



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการ)

ปริญญา

นวัตกรรมการ

เทคโนโลยีทางการ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การออกแบบระบบเก็บกักน้ำค้างเพื่อนำมาใช้เป็นระบบน้ำของสวนหลังคา

Design of a Dew Collection System for Roof Garden Irrigation

นามผู้วิจัย นายชัชวาล พันธการ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ พาสินี สุนากร, M.Arch.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์โสภณ วิศิษฐ์ศักดิ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สืบศิริ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การออกแบบระบบเก็บกักน้ำค้างเพื่อนำมาใช้เป็นระบบน้ำ

ของสวนหลังคา

Design of a Dew Collection System for Roof Garden Irrigation

โดย

นายชัชวาล พันธราษฎร์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการอาคาร)

พ.ศ. 2556

ชัชวาล พันธางกูร 2556: การออกแบบระบบเก็บกักน้ำค้างเพื่อนำมาใช้เป็นระบบน้ำของสวนหลังคา
ปริญญาสาปฏิตกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการอาคาร) สาขานวัตกรรมการอาคาร ภาควิชา
เทคโนโลยีทางอาคาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์พาสินี สุนากร, M.Arch.
142 หน้า

ภูมิอากาศในประเทศไทยมีความชื้นสัมพัทธ์ 30-100% ตลอดทั้งปี แนวทางการนำน้ำจากการควบแน่น
ของไอน้ำในอากาศสวนกลับมาใช้ใหม่ในระบบน้ำของสวนหลังคาจึงเป็นแนวทางที่เป็นไปได้ งานวิจัยครั้งนี้จึง
เป็นการทดลองการออกแบบแผ่นวัสดุเพื่อเก็บรวบรวมน้ำค้างมาใช้ในการให้น้ำกับสวนหลังคา โดยใช้แผ่น
โลหะอลูมิเนียมอะโนไดซ์ทำการทดสอบคุณสมบัติในการควบแน่นไอน้ำ เนื่องจากแผ่นโลหะอลูมิเนียมอะโน
ไดซ์มีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อน 0.84 ซึ่งเมื่อเทียบกับวัสดุทั่วไปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสี
ความร้อนที่สูงกว่าวัสดุทั่วไปตามท้องตลาดซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาทดลอง โดยใช้ระดับความสูงและการวาง
แผ่นวัสดุในแนวตั้งฉากและแนวนอนทดสอบการเกิดปริมาณน้ำค้าง

ผลการทดลองพบว่า การทดสอบแผ่นโลหะอลูมิเนียมอะโนไดซ์ขนาด 0.50 x 0.50 เมตรหนา 0.01
มิลลิเมตรวางแนวระนาบความสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร กักเก็บน้ำค้างจากแผ่นวัสดุได้ 50 ลูกบาศก์
เซนติเมตรต่อคืน (200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตร) การทดสอบแผ่นโลหะอลูมิเนียมอะโนไดซ์ขนาด
0.50 x 0.50 เมตรหนา 0.01 มิลลิเมตรวางแนวตั้งฉากกับสนามหญ้ากักเก็บน้ำค้างจากแผ่นวัสดุได้ 15 ลูกบาศก์
เซนติเมตรต่อคืน (60 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตร) อุณหภูมิผิวของแผ่นวัสดุแสดงให้เห็นว่าการวางแผ่น
วัสดุในแนวตั้งฉากจะรับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่าในช่วงเวลากลางวัน และคายความร้อนออกช้า
กว่าในช่วงเวลากลางคืน ส่วนการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบจะรับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ได้มากกว่าใน
ช่วงเวลากลางวันและคายความร้อนออกได้เร็วกว่าในช่วงเวลากลางคืน

แนวทางการออกแบบในขั้นต่อไปจึงนำลักษณะการวางแผ่นวัสดุทั้งสองรูปแบบมาปรับใช้โดยที่
ออกแบบการวางแผ่นวัสดุแนวตั้งฉากในเวลากลางวันเพื่อลดอุณหภูมิผิวที่สะสมและปรับการวางแผ่นวัสดุแนว
ระนาบในช่วงเย็นถึงกลางคืน การทดสอบแผ่นโลหะอลูมิเนียมอะโนไดซ์ขนาด 0.50 x 0.50 เมตรหนา 0.01
มิลลิเมตร กักเก็บน้ำค้างจากแผ่นวัสดุได้ 60 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อคืน (240 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตร)
ฉะนั้นการวางแผ่นวัสดุในแนวตั้งฉากในตอนกลางวันสลับกับการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบในตอนกลางคืน
ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุลดลงต่ำในช่วงเย็น ทำให้การคายรังสีความร้อนออกจากแผ่นวัสดุทำได้เร็วในตอน
กลางคืนและอุณหภูมิผิวลดลงถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างได้อย่างรวดเร็ว

ลายมือชื่อผู้สมัคร

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Chatchawan Phanthangkul 2013: Design of a Dew Collection System for Roof Garden Irrigation. Master of Architecture (Building Innovation), Major Field: Building Innovation, Department of Building Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Pasinee Sunakorn, M.Arch, 142 pages.

In Thailand, the relative humidity is in the range of 30% to 100% for entire of the year. Therefore, the idea of capturing water from vapor condensation for roof garden irrigation purpose is applicable. In this research, the experiment covers the design of material surface in order to collect the dew for watering the roof garden. By using Aluminum Anodize plate, this material was tested the property for vapor condensation because Aluminum Anodize plate has the exothermic coefficient at 0.84. This material, Aluminum Anodize plate, has higher exothermic level than other materials being available in the market which it is suitable for experiment. The height from the ground of this material and the direction of the material in both horizontal and vertical are variable for investigating amount of vapor condensation.

According to preliminary result from the research, the test of Aluminum Anodize plate with size of 0.5 x 0.5 meter and 0.01 meter thickness horizontally installed at the height of 0.5 meter from the grass generates the dew of 50 cc per night (equivalent to 200 cc per square meter). Meanwhile, the test of Aluminum Anodize plate with size of 0.5 x 0.5 meter and 0.01 meter thickness installed vertically on the ground generates the dew of 15 cc per night (equivalent to 60 cc per square meter). The temperature of the surface showed that the plate installed on the vertical direction has less endothermic reaction in daytime than the one put on the horizontal direction. However, if the plate is put on horizontal direction, it will receive more endothermic reaction than vertical one on daytime. At nighttime, the plate will also have more exothermic reaction than vertical plate.

According to the experiment, the design of using two different installations will be adapted in the next stage. The Aluminum Anodize plate is put on vertical direction on daytime in order to reduce the temperature on the material surface and it will be rotated to horizontal direction on nighttime. The test of Aluminum Anodize plate generates the dew of 60 cc per night (equivalent to 240 cc per square meter). Therefore, to put the plate on vertical direction on daytime and change to horizontal direction at nighttime lower the material temperature in the evening. It also creates faster exothermic reaction from the material at nighttime and reduces the temperature to dew point quicker.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาอย่างสูงยิ่งของ รองศาสตราจารย์พาสินี สุนากร ประธานกรรมการที่ปรึกษา กรุณาให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือ แก้ไข จุดบกพร่องต่างๆ เพื่อให้การศึกษาในครั้งนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา รวมถึงผู้เขียนตำรา เอกสารบทความต่างๆ ที่ผู้จัดทำได้ศึกษาค้นคว้าและนำมาอ้างอิงในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท ไรสา พร็อพเพอร์ตี้ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในหลักสูตรนี้

สุดท้ายนี้ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา เป็นอย่างสูง ที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุน การศึกษาด้วยความรัก ความห่วงใย และเป็นกำลังใจสำคัญให้แก่ผู้ศึกษามาโดยตลอด คุณค่าอันพึงมีจากการวิจัยฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชัชวาล พันธางกูร

กุมภาพันธ์ 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	40
ผลการทดสอบ	59
สรุปและข้อเสนอแนะ	104
สรุป	104
ข้อเสนอแนะ	106
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	107
ภาคผนวก	110
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	142

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การคำนวณความชื้นสัมพัทธ์จากปริมาณไอน้ำกับอุณหภูมิอากาศ	13
2	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของวัสดุ	15
3	ค่าการคายรังสีความร้อนโดยเฉลี่ยของวัสดุโลหะ	17
4	ค่าการดูดซับรังสีและค่าการคายรังสีของวัสดุโลหะประเภทอลูมิเนียม	18
5	ค่าการดูดซับรังสีและค่าการคายรังสีของวัสดุธรรมชาติ	19
6	ค่าการดูดซับรังสีและค่าการคายรังสีของวัสดุประดิษฐ์	20
7	คุณสมบัติการดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และการคายรังสีคลื่นยาวจากผิววัสดุในกรณีที่ผิววัสดุต่างกัน	21

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การควบแน่นแบบต่างๆ	7
2	การควบแน่นบนพื้นผิววัสดุ	9
3	Psychrometric Chart	10
4	กระบวนการควบแน่นเป็นหยดน้ำของไอน้ำในอากาศ	11
5	โครงสร้างระบบน้ำหยด	27
6	หัวน้ำหยดสำเร็จรูปให้ปริมาณการไหลหยดของน้ำต่างๆ กัน	30
7	ตัวอย่างหัวน้ำหยดและอุปกรณ์ประกอบระบบน้ำหยด	30
8	พืชพันธุ์ที่ใช้สำหรับสวนหลังคา	32
9	รูปตัดสวนหลังคาแบบ Extensive Roof Garden	36
10	ต้นแบบงานวิจัยเครื่องดักน้ำจากอากาศ	37
11	ผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยเครื่องดักน้ำจากอากาศ	37
12	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หน้า 1 มม.ขนาด 0.50x0.50 ม.	40
13	สถานที่ทำการทดลอง อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี	42
14	เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (HOBO H8 Data Logger)	42
15	เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Opus 200 Data Logger)	44
16	เครื่องวัดกระแสลม (KIMO VT 300)	46
17	ภาชนะกักเก็บและอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำ	47
18	การติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ Opus 200 ที่ผิววัสดุทั้งหมดรวม 2 จุดเพื่อเก็บอุณหภูมิอากาศผิว	48
19	ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดกระแสลม KIMO VT300	48
20	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หน้า 1 มม.ในระดับขนาดต่างๆ 0.50 ม., 0.75 ม. และ 1.00 ม.	51
21	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หน้า 1 มม.วางแนวระนาบและแนวดิ่งฉากกับพื้นหญ้า	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หน้า 1 มม.ประยุกต์การวางแนวระนาบในตอนกลางคืนและแนวตั้งฉากในตอนกลางวัน	53
23	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หน้า 1 มม.การวางแนวระนาบทำมุม 15 องศา ซ้อนชั้นความสูง 0.50 ม.	54
24	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หน้า 1 มม.การพับแผ่นวัสดุและวางแนวระนาบในตอนกลางคืนและปรับวางแนวตั้งฉากในตอนกลางวัน	55
25	การปรับรูปแบบการพับแผ่นวัสดุและการวางแนวระนาบและแนวตั้งฉากในแต่ละช่วงเวลา	56
26	รูปแบบหัวน้ำหยด	57
27	การวางแนวท่อประธานและท่อแขนงในแปลงทดลอง	57
28	พืชพรรณที่นำมาใช้ในแปลงทดลอง	58
29	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หน้า 1 มม.วางแนวระนาบในระดับต่างๆ 0.50 ม., 0.75 ม. และ 1.00 ม.	60
30	แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ต่อ 0.25 ตร.ม. ในการ วางแผ่นวัสดุในแนวระนาบที่ความสูง 0.50 ม. , 0.75 ม. และ 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้าช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	60
31	แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 0.50 ม., 0.75 ม. และ 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	62
32	แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 0.50 ม. และ 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	64
33	การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 0.50 ม. จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
34	แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ ในแนวระนาบในระดับความสูง 0.75 ม. จากพื้นสนามหญ้าช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	65
35	แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ ในแนวระนาบในระดับความสูง 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้าช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	66
36	Phychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในแนวระนาบในความสูง 0.50 ม., 0.75 ม. และ 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	67
37	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. วางแนวระนาบในระดับ 0.50 ม. และวางแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า	68
38	แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ต่อ 0.25 ตร.ม. ในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบที่ความสูง 0.50 ม. และวางแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า	69
39	แผนภูมิแสดงอุณหภูมิผิววัสดุเมื่อการเกิดหยดน้ำในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 0.50 ม. และการวางแผ่นวัสดุในแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	70
40	แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 0.50 ม. และการวางแผ่นวัสดุในแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 28 ต.ค. 2555	72
41	การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 0.50 เมตร จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	73
42	การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบตั้งฉาก ช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	74
43	Phychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุแนวระนาบและแนวตั้งฉากช่วงเวลา 18.15 น. – 19.15 น. ช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555	75
44	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. วางแนวระนาบและแนวตั้งฉากกับพื้นหญ้า	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
45	แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ ต่อ 0.25 ตรม. ในการวางแผนวัสดุในแนวระนาบที่ความสูง 0.50 ม. การวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า และการประยุกต์การวางแผนวัสดุในแต่ละช่วงเวลา	78
46	แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการประยุกต์การวางแผนวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าในแต่ละช่วงเวลา ช่วงวันที่ 22 ม.ค. 2556 – 24 ม.ค. 2556	79
47	แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการประยุกต์การวางแผนวัสดุในแนวระนาบ และแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าในแต่ละช่วงเวลา ช่วงวันที่ 23 ม.ค. 2556 – 24 ม.ค. 2556	81
48	การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการประยุกต์การวางแผนวัสดุในแนวระนาบ และแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าในแต่ละช่วงเวลา ช่วงวันที่ 22 ม.ค. 2556 – 24 ม.ค. 2556	82
49	Psychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการประยุกต์การวางแผนวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าในแต่ละช่วงเวลา ช่วงวันที่ 22 ม.ค. 2556 – 24 ม.ค. 2556	83
50	แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. วางทำมุม 15 องศา กับแนวระนาบซ้อนขึ้น	85
51	แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ต่อ 0.25 ตรม. ในการวางแผนวัสดุทำมุม 15 องศา กับแนวระนาบที่ระดับความสูง 0.50 ม., 0.40 ม., 0.30 ม., 0.20 ม. และ 0.10 ม. ช่วงวันที่ 28 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555	85
52	แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผนวัสดุเอียง 15 องศาวางซ้อนขึ้น ช่วงวันที่ 29 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555	87
53	การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผนวัสดุเอียง 15 องศาวางซ้อนขึ้น ช่วงวันที่ 29 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555	89
54	การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผนวัสดุเอียง 15 องศาวางซ้อนขึ้นระดับความ สูง 0.50 ม. ช่วงวันที่ 29 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
55	Psychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุเอียงทำมุม 15 องศาวาง ซ้อนชั้น ช่วงวันที่ 29 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555	91
56	รูปแบบการพ่นแผ่นวัสดุอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หน้า 1 มม. ขนาดพื้นที่ 0.50 ม. x 0.50 ม.	92
57	แผนภูมิปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ต่อ 0.25 ตรม. ในการพ่นแผ่นวัสดุทำมุม 40 องศา	93
58	แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการพ่นแผ่นวัสดุเอียง 40 องศา ช่วง วันที่ 9 ก.พ. 2556 – 10 ก.พ. 2556	94
59	แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการพ่นแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา ระดับ ความสูง 0.50 ม. กับพื้นสนามหญ้า	96
60	การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการพ่นแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา ระดับความ สูง 0.50 ม. กับพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 9 ก.พ. 2555 – 10 ก.พ. 2556	97
61	Psychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการพ่นแผ่นวัสดุเอียง ทำมุม 40 องศา ระดับความสูง 0.50 ม. กับพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 9 ก.พ. 2555 – 10 ก.พ. 2556	98
62	รูปแบบการพ่นแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว (ในพื้นที่ 0.25 ตร.ม.)	101
63	รูปแบบการประยุกต์การพ่นแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายรังสีความ ร้อนในตอนกลางคืน	102
64	รูปแบบการประยุกต์การพ่นแผ่นวัสดุเพื่อลดการรับรังสีความร้อนในตอน กลางวัน	102
65	รูปแบบการประยุกต์การพ่นแผ่นวัสดุเพื่อลดการรับรังสีความร้อนในตอน กลางวันในระดับความสูง 0.50 ม. จากพื้นหญ้า	103
66	รูปแบบการประยุกต์การพ่นแผ่นวัสดุเพื่อการคายรังสีความร้อนในตอน กลางคืนในระดับความสูง 0.50 ม. จากพื้นหญ้า	103

การออกแบบระบบเก็บกักน้ำค้างเพื่อนำมาใช้เป็นระบบน้ำของสวนหลังคา

Design of a Dew Collection System for Roof Garden Irrigation

คำนำ

จากการศึกษาการพัฒนาแบบการทำสวนหลังคาในปัจจุบัน การนำน้ำมาใช้สำหรับสวนหลังคาจะต้องพิจารณาถึงแนวทางการติดตั้งระบบปั๊ม ท่อน้ำ หัวหยดน้ำ สำหรับการดูแลรักษา และจัดหาแหล่งน้ำใช้สำหรับต้นไม้ให้เพียงพอ ซึ่งโดยทั่วไปอาจใช้น้ำประปา น้ำฝน น้ำใช้แล้วจากอาคาร ซึ่งต้องอาศัยระบบไฟฟ้าในการทำงานของปั๊มและอุปกรณ์ตั้งเวลา การพิจารณาแนวทางการนำน้ำจากบรรยากาศมาใช้สำหรับสวนหลังคานั้น เป็นการใช้น้ำที่สะอาดและประหยัดน้ำจากอากาศกลับมาใช้ใหม่ โดยปริมาณน้ำที่ได้ก็นำมาใช้กับสวนหลังคาได้ และยังสามารถลดต้นทุนในการเดินระบบน้ำ ลดการใช้น้ำได้และลดพลังงานในการใช้อุปกรณ์ปั๊มน้ำ ในประเทศไทยมีภูมิประเทศอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงมีปริมาณน้ำในอากาศเป็นจำนวนมาก โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 30-100% ตลอดทั้งปี การก่อตัวเป็นหยดน้ำตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อไอน้ำในอากาศกระทบกับพื้นผิววัสดุที่มีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างและจะเกิดการควบแน่น (condensation) กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ อุณหภูมิผิวที่ต่ำนี้เป็นผลจากการคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าซึ่งเป็นแหล่งความเย็นขนาดใหญ่ในช่วงเวลากลางคืน หากพิจารณาถึงแนวทางดังกล่าวแล้วจึงมีความเป็นไปได้ในการนำน้ำจากอากาศมาใช้สำหรับการให้น้ำสวนหลังคา

จากรายงานวิจัยเรื่องเทคนิคการออกแบบและการเลือกวัสดุหลังคา(ณฐิยา, 2543) เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง ได้ทดลองหาแนวทางการออกแบบและเลือกวัสดุ เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้างบนหลังคา รวมทั้งเสนอแนะแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้น้ำค้างและความเย็นให้แก่อาคาร ผลการทดลองพบว่า ในการออกแบบหลังคาเพื่อให้เกิดปริมาณน้ำค้างต่อพื้นที่ต่อคืนมากที่สุด คือการทำให้ผิวหลังคามีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด โดยมีเทคนิคการออกแบบหลังคาและการเลือกวัสดุ ผลการวัดปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานคร สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 140 ซีซีต่อตารางเมตรต่อคืน และมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากที่สุดประมาณ 340 ซีซีต่อตารางเมตรในช่วงเดือนพฤศจิกายน

จากรายงานวิจัยการกักเก็บน้ำที่เกิดจากน้ำค้างบนหลังคา(สุนทร,2547) มีเทคนิคการออกแบบให้อุณหภูมิผิวหลังคาต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยเคลือบผิวหลังคาด้วยสีชนิดพิเศษที่ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนสูงเกิน 0.96 อุณหภูมิผิวหลังคาจะต่ำกว่าอากาศภายนอกประมาณ 2-3 องศาเซลเซียสและเกิดน้ำค้างขึ้นที่ผิวหลังคา ผิวหลังคาจึงเปรียบได้กับเครื่องช่วยในการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ เพื่อนำมาใช้สอยภายในบ้านจากการทดลองพบว่าในฤดูร้อนพื้นที่หลังคา 1 ตารางเมตร สามารถผลิตน้ำได้สูงสุด ประมาณ 300 ซีซีต่อวัน บ้านชีวาทิพย์มีพื้นที่หลังคาประมาณ 270 ตารางเมตร จะสามารถผลิตน้ำได้ประมาณ 80 ลิตรต่อวัน

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการเสนอการทดลองออกแบบแผ่นวัสดุเพื่อใช้เก็บรวบรวมน้ำค้างสำหรับสวนหลังคา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาตัวแปร เช่น ระดับความสูง ระนาบแนวตั้งและแนวนอนที่มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้างโดยใช้วัสดุแผ่นอลูมิเนียมอะโนไดซ์ รวมทั้งแนวทางการออกแบบเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้างที่เหมาะสมสำหรับสวนหลังคา และประยุกต์เทคนิคการติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับสวนหลังคา ซึ่งเป็นแนวทางในการลดปริมาณความร้อนที่แผ่ลงบนหลังคาคอนกรีต โดยตอบสนองแนวคิดการประหยัดพลังงานและเป็นการนำแนวคิดการวิจัยมาประกอบกับงานระบบปัจจุบันที่ใช้อยู่เป็นการใช้น้ำแบบหมุนเวียน ซึ่งตอบสนองแนวคิดการออกแบบอาคารเขียวหรือสถาปัตยกรรมยั่งยืนและสามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำและยังสามารถลดต้นทุนการติดตั้งระบบสวนหลังคาได้

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำค้างที่ใช้สำหรับสวนหลังคาได้แก่ ระดับความสูง ระบายแนวตั้งและแนวนอน
2. เพื่อหาแนวทางการออกแบบแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้างที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งกับสวนหลังคา
3. ประยุกต์เทคนิคการติดตั้งระบบการให้น้ำที่เหมาะสมสำหรับสวนหลังคา
4. เลือกพืชพรรณที่เหมาะสมสำหรับการให้น้ำและการนำไปใช้ประกอบสำหรับสวนหลังคา

ขอบเขตของการศึกษา

1. พื้นที่ในการเพิ่มปริมาณน้ำค้างจะมีพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยวัดปริมาณน้ำค้างจากพื้นที่ผิวทั้ง 2 ด้าน
2. พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่บริเวณจังหวัดราชบุรีและกรุงเทพฯ เนื่องจากเป็นเขตที่มีอุณหภูมิอากาศ 22-25 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 60-80% ในช่วงเดือนพฤศจิกายนซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดหยดน้ำตามธรรมชาติ

สมมติฐานการวิจัย

1. การเก็บกักน้ำในอากาศจากผิววัสดุสามารถรวบรวมน้ำมาใช้ในการให้น้ำพืชได้

ขั้นตอนการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้มีรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อหาเทคนิคการออกแบบรูปทรงและเลือกวัสดุ เพื่อให้เกิดการควบแน่นเป็นน้ำค้าง ซึ่งมีแผนการวิจัยดังนี้

1. การตรวจสอบเอกสาร (Literature Review)
 - 1.1 ศึกษาจากทฤษฎี ข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งที่มีอยู่ในประเทศและต่างประเทศ
 - 1.2 ศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อนและการคายความร้อนของวัสดุในช่วงเวลาระหว่างวัน (กลางวัน - กลางคืน)
 - 1.3 ศึกษาเทคนิคการติดตั้งระบบการให้น้ำที่เหมาะสมสำหรับสวนหลังคา
 - 1.4 ศึกษาพืชพรรณที่เหมาะสมสำหรับการให้น้ำในการนำไปใช้ประกอบสำหรับสวนหลังคา
2. การทดสอบตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ระดับความสูง, ระบายแนวตั้งและแนวนอน
3. การออกแบบรูปทรงเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้างต่อกันโดยการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำค้างต่อกันมากที่สุดต่อ 1 ตารางเมตร
4. การติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิผิววัสดุ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลม
เครื่องมือที่ใช้ Opus 200 Data Logger , Hobo H8 Data Logger และ Kimo VT 300
 - 4.1 การบันทึกข้อมูลอุณหภูมิผิววัสดุ อุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ใน Psychrometric Chart และทำการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนที่ 2,3
5. การติดตั้งระบบการให้น้ำกับอุปกรณ์ทดลองที่เหมาะสมสำหรับสวนหลังคา
6. วิเคราะห์และวิจารณ์ผล

สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลทางวิชาการที่เชื่อถือได้และเป็นแนวทางการพัฒนารูปแบบการนำเทคนิคการควบแน่นของไอน้ำในอากาศมาใช้ประโยชน์กับการให้น้ำพืชบนสวนหลังคาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบลักษณะวัสดุที่ใช้ในการดักเก็บไอน้ำจากอากาศที่เหมาะสม สำหรับเขตภูมิอากาศเขตร้อนชื้น
2. ทราบแนวทางของรูปทรงและเทคนิคการติดตั้งที่เหมาะสมในการดักเก็บไอน้ำจากอากาศ
3. เป็นการสร้างนวัตกรรมอาคารซึ่งพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ได้
4. สนองแนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมยั่งยืน

การตรวจเอกสาร

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง ด้วยการเลือกวัสดุที่เหมาะสมให้เกิดการควบแน่นของน้ำค้างโดยหาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้าง และมุ่งเน้นการเพิ่มพื้นที่ผิวและการลดอุณหภูมิผิว อีกทั้งยังคำนึงถึงการคายรังสีความร้อนของวัสดุให้ได้เร็วที่สุด เพื่อนำน้ำที่ได้มาใช้ประโยชน์สำหรับสวนหลังคาและประยุกต์เทคนิคการติดตั้งระบบการให้น้ำที่เหมาะสมสำหรับสวนหลังคา อีกทั้งคำนึงถึงการลดปริมาณการใช้พลังงานจากระบบให้ได้มากที่สุด โดยศึกษาถึงทฤษฎีการเกิดการควบแน่น คุณสมบัติและชนิดของวัสดุที่ทำให้เกิดการควบแน่นได้มาก เทคนิคการติดตั้งระบบการให้น้ำที่เหมาะสมสำหรับสวนหลังคา พืชพรรณที่เหมาะสมสำหรับการให้น้ำที่นำไปใช้ประกอบสวนหลังคาและทฤษฎีการควบแน่นรวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีการเกิดการควบแน่น

การควบแน่น คือการเปลี่ยนแปลงของไอน้ำในอากาศกลายเป็นหยดน้ำโดยจะเริ่มเมื่อสถานะของไอน้ำในอากาศ อยู่ในปริมาณสูงสุดที่อากาศจะควบคุมความเป็นไอน้ำไว้ได้ และเมื่อใดที่อุณหภูมิในอากาศมีระดับต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง อากาศจะไม่สามารถควบคุมหรือรองรับไอน้ำในอากาศไว้ได้ จึงแปรสภาพเป็นหยดน้ำ ลักษณะการนี้เรียกว่าการเกิดการควบแน่น ซึ่งมีสองลักษณะคือ การเกิดที่ผิวของวัสดุ (Surface condensation) และการเกิดในเนื้อวัสดุ (Interstitial condensation) (กุลวุฒิ, 2551)

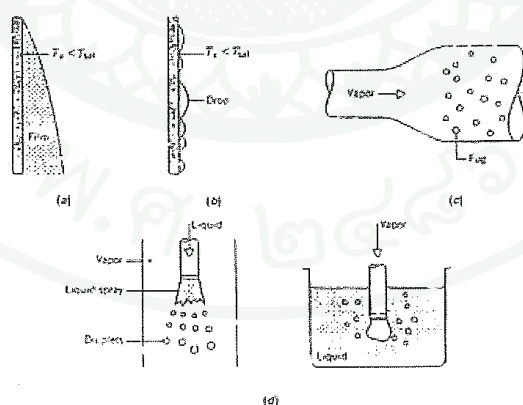
การเกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุนั้นปริมาณจำนวนไอน้ำในบรรยากาศ (Water vapor) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมินี้มีขีดจำกัดที่ควบคุมไอน้ำไว้ไม่ให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (Water saturated) คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ส่วนในสภาพบรรยากาศที่มีอุณหภูมิลดลงอากาศสามารถรวบรวมจำนวนไอน้ำไว้ได้มากกว่าในบรรยากาศที่มีอุณหภูมิเย็นก่อนที่อากาศจะแปรสภาพเป็นหยดน้ำ

ดังนั้น เมื่ออากาศที่อุ้มน้ำไว้ในระดับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง เกิดการสัมผัสกับผิวด้านเย็นของวัสดุที่สะสมความชื้นไว้จากภายนอก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบรรยากาศตรงส่วน

ผิวสัมผัส ซึ่งตรงส่วนนี้อุณหภูมิจะเย็นลงต่ำกว่าระดับอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะเกิดปรากฏการณ์ที่ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจับอยู่ที่ผิววัสดุนั้น

แนวโน้มในการเกิดการควบแน่นของหยดน้ำในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย พบว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงหมายความว่า โอกาสที่จะเกิดการควบแน่นของหยดน้ำโดยทั่วไปจะสูงตามไปด้วย การวิเคราะห์จากข้อมูลจริงของสภาพภูมิอากาศในกรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2550 พบว่าการควบแน่นของหยดน้ำมีอุณหภูมิเฉลี่ย 22.97 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ 28.66 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 72 เปอร์เซ็นต์ในหนึ่งปี (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2550)

การกลั่นตัวที่พื้นผิว (Surface Condensation) เมื่ออากาศที่ไม่ถึงจุดอิ่มตัวเคลื่อนตัวมากระทบพื้นผิว ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง อากาศส่วนที่สัมผัสกับผิววัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างจะอิ่มตัวและไอน้ำที่อากาศไม่สามารถรับได้อีกต่อไปจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่พื้นผิววัสดุนั้น จากการที่ไอน้ำในอากาศบริเวณที่กระทบผิววัสดุมีการกลั่นตัว ทำให้ความดันอากาศส่วนหนึ่งในบริเวณนั้นต่ำกว่าความดันอากาศเฉลี่ยของอากาศทั่วไป ความแตกต่างดังกล่าวจะทำให้มีการเคลื่อนตัวของไอน้ำไปสู่บริเวณที่มีการกลั่นตัว ทำให้มีการไหลเวียนของอากาศ การกลั่นตัวไม่จำเป็นที่จะต้องเกิดขึ้นในบริเวณที่มีไอน้ำถูกสร้างขึ้น แต่จะเกิดในที่ที่มีพื้นผิวอุณหภูมิต่ำที่สุด และการกลั่นตัวก็จะเกิดในบริเวณที่มีพื้นผิวอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Kendall, 1967)



ภาพที่ 1 แสดงการควบแน่นแบบต่างๆ a) Film b) Dropwise c) Homogeneous
d) Direct contact condensation

ที่มา: Pandey (2012)

การควบแน่นจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไอ (Vapor) ลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว การควบแน่นที่ผิววัสดุต่างๆ เป็นผลมาจากการที่ไอน้ำสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่า ดังภาพที่ 1(a,b) ซึ่งในกรณีนี้ความร้อนแฝงจะถูกถ่ายเทออกจากไอน้ำและส่งถ่ายไปยังพื้นผิว ทำให้ไอน้ำควบแน่นเป็นของเหลว วิธีการอื่นๆ ในการควบแน่นนั้น ได้แก่ การควบแน่นแบบ Homogeneous ดังภาพที่ 1(c) ซึ่งไอน้ำจะควบแน่นเป็นหยดน้ำลอยอยู่ในก๊าซทำให้เกิดลักษณะคล้ายหมอกหรืออีกวิธีหนึ่งได้แก่การควบแน่นแบบสัมผัสโดยตรง (Direct contact condensation) ดังภาพที่ 1(d) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการนำไอน้ำไปสัมผัสกับของเหลวที่เย็นกว่าโดยตรง

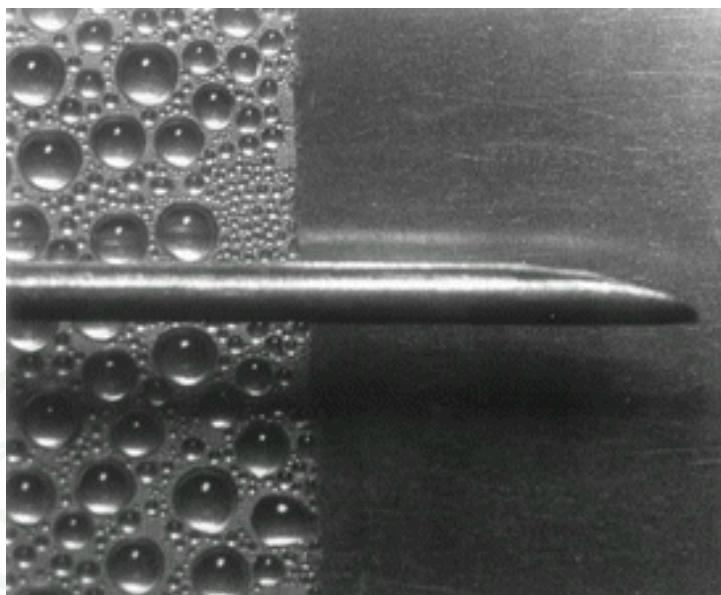
การที่ไอน้ำสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่า ซึ่งในกรณีนี้ความร้อนแฝงจะถูกถ่ายเทออกจากไอน้ำและส่งถ่ายไปยังพื้นผิว ทำให้ไอน้ำเกิดการควบแน่น พบว่าการควบแน่นบนพื้นผิวนั้นสามารถเป็นได้สองแบบซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิว คือ

1. การควบแน่นแบบเป็นแผ่น (film condensation)

เป็นการควบแน่นที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางอยู่บนผิวของวัสดุ มักจะเกิดขึ้นบนพื้นผิวที่สะอาดวางอยู่ในแนวดิ่ง

2. การควบแน่นแบบเป็นหยด (dropwise condensation)

เป็นการควบแน่นที่มีลักษณะเป็นหยดอยู่บนผิวของวัสดุ มักจะเกิดกับพื้นผิวที่เคลือบด้วยวัสดุที่ป้องกันไม่ให้พื้นผิวเปียก โดยหยดของเหลวจะก่อตัวขึ้นที่รอยแตกหรือรูบนพื้นผิว เมื่อการควบแน่นนานขึ้นหยดของเหลวดังกล่าวจะขยายตัวและรวมตัวกัน ซึ่งหยดของเหลวที่เกิดขึ้นจะมีขนาดตั้งแต่เป็นไมโครมิลลิเมตร จนถึงขนาดที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ โดยปกติทั่วไปจะครอบคลุมเนื้อที่ถึง 90% ของพื้นผิว และอัตราการถ่ายเทความร้อนของการควบแน่นแบบนี้จะมีค่าสูงมาก แต่การควบแน่นแบบนี้จะเกิดในระยะแรกของการควบแน่น



ภาพที่ 2 การควบแน่นบนพื้นผิววัสดุ

ที่มา: Pandey (2012)

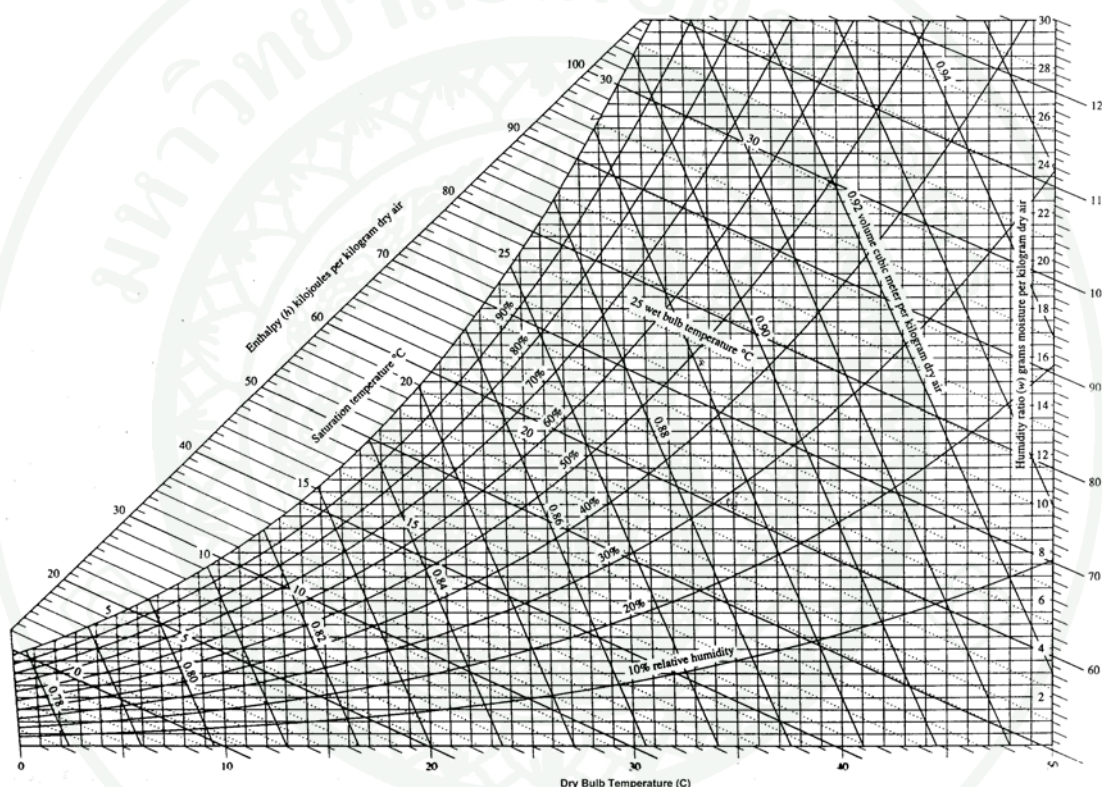
ไม่ว่าการควบแน่นจะเป็นแบบหนึ่งแบบใดก็ตาม การเกิดขึ้นของเหลวหรือหยดของเหลวบนพื้นผิววัสดุจะทำให้เกิดความต้านทานการถ่ายเทความร้อนระหว่างไอและพื้นผิว ความต้านทานดังกล่าวจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความหนาของชั้นของเหลวหรือหยดของเหลวมากขึ้น

2.1 ตาราง Psychrometric chart

เป็นเครื่องมือสำหรับตรวจสอบคุณสมบัติของอากาศ มีลักษณะเป็นแผ่น Chart ที่มีข้อมูลกำหนดเงื่อนไข เกี่ยวกับคุณสมบัติของอากาศต่างๆ เช่น อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น ซึ่งค่าคุณสมบัติของอากาศที่กำหนดในแผ่น Chart มีดังนี้

- Dry-Bulb Temperature คือ อุณหภูมิอากาศปกติ สามารถวัดได้จาก Thermometer ทั่วๆ ไป
- Wet-Bulb Temperature คือ อุณหภูมิอากาศที่วัดได้จาก Thermometer ซึ่งกระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้าเปียกชื้น แล้วหมุนไปรอบๆอากาศ อย่างรวดเร็ว

- Relative Humidity คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศซึ่งเป็นสัดส่วนของความชื้นอากาศ ต่อความชื้นทั้งหมดที่อากาศสามารถรับได้ในขณะนั้น
- Dew point Temperature คือ ค่าระดับอุณหภูมิ ซึ่งจุดนั้นไอน้ำในอากาศ จะเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ)
- Grains of Moisture คือ หน่วยวัดปริมาณน้ำในอากาศหน่วยหนึ่ง (7,000 Grains = น้ำหนัก 1 lb)



ภาพที่ 3 Psychrometric Chart

ที่มา: Michigan State University (2012)

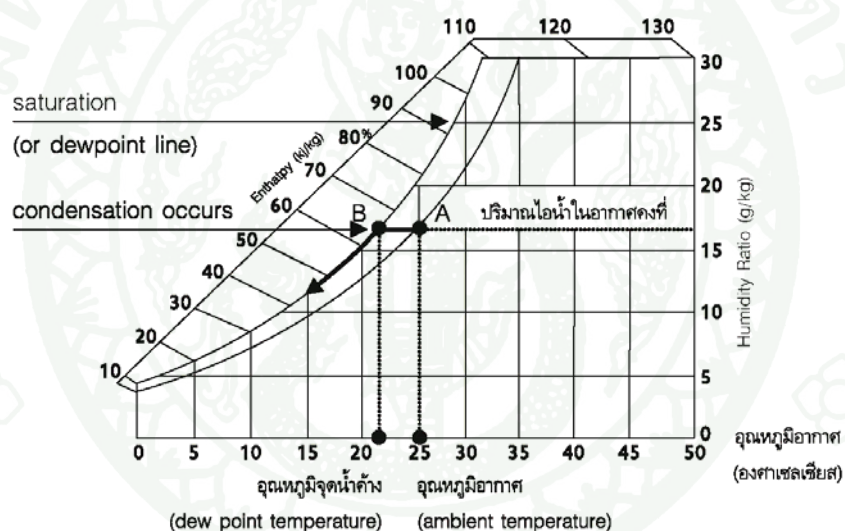
Psychrometric chart ประกอบด้วยเส้นตามแนวนอน แนวตั้ง แนวทแยง และแนวโค้ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

- แนวแกนนอน เป็นอุณหภูมิที่วัดได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ กระเปาะแห้ง เรียกว่า Dry-Bulb temperature อากาศแห้งที่อุณหภูมิใดๆ จะมีความดันไอน้ำเป็นศูนย์

- แนวแกนตั้ง เป็นค่าความดันไอของน้ำมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือมิลลิบาร์ หรือ Kilopascals

- แนวแกนทแยงมุมจากขวาไปซ้าย เป็นอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ กระเปาะเปียก เรียกว่า Wet-bulb temperature เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำกลายเป็นหยดน้ำ เรียกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature)

- แนวเส้นโค้งจากซ้ายไปขวา เป็นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนของ ความดันไอของน้ำในอากาศต่อความดันไอของน้ำเมื่ออากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิใดๆ ในอากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำ คือ เส้นบนสุดเป็นเส้นที่ชี้ถึงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4 กระบวนการควบแน่นเป็นหยดน้ำของไอน้ำในอากาศ

ที่มา : สุนทร (2543)

จากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart) สามารถอธิบายกระบวนการควบแน่นเป็นหยดน้ำของพื้นผิววัสดุได้ว่า เมื่อไอน้ำในอากาศกระทบกับพื้นผิววัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างทำให้มีอุณหภูมิลดลงจากจุด A ไปยังจุด B จนถึงจุดอิ่มตัว (Saturation line) โดยที่มีความดันอากาศและปริมาณน้ำในอากาศคงที่ ณ อุณหภูมินี้ไอน้ำในอากาศที่อยู่รอบๆพื้นผิววัสดุจะเริ่มเกิด

การควบแน่น ซึ่งเรียกอุณหภูมิที่ไอน้ำอิ่มตัวว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งถ้ามีการลดลงของอุณหภูมิต่ำลงที่ผิววัสดุจะทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ (condensation occurs)

2. ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้น

ความชื้น (humidity) คือ ละอองไอน้ำในอากาศซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ โดยที่อากาศประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด รวมถึงน้ำในสถานะของไอน้ำที่แทรกอยู่ในอากาศในปริมาณที่มากน้อยต่างกัน ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ เรียกว่า ความชื้น (ตริงใจ, 2539)

ในปริมาตรอากาศที่เท่ากัน ปริมาณไอน้ำจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิอากาศ คือ เมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะมีความสามารถที่จะรองรับปริมาณไอน้ำได้มากขึ้นและเมื่ออากาศมีอุณหภูมิที่ต่ำลง ความสามารถในการรองรับปริมาณไอน้ำในอากาศก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้ปริมาตรอากาศที่เท่ากัน ณ อุณหภูมิที่ต่ำลงจะมีปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น จนถึงสถานะหนึ่งที่อากาศไม่สามารถรับไอน้ำได้อีกเรียกว่า การอิ่มตัว (saturation) และจุดที่ไอน้ำแทรกตัวอยู่ในอากาศเกิดความดันไอน้ำ

โดยทั่วไปปริมาณไอน้ำในอากาศเราจะเรียกว่า ความชื้น (humidity) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1. ความชื้นจำเพาะ (Specific humidity or Humidity ratio ; w)

เป็นค่าที่เกิดจากมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้งที่มีปริมาตรเท่ากัน นิยมใช้ กิโลกรัมของไอน้ำ ต่อ กิโลกรัมของอากาศแห้ง เราลองพิจารณาอากาศแห้ง 1 kg จากนิยามที่กำหนด อากาศแห้งที่ไม่มีไอน้ำอยู่จะมีค่าความชื้นจำเพาะเท่ากับศูนย์ ถ้าเราเติมไอน้ำบางส่วนเข้าไปในอากาศแห้งนี้ ความชื้นจำเพาะก็จะเพิ่มมากขึ้น และถ้าเรายังคงเติมไอน้ำหรือความชื้นเพิ่มต่อไปอีก ความชื้นจำเพาะของอากาศก็จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งอากาศจะไม่สามารถมีความชื้นเพิ่มมากขึ้นได้อีก เราอาจกล่าวได้ว่าอากาศที่จุดนี้เป็นอากาศที่อิ่มตัวความชื้นและจะถูกเรียกว่า “อากาศอิ่มตัว” (Saturated air) ความชื้นที่ถูกป้อนให้กับอากาศอิ่มตัวจะเกิดการควบแน่น ปริมาณของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันใดๆ

2. ความชื้นสมบูรณ์ (Absolute humidity)

คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศต่อมวลของอากาศแห้ง หน่วยที่ใช้ในการวัดจะใช้เป็น กรัม / ลูกบาศก์เมตร หรือ เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$d_v = M_w / V$$

เมื่อ d_v = ความชื้นสมบูรณ์

M_w = มวลของไอน้ำในอากาศ

V = ปริมาตรอากาศ

3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity ration)

อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำสูงสุดในอากาศต่อมวลของไอน้ำทั้งหมดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ ดังนั้นการที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0% หมายถึง อากาศขณะนั้นไม่มีไอน้ำอยู่เลย หรือ การที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% แสดงว่า อากาศขณะนั้นอิ่มตัวไม่สามารถรับไอน้ำมาเก็บไว้ในอากาศได้อีก สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศ} \times 100\%}{\text{ความหนาแน่นอิ่มตัวของไอน้ำ ณ อุณหภูมิเดียวกัน}} \quad (1)$$

ความหนาแน่นอิ่มตัวของไอน้ำ ณ อุณหภูมิเดียวกัน

ตารางที่ 1 แสดงการคำนวณความชื้นสัมพัทธ์จากปริมาณไอน้ำกับอุณหภูมิอากาศ

อุณหภูมิอากาศ (C)	ไอน้ำในอากาศ (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ไอน้ำ ณ ภาวะอิ่มตัว (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ความชื้นสัมพัทธ์
30	9	30	$9/30 \times 100 = 30\%$
20	9	17	$9/17 \times 100 = 53\%$
10	9	9	$9/9 \times 100 = 100\%$

ที่มา : กุลวุฒิ (2551)

4. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature)

อุณหภูมิที่ไอน้ำเกิดการควบแน่น และกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศมีอุณหภูมิลดลงแต่ปริมาณไอน้ำในอากาศยังคงเท่าเดิม และมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100% แสดงว่า ณ ขณะนั้นเป็นสภาวะที่อากาศอิ่มตัว คือ ไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มขึ้นได้ หากมีปริมาณไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นทำให้ไอน้ำนั้นเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ จึงเรียกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่พื้นผิวของวัสดุใดๆ มีอุณหภูมิผิวที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศไปจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะทำให้เกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุนั้นๆ

ซึ่งกล่าวได้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มมีการควบแน่นเกิดขึ้นเมื่ออากาศถูกทำให้เย็นตัวลงที่ความดันคงที่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ค่า Dew-point temperature คือ อุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำที่ความดันไอของน้ำนั่นเอง ขณะที่อากาศถูกทำให้เย็นตัวลงที่ความดันคงที่และความดันไอน้ำมีค่าคงที่ ไอน้ำในอากาศจะมีอุณหภูมิลดลงตามแนวเส้นของความดันคงที่จนกระทั่งตัดกับเส้นโค้งของไอน้ำอิ่มตัว อุณหภูมิที่จุดนี้คือ Dew-point temperature และถ้าอุณหภูมิลดต่ำกว่านี้ ไอน้ำบางส่วนก็จะเกิดการควบแน่น ผลที่ตามมาคือ ปริมาณของไอน้ำในอากาศจะลดลง ซึ่งเป็นผลทำให้ความดันไอน้ำลดลงอากาศยังอิ่มตัวในระหว่างกระบวนการควบแน่น ดังนั้น กระบวนการควบแน่นจะดำเนินไปตามแนวเส้นของความชื้นสัมพัทธ์ 100% อุณหภูมิอิ่มตัวและอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศอิ่มตัวคือจุดเดียวกัน

อุณหภูมิที่จุดน้ำค้างของอากาศสามารถวัดได้อย่างง่ายๆ โดยวิธีการดังนี้คือ การทำให้น้ำในถ้วยโลหะเย็นตัวลงด้วยการเติมน้ำแข็งและกวน หลังจากนั้นวัดอุณหภูมิที่ผิวภายนอกของถ้วยโลหะพร้อมทั้งสังเกตอุณหภูมิของผิวนอกของโลหะที่เริ่มเกิดหยดน้ำ ตรงบริเวณนั้นคือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศนั่นเอง

3. การนำความร้อน

ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Conductivity : K) หน่วย $W/m^2 \text{ } ^\circ K$ หรือ $(Btu.in/ft^2.h. \text{ } ^\circ F)$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านสสารในความหนา ช่วงเวลา พื้นที่ และค่าความ

แตกต่างอุณหภูมิหนึ่งๆ เป็นค่าที่ใช้วัดค่าการนำความร้อนของวัสดุ ซึ่งวัสดุจะมีการนำความร้อนมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับตัวแปรดังนี้

- โครงสร้างของโมเลกุลของสาร
- ค่าความหนาแน่นของวัสดุ
- ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง 2 จุดที่มีการนำความร้อนเกิดขึ้น
- ความหนาของวัสดุ
- พื้นที่สัมผัสโดยตรงกับความร้อนและช่วงเวลาที่สัมผัส เป็นต้น

ค่าการนำความร้อน (Conductance)

$$C = k/x \quad (2)$$

K = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

(ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขนาด 1 ตารางเมตร ที่ความหนา 1 เมตร เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน 1 องศาเซลเซียส $W/m^{\circ}C$)

X = ความหนา (เมตร)

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของวัสดุ

ลำดับที่	วัสดุ	ค่า K วัดต่อเมตร-องศาเซลเซียส
1.	โลหะผสมของอลูมิเนียม	211
2.	ทองแดง	385
3.	เหล็กกล้า	47.6
4.	อิฐ	1.298
5.	แผ่นใยซีม	0.191

ที่มา : กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2535)

ค่าที่ใช้ในการคำนวณเพื่อการออกแบบการนำความร้อนของวัสดุพิจารณาค่าการนำความร้อนโดยที่จะพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่มีค่า C (Conductance) สูงเพราะวัสดุชนิดนั้นจะมีการนำความร้อนที่ดีแสดงถึงสามารถถ่ายเทความร้อนสู่อากาศได้ดี

4. การต้านทานความร้อน

เป็นส่วนกลับของค่าการนำความร้อน เป็นค่าที่ใช้กำหนดคำนวณกันความร้อน

$$R = x/k \text{ (m}^2\text{ }^{\circ}\text{C/W)} \quad (3)$$

K = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

(ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขนาด 1 ตารางเมตร ที่ความหนา 1 เมตร เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน 1 องศาเซลเซียส $\text{W/m}^{\circ}\text{C}$)

X = ความหนา (เมตร)

ค่าที่ใช้ในการคำนวณเพื่อการออกแบบวัสดุจะพิจารณาค่าความต้านทานการนำความร้อนโดยที่จะพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่มีค่า R (Resistance) ต่ำเพราะวัสดุชนิดนั้นจะมีค่าความเป็นฉนวนต่ำแสดงถึงสามารถคายรังสีความร้อนสู่อากาศได้ดี

5. ค่าการดูดซับรังสีความร้อน

การดูดซับรังสีความร้อน (short-wave solar absorptance: α) เป็นความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อนในช่วงคลื่นสั้นของวัสดุ ซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.3-3 ไมครอน การพิจารณาถึงค่าการดูดซับรังสีของผิววัสดุ จะหาได้จากสัดส่วนของรังสีที่ดูดซับเทียบกับรังสีความร้อนที่ได้รับในทุกความยาวคลื่น

6. ค่าการคายรังสีความร้อน

การคายรังสีความร้อน (long-wave emittance: ϵ) เป็นความสามารถในการคายรังสีในช่วงคลื่นยาวของวัสดุ ตั้งแต่ 3 ไมครอนขึ้นไป ความสามารถในการปล่อยพลังงานนี้จะหาได้จาก

สัดส่วนของการคายรังสีความร้อนของพื้นผิวใดๆ เทียบกับการคายรังสีของวัตถุในอุดมคติ (วัตถุที่ตั้งขึ้นเพื่อใช้เปรียบเทียบความสามารถการคายรังสีของพื้นผิว ได้ทุกความยาวคลื่นในอุณหภูมิเดียวกัน) ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ซึ่งผิววัสดุจะปล่อยรังสีความร้อนออก ทุกความยาวคลื่น หรือช่วงความยาวคลื่น ซึ่งมีค่าการคายรังสีตั้งแต่ 0.0 ถึง 1.0

ตารางที่ 3 ค่าการคายรังสีความร้อนโดยเฉลี่ยของวัสดุโลหะ

พื้นผิววัสดุ	ค่าการคายรังสีของพื้นผิว
Zinc	0.02-0.05
Silver polished	0.02-0.07
Aluminum polished	0.04-0.06
Copper polished	0.04-0.05
Steel polished	0.08-0.14
Stainless steel polished	0.17-0.30

ที่มา: Sharma and Sharma (1989)

1. การพิจารณาค่าการคายรังสีคลื่นยาวของพื้นผิววัสดุ (Selective surface)

จากคุณสมบัติการดูดซับและการคายรังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุ เมื่อเทียบ

อัตราส่วนระหว่างการดูดซับรังสีคลื่นสั้น (short-wave absorptance; α) กับการคายรังสีคลื่นยาว (long-wave emittance; ϵ) จะเป็นค่าที่สามารถบอกได้ว่าวัสดุชนิดนั้นมีพฤติกรรมในเรื่องของการแผ่รังสีซึ่งค่านี้สามารถพิจารณาได้ 2 แนวทาง

- ค่าอัตราส่วน α/ϵ สูง แสดงถึงพื้นผิวนั้นมีการดูดซับความร้อนที่ดีกว่าการคายความร้อน

- ค่าอัตราส่วน α/ϵ ต่ำ แสดงถึงพื้นผิวนั้นมีการคายความร้อนดีกว่าการดูดซับความร้อน

7. คุณสมบัติและชนิดของวัสดุ

ผิววัสดุทั่วไปบนพื้นโลกสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ ซึ่งแต่ละพื้นผิวมีค่าการดูดซับและการคายรังสีความร้อนที่ต่างกันออกไป ดังนี้

1. วัสดุธรรมชาติ (natural materials)

- 1.1 น้ำ, น้ำแข็ง, หิมะ
- 1.2 ดินและแร่ธาตุต่างๆ
- 1.3 พืชพันธุ์

2. วัสดุประดิษฐ์ (man-made materials)

2.1 วัสดุโลหะ (electric materials)

- polished metal

2.2 วัสดุอโลหะ (dielectric materials)

- ไม้ อิฐก่อ และคอนกรีต
- การเคลือบผิววัสดุต่างๆ (coating) เช่น anodizing, painted, powder coating

ตารางที่ 4 ค่าการดูดซับรังสีและค่าการคายรังสีของวัสดุธรรมชาติ

ผิววัสดุธรรมชาติ	ค่าการดูดซับรังสีเฉลี่ย ในช่วงคลื่นสั้น (solar absorptivity α)	ค่าการคายรังสีเฉลี่ย ในช่วงคลื่นยาว (Emissivity ϵ)	α/ϵ
Snow	0.33	0.89	0.37
Sand	0.52	0.82	0.63
Wood	0.59	0.90	0.66
Stone	0.65	0.87	0.74

ที่มา: Sharma and Sharma (1989)

ตารางที่ 5 ค่าการดูดซับรังสีและค่าการคายรังสีของวัสดุประดิษฐ์

ผิววัสดุประดิษฐ์	ค่าการดูดซับรังสีเฉลี่ย ในช่วงคลื่นสั้น (solar absorptivity α)	ค่าการคายรังสีเฉลี่ย ในช่วงคลื่นยาว (Emissivity ϵ)	α/ϵ
Concrete	0.60	0.88	0.68
Brick	0.63	0.93	0.68
Steel	0.89	0.92	0.96
Aluminum Polishsd	0.09	0.03	3.0

ที่มา: Sharma and Sharma (1989)

ซึ่งวัสดุแต่ละประเภทมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติจำเพาะและค่าการนำความร้อนที่แตกต่างกันซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดน้ำค้างคือการควบแน่นของหยดน้ำ การที่ผิวของวัสดุมีอุณหภูมิที่แตกต่างจากอากาศภายนอกมากการเกิดหยดน้ำจะเกิดขึ้นได้ง่ายโดยทั่วไปจะเกิดกับวัสดุที่มีการนำความร้อนสูงเช่น โลหะ วัสดุประเภทนี้จะมีคุณสมบัติที่มีอุณหภูมิสูงเมื่อได้รับรังสีความร้อนและจะคายความร้อนได้เร็วเนื่องจากมีมวลสารน้อยเมื่อมีการถ่ายเทอุณหภูมิคืนสู่ท้องฟ้า (ณัฐยา, 2543)

8. อิทธิพลของสีที่มีผลต่ออุณหภูมิผิววัสดุ

คุณสมบัติค่าการดูดซับรังสีความร้อนและค่าการคายรังสีความร้อนของวัสดุพบว่า การใช้สีกับผิววัสดุจะพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนผิววัสดุของวัสดุสีดำและวัสดุสีขาวเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา โดยพิจารณาวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีความร้อนต่ำและมีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนสูงเป็นสำคัญ

ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติการดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และการคายรังสีความร้อนจากผิววัสดุในกรณีที่สีผิววัสดุต่างกัน

สี	ค่าการดูดซับรังสีเฉลี่ย ในช่วงคลื่นสั้น (solar absorptivity α)	ค่าการคายรังสีเฉลี่ย ในช่วงคลื่นยาว (Emissivity ϵ)	α/ϵ
ดำ	0.94	0.88	1.06
ขาว	0.20	0.91	0.21

ที่มา: Anderson (1977)

9. การเคลือบผิววัสดุประเภทโลหะ

ประกอบด้วยสารประกอบของออกซิเจนกับธาตุอื่นๆ (oxide layer) และการเคลือบผิวทางเคมี (physical and chemical contamination) ส่งผลให้พฤติกรรมการคายรังสีความร้อนของผิวโลหะเปลี่ยนคุณสมบัติ ได้แก่

1. การเคลือบเงา (enamel)
2. การเคลือบสี (polyvinylid fluoride ,PVDF coating)
3. การเคลือบผิวแบบพ่นสี (powder coating)
4. การเคลือบผิวด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี (anodizing)

พฤติกรรมการคายรังสีคลื่นยาวของการเคลือบผิวโลหะที่แตกต่างกันย่อมมีผลต่อการคายรังสีของผิววัสดุที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่างการทดลองเปรียบเทียบการเคลือบผิวโลหะอลูมิเนียมที่ต่างกัน ผิววัสดุที่ทดลองได้แก่ อลูมิเนียมขัดมัน (polished aluminum) และอลูมิเนียมเคลือบผิว (anodized) ผลการทดลองพบว่า (Sparrow,1978) ในช่วงแสงที่มองเห็น (visible wavelength: 0.5 μm .) จะมีค่าการคายรังสีต่ำหรือมีค่าการสะท้อนกลับสูง แต่ในช่วงคลื่นยาว (ตั้งแต่ 3 μm .ขึ้นไป) วัสดุที่เคลือบสีและเคลือบผิวจะมีค่าการคายรังสีสูง ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงเท่ากับค่าการคายรังสี 1.0 และงานวิจัยการออกแบบหลังคาเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง โดยมีเทคนิคการออกแบบหลังคาโดยใช้วัสดุอลูมิเนียมเคลือบผิวอะโนไดซ์เป็นวัสดุทดสอบ ผลการทดลองพบว่า ผลการวัดปริมาณ

น้ำค้างที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานคร สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 140-340 ซีซี ต่อตารางเมตรต่อคืน (ณัฐยา, 2543)

ตารางที่ 7 ค่าการดูดซับรังสีและค่าการคายรังสีของวัสดุโลหะประเภทอลูมิเนียม

ผิววัสดุ Aluminum	ค่าการดูดซับรังสีเฉลี่ย ในช่วงคลื่นสั้น (solar absorptivity α)	ค่าการคายรังสีเฉลี่ย ในช่วงคลื่นยาว (Emissivity ϵ)	α/ϵ
Polished	0.09	0.03	3.0
Anodized	0.14	0.84	0.17
Quartz-overcoated	0.11	0.37	0.30
Foil	0.15	0.05	3.0

ที่มา: Sharma and Sharma (1989)

การเคลือบผิวอลูมิเนียมประเภทอะโนไดซ์ คือกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งสร้างสารเคลือบผิวจากออกไซด์ของอลูมิเนียมลงบนแผ่นอลูมิเนียม โดยอาศัยการใช้งานของสารเคลือบผิวประเภทนี้ ขึ้นอยู่กับความหนาของการเคลือบ อลูมิเนียมออกไซด์เป็นสารที่มีความทนทานต่อสภาพอากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติของการปกป้องเนื้อโลหะได้ดี สารเคลือบนี้ทำมาจากโลหะอลูมิเนียมและด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี สารเคลือบผิวนี้จึงรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับผิวของวัตถุที่ถูกเคลือบ และไม่สามารถลอกออกได้ ซึ่งมีข้อดีดังนี้

1. มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการทำสี
2. มีความแข็งแรงกว่าสารเคลือบประเภท PVDF และเหมาะสำหรับใช้งานในบริเวณที่มีโอกาสได้รับการกระแทก และการขีดข่วน
3. ยึดแน่นกับพื้นผิวและยังช่วยให้ผิววัสดุมีลักษณะมันเงา มากกว่าการเคลือบแบบ organic coating ทั้งนี้เพราะ การเคลือบแบบอะโนไดซ์สารที่เคลือบมีลักษณะโปร่งแสง และยังช่วยในการลดความเปลี่ยนแปลงของสีวัสดุได้
4. ไม่มีผลกระทบจากแสงอาทิตย์ (UV light)
5. สามารถทำความสะอาดได้

6. ด้านการรักษาสภาพแวดล้อมการเคลือบแบบนี้ ไม่ก่อความเสียหายให้กับสภาพแวดล้อม เพราะสารเคมีจากกระบวนการเคลือบนี้ สามารถบำบัดได้ด้วยระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่มีสารที่ทำลายชั้นโอโซน (VOCs) และไม่มีสารโลหะหนักในกระบวนการเคลือบ

วัสดุที่จะทำให้เกิดการควบแน่นได้เร็วควรเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีความร้อนที่ต่ำและค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนที่สูงเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุมีอุณหภูมิที่เย็นลงอย่างรวดเร็ว การเกิดหยดน้ำตามธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายโดยการควบแน่นของที่ผิววัสดุ หากอุณหภูมิผิวของวัสดุเย็นลงได้เร็ว และอุณหภูมิลดลงอย่างต่อเนื่องการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุจะเกิดขึ้นได้ก่อนทำให้การกักเก็บน้ำจะมีปริมาณที่มากขึ้น ดังตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าวัสดุโลหะอลูมิเนียมอะโนไดซ์มีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีความร้อนที่ต่ำแสดงถึงพื้นผิววัสดุมีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนดีกว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีความร้อน

การเคลือบผิววัสดุโดยวิธีต่างกันจะมีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้างต่างกันซึ่งจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนออกจากผิววัสดุกลับสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน จนทำให้อุณหภูมิผิววัสดุต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง วัสดุโลหะอลูมิเนียมอะโนไดซ์เป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งสร้างสารเคลือบผิวจากออกไซด์ของอลูมิเนียมลงบนแผ่นอลูมิเนียมมีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อน 0.84 โดยไม่ต้องใช้สีเคลือบผิว เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการออกแบบหลังคาบ้านชีวชาติ (สุนทร, 2547) ทำให้อุณหภูมิผิวหลังคาต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยเคลือบผิวหลังคาด้วยสีชนิดพิเศษที่ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน 0.96 วัสดุโลหะอลูมิเนียมอะโนไดซ์มีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอสมควร และหาได้ง่ายทั่วไปตามท้องตลาดซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัย

10. มุมของผิววัสดุที่กระทำกับท้องฟ้า

พื้นผิวของวัสดุที่ทำมุมกับท้องฟ้า เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อปริมาณการเกิดน้ำค้าง จะสังเกตได้จากการวางวัสดุลักษณะแบนราบไว้ในที่โล่งตลอดทั้งคืนจะมีปริมาณน้ำค้างมากกว่าบริเวณที่วัสดุมีลักษณะเอียงลาด จากปรากฏการณ์นี้เป็นผลจากในมุมแนวระนาบจะสามารถคายรังสีความร้อนได้เต็มที่และเมื่อเอียงพื้นผิวนั้นจะทำให้การคายรังสีความร้อนลดลงและ

เมื่อเอียงพื้นผิววัสดุเพิ่มขึ้นจนถึงมุม 90 องศา จะเห็นได้ว่าไม่มีส่วนใดที่แลกเปลี่ยนอุณหภูมิกับท้องฟ้าได้ การที่วางวัสดุทำมุมกับแนวระนาบเพิ่มขึ้นจะทำให้การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าลดลง โดยที่การคายรังสีของผิววัสดุโลหะจะมีค่าคงที่ เมื่อมีมุมกระทำกับแนวระนาบมากกว่า 40 องศา และค่าการคายรังสีจะสูงขึ้นเมื่อมุมกระทำกับแนวระนาบลดลง พฤติกรรมแบบนี้จะเกิดขึ้นกับความยาวคลื่นมาก การคายรังสีของผิววัสดุจะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมกระทำกับระนาบเท่ากับ 0 องศา (มนตรี, 2540)

จากการวิจัยเรื่องเทคนิคการออกแบบและการเลือกวัสดุหลังคา เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง ทำการศึกษาการออกแบบหลังคาเพื่อให้เกิดปริมาณน้ำค้างต่อพื้นที่ต่อคืนมากที่สุดโดยเลือกใช้วัสดุโลหะอลูมิเนียมอะโนไดซ์ หนา 0.01 มิลลิเมตร ทำการทดสอบโดยเอียงทำมุม 15 องศา กับแนวระนาบผลการทดสอบการกักเก็บปริมาณน้ำที่ได้ในการไหลของน้ำลงแหล่งกักเก็บได้เองการเอียงทำมุม 15 องศาสามารถกักเก็บปริมาณน้ำได้มากที่สุด (ณัฐยา, 2543)

ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุกับการเกิดน้ำค้างจะพิจารณาจากการปรับมุมลาดเอียงที่เหมาะสม ระหว่างการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อนกับท้องฟ้าให้สอดคล้องกับการไหลของน้ำค้างและรูปแบบการติดตั้งเพื่อเพิ่มการไหลของน้ำค้าง

11. ระบบการให้น้ำแก่พืชพันธุ์

ระบบการให้น้ำที่มีอยู่ในปัจจุบันมีระบบการให้น้ำอยู่หลายวิธี การที่จะเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งนั้น จะต้องพิจารณาจากลักษณะภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน ลักษณะของพื้นที่ที่ได้เตรียมไว้ วิธีการเพาะปลูก เงินค่าลงทุน และจำนวนน้ำที่จะหามาได้ในพื้นที่ ซึ่งวิธีการให้น้ำชลประทานแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ๆ คือ

1. การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation System)

เป็นการให้น้ำแก่พืช โดยการยกระดับน้ำใต้ดินให้ขึ้นมาอยู่ในระดับที่น้ำจะไหลซึมขึ้นมาสู่ระดับเขตรากได้ ความลึกของระดับน้ำใต้ดินในอยู่ระหว่าง 30-50 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของดิน และความลึกของรากพืช ถ้าดินเนื้อละเอียดก็ให้ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าเขตรากได้ 50-60 เซนติเมตร ถ้าดินเนื้อหยาบระดับน้ำควรอยู่ต่ำกว่าเขตรากประมาณ 30 เซนติเมตร ซึ่งจะทำให้น้ำไหลไปสู่จุดต่างๆ ในเขตรากโดยการดูดซับ

การเลือกใช้ วิธีการให้น้ำลักษณะนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอ และมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้มากพอที่จะให้น้ำไหลในแนวตั้งอย่างรวดเร็ว และจะต้องมีชั้นดินที่ซึมผ่านได้ยากหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เขตรากซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำใต้ดินได้โดยมีการสูญเสียไม่มากนัก พื้นที่ควรจะราบเรียบและเกือบอยู่ในแนวราบ

2. การให้น้ำทางผิวดิน (Surface Irrigation System)

เป็นวิธีการให้น้ำแก่พืช โดยให้น้ำข้างหรือไหลไปบนผิวดินและซึมลงไปในดินตรงบริเวณที่น้ำข้างหรือไหลผ่าน เพื่อเก็บความชื้นไว้ให้แก่พืชการให้น้ำทางผิวดินอาจแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ แบบปล่อยท่วมไปบนพื้นที่ที่ปลูกพืชโดยการพูนโคนต้น หรือไม่ให้น้ำถูกลำดั้น และแบบให้น้ำท่วมโดยเฉพาะในร่องคู สิ่งสำคัญสำหรับการให้น้ำทางผิวดินก็คือ จะต้องมีการเกลี่ยพื้นที่ให้เรียบและมีความลาดเทให้น้ำไหลไม่ควรเกิน 2 % ถ้าพื้นที่ดินไม่เสมอ จะต้องมีการปรับพื้นที่ก่อน

การเลือกใช้ วิธีการให้น้ำลักษณะนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเนื้อดินที่มีอัตราน้ำซึมผ่านได้ปานกลาง (ดินร่วน) ความลาดชันของผิวดินต้องเหมาะสมกับการไหลของน้ำเพื่อไม่ให้เกิดการขังของน้ำรวมทั้งความกว้างของแปลงปลูกและอัตราการให้น้ำที่เหมาะสม

3. การให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation System)

สำหรับการให้น้ำแบบนี้ในต่างประเทศนิยมใช้กัน โดยน้ำที่จะให้แก่พืชจะถูกสูบจากแหล่งน้ำ ผ่านท่อไปยังพื้นที่เพาะปลูกด้วยแรงดันและให้น้ำพ่นเป็นฝอยออกทางหัวฉีดขึ้นไปในอากาศ แล้วปล่อยให้น้ำแพร่กระจายตกลงมาพื้นที่เพาะปลูกโดยมีรูปทรงการกระจายของเม็ดน้ำสม่ำเสมอ และอัตราของน้ำที่ตกลงบนพื้นจะต้องน้อยกว่าอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดิน

การเลือกใช้ วิธีการให้น้ำลักษณะนี้สามารถส่งน้ำได้อย่างประหยัดรวดเร็วและสม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพสูง แต่ราคาลงทุนครั้งแรกจะมีการลงทุนที่สูง นอกจากจะเหมาะสมกับพื้นที่แล้ว เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการให้น้ำแบบผิวดินยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น การวัดและควบคุมปริมาณน้ำที่แม่นยำ มีประสิทธิภาพในการให้น้ำและสามารถเคลื่อนย้ายระบบได้

4. การให้น้ำแบบหยด (Drip or Trickle Irrigation System)

การให้น้ำแบบหยด เป็นการให้น้ำแก่พืชที่จุดใดจุดหนึ่ง หรือหลายๆจุดบนผิวดิน หรือเฉพาะในเขตรากพืชด้วยระบบท่อ โดยมีการควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืชครั้งละน้อยๆ อย่างสม่ำเสมอ ด้วยอุปกรณ์หัวปล่อยน้ำ ซึ่งจะติดตั้งตามแนวยาวของท่อแขนง น้ำที่ปล่อยจากหัวปล่อยน้ำสู่ดินบริเวณรากพืชโดยตรงนี้ อาจจะไหลออกมาเป็นหยดน้ำ หรืออยู่ในรูปของสายน้ำ หรือละอองเมื่อน้ำเล็กๆ ซึ่งฉีดจากหัวฉีดฝอยขนาดเล็ก ที่ต้องการความดันไม่มากนัก ควบคุมให้มีปริมาณใกล้เคียงกับการใช้น้ำของพืช และพยายามรักษาระดับความชื้นของดิน บริเวณรากพืชให้อยู่ในระดับที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้สะดวกตลอดเวลา

การเลือกใช้ วิธีการให้น้ำลักษณะนี้สามารถลดการสูญเสียน้ำตามทางระหว่างส่งน้ำ ลดการสูญเสียเนื่องจากการไหลซึมเลยเขตราก ตลอดจนการสูญเสียเนื่องจากการระเหยและการไหลนองบนผิวดิน การให้น้ำแบบนี้จึงสามารถประหยัดน้ำได้มากกว่า และสามารถควบคุมจังหวะการให้น้ำได้อย่างดี ทำให้ได้ผลผลิตของพืชสูงกว่าทั้งปริมาณและคุณภาพ นอกจากนี้ยังสามารถให้ปุ๋ยและฮอร์โมนได้สะดวกและประหยัด โดยการละลายไปในน้ำ ระหว่างการส่งน้ำ จึงนับได้ว่าเป็นวิธีการให้น้ำแก่พืชที่มีประสิทธิภาพสูงมากและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ

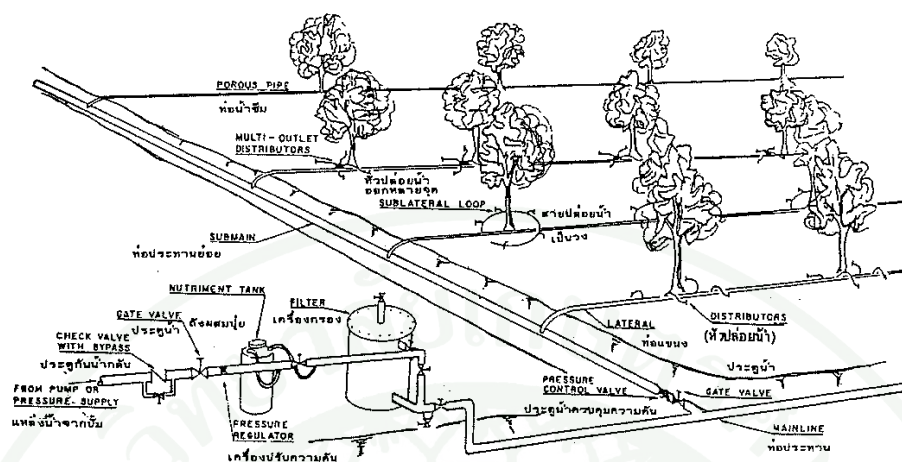
การให้น้ำทั้ง 4 แบบใหญ่ๆ ดังกล่าวนี้นี้ยังแยกย่อยได้อีกหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสีย ข้อจำกัดแตกต่างกัน เช่น วิธีการให้น้ำทางผิวดินต้องพิถีพิถันในการปรับระดับพื้นที่มาก ต้องใช้น้ำและแรงงานมาก ส่วนวิธีการให้น้ำแบบฉีดฝอยและแบบหยดจะใช้น้ำและแรงงานน้อย แต่ต้องลงทุนครั้งแรกสูง การจะเลือกใช้ระบบการให้น้ำแบบใดนั้นควรพิจารณาถึงค่าลงทุน ความสะดวกในการใช้งาน การบำรุงรักษา แรงงาน ความชำนาญ ที่ต้องใช้ในการดำเนินงานและความเหมาะสม เพื่อให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพสูงสุด

สำหรับแนวทางในการประยุกต์ใช้วัสดุและรูปทรงเพื่อให้เกิดการควบแน่นเป็นน้ำค้าง กับระบบการให้น้ำที่เหมาะสมนั้น จากการศึกษาทั้ง 4 รูปแบบ การประยุกต์ใช้รูปแบบของงานวิจัยกับการให้น้ำแบบหยด โดยใช้ควบคู่กับงานระบบการให้น้ำของอาคาร (Hybrid System) เป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้ ซึ่งการให้น้ำแบบหยดนั้นเป็นการให้น้ำแก่พืชที่จุดใดจุดหนึ่ง หรือหลายๆจุดบนผิวดิน หรือเฉพาะในเขตรากพืชด้วยระบบท่อ โดยมีการควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พืชไม่มากแต่สม่ำเสมอ ด้วยอุปกรณ์หัวปล่อยน้ำ ซึ่งจะติดตั้งตามแนวยาวของท่อแขนง ซึ่งการให้น้ำแบบหยดนั้นจากการศึกษาข้อมูล การใช้งานจริงมีการใช้พลังงานจากเครื่องสูบน้ำ เครื่องควบคุมความดันในการนำน้ำมาใช้ซึ่งยังมีการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นกลไกในการขับเคลื่อนระบบ ซึ่งจาก

การค้นคว้าการให้น้ำระบบน้ำหยดโดยไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นกลไกในการขับเคลื่อนระบบ เป็นแนวทางที่สามารถนำมาเป็นการให้น้ำพืชโดยลดการใช้พลังงานได้

การประยุกต์ระบบน้ำหยดในการนำมาใช้ในงานวิจัย (Drip or Tickle Irrigation)

ในประเทศอิสราเอล การให้น้ำระบบน้ำหยดประสบความสำเร็จในการทำเกษตรในทะเลทราย และได้ผลผลิตสูงมีคุณภาพของผลผลิตที่ดี ซึ่งระบบน้ำหยดเป็นวิธีการให้น้ำระบบประหยัด ซึ่งระบบนี้เป็นการให้น้ำพืชในปริมาณน้อย แต่ให้น้ำบ่อยครั้งตามความต้องการของพืช และให้น้ำเฉพาะบริเวณเขตรากพืชเท่านั้น จุดมุ่งหมายสำคัญของการให้น้ำแบบนี้ เพื่อที่จะรักษาระดับความชื้นของดินบริเวณเขตรากพืชให้อยู่ในระดับที่พืชสามารถดูดความชื้นไปใช้สร้างความเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์พอเหมาะกับความความต้องการตลอดเวลา การรักษาระดับความชื้นในหล่งที่พอเหมาะนี้ ระบบจะต้องมีการควบคุมเวลาและอัตราการให้น้ำในแต่ละจุด เพื่อที่จะไม่ทำให้ดินอมน้ำหรือแห้งเกินไป อุปกรณ์สำคัญในการควบคุมและจ่ายน้ำให้แก่ต้นพืชแต่ละต้นก็คือ หัวปล่อยน้ำ ซึ่งจะติดอยู่บนท่อแขนงที่วางไปตามแถวต้นพืช และท่อแขนงก็จะไปต่อกับท่อนำน้ำมายังพื้นที่ คือท่อแยกประธาน และท่อประธาน ซึ่งมีอัตราการไหลที่นิยมนำมาใช้สำหรับหัวน้ำหยดอยู่ระหว่าง 2-8 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งหลักการทำงานของการให้น้ำรูปแบบนี้จะต้องอาศัยถังสูงหรือถังความดันวางในตำแหน่งที่สูงเพื่อจ่ายน้ำสู่ถังกรองหรือถังผสมปุ๋ยก่อนปล่อยน้ำสู่ท่อส่งน้ำ โดยไม่อาศัยพลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนระบบ การให้น้ำในลักษณะความดันไม่สูงมาก สามารถควบคุมให้มีปริมาณใกล้เคียงกับการใช้น้ำของพืช และรักษาระดับความชื้นของดิน บริเวณรากพืช ให้อยู่ในระดับที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้สะดวกตลอดเวลา



ภาพที่ 5 โครงสร้างระบบน้ำหยด

ที่มา : มนตรี (2542)

ส่วนประกอบของระบบน้ำหยด

1. ชุดเครื่องสูบน้ำ มีอุปกรณ์กรองน้ำก่อนถูกสูบ หัวกะโหลกปั๊ม สายชุด เครื่องสูบ ท่อส่งน้ำ
2. เครื่องกรองน้ำ มักใช้ถังกรองทราย ถ้าเป็นแบบใช้ความดันต่ำ
3. ระบบท่อ
 - 3.1 ท่อประธาน (Main Line) ท่อใหญ่สุดต่อตรงจากเครื่องสูบ
 - 3.2 ท่อรองประธาน (Submain Line) ท่อขนาดกลางต่อเข้าแปลง
 - 3.3 ท่อแขนง (Lateral Line) ท่อขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 14-18 มิลลิเมตร ต่อตามแถวพืช
 - 3.4 ท่อเล็ก (Micro Tube) ท่อจ่ายน้ำไปยังหัวฉีด
4. หัวน้ำหยด (dripper หรือ emitter) อาจเป็นแบบหัวเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มประมาณ 10 หัว
5. ส่วนประกอบพิเศษ
 - 5.1 ถังผสมปุ๋ยแบบละลายน้ำ
 - 5.2 ชุดควบคุมปริมาณและความดัน
 - 5.3 ชุดควบคุมความชื้นในดิน

5.4 มาตรฐานน้ำ

5.5 ระบบควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ

องค์ประกอบของระบบการให้น้ำแบบหยด

ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญดังนี้ หัวปล่อยน้ำ ท่อแขนง ท่อประธาน เครื่องกรอง เครื่องควบคุมความดันของน้ำ และนอกจากนี้อาจจะมีเครื่องผสมปุ๋ย องค์ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบชลประทานแบบหยด

1. ท่อประธาน (Main Line) ท่อประธานเป็นท่อต่อมาจากแหล่งน้ำโดยสามารถวางบนดิน หรือฝังใต้ดิน

2. ท่อรองประธาน (Submain Line)

ท่อรองประธานเป็นท่อที่แตกแยกจากท่อประธาน อาจใช้ท่อพีวีซีหรือพีอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20-80 มิลลิเมตร ส่วนใหญ่ใช้ขนาด 30-50 มิลลิเมตร

3. ท่อแขนง (Lateral Line)

ท่อแขนงเป็นท่อที่แบ่งน้ำมาจากท่อประธานหรือท่อแยก วางชิดขนานกับแถวของพืช อาจฝังใต้ผิวดินหรือวางบนดินก็ได้แต่นิยมวางบนผิวดิน เป็นท่อพีวีซีหรือพีอีสีดำ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6-25 มิลลิเมตร นิยมใช้ขนาด 12-20 มิลลิเมตร ไม่ควรยาวเกิน 300 เมตร

4. หัวน้ำหยด (dripper หรือ emitter)

หัวน้ำหยด หรือเรียกว่าหัวปล่อยน้ำหรือหัวจ่ายน้ำติดอยู่กับท่อย่อย เป็นตัวควบคุมปริมาณการไหลของน้ำจากท่อย่อยสู่ดิน อัตราการไหลของน้ำ 1-15 ลิตร/ชั่วโมง ขนาดของรู 0.5-1.5 มิลลิเมตร

5. เครื่องกรองน้ำ (Filter) เครื่องกรองน้ำ ทำหน้าที่กรองน้ำเพื่อป้องกันการอุดตัน

6. เครื่องควบคุมการจ่ายน้ำต้นทาง (The Control Head) เครื่องควบคุมการจ่ายน้ำต้นทางทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายน้ำทั้งระบบ จากแหล่งน้ำไปสู่ระบบของวิธีการให้น้ำแบบหยด ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ คือ ประตูน้ำใหญ่ เครื่องวัดปริมาตรน้ำ เครื่องวัดแรงดันน้ำ เครื่องควบคุมแรงดันน้ำ ประตูป้องกันน้ำไหลกลับ เครื่องใส่ปุ๋ยหรือสารเคมี

7. แหล่งน้ำ ต้องสามารถส่งน้ำให้มีแรงดันอย่างน้อย 0.6 บาร์ โดยการสูบน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำส่งเข้าสู่ระบบหยดน้ำหรือจากน้ำในถังประปาสูงอย่างน้อย 6 เมตรใช้กับพื้นที่ 100 ตร.ม ขึ้นไป

วิธีการให้น้ำแบบหยด

1. ให้น้ำทางผิวดิน

วิธีให้น้ำทางผิวดิน ให้อ่างตักน้ำและหัวน้ำหยดอยู่บนผิวดิน การให้น้ำหยดชนิดนี้ เหมาะสมกับพืชผัก ไม้ดอกหรือไม้ประดับหรือไม้ผล ซึ่งสามารถถอดเก็บอุปกรณ์หัวน้ำหยด ตักน้ำ หยด หลังจากเก็บเกี่ยวแล้ว หรือหมดอายุแล้ว แล้วนำมาประกอบใหม่ในฤดูปลูกต่อไป หรือสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในพื้นที่ใหม่ได้

2. วิธีให้น้ำใต้ผิวดิน

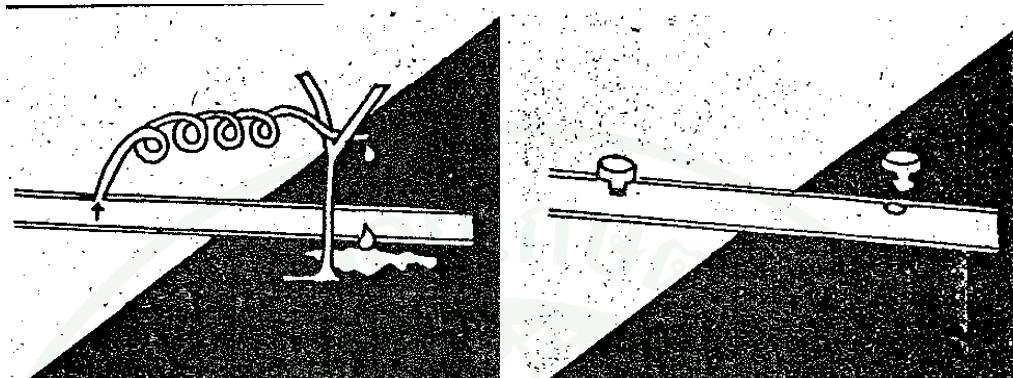
วิธีการให้น้ำใต้ผิวดิน ให้ฝังท่อหยดอยู่ทางใต้ผิวดิน ต่อหัวน้ำหยดให้โผล่ขึ้นมาเหนือผิวดิน การให้น้ำแบบหยดวิธีนี้ จะติดตั้งอุปกรณ์หัวน้ำหยดแบบถาวร เคลื่อนย้ายไม่ได้

ลักษณะการติดตั้งเพื่อใช้งาน จำแนกตามลักษณะพื้นที่เปียกน้ำ (Water Area) แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. แบบพื้นที่เปียกน้ำเป็นแถวยาวต่อเนื่อง (Wetted Strip) เหมาะสำหรับการปลูกพืชระยะชิด ปลูกเป็นแถวเป็นแนว เช่น พืชไร่ และผัก โดยพื้นที่วางเปียกจากจุดน้ำหยดแต่ละจุดจะชิดถึงกัน และเกิดการซ้อนกันไม่เกิน 60 เปอร์เซ็นต์ ของเส้นผ่าศูนย์กลางวงเปียกแบบนี้จะเกิดการสูญเสียน้ำไปโดยการดูดซับของดิน ข้างเคียงกับเขตรากพืชน้อยกว่าแบบให้เฉพาะจุด

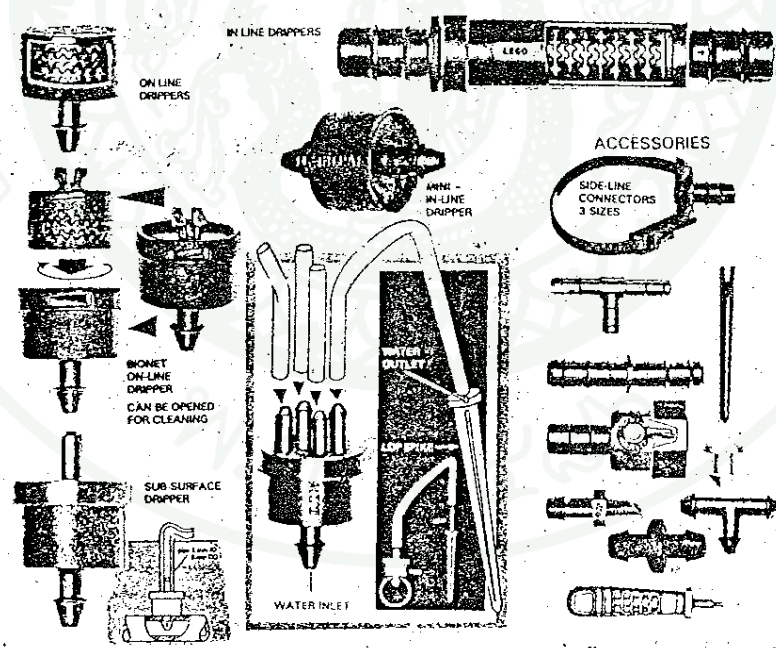
2. แบบพื้นที่เปียกน้ำเป็นจุด (Wetted Spot) เหมาะสำหรับพืชที่ปลูกเป็นระยะห่าง เช่น ไม้ผล โดยมีหลักการว่าจะต้องให้ครอบคลุมไม่น้อยกว่า $\frac{1}{3}$ ของปริมาตรรากหาكين

รูปแบบของหัวน้ำหยด



ภาพที่ 6 หัวน้ำหยดสำเร็จรูปให้ปริมาณการไหลหยดของน้ำต่างกัน

ที่มา : สุรสิทธิ์ (2544)



ภาพที่ 7 ตัวอย่างหัวน้ำหยดและอุปกรณ์ประกอบระบบน้ำหยด

ที่มา : สุรสิทธิ์ (2544)

การให้น้ำระบบหยดสามารถลดการสูญเสียน้ำตามทางระหว่างส่งน้ำ ลดการสูญเสียเนื่องจากการไหลซึมเลยเขตราก ตลอดจนการสูญเสียเนื่องจากการระเหยและการไหลนองบนผิวดิน การให้น้ำแบบนี้จึงสามารถประหยัดน้ำได้มากกว่า ควบคุมจังหวะการให้น้ำได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถให้ปุ๋ยและฮอร์โมนได้สะดวกและประหยัด โดยการละลายไปในน้ำ ระหว่างการส่งน้ำ จึงนับได้ว่าเป็นวิธีการให้น้ำแก่พืชที่มีประสิทธิภาพสูง

สำหรับหัวข้อการวิจัยการนำเทคนิคการควบแน่นของน้ำค้างจากอากาศรวมถึงการประยุกต์การให้น้ำพืชโดยระบบน้ำหยด เป็นแนวทางการนำน้ำและการให้น้ำแก่พืชสำหรับสวนหลังคาโดยไม่เสียพลังงานหรือใช้พลังงานน้อยที่สุดแก่สวนหลังคา เพื่อลดปริมาณความร้อนที่แผ่ลงหลังคา คอนกรีตโดยตอบสนองแนวคิดการพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืนและการนำแนวคิดการวิจัยมาประกอบกับงานระบบปัจจุบันที่ใช้อยู่ก็สามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำและสามารถลดค่าใช้จ่ายและต้นทุนการผลิตได้

12. การเลือกพืชพันธุ์ที่เหมาะสมกับสวนหลังคา

จากการศึกษาความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆที่ปลูกในประเทศไทย ปริมาณน้ำที่ต้องการสูงสุดต่อวันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 4,000 ซีซีต่อตารางเมตร (มนตรี, 2542) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าปริมาณน้ำที่ได้จากการกลั่นตัวเป็นไอน้ำต่อวันไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช ฉะนั้นการเลือกชนิดของพืชพันธุ์ที่เหมาะสมและวิธีการให้น้ำหรือการจัดการระบบการให้น้ำแก่พืชจะต้องพิจารณาควบคู่กันไป ซึ่งจากการศึกษาชนิดของพืชที่เหมาะสมสำหรับสภาวะแวดล้อมที่พืชต้องการน้ำในปริมาณน้อยและสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ และนิยมใช้สำหรับสวนหลังคาในต่างประเทศนั้นพบว่าพืชที่ต้องการน้ำน้อย มีวิวัฒนาการที่จะลดการสูญเสียน้ำ โดยการลดรูปของใบให้มีขนาดเล็ก และปากใบปิดในเวลากลางวัน หรือมีลำต้นอวบน้ำเพื่อจะสงวนรักษาน้ำไว้ใช้ในกระบวนต่างๆ สำหรับการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงนั้น เกิดได้น้อยมาก เนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แพร่เข้าไปในใบไม่ได้ ดังนั้นพืชพวกนี้จึงมีวิธีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างไปจากพืชพันธุ์ชนิดทั่วไป ทำให้พืชลักษณะนี้มีความต้องการน้ำน้อยกว่าพืชทั่วไปถึง 5 เท่า (สิโรจน์, 2545)

พืชลักษณะนี้พบได้ครั้งแรกในชื่อ *Bryophyllum calycinum* (ต้นคว่ำตายหงายเป็น) ซึ่งอยู่ในแฟมิลีครัสซูลาซี (Crassulaceae) ซึ่งเป็นพืชที่มีใบอวบน้ำ (Succulent plant) ในแฟมิลีครัสซูลาซี

(Crassulaceae) แบ่งแยกสายพันธุ์ออกเป็นหลายสายพันธุ์ หนึ่งในนั้นคือสายพันธุ์ Sedum มีลักษณะรูปแบบกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เรียกว่า Crassulacean acid metabolism หรือ เรียกพืชชนิดนี้ว่าพืช CAM (CAM plant) ซึ่งมีอัตราการคายน้ำที่ต่ำ(การใช้น้ำในการเจริญเติบโตมีประสิทธิภาพสูง) และเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนแห้งแล้ง จนถึงเขตเมอริดิเตอร์เรเนียน ซึ่งพืชพันธุ์ที่มีลักษณะใบอวบน้ำที่เหมาะสมจะนำมาใช้กับสวนหลังคาในประเทศไทยจากการพิจารณา คือ กุหลาบหิน ลิ้นมังกร กระบองเพชร สตรนารายณ์ กล้วยไม้ ว่านหางจระเข้ สับปะรดเบบี๋ชันโรส เป็นต้น



ภาพที่ 8 พืชพันธุ์ที่ใช้สำหรับสวนหลังคา กุหลาบหิน ลิ้นมังกร เบบี๋ชันโรส

ที่มา: วิชัย (2520)

ชนิดพรรณพืชที่เลือกนำมาใช้สำหรับสวนหลังคา

1. กุหลาบหิน

ชื่อพฤกษศาสตร์	:	Sedum spectabile
ชื่อสามัญ	:	Sedum , Ice Rose
วงศ์	:	Crassulaceae

ไม้ในสกุลนี้ส่วนใหญ่เป็นไม้พุ่ม อวบน้ำและมีอายุอยู่ได้นานหลายปี มีถิ่นกำเนิดในแอฟริกาและเอเชีย เป็นไม้ดอก ดอกออกเป็นช่อ มีขนาดช่อและสีของดอกแตกต่างกันออกไป ส่วนมากในธรรมชาติจะบานดอกในฤดูหนาว ไม้ในสกุลนี้ทั้งหมดไม่ต้องการน้ำมาก ดินที่จะใช้ปลูกต้องระบายน้ำดี

กุหลาบหิน มีพุ่มต้น สูงไม่เกิน 1 ฟุต ใบมีลักษณะเป็นรูปไข่ ยาวประมาณ 3 นิ้ว กว้าง $1\frac{1}{2}$ นิ้วขอบใบหยักโค้งเล็กน้อยและอวบน้ำ จะสังเกตได้ว่ากุหลาบหิน จะเริ่มบานดอกในเดือนมกราคม โดยดอกจะบานพร้อมกันหมดทั้งต้นที่หลายช่อ บานติดต่อกัน ไปจนถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ หรือต้นมีนาคม ซึ่งนับได้ว่าเป็นไม้ดอกที่บานทนในช่วงระยะเวลาติดต่อกันนานกว่าไม้ดอกชนิดอื่น

กุหลาบหิน ขยายพันธุ์ด้วยการปักชำใบหลังจากปักชำแล้วจะออกรากที่โคนก้านใบภายใน 2 สัปดาห์และจะออกต้นใหม่ในเวลาประมาณ 2 เดือน วัสดุที่ใช้สำหรับปักชำอาจใช้ทรายอย่างเดียวหรือใช้ทรายผสมถ่านกลบในอัตราส่วน 1:1

2. ลิ้นมังกรลาย

ชื่อพฤกษศาสตร์	:	Sanservieria trifasciata
ชื่อสามัญ	:	Laurentii, Snake Plant.
วงศ์	:	Liliaceae
		(The Lily Family.)

ลีนม้งกรลาย เป็นพืชของทวีปแอฟริกาและอินเดีย ที่มีต้นเป็นหัวหรือเหง้าเจริญอยู่ใต้ดิน ใบเกิดจากหัวโผล่ขึ้นมาพื้นดิน รวมอยู่เป็นกลุ่มเป็นกอ ต้นละ 4-8 ใบ ใบสีเขียวรูปหอกแกมกระด้าง ตั้งตรงจากพื้นดินขึ้นมาในแนวตั้ง ปลายใบแหลม ขอบริมใบเรียบเกลี้ยง เป็นสีเขียวขลิบล้อมรอบริม ใบ กลางเป็นสีเขียวอ่อน และมีเส้นหยักๆ ประเป็นระยะขวางกับแนวใบเป็นลายสีเขียวเข้มกว่าสีของใบ 2.5-3 นิ้ว ยาวประมาณ 1.5-2 ฟุต

ลีนม้งกรลาย ออกดอกปีละครั้งในระหว่างเดือนพฤษภาคม – มีนาคม เมื่อออกดอกจะแทงก้านดอกสูงจากกลางกอประมาณ 1.5 ฟุต ก้านดอกมีสีเขียวอ่อน ดอกมีสีขาวหรือสีเขียวอ่อนๆ ขนาดเล็กออกเป็นแนวเรียงกันจนเต็มก้านดอก ดอกมี 5 กลีบ บานเต็มที่กว้างประมาณ 1.5 เซนติเมตร และจะบานไล่กันจากโคนก้านช่อดอกไปหาส่วนปลาย

ลีนม้งกร ขยายพันธุ์ด้วยการตัดใบไปปักชำขึ้นง่าย เป็นต้นไม้ประดับที่นิยมเลี้ยงกันกว้างขวางมา เพราะใบมีลวดลายและสีที่แปลกๆสวยงามมาก ปลูกได้ทั้งในร่มและกลางแจ้ง

3. เบบี้นันโรส

ชื่อพฤกษศาสตร์ : *Aptenia cordifolia* (L.f.) Schwantes
 ชื่อสามัญ : Baby sun rose, Heartleaf plant
 วงศ์ : Aizoaceae

เบบี้นันโรสปลูกประดับเป็นไม้คลุมดินได้ดีทนต่อสภาพอากาศที่หนาวเย็นยาวนาน ต้องการแสงแดดเต็มวัน และลักษณะของดินปลูกต้องระบายน้ำได้ดี จะออกดอกตลอดทั้งปี เบบี้นันโรสเป็นไม้เลื้อยอวนน้ำคลุมผิวดิน ใบ รูปไข่ ปลายแหลม อวนน้ำ หนา สีเขียวสด ผิวมัน มีดอกขนาดเล็ก กลีบดอกเป็นเส้นฝอย สีแดง เกสรเหลือง ชอบแสงแดดจัด เป็นไม้ที่มีถิ่นกำเนิดจากแอฟริกา ขยายพันธุ์ ด้วยการปักชำกิ่งหรือยอด นอกจากเป็นไม้ที่ทนต่อความแห้งแล้งแล้ว ยังนิยมนำมาปลูกใส่กระถางตกแต่งเป็นสวนแขวน

เบบี้นันโรสเป็นลักษณะไม้ดอกอายุหลายปี ใบหนา สีเขียวอ่อนหรือด่างสีเขียวครีม ดอกคล้ายดอกแอสเตอร์ ออกตามซอกใบ ขนาด 1-1.5 ซม. กลีบดอกเป็นเส้นเล็กๆ มีสีครีม ส้ม ชมพู

และแดง การขยายพันธุ์ ปักชำกิ่ง และเพาะเมล็ด สภาพปลูก แสงแดดปานกลางถึงแสงแดดมาก
ลักษณะดินที่ใช้ปลูก ดินปนทราย

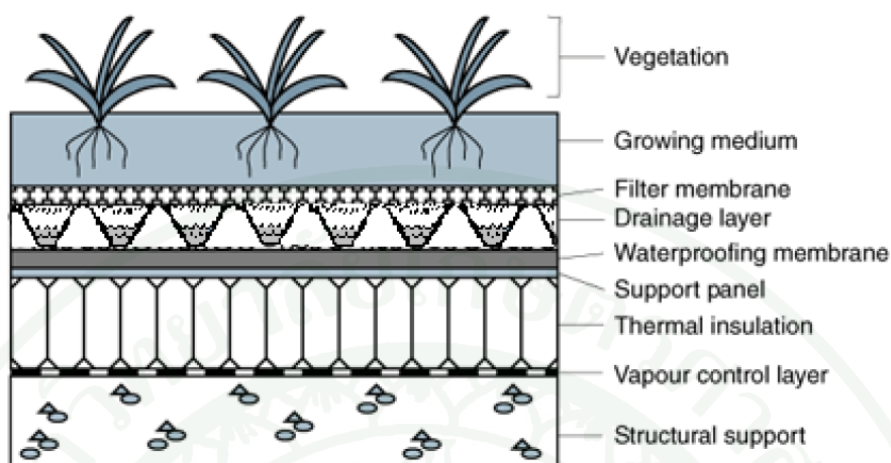
หมายเหตุ ชนิดใบด่างมีแผ่นใบสีเขียวขอบสีครีมมีขนาดเล็กและโตช้ากว่าชนิดใบสีเขียว

แนวทางการจัดสวนหลังคาสำหรับงานวิจัย

1. สวนหลังคาแบบ Extensive Roof Garden

เป็นสวนหลังคาที่มีความลึกของหน้าตัดของโครงสร้างชั้นดิน พืชพรรณและวัสดุปลูก ไม่ลึกมากและจะประกอบด้วยพืชพรรณ ต้นไม้ประมาณ 1 หรือ 2 ประเภทเท่านั้น ไม่มีความหลากหลายทางพืชพรรณมากนัก โดยส่วนมากมักจะถูกออกแบบเพื่อใช้ในการลดปริมาณความร้อนและช่วยในเรื่องการระบายน้ำของหลังคาให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและมีน้ำหนักในการติดตั้งไม่ต้องการโครงสร้างในการรับน้ำหนักมากและประกอบกับความสวยงาม การดูแลรักษาสวนประเภทนี้ สามารถดูแลรักษาได้ง่ายโดยไม่ต้องดูแลมาก การติดตั้งและจัดสวนประเภทนี้ส่วนใหญ่จะจัดบนหลังคาคอนกรีต ซึ่งตามปกติมาตรฐานที่มีการจัดสวนประเภทนี้จะใช้ความลึกของชั้นดินโดยเฉลี่ยประมาณ 41 มม. – 102 มม. (1.6 นิ้ว – 4 นิ้ว) และน้ำหนักรวมไม่เกิน 49 กก./ตร.ม. – 98 กก./ตร.ม. (10 ปอนด์/ตร.ฟ. -20 ปอนด์/ตร.ฟ.)

Typical structure of extensive green roof



ภาพที่ 9 แสดงรูปตัดสวนหลังคาแบบ Extensive Roof Garden

ที่มา: Hui (2009)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นนำพืชพรรณประเภท CAM (CAM plant) ได้แก่ กุหลาบหิน ลิ้นมังกร เบปี่ชัน โรส มาทำการปลูกในแปลงทดลองเพื่อทดสอบความต้องการน้ำของพืชกับปริมาณน้ำที่ได้จากอากาศ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Edward Linacre (2011) หัวข้อวิจัยเรื่อง เครื่องดักน้ำจากอากาศ (Airdrop pump)

Edward Linacre (2011) ได้ศึกษาประยุกต์การให้น้ำในพื้นที่ที่ขาดแคลนโดยใช้ระบบท่อใต้ดินที่มีประสิทธิภาพส่งน้ำไปยังรากของพืช กระบวนการทำงานของอุปกรณ์ได้ดักความชื้นจากอากาศเพื่อการให้น้ำพืช ทำให้เกิดการควบแน่น ระบบใช้ท่อในการกลั่นน้ำการให้น้ำแบบ Airdrop เกิดจากการสร้างท่อโลหะขุดไปมาและใช้หลักการหมุนเวียนอากาศ และองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งรวมถึงแนวคิดการแก้ไขกังหัน โดยออกแบบให้รับอากาศได้มากที่สุด ทำงานได้ในภาวะที่มีลมมาก และใช้พลังงานแบตเตอรี่ในภาวะที่มีลมน้อย ปัมป์จะดันน้ำจากถังใต้ดินรวมถึงสวิตช์ลูกลอยเพื่อตัดกระแสไฟจากปั๊มเมื่อระดับน้ำต่ำ ซึ่งจะเห็นว่า“การเลียนแบบธรรมชาติ” เป็นแนวทางที่มี

ประสิทธิภาพ เครื่องดักน้ำจากอากาศ (Airdrop pump)ทำงานเมื่อกังหันนำอากาศลงสู่ใต้ดินผ่านท่อ ซึ่งอากาศจะเย็นลงอย่างรวดเร็วทำอุณหภูมิของดิน เมื่อมีความชื้นถึง 100 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดน้ำ น้ำ จะถูกเก็บในถังใต้ดินและจะถูกปั๊มส่งไปยังรากพืชผ่านการให้น้ำแบบน้ำหยดใต้พื้นดิน โดยปริมาณ น้ำที่หาได้อยู่ที่ 1,000 ซีซีต่อคืน



ภาพที่ 10 ต้นแบบงานวิจัยเครื่องดักน้ำจากอากาศ

ที่มา: Linacre (2011)



ภาพที่ 11 ผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยเครื่องดักน้ำจากอากาศ (Airdrop pump)

ที่มา: Linacre (2011)

- ฌฐีย (2543) หัวข้อวิจัยเรื่อง เทคนิคการออกแบบและการเลือกวัสดุหลังคา เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง

ฌฐีย (2543) ได้ศึกษาการออกแบบหลังคาเพื่อให้เกิดปริมาณน้ำค้างต่อพื้นที่ต่อคืนมากที่สุด คือ การทำให้ผิวหลังคามีอุณหภูมิผิวต่ำที่สุด โดยมีเทคนิคการออกแบบหลังคาและเลือกใช้วัสดุ ดังนี้ 1) เลือกใช้วัสดุเคลือบผิวหลังคาที่มีค่าการคายรังสีมากกว่า 0.90 ค่าการคายรังสีนี้จะพิจารณาในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ไมครอนขึ้นไป โดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่น 8-13 ไมครอน เนื่องจากวัสดุสามารถคายรังสีความร้อนกลับสู่ท้องฟ้าได้ดีที่สุด 2) เลือกใช้วัสดุเคลือบผิวหลังคาที่มีสภาพผิวเป็นมันเรียบ เพื่อลดการยึดเกาะของปริมาณน้ำค้างที่ไหลลงสู่ท้องฟ้า 3) เลือกใช้วัสดุหลังคาที่มีมวลสารน้อย เพื่อความรวดเร็วในการคายความร้อนกลับสู่ท้องฟ้า 4) เลือกมุมเอียงหลังคาให้มีมุมที่เปิดสู่ท้องฟ้ามากที่สุด โดยเน้นความสมดุลระหว่างการเกิดและการไหลของปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น 5) การวางหลังคาในทิศทางที่ไม่ได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดผ่านผิวหลังคาโดยตรง 6) การป้องกันความร้อนจากใต้แผ่นหลังคา ผลการวัดปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นในเขตกรุงเทพมหานคร สรุปได้ว่า ปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 140 ซีซี ต่อตารางเมตรต่อคืน และมีปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นมากที่สุดประมาณ 340 ซีซีต่อตารางเมตรในช่วงเดือนพฤศจิกายน

- สุนทร (2547) หัวข้อวิจัยเรื่อง การกักเก็บน้ำที่เกิดจากน้ำค้างบนหลังคา (บ้านชีวาติย์)

สุนทร (2547) ได้ศึกษาเทคนิคการออกแบบให้อุณหภูมิผิวหลังคาต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก โดยเคลือบผิวหลังคาด้วยสีชนิดพิเศษที่ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนสูงเกิน 0.96 อุณหภูมิผิวหลังคาจะต่ำกว่าอากาศภายนอกประมาณ 2-3 องศาเซลเซียสและเกิดน้ำค้างขึ้นที่ผิวหลังคา ผิวหลังคาจึงเปรียบได้กับเครื่องช่วยในการกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ เพื่อนำมาใช้สอยภายในบ้าน จากการทดลองพบว่าในฤดูร้อนพื้นที่หลังคา 1 ตารางเมตร สามารถผลิตน้ำได้สูงสุด ประมาณ 300 ซีซีต่อวัน บ้านชีวาติย์มีพื้นที่หลังคาประมาณ 270 ตารางเมตร จะสามารถผลิตน้ำได้ประมาณ 80 ลิตรต่อวัน

แนวทางการทดลองของงานวิจัย เลือกใช้วัสดุโลหะเป็นวัสดุต้นแบบเนื่องจากวัสดุโลหะ มีคุณสมบัติในการนำความร้อนและการคายความร้อน ได้ดีกว่าวัสดุโลหะและสามารถขึ้นรูปทรงได้ง่าย และจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง วัสดุประเภทอลูมิเนียมต้นแบบ คือ อลูมิเนียมเคลือบผิวอะโนไดซ์มีคุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีความร้อนที่ต่ำและ

ค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนที่สูงมาใช้ในการทดลองประกอบกับ สามารถหาแหล่งผลิตได้ง่ายในท้องตลาด โดยในการทดลองจะศึกษาตัวแปรที่ส่งผลทำให้อุณหภูมิผิววัสดุมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย ระดับความสูงจากพื้น การวางแผ่นวัสดุ ทำมุมแนวระนาบและแนวตั้งฉาก และรูปทรงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว เพื่อหาปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น ประกอบกับสวนหลังคาทดลอง

งานวิจัยนี้ประยุกต์การให้น้ำพืชโดยระบบน้ำหยด เป็นแนวทางการนำน้ำและการให้น้ำแก่พืชสำหรับสวนหลังคาโดยไม่เสียพลังงานหรือใช้พลังงานน้อยที่สุดแก่สวนหลังคา เพื่อลดปริมาณความร้อนที่แผ่ลงหลังคาคอนกรีต โดยตอบสนองแนวคิดการพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืนและการนำแนวคิดการวิจัยมาประกอบกับงานระบบปัจจุบันที่ใช้อยู่ก็สามารถลดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำลงและสามารถลดค่าใช้จ่ายและต้นทุนการผลิตได้และมุ่งเน้นนำพืชพันธุ์ประเภท CAM (CAM plant) ได้แก่ กุหลาบหิน ลิ้นมังกร เบบี้นัน โรส มาทำการทดลองกับการปลูกเพื่อทดสอบความต้องการน้ำของพืชกับปริมาณน้ำที่หาได้จากสภาพแวดล้อม

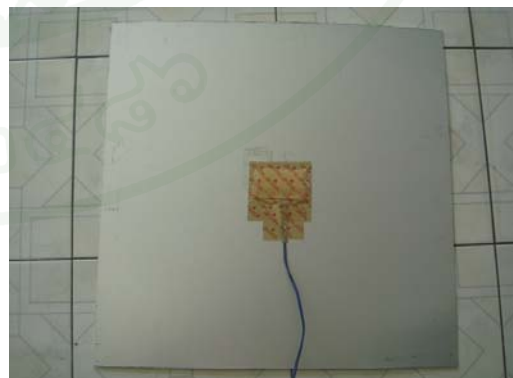
อุปกรณ์และวิธีการ

การวิจัยครั้งนี้มีรูปแบบการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) เพื่อหาเทคนิคการออกแบบแผ่นวัสดุเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้างโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดน้ำค้างและเพิ่มปริมาณน้ำค้างสำหรับการให้น้ำกับพืชพรรณในพื้นที่ต่อ 1 ตารางเมตรให้ได้ปริมาณน้ำมากที่สุดสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้นของประเทศไทย โดยแบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์

1. แผ่นวัสดุทดลองที่ใช้ในการวิจัย

การคัดเลือกวัสดุใช้เกณฑ์คุณสมบัติของค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีความร้อนที่ต่ำ และค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนที่สูงเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิผิวของวัสดุมีอุณหภูมิที่เย็นลงอย่างรวดเร็ว การเกิดหยดน้ำตามธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายโดยการควบแน่นของหยดน้ำที่ผิววัสดุ หากอุณหภูมิผิวของวัสดุเย็นลงได้เร็ว ความสามารถในการกักเก็บน้ำจะมีปริมาณที่มากขึ้น ซึ่งวัสดุโลหะอลูมิเนียมอะโนไดซ์มีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนต่อค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีความร้อนที่ต่ำแสดงถึงพื้นผิววัสดุมีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนดีกว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับความร้อน



ภาพที่ 12 แผ่นทดลอง : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร

ขนาด 0.50x0.50 เมตร

แผ่นวัสดุทดลองที่ 1 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร
ขนาด 0.50x0.50 เมตร พื้นที่ 0.25 ตารางเมตร วางแนวระนาบในตำแหน่งความสูง 3 ระดับคือ 0.50
เมตร 0.75 เมตร และ 1.00 เมตร

แผ่นวัสดุทดลองที่ 2 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร
ขนาด 0.50x0.50 เมตร พื้นที่ 0.25 ตารางเมตร วางแนวระนาบและวางแนวตั้งฉาก

แผ่นวัสดุทดลองที่ 3 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร
ขนาด 0.50x0.50 เมตร พื้นที่ 0.25 ตารางเมตร ประยุกต์วางแนวระนาบในตอนกลางคืนและปรับวาง
แนวตั้งฉากในตอนกลางวัน

แผ่นวัสดุทดลองที่ 4 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร
ขนาด 0.50x0.50 เมตร พื้นที่ 0.25 ตารางเมตร วางแนวระนาบทำมุม 15 องศาขึ้นชัน

แผ่นวัสดุทดลองที่ 5 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร
ขนาด 0.50x0.50 เมตร พื้นที่ 0.25 ตารางเมตร การพับแผ่นวัสดุและวางแนวระนาบ

2. การเตรียมสถานที่ทดลอง

การวิจัยนี้จะเลือกเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาปริมาณน้ำค้างและอุณหภูมิผิววัสดุเบื้องต้น
ภายในอำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ในบริเวณที่ไม่มีสิ่งก่อสร้างหรือต้นไม้กีดขวาง เพื่อควบคุมตัว
แปรที่ไม่เกี่ยวข้องไม่ให้มีผลต่อการคายรังสีความร้อนของวัสดุกับท้องฟ้า



ภาพที่ 13 สถานที่ทำการทดลองอำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี

3. เครื่องมือและการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 เครื่องมือเก็บค่าอุณหภูมิ (Hobo H8 Data logger) โดยเก็บค่าอุณหภูมิอากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง เป็นเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติสามารถจัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิ สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ สามารถตอบรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงการลงโปรแกรม Box car pro ที่ใช้ในการประมวลผลและบันทึก รายละเอียดอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่อง



ด้านหน้า

ด้านหลัง

ภาพที่ 14 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Hobo H8 Data logger)

ข้อมูลด้านเทคนิคของเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Hobo H8 Data logger)

Features & Specifications

- 8-bit resolution
- Record 8K readings (4 channel external records 32K readings)
- Programmable start time / date
- Programmable sampling rate (0.5 second to 9 hours)
- Blinking LED confirms operation
- Memory modes : Stop when full ,Wrap – around when full
- User-replaceable battery lasts 1 year (typical)
- Battery level indication at launch
- Non-volatile memory retains data even if battery fails
- NIST – Traceable temperature accuracy certification available
- Compliance certificate available
- Readout and relaunch with optional Hobo Shuttle
- Size / Weight : 6.0 x 4.8 x 1.9 cm (2.4 x 1.9 x 0.8”) / approx. 29gms (1 oz.)

Two – channel logger with internal Temp and user – replaceable RH sensors

Key Specifications

- Temperature Measurement Range : -20° to 70°C (-4° to 158°F)
- Temperature Accuracy : $\pm 0.7^{\circ}$ at 21°C ($\pm 1.27^{\circ}$ at 70°F)
- RH Measurement Rang : 25% to 95% RH (user – replaceable RH sensor)
- RH Accuracy : $\pm 5\%$ RH

3.2 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Opus 200 Data Logger) เป็นเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ สามารถจัดเก็บข้อมูลได้ 2 ช่องสัญญาณและสามารถต่อเป็นระบบเดียวกันได้จนถึง 250 ช่องสัญญาณ วัดข้อมูลแบบ online โดยต้องใช้ในการต่อพ่วงกับระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ในการ บันทึกผลข้อมูล รวมทั้งการประมวลผลเชิงเส้น โดยข้อมูลที่วัดได้สามารถระบุหน่วยเป็นองศา เซลเซียส องศาฟาเรนไฮต์ รวมถึงการลงโปรแกรม Smart Control ที่ใช้ในการประมวลผลและ บันทึกรายละเอียดอุณหภูมิที่วัดได้จากเครื่อง



ภาพที่ 15 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Opus 200 Data Logger)

ข้อมูลด้านเทคนิคของเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (Opus 200 Data Logger)

Features & Specifications

2- channels datalogger/transmitter offering the following functions:

- Network up to 150 modules
- Each module can be used as interface for data transmissions
- Multiple interfaces for data transmission within a Network
- Data transmission via RS232 and adjustable transmission speed (4800 to 57600 baud)

- As actuator : the output can be used for resistance, current, and voltage measurements
- As actuator : the output is a contact at zero potential. The OPUS i-versions offer additional current output.
- Display for measurement indication
- Installation on 35mm rail
- Windows[™] compatible SmartControl software included with each module
- Operating Voltage 9 to 15V DC typ 12V, charger
- Operating Current <60 mA (active)
<10µA (stand by)
- Operating Temperature -30°C to 60°C
-22°F to 140°F
- Storage Temperature -30°C to 70°C (-22°F to 158°F)
- Relative Humidity 0 to 80% non condensing

General Data

- Display 2 line, 8 characters, down to -20°C (-4°F)
reading
- Dimension approximately 160x 50 x 45 mm (6.5 x 2 x 1.5 in)
- Weight 200 grams (7 oz)
- Protection Type IP 42 grams cover
- Connection System COMBICON Phoenix

Memory

- Storage Capacity max. 30,000 values
- Measurement Interval 0.1s/1s/10s/30s/60s, for each single channel to
be independently set
- Storage Interval 0.1s/1s/10s/30s, 1 to 1440 min, for each
channel to be independently set

- Storage Possibilities average, min, max, any possible combination

3.3 เครื่องวัดกระแสลม KIMO VT 300 เก็บข้อมูลอัตราเร็วลม และเป็นเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติสามารถจัดเก็บข้อมูลอุณหภูมิ โดยเก็บค่าอุณหภูมิอากาศ โดยการวัดค่าผ่านหัวเซนเซอร์ (Sensor) สำหรับตรวจวัด



ภาพที่ 16 เครื่องวัดกระแสลม (KIMO VT 300)

ข้อมูลด้านเทคนิคของเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (KIMO VT 300)

Features & Specifications

For the measurement of air velocity, flow with either vane or hot wire probes, of temperature (Pt100 and type K T/C), relative humidity and speed (tachometer).

- Simple to use because of the thumb wheel access
- Point/point average (auto/manual), minimum/maximum values
- Choice of unit and language
- Humidity 3 to 98% RH $\pm 1\%$ rdg $\pm 1.5\text{RH}$
- Tachometer 50 to 50,000 RPM $\pm 0.5\%$ rdg ± 1 RPM

- Pt100 thermometer 2 channels, -100 to 400° C/F
- Type K thermometer 2 channels, -200 to 1300° C/F
- Complete with hard carrying case with calibration certificate and selected smart probes

3.4 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) พร้อม Software เพื่อรับส่งข้อมูลจากเครื่องเก็บค่าอุณหภูมิ

3.5 ค่าที่วัดได้ อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิผิววัสดุ, ความชื้นสัมพัทธ์, อัตราเร็วลม นำมาวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเกิดการควบแน่นของผิววัสดุโดยใช้ Psychrometric chart เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์

3.6 ภาชนะกักเก็บน้ำค้างและอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำ



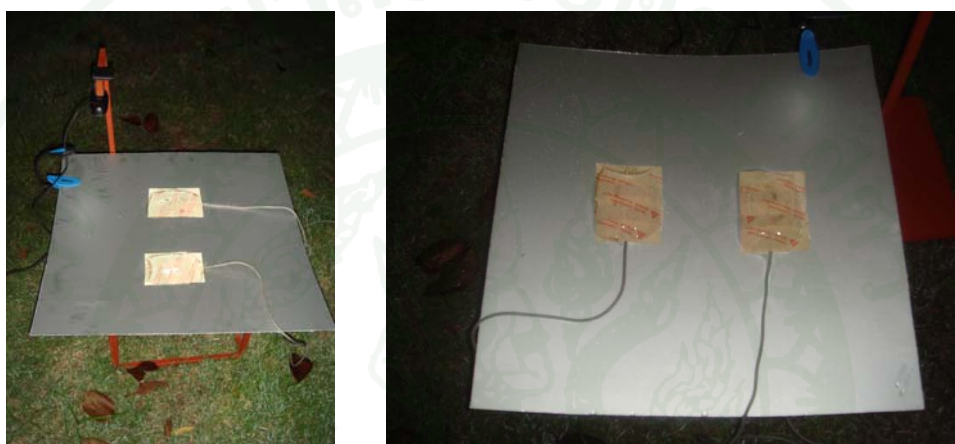
ภาพที่ 17 ภาชนะกักเก็บและอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำ

การตรวจสอบหวััดอุณหภูมิ

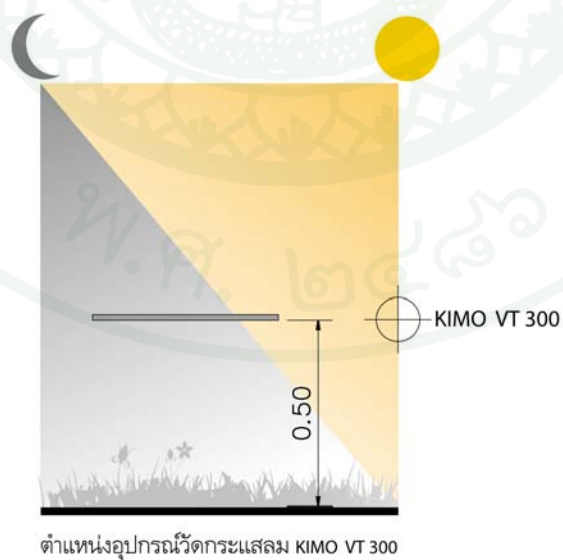
เซนเซอร์ที่ใช้เก็บอุณหภูมิเป็น Thermister มีคุณสมบัติในการตอบรับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากเซนเซอร์แต่ละตัวสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่แตกต่างกันเพื่อความถูกต้องและน่าเชื่อถือในการทดลองต้องมีการตรวจสอบหวััดโดยมีขั้นตอนการตรวจวัดให้ได้มาตรฐานดังนี้

- การทดสอบห้วงวัดโดยวัดค่าอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับจุดเยือกแข็งของน้ำที่ 0°C และบันทึกข้อมูลที่เซนเซอร์อ่านได้
- เพิ่มอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิน้ำเดือด (100°C) และบันทึกข้อมูลที่เซนเซอร์อ่านได้

การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 18 ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ Opus 200 ที่ผิววัสดุทั้งหมดรวม 2 จุดเพื่อเก็บอุณหภูมิผิววัสดุ



ภาพที่ 19 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดกระแสลม KIMO VT 300

การติดตั้งเครื่องมือเก็บค่าอุณหภูมิติดตั้งโดยหลีกเลี่ยงการได้รับอิทธิพลจากดวงอาทิตย์และฝนโดยตรง การเก็บค่าอุณหภูมิพื้นผิววัสดุจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน

ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดน้ำค้าง และการเพิ่มปริมาณน้ำค้าง สำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้นของประเทศไทย โดยแบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

1. การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้าง
2. การทดลองหาแนวทางการออกแบบแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้าง
3. การติดตั้งระบบการให้น้ำและการเลือกพืชพรรณสำหรับสวนหลังคา

การวางแผนวัสดุในแนวระนาบในระดับความสูงจากผิวดิน

รูปแบบในการวางแผนวัสดุเหนือผิวดินเพื่อรองรับกระบวนการการกักเก็บน้ำและปล่อยน้ำลงสู่พืช จึงควรมีระยะได้แผ่นเพื่อติดตั้งที่เก็บกักน้ำและอุปกรณ์ปล่อยน้ำลงสู่พืช จากงานวิจัยการวัดปริมาณน้ำค้างในประเทศอิสราเอลในระดับความสูงต่างๆกันจากความสูง 0.00 – 1.00 เมตร ค่าที่วัดได้ปริมาณน้ำได้มากที่สุด 0.03 เมตร จากระดับพื้นดินและความสูงที่เพิ่มขึ้นปริมาณน้ำยิ่งลดลง (Duvdevani ,1953) เห็นได้ว่าระยะความสูงยิ่งใกล้พื้นดินปริมาณน้ำยิ่งมากขึ้น แนวทางการทดลองจึงคำนึงถึงการหาระยะที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์ให้น้ำและทำให้เกิดปริมาณน้ำค้างมากที่สุด

การวางแผนวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉาก

รูปแบบการวางแผนวัสดุในแนวระนาบนอน ในช่วงเวลากลางคืน วัสดุจะสามารถคายรังสีความร้อนได้เต็มที่และน่าจะเป็นวิธีที่เกิดน้ำค้างได้มากที่สุด แต่หากนำมาใช้ในตอนกลางวันจะเป็นการบดบังแสงแดดเป็นผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช

รูปแบบในการวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากในช่วงเวลากลางวัน มีผลที่ดีต่อพืชพรรณที่อยู่ด้านล่างเพราะจะไม่บดบังแสงจากดวงอาทิตย์ อีกทั้งยังใช้พื้นที่น้อยและเหมาะสมสำหรับสวนหลังคา แต่อาจไม่ใช่วิธีที่จะได้ปริมาณน้ำค้างมากที่สุดในตอนกลางคืน

ในการทดลองจึงทำการเปรียบเทียบลักษณะการวางทั้ง 2 แบบ

1. การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้าง

ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อการเกิดน้ำค้าง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 วางแผ่นวัสดุแนวระนาบสู่ท้องฟ้าในตำแหน่งความสูง 3 ระดับคือ 0.50 เมตร 0.75 เมตร และ 1.00 เมตร

1.2 วางแผ่นวัสดุแนวระนาบและแนวตั้งฉาก

1.3 ประยุกต์วางแนวระนาบในตอนกลางคืนและปรับวางแนวตั้งฉากในตอน กลางวัน

1.1 การวางแผนวัสดุในแนวระนาบในระดับความสูงจากผิวดิน

รูปแบบในการวางแผนวัสดุเหนือผิวดินเพื่อรองรับกระบวนการการกักเก็บน้ำและปล่อยน้ำลงสู่พืช จึงควรมีระยะใต้แผ่นเพื่อติดตั้งที่เก็บกักน้ำและอุปกรณ์ปล่อยน้ำลงสู่พืชอย่างน้อย 50 ซม. และยังต้องการทดลองหาระยะที่เหมาะสมในการติดตั้ง ซึ่งทำให้เกิดปริมาณน้ำค้างมากที่สุด

การทดลองที่ 1.1



ภาพที่ 20 แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หน้า 1 มิลลิเมตร
ในระดับต่างๆ 0.50 เมตร 0.75 เมตร และ 1.00 เมตร

1.2 การวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉาก

รูปแบบการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอน ในช่วงเวลากลางคืน วัสดุจะสามารถคายรังสีความร้อนได้เต็มที่และน่าจะเป็นวิธีที่เกิดน้ำค้างได้มากที่สุด แต่หากนำมาใช้ในตอนกลางวันจะเป็นการบดบังแสงแดดเป็นผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช

รูปแบบในการวางแผ่นวัสดุแนวตั้งฉากในช่วงเวลากลางวัน มีผลที่ดีต่อพืชพรรณที่อยู่ด้านล่างเพราะจะไม่บดบังแสงจากดวงอาทิตย์ อีกทั้งยังใช้พื้นที่น้อยและเหมาะสมสำหรับสวนหลังคา แต่อาจไม่ใช่วิธีที่จะได้ปริมาณน้ำค้างมากที่สุดในตอนกลางคืน

ในการทดลองจึงทำการเปรียบเทียบลักษณะการวางทั้ง 2 แบบ

การทดลองที่ 1.2



ภาพที่ 21 แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร
วางแนวระนาบและแนวตั้งฉากกับพื้นหญ้า

1.3 ประยุกต์วางแผ่นวัสดุแนวระนาบในตอนกลางคืนและปรับแผ่นวัสดุแนวตั้งฉากในตอนกลางวัน

ประยุกต์รูปแบบการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอนในช่วงเวลากลางคืน วัสดุจะสามารถคายรังสีความร้อนได้เต็มที่และน่าจะเป็นวิธีที่เกิดน้ำค้างได้มากที่สุด และปรับแผ่นวัสดุวางแนวตั้งฉากในตอนกลางวันเพื่อลดการได้รับรังสีความร้อนในบางช่วงเวลา

การทดลองที่ 1.3



ภาพที่ 22 แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร
ประยุกต์การวางแนวระนาบในตอนกลางคืนและแนวตั้งฉากในตอนกลางวัน

2. การทดลองหาแนวทางการออกแบบแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้าง

ขั้นตอนการทดสอบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของแผ่นวัสดุในการเพิ่มปริมาณน้ำค้าง โดยมีขั้นตอน
ดังนี้

1. วางแผ่นวัสดุแนวระนาบทำมุม 15 องศาวางซ้อนชั้น
2. ประยุกต์การพับแผ่นวัสดุและวางแนวระนาบในตอนกลางคืนและปรับวาง
แนวตั้งฉากในตอนกลางวัน

2.1 การวางแผ่นวัสดุแนวระนาบทำมุม 15 องศาวางซ้อนชั้น

รูปแบบการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอนซ้อนชั้น 5 ชั้นระยะช่องว่างห่าง 0.10 ม.เพื่อ
ทดสอบการกักเก็บปริมาณน้ำจากการเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดการควบแน่นและทดสอบการไหลของ
น้ำลงภาชนะกักเก็บ

การทดลองที่ 2.1

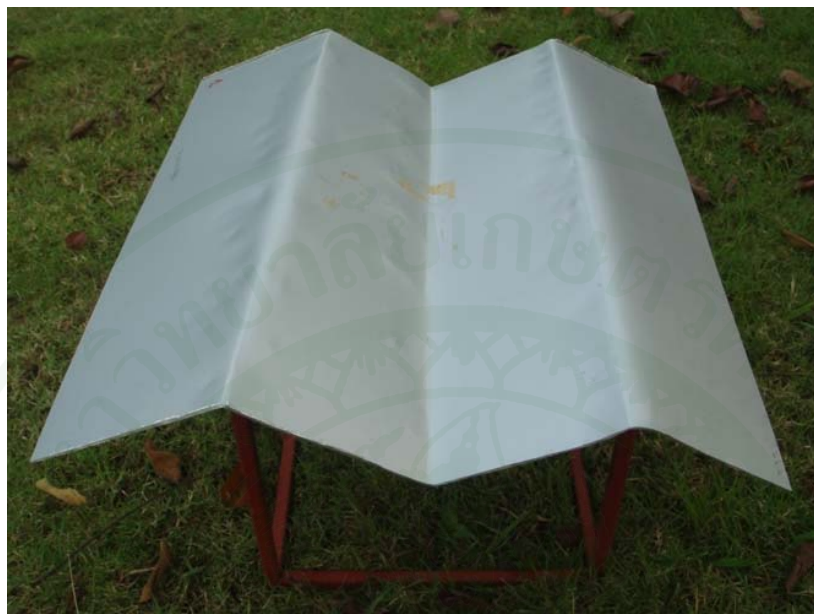


ภาพที่ 23 แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร
การวางแนวระนาบทำมุม 15 องศาขึ้นชันความสูง 0.50 เมตร

2.2 การพับแผ่นวัสดุและวางแนวระนาบ

รูปแบบการพับวัสดุเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการกักเก็บปริมาณน้ำค้างโดยคำนึงถึงองศาของการขึ้นรูปโดยมีความชัน 40 องศาประกอบกับการเพิ่มพื้นที่ผิวได้ $\frac{1}{8}$ ของพื้นที่ 1 ตารางเมตรและลดพื้นที่ปกคลุมโดยวิธีการพับวัสดุเข้าหากัน

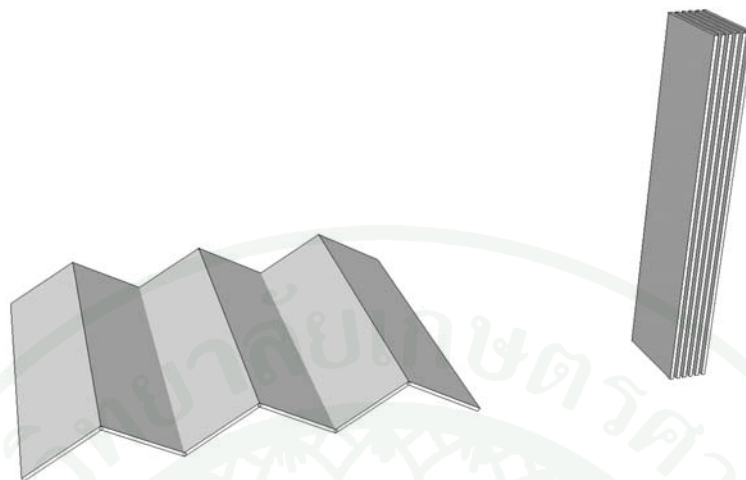
การทดลองที่ 2.2



ภาพที่ 24 แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร
การพับแผ่นวัสดุและวางแนวระนาบ

การออกแบบประยุกต์การพับแผ่นวัสดุและวางแนวระนาบในตอนกลางคืนและปรับวางแนวตั้งฉากใน ตอนกลางวัน

- ปรับรูปแบบในการวางแผ่นวัสดุในแนวตั้งฉากในช่วงเวลากลางวัน มีผลที่ดีต่อพืชพรรณที่อยู่ด้านล่างเพราะจะไม่บดบังแสงจากดวงอาทิตย์ อีกทั้งยังใช้พื้นที่น้อยและเหมาะสมสำหรับสวนหลังคา
 - ปรับรูปแบบในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบในช่วงเวลากลางคืน วัสดุจะสามารถคายรังสีความร้อนได้เต็มที่และน่าจะเป็นวิธีที่เกิดน้ำค้างได้มากที่สุด
- ในการทดลองจึงทำการประยุกต์ใช้ทั้ง 2 รูปแบบเพื่อทดสอบ



ภาพที่ 25 แสดงการปรับรูปแบบการพับแผ่นวัสดุและการวางในแนวระนาบและแนวตั้งฉากในแต่
ละช่วงเวลา

3. การติดตั้งระบบการให้น้ำและการเลือกพืชพรรณสำหรับสวนหลังคา

จากการศึกษาแนวทางการให้น้ำด้วยระบบหยดให้เหมาะสมกับหัวข้องานวิจัยนั้น การวาง
ท่อประธานเป็นท่อหลักบริเวณส่วนกลางประกอบกับการใช้ท่อแขนงจ่ายน้ำไปเลี้ยงพืชพรรณโดย
ใช้ขนาดท่อประธานเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ซม. และท่อแขนงเส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{3}{4}$ ซม. ทดลองการให้
น้ำจากแหล่งกักเก็บน้ำโดยใช้การให้น้ำตามแรงโน้มถ่วงของโลกและใช้เครื่องเปิด-ปิดน้ำอัตโนมัติ
แบบตั้งเวลาในการทดลอง

จำนวนหัวปล่อยน้ำที่จะใช้ต่อต้นใช้ 1 หัวต่อต้นโดยให้น้ำใกล้โคน และตำแหน่งที่จะตั้งหัว
ปล่อยน้ำควรอยู่ห่างจากลำต้นประมาณเศษหนึ่งส่วนสี่ ของความสูงของต้นพืชหรือประมาณกลางๆ
เขตพุ่มใบไม่วางตำแหน่งไว้ใกล้โคนต้นเพราะพืชจะใช้น้ำส่วนนี้ไปประโยชน์ได้น้อย

ประเภทพืชพรรณที่เลือกใช้ประกอบงานวิจัยคือ เบบี้น้ำโรส เนื่องจากมีพุ่มใบที่แผ่ปกคลุมเต็มพื้นที่ การแผ่ปกคลุมของพุ่มใบที่มากจะส่งผลถึงประสิทธิภาพในการช่วยลดปริมาณความร้อนที่แผ่สู่หลังคาคอนกรีตลงได้



ภาพที่ 28 พืชพรรณที่นำมาใช้ในแปลงทดลอง (เบบี้น้ำโรส)

ผลการทดสอบ

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดน้ำค้าง และการเพิ่มปริมาณน้ำค้าง โดยแบ่งผลวิจัยและวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

1. การทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้าง
2. การทดลองหาแนวทางการออกแบบแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้าง

ผลการทดสอบตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้าง

1. การทดสอบการวางแผ่นวัสดุในเรื่องระดับความสูงจากพื้นดิน

เพื่อทดสอบหาระยะความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์เก็บน้ำ และระบบการให้น้ำแก่พืชโดยทดสอบระยะความสูงที่สามารถกักเก็บปริมาณน้ำได้มากที่สุดจากแผ่นวัสดุโดยทำการทดลองช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 26.33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85.66 เปอร์เซ็นต์ สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน

การทดสอบ

เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่ 0.25 ตร.ม. ของพื้นผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน แผ่นวัสดุที่นำมาทดสอบ คือ แผ่นอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) โดยวางแผ่นวัสดุแนวระนาบ ลู่ท้องฟ้าทั้งหมด 3 แผ่นและวางแผ่นวัสดุในทิศตะวันออกและทิศตะวันตก

ตำแหน่งการวางแผ่นที่ 1 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum)หนา 1 มม. ขนาด 0.50 x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางสูงจากพื้น 0.50 ม.

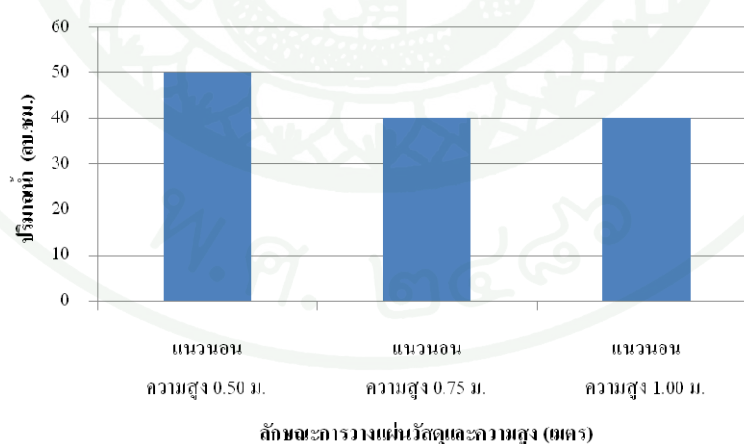
ตำแหน่งการวางแผ่นที่ 2 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum)หนา 1 มม. ขนาด 0.50 x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางสูงจากพื้น 0.75 ม.

ตำแหน่งการวางแผ่นที่ 3 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum)หนา 1 มม. ขนาด 0.50 x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางสูงจากพื้น 1.00 ม.



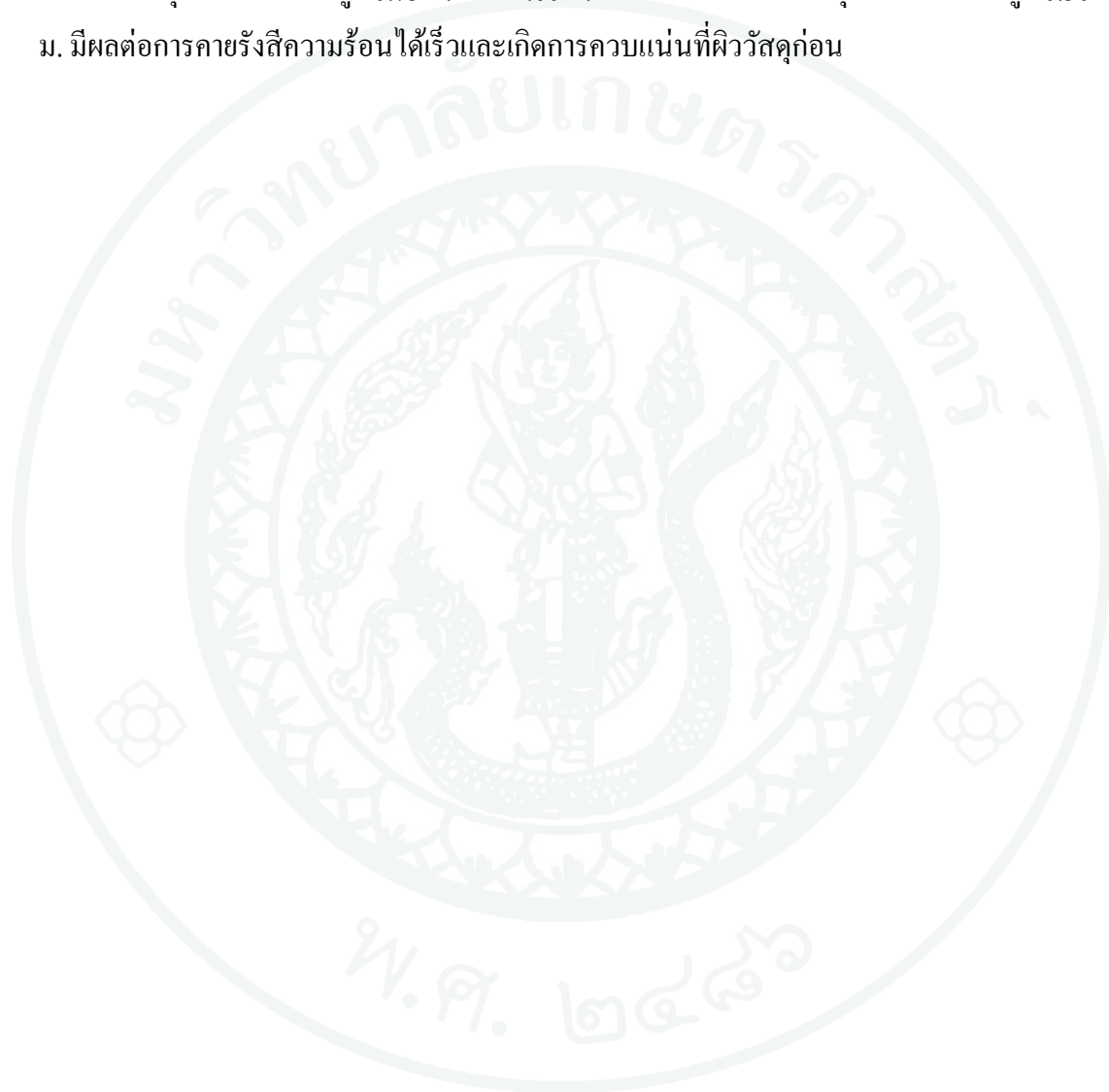
ภาพที่ 29 แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มิลลิเมตร วางแนวระนาบในระดับต่างๆ 0.50 ม., 0.75 ม. และ 1.00 ม.

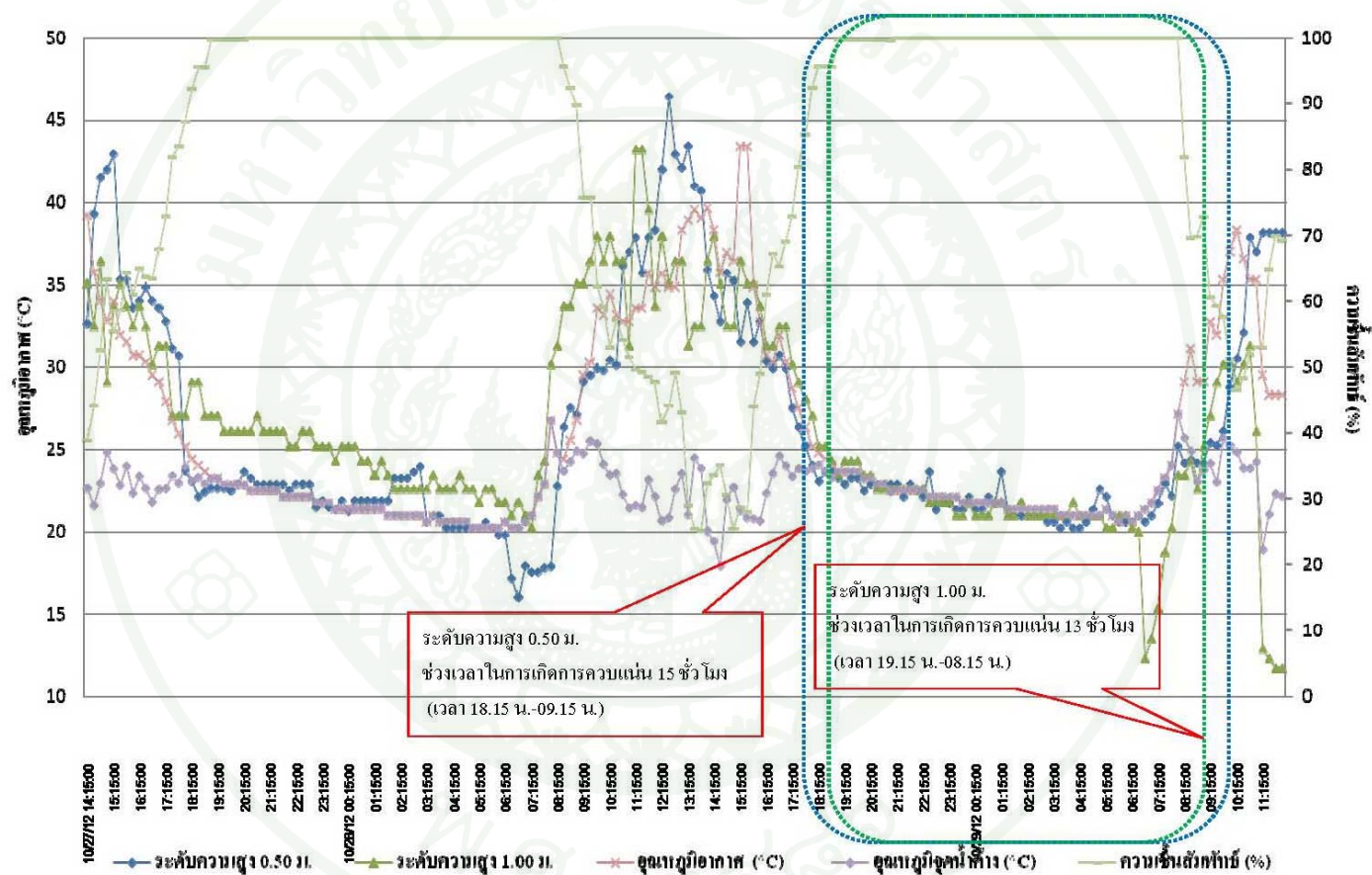
ผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บไว้ในช่วงเวลา 20.00 น. – 06.00 น. แผ่นวัสดุที่วางแนวระนาบในระดับความสูง 0.50 ม. ที่ใกล้พื้นสนามหญ้ามากที่สุดจะมีปริมาณน้ำที่กักเก็บได้ อยู่ที่ 50 ซีซี ต่อ 0.25 ตร.ม. ส่วนในความสูงที่สูงขึ้นปริมาณน้ำที่กักเก็บได้ คือ ความสูง 0.75 ม. กักเก็บได้ 40 ซีซี , ความสูง 1.00 ม. กักเก็บได้ 40 ซีซี



ภาพที่ 30 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ต่อพื้นที่ 0.25 ตร.ม. ในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบที่ความสูง 0.50 ม. , 0.75 ม. และ 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555

การวางแผนอุณหภูมิเนื้อมะโนไคซ์แนวระนาบในระดับความสูง 0.50 ม. จะกักเก็บปริมาณน้ำได้สูงสุด ส่วนในระดับความสูงที่สูงขึ้นปริมาณน้ำในการกักเก็บจะเริ่มลดลง ดังนั้นระดับความสูงที่เหมาะสมในการวางแผนวัสดุคือ ความสูง 0.50 ม. และการวางแผนวัสดุแนวระนาบที่ความสูง 0.50 ม. (ภาพที่ 31) แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิผิวในช่วงเวลา 18.00 น.- 20.00 น. มีอุณหภูมิผิวดำกว่าการวางแผนวัสดุในระดับความสูง 0.75 ม. และ 1.00 ม. ดังนั้นการวางแผนวัสดุในระดับความสูง 0.50 ม. มีผลต่อการคายรังสีความร้อนได้เร็วและเกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุก่อน





ภาพที่ 31 แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผนวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 0.50 ม., 0.75 ม. และ 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้า
ช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555

ผลการทดสอบระดับความสูงจากพื้นดิน

ระดับความสูงของแผ่นวัสดุในระดับต่างๆกัน มีผลต่อการเกิดปริมาณหยดน้ำที่ผิววัสดุในช่วงเวลากลางคืน

เวลากลางวัน (06.00 น. – 18.00 น.)

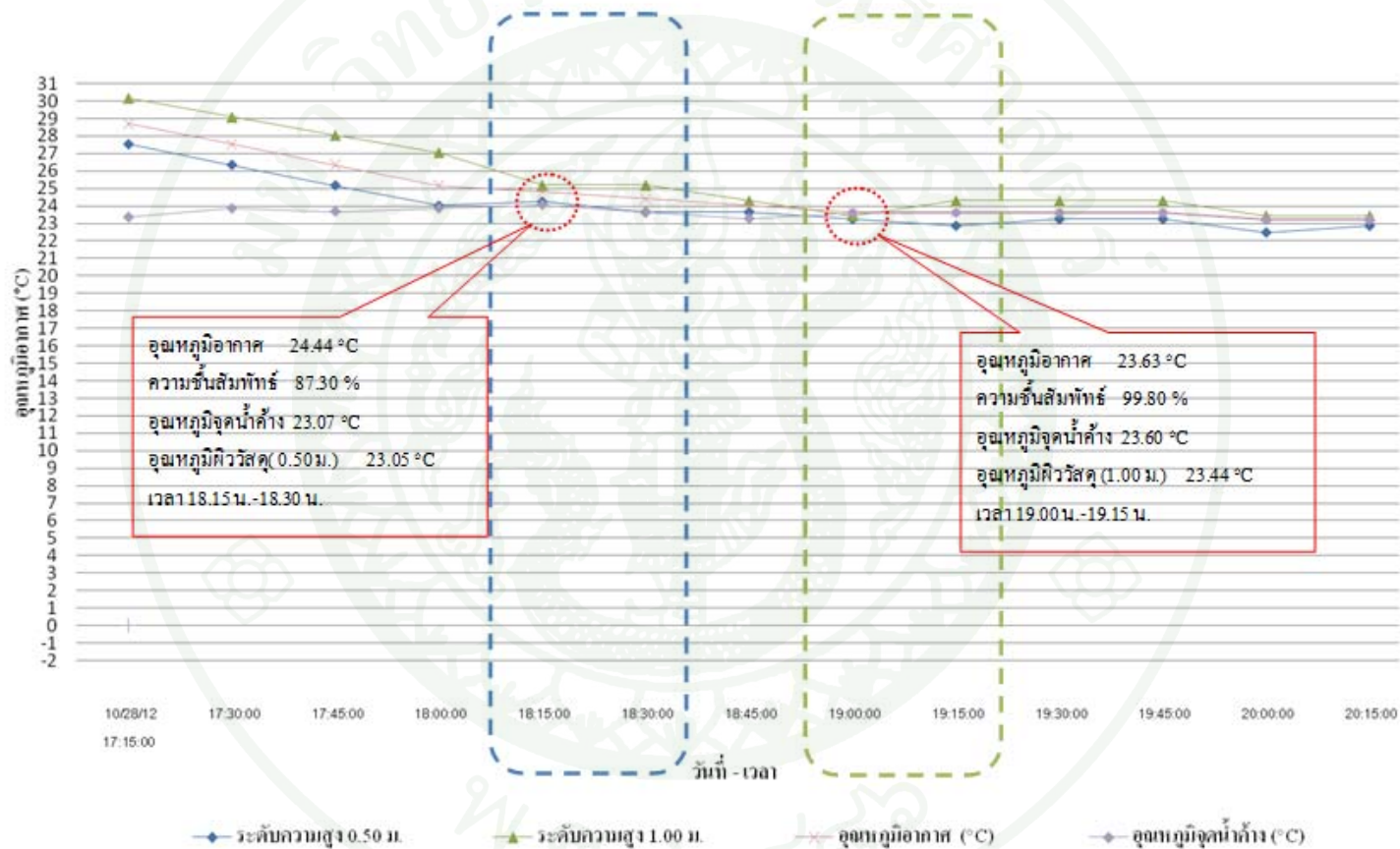
เมื่อได้รับอิทธิพลความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ส่งผลให้ผิววัสดุอุณหภูมินิยมอะโนไดซ์ มีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลา 14.00 น. โดยที่อุณหภูมิอากาศ 39.67 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุที่ความสูง 0.50 ม. และ 1.00 ม. มีอุณหภูมิผิว 35.88 และ 36.46 องศาเซลเซียสตามลำดับ อุณหภูมิผิวของการวางแผ่นวัสดุแนวระนาบใน ความสูงต่างกันจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน เนื่องจากได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ในทิศทางเดียวกัน

เวลากลางคืน (18.00 น. – 06.00 น.)

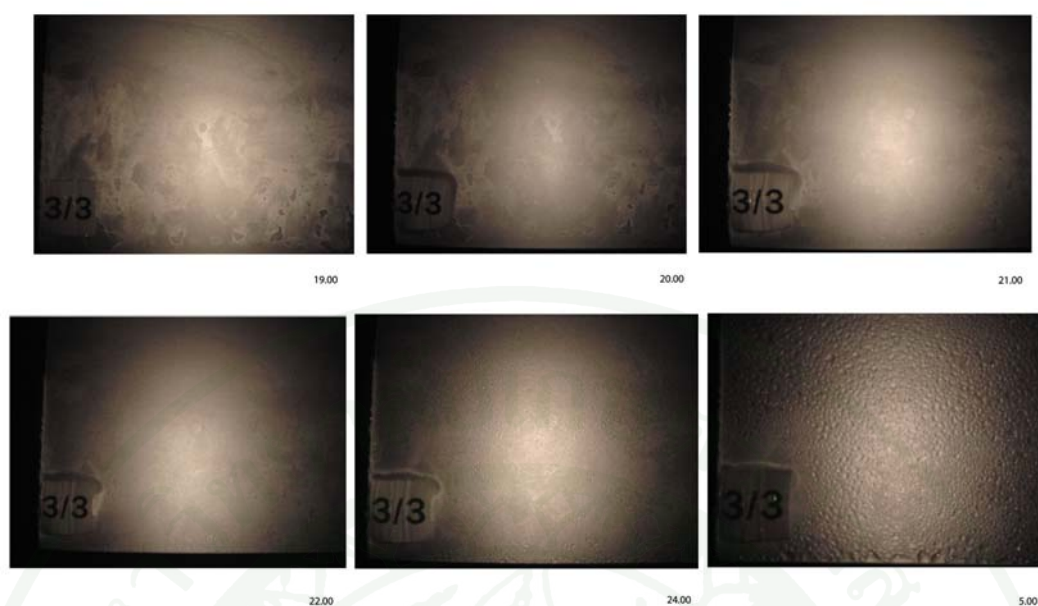
ผิววัสดุมีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุ มีการคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า ในการวางแผ่นวัสดุแนวระนาบสูงจากพื้น 0.50 ม. อุณหภูมิผิวมีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 18.15 น.-18.30 น. ทำให้แผ่นวัสดุเกิดกระบวนการควบแน่นก่อน ส่วนในการวางแผ่นวัสดุแนวระนาบสูงจากพื้น 0.75 ม. และ 1.00 ม. แผ่นวัสดุเกิดกระบวนการควบแน่นต่อมาในช่วงเวลา 19.00 น.-19.15 น. ซึ่งการวางแผ่นวัสดุสูงจากพื้น 0.50 ม. ได้รับอิทธิพลของการคายไอน้ำจากพืชพรรณที่อยู่บริเวณรอบ ทำให้ปริมาณไอน้ำในอากาศสูง และทำให้ อุณหภูมิผิววัสดุลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการควบแน่นได้อย่างรวดเร็ว

หมายเหตุ

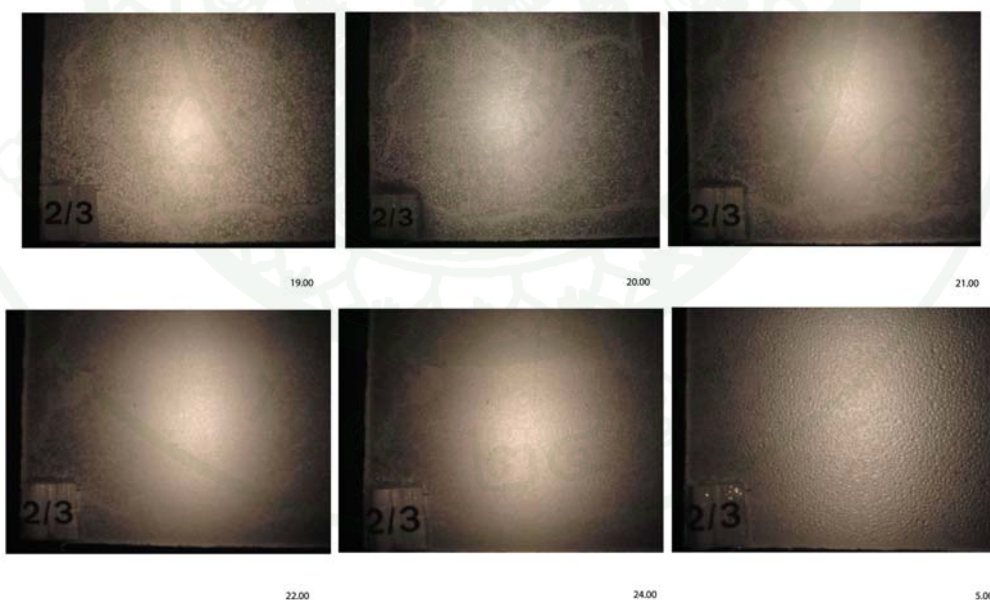
ค่าการวัดอุณหภูมิผิวที่ระดับความสูง 0.75 ม. จากการเก็บข้อมูลและการแสดงผลที่ได้ยังไม่สมบูรณ์เท่าที่ควรเนื่องจากจุดบกพร่องของหัวเซ็นเซอร์ที่วัดอุณหภูมิพื้นผิวทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผลจากการเก็บปริมาณน้ำค้างที่ได้ก็สามารถบอกถึงระยะความสูงที่เหมาะสมได้



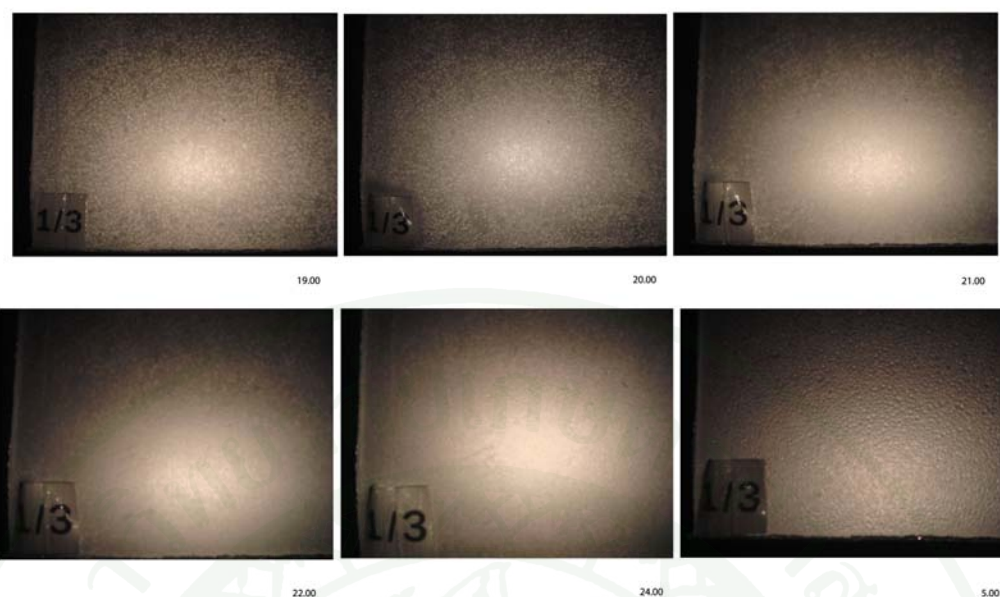
ภาพที่ 32 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิผิววัสดุเมื่อเกิดหยดน้ำในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบบนอนที่ความสูง 0.50 ม. และ 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555



ภาพที่ 33 แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ ในการวางแผนวัสดุในแนวระนาบตอนที่ความสูง 0.50 ม. จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555

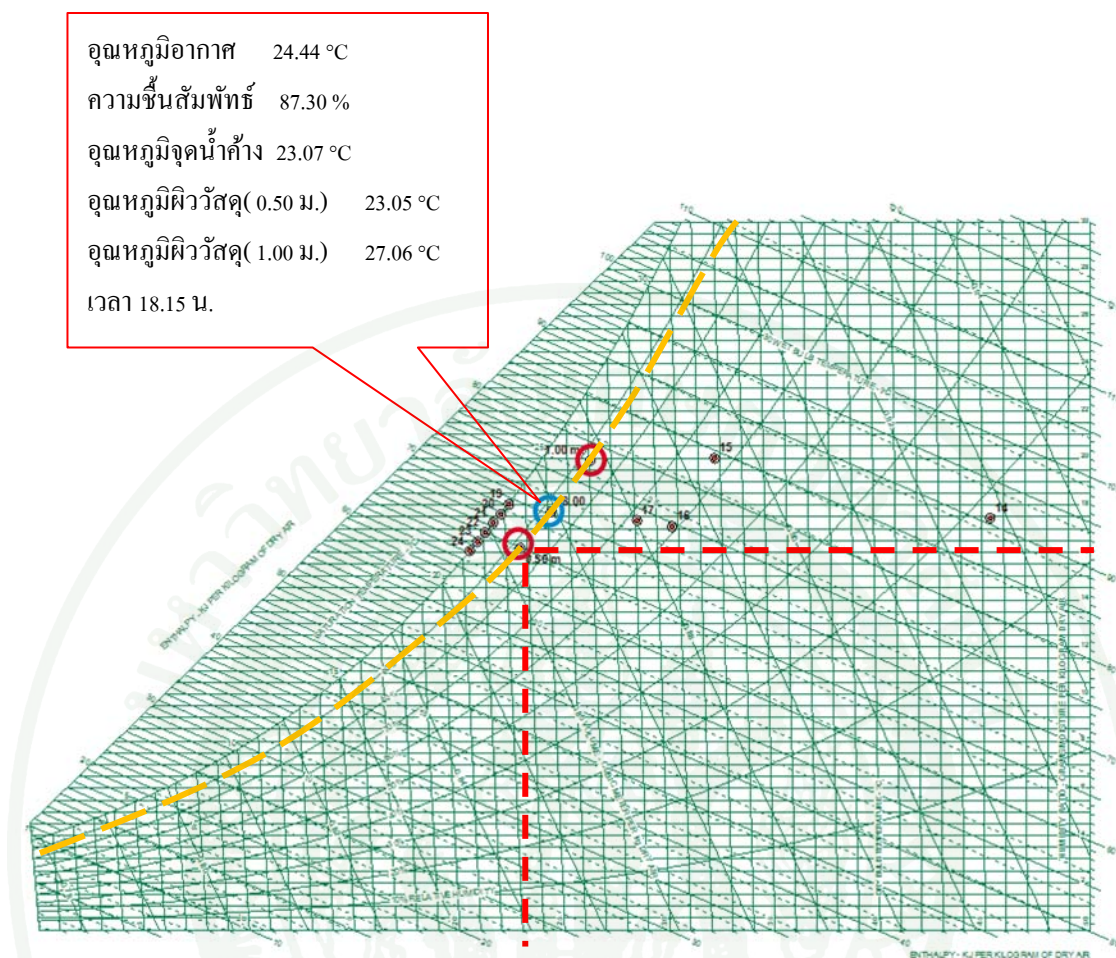


ภาพที่ 34 แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ ในการวางแผนวัสดุในแนวระนาบตอนที่ความสูง 0.75 ม. จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555



ภาพที่ 35 แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ ในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555

การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ (ภาพที่ 33) สามารถอธิบายได้ว่า การวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร จะเกิดกระบวนการควบแน่นขึ้นก่อน การวางแผ่นวัสดุในระดับที่สูงขึ้น การควบแน่นเกิดในช่วงเวลา 18.15 น- 18.30 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 87.30% อุณหภูมิอากาศ 24.44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 23.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23.07 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งในการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดลงของอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงลงมาสู่อุณหภูมิต่ำมากแสดงถึงการคายรังสีความร้อนได้มาก ประกอบกับช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลาที่มากกว่าโดยที่การวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร มีช่วงเวลา 15 ชั่วโมง (18.15 น. – 09.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 87.30% - 60.60% และการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 1.00 เมตรมีช่วงเวลา 13 ชั่วโมง (19.15 น. – 08.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 99.80% - 81.90% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ที่เวลา 21.15 น. ระยะเวลาในการเกิดการควบแน่นที่นานกว่าหมายถึงเป็นการเพิ่มการกักเก็บปริมาณน้ำที่มากขึ้น



ภาพที่ 36 Psychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุแนวระนาบในระดับความสูง 0.50 ม. 0.75 ม. และ 1.00 ม. จากพื้นสนามหญ้าช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555

สามารถอธิบายด้วย Psychrometric chart (ภาพที่ 36) ได้ว่าการวางแผนวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร จะเกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุในเวลา 18.15 น.-18.30 น. และการวางแผนวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 1.00 เมตร จะเกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุในเวลา 19.00 น.- 19.15 น. โดยการวางแผนวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร มีอุณหภูมิผิวลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 87.30% อุณหภูมิอากาศ 24.44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิว 23.05 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง การเกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุได้เร็วหมายถึงเป็นการเพิ่มการกักเก็บปริมาณน้ำที่มากขึ้น ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุสามารถคายรังสีความร้อนได้อย่างรวดเร็วและระดับความสูงไม่เกิน 0.50 เมตร สามารถกักเก็บปริมาณน้ำค้างได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับการทดลองในระดับความสูง 0.75 เมตรและ 1.00 เมตร

2. การทดสอบการวางแผ่นวัสดุแนวระนาบและแนวตั้งฉาก

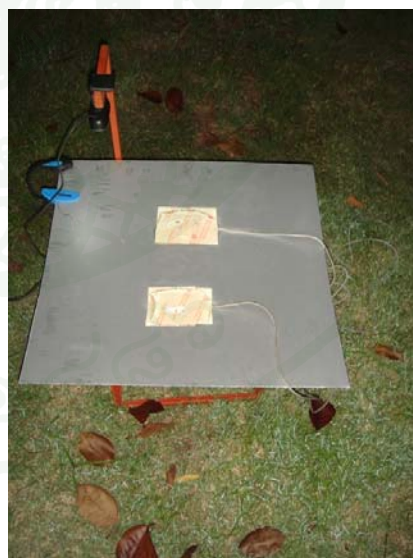
เพื่อทดสอบการเกิดปริมาณหยดน้ำที่ผิววัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉาก โดยทำการทดลองช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 26.33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 85.66 เปอร์เซ็นต์ สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน

การทดสอบ

เปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่ 0.25 ตร.ม. ของพื้นที่ผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน แผ่นวัสดุที่นำมาทดสอบ คือ แผ่นอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) โดยวางแผ่นวัสดุในแนวตั้งและแนวระนาบ วางแผ่นวัสดุในทิศตะวันออกและตะวันตก

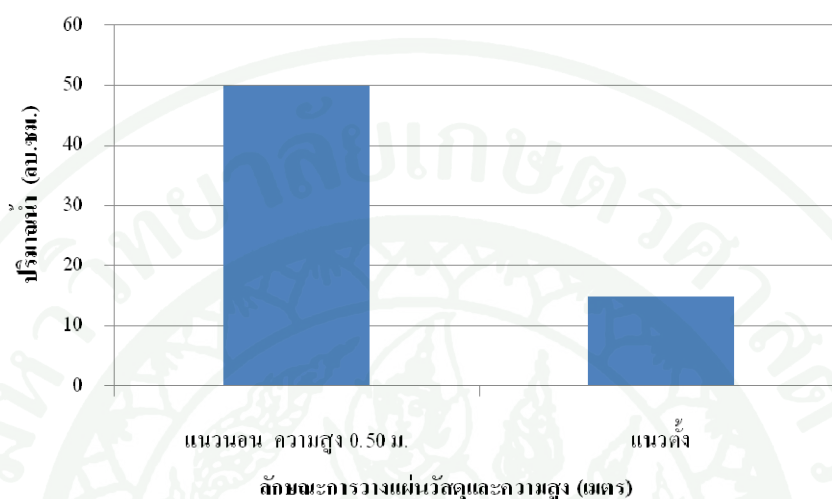
แผ่นทดลองที่ 1 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. ขนาด 0.50 ม. x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางระนาบสู่ท้องฟ้าในตำแหน่งความสูง 0.50 ม.

แผ่นทดลองที่ 2 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. ขนาด 0.50 ม. x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางตั้งฉากกับพื้นหญ้าในตำแหน่งความสูง 0.50 ม.



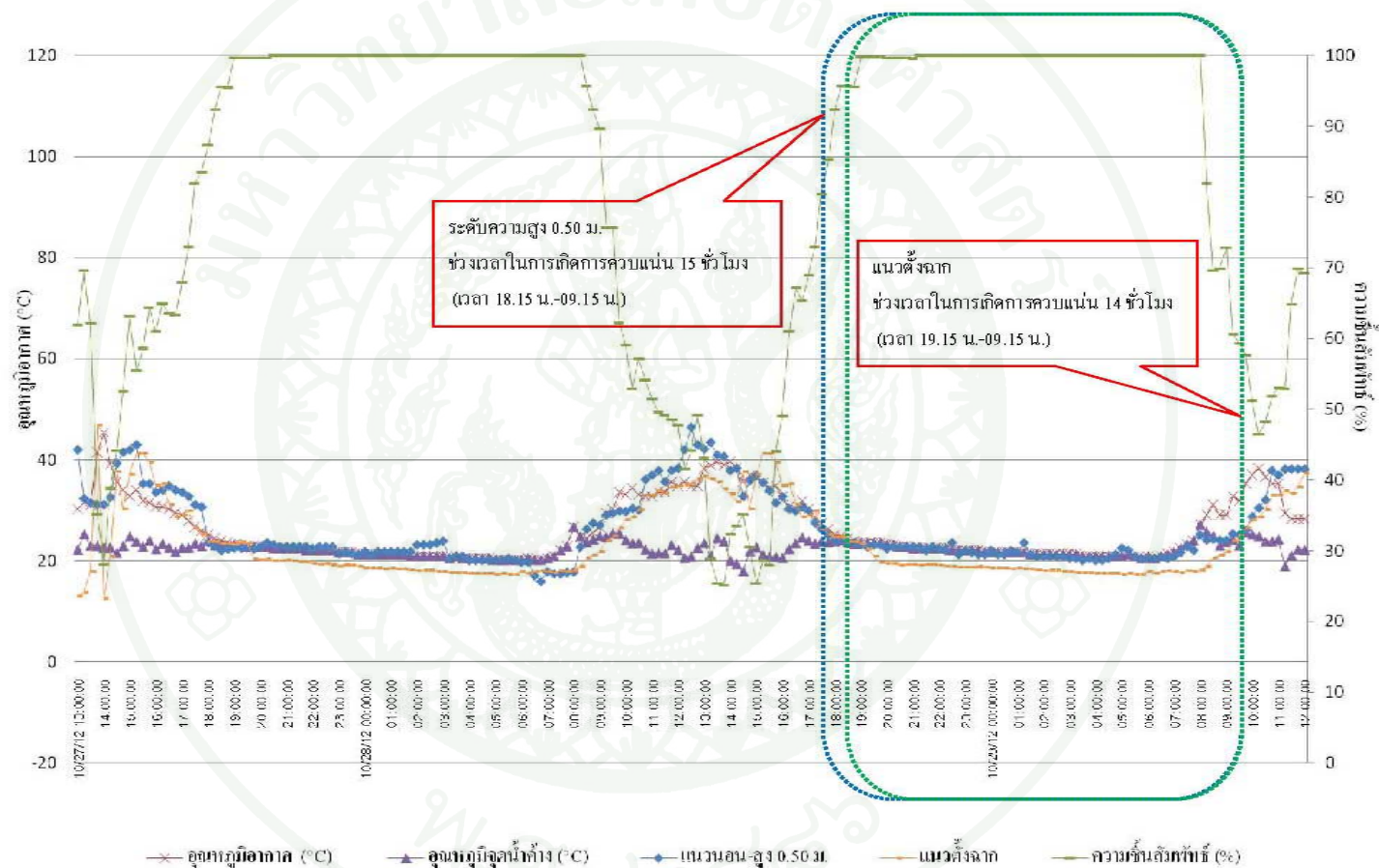
ภาพที่ 37 แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. วางแนวระนาบในระดับ 0.50 ม. และวางแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า

ผลการทดลองพบว่า ในช่วงเวลา 18.00 น. – 06.00 น. แผ่นวัสดุที่วางแนวระนาบในระดับความสูง 0.50 ม. มีปริมาณน้ำที่กักเก็บได้อยู่ที่ 50 ซีซีต่อ 0.25 ตร.ม. ส่วนแผ่นวัสดุที่ตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าปริมาณน้ำที่กักเก็บได้ 15 ซีซีต่อ 0.25 ตร.ม.



ภาพที่ 38 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ต่อ 0.25 ตร.ม. ในการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบที่ความสูง 0.50 ม. และวางแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า

การวางแผ่นอุโมงิเนียมอะโนไดซ์ในแนวระนาบในระดับความสูง 0.50 ม. จะกักเก็บปริมาณน้ำได้ 50 ซีซี จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิจีวในช่วงเวลา 08.00 น. – 18.00 น. มีอุณหภูมิจีวที่สูงกว่าการวางแผ่นวัสดุในแนวตั้งฉาก ดังนั้นการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบมีผลต่อการรับรังสีความร้อนในตอนกลางวันมากกว่าการวางแผ่นวัสดุแนวตั้งฉาก



ภาพที่ 39 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิผิววัสดุเมื่อเกิดหยดน้ำในการวางแผนวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 0.50 ม. และการวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555

ผลการทดสอบการวางแผนวัสดุแนวระนาบและแนวตั้งฉาก

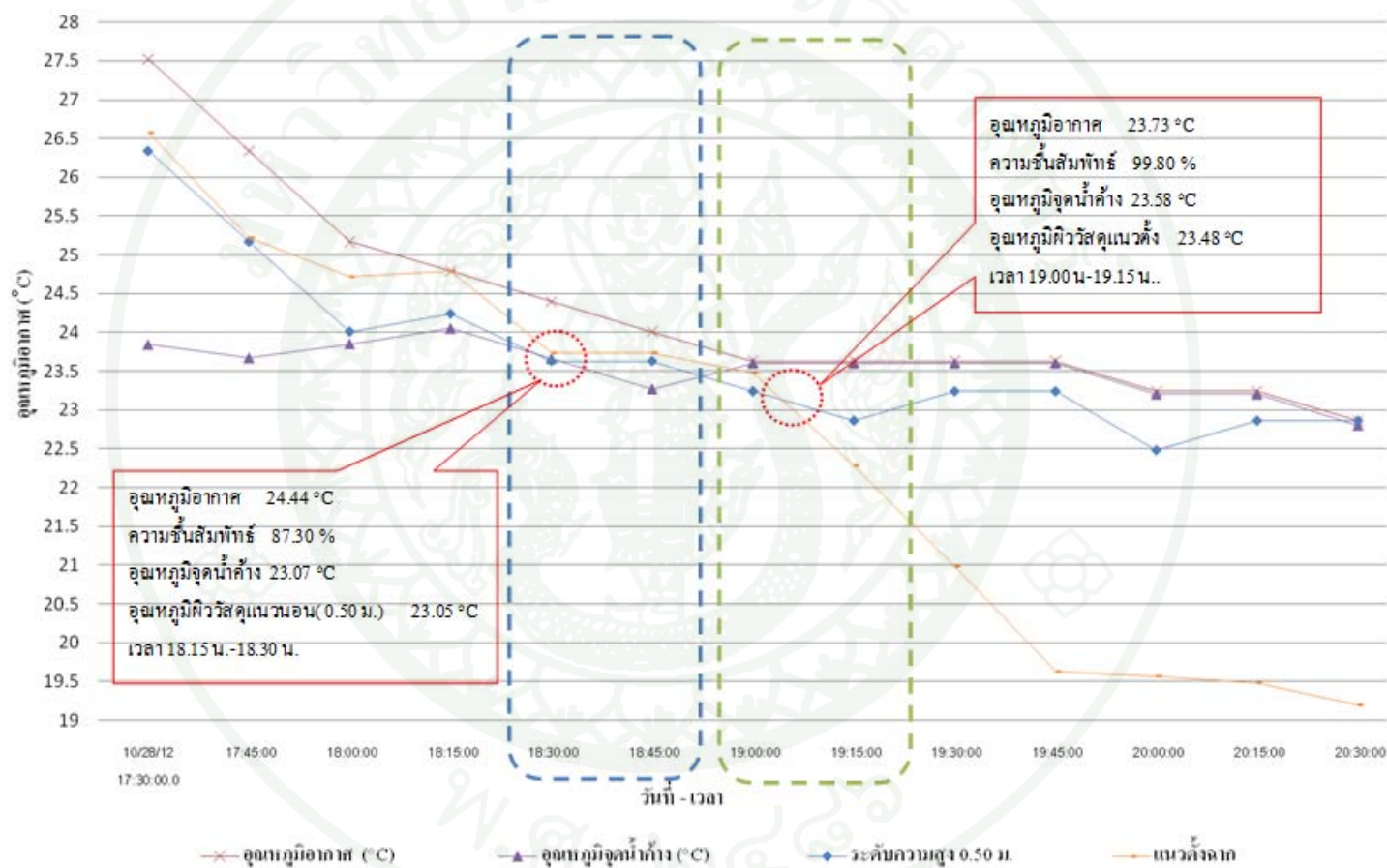
การวางแผนวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉาก มีผลต่อการเกิดปริมาณหยดน้ำที่ผิววัสดุทั้งในช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืน

เวลากลางวัน (06.00 น. – 18.00 น.)

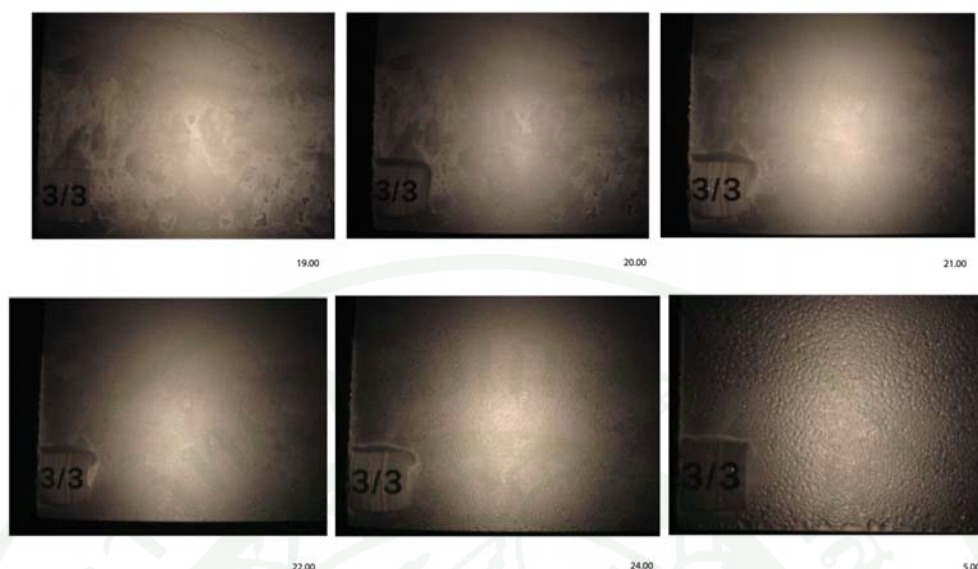
เมื่อเปรียบเทียบการได้รับอิทธิพลรังสีดวงความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยการวางแผนวัสดุ หันขนานด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ส่งผลให้ผิววัสดุอะลูมิเนียมอะโนไดซ์ในการวางแผนระนาบ มีอุณหภูมิสูงกว่า การวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากในช่วงเวลา 13.30 น. การวางแผนวัสดุแนวระนาบมีอุณหภูมิผิว 40.95 องศาเซลเซียส ส่วนการวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากมีอุณหภูมิผิว 35.66 องศาเซลเซียส เนื่องจากการวางแผนวัสดุแนวระนาบได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่ตลอดเวลา ต่างจากการวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากจะได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์บางช่วงเวลา

เวลากลางคืน (18.00 น. – 06.00 น.)

ผิววัสดุมีอุณหภูมิลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุ มีการคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้า ในการวางแผนวัสดุแนวระนาบสูงจากพื้น 0.50 ม. อุณหภูมิผิวมีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 18.15 น.-18.30 น. ทำให้แผ่นวัสดุเกิดกระบวนการควบแน่นก่อนส่วนในการวางแผนวัสดุแนวตั้งฉาก แผ่นวัสดุเกิดกระบวนการควบแน่นต่อมาในช่วงเวลา 19.00 น. และ 19.15 น. จะเห็นได้ว่าการวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉาก อุณหภูมิผิววัสดุจะเกิดกระบวนการควบแน่นช้ากว่าเนื่องจากยังมีความร้อนที่สะสมที่ผิววัสดุ และทำให้การคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าเป็นไปได้ช้า แต่หลังจากเกิดกระบวนการควบแน่นอุณหภูมิผิวดำลงกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างตลอดทั้งคืนซึ่งเป็นผลจากการวางแผนวัสดุด้านทิศทางลม อิทธิพลของลมทำให้ปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นที่ผิววัสดุระเหยไปบางส่วน



ภาพที่ 40 แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผนวัสดุในแนวระนาบนอนที่ความสูง 0.50 ม. และการวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากกับพื้น
สนามหญ้าช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555



ภาพที่ 41 แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผนวัสดุในแนวระนาบที่ความสูง 0.50 เมตร จากพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 28 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555

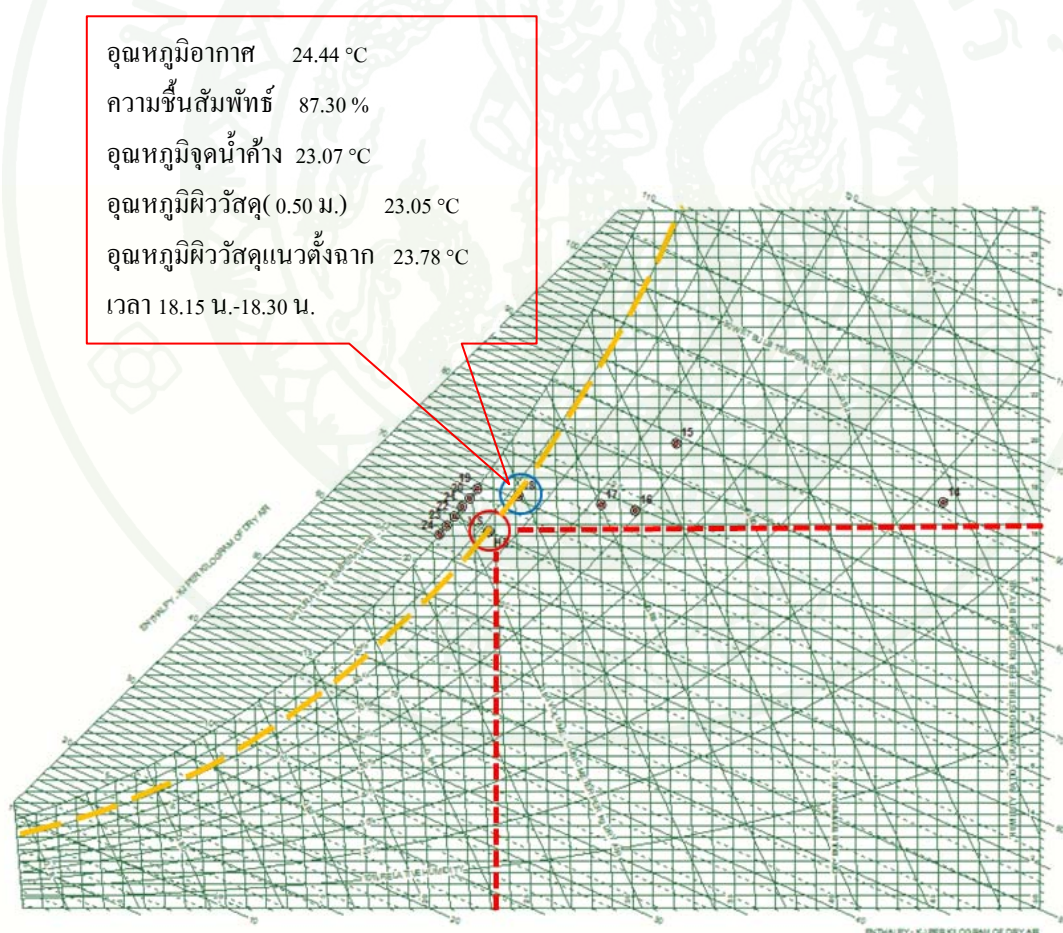
จากภาพที่ 41 การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ สามารถอธิบายได้ว่า การวางแผนวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร จะเกิดกระบวนการควบแน่นที่ผิววัสดุในเวลา 18.15 น.- 18.30 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 87.30% อุณหภูมิอากาศ 24.44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 23.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23.07 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งในการทดลองแสดงให้เห็นว่าการลดลงของอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงลงมาสู่อุณหภูมิต่ำมากแสดงถึงการคายรังสีความร้อนได้มาก ประกอบกับช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลาที่มากกว่าโดยที่การวางแผนวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร มีช่วงเวลา 15 ชั่วโมง (18.15 น. – 09.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 87.30% - 60.60% และการวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า มีช่วงเวลา 14 ชั่วโมง (19.15 น. – 09.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 99.80% - 60.60% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ที่เวลา 21.15 น. ระยะเวลาในการเกิดการควบแน่นที่นานกว่าหมายถึงเป็นการเพิ่มการกักเก็บปริมาณน้ำที่มากขึ้น การวางแผนแนวระนาบจะทำให้คายรังสีความร้อนออกจากแผ่นวัสดุได้เร็วโดยปริมาณน้ำที่กักเก็บได้เท่ากับ 50 ซีซีต่อ 0.25 ตารางเมตร



ภาพที่ 42 แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉาก ช่วงวันที่ 28
ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555

จากภาพที่ 42 การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ สามารถอธิบายได้ว่าการวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากจะเกิดกระบวนการควบแน่นที่ผิววัสดุในเวลา 19.00 น.- 19.15 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 99.80% อุณหภูมิอากาศ 23.73 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 23.48 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23.58 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ในการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดลงของอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงลงมาสู่อุณหภูมิต่ำน้อยกว่าการวางแผนวัสดุแนวระนาบแสดงถึงการคายรังสีความร้อนได้ช้ากว่า ประกอบกับช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลาที่น้อยกว่าโดยที่การวางแผนวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร มีช่วงเวลา 15 ชั่วโมง (18.15 น. – 09.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 87.30% - 60.60% ส่วนการวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า มีช่วงเวลา 14 ชั่วโมง (19.15 น. – 09.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 99.80% - 60.60% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ที่เวลา 21.15 น. จะเห็นว่าปริมาณน้ำที่กักเก็บได้จากการวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากน่าจะกักเก็บปริมาณน้ำได้มากซึ่งมีความแตกต่างของการเกิดการควบแน่น 1 ชั่วโมงแต่เนื่องจากลักษณะการวางแผนวัสดุอาจได้รับอิทธิพลจากกระแสลมทำให้ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุระเหยไปบางส่วน ทำให้กักเก็บปริมาณน้ำได้ 15 ซีซีต่อ 0.25 ตร.ม

การทดสอบความเร็วลมมีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้างโดยอัตราความเร็วลมในช่วงเวลา 18.00 น.- 06.00 น. โดยเฉลี่ย 1.36 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นการวางแผนวัสดุแนวระนาบซึ่งขนานกับทิศทางลมประกอบกับการวางแผนวัสดุแนวระนาบมีการคายรังสีความร้อนออกทั้งด้านบนและด้านล่างของแผ่นวัสดุ ส่งผลให้การวางแผนอุณหภูมิเย็บมอะโนไคซ์ในแนวระนาบมีอุณหภูมิผิวดลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างอย่างรวดเร็ว มีการกักเก็บปริมาณน้ำได้ 50 ซีซี ต่อ 0.25 ตร.ม. ส่วนการวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากกับสนามหญ้า ซึ่งเป็นการวางแผนวัสดุในทิศตะวันออกและทิศตะวันตกด้านทิศทางลม ซึ่งอิทธิพลจากกระแสลม ทำให้อุณหภูมิผิววัสดุลดลงต่ำกว่าการวางแผนวัสดุในแนวระนาบในช่วงเวลากลางคืน แต่การวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากทำให้การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าเป็นไปได้ช้าและกระแสลมอาจมีผลทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่ผิววัสดุบางส่วน ทำให้ปริมาณน้ำที่กักเก็บได้น้อยกว่า มีการกักเก็บปริมาณน้ำได้ 15 ซีซี ต่อ 0.25 ตร.ม.



ภาพที่ 43 Psychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุแนวระนาบและแนวตั้งฉากช่วงเวลา 18.15น. – 19.15 น. ช่วงวันที่ 27 ต.ค. 2555 – 29 ต.ค. 2555

จากภาพที่ 43 สามารถอธิบายกระบวนการควบแน่นเป็นหยดน้ำของพื้นผิววัสดุได้ว่าการวางวัสดุแนวระนาบสูงจากพื้น 0.50 ม. มีอุณหภูมิผิวลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 18.00 น. – 18.15 น. อุณหภูมิผิววัสดุลดลงถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้าง โดยที่อุณหภูมิผิววัสดุ 23.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23.07 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87.30% ทำให้เกิดกระบวนการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ผิววัสดุขึ้น แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของวัสดุสามารถคายรังสีความร้อนได้อย่างรวดเร็ว การวางวัสดุแนวตั้งฉากมีอุณหภูมิผิวลดลงช้ากว่าในช่วงเวลาเดียวกัน อุณหภูมิผิว 23.78 องศาเซลเซียส ทำให้ยังไม่เกิดกระบวนการควบแน่นเป็นหยดน้ำที่ผิววัสดุขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของวัสดุที่คายรังสีความร้อนช้าทำให้อุณหภูมิผิวลดลงได้ช้า

ดังนั้นการวางแผ่นวัสดุแนวตั้งฉากในทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะเหมาะสมกับช่วงเวลา 06.00 น. – 18.00 น. เนื่องจากจะได้รับรังสีความร้อนบางช่วงเวลาทำให้การสะสมความร้อนของแผ่นวัสดุจะเกิดขึ้นได้ช้า ส่วนการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบกับพื้นสนามหญ้าจะเหมาะสมกับช่วงเวลา 18.00 น. – 06.00 น. เนื่องจากแผ่นวัสดุมีการคายรังสีความร้อนได้เร็วจนทำให้เกิดกระบวนการควบแน่นที่พื้นผิววัสดุปริมาณน้ำที่กักเก็บได้จึงสูงกว่าการวางแผ่นวัสดุแบบตั้งฉาก

จากการทดสอบการวางแผ่นวัสดุในระดับความสูง 3 ระดับทดสอบเพื่อหาความสูงที่เหมาะสมในการเกิดปริมาณน้ำค้างมากที่สุดประกอบกับการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉาก อุณหภูมิผิวของแผ่นวัสดุแสดงให้เห็นว่าการวางแผ่นวัสดุในแนวตั้งฉากจะรับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่าในช่วงเวลากลางวัน และคายความร้อนออกช้ากว่าในช่วงเวลากลางคืน ส่วนการวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบจะรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้มากกว่าในช่วงเวลากลางวันและคายความร้อนออกได้เร็วกว่าในช่วงเวลากลางคืน แนวทางการออกแบบในขั้นต่อไปจึงนำลักษณะการวางแผ่นวัสดุทั้งสองรูปแบบมาปรับใช้โดยที่ออกแบบการวางแผ่นวัสดุแนวตั้งฉากในเวลากลางวันเพื่อลดอุณหภูมิผิวที่สะสมและปรับมาใช้ในการวางแผ่นวัสดุแนวระนาบในช่วงเย็นถึงกลางคืน

3. การทดสอบประยุกต์การวางแผ่นวัสดุแนวระนาบและแนวตั้งฉาก

เพื่อทดสอบการเกิดปริมาณหยดน้ำที่พื้นผิววัสดุ โดยทำการทดลองช่วงวันที่ 22 ม.ค. 2556 – 24 ม.ค. 2556 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 27.10 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 63.17 เปอร์เซ็นต์ สภาพท้องฟ้ามีเมฆเป็นส่วนมาก

การทดสอบ

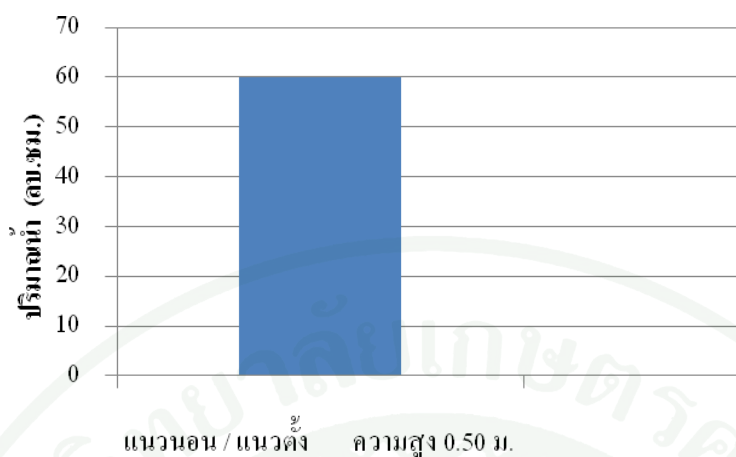
ทดสอบปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่ 0.25 ตร.ม. ของพื้นผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน แผ่นวัสดุที่นำมาทดสอบ คือ แผ่นอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) โดยทดสอบการวางแผ่นวัสดุแนวระนาบในเวลากลางคืนและทดสอบการวางแผ่นวัสดุในแนวตั้งฉากในเวลากลางวัน โดยรูปแบบของแผ่นวัสดุมีการประยุกต์การปรับมุมมองภายในแต่ละช่วงเวลา วางแผ่นวัสดุในทิศตะวันออกและตะวันตก

ตำแหน่งการวางแผ่นทดลอง : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม.
ขนาด 0.50 ม. x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางสูงจากพื้น 0.50 ม.



ภาพที่ 44 แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. วางแนวระนาบและแนวตั้งฉากกับพื้นหญ้า

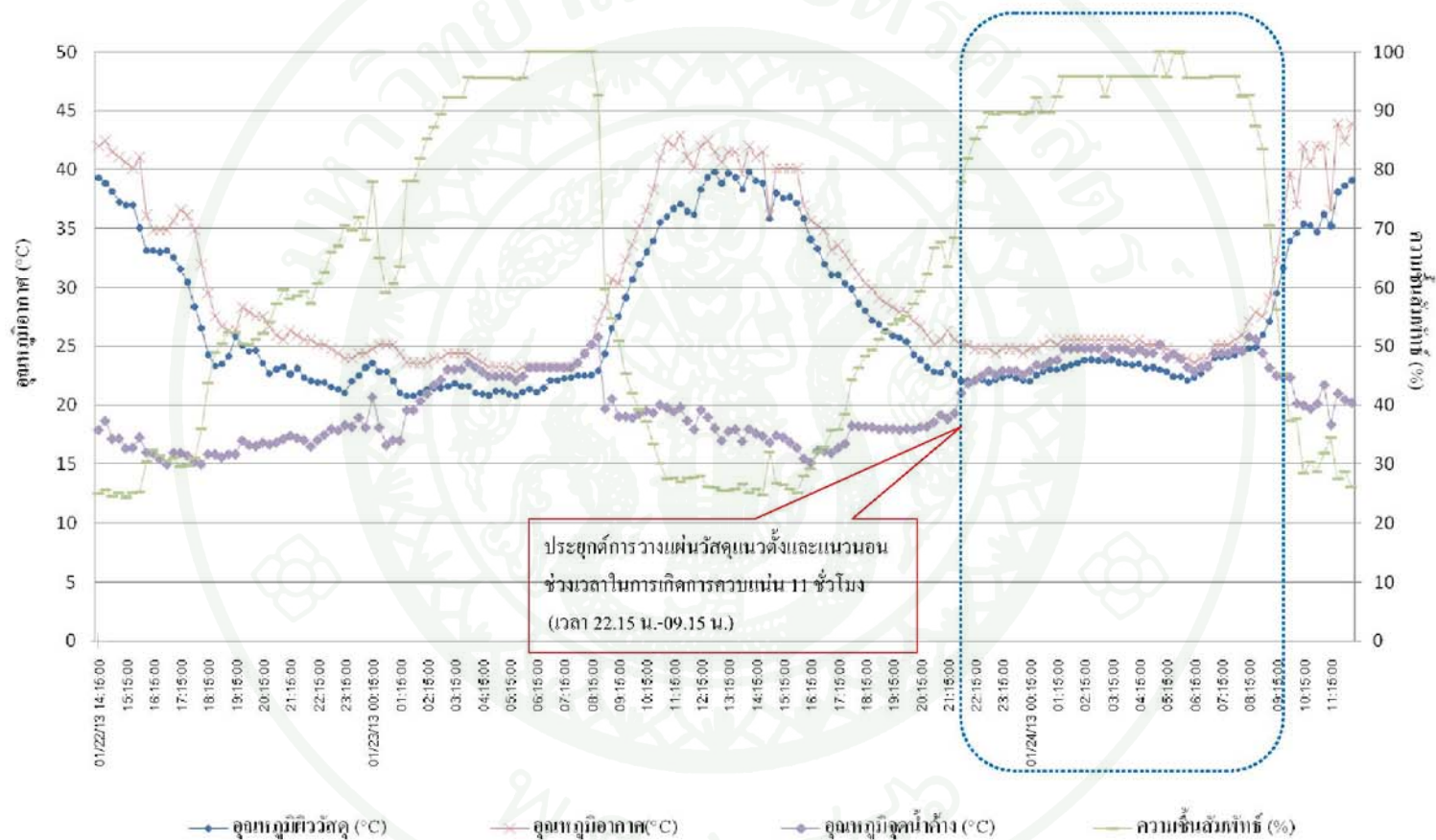
ผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ในช่วงเวลา 22.15 น. – 06.00 น. โดยการประยุกต์การวางแผ่นวัสดุแนวระนาบในเวลากลางคืนและวางแผ่นวัสดุแนวตั้งฉากในเวลากลางวัน ปริมาณที่กักเก็บได้อยู่ที่ 60 ซีซี ต่อ 0.25 ตร.ม.



ลักษณะการวางแผนวัสดุและความสูง (เมตร)

ภาพที่ 45 แผนภูมิปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ ต่อ 0.25 ตรม. ในการวางแผนวัสดุในแนวระนาบที่ความสูง 0.50 ม. การวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า และการวางแผนวัสดุในแต่ละช่วงเวลา

การประยุกต์วางแผนอุณหภูมิเย็บอะโนไดซ์ในแนวระนาบที่ความสูง 0.50 ม. ในตอนกลางคืนและการวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากในตอนกลางวัน กักเก็บปริมาณน้ำได้ 60 ซีซี ต่อ 0.25 ตรม. แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิผิววัสดุในช่วงเวลา 06.00 น.- 18.00 น. มีอุณหภูมิสูงในบางช่วงเวลาและลดลงอย่างต่อเนื่องซึ่งโดยรวมยังต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ เป็นผลมาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิผิวในช่วงเวลา 18.00 น.- 06.00 น. ลดลงและคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิผิวลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างในช่วงเวลา 22.15 น.และการเกิดกระบวนการควบแน่นขึ้นได้เร็ว ทำให้เกิดหยดน้ำในช่วงเวลานั้น โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ในช่วง 05.00 น.- 05.45 น.



ภาพที่ 46 แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการประยุกต์การวางแผนวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งจากกับพื้นสนามหญ้าในแต่ละช่วงเวลา ช่วงวันที่ 22 ม.ค. 2556 – 24 ม.ค. 2556

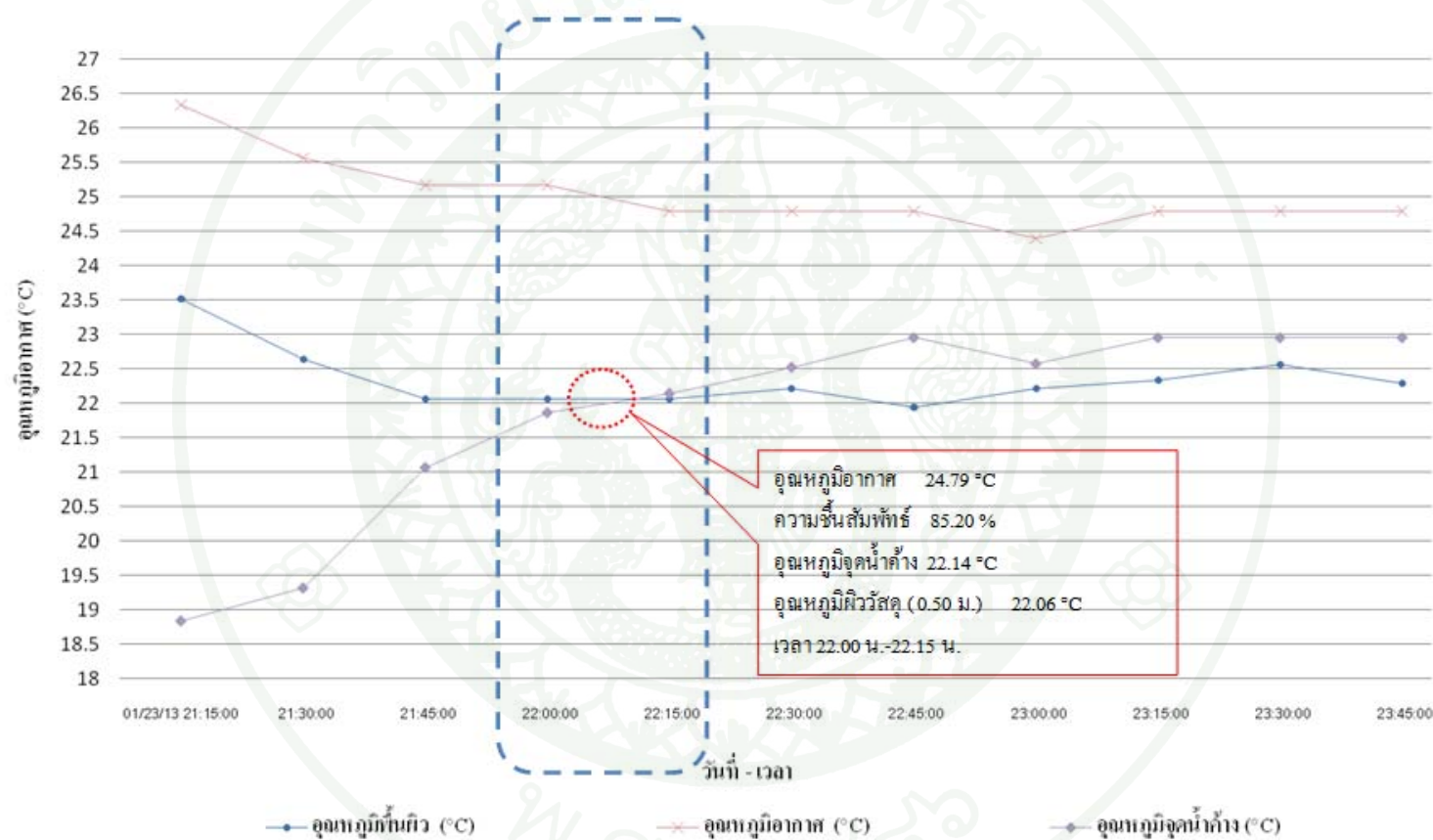
ผลการทดสอบประยุกต์การวางแผนวัสดุแนวระนาบและแนวตั้งฉาก
การวางแผนวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉาก มีผลต่อการเกิดปริมาณหยดน้ำที่ผิววัสดุทั้ง
ในช่วงเวลากลางคืน

เวลากลางวัน (06.00 น. - 18.00 น.)

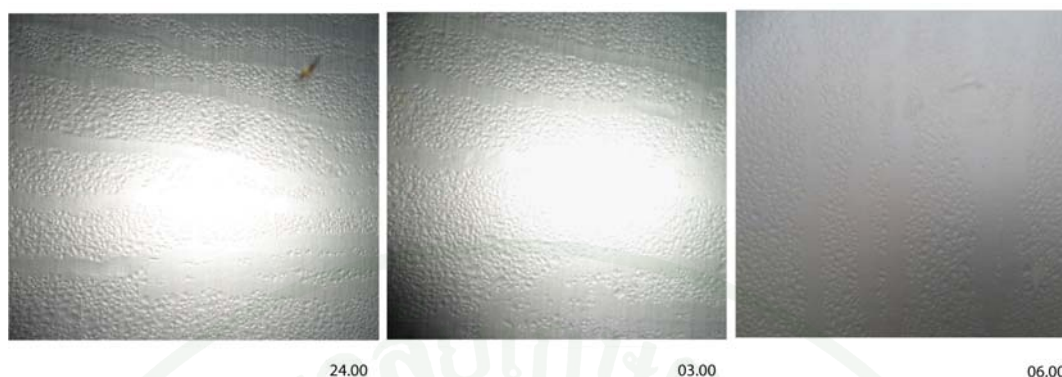
การได้รับอิทธิพลความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ในการวางแผนวัสดุอุณหภูมินิยามอะโนไดซ์
ในแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า อุณหภูมิผิวของแผ่นวัสดุมีอุณหภูมิสูงในบางช่วงเวลา และมี
อุณหภูมิลดลงในช่วงเย็นโดยในช่วงเวลา 14.00 น. แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิว 39.78 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศ 41.99 องศาเซลเซียสและในช่วงเวลา 18.00 น.แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิว 25.65 องศา
เซลเซียสอุณหภูมิอากาศ 31.12 องศาเซลเซียส เนื่องจากการได้รับรังสีความร้อนไม่ตลอดเวลา ทำ
ให้อุณหภูมิผิวไม่สะสมความร้อนและอุณหภูมิผิวลดลงอย่างต่อเนื่อง

เวลากลางคืน (18.00 น. – 06.00 น.)

จากการวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากในตอนกลางวัน เมื่อทำให้การปรับรูปแบบการวางแผน
วัสดุแนวระนาบในตอนกลางคืนมีผลทำให้อุณหภูมิผิววัสดุลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลา 18.00 น.
แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิว 25.65 องศาเซลเซียสอุณหภูมิอากาศ 31.12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ
สามารถเย็นลงอย่างรวดเร็ว จนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างในช่วงเวลา 22.00 น. - 22.15 น.แผ่นวัสดุมี
อุณหภูมิผิว 22.06 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ 24.79 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์ 85.20
เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 22.14 องศาเซลเซียส ประกอบกับช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึง
ช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลา 11 ชั่วโมง(22.15 น. – 09.15 น.) และค่าความชื้น
สัมพัทธ์อากาศในช่วงเวลา 18.00 น. - 22.15 น. มีความชื้นสัมพัทธ์ 46.30% - 85.20% ค่าความชื้นที่
ต่ำทำให้การเกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุเป็นไปได้ช้า



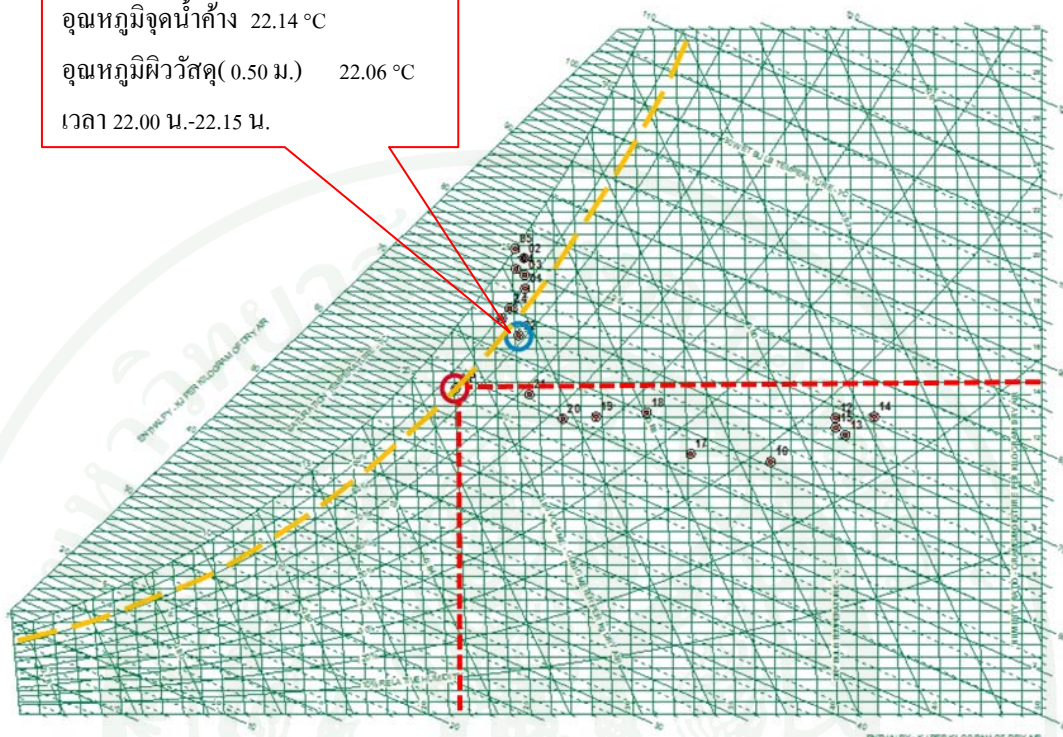
ภาพที่ 47 แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการประยุกต์การวางแผนวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าในแต่ละช่วงเวลา ช่วงวันที่ 23 ม.ค. 2556 – 24 ม.ค. 2556



ภาพที่ 48 แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการประยุกต์การวางแผ่นวัสดุในแนวระนาบ และแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าในแต่ละช่วงเวลา ช่วงวันที่ 22 ม.ค. 2556 – 24 ม.ค. 2556

จากภาพที่ 48 การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ สามารถอธิบายได้ว่าการประยุกต์การวางแผ่นวัสดุในตั้งฉากและแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร จะเกิดกระบวนการควบแน่นที่ผิววัสดุในช่วงเวลา 22.00 น.- 22.15 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 85.20% อุณหภูมิอากาศ 24.79 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 22.06 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 22.14 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งในการทดลองแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลา 11 ชั่วโมง (22.15 น. – 09.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 85.20% - 78.30% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ที่เวลา 05.00 น. ในช่วงเวลา 18.00 น.- 22.15 น. ก่อนเกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 46.30% - 85.20% ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำทำให้การลดลงของอุณหภูมิผิววัสดุจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างเป็นไปได้ช้าแต่เมื่อแผ่นวัสดุมีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างทำให้เกิดกระบวนการควบแน่นและเกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำที่ผิววัสดุนั้นการประยุกต์การวางแผ่นวัสดุในแนวตั้งฉากและแนวระนาบจะทำให้ลดการสะสมความร้อนในตอนกลางวันและคายรังสีความร้อนออกจากแผ่นวัสดุได้เร็วในตอนกลางคืนโดยปริมาณน้ำที่กักเก็บได้เท่ากับ 60 ซีซีต่อ 0.25 ตารางเมตร

อุณหภูมิอากาศ 24.79 °C
 ความชื้นสัมพัทธ์ 85.20 %
 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 22.14 °C
 อุณหภูมิผิววัสดุ (0.50 ม.) 22.06 °C
 เวลา 22.00 น.-22.15 น.



ภาพที่ 49 Psychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการประยุกต์การวางแผนวัสดุในแนวระนาบและแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าในแต่ละช่วงเวลา ช่วงวันที่ 22 ม.ค. 2556 – 24 ม.ค. 2556

จากการทดลองพบว่าการปรับแผ่นวัสดุวางในแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าในช่วงเวลา 06.00 น. – 18.00 น. อุณหภูมิผิวของแผ่นวัสดุมีอุณหภูมิสูงในบางช่วงเวลา เนื่องจากการได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ แต่เมื่อช่วงเวลา 18.00 น. อุณหภูมิผิววัสดุมีการสะสมความร้อนในสัดส่วนที่ต่ำเมื่อเทียบกับการวางแผนวัสดุแนวราบไว้ตลอดทั้งวันในช่วงเวลาเดียวกัน ทำให้ในช่วงเวลา 18.00 น. ทำการปรับมุมของแผ่นวัสดุให้อยู่ในแนวระนาบทำให้ผิววัสดุมีการคายรังสีสู่ท้องฟ้าได้อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของแผ่นวัสดุลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ 85.20 % อุณหภูมิอากาศ 24.79 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 22.06 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 22.00 น.- 22.15 น.ทำให้เกิดกระบวนการควบแน่นขึ้นที่ผิววัสดุ และเกิดเป็นหยดน้ำในช่วงเวลานั้น

การทดลองหาแนวทางการออกแบบแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำค้าง

1. การทดสอบการวางแผ่นวัสดุซ้อนชั้นเพื่อทดสอบการเพิ่มพื้นที่ผิวในการเก็บกักปริมาณน้ำ

โดยทำการทดลองช่วงวันที่ 28 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 26.96 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 73 เปอร์เซ็นต์ สภาพท้องฟ้ามีเมฆเป็นส่วนใหญ่

การทดสอบ

การเกิดน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่ 0.25 ตร.ม. ของพื้นผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน แผ่นวัสดุที่นำมาทดสอบ คือ อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) วางแผ่นวัสดุแนวระนาบสู่ท้องฟ้า เอียงทำมุม 15 องศา ทั้งหมด 5 แผ่นการทดลอง วางแผ่นวัสดุในทิศตะวันออกและตะวันตก

การทดสอบอลูมิเนียมอะโนไดซ์ โดยเอียงทำมุม 15 องศา กับแนวระนาบผลการทดสอบการกักเก็บปริมาณน้ำที่ได้ในการไหลของน้ำลงแหล่งกักเก็บได้เองการเอียงทำมุม 15 องศาสามารถกักเก็บปริมาณน้ำได้สูงสุดเมื่อเทียบกับการเอียงทำมุม 30 องศาและ 45 องศา (ญฐิยา, 2543)

ตำแหน่งการวางแผ่นทดลองที่ 1 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. ขนาด 0.50 ม. x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางสูงจากพื้น 0.10 ม.

ตำแหน่งการวางแผ่นทดลองที่ 2 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. ขนาด 0.50 ม. x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางสูงจากพื้น 0.20 ม.

ตำแหน่งการวางแผ่นทดลองที่ 3 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. ขนาด 0.50 ม. x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางสูงจากพื้น 0.30 ม.

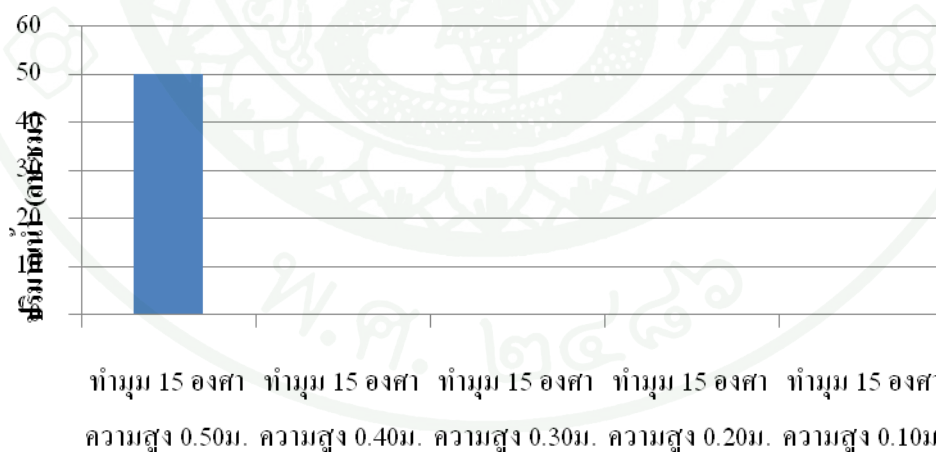
ตำแหน่งการวางแผ่นทดลองที่ 4 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. ขนาด 0.50 ม. x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางสูงจากพื้น 0.40 ม.

ตำแหน่งการวางแผ่นทดลองที่ 5 : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. ขนาด 0.50 ม. x 0.50 ม. พื้นที่ 0.25 ตร.ม. วางสูงจากพื้น 0.50 ม.



ภาพที่ 50 แผ่นทดลองอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. วางทำมุม 15 องศา กับแนวระนาบซ้อนชั้น

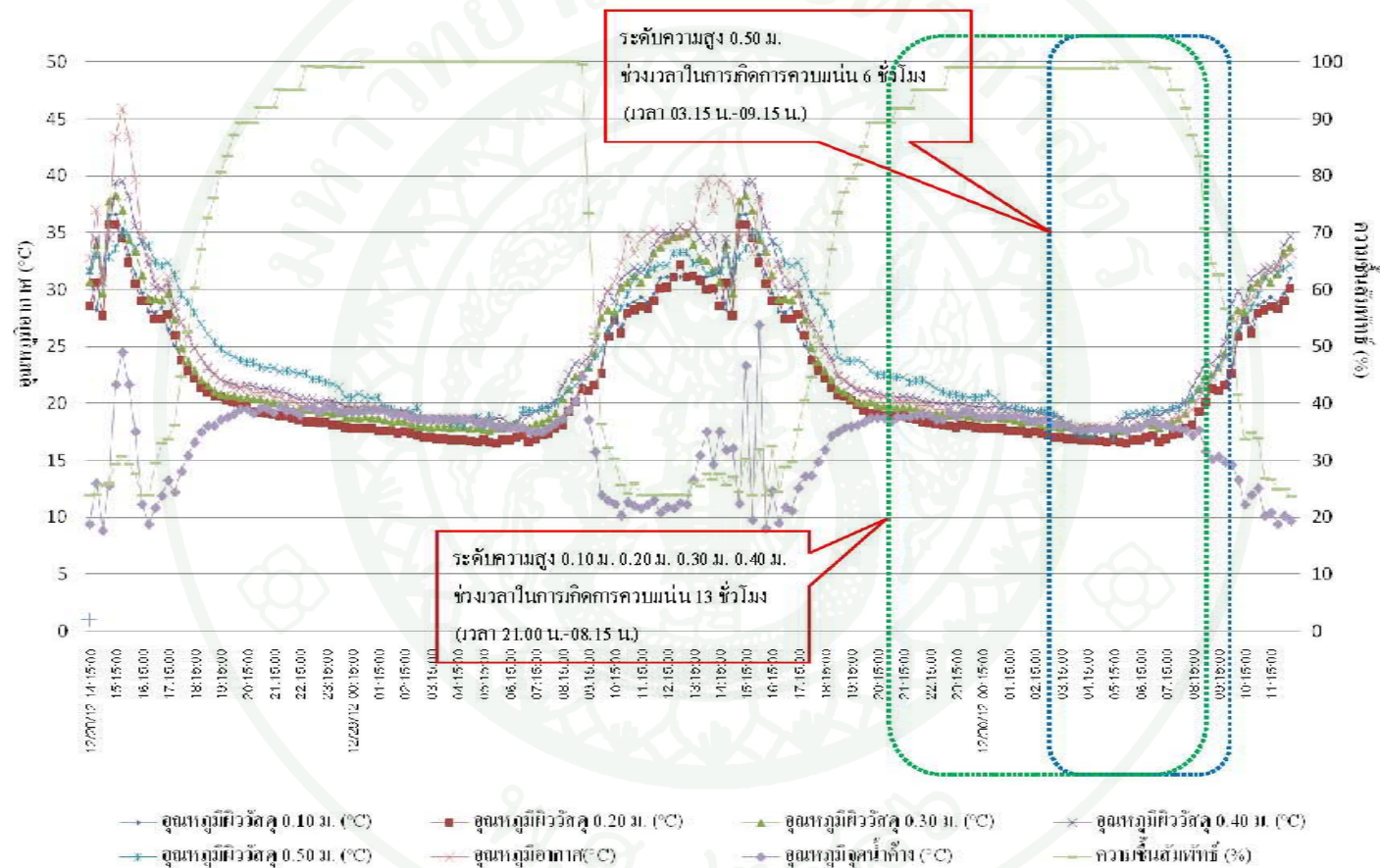
ผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ในช่วงเวลา 20.00 น. – 06.00 น. แผ่นวัสดุ ที่วางแนวระนาบทำมุม 15 องศา ในระดับความสูง 0.50 ม. กักเก็บปริมาณน้ำได้อยู่ที่ 50 ซีซี ต่อ 0.25 ตรม. ส่วนในความสูงที่ต่ำลงมาเกิดการควบแน่นมีลักษณะเป็นไอน้ำเกาะที่ผิววัสดุไม่สามารถ กักเก็บปริมาณน้ำได้



ลักษณะการวางแผ่นวัสดุและความสูง (เมตร)

ภาพที่ 51 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ต่อ 0.25 ตรม. ในการวางแผ่นวัสดุทำมุม 15 องศา กับแนวระนาบที่ระดับความสูง 0.50 ม., 0.40 ม., 0.30 ม., 0.20 ม. และ 0.10 ม. ช่วงวันที่ 28 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555

การวางแผ่นอุณหภูมิจานอเนกประสงค์เยี่ยงทำมุม 15 องศา กับแนวระนาบในระดับความสูง 0.50 ม. จะกักเก็บปริมาณน้ำได้สูงสุด ประกอบกับการทำมุมเยี่ยง 15 องศา ทำให้หยดน้ำมีการไหลรวมลงแหล่งกักเก็บประมาณ 30% ของปริมาณน้ำที่กักเก็บได้ทั้งหมด ส่วนในระดับความสูงที่ต่ำลงมามีลักษณะเป็นไอน้ำเกาะที่ผิววัสดุไม่สามารถกักเก็บปริมาณน้ำได้ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิผิวในช่วง 03.00 น. – 06.00 น. อุณหภูมิผิวของการวางแผ่นวัสดุสูงจากพื้น 0.50 ม. มีช่วงการคายรังสีที่เร็วกว่าการวางแผ่นวัสดุในระดับต่ำลงมา ทำให้เห็นว่ากรณีที่ไม่มีวัสดุมาปกคลุมทำให้การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าเป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งการเรียงซ้อนชั้นทำให้การคายรังสีความร้อนในชั้นที่ต่ำลงมาเป็นไปได้ยาก และเกิดการสะสมความร้อนระหว่างผิววัสดุและที่ผิววัสดุ



ภาพที่ 52 แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 15 องศาข้างขึ้น ช่วงวันที่ 28 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555

ผลการทดสอบการวางแผนวัสดุชั้นเชิงทำมุม 15 องศา

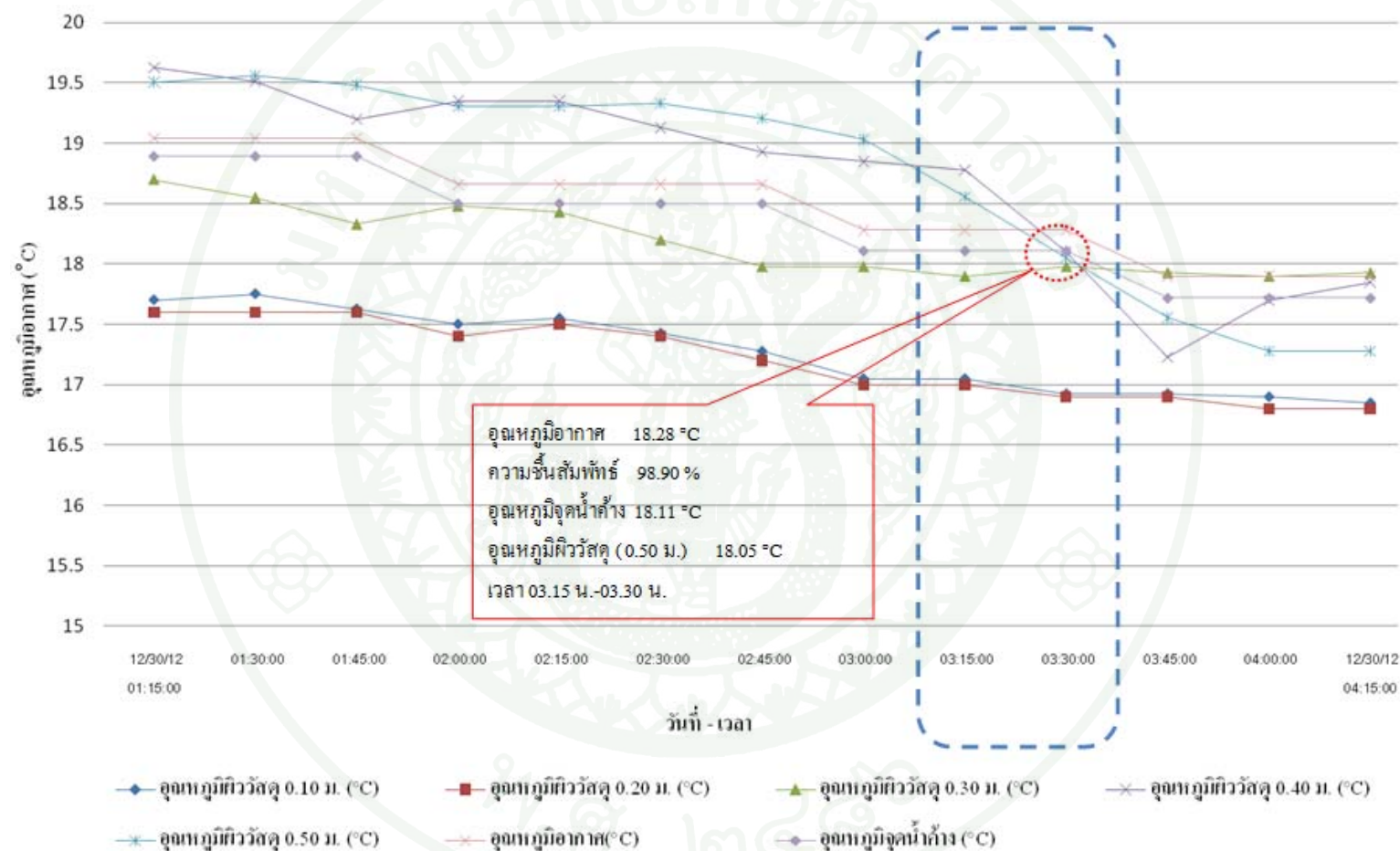
การวางแผนวัสดุชั้นเชิง มีผลต่อการเกิดปริมาณหยดน้ำที่ผิววัสดุทั้งในช่วงเวลากลางวัน และช่วงเวลากลางคืน

เวลากลางวัน (06.00 น. - 18.00 น.)

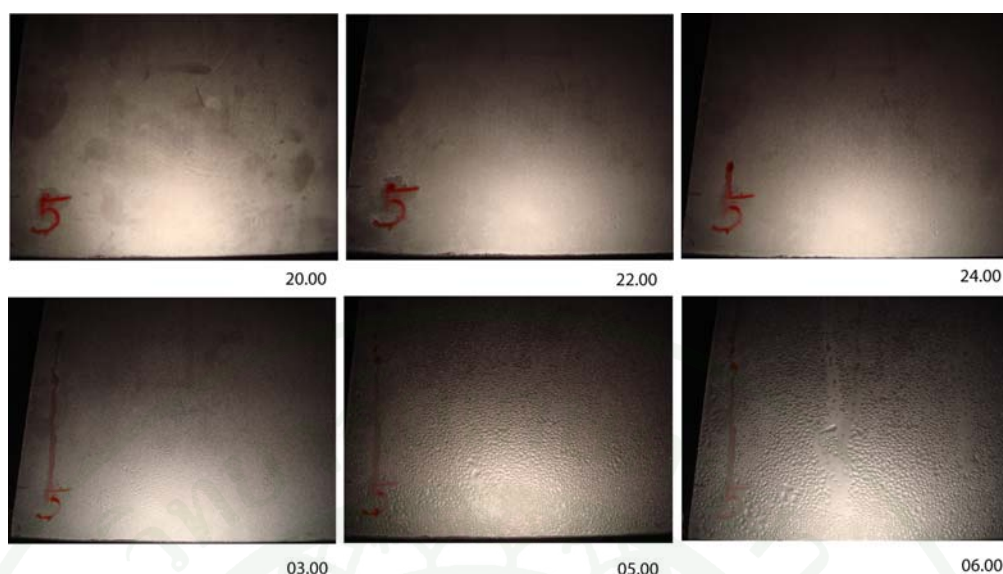
การได้รับอิทธิพลรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ในการวางแผนวัสดุอุณหภูมิตามอะโนไดซ์ ชั้นเชิงทำมุม 15 องศา กับพื้นสนามหญ้า อุณหภูมิผิวของแผ่นวัสดุด้านบนสุดในช่วงเวลา 14.15 น. มีอุณหภูมิสูงที่สุด 31.70 องศาเซลเซียส และในระดับต่ำลงมา มีอุณหภูมิผิวดล 31.60 ,30.70, 28.60 และ 31.51 องศาเซลเซียส ตามลำดับและมีอุณหภูมิลดลงในช่วงเย็น โดยในช่วงเวลา 18.00 น. แผ่นวัสดุด้านบนสุดมีอุณหภูมิผิว 28.90 องศาเซลเซียส ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าแผ่นวัสดุในระดับที่ต่ำลงมา อุณหภูมิอากาศ 25.56 องศาเซลเซียส เนื่องจากการได้รับรังสีความร้อนตลอดเวลา ทำให้อุณหภูมิผิวสะสมความร้อน

เวลากลางคืน (18.00 น. – 06.00 น.)

อุณหภูมิผิววัสดุด้านบนสุดมีอุณหภูมิสะสมทำให้การคายความร้อนเป็นไปได้ช้า ในช่วงเวลา 18.00 น. แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิว 28.90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ 25.56 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุสามารถเย็นลง จนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างในช่วงเวลา 03.15น.- 03.30 น. แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิว 18.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ 18.28 องศาเซลเซียส จึงเกิดกระบวนการควบแน่น และเกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำ ส่วนในระดับที่ต่ำลงมา อุณหภูมิผิววัสดุมีอุณหภูมิผิวที่ต่ำกว่าแผ่นวัสดุด้านบนสุด กระบวนการควบแน่นเกิดในช่วง 21.00 น. และ 23.00 น. แต่ไม่เกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำ

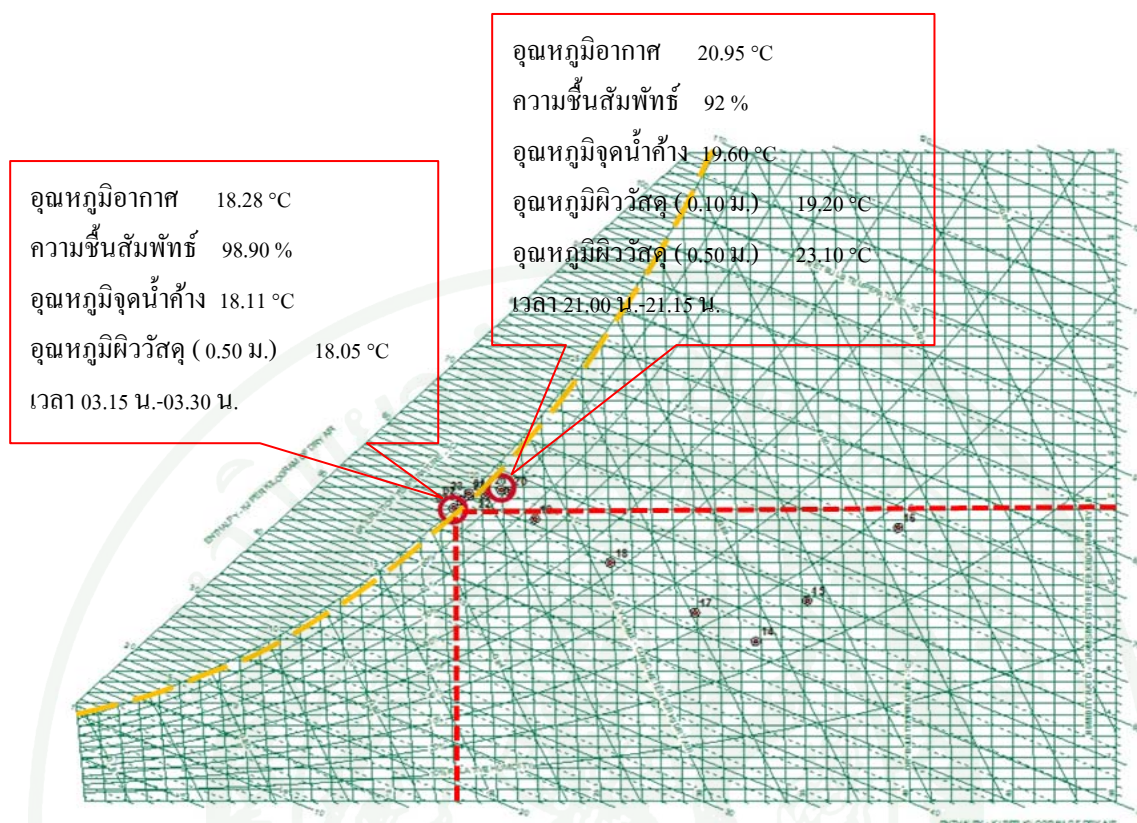


ภาพที่ 53 แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผ่นวัสดุเชิงทำมุม 15 องศาข้างขึ้นชั้น ช่วงวันที่ 29 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555



ภาพที่ 54 แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการวางแผ่นวัสดุเอียง 15 องศาซ้อนชั้นระดับความสูง 0.50 ม. ช่วงวันที่ 29 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555

จากภาพที่ 59 สามารถอธิบายได้ว่าการวางแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 15 องศา จากแนวระนาบสูงจากพื้น 0.50 ม. จะเกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุในช่วงเวลา 03.15 น.- 03.30 น. กระบวนการควบแน่นเกิดขึ้นได้ซ้ำเนื่องจากแผ่นวัสดุชั้นบนสุดได้รับรังสีความร้อนจากการคายรังสีของแผ่นวัสดุชั้นต่ำลงไปทำให้เกิดการสะสมความร้อนเกิดขึ้น และการวางแผ่นวัสดุในความสูงที่ต่ำลงมาที่ความสูง 0.40 ม., 0.30 ม., 0.20 ม. และ 0.10 ม. จะเกิดกระบวนการควบแน่นที่ผิววัสดุในช่วงเวลา 21.00 น. และ 23.00 น. แต่ไม่เกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำ โดยการวางแผ่นวัสดุทำมุมเอียง 15 องศาจากแนวระนาบสูงจากพื้น 0.50 ม. มีอุณหภูมิผิวลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่ยุติการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลา 6 ชั่วโมง (03.15 น. – 09.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 98.90% - 72.60% โดยอุณหภูมิอากาศ 18.28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 18.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 18.11 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 98.90% และมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ที่เวลา 05.00 น. แสดงถึงการคายรังสีความร้อนโดยไม่มีวัตถุบดบังจะทำให้การคายรังสีความร้อนทำได้ดีกว่า



ภาพที่ 55 Psychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุเอียงทำมุม 15 องศาวางซ้อนขึ้น
ช่วงวันที่ 29 ธ.ค. 2555 – 30 ธ.ค. 2555

ผลการทดสอบการวางแผนวัสดุซ้อนขึ้น

การวางแผนเอียงวัสดุทำมุม 15 องศา กับแนวระนาบวางซ้อนขึ้น โดยมีระยะห่าง 0.10 ม. วางแผ่นวัสดุซ้อน 5 แผ่น สูงจากพื้นดิน 0.50 ม. การควบแน่นจะเกิดในช่วงเวลา 03.15 น.-03.30 น. ความชื้นสัมพัทธ์ 98.90% อุณหภูมิอากาศ 18.28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 18.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 18.11 องศาเซลเซียส จะเกิดปริมาณน้ำที่ผิววัสดุและจะเกิดเป็นหยดน้ำที่ผิววัสดุด้านบนสุด ซึ่งไม่มีวัตถุบังทำให้การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าทำได้เต็มที่และรวดเร็ว ส่วนแผ่นวัสดุที่อยู่ในระดับสูงจากพื้นดิน 0.10 ม. การควบแน่นจะเกิดในช่วงเวลา 21.00 น.-21.15 น. ความชื้นสัมพัทธ์ 92% อุณหภูมิอากาศ 20.95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 19.20 องศาเซลเซียส แต่เนื่องด้วยอุณหภูมิระหว่างแผ่นวัสดุมีอุณหภูมิที่สูงอยู่โดยรอบ ทำให้การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุเกิดขึ้นได้ช้า มีเพียงละอองน้ำติดที่ผิววัสดุเท่านั้น ฉะนั้นการรวมตัวกันของหยดน้ำในลำดับชั้นต่ำลงมาจึงมีโอกาสเป็นไปได้น้อย

2. การทดสอบการพับแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการเก็บกักปริมาณน้ำ

โดยทำการทดลองช่วงวันที่ 9 ก.พ. 2556 – 10 ก.พ. 2556 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 24.82 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 67.06 เปอร์เซ็นต์ สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน

แนวทางการทดสอบ

การเกิดน้ำค้างที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่ 0.25 ตร.ม. ของพื้นที่ผิววัสดุทั้ง 2 ด้าน แผ่นวัสดุที่นำมาทดสอบ คือ อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum)

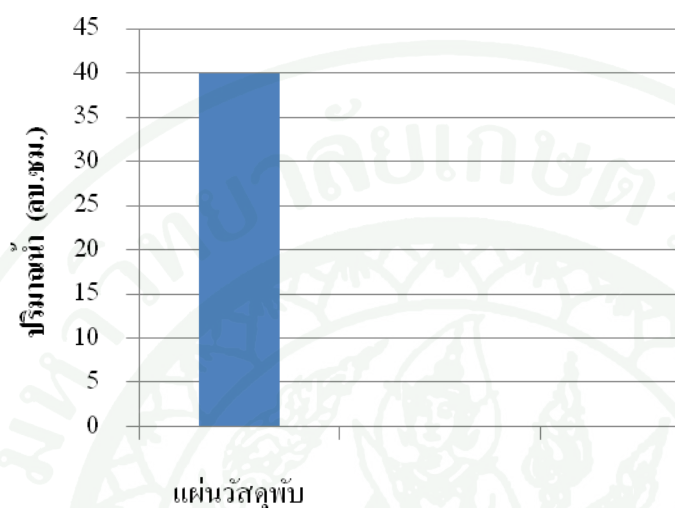
แผ่นทดลอง : อลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. ขนาดพื้นที่ 0.50 ม. x 0.50 ม. ทดสอบการพับเอียงทำมุม 40 องศาเพื่อเพิ่มพื้นที่และวางสูงจากพื้น 0.50 ม. วางแผ่นวัสดุในทิศตะวันออกและตะวันตก

การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าจะลดลง เมื่อมีมุมกระทำกับแนวระนาบมากกว่า 40 องศา (มนตรี, 2540)



ภาพที่ 56 รูปแบบการพับแผ่นวัสดุอลูมิเนียมอะโนไดซ์ (Anodized Aluminum) หนา 1 มม. ขนาดพื้นที่ 0.50 ม. x 0.50 ม.

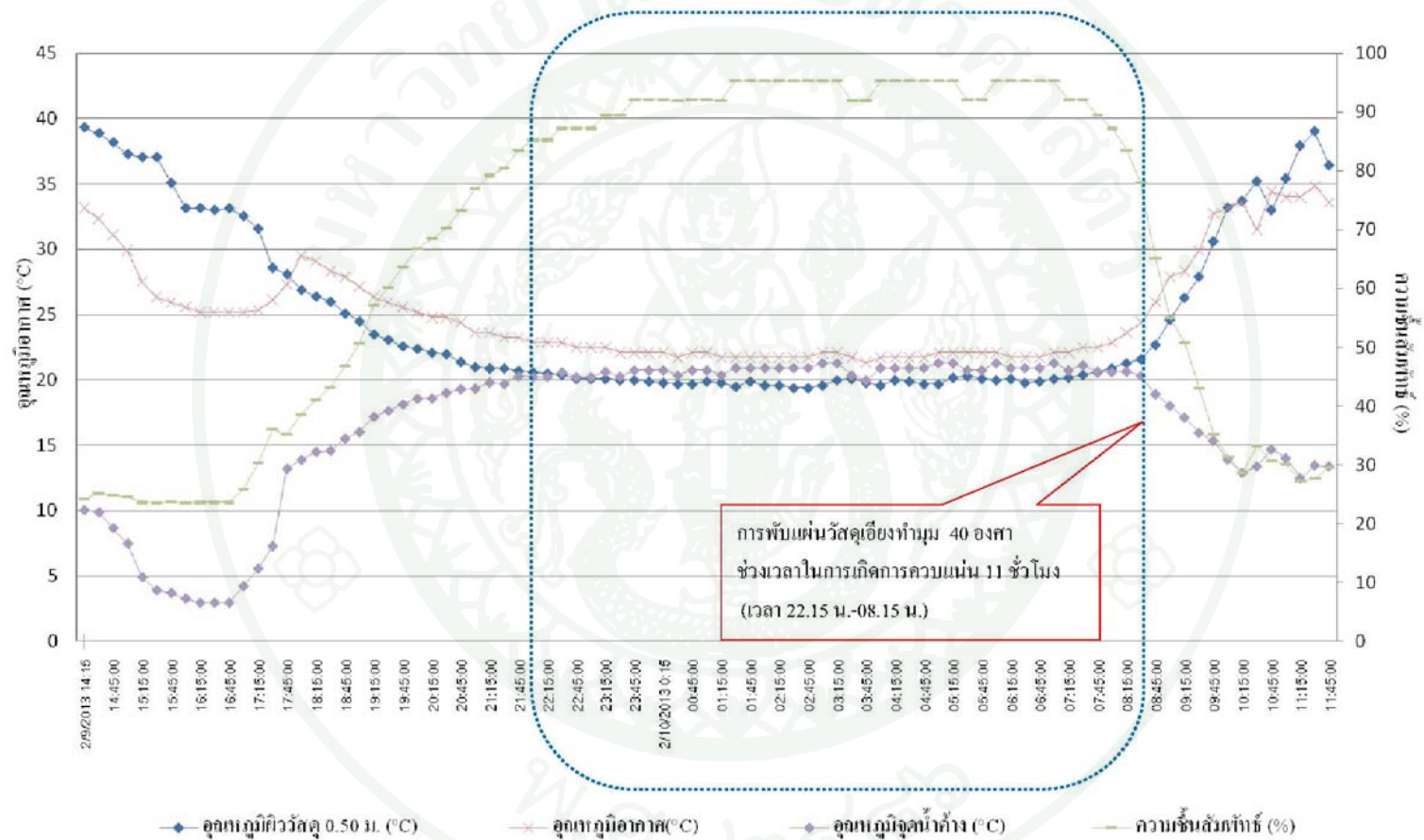
ผลการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ในช่วงเวลา 20.00 น. – 06.00 น. โดยพืช
แผ่นวัสดุทำมุม 40 องศา ในระดับความสูง 0.50 ม. กักเก็บปริมาณน้ำได้อยู่ที่ 40 ซีซี ต่อ 0.25 ตรม.



ลักษณะการวางแผ่นวัสดุและ ความสูง (เมตร)

ภาพที่ 57 แผนภูมิปริมาณน้ำค้างที่กักเก็บได้ต่อ 0.25 ตรม. ในการพืชแผ่นวัสดุทำมุม 40 องศา

การพืชแผ่นอูมิเนียมอะโนไดซ์เอียงทำมุม 40 องศา กับแนวระนาบในระดับความสูง 0.50 ม. จะกักเก็บปริมาณน้ำได้ 40 ซีซี ประกอบกับการพืชทำมุมเอียง 40 องศา ทำให้หยดน้ำมีการไหลรวมลงแหล่งกักเก็บ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิผิวในช่วง 22.00 น. - 22.30 น. อุณหภูมิผิวของแผ่นวัสดุต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง และการพืชแผ่นวัสดุทำมุม 40 องศา ซึ่งเป็นมุมที่มีการเพิ่มพื้นที่ผิวต่อ 0.25 ตร.ม. ได้มากที่สุดนั้นสามารถเกิดการควบแน่นและกักเก็บปริมาณน้ำที่ผิววัสดุได้



ภาพที่ 58 แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการปั๊มผ่านวัสดุเชิง 40 องศา ช่วงวันที่ 9 ก.พ. 2556 – 10 ก.พ. 2556

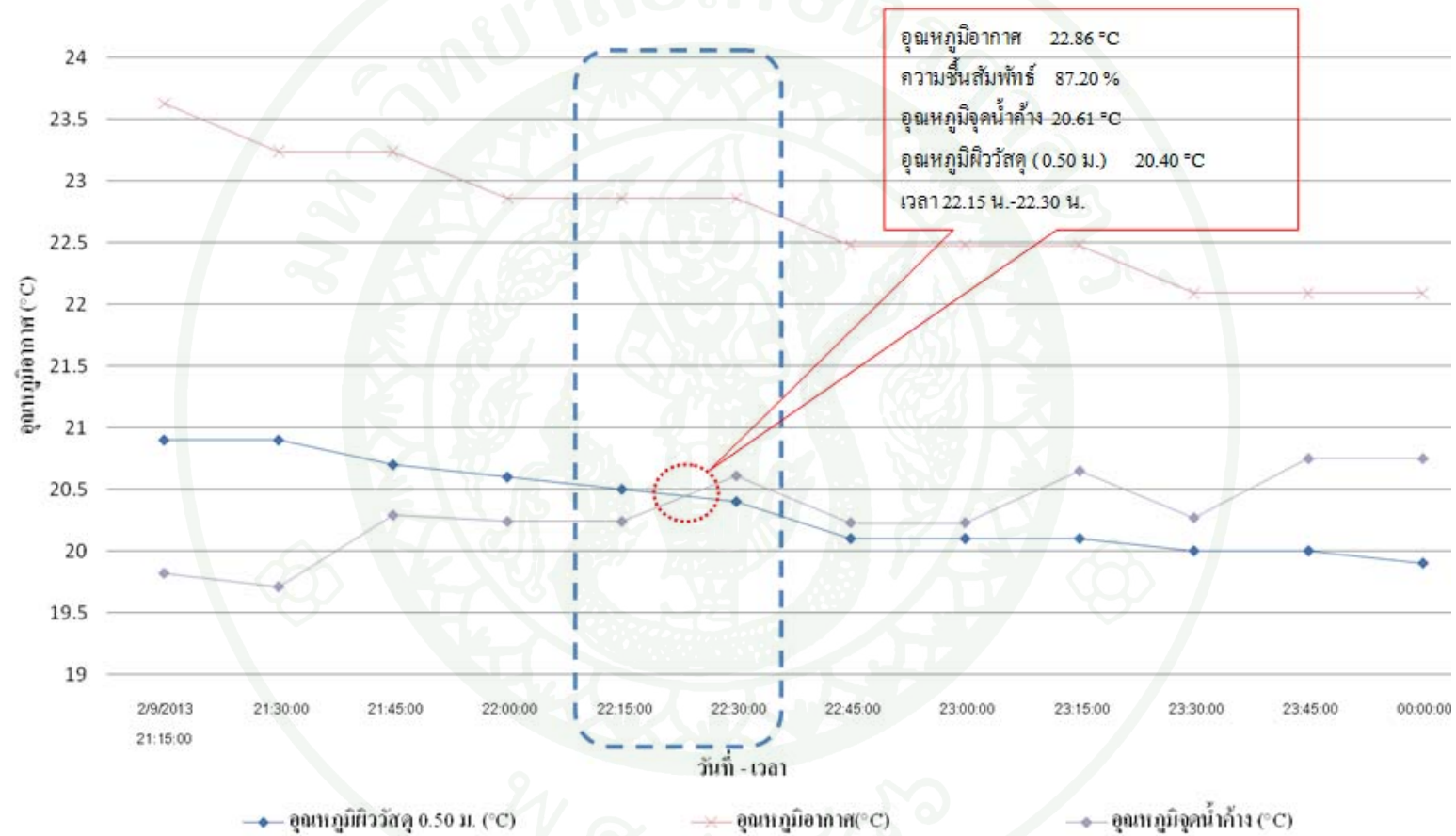
ผลการทดสอบการพ่นแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศากับแนวระนาบ

เวลากลางวัน (06.00 น. - 18.00 น.)

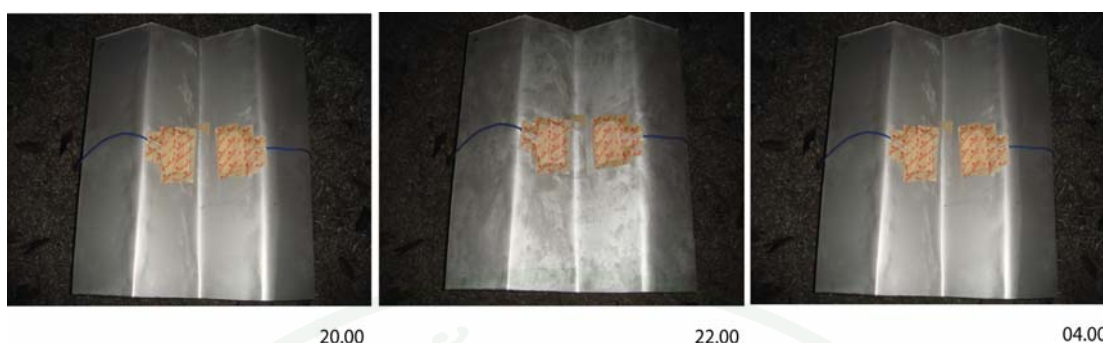
การได้รับอิทธิพลรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ในการพ่นแผ่นวัสดุวัสดุอะลูมิเนียมอะโนไดซ์เอียงทำมุม 40 องศากับแนวระนาบ อุณหภูมิผิวของแผ่นวัสดุมีอุณหภูมิสูงในช่วงบ่าย และมีอุณหภูมิลดลงในช่วงเย็น โดยในช่วงเวลา 14.15 น. แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิว 36.40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ 33.59 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 18.00 น. แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิว 26.90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ 29.50 องศาเซลเซียส แสดงถึงการไม่สะสมความร้อนของแผ่นวัสดุโดยมุมที่เกิดจากการพ่นมีการบดบังรังสีความร้อนในบางช่วงเวลา ทำให้อุณหภูมิผิวไม่สะสมความร้อน และอุณหภูมิผิวลดลงอย่างต่อเนื่อง

เวลากลางคืน (18.00 น. – 06.00 น.)

อุณหภูมิผิววัสดุจากการพ่นแผ่นวัสดุ ทำให้ในช่วงเวลากลางคืนมีผลทำให้การรังสีคายความร้อนที่สะสมอยู่ในแผ่นวัสดุทำได้อย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลา 18.00 น. แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิว 26.90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ 29.50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุสามารถเย็นลงอย่างรวดเร็ว จนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างในช่วงเวลา 22.15 น.- 22.30 น. แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิว 20.04 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอากาศ 22.86 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 87.20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เกิดกระบวนการควบแน่นและเกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำที่ผิววัสดุ

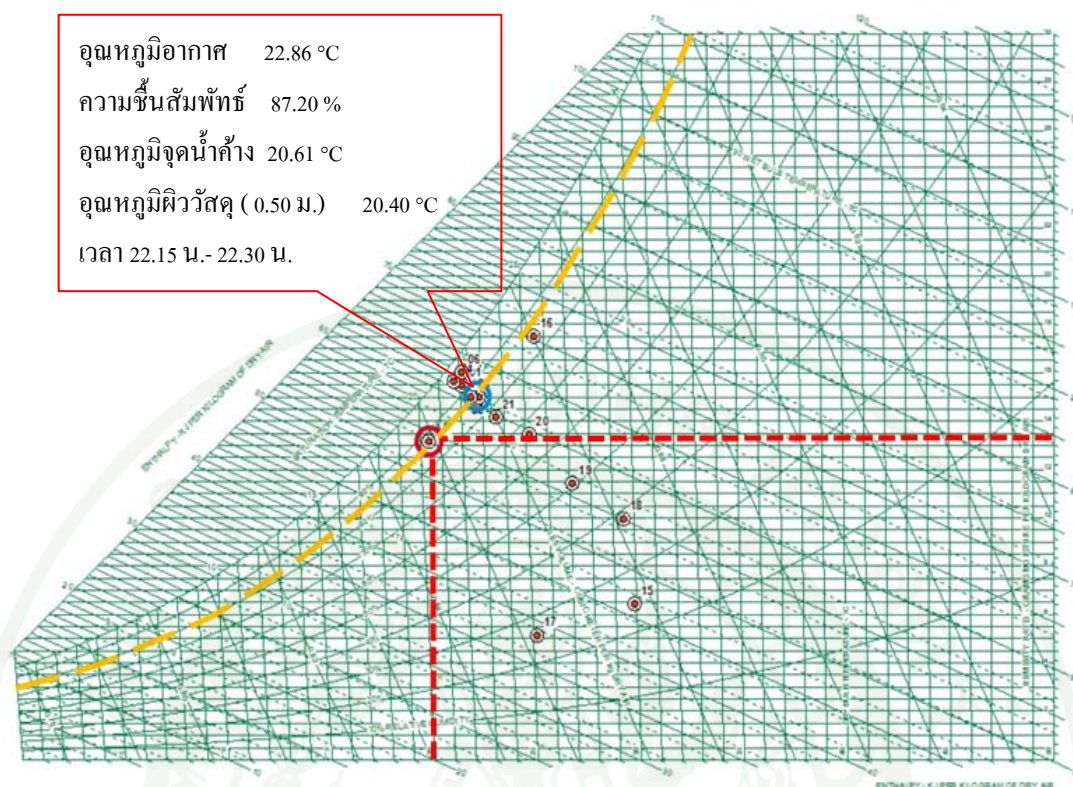


ภาพที่ 59 แผนภูมิแสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการพับแผ่นวัสดุเชิงทำมุม 40 องศา ระดับ ความสูง 0.50 ม.กับพื้นสนามหญ้า



ภาพที่ 60 แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการพับแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา ระดับความสูง 0.50 ม. กับพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 9 ก.พ. 2555 – 10 ก.พ. 2556

การเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุ สามารถอธิบายได้ว่า การพับแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา ระดับความสูง 0.50 ม. กับพื้นสนามหญ้า จะเกิดกระบวนการควบแน่นที่ผิววัสดุในเวลา 22.15 น. - 22.30 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 87.20% อุณหภูมิอากาศ 22.86 องศาเซลเซียส อุณหภูมิวัสดุ 20.40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 20.61 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ในการทดลองแสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลา 11 ชั่วโมง (22.15 น. – 08.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 85.20% - 83.50% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 95.30% ที่เวลา 01.30 น. การเกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำเกิดขึ้นได้ในเวลาอันสั้น การพับแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา มุมที่เกิดจากการพับมีการบังคับรังสีความร้อนในบางช่วงเวลา ทำให้อุณหภูมิผิวไม่สะสมความร้อนและอุณหภูมิผิวลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณน้ำที่กักเก็บได้เท่ากับ 40 ซีซีต่อ 0.25 ตารางเมตร



ภาพที่ 61 Psychrometric chart แสดงการเกิดหยดน้ำที่ผิววัสดุในการพับแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา ระดับความสูง 0.50 ม.กับพื้นสนามหญ้า ช่วงวันที่ 9 ก.พ. 2555 – 10 ก.พ. 2556

จากภาพที่ 66 สามารถอธิบายด้วย Psychrometric chart ได้ว่าการพับแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา ในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร จะเกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุในเวลา 22.15 น.-22.30 น. มีอุณหภูมิผิวลดลงอย่างรวดเร็วจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างโดยที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 87.20% อุณหภูมิอากาศ 22.86 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 20.40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 20.61 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศในเวลาเดียวกัน หมายถึงรูปแบบการพับทำมุม 40 องศาไม่มีผลกระทบทำให้การคายรังสีความร้อนของวัสดุลดลง

การวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาประยุกต์ใช้

การวางแผนวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร

การควบแน่นเกิดในช่วงเวลา 18.15 น.- 18.30 น.. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 87.30% อุณหภูมิอากาศ 24.44 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 23.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23.07 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

การทดลองแสดงให้เห็นถึง การลดลงของอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงลงมาสู่อุณหภูมิต่ำมาก แสดงถึงการคายรังสีความร้อนได้มาก ประกอบกับช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลา 15 ชั่วโมง (18.15 น. – 09.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 87.30% - 60.60% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ที่เวลา 21.15 น. ระยะเวลาในการเกิดการควบแน่นที่นานส่งผลในการเพิ่มการกักเก็บปริมาณน้ำที่มากขึ้น โดยปริมาณน้ำที่กักเก็บได้ 50 ซีซีต่อ 0.25 ตารางเมตร

การวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉาก

การควบแน่นเกิดในช่วงเวลา 19.00 น.- 19.15 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 99.80% อุณหภูมิอากาศ 23.73 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 23.48 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 23.58 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

การทดลองแสดงให้เห็นถึง การลดลงของอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงลงมาสู่อุณหภูมิต่ำน้อยกว่าการวางแผนวัสดุแนวระนาบแสดงถึงการคายรังสีความร้อนได้ช้ากว่า ประกอบกับช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลาที่น้อยกว่าโดยที่การวางแผนวัสดุในแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร มีช่วงเวลา 15 ชั่วโมง (18.15 น. – 09.15 น.) และ การวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้า มีช่วงเวลา 14 ชั่วโมง (19.15 น. – 09.15 น.) จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่กักเก็บได้จากการวางแผนวัสดุแนวตั้งฉากน่าจะกักเก็บปริมาณน้ำได้มากซึ่งมีความแตกต่างของการเกิดการควบแน่น 1 ชั่วโมงแต่เนื่องจากลักษณะการวางแผนวัสดุอาจได้รับอิทธิพลจากกระแสลมทำให้ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุระเหยไปบางส่วนประกอบกับการวางแผนวัสดุ

แนวตั้งฉากกับพื้นทำให้การคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าเป็นไปได้ช้าทำให้ปริมาณน้ำที่กักเก็บได้น้อยกว่า มีการกักเก็บปริมาณน้ำได้ 15 ซีซี ต่อ 0.25 ตรม.

การประยุกต์การวางแผนวัสดุในตังฉากและแนวระนาบสูงจากพื้นสนามหญ้า 0.50 เมตร เกิดกระบวนการควบแน่นที่ผิววัสดุในช่วงเวลา 22.00 น.- 22.15 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 85.20% อุณหภูมิอากาศ 24.79 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 22.06 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 22.14 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

การทดลองแสดงให้เห็นถึง ช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลา 11 ชั่วโมง (22.15 น. – 09.15 น.) ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 85.20% - 78.30% โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % ที่เวลา 05.00 น. ในช่วงเวลา 18.00 น.- 22.15 น. ก่อนเกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 46.30% - 85.20% ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำทำให้การลดลงของอุณหภูมิผิววัสดุจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างเป็นไปได้ช้าแต่เมื่อแผ่นวัสดุมีอุณหภูมิลดลงจนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างทำให้เกิดกระบวนการควบแน่นและเกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำที่ผิววัสดุ ฉะนั้นการประยุกต์การวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากและแนวระนาบจะทำให้ลดการสะสมความร้อนในตอนกลางวันและคายรังสีความร้อนออกจากแผ่นวัสดุได้เร็วในตอนกลางคืน โดยปริมาณน้ำที่กักเก็บได้เท่ากับ 60 ซีซีต่อ 0.25 ตารางเมตร

การวางแผนวัสดุซ้อนชั้นเอียงทำมุม 15 องศา จากแนวระนาบสูงจากพื้น 0.50 ม.

เกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุแผ่นบนสุดในช่วงเวลา 03.15 น.- 03.30 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 98.90% อุณหภูมิอากาศ 18.28 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุ 18.05 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 18.11 องศาเซลเซียสซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

กระบวนการควบแน่นเกิดขึ้นได้ช้าเนื่องจากแผ่นวัสดุชั้นบนสุดได้รับรังสีความร้อนจากการคายรังสีความร้อนของแผ่นวัสดุชั้นต่ำลงไปทำให้เกิดการสะสมความร้อนเกิดขึ้น และการวางแผนวัสดุในความสูงที่ต่ำลงมาที่ความสูง 0.40 ม., 0.30 ม., 0.20 ม.และ 0.10 ม. จะเกิดกระบวนการควบแน่นที่ผิววัสดุในช่วงเวลา 21.00 น.และ 23.00 น. แต่ไม่เกิดการรวมตัวเป็นหยดน้ำ แสดงถึงการคายรังสีความร้อนโดยไม่มีวัตถุบังจะทำให้การคายรังสีความร้อนทำได้ดีกว่า โดยปริมาณน้ำที่กักเก็บได้เท่ากับ 50 ซีซีต่อ 0.25 ตารางเมตร

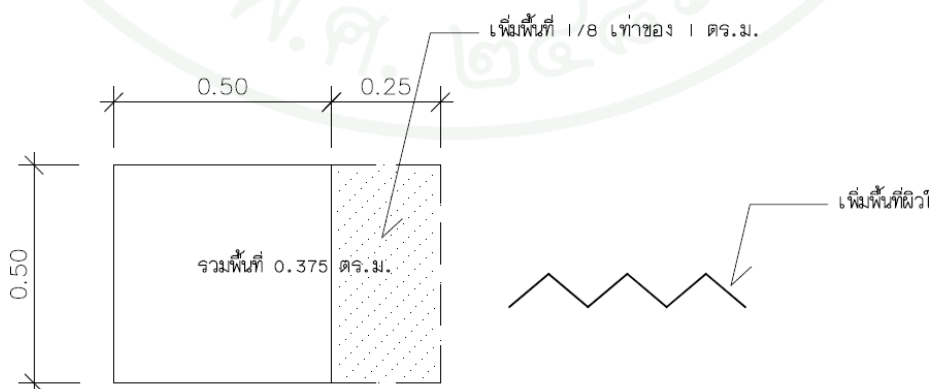
การปั๊มแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา ระดับความสูง 0.50 ม. กับพื้นสนามหญ้า

เกิดกระบวนการควบแน่นที่ผิววัสดุในเวลา 22.15 น.- 22.30 น. ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 87.20% อุณหภูมิอากาศ 22.86 องศาเซลเซียส อุณหภูมิวัสดุ 20.40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิจุดน้ำค้าง 20.61 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง

การทดลองแสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาการเกิดการควบแน่นที่ผิววัสดุโดยช่วงเวลาที่เกิดการควบแน่นถึงช่วงเวลาที่หยุดการเกิดการควบแน่นมีช่วงเวลา 11 ชั่วโมง (22.15 น. – 08.15 น.) และการปั๊มแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา มุมที่เกิดจากการปั๊มมีการบังคับรังสีความร้อนในช่วงเวลา ทำให้อุณหภูมิผิวไม่สะสมความร้อนและอุณหภูมิผิวลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณน้ำที่กักเก็บได้เท่ากับ 40 ซีซีต่อ 0.25 ตารางเมตร

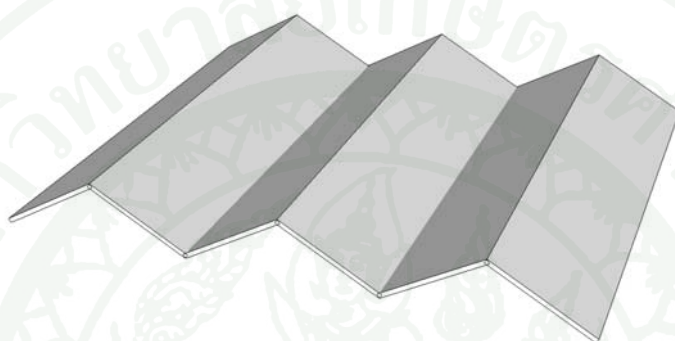
จากแนวทางการทดลอง 5 การทดลองแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์การวางแผ่นวัสดุแนวตั้งฉากกับพื้นสนามหญ้าในทิศตะวันออก – ตะวันตก ในตอนกลางวันช่วงเวลา 06.00 น.- 18.00 น. สลับกับการวางแผ่นวัสดุแนวระนาบในเวลากลางคืนช่วงเวลา 18.00 น.- 06.00 น. มีการกักเก็บปริมาณน้ำที่ได้มากที่สุดและทำให้อุณหภูมิผิวลดลงสู่อุณหภูมิจุดน้ำค้างได้เร็ว แนวทางการประยุกต์การวางแผ่นวัสดุแนวตั้งฉากสลับกับการวางแผ่นวัสดุแนวระนาบกับพื้นสนามหญ้า ประกอบกับการปั๊มแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา กับแนวระนาบเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการกักเก็บปริมาณน้ำซึ่งเพิ่มพื้นที่ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ จึงเป็นแนวทางในการทดลองขั้นต่อไป

การประยุกต์การเพิ่มพื้นที่ผิวประกอบการวางแผ่นวัสดุในแต่ละช่วงเวลา



ภาพที่ 62 รูปแบบการปั๊มแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว (ในพื้นที่ 0.25 ตร.ม.)

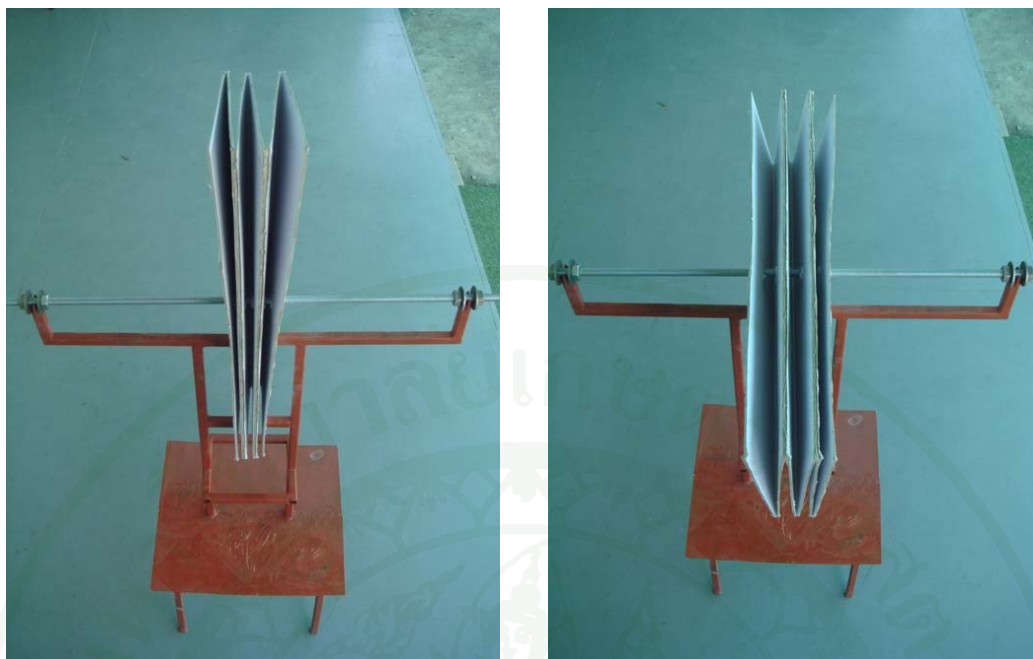
- ระดับความสูงจากพื้นดินที่เหมาะสมในการวางตำแหน่งวัสดุใช้ระดับความสูง 0.50 ม.
- การวางแผ่นวัสดุแนวระนาบในเวลากลางคืนช่วงเวลา 18.00 น.- 06.00 น.สลับกับการวางแผ่นวัสดุแนวตั้งในตอนกลางวัน ช่วงเวลา 06.00 น.- 18.00 น.
- การเพิ่มพื้นที่ผิวของแผ่นวัสดุด้วยการพับทำมุม 40 องศา กับแนวระนาบเพิ่มพื้นที่ผิว 50 %
- การประยุกต์การกักเก็บน้ำและระบบการให้น้ำแบบหยดในแปลงทดลอง



ภาพที่ 63 รูปแบบการประยุกต์การพับแผ่นวัสดุเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการคายรังสีความร้อนในตอนกลางคืน



ภาพที่ 64 รูปแบบการประยุกต์การพับแผ่นวัสดุเพื่อลดการรับรังสีความร้อนในตอนกลางวัน



ภาพที่ 65 รูปแบบการประยุกต์การพับแผ่นวัสดุเพื่อลดการรับรังสีความร้อนในตอนกลางวัน
ในระดับความสูง 0.50 ม.จากพื้นหญ้า



ภาพที่ 66 รูปแบบการประยุกต์การพับแผ่นวัสดุเพื่อการคายรังสีความร้อนในตอนกลางคืน
ในระดับความสูง 0.50 ม.จากพื้นหญ้า

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากแนวทางการวิจัยการออกแบบระบบเก็บกักน้ำค้างเพื่อนำมาใช้เป็นระบบน้ำของสวนหลังคาและการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ผลการทดลองคุณสมบัติของวัสดุในการกักเก็บปริมาณน้ำในช่วงเดือน ต.ค. 2555 – ม.ค. 2556 มีดังนี้

1. ระดับความสูงการวางแผนวัสดุจากพื้นสนามหญ้า ในการกักเก็บปริมาณน้ำที่ได้ต่อกัน กักเก็บได้สูงสุด 240 ซีซีต่อ ตร.ม ระดับความสูงอยู่ที่ 0.50 เมตร และเนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์การให้น้ำจะต้องมีพื้นที่อย่างน้อย 0.50 เมตร จากพื้นดินทำให้ผลการทดลองจากการกักเก็บปริมาณน้ำที่ได้ประกอบกับความสูงจึงเป็นระยะที่เหมาะสม

2. การวางแผนวัสดุแนวระนาบเหมาะสมในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากแผ่นวัสดุมีการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้แผ่นวัสดุมีอุณหภูมิผิวเย็นลงอย่างรวดเร็วในเวลากลางคืนและมีผลทำให้อุณหภูมิผิววัสดุลดลงถึงจุดอุณหภูมิจุดน้ำค้างได้อย่างรวดเร็ว การเกิด การควบแน่นเกิดขึ้นได้เร็ว ซึ่งหมายถึงการเกิดเป็นหยดน้ำที่ผิววัสดุจะเกิดขึ้นก่อนและการกักเก็บ ปริมาณน้ำที่ได้จะมากขึ้น

3. การวางแผนวัสดุแนวตั้งฉาก เหมาะสมในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากแผ่นวัสดุจะรับ รังสีความร้อนในบางช่วงเวลาทำให้อุณหภูมิผิววัสดุมีอุณหภูมิที่สะสมในช่วงเวลากลางวันน้อย อีกทั้งการวางแผนวัสดุในแนวตั้งฉากในตอนกลางวัน มีผลดีต่อพืชพรรณ เนื่องจากจะไม่บดบังแสง จากดวงอาทิตย์ ที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตของพืชพรรณ

4. การประยุกต์การวางแผนวัสดุแนวระนาบในเวลากลางคืนสลับกับการวางแผนวัสดุ แนวตั้งฉากในเวลากลางวัน การวางแผนวัสดุแนวตั้งในเวลากลางวัน จากการทดสอบมีอุณหภูมิผิว สะสมต่ำ แสดงถึงอุณหภูมิผิวลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ทำให้การรับ รังสีความร้อนของแผ่นวัสดุ รับรังสีความร้อนได้บางช่วงเวลา ประกอบกับการวางแผนวัสดุแนว ระนาบในเวลาเย็นทำให้แผ่นวัสดุมีการคายความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้แผ่นวัสดุลดลงสู่

อุณหภูมิจุดน้ำค้างได้เร็ว ทำให้เกิดกระบวนการควบแน่นได้อย่างรวดเร็ว การกักเก็บปริมาณน้ำจึงกักเก็บได้มากขึ้น

5. สภาพอากาศและปริมาณเมฆมีผลต่อการเกิดปริมาณน้ำค้างที่ผิววัสดุจากการทดลองลักษณะท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมบางส่วนถึงปริมาณเมฆเป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดทั้งวัน ซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนที่ของรังสีดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลากลางคืน เมฆจะทำให้อุณหภูมิผิวโลกที่อยู่ด้านล่างสูงกว่า เนื่องจากเมฆจะช่วยสะท้อนการแผ่รังสีความร้อนสู่ท้องฟ้า การวางวัสดุแนวตั้งฉากในตอนกลางคืนนอกจากพฤติกรรมการคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าเป็นไปได้อย่างช้าแล้ว สภาพอากาศและปริมาณเมฆยังส่งผลให้การคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าเป็นไปได้อย่างยาก มีผลทำให้การก่อตัวเป็นหยดน้ำที่ผิววัสดุจึงเกิดขึ้นได้น้อยดังนั้นการวางแผ่นวัสดุแนวระนาบในตอนกลางคืนจึงมีประสิทธิภาพในการกักเก็บปริมาณน้ำได้มากกว่า เนื่องจากการคายรังสีความร้อนคืนสู่ท้องฟ้าได้อย่างเต็มที่ จากการทดลองการเกิดหยดน้ำตามธรรมชาติที่ผิววัสดุอุณหภูมิมิเนอโมไนซ์ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้เกิดกระบวนการควบแน่นจะอยู่ในช่วง 80%-85%

6. การเพิ่มพื้นที่ผิวโดยการซ้อนชั้นของแผ่นวัสดุ การวางแผ่นวัสดุแผ่นบนสุดโดยไม่มีวัสดุมาดบังสามารถกักเก็บประมาณน้ำได้สูงสุด แสดงถึงการคายรังสีความร้อนได้อย่างเต็มที่และรวดเร็ว ส่วนแผ่นวัสดุในชั้นต่ำลงมาไม่สามารถกักเก็บปริมาณน้ำได้ เนื่องจากอุณหภูมิระหว่างแผ่นวัสดุมีอุณหภูมิสูง ประกอบกับการคายรังสีความร้อนสู่ท้องฟ้าเป็นไปได้อย่างยาก

7. ความต้องการน้ำของพืชที่นำมาใช้สำหรับสวนหลังคาในปัจจุบันในตระกูล (CAM PLANT) เช่น กุหลาบหิน เบบี้นันโรส ซึ่งเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำน้อย มีความต้องการน้ำ 800 ซีซี ต่อวัน จากการทดลองการเก็บกักปริมาณน้ำที่ได้ควรใช้พื้นที่ในการกักเก็บ 3.30 ตร.ม

8. แนวทางในการพัฒนาต้นแบบของผลิตภัณฑ์ต่อไปมีดังนี้

8.1 การเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยการพับผิววัสดุทำมุม 40 องศาับแนวระนาบสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (1 ตารางเมตรเพิ่มพื้นที่เป็น 1.50 ตารางเมตร) ซึ่งยังไม่เพียงพอต่อความต้องการน้ำของพืช อาจใช้เป็นระบบสำรองเพิ่มเติมจากระบบน้ำหลัก

8.2 การพัฒนาออกแบบการเพิ่มพื้นที่ผิวในรูปแบบอื่นรวมทั้งประเภทของวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนที่สูงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำ

8.3 การวางแผนวัสดุแนวระนาบในเวลากลางคืนสลับกับการวางแผนวัสดุแนวตั้งในเวลากลางวัน มีจุดประสงค์ในการลดอุณหภูมิผิวสะสมและเพื่อให้ผิววัสดุเย็นลงอย่างรวดเร็วในเวลากลางคืน

8.4 พัฒนาการออกแบบการกักเก็บปริมาณน้ำลงแหล่งกักเก็บเพื่อส่งต่อไปยังระบบการให้น้ำแก่พืชพรรณซึ่งสามารถทดลองด้วยระบบหัวน้ำหยดหรือระบบท่อน้ำซึม

8.5 พัฒนาการปรับปรุงเสาของแผ่นวัสดุด้วยระบบมอเตอร์ประยุกต์ใช้กับระบบโซล่าเซลล์เป็นกลไกที่พัฒนาต่อในด้านเทคนิคได้ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพื่อการปรับปรุงเสาแผ่นวัสดุเพื่อให้เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา

ข้อเสนอแนะ

จากแนวทางการวิจัยการออกแบบระบบเก็บกักน้ำค้างเพื่อนำมาใช้เป็นระบบน้ำของสวนหลังคา มีข้อเสนอแนะเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาข้อมูลให้ดียิ่งขึ้น

1. การเก็บข้อมูลตลอดทั้งปีของทุกสภาพอากาศจะเป็นประโยชน์ต่อการนำข้อมูลไปทำนายปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้นได้
2. เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ทำการทดลองในช่วงฤดูหนาวเท่านั้น การทดลองควรทดลองในช่วงฤดูอื่นๆเพื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้น
3. ควรศึกษาสภาพท้องฟ้าในวันที่ทำการทดลองเพื่อเป็นตัวชี้วัดปริมาณน้ำค้างที่เกิดขึ้น
4. วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การคายรังสีความร้อนที่สูงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้
5. การกักเก็บน้ำเพื่อส่งน้ำไปยังพืชพรรณควรทำการศึกษาวิธีการนำน้ำลงแหล่งกักเก็บและส่งต่อไปยังระบบให้น้ำ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กุลวุฒิ จินวุฒิ. 2551. การศึกษาองค์ประกอบและเทคนิควิธีป้องกันปัญหาการควบแน่นบริเวณผิวกระจกช่องแสงด้านบนสำหรับอาคารพักอาศัยปรับอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา. 2535. กฎกระทรวง ฉบับที่ ๑๖๓ กำหนดอาคารควบคุม การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, กรุงเทพฯ.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2550. สถิติภูมิอากาศของกรุงเทพมหานคร กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรุงเทพฯ.
- ซัชจรียา ใบลี. 2540. การศึกษาสารประกอบทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการเกิดน้ำค้างในจังหวัดเลย. รายงานเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. เมษายน 2541. เลย.
- ตรึงใจ บุรณสมภพ. 2539. การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. สำนักพิมพ์อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- ณัฐยา ทองมี. 2543. เทคนิคการออกแบบและการเลือกวัสดุหลังคา เพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำค้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิวัติ เรืองพานิช. 2546. การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บุญมา ป่านประดิษฐ์. 2537. “ระบบการชลประทานในแปลงเพาะปลูก.” วารสาร เกษตรก้าวหน้า. 37(3) :48-60.
- มนตรี คำชู. 2542. “หลักการให้น้ำชลประทาน.” วารสาร ช.ก.ส.. 42 :105-136.
- มนตรี อึ้งเจริญ. 2540. การแผ่รังสีความร้อน. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.

วิชัย อภัยสุวรรณ. 2520. **ดอกไม้เมืองไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์ ประเสริฐศิริ, กรุงเทพฯ.

ลิโรจน์ ประคุณหังสิต. 2545. “การจัดการน้ำสำหรับพืช ” วารสาร เกษตรก้าวหน้า. 45(1) :37-50.

สุนทร บุญญธิการ. 2547. **บ้านชีวาทิตย์ บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน**.
สำนักงานพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุนทร บุญญธิการ. 2543. **เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า**.
สำนักงานพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุรสิทธิ์ เกษมสุข. 2544. “ระบบการให้น้ำแบบประหยัด(ระบบน้ำหยดและสปริงเกอร์).” วารสาร
ข่าวสารเกษตรศาสตร์. 46(4) :47-80.

อำนาจ เจริญศิลป์. 2543. **การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส.พรี
นติ้ง เฮ้าส์, กรุงเทพฯ.

Anderson, B.N. 1977. **Fundamentals in Building Design**. Mcgraw-Hill, New York.

Duvdevani, S. 1974. An obtical method of dew estimation. **Royal Meteorological Society**. 73,
282-296.

College of engineering. 2012. **Michigan State University**. Available Source:
www.egr.msu.edu/classes/me416/Psychrochart.pdf, May 2, 2012.

Hui, S. C.M. 2009. **Green Roof Technology**. Available Source: [http:// www.hku.hk / mech /](http://www.hku.hk/mech/cmhui/sbs/sbs%200809-02.pdf)
[cmhui /sbs /sbs 0809 - 02. pdf](http://cmhui/sbs/sbs%200809-02.pdf), May 2, 2012.

Kendall, Henry M. 1967. **Introduction to Geography**. Harcourt, Brance & World, New York.

Linacre, E. 2011. **Weird Science: Australian irrigation invention wins James Dyson Award**

Available Source: <http://www.centenaryconglomerate.com>, May 2, 2012.

Pandey, S. 2012. Dropwise and Filmwise Condensation. **In International Journal of Scientific & Engineering Research**, Volume 3 Issue 4, April-2012.

Sparrow, E.M. and R.D.Cess 1978. **Radiation Heat Transfer**. McGraw-Hill, New York.

Sharma, V.C. and A. Sharma. 1989. **Solar Properties of Some Building Elements**. USA.



ตารางผนวกที่ 1 ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิผิววัสดุในระดับความสูง 3 ระดับ

Date/Time:	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
10/27/12 14:15:00	32.62	1.60	35.06	39.22	38.80	22.62
14:30:00	39.30	4.57	32.48	35.70	44.10	21.57
14:45:00	41.52	6.22	36.46	34.01	52.50	22.92
15:00:00	41.99	4.57	29.09	32.76	63.20	24.82
15:15:00	42.94	4.99	33.73	34.01	55.40	23.80
15:30:00	35.27	7.83	35.06	31.93	58.60	22.81
15:45:00	35.27	7.03	33.73	31.52	64.30	23.96
16:00:00	33.59	6.22	32.48	30.71	61.00	22.32
16:15:00	34.01	5.81	33.73	30.71	64.90	23.35
16:30:00	34.85	4.99	32.48	30.31	63.60	22.62
16:45:00	34.01	6.22	30.17	29.50	63.30	21.78
17:00:00	33.59	7.03	31.30	29.10	67.90	22.56
17:15:00	32.76	7.03	31.30	27.91	72.90	22.61
17:30:00	31.12	6.62	27.06	26.73	81.90	23.38
17:45:00	30.68	6.62	27.06	25.95	83.50	22.93
18:00:00	23.68	6.22	27.06	25.17	87.30	23.90
18:15:00	23.05	6.22	29.09	24.40	92.30	23.07
18:30:00	22.11	6.22	29.09	24.01	95.60	23.27
18:45:00	22.40	5.40	27.06	23.63	95.50	22.87
19:00:00	22.63	4.99	27.06	23.24	99.70	23.20
19:15:00	22.63	5.40	27.06	23.24	99.70	23.20
19:30:00	22.63	5.40	26.11	22.86	99.70	22.80
19:45:00	22.48	4.99	26.11	22.86	99.70	22.80
20:00:00	22.86	4.99	26.11	22.86	99.70	22.80
20:15:00	23.63	4.99	26.11	22.86	99.70	22.80
20:30:00	23.24	5.40	26.11	22.48	100.00	22.48
20:45:00	22.86	4.99	27.06	22.48	100.00	22.48
21:00:00	22.86	4.99	26.11	22.48	100.00	22.48
21:15:00	22.86	4.99	26.11	22.48	100.00	22.48

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date/Time:	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
21:30:00	22.86	4.99	26.11	22.48	100.00	22.48
21:45:00	22.86	4.57	26.11	22.09	100.00	22.09
22:00:00	22.48	4.99	25.19	22.09	100.00	22.09
22:15:00	22.86	5.40	25.19	22.09	100.00	22.09
22:30:00	22.86	5.40	26.11	22.09	100.00	22.09
22:45:00	22.86	5.40	26.11	22.09	100.00	22.09
23:00:00	21.48	5.40	25.19	21.71	100.00	21.71
23:15:00	21.86	5.81	25.19	21.71	100.00	21.71
23:30:00	21.48	5.40	25.19	21.71	100.00	21.71
23:45:00	21.33	5.81	24.30	21.33	100.00	21.33
00:00:00	21.86	5.81	25.19	21.33	100.00	21.33
10/28/12 00:15:00	21.24	5.81	25.19	21.33	100.00	21.33
00:30:00	21.86	6.22	25.19	21.33	100.00	21.33
00:45:00	21.86	5.81	24.30	21.33	100.00	21.33
01:00:00	21.86	5.81	24.30	21.33	100.00	21.33
01:15:00	21.86	5.81	23.44	21.33	100.00	21.33
01:30:00	21.86	5.81	24.30	21.33	100.00	21.33
01:45:00	21.86	5.81	23.44	20.95	100.00	20.95
02:00:00	23.24	6.22	22.60	20.95	100.00	20.95
02:15:00	23.24	5.81	22.60	20.95	100.00	20.95
02:30:00	23.24	5.81	22.60	20.95	100.00	20.95
02:45:00	23.63	5.81	22.60	20.95	100.00	20.95
03:00:00	23.95	5.40	22.60	20.95	100.00	20.95
03:15:00	20.57	5.81	22.60	20.57	100.00	20.57
03:30:00	20.95	5.81	23.44	20.95	100.00	20.95
03:45:00	20.95	5.81	22.60	20.57	100.00	20.57
04:00:00	20.19	5.81	22.60	20.57	100.00	20.57
04:15:00	20.19	5.40	22.60	20.57	100.00	20.57
04:30:00	20.19	5.81	23.44	20.57	100.00	20.57

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date/Time:	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
04:45:00	20.19	5.81	22.60	20.57	100.00	20.57
05:00:00	20.19	6.22	22.60	20.19	100.00	20.19
05:15:00	20.19	5.81	21.79	20.19	100.00	20.19
05:30:00	20.57	5.81	22.60	20.19	100.00	20.19
05:45:00	20.19	5.81	22.60	20.19	100.00	20.19
06:00:00	19.81	4.57	21.79	20.19	100.00	20.19
06:15:00	19.81	5.40	21.79	20.57	100.00	20.57
06:30:00	17.14	4.99	21.00	20.19	100.00	20.19
06:45:00	16.00	4.99	21.79	20.19	100.00	20.19
07:00:00	17.90	5.40	21.00	20.57	100.00	20.57
07:15:00	17.52	6.22	20.24	20.95	100.00	20.95
07:30:00	17.52	5.81	23.44	22.09	100.00	22.09
07:45:00	17.79	0.73	24.30	22.86	100.00	22.86
08:00:00	17.87	-1.06	30.17	26.73	100.00	26.73
08:15:00	22.76	-4.33	31.30	24.79	100.00	24.79
08:30:00	26.34	0.29	33.73	24.40	95.70	23.66
08:45:00	27.52	0.29	33.73	25.56	92.40	24.24
09:00:00	27.12	7.03	35.06	26.73	89.70	24.90
09:15:00	29.10	5.40	35.06	29.50	75.60	24.73
09:30:00	29.50	7.83	36.46	30.31	75.60	25.50
09:45:00	29.91	1.60	37.97	33.59	62.20	25.33
10:00:00	29.79	1.60	36.46	33.17	59.10	24.09
10:15:00	30.40	5.81	37.97	34.43	52.90	23.43
10:30:00	30.11	0.73	36.46	33.17	57.10	23.52
10:45:00	36.13	-1.51	36.46	32.76	54.10	22.24
11:00:00	37.00	2.03	31.30	32.76	51.50	21.43
11:15:00	37.88	8.63	43.24	33.59	49.60	21.58
11:30:00	35.70	4.99	43.24	33.59	49.20	21.45
11:45:00	37.88	6.62	39.58	35.70	48.50	23.14

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date/Time:	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
12:00:00	38.32	2.46	33.73	34.85	47.70	22.11
12:15:00	41.99	5.40	37.97	35.70	41.60	20.64
12:30:00	46.40	0.73	35.06	34.85	44.10	20.83
12:45:00	42.94	0.73	36.46	34.85	49.10	22.57
13:00:00	42.11	-1.06	36.46	38.32	43.10	23.54
13:15:00	43.42	-2.90	31.30	38.94	28.90	20.99
13:30:00	40.95	-1.51	32.48	39.56	25.40	24.45
13:45:00	40.66	-3.37	32.48	39.02	25.10	23.83
14:00:00	35.88	0.29	36.46	39.67	32.30	20.04
14:15:00	34.32	-0.61	37.97	38.32	33.50	19.42
14:30:00	32.76	4.99	35.06	35.70	35.10	17.90
14:45:00	35.69	15.62	32.48	36.94	30.50	21.91
15:00:00	35.21	37.00	32.48	36.43	25.40	22.68
15:15:00	31.52	4.57	36.46	43.42	28.60	21.27
15:30:00	33.91	18.94	35.06	43.42	27.90	20.82
15:45:00	31.52	-2.44	35.06	34.85	44.00	20.77
16:00:00	32.76	0.29	33.73	32.76	49.00	20.64
16:15:00	30.31	1.60	31.30	30.71	61.00	22.32
16:30:00	29.90	-0.16	31.30	30.31	67.20	23.52
16:45:00	30.71	-1.51	32.48	31.93	65.30	24.59
17:00:00	29.90	-1.51	32.48	30.31	69.00	23.98
17:15:00	27.52	2.46	30.17	28.70	72.90	23.35
17:30:00	26.34	2.89	29.09	27.52	80.40	23.84
17:45:00	25.17	3.31	28.05	26.34	85.30	23.67
18:00:00	24.01	1.17	27.15	25.16	86.40	23.65
18:15:00	23.05	0.73	27.06	24.44	87.30	23.07
18:30:00	23.06	-0.16	25.19	24.43	95.70	23.66
18:45:00	23.06	-0.61	24.30	24.11	95.60	23.27
19:00:00	23.01	-0.61	23.44	23.63	99.80	23.60

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date/Time:	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
19:15:00	22.86	-1.51	23.41	23.61	99.80	23.60
19:30:00	23.24	-1.51	23.41	23.61	99.80	23.60
19:45:00	23.24	-1.06	23.41	23.61	99.80	23.60
20:00:00	22.48	-1.51	23.44	23.23	99.70	23.20
20:15:00	22.86	-1.51	23.44	23.23	99.70	23.20
20:30:00	22.86	-0.61	22.60	22.85	99.70	22.80
20:45:00	22.86	-1.06	22.60	22.85	99.70	22.80
21:00:00	22.86	-0.61	22.60	22.46	99.60	22.41
21:15:00	22.86	-0.16	22.60	22.47	100.00	22.48
21:30:00	22.09	-0.16	22.60	22.48	100.00	22.48
21:45:00	22.86	-0.16	22.60	22.48	100.00	22.48
22:00:00	22.48	0.73	22.60	22.49	100.00	22.48
22:15:00	22.09	1.17	22.60	22.49	100.00	22.48
22:30:00	23.63	1.17	21.79	22.10	100.00	22.09
22:45:00	21.33	2.46	21.79	22.10	100.00	22.09
23:00:00	22.09	2.03	21.79	22.11	100.00	22.09
23:15:00	21.71	2.46	21.79	22.12	100.00	22.09
23:30:00	21.33	2.89	21.00	22.32	100.00	22.09
23:45:00	21.33	2.89	21.00	21.68	100.00	21.71
00:00:00	22.09	2.46	21.79	21.69	100.00	21.71
10/29/12 00:15:00	21.33	2.89	21.00	21.69	100.00	21.71
00:30:00	21.33	2.89	21.00	21.70	100.00	21.71
00:45:00	22.09	2.46	21.00	21.70	100.00	21.71
01:00:00	21.71	3.31	21.79	21.70	100.00	21.71
01:15:00	23.63	2.89	21.79	21.70	100.00	21.71
01:30:00	21.33	2.89	21.00	21.28	100.00	21.33
01:45:00	20.95	2.89	21.00	21.27	100.00	21.33
02:00:00	20.95	3.31	21.79	21.27	100.00	21.33
02:15:00	20.95	3.74	21.00	21.27	100.00	21.33

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date/Time:	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
02:30:00	20.95	2.89	21.00	21.20	100.00	21.33
02:45:00	20.95	2.89	21.00	21.17	100.00	21.33
03:00:00	20.57	2.89	21.00	21.16	100.00	21.33
03:15:00	20.57	2.46	21.00	21.16	100.00	21.33
03:30:00	20.19	2.89	21.00	20.98	100.00	20.95
03:45:00	20.57	2.89	21.00	20.95	100.00	20.95
04:00:00	20.19	2.89	21.79	20.95	100.00	20.95
04:15:00	20.19	2.89	21.00	20.95	100.00	20.95
04:30:00	20.57	3.74	21.00	20.95	100.00	20.95
04:45:00	21.33	2.89	21.00	20.95	100.00	20.95
05:00:00	22.56	3.31	21.00	20.95	100.00	20.95
05:15:00	22.11	3.31	20.24	21.33	100.00	21.33
05:30:00	20.95	3.74	20.24	20.95	100.00	20.95
05:45:00	20.57	3.31	21.00	20.57	100.00	20.57
06:00:00	20.57	2.89	21.00	20.95	100.00	20.95
06:15:00	20.57	2.89	20.24	20.57	100.00	20.57
06:30:00	20.95	7.43	20.01	20.95	100.00	20.95
06:45:00	20.57	6.62	12.29	21.33	100.00	21.33
07:00:00	20.95	6.22	13.49	21.71	100.00	21.71
07:15:00	21.71	2.89	15.36	22.48	100.00	22.48
07:30:00	22.91	-1.51	18.76	23.24	100.00	23.24
07:45:00	22.16	-3.37	20.24	24.01	100.00	24.01
08:00:00	25.17	-3.85	23.44	27.12	100.00	27.12
08:15:00	24.16	2.89	25.70	29.10	81.90	25.69
08:30:00	24.35	9.42	25.30	31.12	69.60	24.89
08:45:00	24.16	0.73	25.20	29.10	69.80	24.22
09:00:00	24.00	4.99	25.19	29.10	72.80	23.73
09:15:00	24.04	4.57	27.06	32.76	60.60	24.14
09:30:00	25.22	4.99	29.09	31.93	59.30	23.00

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Date/Time:	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
09:45:00	26.11	-0.61	30.17	35.27	57.60	25.64
10:00:00	28.77	0.29	30.17	37.00	51.20	25.22
10:15:00	30.49	2.03	29.09	38.32	46.50	24.82
10:30:00	32.09	69.11	30.17	36.57	48.30	23.85
10:45:00	37.88	26.73	31.30	35.27	51.80	23.84
11:00:00	37.00	48.49	26.11	35.27	53.00	24.23
11:15:00	38.16	-12.88	12.88	29.50	52.90	18.89
11:30:00	38.16	-12.29	12.29	28.31	64.80	21.05
11:45:00	38.16	-12.29	11.70	28.31	69.90	22.28
12:00:00	38.16	-12.29	11.70	28.31	69.20	22.13

ตารางผนวกที่ 2 ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิผิววัสดุในการวางแผนวัสดุในแนวระนาบและ
ตั้งฉาก

Date/Time	Horizontal (°C)	Vertical (°C)	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
10/27/12 14:15:00.0	32.62	20.95	39.22	38.80	22.62
14:30:00	39.30	37.70	35.70	44.10	21.57
14:45:00	41.52	30.31	34.01	52.50	22.92
15:00:00	41.99	37.15	32.76	63.20	24.82
15:15:00	42.94	41.18	34.01	55.40	23.80
15:30:00	35.27	41.33	31.93	58.60	22.81
15:45:00	35.27	39.48	31.52	64.30	23.96
16:00:00	33.59	34.87	30.71	61.00	22.32
16:15:00	34.01	35.32	30.71	64.90	23.35
16:30:00	34.85	31.23	30.31	63.60	22.62
16:45:00	34.01	28.65	29.50	63.30	21.78
17:00:00	33.59	29.03	29.10	67.90	22.56
17:15:00	32.76	29.93	27.91	72.90	22.61
17:30:00	31.12	26.57	26.73	81.90	23.38
17:45:00	30.68	25.22	25.95	83.50	22.93
18:00:00	23.68	23.72	25.17	87.30	23.90
18:15:00	23.05	23.79	24.40	92.30	23.07
18:30:00	22.11	23.37	24.01	95.60	23.27
18:45:00	22.40	23.46	23.63	95.50	22.87
19:00:00	22.63	23.29	23.24	99.70	23.20
19:15:00	22.63	23.71	23.24	99.70	23.20
19:30:00	22.63	23.51	22.86	99.70	22.80
19:45:00	22.48	20.36	22.86	99.70	22.80
20:00:00	22.86	20.13	22.86	99.70	22.80
20:15:00	23.63	20.28	22.86	99.70	22.80
20:30:00	23.24	20.06	22.48	100.00	22.48
20:45:00	22.86	20.06	22.48	100.00	22.48
21:00:00	22.86	20.13	22.48	100.00	22.48
21:15:00	22.86	20.01	22.48	100.00	22.48

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date/Time	Horizontal (°C)	Vertical (°C)	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
21:30:00	22.86	19.83	22.48	100.00	22.48
21:45:00	22.86	19.78	22.09	100.00	22.09
22:00:00	22.48	19.56	22.09	100.00	22.09
22:15:00	22.86	19.36	22.09	100.00	22.09
22:30:00	22.86	19.41	22.09	100.00	22.09
22:45:00	22.86	19.21	22.09	100.00	22.09
23:00:00	21.48	19.00	21.71	100.00	21.71
23:15:00	21.86	19.21	21.71	100.00	21.71
23:30:00	21.48	19.05	21.71	100.00	21.71
23:45:00	21.33	18.93	21.33	100.00	21.33
00:00:00	21.86	18.63	21.33	100.00	21.33
10/28/12 00:15:00	21.24	18.55	21.33	100.00	21.33
00:30:00	21.86	18.63	21.33	100.00	21.33
00:45:00	21.86	18.43	21.33	100.00	21.33
01:00:00	21.86	18.55	21.33	100.00	21.33
01:15:00	21.86	18.35	21.33	100.00	21.33
01:30:00	21.86	18.40	21.33	100.00	21.33
01:45:00	21.86	18.25	20.95	100.00	20.95
02:00:00	23.24	18.05	20.95	100.00	20.95
02:15:00	23.24	18.13	20.95	100.00	20.95
02:30:00	23.24	18.13	20.95	100.00	20.95
02:45:00	23.63	17.93	20.95	100.00	20.95
03:00:00	23.95	17.78	20.95	100.00	20.95
03:15:00	20.57	17.70	20.57	100.00	20.57
03:30:00	20.95	17.63	20.95	100.00	20.95
03:45:00	20.95	17.70	20.57	100.00	20.57
04:00:00	20.19	17.50	20.57	100.00	20.57
04:15:00	20.19	17.55	20.57	100.00	20.57
04:30:00	20.19	17.43	20.57	100.00	20.57

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date/Time	Horizontal (°C)	Vertical (°C)	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
04:45:00	20.19	17.43	20.57	100.00	20.57
05:00:00	20.19	17.32	20.19	100.00	20.19
05:15:00	20.19	17.50	20.19	100.00	20.19
05:30:00	20.57	17.27	20.19	100.00	20.19
05:45:00	20.19	17.25	20.19	100.00	20.19
06:00:00	19.81	17.78	20.19	100.00	20.19
06:15:00	19.81	17.55	20.57	100.00	20.57
06:30:00	17.14	17.85	20.19	100.00	20.19
06:45:00	16.00	18.05	20.19	100.00	20.19
07:00:00	17.90	17.93	20.57	100.00	20.57
07:15:00	17.52	17.63	20.95	100.00	20.95
07:30:00	17.52	18.05	22.09	100.00	22.09
07:45:00	17.79	17.85	22.86	100.00	22.86
08:00:00	17.87	18.13	26.73	100.00	26.73
08:15:00	22.76	18.85	24.79	100.00	24.79
08:30:00	26.34	20.56	24.40	95.70	23.66
08:45:00	27.52	21.13	25.56	92.40	24.24
09:00:00	27.12	21.86	26.73	89.70	24.90
09:15:00	29.10	23.94	29.50	75.60	24.73
09:30:00	29.50	24.87	30.31	75.60	25.50
09:45:00	29.91	26.42	33.59	62.20	25.33
10:00:00	29.79	28.15	33.17	59.10	24.09
10:15:00	30.40	28.65	34.43	52.90	23.43
10:30:00	30.11	30.16	33.17	57.10	23.52
10:45:00	36.13	32.94	32.76	54.10	22.24
11:00:00	37.00	33.01	32.76	51.50	21.43
11:15:00	37.88	33.87	33.59	49.60	21.58
11:30:00	35.70	33.39	33.59	49.20	21.45
11:45:00	37.88	34.54	35.70	48.50	23.14

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date/Time	Horizontal (°C)	Vertical (°C)	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
12:00:00	38.32	34.75	34.85	47.70	22.11
12:15:00	41.99	34.95	35.70	41.60	20.64
12:30:00	46.40	35.25	34.85	44.10	20.83
12:45:00	42.94	36.25	34.85	49.10	22.57
13:00:00	42.11	36.75	38.32	43.10	23.54
13:15:00	43.42	36.25	38.94	28.90	20.99
13:30:00	40.95	35.66	39.56	25.40	24.45
13:45:00	40.66	34.25	39.02	25.10	23.83
14:00:00	35.88	33.25	39.67	32.30	20.04
14:15:00	34.32	31.66	38.32	33.50	19.42
14:30:00	32.76	37.70	35.70	35.10	17.90
14:45:00	35.69	30.31	36.94	30.50	21.91
15:00:00	35.21	37.15	36.43	25.40	22.68
15:15:00	31.52	41.18	43.42	28.60	21.27
15:30:00	33.91	41.33	43.42	27.90	20.82
15:45:00	31.52	39.48	34.85	44.00	20.77
16:00:00	32.76	34.87	32.76	49.00	20.64
16:15:00	30.31	35.32	30.71	61.00	22.32
16:30:00	29.90	31.23	30.31	67.20	23.52
16:45:00	30.71	28.65	31.93	65.30	24.59
17:00:00	29.90	29.03	30.31	69.00	23.98
17:15:00	27.52	29.93	28.70	72.90	23.35
17:30:00	26.34	26.57	27.52	80.40	23.84
17:45:00	25.17	25.22	26.34	85.30	23.67
18:00:00	24.01	24.72	25.16	86.40	23.65
18:15:00	23.05	24.79	24.44	87.30	23.07
18:30:00	23.06	23.74	24.43	95.70	23.66
18:45:00	23.06	23.73	24.11	95.60	23.27
19:00:00	23.01	23.48	23.73	99.80	23.58

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date/Time	Horizontal (°C)	Vertical (°C)	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
19:15:00	22.86	22.28	23.61	99.80	23.60
19:30:00	23.24	20.98	23.61	99.80	23.60
19:45:00	23.24	19.63	23.61	99.80	23.60
20:00:00	22.48	19.56	23.23	99.70	23.20
20:15:00	22.86	19.48	23.23	99.70	23.20
20:30:00	22.86	19.20	22.85	99.70	22.80
20:45:00	22.86	19.35	22.85	99.70	22.80
21:00:00	22.86	19.33	22.46	99.60	22.41
21:15:00	22.86	19.20	22.47	100.00	22.48
21:30:00	22.09	19.35	22.48	100.00	22.48
21:45:00	22.86	19.28	22.48	100.00	22.48
22:00:00	22.48	19.13	22.49	100.00	22.48
22:15:00	22.09	19.00	22.49	100.00	22.48
22:30:00	23.63	18.98	22.10	100.00	22.09
22:45:00	21.33	18.83	22.10	100.00	22.09
23:00:00	22.09	18.78	22.11	100.00	22.09
23:15:00	21.71	18.70	22.12	100.00	22.09
23:30:00	21.33	18.85	22.32	100.00	22.09
23:45:00	21.33	18.78	21.68	100.00	21.71
00:00:00	22.09	18.63	21.69	100.00	21.71
10/29/12 00:15:00	21.33	18.55	21.69	100.00	21.71
00:30:00	21.33	18.63	21.70	100.00	21.71
00:45:00	22.09	18.43	21.70	100.00	21.71
01:00:00	21.71	18.55	21.70	100.00	21.71
01:15:00	23.63	18.35	21.70	100.00	21.71
01:30:00	21.33	18.40	21.28	100.00	21.33
01:45:00	20.95	18.25	21.27	100.00	21.33
02:00:00	20.95	18.05	21.27	100.00	21.33
02:15:00	20.95	18.13	21.27	100.00	21.33

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date/Time	Horizontal (°C)	Vertical (°C)	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
02:30:00	20.95	18.13	21.20	100.00	21.33
02:45:00	20.95	17.93	21.17	100.00	21.33
03:00:00	20.57	17.78	21.16	100.00	21.33
03:15:00	20.57	17.70	21.16	100.00	21.33
03:30:00	20.19	17.63	20.98	100.00	20.95
03:45:00	20.57	17.70	20.95	100.00	20.95
04:00:00	20.19	17.50	20.95	100.00	20.95
04:15:00	20.19	17.55	20.95	100.00	20.95
04:30:00	20.57	17.43	20.95	100.00	20.95
04:45:00	21.33	17.43	20.95	100.00	20.95
05:00:00	22.56	17.32	20.95	100.00	20.95
05:15:00	22.11	17.50	21.33	100.00	21.33
05:30:00	20.95	17.27	20.95	100.00	20.95
05:45:00	20.57	17.25	20.57	100.00	20.57
06:00:00	20.57	17.78	20.95	100.00	20.95
06:15:00	20.57	17.55	20.57	100.00	20.57
06:30:00	20.95	17.85	20.95	100.00	20.95
06:45:00	20.57	18.05	21.33	100.00	21.33
07:00:00	20.95	17.93	21.71	100.00	21.71
07:15:00	21.71	17.63	22.48	100.00	22.48
07:30:00	22.91	18.05	23.24	100.00	23.24
07:45:00	22.16	17.85	24.01	100.00	24.01
08:00:00	25.17	18.13	27.12	100.00	27.12
08:15:00	24.16	18.85	29.10	81.90	25.69
08:30:00	24.35	20.56	31.12	69.60	24.89
08:45:00	24.16	21.13	29.10	69.80	24.22
09:00:00	24.00	21.86	29.10	72.80	23.73
09:15:00	24.04	23.94	32.76	60.60	24.14
09:30:00	25.22	24.87	31.93	59.30	23.00

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

Date/Time	Horizontal (°C)	Vertical (°C)	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
09:45:00	26.11	26.42	35.27	57.60	25.64
10:00:00	28.77	28.15	37.00	51.20	25.22
10:15:00	30.49	28.65	38.32	46.50	24.82
10:30:00	32.09	30.16	36.57	48.30	23.85
10:45:00	37.88	32.94	35.27	51.80	23.84
11:00:00	37.00	33.01	35.27	53.00	24.23
11:15:00	38.16	33.87	29.50	52.90	18.89
11:30:00	38.16	33.39	28.31	64.80	21.05
11:45:00	38.16	34.54	28.31	69.90	22.28
12:00:00	38.16	37.25	28.31	69.20	22.13

ตารางผนวกที่ 3 ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิววัสดุเมื่อนำแผ่นวัสดุซ้อนขึ้น

Date/Time:	Surface1 0.10 m.	Surface2 0.20 m.	Surface3 0.30 m.	Surface4 0.40 m.	Surface5 0.50 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
12/28/12 14:15:00	31.51	28.60	30.70	31.60	31.70	32.76	23.80	9.42
14:30:00	28.23	30.60	34.00	34.50	33.00	37.00	23.90	13.00
14:45:00	31.89	27.70	29.70	30.60	31.70	30.71	25.70	8.86
15:00:00	36.55	35.70	37.80	34.50	32.90	35.27	25.90	12.82
15:15:00	36.62	35.70	38.30	39.40	33.60	43.42	29.40	21.69
15:30:00	35.32	34.50	37.00	39.50	34.90	45.89	30.70	24.51
15:45:00	33.06	32.40	34.40	38.20	34.80	43.42	29.40	21.69
16:00:00	31.36	30.50	33.40	35.60	33.70	39.67	27.70	17.54
16:15:00	29.73	29.00	31.30	34.20	34.30	34.85	23.80	11.17
16:30:00	28.08	29.00	29.20	32.20	33.80	32.76	23.80	9.42
16:45:00	28.00	27.40	29.20	30.20	32.40	30.71	29.50	10.87
17:00:00	28.45	27.40	29.10	30.10	32.10	29.90	33.00	11.91
17:15:00	26.52	27.80	29.70	30.60	32.40	31.12	33.70	13.26
17:30:00	25.07	26.00	27.40	28.50	31.30	28.70	36.20	12.23
17:45:00	24.07	23.80	24.90	27.10	29.60	27.12	44.70	14.05
18:00:00	23.14	22.90	23.70	26.10	28.90	25.95	52.40	15.45
18:15:00	22.36	22.20	22.90	24.90	28.00	24.79	60.40	16.61
18:30:00	21.43	21.40	22.10	24.00	27.00	24.01	67.00	17.51
18:45:00	21.13	21.00	21.60	23.10	26.10	23.24	72.60	18.06
19:00:00	20.71	20.60	21.10	22.60	25.40	22.48	76.10	18.06
19:15:00	20.41	20.60	20.80	22.10	24.80	22.09	80.60	18.60
19:30:00	20.13	20.30	20.70	21.90	24.40	21.71	83.50	18.79
19:45:00	19.86	20.10	20.70	21.70	24.10	21.33	87.10	19.10
20:00:00	19.93	19.80	20.50	21.40	23.80	21.33	89.40	19.51
20:15:00	19.63	19.80	20.60	21.60	23.60	21.33	89.40	19.51
20:30:00	19.43	19.30	20.40	21.50	23.60	20.95	89.40	19.13
20:45:00	19.41	19.20	20.40	21.30	23.20	20.95	92.00	19.60
21:00:00	19.20	19.10	20.20	21.30	23.10	20.95	92.00	19.60

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Date/Time:	Surface1 0.10 m.	Surface2 0.20 m.	Surface3 0.30 m.	Surface4 0.40 m.	Surface5 0.50 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
21:15:00	19.13	19.00	20.10	21.10	23.10	20.57	92.00	19.21
21:30:00	19.05	18.90	20.00	21.00	22.80	20.57	95.20	19.77
21:45:00	18.78	18.90	19.70	20.90	22.90	20.19	95.10	19.38
22:00:00	18.63	18.70	19.50	20.60	22.80	20.19	95.10	19.38
22:15:00	18.50	18.50	19.50	20.40	22.60	19.81	95.10	19.00
22:30:00	18.50	18.40	19.50	20.40	22.60	19.81	99.20	19.67
22:45:00	18.35	18.40	19.50	20.40	22.10	19.81	99.20	19.67
23:00:00	18.43	18.30	19.20	20.10	22.10	19.42	99.10	19.28
23:15:00	18.40	18.30	19.30	20.30	21.90	19.81	99.20	19.67
23:30:00	18.13	18.10	19.10	20.20	21.70	19.81	99.20	19.67
23:45:00	18.25	18.10	19.20	20.00	21.40	19.42	99.10	19.28
00:00:00	17.93	17.90	18.78	19.71	20.51	19.42	99.10	19.28
12/29/12 00:15:00	17.90	17.80	18.78	19.71	20.56	19.42	99.10	19.28
00:30:00	17.83	17.80	18.70	19.63	20.86	19.42	99.10	19.28
00:45:00	17.90	17.80	18.85	19.78	20.51	19.42	100.00	19.42
01:00:00	17.90	17.80	18.70	19.56	20.43	19.42	100.00	19.42
01:15:00	17.70	17.60	18.70	19.63	20.51	19.42	100.00	19.42
01:30:00	17.75	17.60	18.55	19.51	19.56	19.42	100.00	19.42
01:45:00	17.63	17.60	18.33	19.20	19.48	19.04	100.00	19.04
02:00:00	17.50	17.40	18.48	19.35	19.21	19.04	100.00	19.04
02:15:00	17.55	17.50	18.43	19.35	19.21	19.04	100.00	19.04
02:30:00	17.43	17.40	18.20	19.13	19.33	18.66	100.00	18.66
02:45:00	17.28	17.20	17.98	18.93	19.61	18.66	100.00	18.66
03:00:00	17.05	17.00	17.98	18.65	18.63	18.66	100.00	18.66
03:15:00	17.05	17.00	17.90	18.68	18.56	18.66	100.00	18.66
03:30:00	16.92	16.90	17.98	18.55	18.56	18.66	100.00	18.66
03:45:00	16.92	16.90	17.93	18.63	18.56	18.66	100.00	18.66
04:00:00	16.90	16.80	17.90	18.27	18.28	18.66	100.00	18.66

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Date/Time:	Surface1 0.10 m.	Surface2 0.20 m.	Surface3 0.30 m.	Surface4 0.40 m.	Surface5 0.50 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP. (°C)
04:15:00	16.85	16.80	17.93	18.55	18.28	18.66	100.00	18.66
04:30:00	16.82	16.80	17.93	18.55	18.05	18.66	100.00	18.66
04:45:00	16.77	16.70	17.83	18.50	18.60	18.66	100.00	18.66
05:00:00	16.75	16.60	17.90	18.78	18.78	18.28	100.00	18.28
05:15:00	16.85	16.80	17.70	18.63	18.05	18.28	100.00	18.28
05:30:00	16.62	16.60	17.63	18.50	18.93	18.28	100.00	18.28
05:45:00	16.62	16.50	17.85	18.70	18.00	17.90	100.00	17.90
06:00:00	16.82	16.80	17.85	18.70	18.21	17.90	100.00	17.90
06:15:00	16.85	16.80	18.13	18.05	18.05	17.90	100.00	17.90
06:30:00	17.05	17.00	18.28	18.20	18.13	17.90	100.00	17.90
06:45:00	17.28	17.20	18.13	18.98	19.43	17.90	100.00	17.90
07:00:00	16.90	16.60	17.90	18.93	19.33	17.52	100.00	17.52
07:15:00	16.97	16.90	18.25	19.33	19.36	17.52	100.00	17.52
07:30:00	17.40	17.30	18.33	19.43	19.63	17.52	100.00	17.52
07:45:00	17.50	17.40	18.70	19.83	19.56	17.90	100.00	17.90
08:00:00	17.85	17.80	19.13	20.21	20.01	18.28	100.00	18.28
08:15:00	18.20	18.10	20.43	21.49	20.63	18.66	100.00	18.66
08:30:00	19.43	19.30	21.33	22.51	21.13	19.42	100.00	19.42
08:45:00	20.41	20.10	22.41	23.52	21.56	20.19	100.00	20.19
09:00:00	21.64	21.30	22.56	23.52	22.41	22.48	99.60	22.41
09:15:00	21.29	21.10	23.21	24.07	23.14	23.63	73.40	18.59
09:30:00	21.84	21.60	24.42	25.37	24.14	26.34	52.30	15.78
09:45:00	22.94	22.60	27.57	28.73	24.64	28.31	36.40	11.99
10:00:00	26.42	25.90	28.23	29.81	26.37	29.90	32.20	11.51
10:15:00	27.88	27.30	28.03	28.93	27.30	30.71	30.10	11.20
10:30:00	26.72	26.20	30.23	30.96	28.43	32.34	25.70	10.20
10:45:00	28.65	27.90	30.66	31.43	29.58	34.85	24.10	11.36
11:00:00	28.95	28.20	31.23	31.89	31.01	33.17	25.90	11.04

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Date/Time:	Surface1 0.10 m.	Surface2 0.20 m.	Surface3 0.30 m.	Surface4 0.40 m.	Surface5 0.50 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP. (°C)
11:15:00	29.35	28.50	30.66	31.53	32.01	34.43	23.80	10.80
11:30:00	28.88	28.30	31.38	32.21	31.54	34.85	23.80	11.13
11:45:00	29.66	29.00	33.24	33.92	31.86	35.27	23.80	11.55
12:00:00	31.03	30.10	33.76	34.69	32.16	34.01	23.80	10.43
12:15:00	31.12	30.20	34.36	34.89	32.08	34.43	24.00	10.92
12:30:00	31.10	31.10	34.66	34.99	33.16	34.43	23.80	10.80
12:45:00	31.12	32.20	34.76	35.56	33.27	34.85	24.00	11.28
13:00:00	31.33	31.10	34.99	35.03	33.26	34.85	23.80	11.15
13:15:00	31.30	31.20	33.99	35.59	32.33	35.70	26.20	13.31
13:30:00	31.16	30.80	32.76	34.58	32.32	38.77	25.50	15.47
13:45:00	31.13	30.00	32.56	33.69	31.45	39.67	27.70	17.54
14:00:00	31.30	30.10	31.76	34.69	31.56	37.00	26.60	14.67
14:15:00	31.51	28.60	30.70	31.60	31.70	39.67	27.70	17.54
14:30:00	28.23	30.60	34.00	34.50	33.00	39.22	25.60	15.93
14:45:00	31.89	27.70	29.70	30.60	31.70	38.32	27.10	16.08
15:00:00	36.55	35.70	37.80	34.50	32.90	34.43	24.50	11.23
15:15:00	36.62	35.70	38.30	39.40	33.60	34.89	30.10	23.35
15:30:00	35.32	34.50	37.00	39.50	34.90	33.17	23.80	9.78
15:45:00	33.06	32.40	34.40	38.20	34.80	37.96	31.80	26.91
16:00:00	31.36	30.50	33.40	35.60	33.70	32.34	23.80	9.05
16:15:00	29.73	29.00	31.30	34.20	34.30	30.71	32.50	12.37
16:30:00	28.08	29.00	29.20	32.20	33.80	32.34	24.50	9.50
16:45:00	28.00	27.40	29.20	30.20	32.40	31.12	28.90	10.91
17:00:00	28.45	27.40	29.10	30.10	32.10	30.31	29.60	10.58
17:15:00	26.52	27.80	29.70	30.60	32.40	29.50	35.40	12.60
17:30:00	25.07	26.00	27.40	28.50	31.30	28.31	40.60	13.63
17:45:00	24.07	23.80	24.90	27.10	29.60	26.73	44.60	13.69
18:00:00	23.14	22.90	23.70	26.10	28.90	25.56	51.70	14.89

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Date/Time:	Surface1 0.10 m.	Surface2 0.20 m.	Surface3 0.30 m.	Surface4 0.40 m.	Surface5 0.50 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
18:15:00	22.36	22.20	22.90	24.90	28.00	24.40	59.30	15.95
18:30:00	21.43	21.40	22.10	24.00	27.00	23.63	67.10	17.16
18:45:00	20.86	20.70	21.28	22.34	24.07	22.48	73.50	17.51
19:00:00	20.78	20.60	21.01	22.01	23.72	22.09	77.10	17.90
19:15:00	20.43	20.30	20.56	21.56	23.72	21.71	79.40	17.98
19:30:00	20.01	19.90	20.13	21.13	23.79	21.33	82.00	18.13
19:45:00	19.48	19.40	20.06	21.01	23.52	20.95	85.20	18.37
20:00:00	19.21	19.10	20.13	21.13	22.84	20.57	89.30	18.75
20:15:00	19.33	19.20	19.83	20.83	22.51	20.57	89.30	18.75
20:30:00	19.10	19.90	19.78	20.71	22.51	20.57	89.30	18.75
20:45:00	19.10	19.90	19.78	20.71	22.36	20.19	89.30	18.37
21:00:00	19.13	19.90	19.63	20.56	22.29	20.19	91.90	18.83
21:15:00	19.13	19.90	19.71	20.63	22.29	20.19	91.90	18.83
21:30:00	19.10	19.70	19.63	20.56	21.84	20.19	91.90	18.83
21:45:00	19.13	19.60	19.48	20.41	21.99	19.81	92.13	19.00
22:00:00	19.10	19.40	19.28	20.21	22.06	19.81	92.13	19.00
22:15:00	19.15	19.30	19.20	20.13	21.71	19.81	92.16	19.00
22:30:00	19.18	19.20	19.13	20.01	21.29	19.42	92.18	19.01
22:45:00	19.13	19.10	19.00	19.93	21.01	19.42	92.18	19.01
23:00:00	19.20	19.00	18.98	19.86	20.78	19.42	99.19	19.08
23:15:00	19.21	19.09	19.13	20.01	20.78	20.95	92.00	19.60
23:30:00	18.13	18.10	19.05	19.93	20.63	19.42	98.10	19.28
23:45:00	18.05	18.00	18.90	19.78	20.56	19.42	99.10	19.28
00:00:00	17.93	17.90	18.78	19.71	20.51	19.04	99.00	18.89
12/30/12 00:15:00	17.90	17.80	18.78	19.71	20.56	19.04	99.00	18.89
00:30:00	17.83	17.80	18.70	19.63	20.86	19.04	99.00	18.89
00:45:00	17.90	17.80	18.85	19.78	20.51	19.04	99.00	18.89
01:00:00	17.90	17.80	18.70	19.56	19.83	19.04	99.00	18.89

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Date/Time:	Surface1 0.10 m.	Surface2 0.20 m.	Surface3 0.30 m.	Surface4 0.40 m.	Surface5 0.50 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
01:15:00	17.70	17.60	18.70	19.63	19.51	19.04	99.00	18.89
01:30:00	17.75	17.60	18.55	19.51	19.56	19.04	99.00	18.89
01:45:00	17.63	17.60	18.33	19.20	19.48	19.04	99.00	18.89
02:00:00	17.50	17.40	18.48	19.35	19.31	18.66	99.00	18.50
02:15:00	17.55	17.50	18.43	19.35	19.31	18.66	99.00	18.50
02:30:00	17.43	17.40	18.20	19.13	19.33	18.66	99.00	18.50
02:45:00	17.28	17.20	17.98	18.93	19.21	18.66	99.00	18.50
03:00:00	17.05	17.00	17.98	18.85	19.03	18.28	98.90	18.11
03:15:00	17.05	17.00	17.90	18.78	18.56	18.28	98.90	18.11
03:30:00	16.92	16.90	17.98	18.10	18.06	18.28	98.90	18.11
03:45:00	16.92	16.90	17.93	17.23	17.56	17.90	98.90	17.72
04:00:00	16.90	16.80	17.90	17.70	17.28	17.90	98.90	17.72
04:15:00	16.85	16.80	17.93	17.85	17.28	17.90	98.90	17.72
04:30:00	16.82	16.80	17.93	17.85	17.05	17.90	98.90	17.72
04:45:00	16.77	16.70	17.83	17.70	17.90	17.90	98.90	17.72
05:00:00	16.75	16.60	17.90	17.78	17.78	17.90	100.00	17.90
05:15:00	16.85	16.80	17.70	17.63	17.05	17.90	98.90	17.72
05:30:00	16.62	16.60	17.63	18.50	17.93	17.90	100.00	17.90
05:45:00	16.62	16.50	17.85	18.70	19.00	17.52	100.00	17.52
06:00:00	16.82	16.80	17.85	18.70	19.21	17.90	100.00	17.90
06:15:00	16.85	16.80	18.13	19.05	19.05	21.92	100.00	21.90
06:30:00	17.05	17.00	18.28	19.20	19.13	21.28	100.00	21.08
06:45:00	17.28	17.20	18.13	18.98	19.43	21.06	99.00	21.00
07:00:00	16.90	16.60	17.90	18.93	19.33	20.28	98.90	20.01
07:15:00	16.97	16.90	18.25	19.33	19.36	21.28	98.90	20.11
07:30:00	17.40	17.30	18.33	19.43	19.63	22.66	95.00	21.84
07:45:00	17.50	17.40	18.70	19.83	19.56	24.66	95.00	23.04
08:00:00	17.85	17.80	19.13	20.21	20.01	24.04	91.90	23.69

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

Date/Time:	Surface1 0.10 m.	Surface2 0.20 m.	Surface3 0.30 m.	Surface4 0.40 m.	Surface5 0.50 m.	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
08:15:00	18.20	18.10	20.43	21.49	20.63	24.42	87.10	23.22
08:30:00	19.43	19.30	21.33	22.51	21.13	24.57	83.50	23.68
08:45:00	20.41	20.10	22.41	23.52	21.56	24.33	70.80	23.82
09:00:00	21.64	21.30	22.56	23.52	22.41	24.09	71.60	24.00
09:15:00	21.29	21.10	23.21	24.07	24.14	24.86	72.60	24.01
09:30:00	21.84	21.60	24.42	25.37	24.14	24.11	66.70	24.08
09:45:00	22.94	22.60	27.57	28.73	24.64	24.40	54.50	24.00
10:00:00	26.42	25.90	28.23	29.81	26.37	27.52	41.60	23.32
10:15:00	27.88	27.30	28.03	28.93	27.30	28.70	33.70	23.15
10:30:00	26.72	26.20	30.23	30.96	28.43	29.10	34.80	24.01
10:45:00	28.65	27.90	30.66	31.43	29.58	30.31	33.80	25.59
11:00:00	28.95	28.20	31.23	31.89	31.01	31.52	26.80	26.14
11:15:00	29.35	28.50	30.66	31.53	32.01	31.93	26.70	26.45
11:30:00	28.88	28.30	31.38	32.21	31.54	31.93	24.90	26.42
11:45:00	29.66	29.00	33.24	33.92	31.86	32.76	25.00	26.17
12:00:00	31.03	30.10	33.76	34.69	32.16	33.17	23.70	27.71

ตารางผนวกที่ 4 ตารางอุณหภูมิผิววัสดุการประยุกต์วางแผ่นวัสดุแนวตั้งจากในตอนกลางวัน
และแนวระนาบในตอนกลางคืน

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
01/22/13 14:15:00	39.30	41.99	25.00	17.90
14:30:00	38.85	42.46	25.60	18.67
14:45:00	38.15	41.52	24.50	17.14
15:00:00	37.25	41.05	25.10	17.18
15:15:00	37.02	40.59	24.40	16.33
15:30:00	37.02	40.13	25.10	16.39
15:45:00	35.07	41.05	25.30	17.27
16:00:00	33.16	36.13	30.40	16.00
16:15:00	33.16	34.85	32.40	15.89
16:30:00	33.01	34.85	31.40	15.42
16:45:00	33.14	34.85	30.60	14.99
17:00:00	32.54	35.70	31.10	15.97
17:15:00	31.58	36.57	29.60	15.95
17:30:00	30.46	36.13	29.80	15.71
17:45:00	28.35	34.85	31.00	15.21
18:00:00	26.52	31.93	36.00	15.00
18:15:00	24.29	29.50	43.70	15.85
18:30:00	23.36	27.52	49.00	15.84
18:45:00	23.52	26.73	50.40	15.58
19:00:00	24.14	26.34	52.50	15.84
19:15:00	25.85	26.34	52.50	15.84
19:30:00	25.07	28.31	50.40	17.01
19:45:00	24.57	27.91	50.30	16.62
20:00:00	24.64	27.52	51.20	16.53
20:15:00	23.57	27.52	52.20	16.83
20:30:00	22.71	26.73	54.10	16.67
20:45:00	23.06	25.95	57.20	16.84
21:00:00	23.29	25.56	59.60	17.13

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
21:15:00	22.64	26.34	58.00	17.41
21:30:00	23.14	25.95	58.60	17.22
21:45:00	22.36	25.56	59.30	17.04
22:00:00	22.06	25.56	57.30	16.50
22:15:00	21.94	25.17	60.70	17.04
22:30:00	21.94	25.17	62.50	17.49
22:45:00	21.51	24.79	65.90	17.98
23:00:00	21.36	24.40	67.00	17.86
23:15:00	21.06	24.01	70.50	18.31
23:30:00	22.01	24.01	69.80	18.16
23:45:00	22.51	24.40	71.80	18.97
00:00:00	23.21	24.40	68.00	18.11
01/23/13 00:15:00	23.57	24.79	78.00	20.69
00:30:00	22.86	25.17	64.90	18.10
00:45:00	22.86	25.17	59.10	16.62
01:00:00	22.06	25.17	60.70	17.04
01:15:00	21.01	24.40	63.40	16.99
01:30:00	20.78	23.63	78.10	19.58
01:45:00	20.78	23.63	78.10	19.58
02:00:00	21.06	23.63	81.90	20.36
02:15:00	21.36	23.63	85.20	21.00
02:30:00	21.49	24.01	87.20	21.75
02:45:00	21.49	24.01	89.50	22.18
03:00:00	21.64	24.40	92.30	23.07
03:15:00	21.84	24.40	92.30	23.07
03:30:00	21.64	24.40	92.30	23.07
03:45:00	21.64	24.40	95.70	23.66
04:00:00	21.06	24.01	95.60	23.27
04:15:00	20.98	23.63	95.50	22.87

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
04:30:00	20.83	23.24	95.50	22.48
04:45:00	21.21	23.24	95.50	22.48
05:00:00	21.21	23.24	95.50	22.48
05:15:00	20.93	23.24	95.50	22.48
05:30:00	20.78	22.86	95.40	22.09
05:45:00	21.13	23.24	95.50	22.48
06:00:00	21.36	23.24	100.00	23.24
06:15:00	21.13	23.24	100.00	23.24
06:30:00	21.43	23.24	100.00	23.24
06:45:00	22.14	23.24	100.00	23.24
07:00:00	22.14	23.24	100.00	23.24
07:15:00	22.29	23.24	100.00	23.24
07:30:00	22.36	23.24	100.00	23.24
07:45:00	22.49	23.63	100.00	23.63
08:00:00	22.51	24.40	100.00	24.40
08:15:00	22.56	25.17	100.00	25.17
08:30:00	22.91	27.12	92.60	25.82
08:45:00	24.37	28.31	59.70	19.71
09:00:00	26.57	30.71	54.80	20.56
09:15:00	27.52	30.31	51.00	19.04
09:30:00	29.15	32.34	45.40	19.04
09:45:00	30.66	33.59	42.10	18.92
10:00:00	31.96	35.27	39.20	19.29
10:15:00	33.01	36.57	37.10	19.54
10:30:00	33.94	38.32	33.30	19.36
10:45:00	35.54	41.05	30.10	20.04
11:00:00	36.02	42.46	27.50	19.81
11:15:00	36.70	41.99	27.60	19.46
11:30:00	37.10	42.94	26.90	19.84

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
11:45:00	36.47	41.05	27.60	18.69
12:00:00	36.15	40.13	27.70	17.93
12:15:00	38.33	41.99	27.90	19.61
12:30:00	39.33	42.46	26.20	19.00
12:45:00	39.78	41.52	25.90	18.05
13:00:00	38.85	40.59	25.50	17.00
13:15:00	39.70	41.52	25.50	17.79
13:30:00	39.33	41.52	25.80	17.96
13:45:00	38.33	39.67	26.60	16.93
14:00:00	39.78	41.99	25.20	17.98
14:15:00	39.03	41.05	25.80	17.61
14:30:00	38.85	41.52	24.80	17.37
14:45:00	35.85	36.13	32.00	16.84
15:00:00	38.03	40.13	26.80	17.44
15:15:00	37.55	40.13	26.50	17.27
15:30:00	37.70	40.13	25.80	16.83
15:45:00	37.15	40.13	25.10	16.39
16:00:00	35.87	37.00	28.00	15.47
16:15:00	34.07	35.70	29.30	15.09
16:30:00	33.31	35.27	32.10	16.14
16:45:00	31.96	34.85	32.80	16.09
17:00:00	31.08	33.17	35.70	15.93
17:15:00	31.08	33.59	35.80	16.36
17:30:00	30.31	32.76	38.40	16.74
17:45:00	28.88	31.93	44.30	18.26
18:00:00	25.65	31.12	46.30	18.22
18:15:00	25.65	30.31	48.40	18.19
18:30:00	25.62	29.90	49.40	18.15
18:45:00	25.87	29.10	51.10	17.97

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
19:00:00	25.83	28.70	52.50	18.02
19:15:00	25.87	28.31	53.70	18.01
19:30:00	25.72	27.91	54.50	17.88
19:45:00	25.37	27.91	55.00	18.02
20:00:00	24.29	27.12	57.20	17.93
20:15:00	23.87	26.73	59.40	18.15
20:30:00	23.21	25.95	62.30	18.18
20:45:00	22.86	25.17	66.80	18.57
21:00:00	22.79	25.56	67.80	19.18
21:15:00	23.52	26.34	63.40	18.83
21:30:00	22.64	25.56	68.40	19.31
21:45:00	22.06	25.17	78.00	21.06
22:00:00	22.06	25.17	81.90	21.86
22:15:00	22.06	24.79	85.20	22.14
22:30:00	22.21	24.79	87.20	22.52
22:45:00	21.94	24.79	89.60	22.95
23:00:00	22.21	24.40	89.50	22.57
23:15:00	22.34	24.79	89.60	22.95
23:30:00	22.56	24.79	89.60	22.95
23:45:00	22.29	24.79	89.60	22.95
00:00:00	22.14	24.40	89.50	22.57
01/24/13 00:15:00	22.01	24.79	89.60	22.95
00:30:00	22.56	24.79	92.30	23.46
00:45:00	22.86	25.17	89.60	23.34
01:00:00	23.06	25.56	89.60	23.73
01:15:00	22.99	25.17	92.40	23.85
01:30:00	23.21	25.56	95.80	24.84
01:45:00	23.41	25.56	95.80	24.84
02:00:00	23.57	25.56	95.80	24.84

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
02:15:00	23.84	25.56	95.80	24.84
02:30:00	23.87	25.56	95.80	24.84
02:45:00	23.79	25.56	95.80	24.84
03:00:00	23.79	25.56	92.40	24.24
03:15:00	23.87	25.56	95.80	24.84
03:30:00	23.64	25.56	95.80	24.84
03:45:00	23.52	25.56	95.80	24.84
04:00:00	23.41	25.17	95.80	24.45
04:15:00	23.49	25.56	95.80	24.84
04:30:00	23.14	25.17	95.80	24.45
04:45:00	23.21	25.17	95.80	24.45
05:00:00	23.01	25.17	100.00	25.17
05:15:00	22.86	24.79	95.70	24.05
05:30:00	22.41	24.40	100.00	24.39
05:45:00	22.44	24.01	99.90	23.99
06:00:00	22.14	24.01	95.60	23.27
06:15:00	22.34	23.63	95.50	22.87
06:30:00	22.71	24.01	95.60	23.27
06:45:00	23.44	24.01	95.60	23.27
07:00:00	24.02	25.17	95.80	24.45
07:15:00	24.07	25.17	95.80	24.45
07:30:00	24.14	25.17	95.80	24.45
07:45:00	24.22	25.56	95.80	24.84
08:00:00	24.49	25.95	92.50	24.63
08:15:00	24.84	27.12	92.60	25.82
08:30:00	24.92	27.91	87.40	25.62
08:45:00	24.40	27.52	83.50	24.47
09:00:00	25.15	29.10	78.50	25.19
09:15:00	29.53	32.34	78.30	22.54

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
09:30:00	31.66	36.13	45.30	22.40
09:45:00	33.94	39.67	37.30	22.38
10:00:00	34.62	37.00	37.60	20.16
10:15:00	35.39	41.99	28.50	20.00
10:30:00	35.24	40.59	30.20	19.70
10:45:00	34.69	41.99	28.80	20.14
11:00:00	36.22	41.99	31.80	21.75
11:15:00	35.22	36.57	34.50	18.36
11:30:00	38.10	43.91	27.50	21.03
11:45:00	38.63	42.46	28.70	20.49
12:00:00	39.10	43.91	26.20	20.24

ตารางผนวกที่ 5 ตารางอุณหภูมิผิววัสดุการปั๊มแผ่นวัสดุเอียงทำมุม 40 องศา

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
2/9/2013 14:15	36.40	33.59	24.20	10.04
14:30:00	38.85	32.34	25.10	9.88
14:45:00	38.15	31.12	24.80	8.66
15:00:00	37.25	29.90	24.50	7.48
15:15:00	37.02	27.52	23.60	4.90
15:30:00	37.02	26.34	23.50	3.89
15:45:00	35.07	25.95	23.70	3.69
16:00:00	33.16	25.56	23.50	3.25
16:15:00	33.16	25.17	23.60	2.93
16:30:00	33.01	25.17	23.60	2.93
16:45:00	33.14	25.17	23.60	2.93
17:00:00	32.54	25.17	25.80	4.21
17:15:00	31.58	25.34	30.30	5.55
17:30:00	28.60	26.12	36.00	7.27
17:45:00	28.10	27.31	35.10	13.20
18:00:00	26.90	29.50	38.50	13.88
18:15:00	26.40	29.10	41.00	14.50
18:30:00	26.00	28.31	43.20	14.59
18:45:00	25.10	27.91	46.90	15.51
19:00:00	24.50	27.12	50.70	16.02
19:15:00	23.50	26.34	57.10	17.18
19:30:00	23.10	25.95	60.20	17.64
19:45:00	22.60	25.56	63.60	18.14
20:00:00	22.40	25.17	66.80	18.57
20:15:00	22.10	24.79	68.50	18.60
20:30:00	22.00	24.79	70.30	19.02
20:45:00	21.40	24.40	73.30	19.31
21:00:00	21.00	23.63	77.00	19.36
21:15:00	20.90	23.63	79.20	19.82

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
21:30:00	20.90	23.24	80.50	19.71
21:45:00	20.70	23.24	83.50	20.29
22:00:00	20.60	22.86	85.20	20.24
22:15:00	20.50	22.86	85.20	20.24
22:30:00	20.40	22.86	87.20	20.61
22:45:00	20.10	22.48	87.20	20.23
23:00:00	20.10	22.48	87.20	20.23
23:15:00	20.10	22.48	89.40	20.65
23:30:00	20.00	22.09	89.40	20.27
23:45:00	20.00	22.09	92.10	20.75
00:00:00	19.90	22.09	92.10	20.75
2/10/2013 0:15	19.80	22.09	92.10	20.75
00:30:00	19.70	21.71	92.00	20.36
00:45:00	19.70	22.09	92.10	20.75
01:00:00	19.90	22.09	92.10	20.75
01:15:00	19.80	21.71	92.00	20.36
01:30:00	19.50	21.71	95.30	20.93
01:45:00	19.90	21.71	95.30	20.93
02:00:00	19.60	21.71	95.30	20.93
02:15:00	19.60	21.71	95.30	20.93
02:30:00	19.40	21.71	95.30	20.93
02:45:00	19.40	21.71	95.30	20.93
03:00:00	19.60	22.09	95.30	21.31
03:15:00	20.00	22.09	95.30	21.31
03:30:00	20.10	21.71	92.00	20.36
03:45:00	19.80	21.33	92.00	19.98
04:00:00	19.60	21.71	95.30	20.93
04:15:00	20.00	21.71	95.30	20.93
04:30:00	19.90	21.71	95.30	20.93

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

Date/Time:	Surface	Temp. (°C)	RH (%)	DP (°C)
04:45:00	19.70	21.71	95.30	20.93
05:00:00	19.70	22.09	95.30	21.31
05:15:00	20.20	22.09	95.30	21.31
05:30:00	20.30	22.09	92.10	20.75
05:45:00	20.10	22.09	92.10	20.75
06:00:00	20.00	22.09	95.30	21.31
06:15:00	20.10	21.71	95.30	20.93
06:30:00	19.80	21.71	95.30	20.93
06:45:00	19.90	21.71	95.30	20.93
07:00:00	20.10	22.09	95.30	21.31
07:15:00	20.20	22.09	92.10	20.75
07:30:00	20.40	22.48	92.10	21.13
07:45:00	20.60	22.48	89.40	20.65
08:00:00	20.50	22.86	87.20	20.61
08:15:00	21.30	23.63	83.50	20.66
08:30:00	21.60	24.40	78.00	20.32
08:45:00	22.70	25.95	65.20	18.92
09:00:00	24.60	27.91	55.00	18.02
09:15:00	26.30	28.31	50.80	17.13
09:30:00	27.90	29.90	43.00	15.96
09:45:00	30.60	32.76	35.10	15.33
10:00:00	33.20	33.17	31.30	13.90
10:15:00	33.70	33.59	28.60	12.89
10:30:00	35.20	31.52	33.20	13.37
10:45:00	33.00	34.43	30.70	14.68
11:00:00	35.40	34.01	30.00	14.00
11:15:00	37.90	34.01	27.20	12.47
11:30:00	39.00	34.85	27.70	13.46
11:45:00	36.20	33.33	29.50	13.38

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายชัชวาล พันธางกูร
เกิดวันที่	วันที่ 14 ตุลาคม 2518
สถานที่เกิด	พระโขนง กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	สถ.บ. (สถาปัตยกรรมศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ตำแหน่งปัจจุบัน	สถาปนิกอาวุโส
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ทรู พร็อพเพอร์ตี้ ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน)