัวเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระของ  $O_2$  และ  $N_2$  ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของบรรยากาศชั้นเทอร์โมสเฟียร์

2. รังสีอาทิตย์ที่มีความยาวช่วงคลื่น 0.1 - 0.2 ไมครอน ที่ระดับความสูงจากพื้นโลก 50-110 กิโลเมตร หรือภายในบรรยากาศชั้นเมโซสเฟียร์ จะถูกดูดกลืนจนหมดโดยออกซิเจน ( $O_2$ ) ทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตดิสโซซิเอชัน (photo dissociation) ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของออกซิเจนเป็นอะตอมของออกซิเจน (O) 2 อะตอม ซึ่งอะตอมของออกซิเจนที่เกิดขึ้นจะไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน ( $O_3$ ) ที่ประกอบด้วยออกซิเจน (O) 3 อะตอม

3. รังสีอาทิตย์ที่มีความยาวช่วงคลื่น 0.2 - 0.3 ไมครอน ที่ระดับความสูงจากพื้นโลก 30-60 กิโลเมตร หรือภายในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ จะถูกดูดกลืนจนหมดโดยโอโซนในบรรยากาศ และในช่วงความสูงนี้รังสีอาทิตย์จะดูดกลืนเกือบทั้งหมด ซึ่งบางส่วนจะถูกดูดกลืนด้วยไอน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) โดยมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่จะสามารถผ่านลงมาถึงพื้นผิวโลกได้



รูปที่ 1.3 ภาพแสดงการดูดกลืนรังสีอาทิตย์โดยองค์ประกอบต่างๆ ภายในชั้นบรรยากาศ กรณีที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและฝุ่นละออง (ก) ที่ระดับความสูง 11 กิโลเมตร และ (ข) ที่พื้นผิวโลก  $O_2$  คือออกซิเจน  $O_3$  คือโอโซน  $H_2O$  คือไอน้ำ  $CO_2$  คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์  $CH_4$  คือมีเทน และ  $N_2O$  คือไนตรัสออกไซด์ (Wallace and Hobbs, 1977)



### 1.5 การถ่ายเทความร้อนผ่านคาน้ำฟ้าอาคารพาณิชย์

อาคารพาณิชย์ เป็นอาคารที่มีลักษณะเป็นตึกแถว อดีตใช้เป็นเพียงที่พักอาศัยหรือสถานที่ประกอบกิจการเล็ก ๆ แต่ปัจจุบันจะเห็นได้ว่าอาคารพาณิชย์มีการเจริญเติบโตตามเศรษฐกิจของประเทศไทยและสามารถพบเห็นได้ทั่วไปทั้งชุมชนเมืองและชนบท เนื่องจากอาคารพาณิชย์ถูกใช้เป็นอาคารอเนกประสงค์ เช่น สำนักงาน ร้านอาหาร โรงแรม สมาคม สโมสร ธนาคาร ที่ทำการ ไปรษณีย์ เป็นต้น กล่าวคืออาคารพาณิชย์สามารถใช้งานได้เกือบทุกประเภทงาน เนื่องจากเป็นอาคารที่ไม่ต้องใช้ต้นทุนสูงในการก่อสร้างรวมและสามารถขออนุญาตปลูกสร้างได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามการก่อสร้างอาคารพาณิชย์ยังขาดการคำนึงถึงภาวะความสบายของผู้อยู่อาศัย เนื่องจากภายในอาคารพาณิชย์มีการถ่ายเทอากาศได้ค่อนข้างน้อย ส่งผลให้ภายในอาคารมีอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะห้องใต้หลังคาคาน้ำฟ้าซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงมาก ๆ เพราะอาคารพาณิชย์มักจะมีการสร้างหลังคาเป็นหลังคาคาน้ำฟ้าคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงทำให้ผู้พักอาศัยภายในอาคารพาณิชย์จำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศภายในอาคาร (Clicq et al., 2007) ซึ่งจากการศึกษาของ Greenpeace Research Laboratories (2006) และ Scheutz (2003) พบว่าการใช้เครื่องปรับอากาศ เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิของโลกร้อนขึ้น เพราะมีการสร้างเพิ่มขึ้นของก๊าซคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs)

#### 1.5.1 ลักษณะของอาคารพาณิชย์

ลักษณะของ “อาคารพาณิชย์” ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2552 (2543) หมายถึงอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการพาณิชย์หรือการบริการธุรกิจหรืออุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตเทียบได้ไม่เกิน 5 แรงม้า และต้องก่อสร้างห่างจากถนนหรือทางสาธารณะไม่เกิน 20 เมตร โดยมีลักษณะทั่วไปถูกกำหนดไว้ดังนี้

1.5.1.1 ตึกแถวอาคารพาณิชย์ต้องมีหน้ากว้างไม่ต่ำกว่า 4.00 เมตร มีขนาดตั้งแต่ 2 คูหา

ขึ้นไปและต้องสร้างด้วยวัสดุทนไฟเท่านั้น

1.5.1.2 ชั้นล่างต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 30 ตารางเมตร (4.00 เมตร x 7.50 เมตร)

1.5.1.3 สร้างได้ยาวที่สุดไม่เกิน 24.00 เมตร ถ้าเกิน 16.00 เมตร ต้องมีช่องเปิดโล่ง 10% ของพื้นที่ชั้นล่าง

1.5.1.4 สามารถสร้างได้ติดต่อกันสูงสุด 10 ห้อง (40 เมตร) แล้วต้องเว้นว่าง 4.00 เมตร

1.5.1.5 ความสูงของตึกแถวอาคารพาณิชย์ ชั้นล่างต้องไม่ต่ำกว่า 3.50 เมตร ชั้นอื่นไม่ต่ำกว่า 3.00 เมตร ชั้นลอย 2.40 เมตร โดยที่ชั้นลอยไม่นับเป็นความสูงชั้น

### 1.5.2 การใช้พลังงานภายในอาคารพาณิชย์

เนื่องจากลักษณะของอาคารพาณิชย์ที่มีลักษณะเป็นตึกแถวที่สูงประมาณ 4-5 ชั้น อยู่ค่อนข้างติดถนน ทำให้มีมลพิษจากถนนปนเปื้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ง่ายและอาจจะมีการตกค้างหรือสะสมของมลพิษภายในตัวอาคารได้ เพราะอาคารขาดการถ่ายเทระบายอากาศที่ดี อีกทั้งปัจจัยการใช้พลังงานจำนวนมากจากเครื่องปรับอากาศและไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง เนื่องจากความสูงของอาคารพาณิชย์และปัจจัยอื่น ๆ ทำให้ไม่สามารถนำแสงจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

จากการสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคารพาณิชย์ของ สำนักนโยบายและแผนพลังงาน พ.ศ. 2550 พบว่าการใช้พลังงานสูญเสียไปกับเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร ร้อยละ 77 อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ร้อยละ 11 ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่าง ร้อยละ 5 และอื่น ๆ ร้อยละ 7 ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าพลังงานส่วนมากถูกใช้ไปกับเครื่องปรับอากาศ

### 1.5.3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานภายในอาคารพาณิชย์

ปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารพาณิชย์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการซึ่งมีความสัมพันธ์กัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม (Mirata, 2015) ได้แก่

1. สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ (Site and Climate)
2. อาคาร (Building)
3. ระบบอาคาร (Building System)
4. ผู้ใช้อาคารและลักษณะการใช้งาน (User and Operation)

โดยปัจจัยที่มีผลมากที่สุด คือความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคาร ดังนั้นการป้องกัน

ความร้อนที่จะเข้ามาภายในอาคารจึงน่าจะเป็นสิ่งที่จะช่วยลดความร้อนได้ดี รวมทั้งช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคารลงไปด้วย ทั้งนี้หลังคาดาดฟ้าถือว่าเป็นบริเวณที่ดูดความร้อนเข้ามามากที่สุด เพราะเป็นบริเวณที่ต้องรับความร้อนจากแสงอาทิตย์แทบจะตลอดทั้งวัน จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าบนพื้นผิวที่มีขนาดเท่ากัน ในหนึ่งวันความร้อนเข้าทางหลังคาอาคารมากกว่าผนังด้านข้างถึง 3 เท่า

### 1.5.4 วิธีการลดความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าภายในอาคารพาณิชย์ทางหลังอาคาร คาดฟ้า

ปัจจุบัน วิธีการลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารพาณิชย์ทางหลังอาคารคาดฟ้ามีอยู่หลายหลายวิธี เช่น

1. การเคลือบหรือพ่นสีกันความร้อน
2. การติดตั้งแผ่นสะท้อนความร้อน
3. การติดแผ่นฉนวนกันความร้อน

จากวิธีการลดความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าภายในอาคารทางหลังคาดฟ้าเบื้องต้น เป็นวิธีการที่อาศัยหลักการสะท้อนกลับของแสง โดยการนำสารเคมีหรือวัสดุสังเคราะห์ที่มีค่าป้องกันความร้อนมาก ๆ หรือค่าสะท้อนรังสีความร้อนมากๆ มาใช้ในการป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวจะเป็นการสะท้อนความร้อนออกไปสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกอาคารเท่านั้น ไม่ได้เป็นวิธีการลดความร้อนในสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ แต่อย่างใด แตกต่างจากวิธีการลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารโดยใช้หลังคาเขียว (Green Roof) ซึ่งเป็นการลดความร้อนโดยอาศัยหลักการนำเอาความร้อนมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ไม่ใช่การสะท้อนความร้อนออกไปดังเช่นวิธีการอื่น ๆ ซึ่งถือเป็นการลดความร้อนทั้งภายในอาคารและในสิ่งแวดล้อมโดยรอบด้วย นอกจากนี้พืชยังทำหน้าที่คายความชื้นให้กับสภาพแวดล้อมอีกด้วย ถือว่าได้ประโยชน์ทั้งสองทางทำให้อุณหภูมิโดยรวมลดลงอย่างแท้จริง (Fioretti et al., 2010; Keshtkar และ Ansari, 2009; Santamouris et al., 2007; Eumorfopoulou และ Aravantinos, 1998; Lazzarin et al., 2005; Georgios et al., 2011)

### 1.6 รังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสง

รังสีอาทิตย์ที่แผ่มายังโลกส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 300 – 3,000 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่กว้างมาก โดยรังสีอาทิตย์ที่พืชสามารถใช้ในการสังเคราะห์แสง (Photo synthetically Active Radiation หรือ PAR) ได้จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่ 400 - 700 นาโนเมตรเท่านั้น (Mohd et al., 2013)

#### 1.6.1 การบอกปริมาณของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสง

ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของโฟตอน เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาในกระบวนการสังเคราะห์แสงระหว่างน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้แป้ง

และออกซิเจน โดยจำนวน โมเลกุลของแป้งที่เกิดจากกระบวนการดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนโฟตอนที่พืชดูดกลืนได้ในช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร ดังนั้นปริมาณรังสีอาทิคิต์ที่พืชใช้การสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Photon Flux Density หรือ PPF) จึงมีหน่วยเป็นโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร โดย 1 โมล คือจำนวนโฟตอนในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร จำนวน  $6.022 \times 10^{23}$  ตัว เนื่องจากนักวิทยาศาสตร์เรียก 1 โมล ว่า 1 ไอสไตน์ (Einstein, E) ดังนั้นหน่วยของความหนาแน่น ฟลักซ์โฟตอนของรังสีอาทิคิต์ที่พืชใช้สังเคราะห์แสงจึงสามารถบอกในหน่วย ไอสไตน์ต่อวินาทีต่อตารางเมตร

### 1.6.2 เครื่องวัดรังสีอาทิคิต์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้การสังเคราะห์แสง

เครื่องวัดรังสีอาทิคิต์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสง คือควอนตัมเซนเซอร์ (quantum sensor) ดังแสดงในรูปที่ 1.4 ซึ่งจะประกอบไปด้วยเซนเซอร์ (sensor) ที่เป็นซิลิกอนไฟโตไดโอด (silicon photodiode) และตัวกรองแสง (filter) ที่เป็นแก้วเคลือบด้วยฟิล์มบางที่จะยอมให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตรผ่านลงไปยังเซนเซอร์ได้ ดังนั้นเพื่อให้สัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากเซนเซอร์แปรตามจำนวนโฟตอนที่ตกกระทบเซนเซอร์ จึงต้องออกแบบเซนเซอร์ให้มีการตอบสนองต่อแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นน้อยกว่าแสงที่มีความยาวคลื่นยาว เพราะโฟตอนของแสงที่มีความยาวคลื่นสั้นมีพลังงานมากกว่าโฟตอนของแสงที่มีความยาวคลื่นยาว เพื่อให้สัญญาณจากเซนเซอร์แปรตามจำนวนโฟตอนที่ได้รับ



รูปที่ 1.4 ภาพแสดงเครื่อง ควอนตัมเซนเซอร์ (quantum sensor) (Ludwig, 2012)

### 1.6.3 การแปลงหน่วยความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนให้เป็นความเข้มรังสีอาทิตย์

บางครั้งการบอกปริมาณของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงสามารถบอกในรูปของความเข้มรังสีอาทิตย์ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรได้ โดยการแปลงค่าความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนที่ได้จากเครื่องควอนตัมเซนเซอร์ให้เป็นหน่วยความเข้มรังสีอาทิตย์โดยดำเนินการตามสมการที่ 1

$$\dot{I} = \int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} \dot{I}_\lambda d\lambda \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ  $\dot{I}_\lambda$  คือสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตรต่อเมตร)  
 $\lambda$  คือความยาวคลื่น (เมตร)

เนื่องจากโฟตอนแต่ละตัวมีพลังงานเท่ากับ  $\frac{hc}{\lambda}$  ดังนั้นจำนวนโฟตอนทั้งหมดของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร ที่ตกกระทบพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในเวลา 1 วินาที จะเท่ากับ  $\int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} \frac{\dot{I}_\lambda}{hc/\lambda} d\lambda$  ถ้าหารปริมาณดังกล่าวด้วย  $6.022 \times 10^{17}$  จะได้จำนวนโฟตอนในหน่วยไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนที่เครื่องควอนตัมเซนเซอร์วัดได้ ( $Q_{\text{PAR}}$ ) หรือเขียนในรูปสมการที่ 2

$$Q_{\text{PAR}} = \frac{\int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} \dot{I}_\lambda d\lambda \dots \dots \dots (2)}{\frac{hc/\lambda}{6.022 \times 10^{17}}}$$

เมื่อ  $Q_{\text{PAR}}$  คือความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอน (ไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร)  
 $h$  คือค่าคงที่ของพลังค์ (Planck constant) ( $6.63 \times 10^{-34}$  จูลวินาที)  
 $c$  คือความเร็วแสง ( $3.0 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที)  
 $\lambda$  คือความยาวคลื่น (เมตร)

ถ้าหารสมการที่ 1 ด้วยสมการที่ 2 และจัดพจน์ใหม่ จะได้ว่า

$$\dot{I} = 6.022 \times 10^{17} Q_{\text{PAR}} hc \frac{\int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} i \lambda d\lambda}{\int_{400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} \lambda i \lambda d\lambda} \dots\dots\dots(3)$$

จากสมการที่ 3 ถ้าทราบค่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดรังสี ( $\dot{I}_\lambda$ ) จะสามารถแปลงค่าความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอน ( $Q_{\text{PAR}}$ ) ในหน่วยไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตรให้เป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ( $\dot{I}$ ) ในหน่วยวัตต์ต่อตารางเมตรได้

ถ้าตั้งสมมติฐานว่าสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดรังสีอาทิตย์มีลักษณะเป็นเส้นตรงขนานกับแกนความยาวคลื่น (flat spectrum) สามารถใช้สมการที่ 3 หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร) กับความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนได้ดังนี้

$$1 \text{ วัตต์ต่อตารางเมตร} = 4.6 \text{ ไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร}$$

จากการศึกษาของอรรถพล ศรีประดิษฐ์ และเสริม จันทร์ฉาย (2555) พบว่ากรณีของรังสีอาทิตย์รวมจากดวงอาทิตย์ สามารถใช้ความสัมพันธ์ 1 วัตต์ต่อตารางเมตร = 4.57 ไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตรได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 %

#### 1.6.4 รังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงนอกบรรยากาศโลก

ค่าความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงนอกบรรยากาศโลกที่ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ( $Q_{\text{SC,PAR}}$ ) มีค่าเท่ากับ 2,776 ไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร (Krik, 1994) เรียกค่าดังกล่าวว่า ค่าคงตัวรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสง และสามารถนำไปใช้คำนวณความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนของรังสีที่พืชใช้สังเคราะห์แสงนอกบรรยากาศโลกบนระนาบในแนวระนาบระดับเมื่อโลกอยู่ที่ระยะทางใด ๆ จากดวงอาทิตย์โดยอาศัยสมการ

$$Q_{\text{ext}} = Q_{\text{SC,PAR}} E_0 \cos \Theta_z$$

เมื่อ  $Q_{\text{ext}}$  คือความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงนอกบรรยากาศโลก (ไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร)

- $Q_{SC,PAR}$  คือค่าคงตัวรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (ไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร)
- $E_0$  คือแฟกเตอร์สำหรับแก้ผลการแปลค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (-)
- $\Theta_z$  คือมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (องศา)

### 1.6.5 รังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงที่พื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

จากการศึกษาของอรรถพล ศรีประดิษฐ์ และเสริม จันทร์ฉาย (2555) พบว่าการวัดความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงที่สถานีวัดรังสีอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร ตั้งอยู่ ณ จังหวัดเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลปริมาณไอน้ำและความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ที่ได้จากเครื่องซัลโฟโตมิเตอร์ที่สถานีวัดดังกล่าว จากนั้นทำการคัดเลือกข้อมูลในช่วงที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆโดยอาศัยภาพถ่ายท้องฟ้า (sky camera) จากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว ได้เสนอแบบจำลองกึ่งไพริคัลสำหรับคำนวณความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนของรังสีรวมดังนี้

$$Q_{PAR} = 0.0684 Q_{SC,PAR} E_0 \cos \Theta_z \exp[-(0.0726 - 0.00439AOD + 0.032w)m_a]$$

- เมื่อ  $Q_{PAR}$  คือความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนของรังสีรวมในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (ไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร)
- $Q_{SC,PAR}$  คือค่าคงตัวรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (ไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร)
- $E_0$  คือแฟกเตอร์สำหรับแก้ผลการแปลค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (-)
- $\Theta_z$  คือมุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (องศา)
- $w$  คือปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ
- $AOD$  คือความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร (-)
- $m_a$  คือมวลอากาศ (-)

### 1.6.6 อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงต่อ รังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง

เนื่องจากรังสีอาทิตย์ที่พืชใช้สังเคราะห์แสงเป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ โดยผลรวมของสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ทั้งหมดสามารถวัดได้ในรูปของรังสีในช่วงความยาวคลื่นกว้าง ดังนั้นความเข้มของรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงจึงมีความสัมพันธ์กับรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง โดยทั่วไปความสัมพันธ์ดังกล่าวจะเขียนในรูปของอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสง ซึ่งบอกเป็นความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนต่อความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง โดยความสัมพันธ์นี้จะขึ้นกับองค์ประกอบของบรรยากาศที่สำคัญคือ อนุภาคน้ำ ฝุ่นละออง โอโซน และเมฆ

จากการศึกษาของศรีประดิษฐ์ และจันทร์ฉาย (2555) พบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงข้อมูลรังสีรวมในช่วงความยาวคลื่นกว้าง ซึ่งทำการวัดที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา ผลการวิเคราะห์สามารถเขียนในรูปสมการที่ 1

$$\frac{Q_{PAR}}{I} = 1.8040 + 0.1444\cos\Theta_z + 0.0284w - 0.0434AOD - 0.032\ell - 0.0630n \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ	$I$	คือความเข้มรังสีรวมในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (วัดต่อตารางเมตร)
	$Q_{PAR}$	คือความหนาแน่นฟลักซ์โฟตอนของรังสีรวมในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสง (ไมโครโมลต่อวินาทีต่อตารางเมตร)
	$\ell$	คือปริมาณโอโซน (เซนติเมตร)
	$w$	คือปริมาณไอน้ำ (เซนติเมตร)
	$AOD$	คือความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาว คลื่น 500 นาโนเมตร(-)
	$n$	คือค่าครรชนิเมฆ (-)

### 1.7 การสังเคราะห์แสงของพืช

การสังเคราะห์ของพืช คือกระบวนการที่พืชนำเอาพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ (photosynthetically active radiation หรือ PAR) มาเก็บสะสมไว้ในรูปของสารสังเคราะห์ (photosynthate) ที่มีคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เป็นโครงสร้างหลัก เช่น

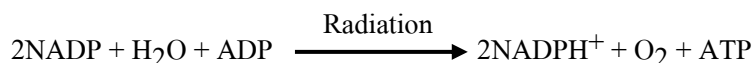


น้ำตาล และแป้ง กล่าวคือการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชคือกระบวนการที่พืชเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศให้เป็นอินทรีย์สารในต้นพืชโดยใช้พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์

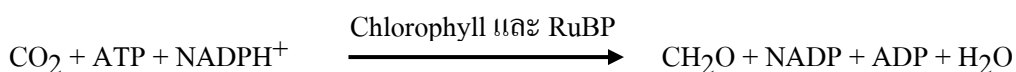
กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชประกอบด้วย 3 กระบวนการย่อย (อรรถพล ศรีประดิษฐ์ และเสริม จันทน์ฉาย, 2555) คือ

1. การแพร่กระจายของคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide diffusion) จากบรรยากาศรอบ ๆ เข้าสู่ใบพืชผ่านทางช่องเปิดของปากใบเข้าสู่คลอโรพลาสต์ภายในเซลล์ชั้น mesophyll

2. การเปลี่ยนพลังงานจากรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานเคมีในพืช (Photochemical หรือ Light reaction) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดในส่วนของ reaction center ในคลอโรพลาสต์ และใช้ไฮโดรเจนอะตอมในโมเลกุลของน้ำเป็นตัวถ่ายทอดพลังงาน เพื่อเกิดการรีดิวซ์ NADP และเกิดการเติมฟอสเฟต (phosphorylate) ADP ดังแสดงในสมการ



3. ปฏิกิริยาการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (Biochemical process หรือ CO<sub>2</sub> fixation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่พืชนำเอาพลังงานที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่สองมาเก็บสะสมในรูปของน้ำตาล โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารตั้งต้น และใช้เอนไซม์คาร์บอกซิเลสเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยา



ผลของการสังเคราะห์ด้วยแสงพืชจะได้รับ ออกซิเจน คาร์โบไฮเดรตที่มีคาร์บอน 6 อะตอมหรือน้ำตาลกลูโคส น้ำ และพลังงานที่สะสมในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งพืชนำไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมเพื่อนำไปสร้างสารประกอบชนิดอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญของพืช

## 1.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

### 1.8.1 การดูดซับแสงอาทิตย์

การดูดซับแสงอาทิตย์ หรือ solar absorption จะเกิดขึ้นที่ส่วนใบของพืช ซึ่งมีค่าการดูดซับแสงแตกต่างจากดวงอาทิตย์ร้อยละ 40 - 80 (Bermejo et al., 2010) ระดับของการดูดซับแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับขนาดของพืช และความหนาแน่นของพุ่มใบ โดยแสงอาทิตย์ที่ใบดูดซับไปจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และการคายน้ำ (Evapotranspiration) ดังนั้น ผลจากการคายน้ำของพืชจะทำให้ช่วยลดปริมาณความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมได้

### 1.8.2 การสะท้อนแสงอาทิตย์

ใบของพืชสามารถสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ร้อยละ 10 - 20 ทำให้ใบพืชสามารถช่วยลดอุณหภูมิบริเวณโดยรอบให้ลดลงได้ ซึ่งการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของใบพืชจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ความยาวของคลื่นแสง
2. ชนิดของใบ
3. อายุของใบ
4. ระดับความสูงต่ำของใบ
5. ตำแหน่งที่ได้รับแสงแดด
6. ตำแหน่งของใบในกลุ่มใบ
7. ความแห้งแล้งของสถานที่ตั้ง
8. ความสมบูรณ์ของที่ตั้ง
9. ฤดูกาล
10. ระดับดินทั่วไป

### 1.8.3 การแผ่รังสีความร้อน

พืชจะดูดซับรังสีอาทิตย์ในเวลากลางวัน และแผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน จึงทำให้อุณหภูมิของพืชลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิโดยรอบในเวลากลางวัน ดังนั้น บริเวณที่มีต้นไม้จึงมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่ที่ไม่มีต้นไม้นั่นเอง

#### 1.8.4 ความหนาแน่นของพุ่มใบ

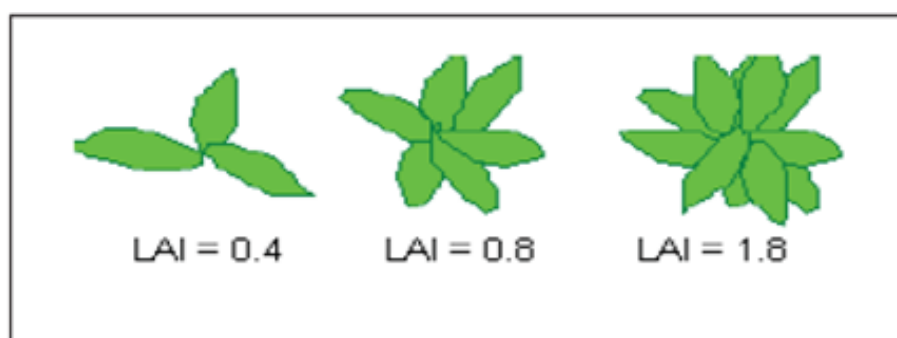
ความหนาแน่นของพุ่มใบของพืชมีผลต่อการลดปริมาณความร้อนได้ พืชที่มีใบหนาแน่นมากก็จะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นพืชได้ดีกว่าพืชที่มีความหนาแน่นของใบน้อย

โดยความหนาแน่นของพุ่มใบ สามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ

ค่า “ดัชนีพื้นที่ใบ” หรือ Leaf Area Index (LAI) หมายถึงสัดส่วนของพื้นที่ใบต่อพื้นที่ปลูก โดยคำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้ (ศรีประดิษฐ์ และจันทร์ฉาย (2555)

$$\text{LAI} = \text{พื้นที่ใบ (ตารางเมตร)} \times \text{จำนวนใบ/พื้นที่ปลูก (ตารางเมตร)}$$

นอกจากนั้น ดัชนีพื้นที่ใบสามารถคำนวณได้จากเครื่อง Licor LAI 2200 โดยใช้หลักการ ส่องผ่านของแสงจากยอดทรงพุ่มเข้าสู่ sensor ที่มีลักษณะคล้าย fisheyes สามารถปรับมุมของการรับแสงได้หลาย ๆ มุม เพื่อคำนวณค่า LAI ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ภาพแสดงตัวอย่างค่า Leaf Area Index ([online], accessed October 14, 2014, available from <http://gardenwithinsight.com/help100/00000424.htm>)

## 1.9 หลังคาเขียว

“หลังคาเขียว” หรือ green roof คือการปลูกต้นไม้บนหลังคา ซึ่งปัจจุบันมีการใช้กันอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในต่างประเทศ วิธีการปลูกพืชหลังคาเขียวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท (Hui, 2006; Lazzarin et al., 2005; Sailor, 2008; Spala et al., 2008; Kosareo et al., 2007) ดังนี้

### 1. Extensive Green Roof

เป็นหลังคาเขียวที่หลังคาลาดฟ้าไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการปลูกพืช โดยเฉพาะ

แต่เป็นการตัดแปลงพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาลาดฟ้ามาใช้ประโยชน์ทางการลดใช้พลังงานภายในอาคารและด้านอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ปัจจุบันวิธีนี้เป็นที่นิยมกันอย่างมาก โดยพืชที่นำมาปลูกส่วนใหญ่จะเป็นพืชที่ไม่ต้องใช้ดินหรือใช้ดินที่มีความหนาของชั้นดินไม่เกิน 15 เซนติเมตร ทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงการรับน้ำหนักเพิ่มของตัวอาคาร ดังนั้นวิธีนี้จึงใช้ต้นทุนในการบำรุงรักษาต่ำ

### 2. Semi-intensive Green Roof

เป็นหลังคาเขียวที่มีลักษณะคล้ายกับประเภท extensive green roof แต่จะมีการปลูกดอกไม้ที่มีสีสันเพิ่มเข้าไปด้วย โดยดอกไม้ที่นำมาปลูกต้องเป็นดอกไม้ที่ต้องใช้ดินที่มีความหนาของชั้นดินประมาณ 15 เซนติเมตร ทำให้วิธีนี้ต้องคำนวณโครงสร้างการรองรับน้ำหนักของตัวอาคารร่วมด้วย ดังนั้นต้นทุนการดูแลรักษาจึงสูงกว่าวิธีแรก

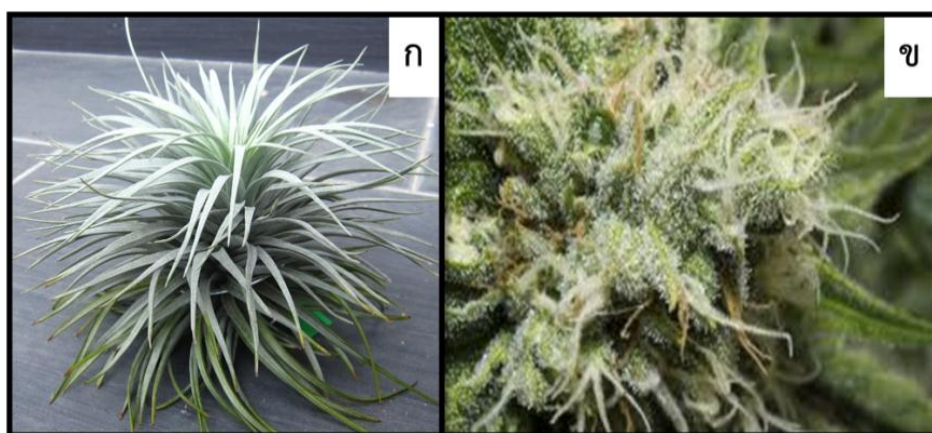
### 3. Intensive Green Roof

เป็นหลังคาเขียวรูปแบบสวนหย่อม ที่ผู้อยู่อาศัยสามารถใช้พักผ่อนเพื่อการผ่อนคลาย

ได้ โดยส่วนมากจะประกอบไปด้วยสวนหย่อมที่มีพืชพรรณหลากหลายชนิดตามลักษณะของสวนหย่อมบนพื้นดินทั่วไป ดังนั้นดินที่ใช้ในปลูกจึงต้องมีความหนามากกว่า 15 เซนติเมตร ดังนั้นวิธีนี้จึงจำเป็นต้องการออกแบบโครงสร้างอาคารให้สามารถรองรับน้ำหนักดินที่เพิ่มขึ้นในส่วนนี้ได้ ทำให้หลังคาเขียวชนิดนี้จะต้องใช้ต้นทุนในการบำรุงรักษาสูงกว่าวิธีอื่น

ดังนั้น การคัดเลือกพรรณพืชที่นำมาใช้ในการปลูกพืชหลังคาเขียว พืชจะต้องมีคุณสมบัติที่คงทนต่อสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น เป็นพืชอากาศ และน้ำหนักเบา เนื่องหลังคาสีเขียวแบบ intensive green roof มีการใช้ดินส่งผลให้ปริมาณน้ำหนักของดินส่งผลต่อโครงสร้างอาคาร และต้องเป็นพืชที่ทนความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ได้ดี ดูแลรักษาก่อนข้างน้อยหรือสามารถอยู่ได้โดยไม่ต้องดูแลรักษา อายุยืน มีใบตลอดปี และใบร่วงน้อย หาง่ายตามท้องตลาดทั่วไป ดังนั้นจึงมีนำต้นทิลแลนเซียพันธุ์โคลน (*Tillandsia recurvifolia* Hooker "Tillandsia Cotton Candy") ซึ่งเป็น

พืชที่ใช้ในการศึกษาวิจัย โดยคุณสมบัติคือเป็นพืชอากาศ (Air Plant) ไม่อาศัยดินในการปลูก เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์สับปะรด (Bromeliaceae) สกุล Tillandsia มีคุณลักษณะเป็นพืชทนแล้ง ดูแลรักษาง่าย น้ำหนักเบา ใบมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากเนื่องจากมีไทรโคม (Trichome) ปกคลุมไปทั่วทั้งต้น ซึ่งไทรโคมจะทำหน้าที่ดูดซับความชื้นและธาตุอาหารในอากาศ ลักษณะของไทรโคมคล้ายขน สีขาวปกคลุมไปทั่วทั้งต้น ดูแลรักษาง่ายและมีวิธีการสังเคราะห์แสงแบบ Crassulacean Acid Metabolism (CAM) ขนที่ใบมีลักษณะพิเศษที่ช่วยดักไอน้ำ ก๊าซและสารต่าง ๆ ในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 ภาพแสดง Tillandsia Cotton Candy (ก) และลักษณะของ Trichome (ข) ([online], accessed October 15, 2014, available from <http://archive.kaskus.co.id.htm>)

### 1.9.1 ประโยชน์ของหลังคาเขียว

#### 1.9.1.1 ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคาร

หลังคาเขียวสามารถช่วยลดและควบคุมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในอาคารได้ โดยพรรณพืชที่ปลูกไว้บนหลังคาจะทำหน้าที่เสมือนเป็นฉนวนกันความร้อนจากภายนอก ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับคงที่ได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดแสงสะท้อนจากหลังคาที่มีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงได้อีกด้วย (Fioretti et al., 2010; Keshtkar และ Ansari, 2009; Santamouris et al., 2007; Eumorfopoulou และ Aravantinos, 1998; Lazzarin et al., 2005; Georgios et al., 2011)

จากการศึกษาของ Wong และคณะ (2003) พบว่าการใช้ระบบการปลูกพืชบนหลังคาแบบ extensive roof garden ในประเทศสิงคโปร์ซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสามารถลดความ

ร้อนที่ถ่ายเทสู่อาคารทางหลังคาได้มากถึงร้อยละ 60 และยังลดการแผ่รังสีของหลังคากลับสู่อากาศเหนือหลังคาได้อีกด้วย

1.9.1.2 การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในชุมชนเมือง และช่วยลดมลภาวะเพิ่มอากาศบริสุทธิ์

ในปัจจุบันมีการนำหลังคาเขียวไปใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 1.7 ซึ่งแนวคิดนี้สามารถนำมาใช้ทดแทนพื้นที่สีเขียวซึ่งเสียไปกับการสร้างอาคารบนพื้นดินได้ และช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทที่ระดับหลังคาเข้าสู่อาคารและออกจากอาคารกลับสู่บรรยากาศของเมืองได้เป็นอย่างดี เช่นเดียวกับประโยชน์จากต้นไม้ทั่ว ๆ ไป พรรณพืชบนหลังคาเขียวช่วยเพิ่มออกซิเจน และลดคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับชุมชนเมือง โดยพรรณพืชที่อยู่บนหลังคาจะทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองในอากาศเพื่อสร้างอากาศบริสุทธิ์และลดมลภาวะให้แก่ชุมชนเมือง



รูปที่ 1.7 ภาพแสดงหลังคาเขียวในชุมชนเมือง ([online], accessed October 15, 2014, available from <http://designrulz.com/outdoor-design/garden/greenroof.htm>)

จากการศึกษาของ พาสินี สุนากร และพูนพิภพ เกษมทรัพย์ (2010) พบว่าพืชยังสามารถช่วยลดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ทำให้คุณภาพอากาศดีขึ้น โดยระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมแก่การอาศัยของมนุษย์ภายในอาคารมีค่าระหว่าง 800 - 1,000 ppm. (Parts per million: จำนวนโมเลกุล ต่อ 1 ล้านโมเลกุล) ASHRAE (2001) โดยพืชแต่ละชนิดมีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น แสงสว่าง อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณแร่ธาตุในดิน

### 1.9.1.3 การกรองเสียงรบกวน

ปัญหามลภาวะทางเสียงเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญในเมืองใหญ่ที่มีประชากรหนาแน่นสูง การสร้างหลังคาเขียวนอกจากจะช่วยในเรื่องการลดอุณหภูมิภายในอาคารและการจัดการน้ำฝนแล้ว ยังช่วยทำหน้าที่เป็นเหมือนฉนวนกันเสียงรบกวนให้กับอาคารได้อีกด้วย โดยความหนาของหลังคาที่เพิ่มขึ้นจากดินปลูกและวัสดุพรรณพืชทำหน้าที่ดูดซับเสียงรบกวนจากภายนอกได้เป็นอย่างดี Renterghem and Botteldooren (2011)

### 1.9.1.4 ลดปริมาณและปรับสภาพน้ำฝนที่ไหลจากหลังคา

หลังคาเขียวนับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาและจัดการกับการปรับสภาพน้ำฝนได้ผลดีที่สุด เพราะหลังคาเขียวสามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากกว่าหลังคาที่ไม่มีการปลูกพรรณพืชไว้ด้านบน โดยกิ่ง ก้าน ใบ และดินปลูกสามารถดูดซับน้ำไว้ไม่ให้ไหลผ่านลงไปในพื้นที่ แต่จะอุ้มน้ำฝนไว้และค่อย ๆ ปล่อยให้ไหลออกไปอย่างช้า ๆ ในขณะที่เดียวกันน้ำฝนที่ไหลผ่านหลังคาที่มีพรรณพืชก็ได้ผ่านการกรองเอาฝุ่นและมลพิษที่ปนเปื้อนจากอากาศ ทำให้คุณภาพของน้ำที่ไหลผ่านหลังคาเขียวได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น นอกจากนี้พรรณพืชบนหลังคายังทำหน้าที่คายน้ำกลับสู่บรรยากาศ ลดปริมาณและลดปัญหาน้ำที่ปนเปื้อนจากสารพิษจากการไหลบนผิวดิน ส่งผลให้ลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยรวมได้ดี (Jeroen et al., 2006; Fioretti et al., 2010)

### 1.9.1.5 การปรับสภาพของระบบนิเวศชุมชนเมือง โดยรวมให้ดีขึ้น

ปัญหาที่สำคัญของระบบนิเวศเมืองคือ อุณหภูมิและมลภาวะ ความแปรปรวนของสภาพอากาศและความขาดแคลนพื้นที่ธรรมชาติที่ส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้กับสิ่งมีชีวิต หลังคาเขียวจึงเป็นการแก้ปัญหาที่ครอบคลุมในการจัดการควบคุมอุณหภูมิของชุมชนเมือง ลดมลภาวะ กรองฝุ่น สร้างอากาศบริสุทธิ์ และสร้างสภาพแวดล้อมที่เป็นธรรมชาติแก่ประชากรที่อาศัยอยู่รวมทั้งสิ่งมีชีวิตทั้งหลายด้วย (พาสินี สุนากร, 2553)

### 1.10 การวัดรังสีอาทิตย์

การวัดรังสีอาทิตย์สามารถแบ่งตามลักษณะของการใช้ข้อมูลได้เป็น 2 ประเภท (อรรถพล ศรีประดิษฐ์, 2555) คือ

#### 1. การวัดรังสีอาทิตย์เฉพาะงาน

การวัดรังสีอาทิตย์ประเภทนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของระบบที่ใช้รังสีอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน เช่น เซลล์สุริยะ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ และระบบอบแห้งพลังงานรังสีอาทิตย์ เป็นต้น การศึกษาดังกล่าวจำเป็นจะต้องรู้ค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่อุปกรณ์เหล่านั้นได้รับ

#### 2. การวัดรังสีอาทิตย์ระยะยาว

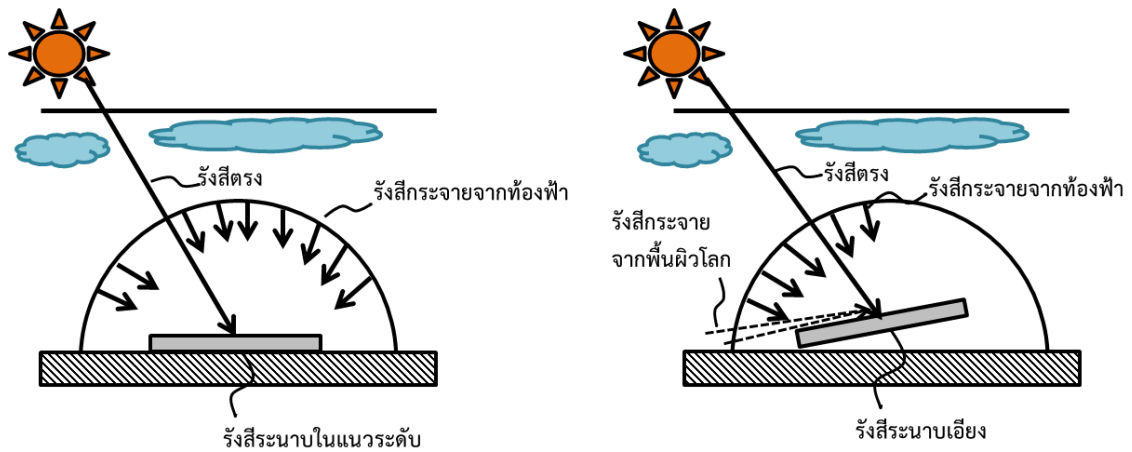
การวัดรังสีอาทิตย์ระยะยาวโดยทั่วไปจะทำการทดลองในกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งจะต้องมีการวัดอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ นอกจากนี้บางพื้นที่ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ก็มีการจัดตั้งเครือข่ายสถานีการวัดรังสีอาทิตย์ ซึ่งได้แยกออกมาจากการวัดตามสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไป สำหรับประเทศไทย มีการจัดตั้งเครือข่ายในการวัดรังสีอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งปัจจุบันเครือข่ายดังกล่าวมีทั้งหมด 38 แห่ง ดังแสดงในรูปที่ 1.8





### 1.10.1 ขั้นตอนการวัดรังสีอาทิตย์

การแผ่รังสีอาทิตย์ลงสู่พื้นโลกแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือการแผ่รังสีตรง (direct solar radiation) ซึ่งเป็นการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยตรง ในทิศทางของพลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ถึงพื้นโลกโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลง และการแผ่รังสีกระจาย (diffuse radiation) ซึ่งเป็นการแผ่รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยถูกกระทบด้วยเมฆ ไอน้ำ และฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศ ทำให้เกิดการกระจายของรังสีอาทิตย์ออกอย่างไม่สม่ำเสมอ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายจะเรียกว่า รังสีรวม (Global radiation) โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ รังสีระนาบในแนวระดับ และรังสีระนาบเอียง (ดังแสดงในรูปที่ 1.9)



รูปที่ 1.9 ภาพแสดงรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นในแนวระนาบต่าง ๆ รังสีระนาบในแนวระดับ (ก) และรังสีระนาบเอียง (ข) (ดัดแปลงจาก ศรีประคิมฐ, 2555)

การคำนวณรังสีรวมทั้ง 2 ประเภท สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้  
กรณีระนาบในแนวระดับ

$$i = i_n \cos \theta_z + i_{d,sky}$$

กรณีระนาบเอียง

$$i = i_n \cos \theta_z + i_{d,sky} + i_{d,ground}$$

เมื่อ  $i$  คือรังสีรวมบนระนาบในแนวระดับ (วัดต่อตารางเมตร)

$i_n$  คือรังสีตรงบนระนาบตั้งฉากกับทิศทางของรังสี (วัดต่อตารางเมตร)

$i_{d,sky}$  คือรังสีกระจายจากท้องฟ้า (วัดต่อตารางเมตร)

$i_{d,ground}$  คือรังสีกระจายจากพื้นผิวโลก (วัดต่อตารางเมตร)

### 1.10.2 เครื่องมือในการวัดรังสีอาทิตย์

เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดรังสีอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่

#### 1.10.2.1 เครื่องวัดรังสีรวม หรือ ไพรานอมิเตอร์

ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือวัดรังสีรวม (Global radiation) สามารถประยุกต์ใช้สำหรับการวัดรังสีกระจายได้ โดยการติดตั้งวงแหวนหรือจานบังเงา ซึ่งเครื่องวัดรังสีรวมประกอบด้วย 3 แบบหลักๆ คือ

##### 1. เครื่องวัดรังสีรวมแบบ โรบิตซ์ (Robitzsch pyranometer)

เครื่องวัดรังสีรวมแบบ โรบิตซ์ (ดังแสดงในรูปที่ 1.10) มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในยุคแรก ๆ ก่อนที่จะมีการประดิษฐ์เครื่องวัดแบบใช้หลักการทางไฟฟ้าในทศวรรษที่ 1960 โดยลักษณะของเครื่องวัดจะเป็นแผ่นโลหะ 2 แผ่น แผ่นหนึ่งจะมีลักษณะสีขาวและอีกแผ่นหนึ่งมีสีดำ ซึ่งแผ่นสีดำจะมีการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่าแผ่นสีขาว เมื่อรังสีอาทิตย์มากระทบกับแผ่นรับรังสีทั้งสอง ทำให้แผ่นสีดำมีการขยายตัวมากกว่าแผ่นสีขาว แรงที่เกิดจากการขยายตัวจะส่งผลต่อปากกานบันทึกสัญญาณลงบนกระดาษ โดยระบบของเครื่องนี้จะเป็นระบบไหลวน



รูปที่ 1.10 ภาพแสดงเครื่องวัดรังสีรวมแบบโรบิตซ์ (Robitzsch pyranometer) ([online], accessed October 17, 2014, available from [http://him-dyrk-peters.de/Radiation\\_recorder.htm](http://him-dyrk-peters.de/Radiation_recorder.htm))

ข้อดีและข้อด้อยของเครื่องวัดรังสีรวมแบบโรบิตซ์ คือ

ข้อดี คือเป็นการทำงานที่ไม่ต้องใช้ระบบไฟฟ้า

ข้อด้อย คือผลการวัดรังสีอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง และข้อมูลที่บันทึกในแต่ละวันจะเป็นกราฟช่วงสั้นซึ่งจะไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงการของรังสีอาทิตย์ในช่วงที่เกิดจากเมฆได้ ค่าที่ได้จากการวัดรังสีอาทิตย์จะหาได้จากการรวมพื้นที่ใต้กราฟโดยจะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 10-30%

## 2. เครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic pyranometer)

เครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิก (ดังแสดงในรูปที่ 1.11) ลักษณะของเครื่องวัดชนิดนี้จะประกอบไปด้วยตัวรับ (sensor) รังสีอาทิตย์ ซึ่งด้านบนจะเป็นแผ่นกระจายรังสีอาทิตย์ ส่วนด้านล่างมีสารกึ่งตัวนำ เมื่อรังสีอาทิตย์กระทบกับแผ่นกระจายรังสีอาทิตย์จะถูกกระจายผ่านลงมายังสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น และนำค่ากระแสไฟฟ้านี้ไปแปลงเป็นค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยอาศัยการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์มาตรฐาน



รูปที่ 1.11 ภาพแสดงเครื่องวัดรังสีรวมแบบโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic pyranometer) ([online], accessed October 17, 2014, available from [http:// geoscientific.com/datasensors/240\\_sil\\_pyran\\_sensor.htm](http://geoscientific.com/datasensors/240_sil_pyran_sensor.htm))

### 3. เครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพล์ (Thermopile pyranometer)

เครื่องวัดรังสีรวมแบบเทอร์โมไพล์ (ดังแสดงในรูปที่ 1.12) ลักษณะของเครื่องวัดรังสีรวมชนิดนี้ด้านบนจะมีแผ่นรับรังสีสีดำปัดอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้รังสีอาทิตย์ตกกระทบบนเทอร์โมไพล์โดยตรง และมีโคมแก้วครอบอยู่ด้านบนเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวรับรังสีสัมผัสน้ำฝน หรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ หลักการทำงานของเครื่องคือเมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นรับรังสี ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังเทอร์โมไพล์ ทำให้เทอร์โมไพล์มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเกิดศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของเทอร์โมไพล์

ข้อดีและข้อด้อยของเครื่องวัดรังสีรวมแบบโรบิตซ์ คือ เครื่องมือชนิดนี้สามารถตอบสนองต่อสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ในช่วง 0.3 - 3.0 ไมครอนได้ดี สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมน้อยมาก ๆ และเป็นเครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องค่อนข้างสูง แต่มีข้อเสีย คือ เครื่องมือชนิดนี้มีราคาค่อนข้างสูง



รูปที่ 1.12 ภาพแสดงเครื่องวัดรังสรวมแบบเทอร์โมไพล์ (Thermopile pyranometer) ([online], accessed October 17, 2014, available from [http://scottech.net/products/by\\_supplier/kipp\\_zonen/pyranometer.htm](http://scottech.net/products/by_supplier/kipp_zonen/pyranometer.htm))

#### 1.10.2.2 เครื่องวัดรังสีกระจาย

เครื่องวัดรังสีกระจาย โดยส่วนมากจะนิยมใช้เครื่องวัดรังสีรวม แต่ทำการติดตั้งอุปกรณ์บังคับส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสีตรง มีทั้งแบบวงแหวนหรือลูกบอล กรณีที่เป็นวงแหวนจะต้องมีการปรับระนาบของวงแหวนให้อยู่ในระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์ เพื่อไม่ให้รังสีอาทิตย์ตกกระทบกับแผ่นรับรังสีของเครื่องวัดตลอดทั้งวัน เพราะวงแหวนจะบังคับรังสีกระจายจากท้องฟ้าด้วย ดังนั้นจึงมีการคำนวณแก้ไขค่าที่วัดได้เพื่อชดเชยค่ารังสีกระจายที่ถูกบังคับด้วยวงแหวน

#### 1.10.2.3 เครื่องวัดรังสีตรง

เครื่องวัดรังสีตรง เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีตรงที่ได้รับจากดวงอาทิตย์มายังผิวโลก โดยมี 2 แบบ ได้แก่

1. เครื่องวัดรังสีตรงแบบสัมบูรณ์ (absolute pyrheliometer) เป็นเครื่องมือที่สามารถ

บอกความเข้มของรังสีอาทิตย์ได้โดยตรง โดยไม่ต้องสอบเทียบมาตรฐานกับเครื่องวัดชนิดอื่น ๆ จึงเป็นเครื่องมือที่ค่อนข้างมีมาตรฐานสูง

2. เครื่องวัดรังสีตรงภาคสนาม (field pyrheliometer) เป็นเครื่องมือที่ละเอียดอ่อน

และใช้การสอบเทียบมาตรฐานกับเครื่องวัดอื่น ๆ เท่านั้น ไม่สามารถบอกค่าจากเครื่องได้โดยตรง จึงไม่เหมาะกับการใช้งานภาคสนามเป็นเวลานาน ๆ

### 1.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาหลังคาเขียวพบว่า มีต่างประเทศมากมายที่ได้ทำการทดลองและใช้ประโยชน์เพื่อลดปัญหาทางด้านภาวะโลกร้อน ที่มาจากรังสีอาทิตย์ส่งลงมายังพื้นโลก โดยเฉพาะพื้นที่ที่เป็นอาคารพาณิชย์ เนื่องจากมีช่องว่างของการระบายอากาศค่อนข้างน้อย และเมื่อรังสีอาทิตย์ส่งลงมากกระทบกับหลังคาอาคารทำให้ห้องใต้หลังคาจะมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงมีการใช้ประโยชน์จากพืชในการทำหลังคาสีเขียวมากขึ้น เช่นงานวิจัยของ Wong และคณะ (2003) และ Takebayashi และ Moriyama (2007) และ Gomez และคณะ (1998) และ Alexandri และ Phil (2008) พบว่าการปลูกพืชบนหลังคาหรือผนังของอาคาร เมื่อวัดอุณหภูมิใต้ดินพืชพบต่ำกว่าอุณหภูมิที่วัดบนผิวพืชอย่างชัดเจน ดังนั้นการใช้พืชลดอุณหภูมิภายในอาคารจึงเป็นวิธีที่ได้ผลดี แต่อย่างไรก็ตาม ประโยชน์หลักของหลังคาเขียว คือการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยการเพิ่มความหนาของชั้นฉนวนกันความร้อนบนหลังคาอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลง นำไปสู่การลดการใช้พลังงานภายในอาคารได้โดยตรง (Fioretti et al., 2010; Keshtkar และ Ansari, 2009; Santamouris et al., 2007; Eumorfopoulou และ Aravantinos, 1998; Lazzarin et al., 2005; Georgios et al., 2011) ซึ่งปัจจุบันอาคารพาณิชย์ใหม่ได้มีการใช้ฉนวนกันความร้อนมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับราคาและค่าซ่อมบำรุงระหว่างแผ่นฉนวนกันความร้อนกับหลังคาเขียวจะค่อนข้างต่างกัน เช่น จากการศึกษาของ Castleton และคณะ (2010) และ Wilkinson และคณะ (2009) และ Greater manchester green roof programme - guidance document (2009) พบว่าการสร้างหลังคาเขียวบนพื้นที่คาดฟ้าอาคารพาณิชย์จะเป็นการลดค่าใช้จ่าย ในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาโครงสร้างหลังคาอาคารได้ดี และนอกจากหลังคาเขียวที่สามารถลดรังสีอาทิตย์ในการส่งผลต่อความร้อนแล้ว ยังสามารถลดมลพิษได้อีกด้วย เช่น จากการศึกษาของ Hongbing และคณะ (2015) พบว่าพืชที่ใช้ปลูกเพื่อสร้างหลังคาเขียวสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ได้โดยตรง และสามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากเครื่องปรับอากาศทางอ้อมได้อีกด้วย เพราะหลังคาเขียวจะทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลงส่งผลถึงการลดใช้พลังงานจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร นอกจากนี้ Rowe (2012) พบว่าหญ้า *A. stolonifera* และ *F. rubra* สามารถดักจับฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 มิลลิเมตรได้ ทำให้มีการนำมาใช้ปลูกเป็นหลังคาสีเขียวกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งอาคารพาณิชย์โดยส่วนใหญ่จะอยู่พื้นที่ที่เป็นเมืองจึงทำให้มีมลพิษมาก เลยมีการใช้หลังคาเขียวกันมากขึ้น และพบว่าการศึกษาปริมาณมลพิษในอากาศหลังจากมีการทำหลังคาเขียวที่ชิคาโกของ

Yang และคณะ (2008) และ Li และคณะ (2010) ได้มองว่ามลพิษทางอากาศในเขตเมืองหลักเป็นภัยคุกคามสุขภาพของมนุษย์ หลังคาเขียวเป็นหนึ่งในนวัตกรรมใหม่ที่น่าสนใจในการควบคุมมลพิษทางอากาศของซีกาโก ภายหลังจากการทำหลังคาเขียวสามารถลดจำนวนของมลพิษลงได้ และที่ฮ่องกงของ Zhanga (2012) พบว่าหลังคาเขียวเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญในการช่วยลดความร้อนที่ขังอยู่ในอาคาร ช่วยลดมลพิษทางอากาศให้น้อยลง โดยเฉพาะในเมืองที่มีประชากรหนาแน่นได้

นอกจากนี้ยังสามารถลดมลภาวะทางเสียงโดยใช้หลังคาเขียวได้โดย Renterghem และ Botteldooren (2011) ได้ศึกษา และพบว่าหลังคาเขียวสามารถลดมลภาวะทางเสียงได้จากการใช้เสียงอะคูสติก (acoustic sound) ในการศึกษาพื้นที่ที่เป็นหลังคาเขียว และพื้นที่ว่างเปล่า ผลปรากฏว่าหลังคาเขียวสามารถลดเสียงลงได้ประมาณ 10 เดซิเบล และในกรณีการใช้หลังคาเขียวยังเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาการไหลบ่าของน้ำฝนโดย Jeroen และคณะ (2006) และ Fioretti และคณะ (2010) และ Environment Agency (2002) และ Stone และคณะ (2004) พบว่าหลังคาเขียวสามารถช่วยในการซึมซับน้ำฝน เพื่อชะลอหรือป้องกันการไหลบ่าของน้ำฝน ซึ่งเป็นที่มาของความเสียหายต่อการเกิดอุทกภัยน้ำท่วมภายในชุมชนเมืองใหญ่ ๆ ได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มที่อยู่ให้กับสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กในพืชหลังคาเขียว รวมไปถึงสัตว์ปีกขนาดเล็ก ซึ่งทั้งหมดนี้ถือเป็นการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพให้กับสภาพแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย (Schrader และ Boning, 2006)

ดังนั้นการสร้างหลังคาเขียวบนอาคารจึงถือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพอัตราการลดการใช้พลังงานภายในอาคาร เมื่อมีการสร้างอาคาร โดยเฉพาะอาคารพาณิชย์จะต้องคำนึงถึงหลายๆ ปัจจัยไม่ว่าจะเป็นค่าใช้จ่าย มลพิษต่าง ๆ เข้ามา หรือการใช้พลังงานภายในอาคาร การสร้างหลังคาเขียววัสดุที่ใช้มุงหลังคาเป็นเรื่องสำคัญ ดังนั้นการจะลดการใช้พลังงานภายในตึกได้มากหรือน้อยส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกนำมาใช้มุงหลังคา (Kosareo และคณะ, 2007)



### 1.12 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาแดดฟ้า โดยใช้เครื่อง Solarimeter และหา

ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีอาทิตย์แต่ละเดือน

2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ระหว่างพื้นที่หลังคาเขียว และพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาแดดฟ้า
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักของต้นไม้ และ ค่าดัชนีของใบต้นไม้ *T.Cotton Candy*

### 1.13 สมมติฐานงานวิจัย

รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่หลังคาเขียวมีปริมาณน้อยกว่าพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาแดดฟ้า

## บทที่ 2

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 2.1 สํารวจพื้นที่ทำการทดลอง

##### 2.1.1 กำหนดพื้นที่ และอาคารในการดำเนินงานวิจัย

อาคารสถานที่ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้คือ อาคารคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เพื่อความสะดวกในการติดต่อขอใช้สถานที่และบริเวณ รวมทั้งด้านอุปกรณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงอาคารคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

##### 2.1.2 กำหนดลักษณะอาคาร

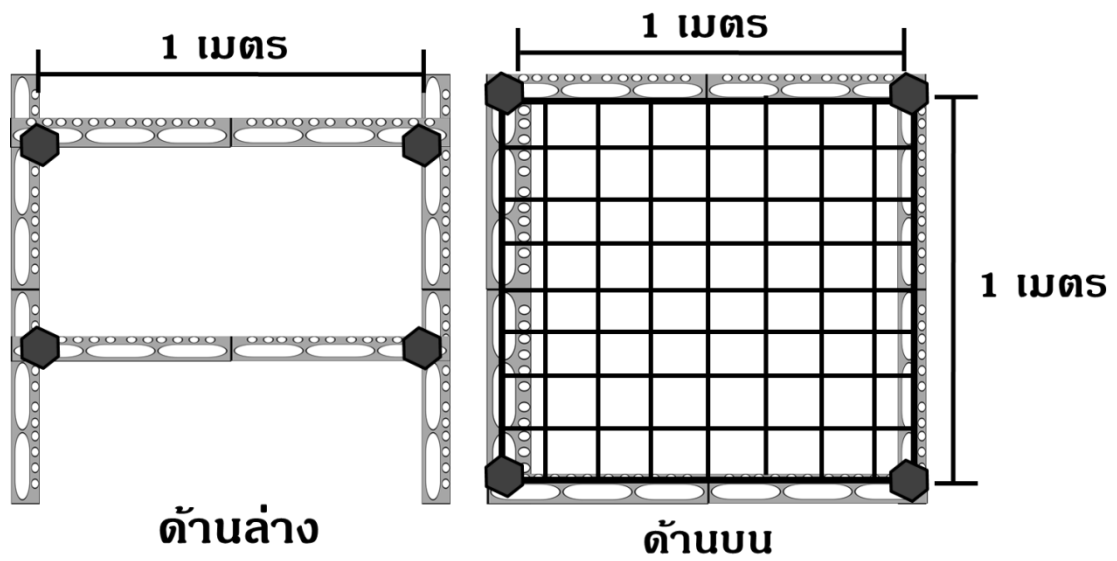
อาคารคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จะมีลักษณะรูปทรงคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยอาคารมีความกว้างประมาณ 27 เมตร และความยาวประมาณ 45 เมตร เป็นผนังก่ออิฐ ฉาบปูน โดยมีพื้นที่ในแนวตั้งของอาคารทั้งหมด 8 ชั้น ซึ่งมีลักษณะโดยรวมที่คล้ายคลึงกับอาคารพาณิชย์ทั่วไป บริเวณที่ทำการทดลองเป็นพื้นที่ชั้นหลังคาแดดฟ้าของอาคารคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม ดังแสดงรูปที่ 2.2



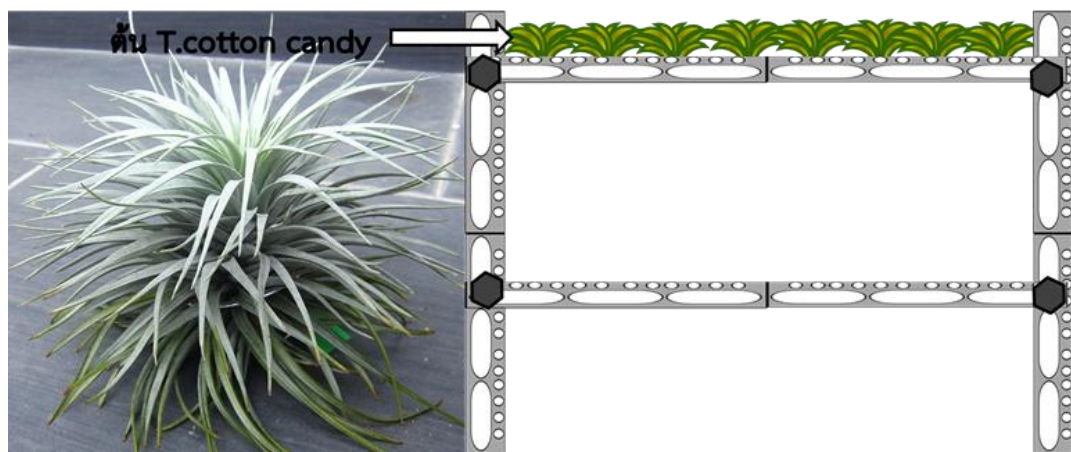
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงชั้นหลังคาอาคารคณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## 2.2 ออกแบบโครงสร้าง แผงวางต้น *T.Cotton Candy*

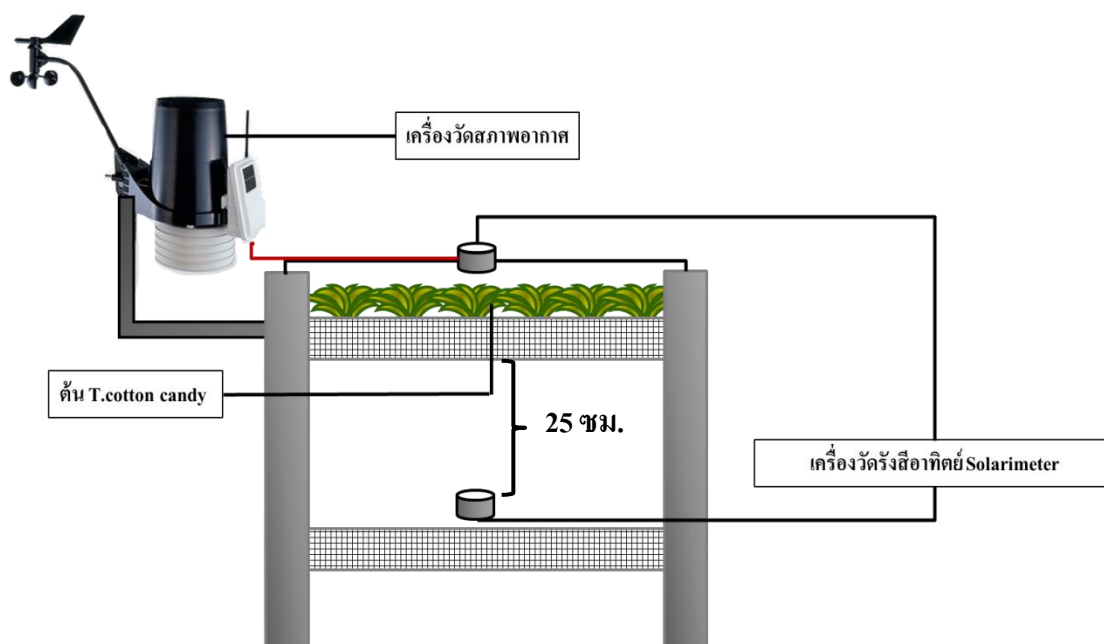
1. ออกแบบพื้นที่วางต้น *T.Cotton Candy* เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1 ตารางเมตร โดยมีความกว้างและยาวอย่างละ 1 เมตร
2. นำตะแกรงลวดเหล็กขนาด 81 ตารางเซนติเมตร โดยมีจำนวนช่องว่างในตะแกรงประมาณ 100 ช่อง วางบนพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เตรียมไว้เพื่อสำหรับวางต้น *T.Cotton Candy* ดังแสดงในรูปที่ 2.3
3. ติดตั้งเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Solarimeter) ทั้งด้านบนและด้านล่างของต้น *T.Cotton Candy* โดยมีระยะห่างระหว่างเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Solarimeter) กับต้น *T.Cotton Candy* ประมาณ 50 เซนติเมตร
4. นำต้น *T.Cotton Candy* จำนวน 100 ต้น วางบนแผงวางต้น *T.Cotton Candy* ที่เตรียมไว้ตามข้อที่ 1-2 ดังแสดงในรูปที่ 2.4
5. ติดตั้งเครื่องมือวัดความชื้นโดยใช้ชุดอุปกรณ์วิทยา Davis 6152 Vantage Pro2 และอุปกรณ์บันทึกเก็บข้อมูลต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงลักษณะอุปกรณ์ในการปลูกต้น *T.Cotton Candy*



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงต้น *T.Cotton Candy* และการวางแนวของต้น *T.Cotton Candy* บนตะแกรง



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ Solarimeter และเครื่องวัดสภาพอากาศ

## 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

### 2.3.1 เครื่องวัดรังสีอาทิตย์

เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Solarimeter) ด้านบนจะมีแผ่นรองรับรังสีอาทิตย์สีดำปัดอยู่ เพื่อไม่ให้รังสีอาทิตย์ตกกระทบบนเทอร์โมไพล์โดยตรง และจะมีพลาสติกสีขาวขุ่นล้อมรอบอยู่ ด้านบนเพื่อป้องกันตัวรับรังสีอาทิตย์ไม่ให้โดนน้ำฝนหรือสิ่งสกปรกต่าง ๆ ดังแสดงรูปที่ 2.6

หลักการทำงานของเครื่องวัดรังสีอาทิตย์คือ เมื่อรังสีอาทิตย์ตกกระทบแผ่นรองรับรังสีก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังเทอร์โมไพล์ และเหนี่ยวนำให้อุณหภูมิสูงของเทอร์โมไพล์สูงขึ้นจนเกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วของเทอร์โมไพล์ในที่สุด เครื่องวัดรังสีอาทิตย์จะมีหน่วยวัดเป็น  $W/m^2$  (Calatroni et al, 2012)

คุณสมบัติพิเศษของเครื่องนี้คือ มีความแม่นยำค่อนข้างสูงในการตรวจวัดรังสีอาทิตย์รวม และทุก ๆ แห่่งกำเนิดแสงที่สามารถมองเห็นได้ นอกจากนั้นยังเป็นเครื่องมือที่ใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน

### 2.3.1.1 การติดตั้งเครื่องวัดรังสีอาทิตย์

เนื่องจากห้ววัดรังสีอาทิตย์จะทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงสุด ในสถานที่โล่งแจ้ง จึงเป็นเหตุผลหลักของการดำเนินงานวิจัยนี้ที่ต้องเลือกใช้สถานที่หลังคาตาดฟ้า เพราะจะทำให้เครื่องวัดรังสีอาทิตย์สามารถรับแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ โดยเครื่องวัดรังสีอาทิตย์สามารถรับรังสีตรงได้ตลอดทั้งวัน รวมทั้งสามารถรับรังสีกระจายได้อย่างน้อย 90 เเปอร์เซ็นต์ของปริมาณรังสีกระจายทั้งหมดจากแสงอาทิตย์

โดยทำการติดตั้งห้ววัดรังสีอาทิตย์ 2 ตำแหน่งด้วยกันคือ ตำแหน่งแรกทำการติดตั้งบนต้น *T.Cotton Candy* และตำแหน่งที่สองทำการติดตั้งใต้ต้น *T.Cotton Candy* ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

เครื่องบันทึกข้อมูลจากห้ววัดรังสีอาทิตย์ ควรจะติดตั้งให้อยู่ในระยะห่างจากห้ววัดรังสีอาทิตย์ไม่เกิน 30 เมตร (Calatroni et al, 2012) เพื่อป้องกันการติดขัดหรือขัดข้องของสัญญาณ และควรติดตั้งกล่องเหล็กสำหรับเก็บเครื่องบันทึกข้อมูลให้เรียบร้อยเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงสิ่งแปลกปลอม แสงแดดจ้าและน้ำฝน หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจจะทำให้เครื่องบันทึกเกิดการเสื่อมสภาพ และนำไปสู่การผิดพลาดของข้อมูลได้ อีกทั้งเพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องให้ใช้งานได้นานและคุ้มค่าที่สุด



รูปที่ 2.6 ภาพแสดงเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ Solarimeter (Calatroni et al, 2012)

### 2.3.1.2 เครื่องบันทึกข้อมูล

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากไพราโนมิเตอร์จะอยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องมีเครื่องบันทึกสัญญาณ เพื่อทำหน้าที่รับสัญญาณดังกล่าวแล้วแปลงสัญญาณให้เป็นค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์สำหรับนำข้อมูลไปวิเคราะห์ ทั้งนี้ในการบันทึกข้อมูลดังกล่าวจึงต้องจัดหาเครื่องบันทึกสัญญาณแบบดิจิทัลจำนวน 1 เครื่อง

### 2.3.1.3 การติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

การติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลหรือ Data logger ทางผู้วิจัยได้ดำเนินการติดตั้ง ณ ห้องชั้นได้อาคารคาดฟ้าของคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสะดวกในการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการวัดรังสีอาทิตย์ และง่ายต่อการจัดเก็บไฟล์ข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

## 2.3.2 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและความเร็วลม

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิคือ เครื่องวัดสภาพอากาศแบบชุดอุตุนิยมหาวิทยาลัย Davis 6152 Vantage Pro2 เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดเหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงระยะเวลาานาน ๆ โดยจะวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -180 องศาเซลเซียส ถึงประมาณ 1,350 องศาเซลเซียส คุณสมบัติพิเศษของเครื่องมือชนิดนี้คือสามารถวัดปริมาณน้ำฝนได้ ซึ่งมีความละเอียดถึง 0.2 มิลลิเมตร (Davis, 2009)

นอกจากนั้นจะต้องทำการวัดความเร็วลม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการระเหย เพราะลมเป็นตัวพัดพาเอาอากาศที่ยังไม่อิ่มตัวเข้ามาแทนที่ ในขณะที่ตัวลมก็พัดเอาอากาศที่อิ่มตัวออกไปจากพื้นผิว โดยเครื่อง Anemometer (ดังแสดงในรูปที่ 2.7) ในการวัดความเร็วลม ตัวเครื่องประกอบไปด้วยเสาและแขน 4 แขนที่ติดอยู่กับปลายเสา พร้อมกับถ้วยที่ยึดติดอยู่ที่ปลายของแขน เมื่อเกิดลมพัดก็จะทำให้แขนทั้ง 4 หมุนรอบเสา ความเร็วจะแบ่งสเกลออกเป็นน็อตหรือไมล์ทะเลต่อชั่วโมง และสามารถวัดความเร็วลมสูงสุดได้ 170 m/s (Dines and Henry, 1911; Meteorological Instruments, 1953)



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงเครื่องวัดสภาพอากาศ แบบชุดอัตโนมัติมหาวิทยาลัย Davis 6152 Vantage Pro2 (Dines and Henry, 1911; Meteorological Instruments, 1953)

#### 2.3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้แก่ ข้อมูลรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาอาคาร และข้อมูลรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบพื้นที่หลังคาสีเขียว นำข้อมูลทั้งสองมาเปรียบเทียบกันเพื่อคำนวณค่าศักยภาพการลดรังสีอาทิตย์โดยใช้หลังคาสีเขียว เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้ออกแบบอาคารพาณิชย์ โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2559 เป็นเวลา 1 ปี โดยมีวิธีการ ดังนี้

#### 2.4.1 การแปลงข้อมูลจากเครื่องบันทึกข้อมูล

เครื่องบันทึกข้อมูล จะทำการบันทึกค่าความเข้มรังสีรวมที่ส่งมาจากหัววัดรังสีอาทิตย์ ทุก ๆ 15 นาที ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่วัดได้ใน 15 วินาทีนั้น ๆ โดยเครื่องบันทึกข้อมูลจะรวบรวมข้อมูลทุก ๆ 15 นาทีในหนึ่งวันและจัดบันทึกเป็น 1 ไฟล์ ทั้งนี้จะมีการตั้งชื่อไฟล์เป็นวันเดือนปี ดังนั้นทุกวันจึงมีไฟล์ข้อมูลรังสีรวมบันทึกอยู่ในเครื่องบันทึกข้อมูล และสามารถย้ายข้อมูลมาเก็บไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้โดยใช้ SD CARD และนำข้อมูลที่ไปวิเคราะห์ต่อไป



#### 2.4.2 โปรแกรม DQASTANDARD

เนื่องจากข้อมูลที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล DX2000 จะเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .DAD ดังนั้นจึงต้องใช้โปรแกรม DQASTANDARD ในการแปลงไฟล์ .DAD ให้เป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .TXT สำหรับใช้รันในโปรแกรม IDL6.1 ต่อไป ซึ่งโปรแกรม DQASTANDARD พัฒนาขึ้นมาโดยบริษัทโยโกกาวา

#### 2.4.3 โปรแกรม IDL6.1

นำไฟล์นามสกุล .TXT ที่ได้มาทำการรันข้อมูลโดยใช้โปรแกรม IDL6.1 ไฟล์จะถูกแปลงออกเป็น 3 ไฟล์ ได้แก่ 1) raw.csv คือข้อมูลรวม 15 นาที 2) min.csv คือข้อมูลเฉลี่ยต่อนาที 3) hour.csv คือข้อมูลเฉลี่ยต่อชั่วโมง

ข้อมูลดังกล่าวข้างต้น สามารถนำไปคำนวณและวิเคราะห์หาค่าข้อมูลต่าง ๆ ได้ดังนี้

##### 1. ปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อชั่วโมง

ปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อชั่วโมง เป็นการเฉลี่ยข้อมูลรังสีอาทิตย์รวมภายใน 1 ชั่วโมง จะมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ (mV) และหากต้องการแปลงหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ )ให้นำค่าที่มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์คูณด้วยค่า sensitivity ของหัววัดรังสีอาทิตย์

##### 2. ปริมาณรังสีอาทิตย์รวมทั้งหมดที่ได้รับในแต่ละวัน

ปริมาณรังสีรวมทั้งหมดที่ได้รับในแต่ละวัน สามารถคำนวณได้จากการนำค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อชั่วโมง X 3,600 วินาที โดยปริมาณรังสีรวมทั้งหมดที่ได้รับในแต่ละวันจะมีหน่วยเป็น  $W/m^2$ -day

##### 3. เปอร์เซ็นต์การลดรังสีอาทิตย์โดยใช้หลังคาสีเขียวเฉลี่ยในแต่ละวัน

เปอร์เซ็นต์การลดรังสีอาทิตย์โดยใช้หลังคาสีเขียวเฉลี่ยในแต่ละวัน สามารถคำนวณ

ได้โดยอาศัยหลักการเปอร์เซ็นต์ความเปลี่ยนแปลง กล่าวคือการนำส่วนต่างระหว่างจำนวนที่หนึ่งและจำนวนที่สองหารด้วยค่าสัมบูรณ์ของจำนวนที่หนึ่ง ทั้งนี้จะกำหนดให้จำนวนที่หนึ่งคือปริมาณรังสีอาทิตย์รังสีอาทิตย์รวมทั้งหมดกระทบพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาอาคาร และจำนวนที่สองคือปริมาณรังสีอาทิตย์รวมทั้งหมดกระทบพื้นที่หลังคาเขียว

#### 4. เปอร์เซ็นต์การลดรังสีอาทิตย์โดยใช้หลังคาสีเขียวเฉลี่ยในแต่ละเดือน

เปอร์เซ็นต์การลดรังสีอาทิตย์โดยใช้หลังคาสีเขียวเฉลี่ยในแต่ละเดือน สามารถคำนวณได้จากการนำค่าเปอร์เซ็นต์การลดรังสีอาทิตย์โดยใช้หลังคาสีเขียวเฉลี่ยในแต่ละวันของเดือนนั้น ๆ มารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนวัน ดังนั้นค่าที่ได้ของแต่ละเดือนในเวลา 1 ปี ก็จะสามารถบอกได้ว่าเดือนไหนที่หลังคาเขียวสามารถลดรังสีอาทิตย์ได้มากที่สุดและน้อยที่สุด เพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสภาพภูมิอากาศของแต่ละเดือนต่อไป

#### 2.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า และพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาอาคารพาณิชย์ นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือน วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่าและพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาอาคารพาณิชย์ โดยใช้ Student t-test และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักของดิน และค่าดัชนีของใบต้น *T.Cotton Candy* โดยใช้ Pearson's correlation test โดยยอมรับความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ  $p \text{ value} < 0.05$

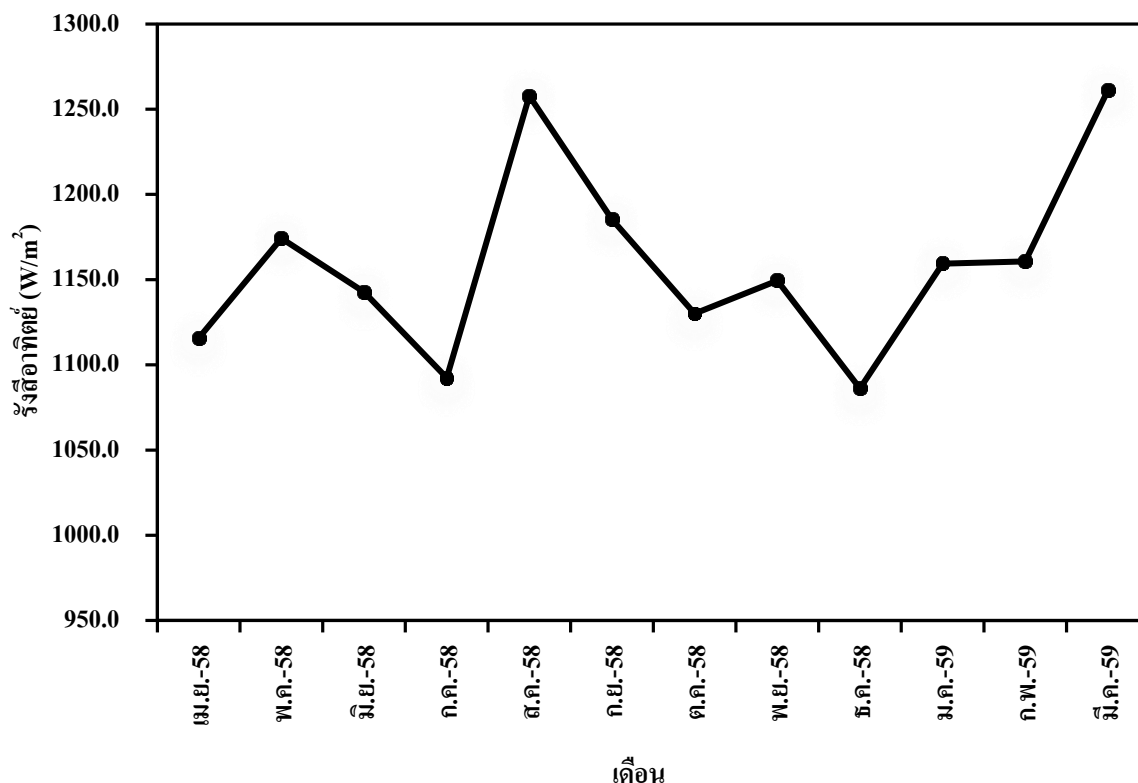
### บทที่ 3

#### ผลการวิจัย

#### 3.1 การศึกษาปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาแดดฟ้า

การศึกษาปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาแดดฟ้า แสดงในรูปที่ 3.1 และตารางที่ 1 ในภาคผนวก วัดปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาแดดฟ้า โดยใช้เครื่อง Solarimeter และหาค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีอาทิตย์แต่ละเดือน การศึกษานี้ทำเป็นระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนเมษายน ถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

ผลของการศึกษาพบว่าปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาแดดฟ้า ในแต่ละเดือนมีค่าต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ  $1,086.2 - 1,261.1 \text{ W/m}^2$  ต่อเดือน พบว่าเดือนธันวาคมมีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยน้อยที่สุด คือ  $1,086.2 \text{ W/m}^2$  และเดือนมีนาคมมีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยมากที่สุด คือ  $1,261.1 \text{ W/m}^2$  ปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยของเดือนอื่น ๆ

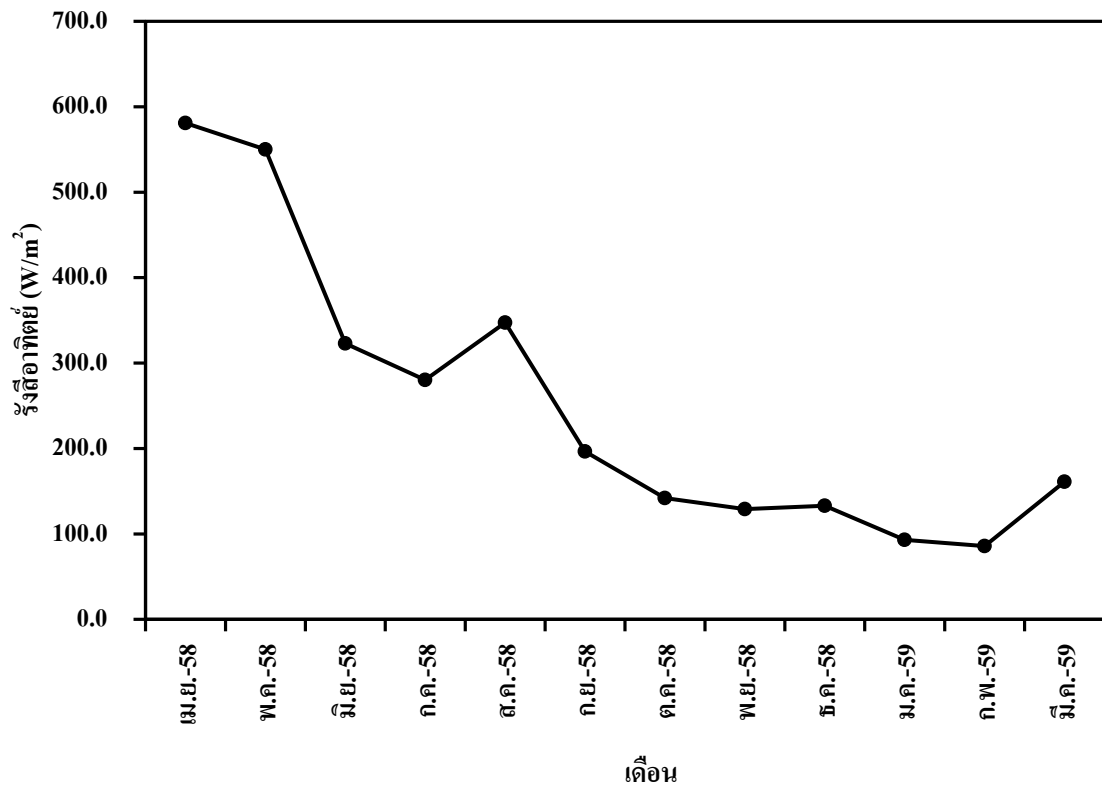


รูปที่ 3.1 กราฟแสดงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่บนหลังคาแดดฟ้า

### 3.2 การศึกษาปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวบนหลังคาแดดฟ้า

การศึกษาปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวบนหลังคาแดดฟ้า แสดงในรูปที่ 3.2 และตารางที่ 1 ในภาคผนวก วัดปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวบนหลังคาแดดฟ้า โดยใช้เครื่อง Solarimeter และหาค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีอาทิตย์แต่ละเดือน การศึกษานี้ทำเป็นระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

ผลของการศึกษาพบว่าปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ส่องผ่านหลังคาเขียวบนหลังคาแดดฟ้า ในแต่ละเดือนมีค่าต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 85.8 – 581.0 W/m<sup>2</sup> ต่อเดือน พบว่าเดือนกุมภาพันธ์มีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 85.8 W/m<sup>2</sup> และเดือนเมษายนมีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยมากที่สุด คือ 581.0 W/m<sup>2</sup> ปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยของเดือนอื่น ๆ



รูปที่ 3.2 กราฟแสดงปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวบนหลังคาอาคารไฟฟ้า

### 3.3 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า กับพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาอาคารไฟฟ้า

การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า กับพื้นที่หลังคาเขียว (ต้น T. Cotton Candy) บนหลังคาอาคารไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 3.1 รูปที่ 3.3 และ 3.4 และตารางที่ 1 ในภาคผนวก วัดปริมาณรังสีอาทิตย์ โดยใช้เครื่อง Solarimeter การศึกษานี้ทำเป็นระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนเมษายน ถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

ผลการศึกษาพบว่าหลังคาเขียวสามารถลดปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ  $907.7 \text{ W/m}^2$  คิดเป็นร้อยละ 78.20 โดยแต่ละเดือนมีค่าแตกต่างกัน ดังนี้

เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวมีค่าลดลง  $534.63 \text{ W/m}^2$  คิดเป็นร้อยละ 47.92 แสดงในรูปที่ 3.7 (รูป 1) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาอาคารไฟฟ้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p \text{ value} < 0.001$

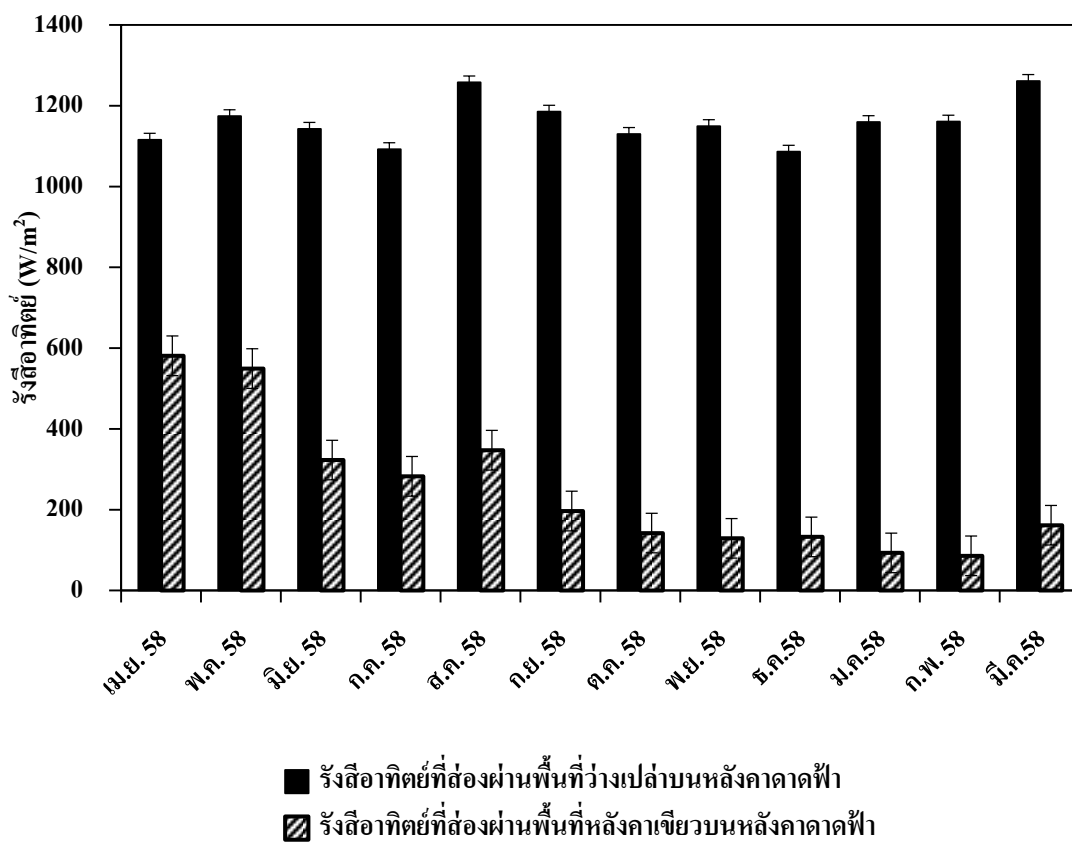


เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวมีค่าลดลง 1,074.96 W/m<sup>2</sup> คิดเป็นร้อยละ 92.61 แสดงในรูปที่ 3.7 (รูป 11) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาอาคารฟ้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p$  value < 0.001

และสุดท้าย เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวมีค่าลดลง 1,099.52 W/m<sup>2</sup> คิดเป็นร้อยละ 87.19 แสดงในรูปที่ 3.7 (รูป 12) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาอาคารฟ้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p$  value < 0.001

**ตารางที่ 3.1** การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า กับพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาอาคารฟ้า

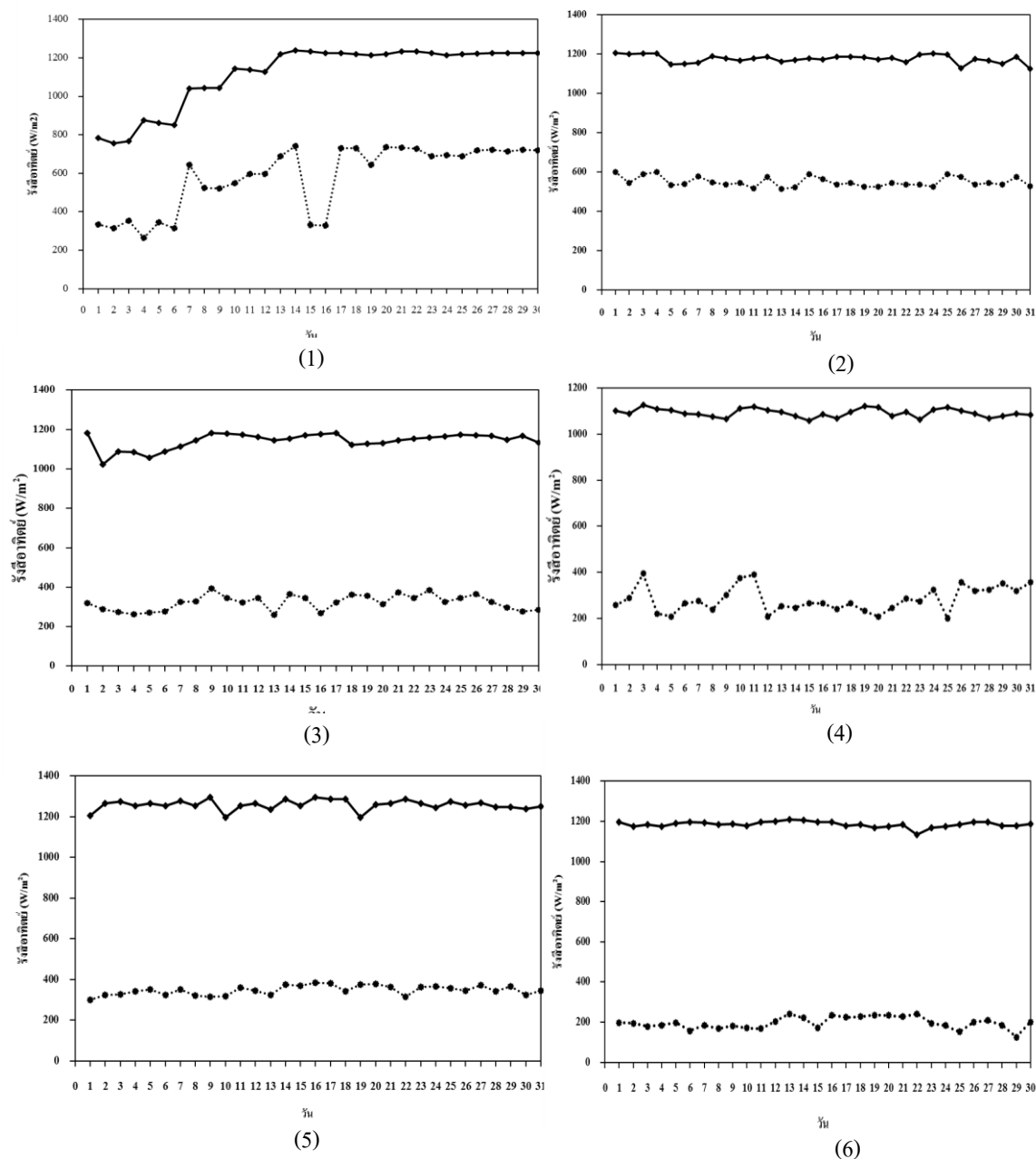
เดือน	รังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )		$p$ value
	ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า	ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว	
เมษายน	1115.67	581.03	< 0.001
พฤษภาคม	1174.26	549.39	< 0.001
มิถุนายน	1142.73	322.93	< 0.001
กรกฎาคม	1092.39	282.61	< 0.001
สิงหาคม	1257.77	347.26	< 0.001
กันยายน	1185.30	196.60	< 0.001
ตุลาคม	1130.03	142.19	< 0.001
พฤศจิกายน	1149.47	129.13	< 0.001
ธันวาคม	1086.19	132.77	< 0.001
มกราคม	1159.42	93.06	< 0.001
กุมภาพันธ์	1160.69	85.83	< 0.001
มีนาคม	1261.06	161.55	< 0.001



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า และพื้นที่หลังคาเขียว (ต้น T. Cotton Candy) บนหลังคาแดดฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน

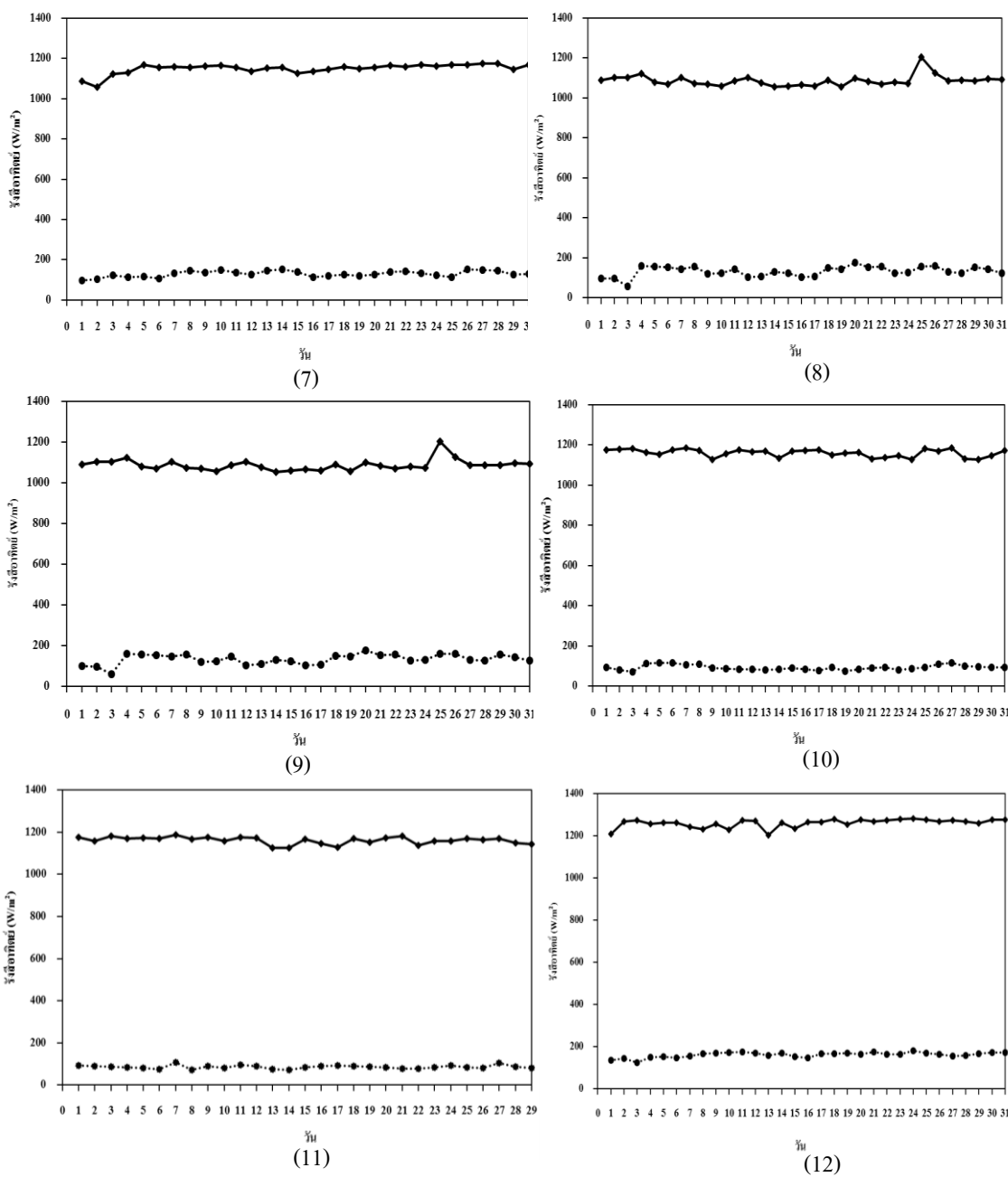
- รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาแดดฟ้า
- ▨ รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว





รูปที่ 3.4 กราฟแสดงผลปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า และใต้พื้นที่หลังคาเขียว (ต้น T. Cotton Candy) บนหลังคาอาคารพาณิชย์ เดือนเมษายน (รูป 1) เดือนพฤษภาคม (รูป 2) เดือนกรกฎาคม (รูป 3) เดือนสิงหาคม (รูป 4) เดือนกันยายน (รูป 5) เดือนตุลาคม (รูป 6) เดือนกันยายน (รูป 7) เดือนพฤศจิกายน (รูป 8) เดือนธันวาคม (รูป 9) เดือนมกราคม (รูป 10) เดือนกุมภาพันธ์ (รูป 11) และเดือนมีนาคม (รูป 12)

- ◆ รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาอาคารพาณิชย์
- รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาอาคารพาณิชย์



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงผลปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า และพื้นที่หลังคาเขียว (ต้น T. Cotton Candy) บนหลังคาอาคารในเดือนเมษายน (รูป 1) เดือนพฤษภาคม (รูป 2) เดือนกรกฎาคม (รูป 3) เดือนสิงหาคม (รูป 4) เดือนกันยายน (รูป 5) เดือนตุลาคม (รูป 6) เดือนกันยายน (รูป 7) เดือนพฤศจิกายน (รูป 8) เดือนธันวาคม (รูป 9) เดือนมกราคม (รูป 10) เดือนกุมภาพันธ์ (รูป 11) และเดือนมีนาคม (รูป 12)

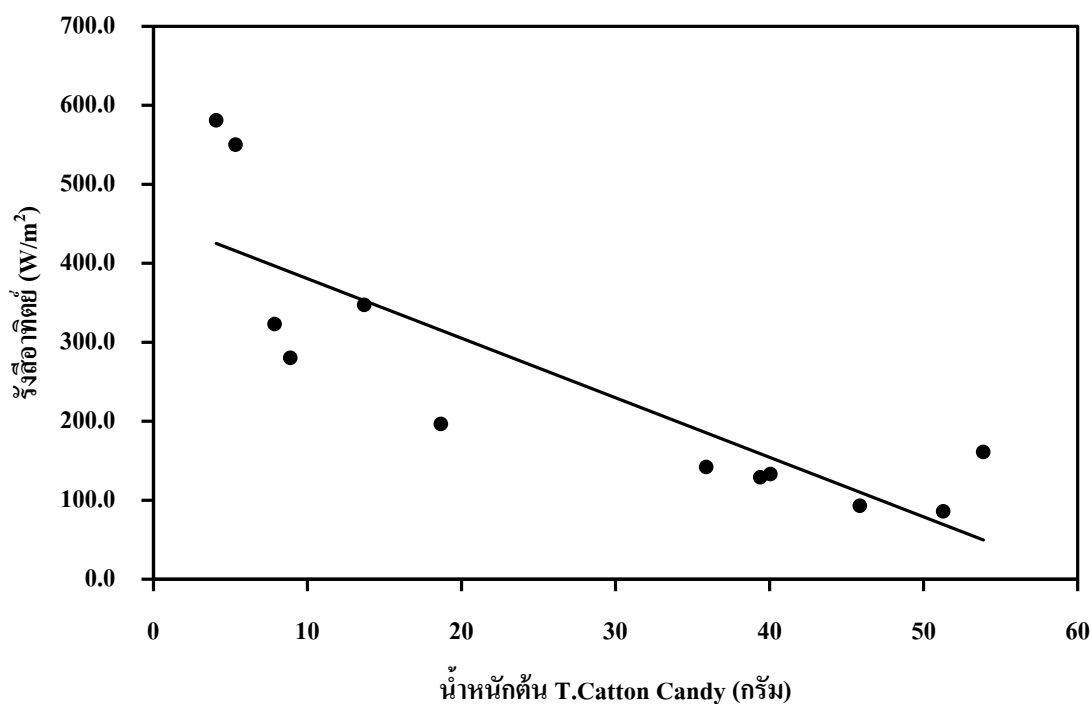
- ◆ รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่าบนหลังคาอาคาร
- รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาอาคาร

### 3.4 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักของต้น และ ค่าดัชนีของใบต้น *T.Cotton Candy*

#### 3.4.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับน้ำหนักของต้น *T.Cotton Candy*

การศึกษาคือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับน้ำหนักของต้น *T.Cotton Candy* โดยการวัดปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวเฉลี่ยต่อเดือน และวัดน้ำหนักของต้น *T.Cotton Candy* เดือนละครั้ง ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนเมษายน ถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

ผลของการศึกษาคือความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับน้ำหนักของต้น *T.Cotton Candy* แสดงในรูปที่ 3.5 และตารางที่ 1 ในภาคผนวก ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน (negative correlation) กับน้ำหนักของต้น *T.Cotton Candy* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p$  value < 0.001 และ R square เท่ากับ 0.84 โดยพบว่าเมื่อน้ำหนักของต้น *T.Cotton Candy* เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณรังสีอาทิตย์ส่องผ่านหลังคาเขียวได้ลดลง



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับน้ำหนักต้น *T.Cotton Candy*

### 3.4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว

กับ

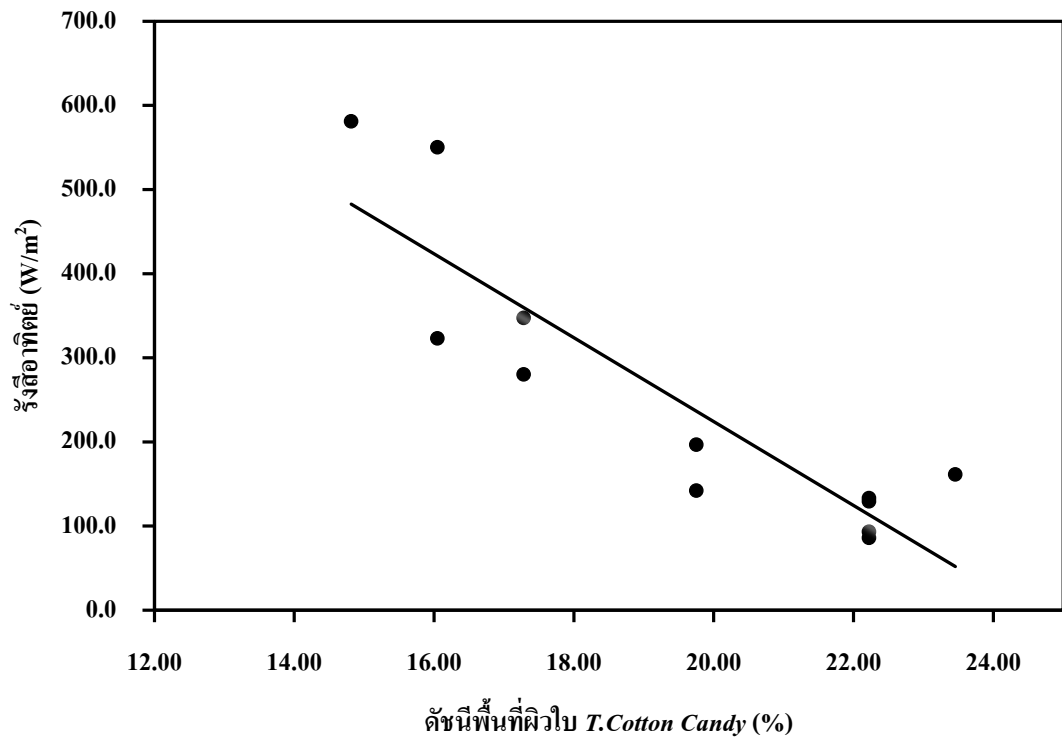
#### ดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy*

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับ ดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy* โดยการวัดปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวเฉลี่ย ต่อเดือน และวัดดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy* เดือนละครั้ง และคำนวณเป็นค่าร้อยละ ดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น ทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนเมษายน ถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

ผลของการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว

กับ

ดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy* แสดงในรูปที่ 3.6 และตารางที่ 1 ในภาคผนวก พบว่า ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน (negative correlation) กับ ดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p$  value < 0.001 และ R square เท่ากับ 0.89 โดยพบว่าเมื่อดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy* เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณรังสี อาทิตย์ส่องผ่านหลังคาเขียวได้ลดลง



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy*

## บทที่ 4

### วิจารณ์

#### 4.1 การศึกษาปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาแดดฟ้า

การศึกษาปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาแดดฟ้า ในระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 พบว่าปริมาณรังสีอาทิตย์ในแต่ละเดือนมีค่าต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ  $1,086.2 - 1,261.1 \text{ W/m}^2$  ต่อเดือน พบว่าเดือนธันวาคมมีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยน้อยที่สุด คือ  $1,086.2 \text{ W/m}^2$  และเดือนมีนาคมมีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยมากที่สุด คือ  $1,261.1 \text{ W/m}^2$  ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากรูปที่ 3.1

รังสีอาทิตย์ เป็นพลังงานที่กำเนิดจากดวงอาทิตย์และแผ่ออกสู่อากาศโดยรอบโดยอยู่ในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ รังสีอาทิตย์จะมีความเข้มแสงเฉลี่ยประมาณ  $1,350 \text{ W/m}^2$  และจะลดลงเหลือประมาณ  $1,000 \text{ W/m}^2$  ขณะสัมผัสกับพื้นโลก เนื่องจากพลังงานบางส่วนของรังสีอาทิตย์ต้องสูญเสียไปจากโมเลกุล จากปัจจัยต่อไปนี้ ได้แก่ ชั้นโอโซน ชั้นไอน้ำ ชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น (Ashrae, 1989)

ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ถูกส่งมายังโลก จะมีการกระจายตัวไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากปัจจัยหลาย ๆ ด้านด้วยกัน ได้แก่ 1) การบดบังจากก้อนเมฆ ทำให้รังสีอาทิตย์ถูกกรองและกระเจิงไปในทิศทางอื่น 2) ควันและฝุ่นละออง มีความสัมพันธ์ในลักษณะการแปรผกผันกับรังสีอาทิตย์ บริเวณที่มีควันหรือฝุ่นละอองมากจะมีค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์น้อยกว่าบริเวณที่มีควันและฝุ่นละอองน้อย เนื่องจากควันและฝุ่นละอองเป็นสาเหตุที่ทำให้รังสีอาทิตย์ถูกกรองและกระเจิงไปในทิศทางอื่น 3) ความชื้นสัมพัทธ์ คือปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ขณะนั้น เปรียบเทียบกับปริมาณไอน้ำที่อากาศจะรองรับได้ โดยรังสีอาทิตย์สามารถถูกกรองได้ด้วยไอน้ำ ทำให้ในแต่ละเดือนมีปริมาณรังสีอาทิตย์ต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน (จันทร์ฉาย, 2545)

ประเทศไทย เป็นประเทศที่มีพื้นที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร มีเนื้อที่ประมาณ 500,000 ตารางกิโลเมตร สภาพอากาศอยู่ในแถบร้อน จากการศึกษาขององค์การ NASA แสดงแผนที่แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของโลก พบว่าประเทศไทยนั้นจะมีปริมาณรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วงประมาณ  $5 - 6.5 \text{ kWh/m}^2$  ต่อวัน

## 4.2 การศึกษารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาฝ้า และการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า กับพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาฝ้า

### 4.2.1 การศึกษารังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาฝ้า

การศึกษาปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาฝ้า ในระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 พบว่าปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ส่องผ่านหลังคาเขียวบนหลังคาฝ้า ในแต่ละเดือนมีค่าต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ  $85.8 - 581.0 \text{ W/m}^2$  ต่อเดือน พบว่าเดือนกุมภาพันธ์มีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยน้อยที่สุด คือ  $85.8 \text{ W/m}^2$  และเดือนเมษายนมีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยมากที่สุด คือ  $581.0 \text{ W/m}^2$

พืชทุกชนิดสามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ จากการให้ร่มเงาปกป้องความร้อนโดยตรงจากรังสีอาทิตย์ โดยพืชจะนำพลังงานความร้อนไปใช้ในการสังเคราะห์แสงและคายน้ำของใบ ดังนั้นใบของพืชยังมีปริมาณมากก็ยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น แม้ว่าการลดอุณหภูมิในช่วงกลางวันของผนังเขียวที่ปกคลุมด้วยไม้เลื้อยจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า ฉนวนกันความร้อนชนิดใยแก้ว แต่ในช่วงกลางคืนผนังเขียวไม้เลื้อยจะกักความร้อนไว้เหมือนกับฉนวน ทำให้อุณหภูมิลดลงตามอุณหภูมิอากาศ (เหล่าพานิชกุล และศรีสุธาพรธม, 2550)

ดังนั้น ภาวการณ์เจริญเติบโตของพืช และจำนวนใบของพืช จึงมีผลต่อปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ส่องผ่านหลังคาเขียวบนหลังคาฝ้า จึงทำให้เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ลดปริมาณรังสีอาทิตย์ได้มากกว่าเดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ดังแสดงในรูปที่ 3.2

### 4.2.2 การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า กับพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาฝ้า

การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านพื้นที่ว่างเปล่า กับพื้นที่หลังคาเขียวบนหลังคาฝ้า ในระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 เดือนเมษายน พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 31 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559 พบว่าหลังคาเขียวสามารถลดปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ  $907.7 \text{ W/m}^2$  คิดเป็นร้อยละ 78.20 แสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Liu และ Baskaran (2003) พบว่าหลังคาเขียวสามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ถึง 75% ต่อวัน และ Eumorfopoulou และ Aravantinos (1997) และ Piero และคณะ (2016) และ Umerto (2016) และ Cristina และคณะ (2016) พบว่าหลังคาเขียวสามารถป้องกันรังสีอาทิตย์และลดอุณหภูมิภายใน

อาคารได้ นอกจากนั้นหลังคาเขียวยังสามารถทำหน้าที่เสมือนเป็นฉนวนกันความร้อนจากภายนอก ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับคงที่ได้ และสามารถลดแสงสะท้อนจากหลังคาที่มีผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงได้อีกด้วย (Fioretti et al., 2010; Keshtkar และ Ansari, 2009; Santamouris et al., 2007; Eumorfopoulou และ Aravantinos, 1998; Lazzarin et al., 2005; Georgios et al., 2011)

จากการศึกษาของ Wong และคณะ (2003) พบว่าการใช้ระบบการปลูกพืชบนหลังคาแบบ extensive roof garden ในประเทศสิงคโปร์ซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทสู่อาคารทางหลังคาได้มากถึงร้อยละ 60 และยังลดการแผ่รังสีของหลังคากลับสู่อากาศเหนือหลังคาได้อีกด้วย

การคัดเลือกพรรณพืชที่นำมาใช้ในการปลูกพืชหลังคาเขียวแบบ extensive roof garden คือ พืชจะต้องมีคุณสมบัติที่ทนต่อสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น เป็นพืชอากาศ และน้ำหนักเบา และต้องเป็นพืชที่ทนความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ได้ดี ดูแลรักษาค่อนข้างน้อยหรือสามารถอยู่ได้โดยไม่ต้องดูแลรักษา อายุยืน มีใบตลอดปี และใบร่วงน้อย หาง่ายตามท้องตลาดทั่วไป (Hui, 2006; Lazzarin et al., 2005; Sailor, 2008; Spala et al., 2008; Kosareo et al., 2007)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้ต้นทิลแลนเซียพันธุ์โคลน (*Tillandsia recurvifolia* Hooker "Tillandsia Cotton Candy") ซึ่งมีคุณสมบัติตรงกับความต้องการของการปลูกพืชหลังคาเขียวแบบ extensive roof garden โดยพืชชนิดนี้มีคุณสมบัติเป็นพืชอากาศ (Air Plant) ไม่อาศัยดิน เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์สับปะรด (Bromeliaceae) สกุล *Tillandsia* มีคุณลักษณะเป็นพืชทนแล้ง ดูแลรักษาง่าย น้ำหนักเบา ไม่อาศัยดินในการเจริญเติบโต และใบมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากเนื่องจากมีไทรโคม (Trichome) ปกคลุมไปทั่วทั้งต้น ซึ่งไทรโคมจะทำหน้าที่ดูดซับความชื้นและธาตุอาหารในอากาศ ลักษณะของไทรโคมคล้ายขนสีขาวปกคลุมไปทั่วทั้งต้น (Papimi et al., 2010; Haslam et al., 2003) ตลอดจนกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (Carboxylation) พืชแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ไม่เท่ากันเนื่องจากมีส่วนประกอบของเนื้อเยื่อและกระบวนการทางชีวเคมีและสรีรวิทยาภายในใบที่ต่างกัน พืชที่มีการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอมและเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อไปจนได้ผลิตภัณฑ์ในรูปของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ พืชจำพวกนี้เรียกว่าพืช  $C_3$  ได้แก่ ข้าว ถั่ว และพืชทั่ว ๆ ไปเกือบทุกชนิด พืชอีกกลุ่มจะมีการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง ครั้งแรกมีการตรึงที่เนื้อเยื่อมีโซฟิลล์โดยสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม มารับคาร์บอนไดออกไซด์แล้วกลายเป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม ซึ่งถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ตัวแรกของพืช พืชพวกนี้จึงเรียกว่าพืช  $C_4$  เช่น ข้าวโพด อ้อย และบานไม่รู้โรย นอกจาก  $C_3$  และ  $C_4$  แล้ว กลุ่มพืชแคม (Crassulacean Acid Metabolism,



CAM) ซึ่ง *T. Cotton Candy* จัดอยู่ในกลุ่มนี้ กลไกการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชกลุ่มนี้จะมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง คล้ายๆ กับพืช  $C_4$  แต่ปากใบจะเปิดในเวลากลางคืนเพื่อตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วสังเคราะห์แสงในเวลากลางวัน จึงลดการคายน้ำของพืชได้ มีประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงกว่าพืช  $C_3$  และ  $C_4$  อย่างน้อย 5 เท่า (Andrzej *et al.*, 2009)

พืชที่มีคุณสมบัติคล้ายกับ *T. Cotton Candy* และค่อนข้างหาได้ง่ายในประเทศไทยคือ เคราฤๅษี เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) วงศ์เดียวกับสับปะรด แต่เคราฤๅษีมีรากอากาศขนาดเล็ก (Adventitious root) และไม่ดูดน้ำ การดำรงชีพเป็นแบบไม่ยึดเกาะ ใบมีลักษณะลดรูปเป็นใบเกล็ด (Scale Leaves) ปลายใบแหลมเป็นท่อนยาว รอบใบมีขน หรือเรียกว่า Trichome สีขาวปกคลุมจำนวนมากเนื่องจากขนขนาดเล็กที่ใบทำหน้าที่ดูดซับน้ำและสารอาหารจากอากาศได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.3 พืชชนิดนี้จึงไม่จำเป็นต้องปลูกในดิน ขนของเคราฤๅษีมีลักษณะพิเศษประกอบด้วย Dome Cell ที่หุ้มด้านบนด้วยชั้นคิวตินหนาเพื่อช่วยลดการคายน้ำและ Wing Cell ทำหน้าที่ช่วยดักไอน้ำแก๊สและสารต่าง ๆ ในอากาศแล้วลำเลียงสารแบบ passive transport ผ่านท่อที่เชื่อมต่อกันระหว่าง wing cell และ shield cell ไปยัง mesophyll ของชั้นใบ (Wannaz *et al.*, 2006)

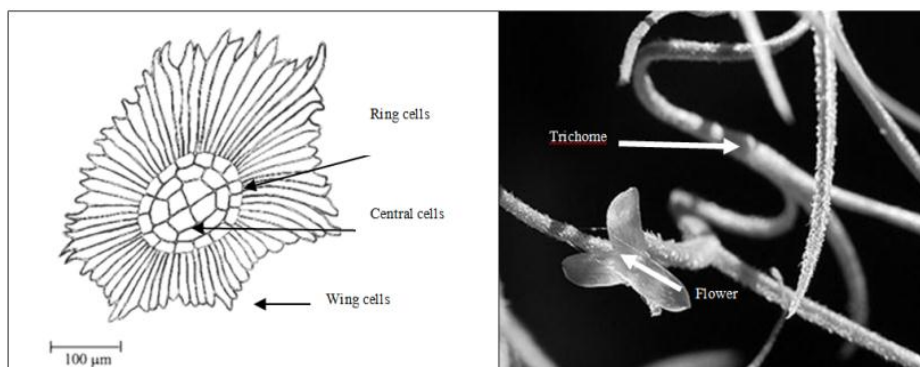
กระบวนการสังเคราะห์แสงของเคราฤๅษีในวิถี CAM (CAM: Crassulacean Acid Metabolism plant) คือ กลไกการปรับตัวของพืชทนแล้งที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงและขาดแคลนน้ำ เช่นพืชในวงศ์ Agavaceae, Asphodelaceae, Cactaceae, Orchidaceae และ Bromeliaceae เป็นต้น ปากใบเปิดเวลากลางคืนและปิดเวลากลางวันเพื่อลดการสูญเสียน้ำพืชดูด  $CO_2$  ในเวลากลางคืนเพื่อสร้างกรดอินทรีย์มาลิก (malic acid) สะสมในแวคิวโอล (vacuole) เมื่อพืชได้รับแสง แสงจะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการ decarboxylation ของกรดมาลิกเพื่อเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก (pyruvic acid) แล้วปล่อย  $CO_2$  ออกจากแวคิวโอลไปยังคลอโรพลาสต์ ทำให้การเคลื่อนที่ของ  $CO_2$  จากภายนอกเข้าสู่ใบลดลง ในขั้นตอนนี้พืชจะสร้างคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลและนำเก็บสะสมในคลอโรพลาสต์



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะทั่วไปของต้นเคราฤาษี (ที่มา: <http://ssairplants.com/Trichgal.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม 2558)



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของต้นเคราฤาษี (ที่มา: <http://ssairplants.com/Trichgal.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม 2558)



รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะ Trichome ของต้นเคราฤาษี (ที่มา: <http://ssairplants.com/Trichgal.html> สืบค้นเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม 2558)

ข้อจำกัดของเคราฤาษีคือ ไม่เหมาะกับการปลูกบนคาดฟ้าเพื่อทำเป็นหลังคาเขียว เนื่องจากต้นมีการเจริญตามแรงโน้มถ่วงของโลก จึงเหมาะกับการปลูกเป็นผนังเขียวมากกว่า

ดังนั้น ต้น *T.cotton candy* จึงเป็นพืชที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการปลูกพืชหลังคาเขียวมากที่สุด แม้จะมีราคาค่อนข้างสูงก็ตาม เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับเคราฤาษีที่มีคุณสมบัติคล้ายกันราคาถูกกว่า แต่จะเกิดข้อจำกัดของโครงสร้างการติดตั้งบนหลังคาคาดฟ้า และเมื่อเปรียบเทียบกับพืชทั่วไป เช่น พืช  $C_3$  หรือ  $C_4$  ล้วนต้องใช้ดินในการปลูก ดังนั้นการดูแลรักษาก็ต้องมีมากขึ้น พร้อมกับน้ำหนักของดินอาจจะส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของหลังคาคาดฟ้า อีกทั้งการอุ้มน้ำจากดินที่ใช้ปลูกพืชจะส่งผลให้หลังคาคาดฟ้าของอาคารมีเชื้อราได้ง่าย

นอกจาก *T.cotton candy* จะเหมาะสำหรับการปลูกพืชหลังคาเขียวบนหลังคาคาดฟ้าแล้วยังสามารถปลูกบนหลังคากระเบื้องหน้าจั่วได้อีกด้วย เนื่องจากน้ำหนักที่เบา เป็นพืชทนแล้ง เหมาะสมต่อการปลูกในระยะยาว ดังนั้นจึงเหมาะที่จะขยายพันธุ์ในประเทศไทยให้มากขึ้น

### 4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักของต้น และ ค่าดัชนีของใบต้น *T. Cotton Candy*

#### 4.3.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับน้ำหนักของต้น *T. Cotton Candy*

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับน้ำหนักของต้น *T. Cotton Candy* พบว่าปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน (negative correlation) กับน้ำหนักของต้น *T. Cotton Candy* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p$  value < 0.001 และ R square เท่ากับ 0.84 ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เนื่องจากระยะเวลาการศึกษาวิจัยใช้เวลา 1 ปี ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นตามลำดับ มีจำนวนใบเพิ่มมากขึ้น ทำให้น้ำหนักของต้นเพิ่มขึ้น กระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) จึงมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาการศึกษาช่วงแรก นอกจากนั้นยังพบว่าใบที่มีความชุ่มชื้นสูงจะดูดกลืนอินฟราเรดคลื่นสั้นได้ดีซึ่งลดปริมาณความร้อนจากรังสีอาทิตย์ได้ดีเช่นกัน เนื่องจากต้น *T. cotton candy* เป็นพืชที่มีไตรโคม (Trichom) ซึ่งคอยดักจับไอน้ำในอากาศ ทำให้พืชมีความชื้นตลอดเวลาซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Beadle, 1993 และ สุภัทรพันธุ์, 2526

#### 4.3.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียว กับดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T. Cotton Candy*

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวกับดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T. Cotton Candy* พบว่าปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านหลังคาเขียวมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน (negative correlation) กับดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T. Cotton Candy* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p$  value < 0.001 และ R square เท่ากับ 0.89 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เนื่องจากเชื่อมโยงจากข้อ 4.3.1 ซึ่งค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมักจะเพิ่มขึ้นตามระยะที่พืชมีการเจริญเติบโต จนกระทั่งพืชสามารถที่จะผลิตส่วนสืบพันธุ์ได้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชตามธรรมชาติ ได้แก่ สมดุลของน้ำ ธาตุอาหาร แสง และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ (สุหนานพ, 2522) นอกจากนั้นภาคใต้ของไทยมีสภาพภูมิอากาศเป็นแบบร้อนชื้น และต้น *T. Cotton Candy* มีความสามารถในการดักจับไอน้ำ และธาตุอาหารในอากาศได้ พร้อมกับสังเคราะห์แสงในแบบ Crassulacean Acid Metabolism (CAM) ซึ่งพืช

ชนิดนี้จะเปิดปากใบในช่วงเวลากลางคืน และปิดปากใบในช่วงเวลากลางวันจึงทำให้การสูญเสียน้ำ ความชื้นในพืชชนิดนี้เป็นไปได้น้อย ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ค่อนข้างดี จึงทำให้มีพื้นที่ของใบมากขึ้น และเมื่อมีพื้นที่ใบมากขึ้นการสังเคราะห์แสงก็มากขึ้นด้วยจึงทำให้รังสีอาทิตย์ที่อยู่ใต้หลังคาเขียวตกระทบมาน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Laura และคณะ (2015) พบว่าดัชนีของพื้นที่ผิวใบมีค่าเพิ่มขึ้นทุกเดือนตามวันที่เก็บข้อมูล แสดงว่าพืชมีการเจริญเติบโต และมีความหนาแน่นของใบเพิ่มขึ้นด้วย โดยพืชที่มีความหนาแน่นของใบมากมักจะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าพืชที่มีความหนาแน่นของใบน้อย

นอกจากนั้น พบว่าใบไม้ไม่เคยมีอุณหภูมิสูงกว่า 38 องศาเซลเซียส ในขณะที่วัสดุก่อสร้างชนิดต่าง ๆ อาจมีอุณหภูมิพื้นผิวสูงถึง 45 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า (สุนากร, 2552) เมื่อได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และแผ่รังสีเข้าสู่อาคารหรืออากาศภายนอก พื้นผิวที่ปกคลุมด้วยใบไม้จะทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงทั้งภายนอกและภายในอาคาร ส่งผลโดยตรงต่อมนุษย์ผู้อยู่อาศัย ส่งผลทางอ้อมต่อสิ่งแวดล้อม

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในแต่ละเดือน

ปริมาณรังสีอาทิตย์ในแต่ละเดือนมีค่าต่างกัน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ  $1,086.2 - 1,261.1 \text{ W/m}^2$  ต่อเดือน พบว่าเดือนธันวาคมมีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยน้อยที่สุด คือ  $1,086.2 \text{ W/m}^2$  เนื่องจากเป็นช่วงของฤดูฝนทำให้มีชั้นของก้อนเมฆมากมาบดบังทำให้รังสีอาทิตย์ที่ส่องผ่านมานั้นค่อนข้างน้อยกว่าเดือนอื่น ๆ อีกทั้งมีปริมาณน้ำฝนทำให้อุณหภูมิลดลงค่อนข้างมากกว่าเดือนอื่น ๆ และเดือนมีนาคมมีปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยมากที่สุด คือ  $1,261.1 \text{ W/m}^2$  เนื่องจากเข้าสู่ช่วงฤดูร้อนพร้อมกับมีปริมาณของก้อนเมฆน้อยทำให้รังสีอาทิตย์ส่องลงมายังพื้นโลกโดยเฉพาะภาคใต้ ทำให้อุณหภูมิสูง และมีปริมาณของรังสีที่ตกกระทบบนหลังคาอาคารมาก

##### 5.1.2 การลดปริมาณรังสีอาทิตย์ของหลังสีเขียว

หลังคาเขียวสามารถลดปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ  $907.7 \text{ W/m}^2$  คิดเป็นร้อยละ 78.20 ซึ่งพืชที่ใช้คือต้น Tillandsia Cotton Candy มีประสิทธิภาพในการลดรังสีอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากต้น Tillandsia Cotton Candy เป็นพืช CAM ซึ่งโดยทั่วไปพืชบางชนิดเจริญได้ในที่แห้งแล้งซึ่งในเวลากลางวันสภาพแวดล้อมจะมีความชื้นต่ำ และอุณหภูมิสูง ทำให้พืชสูญเสียน้ำทางปากใบมาก แต่ต้น Tillandsia Cotton Candy เป็นพืชที่สามารถเจริญในพื้นที่แห้งแล้ง และลดการสูญเสียน้ำได้ โดยการลดรูปของใบให้มีขนาดเล็กลง และปากใบปิดในเวลากลางวัน หรือมีลำต้นอวบน้ำเพื่อจะสงวนรักษาน้ำไว้ใช้ในกระบวนต่าง ๆ สำหรับการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้นเกิดขึ้นน้อยมาก เนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แพร่เข้าไปในใบไม่ได้ ดังนั้นพืชพวกนี้จึงมีวิธีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างไปจากพืช  $C_3$  และพืช  $C_4$  ในเวลากลางคืนอากาศมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสูงปากใบพืชดังกล่าวข้างต้นจึงเปิด แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้าทางปากใบไปยังเซลล์มีโซฟิลล์ สารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม ซึ่งก็คือ กรดฟอสโฟอินอลไพรูวิก (Phosphoenol pyruvic acid : PEP) จะตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ไว้

โดยการเร่งปฏิกิริยาของฟอสโฟอินอลไพรูเวต คาร์บอกซิเลส (Phosphoenol pyruvate Carboxylase : PEP Carboxylase) ได้สารประกอบที่มีคาร์บอน 4 อะตอม คือ กรดออกซาโลอะซีติก (Oxaloacetic Acid : OAA) ซึ่ง OAA นี้จะเปลี่ยนเป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอมอีกชนิดหนึ่งคือ กรดมาลิก (Malic acid) แล้วเคลื่อนย้ายมาสะสมไว้ใน แวกิวโอลในเวลากลางวันเมื่อเริ่มมีแสงปากใบจะปิด เพื่อลดการสูญเสียน้ำ กรดมาลิกจะถูกลำเลียงจากแวกิวโอลเข้าสู่คลอโรพลาสต์ พืชจะมีกระบวนการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกรดมาลิกที่สะสมไว้ และคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกตรึงเข้าสู่วัฏจักรคัลวินตามปกติ

### 5.1.3 น้ำหนัก และดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy*

น้ำหนัก และดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy* เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณรังสีอาทิตย์ เนื่องจากต้น *T.Cotton Candy* เป็นพืชที่มีไตรโคม (trichome) ปกคลุมทั่วทั้งต้น โดยไตรโคมจะทำหน้าที่ในการดูดซับความชื้น และธาตุอาหารในอากาศ พร้อมกับสังเคราะห์แสงในช่วงเวลากลางวัน ทำให้พืชนั้นเจริญเติบโตได้ดี และมีประสิทธิภาพของการลดรังสีอาทิตย์มากด้วย อีกทั้งยังเอื้ออำนวยต่อสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เป็นอย่างมาก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ การประยุกต์ใช้และแนวทางการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม

5.2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการขยายพันธุ์ของต้น *Tillandsia Cotton Candy* เนื่องจากเป็นพืชที่ส่งมาจากต่างประเทศและออกผลผลิตค่อนข้างช้า ทำให้ราคาซื้อขายในประเทศไทยค่อนข้างแพง

5.2.2 ควรศึกษาเพิ่มเติมในการนำมาใช้จริง ๆ โดยเฉพาะด้านการออกแบบฐานในการใส่ต้น *Tillandsia Cotton Candy* เนื่องจากพืชชนิดนี้มีน้ำหนักเบาทำให้เมื่อเวลาลมพายุเข้า พืชอาจจะปลิวได้ ทำให้ลดประสิทธิภาพในการลดรังสีอาทิตย์

5.2.3 แนวทางในการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมพบว่า ต้น *Tillandsia Cotton Candy* สามารถลดรังสีอาทิตย์ได้จริง ดังนั้นพืชชนิดนี้จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดปัญหาภาวะโลกร้อน และภาวะความน่าอยู่สบายของอาคารพาณิชย์ที่เป็นหลังคาชั้นคาเฟ่ อีกทั้งพืชชนิดนี้มีดอกที่สวยงาม สีสันสวยงามสบายตา เหมาะกับการปลูก และดูแลง่ายอีกด้วย

## เอกสารอ้างอิง

- กฎกระทรวงฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522. 2543.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. 2522. วิธีการวิเคราะห์ลักษณะการเจริญเติบโตของพืช. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พาสินี สุนากร และพูนพิภพ เกษมทรัพย์. 2010. สมรรถนะการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผนังไม้เลื้อย. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies* 7, 2: 5-17.
- วิชัย เหล่าพาณิชย์กุล และอวิรุทธ์ ศรีสุชาพรรณ. 2550. ประสิทธิภาพของผนังไม้เลื้อยในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร. *สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*
- สุรนนต์ สุภัทรพันธุ์. 2526. ศรีวิทยาและการเจริญเติบโตของพืชสวน. ภาควิชาพืชสวนคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เสริม จันทร์ฉาย, จรุงแสง ลักษณะบุญส่ง, กรทิพย์ โต้ะสิงห์, สุมามาลย์ บันเทิง, มนัญญา ปางพรหม, อภิชาติ พรหมคนตรี, อิศระ มะศิริ. 2545. การพัฒนาเครือข่ายสถานีวิจัยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับ ประเทศไทย. *รายงานกรมพัฒนาส่งเสริมและพลังงาน*. กรุงเทพฯ.
- เสริม จันทร์ฉาย, จรุงแสง ลักษณะบุญส่ง. 2542. การจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูล ดาวเทียม. *รายงานกรมพัฒนาส่งเสริมและพลังงาน*. กรุงเทพฯ.
- อรรถพล ศรีประดิษฐ์ และเสริม จันทร์ฉาย. 2555. แบบจำลองแบบกึ่งเอมไพริคัลสำหรับคำนวณ PAR ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆในประเทศไทย. *เอกสารการประชุม (Proceeding) ศิลปการวิจัยและสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5 วันที่ 25-27 มกราคม พ.ศ.2555. มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม*.
- อรรถพล ศรีประดิษฐ์. 2555. การศึกษาความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่พืชใช้สังเคราะห์แสงที่สถานีวัด 4 แห่งในภูมิภาคหลักของประเทศไทย, *วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร*.
- อารีรัตน์ วรรณุช. 2549. การศึกษาการนำการสื่อสารความเป็นอันตรายของสารเคมีตามระบบ GHS มาใช้กับพนักงานดูแลสารเคมีในอาคารจัดเก็บวัตถุอันตราย, *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา*.
- Alex Pines, Claude Backendorf, Sergey Alekseev, Jacob G. Jansena, Frank R. de Gruijl, Harry Vrieling and Leon H.F. Mullenders. 2009. Differential activity of UV-DDB in mouse



- keratinocytes and fibroblasts: Impact on DNA repair and UV-induced skin cancer. *DNA Repair* 8: 153–161.
- Amir Hossein Refahi and Hossein Talkhabi. 2015. Investigating the effective factors on the reduction of energy consumption in residential buildings with green roofs. *Renewable Energy* 80: 595e603.
- Andrzej K., F.S. Elke, L. Ulrich and M. Zbigniew. 2009. Adaptation of the obligate CAM plant *Clusia alata* to light stress: metabolic responses. *J. Plant Physiol.* 166: 1914-1922.
- Anstrom A. 1929. On the atmospheric transmission of sun radiation and on dust in the air. *Geografis. Annal* 2: 156-166.
- Beadle, C.L. 1993. Growth analysis. In (Hall, D.O. *et al.* Ed.) *Photosynthesis and Production in the Changing Environment: A Field and Laboratory Manual*. Chapman & Hall : London.
- Bermejo P., Francisco Javier Pino and Rosa F.. 2010. Solar absorption cooling plant in Seville. *Solar Energy* 84: 1503–1512.
- Bruce K. Armstrong and Anne Kricker. 2001. The epidemiology of UV induced skin cancer. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 63: 8–18.
- Calatroni A., Ferrandi A., Rosso G.. 2012. Solarimeter vs. Pyranometer. An analytical comparison between the two irradiation sensors technologies.
- Cameron W. and Thirimachos B.. 2015. Accurate eye localization in the Short Waved Infrared Spectrum through summation range filters. *Computer Vision and Image Understanding* 000: 1–14.
- Clicq D., Heinisch S., Rocca J.L., Cabooter D., Gzil P. and Desmet G.. 2007. Use of the kinetic plot method to analyze commercial high-temperature liquid chromatography systems II. Practically constrained performance comparison. *Journal of Chromatography A*, 1146: 193–201.
- Dines, William Henry. Anemometer. 1911 *Encyclopaedia Britannica*.
- Eck, T.E., Dye., D.G. 1991. Satellite estimation of incident photosynthetically active radiation using ultraviolet reflectance. *Remote Sensing of Environment* 38: 135-146.
- Eleftheria A. and Phil J.. 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment* 43: 480–493.

- Fioretti R., Palla A., Lanza L.G. and Principi P.. 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment* 45: 1890e1904.
- Galtier S., Nez F., Julien L. and Biraben F.. 2014. Ultraviolet continuous-wave laser source at 205 nm for hydrogen spectroscopy. *Optics Communications* 324: 34–37.
- Georgios K., Annegret T. and Jo D.. 2011. The role of Green Roofs on Reducing Heating and Cooling Loads: a Database across Chinese Climates. *Procedia Environmental Sciences* 11. 604 – 610.
- Gomez F., Gaja E. and Reig A.. 1998. Vegetation and climatic changes in a city. *Ecological Engineering* 10: 355–360.
- Gueymard, C.A., Myers< D.R. 2008. Solar radiation measurement: Progress in radiometer for improved modeling. In V. Badescu. (Ed.) *Modeling Solar Radiation at the Earth Surface*, Springer, Berlin.
- H.F. Castletona, V. Stovin, S.B.M. Beckc and J.B. Davisonb. 2010. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings* 42: 1582–1591.
- Hideki T. and Masakazu M.. 2007. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment* 42: 2971–2979.
- Hongbing L., Xiaoling L., Bruce C. Anderson, Ke Zhang, Xiaoting Li, Bo H., Mei L., You M., Liangqian F., Qiong S., Fenghui C. and Mingshu J.. 2015. Carbon sequestration potential of green roofs using mixed-sewagesludge substrate in Chengdu World Modern Garden City. *Ecological Indicators* 49: 247–259.
- Hosseini M. and Akbari H.. 2015. Effect of Cool Roofs on Commercial Buildings Energy Use in Cold Climates. S0378-7788: 30025-6.
- Jaijai, S., Sripradit, A., Wattan, R., Buntoung S., Pattarapanichai, S., Masiri, I., 2013. A simple semi-empirical model for the estimation of photosynthetically active radiation from satellite data in the tropics. *International Journal of Photoenergy* 1-6.
- Jaijai, S., Wattan, R., 2011. Development of a model for the estimation of photosynthetically active radiation from geostationary satellite data in tropical environment. *Remote Sensing of Environment* 115: 1680-1693.
- Jeroen M., Dirk R. and Martin H.. 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?. *Landscape and Urban Planning* 77: 217–226.

- Jian-feng L., Onyx W.H. Wai, Y.S. Li, Jie-min Zhan, Y. Alexander Ho, James Li and Eddie Lam. 2010. Effect of green roof on ambient CO<sub>2</sub> concentration. *Building and Environment* 45: 2644e2651.
- Joanna U. 2013. An analysis of the extinction of direct solar radiation on Mt. Kasprowy Wierch, Poland. *Atmospheric Research* 134: 175–185.
- Kirk, J.T.O., 1994. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystem. Combridge University Press, Cambridge, UK.
- Kozlowski, T.T. , P.J.Kramer and S.G. Pallardy. 1991. The Physiological Ecology of Woody Plants. Academic Press, Inc., London.
- Kosareo L. and Ries R. 2007. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and Environment* 42: 2606–2613
- Laake V., P.E., Sanchez-Azofeifa, G.A. 2004. Simplified atmospheric radiation transfer modeling for estimating incident PAR using MODIS atmosphere products. *Remote Sensing of Environment* 91: 98-113.
- Leaf Area index [online], accessed October 14, 2014, available from: <http://gardenwithinsight.com/help100/00000424.htm>
- Leckner B., 1978. The spectral distribution of solar radiation at the earth's surface – Elements of a model. *Solar Energy* 20: 143-150.
- Ludwig T.. 2012. Quantum field energy sensor based on the Casimir effect. *Physics Procedia* 38: 54 – 65.
- M.A. Liberman, M.F. Ivanov and A.D. Kiverin. 2015. Radiation heat transfer in particle-laden gaseous flame: Flame acceleration and triggering detonation. *Acta Astronautica* 115: 82–93.
- McCree. K.J., 1972 Test of current definitions on photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. *Agricultural and Forest Meteorology* 10: 443-453.
- Meteorological Instruments, W.E. Knowles Middleton and Athelstan F. Spilhaus. 1953. Third Edition revised. University of Toronto Press. Toronto.
- Nyuk Hien Wonga, Yu Chena, Chui Leng Ongb and Angelia Siab. 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment* 38: 261–270.

- Paltridge, G.W., C.M.R., 1979. Radiative Processes in Meteorology and Climatology. Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Peter N. Nelson, Henry A. Ellis and Nicole A.S. White. 2015. Solid state <sup>13</sup>C-NMR, infrared, X-ray powder diffraction and differential thermal studies of the homologous series of some mono-valent metal (Li, Na, K, Ag) n-alkanoates: A comparative study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 145: 440–453.
- Renterghem T.V. and Botteldooren D.. 2011. In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Building and Environment* 46: 729e738.
- Rowe B. 2011. Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution* 159: 2100-2110.
- Rubio, M.A., Lopez, G., Tovar, J., Pozo, D., Batlles F.J. 2005. The use of satellite measurement to estimate photosynthetically active radiation. *Physics and chemistry of the Earth* 30: 159-164.
- Sansotera M., Navarrini W., Talaemashhadi S. and Venturini F.. 2013. Italian WEEE management system and treatment of end-of-life cooling and freezing equipments for CFCs removal. *Waste Management* 33: 1491–1498.
- Sindhuja H.N. and Shylaja M.D.. 2014. Removal notice to “Protective effect of *Daucus carota* against UV–DMBA induced skin cancer in mice”. *Chemico-Biological Interactions* 219: R1.
- Schrader S. and Boning M.. 2006. Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans. *Pedobiologia* 50: 347—356.
- Vigroux, E. 1953. Contribution a d’etude experiment de l’absorption de l’ozone. *Annale de Physiques* 8: 709-762.
- Wallace, and J.M., Hobbs, P.V. 1997. Atmospheric Science. An Introduction, Academic Press London.
- Wannaz, E.D., H.A. Carreras, Perez, C.A. and M.L. Pignata. 2006. Assessment of heavy metal accumulation in two species of *Tillandsia* in relation to atmospheric emission sources in Argentina. *Sci. Total Environ.* 361: 267-278.
- Wonga N, Chena Y, Ongb C and Siab A. 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment* 38: 261 – 270.

- Yang J., Yu Q. and Gong P. 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment* 42: 7266–7273.
- Yao W., Li Z., Zhao Q., Lu Y. and Lu R.. 2015. A new anisotropic diffuse radiation model. *Energy Conversion and Management* 95: 304–313.
- Yaseen M., Singh M., Singh U.B., Singh S. and Ram M.. 2013. Optimum planting time, method, plant density, size of planting material, and photo synthetically active radiation for safed musli (*Chlorophytum borivilianum*). *Industrial Crops and Products* 43: 61–64.
- Zhanga X., Shena L., Tamb V. and Wing Yan Leea W. 2012. Barriers to implement extensive green roof systems: A Hong Kong study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 314–319.
- zhu J. and kuang Y.. 2015. cusp solitons to the long-short waves equation and the  $\hat{\mathcal{O}}^-$ -dressing method. reports on mathematical physics.

## ภาคผนวก

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารฟ้า เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ )	
	พื้นที่วางแผง	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	785	334
2	756	315
3	768	354
4	876	264
5	861	345
6	851	316
7	1040	645
8	1044	524
9	1042	521
10	1143	549
11	1139	598
12	1128	598
13	1218	689
14	1238	743
15	1234	331
16	1225	329
17	1224	732
18	1219	731
19	1215	645
20	1220	735
21	1234	734
22	1232	729
23	1224	689
24	1214	695
25	1219	690
26	1222	720
27	1224	721
28	1224	714
29	1225	721
30	1226	720

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารพาณิชย์ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ )	
	พื้นที่ว่างเปล่า	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1204	600
2	1198	544
3	1201	589
4	1202	598
5	1145	532
6	1148	538
7	1154	578
8	1189	546
9	1178	535
10	1165	545
11	1178	515
12	1186	575
13	1159	512
14	1168	522
15	1178	587
16	1172	562
17	1185	536
18	1184	545
19	1183	525
20	1172	523
21	1179	545
22	1158	536
23	1195	536
24	1202	525
25	1195	589
26	1126	575
27	1175	535
28	1165	545
29	1148	535
30	1185	575
31	1125	528

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารไฟฟ้า เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ )	
	พื้นที่วางแผง	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1181	320
2	1024	289
3	1089	275
4	1086	264
5	1057	272
6	1089	278
7	1113	325
8	1145	328
9	1181	395
10	1179	346
11	1175	324
12	1162	345
13	1145	259
14	1154	365
15	1172	345
16	1176	268
17	1181	324
18	1123	364
19	1128	358
20	1132	315
21	1146	375
22	1154	346
23	1159	385
24	1164	325
25	1175	346
26	1172	365
27	1168	325
28	1148	298
29	1169	278
30	1135	286



ตารางที่ 4 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารไฟฟ้า เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ )	
	พื้นที่ว่างเปล่า	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1102	257
2	1089	289
3	1126	395
4	1109	221
5	1103	208
6	1089	265
7	1086	275
8	1075	238
9	1065	302
10	1112	375
11	1120	390
12	1104	208
13	1095	254
14	1078	246
15	1058	267
16	1085	265
17	1067	241
18	1095	265
19	1121	232
20	1116	208
21	1079	246
22	1095	285
23	1062	274
24	1107	325
25	1117	201
26	1102	356
27	1089	320
28	1069	325
29	1078	352
30	1089	320
31	1082	356

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารพาณิชย์ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	
	พื้นที่ว่างเปล่า	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1205	301
2	1265	324
3	1274	326
4	1254	342
5	1265	352
6	1252	324
7	1278	351
8	1254	321
9	1295	314
10	1197	318
11	1252	359
12	1265	346
13	1235	325
14	1285	375
15	1252	368
16	1295	383
17	1286	380
18	1285	342
19	1197	375
20	1258	378
21	1265	362
22	1285	315
23	1265	364
24	1245	367
25	1275	358
26	1257	346
27	1269	372
28	1246	341
29	1248	365
30	1238	325
31	1249	346

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารไฟฟ้า เดือนกันยายน พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ )	
	พื้นที่วางแผง	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1198	197
2	1175	195
3	1184	178
4	1176	185
5	1189	198
6	1198	157
7	1192	185
8	1185	168
9	1186	182
10	1179	171
11	1198	168
12	1201	204
13	1209	242
14	1205	221
15	1195	172
16	1197	235
17	1179	224
18	1185	227
19	1168	235
20	1175	234
21	1185	228
22	1135	242
23	1168	194
24	1175	184
25	1185	152
26	1195	201
27	1198	208
28	1178	185
29	1179	125
30	1187	201

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารไฟฟ้า เดือนตุลาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ )	
	พื้นที่ว่างเปล่า	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1102	123
2	1120	134
3	1124	131
4	1119	132
5	1145	124
6	1146	154
7	1152	146
8	1134	165
9	1136	154
10	1142	155
11	1151	154
12	1145	168
13	1154	178
14	1089	102
15	1112	141
16	1116	164
17	1117	135
18	1120	134
19	1124	128
20	1139	154
21	1140	142
22	1105	147
23	1125	128
24	1127	135
25	1132	136
26	1138	138
27	1141	128
28	1136	129
29	1125	153
30	1136	147
31	1139	149

ตารางที่ 8 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารฟ้า เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	
	พื้นที่วางแผง	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1087	98
2	1057	102
3	1123	124
4	1128	114
5	1168	116
6	1154	105
7	1158	132
8	1156	145
9	1162	135
10	1164	150
11	1157	136
12	1135	126
13	1153	147
14	1156	152
15	1126	138
16	1135	112
17	1145	118
18	1158	127
19	1148	121
20	1157	125
21	1165	138
22	1158	142
23	1169	132
24	1161	124
25	1169	114
26	1170	152
27	1176	149
28	1175	147
29	1145	125
30	1169	128

ตารางที่ 9 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารไฟฟ้า เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ )	
	พื้นที่วางแผง	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1089	98
2	1101	96
3	1101	59
4	1121	159
5	1078	156
6	1068	154
7	1102	145
8	1072	156
9	1069	121
10	1057	123
11	1085	145
12	1101	104
13	1076	108
14	1054	129
15	1058	124
16	1065	104
17	1058	106
18	1089	151
19	1056	145
20	1098	175
21	1082	154
22	1068	156
23	1079	125
24	1072	128
25	1203	158
26	1126	161
27	1085	129
28	1087	125
29	1086	155
30	1095	142
31	1091	125

ตารางที่ 10 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคาร เดือนมกราคม พ.ศ. 2559

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ ( $W/m^2$ )	
	พื้นที่วางแผง	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1175	94
2	1178	82
3	1180	73
4	1162	112
5	1154	117
6	1175	116
7	1185	105
8	1173	111
9	1128	89
10	1156	86
11	1175	85
12	1165	84
13	1169	82
14	1134	83
15	1169	92
16	1172	84
17	1176	79
18	1149	94
19	1158	74
20	1162	83
21	1129	92
22	1135	94
23	1146	81
24	1128	86
25	1182	94
26	1168	110
27	1185	117
28	1129	101
29	1128	98
30	1145	94
31	1172	93

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคารพาณิชย์ เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	
	พื้นที่ว่างเปล่า	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1175	94
2	1158	89
3	1181	86
4	1168	84
5	1172	82
6	1168	75
7	1188	108
8	1165	72
9	1175	89
10	1158	82
11	1174	95
12	1173	89
13	1125	75
14	1126	72
15	1167	85
16	1146	89
17	1128	93
18	1168	91
19	1151	86
20	1173	84
21	1180	79
22	1136	78
23	1158	83
24	1157	92
25	1168	83
26	1162	81
27	1169	104
28	1149	87
29	1142	82



ตารางที่ 12 แสดงปริมาณรังสีอาทิตย์บนหลังคาอาคาร เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

วันที่	ปริมาณรังสีอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )	
	พื้นที่วางแผง	ใต้พื้นที่หลังคาเขียว
1	1208	135
2	1268	146
3	1273	126
4	1258	149
5	1264	153
6	1263	148
7	1243	156
8	1232	167
9	1257	169
10	1229	172
11	1274	176
12	1270	169
13	1205	158
14	1264	170
15	1236	153
16	1265	148
17	1267	168
18	1279	167
19	1254	169
20	1278	164
21	1269	175
22	1274	165
23	1280	163
24	1282	180
25	1276	169
26	1268	164
27	1273	157
28	1269	158
29	1261	168
30	1276	172
31	1278	174

ตารางที่ 13 แสดงค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น *T.Cotton Candy*

เดือน / ปี	ดัชนีพื้นที่ผิวใบของต้น <i>T.Cotton Candy</i> (%)
เมษายน พ.ศ. 2558	14.81
พฤษภาคม พ.ศ. 2558	16.05
มิถุนายน พ.ศ. 2558	16.05
กรกฎาคม พ.ศ. 2558	17.28
สิงหาคม พ.ศ. 2558	17.28
กันยายน พ.ศ. 2558	19.75
ตุลาคม พ.ศ. 2558	19.75
พฤศจิกายน พ.ศ. 2558	22.22
ธันวาคม พ.ศ. 2558	22.22
มกราคม พ.ศ. 2559	22.22
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559	22.22
มีนาคม พ.ศ. 2559	23.46

ตารางที่ 14 แสดงค่าน้ำหนักของต้น *T. Cotton Candy*

เดือน / ปี	น้ำหนักของต้น <i>T. Cotton Candy</i> (กรัม)
เมษายน พ.ศ. 2558	4.08
พฤษภาคม พ.ศ. 2558	5.34
มิถุนายน พ.ศ. 2558	7.87
กรกฎาคม พ.ศ. 2558	8.89
สิงหาคม พ.ศ. 2558	13.69
กันยายน พ.ศ. 2558	18.67
ตุลาคม พ.ศ. 2558	35.89
พฤศจิกายน พ.ศ. 2558	39.41
ธันวาคม พ.ศ. 2558	40.06
มกราคม พ.ศ. 2559	45.87
กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559	51.28
มีนาคม พ.ศ. 2559	53.88

ตารางที่ 15 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนเมษายน พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.0	28.8	76.3	ซอ	5.30
2	0.0	29.1	71.2	น	1.00
3	0.0	29.1	71.0	นอ	0.90
4	0.0	28.9	71.5	นอ	3.00
5	0.0	29.6	69.3	นอ	1.60
6	0.0	29.4	69.2	น	0.80
7	0.0	29.6	69.5	นนอ	1.40
8	3.8	29.3	68.5	นนอ	4.30
9	0.0	29.5	70.6	นอ	4.30
10	0.0	29.3	73.8	นอ	5.00
11	0.0	29.1	72.3	ซอ	2.40
12	0.0	28.7	74.1	นอ	4.00
13	1.4	29.5	72.3	นอ	5.60
14	27.6	27.7	82.8	อ	4.00
15	4.4	27.0	82.8	อ	4.40
16	0.0	28.8	74.7	นอ	7.00
17	0.0	28.7	75.7	นนอ	4.10
18	0.6	28.7	76.7	น	1.60
19	0.0	28.3	75.0	นอ	1.50
20	0.0	29.4	70.6	อ	1.60
21	0.0	29.9	72.9	นอ	1.90
22	0.0	28.9	75.9	อนอ	1.30
23	0.0	28.5	78.5	อ	2.80
24	0.0	28.3	79.0	อนอ	3.40
25	1.4	28.4	78.1	น	3.40
26	0.0	29.3	73.4	อ	3.10
27	0.4	28.4	76.9	อซอ	1.00
28	0.0	28.9	73.5	นอ	4.80
29	0.0	29.2	73.8	อซอ	2.50
30	46.2	27.0	85.3	นอ	4.00

ตารางที่ 16 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.0	28.6	74.8	อซอ	2.00
2	0.0	28.8	73.0	นนอ	1.50
3	7.2	28.1	81.8	ซว	1.50
4	0.0	28.6	75.6	อนอ	1.50
5	0.0	28.6	74.4	นนอ	1.60
6	0.0	28.7	78.4	อนอ	0.80
7	2.2	28.3	82.6	นนอ	0.80
8	0.0	29.3	74.8	ซซว	0.90
9	0.0	28.5	78.2	นนอ	1.90
10	0.0	28.9	77.4	ซซอ	1.80
11	3.6	28.7	79.3	อ	2.30
12	10.8	27.8	83.5	ซ	0.80
13	0.0	29.1	76.5	ซอ	1.50
14	9.6	27.7	83.6	อซอ	0.90
15	9.4	28.4	81.9	อ	1.50
16	76.6	28.6	79.6	นอ	1.10
17	0.0	28.5	77.7	ซ	1.50
18	0.0	28.8	79.1	อนอ	0.80
19	0.0	28.3	80.9	ซว	1.50
20	0.0	29.2	79.0	อซอ	1.60
21	0.0	30.3	75.1	ซว	0.80
22	3.6	28.8	81.7	ง	0.00
23	0.0	28.7	79.3	อ	0.80
24	4.0	28.3	81.1	น	1.00
25	0.0	28.9	75.1	ซซอ	2.10
26	0.0	28.4	76.6	ซ	2.00
27	65.2	27.0	84.4	ซซว	1.50
28	0.0	27.9	77.3	อ	1.30
29	1.4	27.1	86.4	ซอ	0.80
30	0.0	28.0	83.1	นอ	1.40
31	32.4	26.9	86.3	ซว	0.80

ตารางที่ 17 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.0	27.0	80.0	ซว	0.80
2	0.0	27.7	82.6	อซอ	1.50
3	0.0	28.5	76.9	นอ	1.60
4	0.0	29.0	73.1	นอ	3.00
5	0.0	28.4	79.3	นอ	1.30
6	0.0	28.4	79.5	นนอ	1.40
7	12.0	27.8	84.3	ง	0.00
8	0.4	27.5	86.8	ซ	1.60
9	5.6	27.6	84.1	ซว	0.40
10	3.2	28.5	80.0	วซว	1.10
11	0.0	28.4	80.6	น	4.40
12	0.0	27.1	87.2	ซอ	3.00
13	14.2	27.4	82.1	น	1.90
14	0.0	27.7	81.1	วซว	2.00
15	0.0	27.5	81.2	ซ	3.10
16	38.8	26.1	87.9	ซอ	0.90
17	T	26.4	83.8	ซ	1.50
18	0.0	28.1	76.7	ซซอ	1.00
19	0.0	28.1	81.6	น	1.60
20	0.0	26.6	89.2	ซ	3.40
21	0.0	28.5	76.9	ซ	1.30
22	0.0	29.1	77.4	วซว	1.90
23	0.0	29.1	76.2	ซ	3.80
24	0.0	29.4	74.8	ซซอ	3.50
25	0.0	29.1	76.6	ซ	2.10
26	0.0	29.6	77.0	ซอ	1.50
27	0.0	29.9	74.5	อซอ	1.60
28	0.0	29.3	77.7	นอ	1.60
29	0.0	27.7	81.6	วนว	0.90
30	0.0	29.1	74.7	วซว	1.90

ตารางที่ 18 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.0	29.4	73.1	วซว	3.30
2	0.0	29.3	74.8	ซว	1.10
3	5.2	27.7	81.9	วซว	4.00
4	0.0	28.2	78.6	ว	5.30
5	0.0	28.5	79.4	วซว	1.50
6	25.0	28.6	80.2	อ	2.00
7	29.8	25.2	93.4	ซซว	1.30
8	0.6	26.8	87.8	ซ	1.60
9	0.0	28.5	74.5	วนว	3.60
10	0.0	28.7	74.2	ว	3.80
11	1.4	28.8	76.1	ว	3.90
12	2.4	27.9	82.0	ซซว	3.50
13	27.5	26.8	85.3	ซ	3.00
14	0.8	26.5	88.0	ซซว	1.80
15	0.0	27.9	81.5	ซ	1.10
16	0.0	28.2	80.9	ซซว	0.80
17	0.0	29.0	77.9	อซอ	1.60
18	6.2	28.0	85.6	ซว	1.50
19	12.6	26.2	88.3	ซว	1.60
20	0.0	28.9	74.2	ซ	5.90
21	0.0	26.7	81.9	อนอ	1.80
22	4.0	28.0	80.2	นอ	2.60
23	4.2	27.3	84.8	ซว	0.80
24	0.0	28.3	79.1	น	2.50
25	0.0	28.3	74.5	ซว	1.60
26	0.0	28.2	77.2	วซว	2.30
27	7.0	27.4	79.3	ซอ	1.60
28	0.0	27.5	80.8	อซอ	0.80
29	15.0	26.6	85.7	นอ	1.90
30	0.0	27.0	83.6	ซซว	0.80
31	0.6	27.4	83.1	ซ	0.80

ตารางที่ 19 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.8	26.6	84.4	วซว	2.30
2	2.4	26.8	83.8	นว	1.80
3	1.6	26.7	83.6	ซซว	1.40
4	20.6	26.5	84.6	นว	2.60
5	29.6	25.9	85.3	อซอ	3.00
6	3.8	25.5	89.0	ซซว	1.30
7	31.6	24.6	95.8	ซซว	1.30
8	13.6	25.7	90.2	วซว	0.90
9	2.4	27.8	79.6	วนว	3.00
10	2.6	28.2	78.2	วซว	2.30
11	4.4	27.4	85.5	วซว	1.80
12	0.0	27.7	80.5	ซซว	1.80
13	0.6	27.3	83.5	วซว	2.40
14	0.0	27.8	82.0	ซซอ	1.60
15	0.0	28.0	81.3	ซอ	1.30
16	0.0	27.5	82.4	วนว	0.40
17	34.4	27.7	79.9	ซซอ	1.90
18	3.2	28.3	80.3	ซซว	2.00
19	9.2	27.3	85.7	นอ	2.50
20	17.2	27.6	82.5	ซว	1.60
21	0.6	27.1	83.2	ซซอ	1.40
22	14.0	27.0	85.8	ซอ	2.50
23	0.0	27.7	77.7	น	2.30
24	18.6	27.2	85.1	ซ	2.30
25	0.0	26.7	83.7	ซ	1.90
26	27.0	25.7	86.6	ซอ	0.80
27	0.0	27.3	80.9	นอ	1.40
28	0.0	28.2	78.2	นอ	1.50
29	17.2	27.2	83.5	นอ	1.00
30	11.8	27.2	84.6	ซซอ	1.00
31	0.0	28.0	81.4	ซ	1.10



ตารางที่ 20 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนกันยายน พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.0	28.4	81.3	ซอ	2.30
2	0.0	28.4	79.6	อซอ	0.40
3	46.6	26.8	90.1	อซอ	0.50
4	0.0	28.0	82.3	นนว	0.80
5	17.0	26.7	85.6	ง	0.00
6	0.0	27.6	82.3	นนอ	1.10
7	2.0	27.8	82.7	ซอ	1.50
8	0.0	28.5	76.9	ว	2.50
9	0.0	26.8	83.9	ซ	0.90
10	0.0	26.3	86.1	อซอ	1.90
11	10.4	27.0	83.8	อ	2.30
12	38.6	27.2	83.0	ซอ	1.10
13	2.6	27.9	81.9	ซว	1.10
14	0.2	27.8	80.6	นอ	4.00
15	21.5	26.1	85.8	วซว	6.90
16	23.0	25.1	84.0	ซ	1.60
17	5.2	26.2	87.9	ซซว	3.30
18	0.0	28.1	84.4	นอ	4.60
19	0.0	28.9	82.0	นอ	2.40
20	0.0	28.7	78.9	นนอ	1.30
21	0.0	28.9	74.4	นอ	2.00
22	13.6	28.3	78.3	นนอ	3.40
23	0.0	28.2	77.7	วซว	2.60
24	0.0	28.2	75.1	ซว	4.50
25	0.0	27.5	80.0	ว	5.00
26	0.0	28.1	76.0	วซว	1.00
27	5.0	26.9	84.1	วซว	4.00
28	0.0	27.6	78.1	วซว	3.30
29	2.6	26.9	88.2	นอ	2.40
30	7.2	27.1	81.0	ซซอ	0.90

ตารางที่ 21 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.0	27.5	81.0	ซ	3.50
2	8.8	28.1	81.6	ซ	1.60
3	0.0	28.4	80.1	ซ	1.10
4	0.0	27.8	83.5	ซว	0.80
5	0.0	27.7	78.9	ซซอ	2.10
6	0.0	27.6	81.0	อนอ	1.60
7	0.0	28.1	80.7	อนอ	0.40
8	9.2	28.0	81.5	อนอ	1.60
9	15.2	26.6	87.8	วซว	2.00
10	1.0	27.1	84.1	นอ	0.80
11	16.6	26.6	86.3	อนอ	1.10
12	0.0	27.6	79.0	น	0.80
13	6.6	27.3	85.1	อ	1.40
14	0.8	27.3	87.9	อนอ	1.10
15	3.4	27.8	81.9	นอ	2.50
16	0.0	27.3	84.4	นอ	2.10
17	0.0	26.8	87.6	อซอ	1.00
18	14.4	27.6	84.5	นอ	1.60
19	24.4	27.7	84.0	วนว	0.80
20	0.0	28.5	78.2	ซ	2.30
21	0.0	28.2	82.2	ซอ	0.80
22	0.0	28.7	80.7	ง	0.00
23	3.2	27.5	27.5	ซอ	1.50
24	0.6	27.3	85.9	น	2.10
25	2.6	27.8	84.3	อซอ	2.30
26	4.6	27.7	86.2	น	2.50
27	15.6	25.8	91.7	นนว	0.80
28	6.2	27.1	81.5	อนอ	2.80
29	13.2	27.5	81.9	นอ	2.50
30	0.6	26.9	84.9	น	2.10
31	7.8	26.7	86.1	นอ	1.50

ตารางที่ 22 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	3.0	27.5	83.2	นอ	3.10
2	2.8	26.4	90.3	นนว	3.10
3	11.4	26.6	88.5	อ	1.80
4	12.2	26.3	91.4	น	2.00
5	53.4	26.4	89.1	น	1.00
6	1.8	25.9	90.3	น	1.50
7	1.8	26.3	88.5	นอ	1.90
8	6.0	27.2	84.3	น	2.10
9	10.0	27.2	84.8	นอ	1.40
10	5.2	27.5	83.4	อซอ	1.90
11	3.0	27.0	86.2	นอ	2.40
12	0.0	27.6	83.8	นนอ	2.50
13	57.8	26.3	88.2	นอ	2.00
14	1.8	27.1	85.6	นอ	2.40
15	2.8	27.2	87.1	น	2.10
16	0.4	27.6	82.5	นอ	2.30
17	0.8	27.9	78.7	นอ	1.90
18	10.6	27.5	86.6	นนว	2.50
19	14.8	28.0	84.0	นนอ	5.60
20	4.2	26.7	88.0	นอ	1.30
21	14.4	27.5	85.5	น	1.80
22	33.0	26.0	93.5	นนว	3.00
23	7.4	26.8	89.7	นนอ	4.10
24	15.4	26.2	92.1	ว	1.50
25	1.4	27.2	87.6	น	2.00
26	29.4	26.9	86.8	นนว	3.80
27	1.2	26.9	85.0	อ	2.80
28	8.4	26.8	86.4	อ	4.90
29	14.2	28.0	83.4	ซอ	4.60
30	2.6	26.2	91.6	น	1.80

ตารางที่ 23 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนธันวาคม พ.ศ. 2558

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	2.0	26.6	87.5	นค	0.90
2	0.0	28.1	81.3	อนอ	3.10
3	3.0	28.0	82.0	น	3.50
4	5.4	27.2	85.8	อนอ	4.60
5	16.4	27.8	83.0	อนอ	2.80
6	9.8	27.7	85.2	นอ	1.90
7	1.2	28.0	82.6	อ	4.60
8	21.2	27.6	87.1	อนอ	6.10
9	0.0	27.1	88.2	นนอ	2.00
10	0.0	27.6	85.5	น	2.30
11	0.0	28.3	82.5	นอ	3.10
12	1.5	28.4	81.0	ซอ	2.50
13	0.0	28.4	81.7	อ	2.40
14	0.0	28.0	80.8	นอ	3.90
15	0.0	27.7	80.0	นนอ	2.00
16	1.2	27.7	77.4	อ	2.50
17	12.2	26.1	88.2	อซอ	4.50
18	4.2	25.4	90.2	นนอ	4.10
19	0.4	26.4	81.8	อนอ	1.80
20	0.0	26.2	82.8	น	1.30
21	0.0	26.2	85.3	น	3.00
22	0.0	26.6	86.8	น	2.50
23	0.0	25.7	91.0	นนอ	1.60
24	0.0	27.5	81.7	นอ	2.30
25	0.0	27.9	82.2	อนอ	5.00
26	0.0	28.4	74.7	นนอ	3.80
27	0.0	28.0	76.4	น	5.50
28	1.8	28.0	79.3	อ	7.40
29	2.0	27.8	75.1	นอ	8.00
30	0.0	27.6	72.3	อ	6.30
31	4.6	27.4	75.3	น	4.30

ตารางที่ 24 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนมกราคม พ.ศ. 2559

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.4	28.3	73.2	น	5.10
2	0.0	28.1	74.8	นอ	4.90
3	0.0	27.4	82.2	นอ	2.90
4	0.0	27.6	82.3	นนอ	3.30
5	0.0	27.7	81.6	นอ	3.00
6	0.0	28.0	82.6	น	3.00
7	0.0	28.0	81.7	น	3.00
8	0.0	27.7	81.0	อ	1.50
9	0.0	28.0	78.4	นอ	2.00
10	0.0	28.3	76.9	น	5.00
11	0.0	27.6	81.1	น	4.10
12	0.0	27.8	80.3	น	2.50
13	28.2	27.9	78.4	น	3.50
14	0.6	27.5	85.5	น	3.10
15	87.6	27.6	85.1	นอ	2.40
16	71.0	26.6	89.7	นอ	1.40
17	4.2	27.5	86.3	อ	1.90
18	0.0	27.8	85.0	ซอ	2.10
19	0.0	28.7	79.6	นอ	5.40
20	0.0	28.6	76.6	นอ	2.00
21	1.4	28.6	76.1	อนอ	3.90
22	0.0	27.5	85.0	นอ	3.60
23	0.0	27.8	79.6	นนอ	3.00
24	0.4	28.3	77.1	อซอ	7.00
25	27.8	27.9	78.6	นอ	9.40
26	17.6	26.3	85.2	น	8.00
27	22.2	27.0	87.9	อนอ	5.60
28	33.5	27.8	87.2	อ	5.80
29	12.8	27.8	85.7	นอ	3.00
30	0.0	27.5	83.7	นนอ	2.80
31	0.0	27.8	81.0	นอ	2.30

ตารางที่ 25 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.0	28.1	77.1	นอ	5.80
2	1.8	27.7	78.2	นอ	3.80
3	0.0	28.2	75.8	อนอ	5.30
4	2.6	28.0	78.1	นนอ	8.10
5	3.4	27.9	82.5	นอ	6.80
6	1.4	27.7	83.0	อซอ	5.10
7	1.0	27.5	77.1	อ	7.80
8	1.2	27.1	69.0	อ	5.30
9	0.0	27.0	70.7	อนอ	3.90
10	0.0	27.2	78.2	อนอ	5.40
11	0.0	27.8	80.9	อ	5.60
12	0.0	28.3	79.4	อ	7.90
13	0.0	28.6	79.9	นอ	3.90
14	0.0	28.3	81.0	นอ	5.30
15	0.0	28.7	79.7	นอ	4.50
16	0.0	28.4	75.2	น	6.00
17	0.0	28.1	72.5	อนอ	6.80
18	24.6	27.5	78.1	นอ	7.00
19	0.0	27.7	82.5	นอ	6.10
20	0.0	27.1	81.6	นอ	4.30
21	0.0	27.4	73.6	อซอ	6.80
22	0.0	27.4	72.3	อ	5.90
23	0.0	27.7	76.8	นอ	5.10
24	0.0	27.7	75.5	นอ	5.30
25	0.0	27.9	73.9	อนอ	9.90
26	3.4	28.1	72.3	อ	9.90
27	0.0	27.8	79.8	นอ	3.80
28	0.0	28.0	77.6	อซอ	3.80
29	0.0	28.3	77.1	อ	7.80

ตารางที่ 26 แสดงสภาพภูมิอากาศประจำเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

วันที่	ปริมาณฝน (ม.ม.)	อุณหภูมิ เฉลี่ย (ซ)	ความชื้น เฉลี่ย (%)	ลม	
				ทิศทางเฉลี่ย	ความเร็วเฉลี่ย (Knot)
1	0.0	27.9	76.5	นอ	6.40
2	0.0	27.8	76.3	นอ	3.80
3	0.0	28.2	75.3	อ	9.60
4	0.0	28.4	74.8	นอ	8.30
5	0.0	28.1	80.0	นอ	3.30
6	0.0	28.7	80.1	นอ	6.10
7	0.0	28.8	76.7	นอ	8.40
8	0.0	28.6	74.9	นอ	4.60
9	0.0	28.2	77.0	นอ	2.80
10	0.0	28.0	78.7	อ	1.40
11	0.0	28.0	77.4	น	5.50
12	0.6	29.1	72.2	อ	5.40
13	0.0	29.1	80.0	อนอ	3.40
14	0.0	28.8	79.4	นนอ	2.00
15	0.0	28.4	76.3	นอ	2.60
16	0.0	28.9	73.3	นอ	3.60
17	0.0	28.6	74.1	นนอ	4.10
18	0.0	28.8	74.6	นอ	1.50
19	0.0	28.6	78.5	นอ	1.40
20	0.0	28.2	78.2	นนอ	1.10
21	0.0	28.5	75.4	นนอ	2.60
22	0.0	28.6	77.3	นนอ	4.10
23	0.0	30.2	75.1	นอ	0.80
24	0.0	29.0	78.3	อ	3.80
25	0.0	29.0	73.2	น	2.40
26	0.0	29.3	74.7	นอ	5.10
27	0.0	29.5	70.5	นอ	6.40
28	0.0	29.2	75.0	นอ	6.40
29	0.0	29.0	73.8	นอ	6.30
30	0.0	29.5	70.0	อ	4.60
31	0.0	28.8	71.9	นอ	4.10

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นายศุภศักดิ์ หนูมาก

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510920012

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สาขาเกษตรศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนอุดหนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน - สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (EPPO)

ผลงานทางวิชาการที่นำเสนอในงานประชุมวิชาการ

Noomak. S., Taweekun. J., Techato. K. (2016). Reduction of Insolation through Air Plant Green Roof (AECE-2015) May. 13-14, 2015 Kuala Lumpur (Malaysia)

Noomak. S., Taweekun. J., Techato. K. (2016). The Annual Trend of Solar Radiation Reduction through the Air Plant Green Roof in the South of Thailand (AECE-2016) Jan. 5-6, 2016 Kuala Lumpur (Malaysia)