



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการอาคาร)

ปริญญา

นวัตกรรมการอาคาร	เทคโนโลยีทางอาคาร
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง	เปลือกอาคารกรองแสงแดดปรับเปลี่ยนได้จากโครงสร้างรังผึ้ง
	Honeycomb Flexible Sunlight Façade
นามผู้วิจัย	นางสาวสุกัญญา นิลผาย
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(อาจารย์ปารเมศ กำแพงฤทธิรงค์, D.Eng.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(อาจารย์โสภา วิศิษฐ์ศักดิ์, Ph.D.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(Professor Joseph Khedari, H.D.R.)
หัวหน้าสาขาวิชา	(รองศาสตราจารย์พาสินี สุนทร, M.Arch.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

เปลือกอาคารกรองแสงแดดปรับเปลี่ยนได้จากโครงสร้างรังผึ้ง

Honeycomb Flexible Sunlight Façade

โดย

นางสาวสุกัญญา นิลผาย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมการอาคาร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุกัญญา นิลผาย 2557: เปลือกอาคารทรงแสงแดดปรับเปลี่ยนได้จากโครงสร้างรังผึ้ง
ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมอาคาร) สาขาวิชานวัตกรรม
อาคาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาคาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์ปารเมศ กำแหงฤทธิรงค์, D.Eng. 128 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบเปลือกอาคารที่ปรับเปลี่ยนได้เพื่อการกันแดด
ซึ่งพัฒนารูปแบบโครงสร้างมาจากรังผึ้งที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันแสงแดดได้ดี โดยผ่าน
การศึกษาวิเคราะห์รูปแบบที่มีความเหมาะสมในด้านต่างๆ และจัดทำต้นแบบเพื่อการทดสอบ
ประสิทธิภาพในการกรองแสงและลดความร้อนภายในอาคารโดยการใช้กล่องทดลองขนาด
1.00x1.00x1.00 ม.(กxยxส) จำนวน 3 กล่อง ที่กรุแผ่นซีเมนต์บอร์ดฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว
ทุกด้านโดยรอบ ยกเว้นด้านหน้า(ทิศใต้) กรูกระจกใส หนา 6 มม. กล่อง A ไม่มีการติดตั้งเปลือก
อาคาร และที่มีการติดตั้งเปลือกอาคารต้นแบบที่มีการปรับรูปแบบ (กล่อง B ช่องเปิด 65%, กล่อง
C ช่องเปิด 30%) พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณความส่องสว่างและอุณหภูมิโดยบันทึกผล
การทดลองระหว่างวันที่ 23-26 มีนาคม 2557 ทุกๆ 5 นาทีและ 10 นาทีตามลำดับ ตั้งแต่เวลา
6:00-18:00 น. ซึ่งจากการทดสอบพบว่า (1) ค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 88,759
lux, ภายในลดลงเหลือ 59,804, 18,355, 14,757 lux ที่กล่อง A, B, C ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1
ตามลำดับ (2) อุณหภูมิภายนอกสูงสุด 40.11°C อุณหภูมิภายในสูงสุดจะอยู่ที่กล่อง A, B, C คือ
56.66, 47.91, 46.61°C ตามลำดับ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายใน กล่อง C, B ต่ำกว่ากล่อง A คือ
36.43, 37.02, 41.53°C ตามลำดับ โดยปริมาณค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิจะลดลงแปรผัน
ตามระยะช่องเปิดของเปลือกอาคาร ผลที่ได้จากการทดสอบยืนยันว่า การติดตั้งเปลือกอาคารนี้มี
ประสิทธิภาพช่วยลดปริมาณแสงจ้า ช่วยลดความร้อนภายในลงได้อย่างเห็นได้เด่นชัด จึงนับว่า
เปลือกอาคารนี้เป็นทางเลือกใหม่สำหรับการออกแบบเปลือกอาคารในปัจจุบัน
คำสำคัญ : 1 เปลือกอาคาร, 2 อุปกรณ์กันแดด, 3 รังผึ้ง, 4 ซีวอลกเลียน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sukanyar Nilphai 2014: Honeycomb Flexible Sunlight Façade.

Master of Architecture (Building Innovation), Major Field: Building Innovation,

Department of Building Technology. Thesis Advisor:

Mr. Parames Kamhangrittirong, D.Eng. 128 pages.

This study aims to develop a prototype of an adjustable building envelope for sunlight protection. The development of the façade was inspired from honeycomb structure due to it is efficient in term of direct sun radiation protection. Appropriate model analysis and efficacy testing of the façade to light filtering and reduce heat indoors temperature were assessed using experimental test boxes. All sides of each test box were cement board with insulation thickness of 1 inch. The front (south side) side of each box was a single-pane transparency glass, 6 mm. of thickness. The box sizing was 1.00x1.00x1.00 m.(WxLxH) Box A was without the façade. Box B and box C were equipped with the façade (opening 65% and 30%). Illuminance and temperature during 23-26 March 2014 to from 6:00 am. to 6:00 pm. were recorded every 5 minutes and 10 minutes respectively. The result showed that (1) the maximum external luminance up to 88,759 lux was reduced to 59,804, 18,355 and 14,757 lux respectively, within the box A, B, C at position 1. (2) For the outside temperature was highest (40.11°C), the average highest indoor temperature within the A, B, C were 56.66, 47.91, 46.61°C, respectively. The indoor Illuminances and the indoor temperature variable to the opening of the façade. The results of the test confirmed that the proposed facade has the ability to filter light and reduce indoor the temperature of the experimental boxes. Therefore the proposed façade offers a new alternative for modern sustainable design and promote innovation.

Key words : 1 Façade, 2 Sustainable modern architecture, 3 Flexible shade,

4 Biomimicry

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ดร.ปารเมศ กำแหงฤทธิรงค์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยครั้งนี้ อ.ดร.โสภา วิศิษฎ์ศักดิ์ และ ศ.ดร.โจเซฟ เคดารี ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้การสนับสนุนชี้แนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณาจารย์คณะที่ปรึกษาและเจ้าหน้าที่ๆ เกี่ยวข้อง ในการให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณสุรียา คุณสวัสดิคุณ และบริษัท Amazing Industries (Thailand) ที่อนุญาตให้ใช้สถานที่ในการทำการทดลอง พี่ๆ น้องๆ ในบริษัท Yellow Muffin ที่ให้ความเข้าใจและช่วยเหลือในด้านต่างๆ และพี่ๆ น้องๆ Mbit 9 ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือด้วยดีจนเป็นผลสำเร็จ

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ความห่วงใย เป็นที่ปรึกษาด้วยดีตลอดมา

สุกัญญา นิลผาย

มิถุนายน 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	55
ผลและวิจารณ์	84
สรุปและข้อเสนอแนะ	111
สรุป	111
ข้อเสนอแนะ	116
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	118
ภาคผนวก	124
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	128

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่า Daylight Factor (D.F.) ที่พอเพียง ต่อลักษณะการใช้งานประเภทต่างๆ	29
2	มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน	30
3	มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES (USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)	32
4	การทดสอบแสงที่ส่องผ่านแบบจำลองเบื้องต้น	72
5	การพัฒนารูปทรงเปลือกอาคาร จากแบบที่ 1 - 8	85
6	การพัฒนาโครงสร้างเปลือกอาคาร จากแบบที่ 1 - 5	87
7	ต้นแบบเปลือกอาคาร	88
8	ค่า Daylight Factor (%) ของวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น.	99
9	การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกและภายใน กล่องทดลอง A, B, C (°C)	110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอก และภายในกล่อง A ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) ทุกๆ 1 ชม. ของอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลภายในกล่องทดสอบ ทั้ง 3 ตำแหน่ง	125
2 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอก และภายในกล่อง B ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) ทุกๆ 1 ชม. ของอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลภายในกล่องทดสอบ ทั้ง 3 ตำแหน่ง	126
3 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอก และภายในกล่อง C ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) ทุกๆ 1 ชม. ของอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลภายในกล่องทดสอบ ทั้ง 3 ตำแหน่ง	127

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของหลอดรวงของผึ้ง	2
2	การบานของดอกไม้	2
3	จານีน เบนยูนัส และหนังสือเรื่อง Biomimicry : Innovation Inspired by Nature	4
4	รังผึ้งหรือรวงผึ้ง	6
5	การตอบสนองของพืชแบบมีทิศทางที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า	11
6	การเคลื่อนไหวของดอกบัวบางชนิดที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า	12
7	ค่าความยาวของแสงจากดวงอาทิตย์ที่เดินทางมายังโลก	14
8	ค่าของแสงจากดวงอาทิตย์	14
9	ค่ารังสีสเปกตรัมจากดวงอาทิตย์	16
10	รังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นต่างๆ ในเขตชั้นบรรยากาศโลก	16
11	การเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสีนอกชั้นบรรยากาศโลกใน 12 เดือน	17
12	ปรากฏการณ์ของโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์	19
13	ทางเดินของดวงอาทิตย์	21
14	สูตรคำนวณ และภาพแสดง กฎ Cosine Law	23
15	รังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่บรรยากาศโลกตามวันเวลาและฤดูกาล	24
16	ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)	25
17	ท้องฟ้าที่มีเมฆเป็นบางส่วน (Partly Sky or Cloud Sky)	25
18	ท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky)	26
19	แสงที่สะท้อนจากพื้นดินบนวัสดุแบบต่างๆ	26
20	การถ่ายเทความร้อน	34
21	ความชื้นในชั้นบรรยากาศ	36
22	แหล่งความร้อนต่างๆ ของภาวะการปรับอากาศ	38
23	เงาของแผงบังแดดแบบต่างๆ	41
24	มุมของแสงอาทิตย์ทำมุมต่างๆ กับพื้นผิว	42
25	การจำลองภาพ Abu Dhabi Al Bahar Towers.	46

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ตัวอย่างของ Mashrabiya ซึ่งเป็นแนวทางการออกแบบ Façade	47
27	การเปรียบเทียบการทำงานของ Façade	48
28	โครงสร้างและงานระบบของ Façade	48
29	การจำลองภาพ The King Fahad National Library	49
30	เด็พื้นที่ของชาวอาหรับ	51
31	การตกแต่งภายใน The King Fahad National library	51
32	โครงสร้างของ Façade	52
33	งานระบบของ Façade	52
34	อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเปลือกอาคาร	55
35	อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเรื่องแสงเบื้องต้น	56
36	วัสดุขึ้นรูปต้นแบบเปลือกอาคาร	57
37	กล่องทดสอบและต้นแบบเปลือกอาคารเพื่อการทดสอบ	58
38	อุปกรณ์บันทึกข้อมูลด้านค่าความส่องสว่าง	60
39	อุปกรณ์บันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิ	60
40	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 1	61
41	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 2	62
42	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 3	63
43	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 4	64
44	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 5	65
45	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 6	66
46	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 7	67
47	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 8	68
48	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 9	69
49	รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 10	70
50	แนวที่ประเทศไทย มองเห็นดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ	71

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
51	รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 11	76
52	รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 12	77
53	รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 13	78
54	รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 14	79
55	รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 15	80
56	วางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านค่าความส่องสว่าง	81
57	วางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิ	82
58	สภาพห้องฟ้าและกล่องทดสอบ	83
59	การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง A วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที	89
60	การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง B วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที	91
61	การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง C วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที	93
62	การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที	95
63	การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที	96
64	การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที	97
65	เปรียบเทียบค่า Daylight Factor (%) ในวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ของกล่องทดสอบ A, B, C ตามลำดับ	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
66	การเปรียบเทียบคุณสมบัติภายนอกและภายในกล่องทดลอง A วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ.2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที	101
67	การเปรียบเทียบคุณสมบัติภายนอกและภายในกล่องทดลอง B วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ.2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที	103
68	การเปรียบเทียบคุณสมบัติภายนอกและภายในกล่องทดลอง C วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ.2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที	105
69	การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติภายนอกและภายในกล่องทดลอง ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที	107
70	การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติภายนอกและภายในกล่องทดลอง ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที	108
71	การเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติภายนอกและภายในกล่องทดลอง ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที	109
72	แบบจำลองเปลือกอาคาร	111
73	แบบจำลองโครงสร้างเปลือกอาคาร แบบที่ 14	112
74	กล่องทดลอง	113

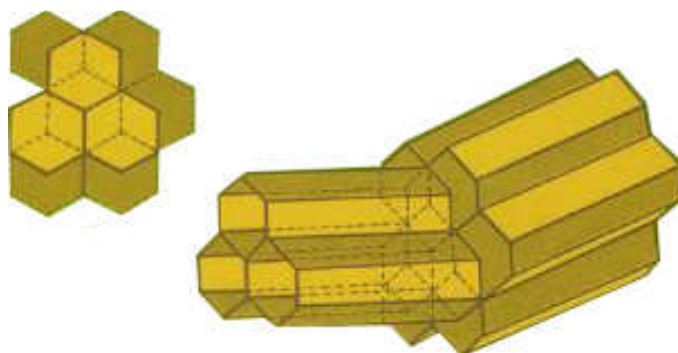
เปลือกอาคารกรองแสงแดดปรับเปลี่ยนได้จากโครงสร้างรังผึ้ง

Honeycomb Flexible Sunlight Façade

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาด้าน ภัยพิบัติทางธรรมชาติ และความร้อนจากดวงอาทิตย์หรือแสงแดดที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น (อุดม, 2555) ส่งผลโดยตรงกับมนุษย์ จึงมีการหาแนวทางการแก้ปัญหาลดภาวะโลกร้อนและการประหยัดพลังงานกันมากขึ้น ในการออกแบบอาคารในเขตร้อน การลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยเฉพาะส่วนที่เป็นช่องเปิดและกระจก เป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อการลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ จากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบแผงกันแดด (Olgyay, 1967 ; สมสิทธิ์, 2541) ซึ่งมีการใช้หลักการสร้างร่วมเงาให้กับอาคารในลักษณะต่างๆ ทั้งแนวตั้ง (Vertical louvers) แนวนอน (Horizontal overhangs) และแบบตาราง (Egg crate types) ในประเทศไทยมีงานวิจัยด้านสถาปัตยกรรมที่หลากหลาย งานวิจัยที่เกี่ยวกับวัสดุประกอบอาคาร เช่น การพัฒนารูปทรงอุปกรณ์กันแดดที่มีประสิทธิภาพสำหรับช่องแสงด้านทิศใต้ในประเทศไทย (วรารัณ, 2553) การศึกษาแนวความคิดในการเลือกใช้เปลือกอาคารของอาคารสูง (ประพฤษ, 2544) อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบของเปลือกอาคารที่เป็นผนังด้านนอกโดยตรง ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยลดความร้อนและแสงจ้าของแสงแดดก่อนเข้าสู่อาคารและเพิ่มความสวยงามยังมีอยู่ไม่มากนัก

งานวิจัยนี้ศึกษาพัฒนาต้นแบบเปลือกอาคาร โดยใช้แนวความคิดจากนวัตกรรมการเลียนแบบความหลากหลายและความมหัศจรรย์ของธรรมชาติ (Brett, 2008) หรือ ชีวลอกเลียน (Biomimicry) ซึ่งเป็นการออกแบบรูปทรงและโครงสร้างที่เลียนแบบธรรมชาติ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบรูปทรงเปลือกอาคารใช้แนวความคิดจากรังผึ้ง รังผึ้งถูกสร้างอย่างมีระเบียบแบบแผน เพราะจากการพิสูจน์โดยนักคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า รังผึ้งจะเป็นรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าเสมอ ซึ่งการสร้างรูปทรงลักษณะนี้ จะทำให้อาคารมีความจุมากที่สุด และสามารถเก็บน้ำผึ้งได้มากที่สุด (สิริวัฒน์ และสุริวัฒน์, 2555)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของหลอดรวงของพืช

ที่มา: สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ (2541: 11)

นอกจากนั้นแล้วในการออกแบบรูปแบบของโครงสร้างเปลือกอาคาร พิจารณาแนวความคิดการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของพืช (Plant movement) แบบมีทิศทางที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า (nasty หรือ nastic movement) การตอบสนองแบบนี้จะมีทิศทางคงที่คือการเคลื่อนขึ้นหรือลงเท่านั้น ไม่ขึ้นกับทิศทางของสิ่งเร้า (ชุมพล, 2553)



ภาพที่ 2 การบานของดอกไม้

ที่มา: ชุมพล (2553)

โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกรองแสงและลดความร้อนของแสงแดดผ่านเปลือกอาคารที่สามารถปรับเปลี่ยน หรือเปิด-ปิดได้ เพื่อสร้างทางเลือกให้กับผู้ออกแบบในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมไปพัฒนาต่อยอดในการสร้างพื้นที่โฆษณาบนเปลือกอาคารได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาระบบเปลือกอาคารที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ เพื่อการยึดติดกับผนังภายนอกอาคาร
2. ทดสอบประสิทธิภาพในการกรองแสงและทดสอบประสิทธิภาพในการลดความร้อนภายในอาคารที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร เมื่อมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบต่างๆ

ขอบเขตงานวิจัย

1. การออกแบบเปลือกอาคารกรองแสงแดดปรับเปลี่ยนได้ โดยนำลักษณะโครงสร้างของรังผึ้งมาและการเคลื่อนไหวของพืชมาใช้ในการออกแบบ
2. นำเสนอกระบวนการออกแบบ (Process) เปลือกอาคารโดยการสร้างหุ่นจำลอง (Mass Model)
3. การทดสอบประสิทธิภาพเปลือกอาคารโดยสร้างต้นแบบ (Physical Model) และใช้กล้องทดลองทดสอบผนังด้านทิศใต้ ในสภาวะแวดล้อมจริงในเขต อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ประโยชน์ที่ได้รับ

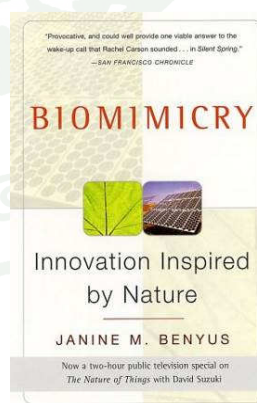
1. ต้นแบบเปลือกอาคารกรองแสงแดดปรับเปลี่ยนได้ ที่ช่วยการกรองแสงแดดและการลดความร้อนภายในอาคารที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร
2. แนวทางการออกแบบโดยใช้แนวความคิดจากนวัตกรรมการเลียนแบบความหลากหลายและความมหัศจรรย์ของธรรมชาติ หรือ ชีวลอกเลียน

การตรวจเอกสาร

ข้อมูล ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย (1) ข้อมูลพื้นฐานทฤษฎีชีวลอกเลียน (2) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิดในการออกแบบ (3) ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ (4) ทฤษฎีเกี่ยวกับพื้นฐานของการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และแกนเอียงของโลก (5) ทฤษฎีเกี่ยวกับพื้นฐานของแสงสว่าง (6) ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) (7) ทฤษฎีเกี่ยวกับสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) (8) ระบบวัสดุและการออกแบบกรอบอาคาร (9) ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบอุปกรณ์บังแดด (10) งานอาคารตัวอย่างและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ข้อมูลพื้นฐานทฤษฎีชีวลอกเลียน (Biomimicry)

นักคิดที่คิดรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติในทางที่เป็น ทางสายกลาง คือ จานีน เบนยუს (Janine Benyus) นักชีววิทยาที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญทางวิทยาศาสตร์ ได้ถ่ายทอดข้อคิดที่ได้รับจากการสังเกตธรรมชาติออกมาเป็น หนังสือเรื่อง Biomimicry : Innovation Inspired by Nature (ชีวลอกเลียน : นวัตกรรมที่ธรรมชาติเป็นแรงบันดาลใจ) ในปี 1997 ซึ่งทำให้ ชีวลอกเลียน(Biomimicry) คำที่เธอประดิษฐ์ กลายเป็นแนวคิดใหม่ที่เปลี่ยนวิถีคิดของนักออกแบบ นักธุรกิจ สถาปนิก และนักธรรมชาติวิทยาจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ (สวามิณี, 2553)



ภาพที่ 3 จานีน เบนยუს และหนังสือเรื่อง Biomimicry : Innovation Inspired by Nature

ที่มา: สฤณี (2552)

แนวคิดชีวโลกเลียนตั้งอยู่บนความเชื่อที่ว่า มนุษย์ควรจะเรียนรู้อย่างถ่อมตนจากปัญญาของธรรมชาติที่สั่งสมมานานเกือบสี่ พันล้านปี ไม่ใช่ยึดมั่นถือมั่นกับความฉลาดของตัวเอง เบนยูนส์กล่าวว่า “สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนโลกทุกวันนี้เป็น ผลผลิต ของธรรมชาติที่พิสดารให้เห็นแล้วว่าผ่านการออกแบบที่ยอดเยี่ยม เพราะสามารถเอาตัวรอด ดังนั้นสิ่งเหล่านี้สามารถสอนอะไร? เราได้มากมายเกี่ยวกับวิธีผลิตสิ่งของต่างๆ ที่จะอยู่ได้อย่างยั่งยืนและใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ” (สฤณี, 2552)

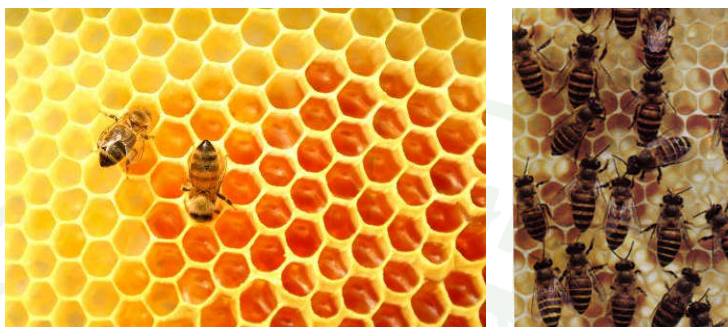
ชีวโลกเลียนไม่ใช่วิทยาศาสตร์ที่สมบูรณ์แบบแต่ต้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ การเปลี่ยนวิธีคิดของคน ความแตกต่างระหว่างชีวโลกเลียนกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงอื่นๆ ที่ดูเหมือนจะได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติเหมือนกัน เช่น เทคโนโลยีชีวภาพ (Biotechnology) แต่ชีวโลกเลียนแตกต่างจากเทคโนโลยีชีวภาพโดยสิ้นเชิง ดังที่อาโมรี เลอวินส์ (Amory Lovins) สรุปความแตกต่างไว้ในบทแนะนำตัวเบนยูนส์ ตอนที่ได้รับการยกย่องให้เป็นหนึ่งใน “Heroes of the Environment” โดยวารสาร ไทม์ ในปี 1997 ว่า “ชีวโลกเลียนไม่ใช่เทคโนโลยีชีวภาพชีวโลกเลียนเรียนรู้และเลียนแบบวิธีที่แมงมุมทอใย เทคโนโลยีชีวภาพเอารหัสพันธุกรรมของแมงมุมที่ผลิตใยไปปลูกถ่ายในแพะเสร็จแล้วก็แยกแยะเส้นใยออกจากนมแพะและหวังว่ามันจะไม่กลายเป็นพันธุ์ เทคโนโลยีชีวภาพ คือ เด็กฉลาดที่เล่นไม้ขีดไฟในโรงเก็บน้ำมันชีวโลกเลียน คือ ผู้ใหญ่เปี่ยมปัญญาที่เดินท่องป่าฝนด้วยไฟฉาย เทคโนโลยีชีวภาพ คือ ความหยิ่งจองหองล้วนๆ ชีวโลกเลียน คือ ความถ่อมตัวที่ตรงตาม คือ การมองธรรมชาติว่าเป็นต้นแบบและที่ปรึกษาชื่นชมยกย่องธรรมชาติไม่ใช่ในฐานะ “ของกู” ที่จะถูกรังแกไปใช้จนหมด แต่ในฐานะอาจารย์” (สฤณี, 2552)

2. ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิด

2.1 แนวความคิดในการออกแบบรูปทรงเปลือกอาคารใช้แนวความคิดจากรังผึ้ง

จากการศึกษาข้อมูลเรื่องผึ้งจากหนังสือ ชีววิทยาของผึ้ง โดยคุณสิริวัฒน์ วงศ์สิริและคุณสิริรัตน์ เตียววานิชย์ ซึ่งกล่าวไว้ว่า รังผึ้งหรือรวงผึ้ง ถูกสร้างอย่างมีระเบียบแบบแผน เพราะจากการพิสูจน์โดยนักคณิตศาสตร์ ปรากฏว่า รังผึ้งจะเป็นรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าเสมอและจากการคำนวณอย่างละเอียดถี่ถ้วนจะพบว่า ผึ้งทุกชนิด ทุกประเภทสายพันธุ์ ไม่ว่าจะสร้างรังขนาดแค่ไหน รูปหกเหลี่ยมในช่องของรังผึ้งจะทำมุมป้าน 109 องศา 28 ลิปดา ทำมุมแหลม 70 องศา 32 ลิปดา

ทุกรัง ซึ่งการสร้างรูปทรงลักษณะนี้ จะทำให้งผึ้งมีความจุมากที่สุด และสามารถเก็บน้ำผึ้งได้มากที่สุด และสามารถแบ่งข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับผึ้ง ได้ ดังนี้



ภาพที่ 4 รังผึ้งหรือรวงผึ้ง

ที่มา: สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ (2541: 11)

2.1.1 ประวัติการเลี้ยงผึ้ง

จากศิลาจารึกในปิรามิดพบว่า อียิปต์โบราณ เป็นชนเผ่าแรกของโลกที่รู้จัก การนำผึ้งมาเลี้ยงในไทรดินและย้ายรังผึ้งไปยังแหล่งที่มีดอกไม้อุดมสมบูรณ์ได้มีการบันทึกมานานกว่า 5,000 ปีมาแล้วเกี่ยวกับการขนย้ายรังผึ้งโดยใช้ลา นอกจากนั้นยังมีบันทึกการขนย้ายผึ้งในทางน้ำโดยใช้เรือจากอียิปต์ล่องไปตามแม่น้ำไนล์ไปยังอียิปต์บนในฤดูที่ดอกไม้กำลังบานและมีการนำน้ำผึ้งมาขายเมื่อมีน้ำผึ้งเต็มรัง เมื่อกกรีกและโรมันเรื่องอำนาจ ได้มีบันทึกเกี่ยวกับการเลี้ยงผึ้งมากขึ้นตลอดจน มีการศึกษาในทางวิทยาศาสตร์ของผึ้งเป็นครั้งแรกโดยอริสโตเติล (Aristotle พ.ศ. 159-221) ปราชญ์ชาวกรีกผู้ได้รับนามว่าเป็นบิดาของวิชาสัตววิทยาของโลก

ในยุโรปการเลี้ยงผึ้งเข้าใจว่าได้รับอิทธิพลมาจากกรีกและโรมันโบราณ ที่ดัดแปลงรังผึ้งที่เลี้ยงในไทรดิน มาเป็นรังผึ้งรูปโดม ที่ใช้เชือกพันกันเป็นวงๆ รังแบบนี้ยังมีใช้อยู่จนทุกวันนี้ และถือกันว่าเป็นศิลปะสัญลักษณ์ของรังผึ้งที่ใช้กันทั่วโลก การเลี้ยงผึ้งในประเทศจีน ตามประวัติศาสตร์พบว่า ได้เริ่มเลี้ยงผึ้งโพรง (*Apis cerana*) ก่อนเลี้ยงผึ้งพันธุ์ (*A. mellifera*) จากยุโรป กล่าวได้ว่า จีนเป็นหนึ่งในประเทศผู้นำการเลี้ยงผึ้ง ในทวีปเอเชีย การทำรังผึ้งในประเทศจีนโบราณ

นั้น ได้นำต้นไม้ที่มีโพรงอยู่ภายใน มาตัดออกเป็นท่อนๆ และแขวนให้ผึ้งโพรงทำรังอยู่ตามบ้าน การย้ายรังผึ้งเป็นจำนวนมากของจีนได้ใช้การขนส่งทางน้ำเช่นเดียวกับอียิปต์โบราณ

การเลี้ยงผึ้งในสหรัฐอเมริกา นับว่าเป็นประเทศแรก ที่ได้เริ่มบุกเบิกอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีที่ทันสมัยขึ้น นับตั้งแต่ท่านบาทหลวงแลงสตรอท (พ.ศ.2394) ได้คิดเลี้ยงผึ้ง ในรังมาตรฐาน (กว้าง 413 มม. ยาว 508 มม. สูง 238 มม.) และบรรจุคอนผึ้ง (Frame) ได้ 10 อันในหนึ่งหีบแต่ละคอน วางชิดกันมีช่องว่างระหว่างรวงรังประมาณ 9.524 มม. ที่เรียกว่า “Bee space” คือ ช่องว่างที่ผึ้งเดินไปมาระหว่างรวงรังและ ปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ด้วยเหตุนี้ในสหรัฐอเมริกาได้ให้เกียรติบาทหลวง แลงสตรอท เป็นบิดาวิชาการเลี้ยงผึ้งสมัยใหม่ และเรียกชื่อหีบเลี้ยงผึ้งที่ใช้ในทุกวันนี้ว่า “หีบแบบแลงสตรอท”

การเลี้ยงผึ้งในปัจจุบันของประเทศไทย แบ่งออกเป็นสองประเภทคือ พวกแรกที่เลี้ยงผึ้งไทยหรือผึ้งโพรง พวกที่สองคือ พวกที่เลี้ยงผึ้งพันธุ์หรือผึ้งฝรั่งซึ่งเริ่มนำเข้ามาเลี้ยงกันจริงจังในทศวรรษนี้เอง แต่ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลจากการประชุมเชิงปฏิบัติการเลี้ยงผึ้ง ที่จังหวัดจันทบุรี (พ.ศ.2527) และที่จังหวัดเชียงใหม่ มีการยืนยันว่ามีผึ้งเลี้ยงอยู่ถึง 30,000 รัง ในประเทศไทย

2.1.2 ลักษณะรวงรัง

รวงรังของผึ้งทุกชนิดพบว่า ประกอบด้วยหลอดรวง รูปหกเหลี่ยมด้านเท่าจำนวนพันๆ หลอดรวง ขนาดของหลอดรวงขึ้นอยู่กับชนิดของผึ้ง เช่น ผึ้งหลวงตัวใหญ่ขนาดของหลอดรวงก็ใหญ่ด้วย ผึ้งมีมมีขนาดเล็กที่สุด ดังนั้นขนาดหลอดรวงของผึ้งมีมจึงเล็กที่สุดจำนวนหลอดรวงในรังผึ้งขึ้นอยู่กับขนาดของรัง เช่น ผึ้งหลวงรังใหญ่ๆ อาจจะมีจำนวนมากถึงหมื่นๆ หลอดรวงเช่นเดียวกับผึ้งเลี้ยง

รวงรังผึ้งเปรียบเหมือนบ้านหลอดรวงต่างๆ คือห้องนั่นเอง ดังนั้นจึงมีไว้เพื่อเป็นที่อาศัยของตัวอ่อน นางพญาจะวางไข่ลงในหลอดรวง ต่อมาตัวอ่อนหรือตัวหนอนจะเจริญในหลอดรวงเข้าดักแด้ เมื่อลอกคราบสุดท้ายตัวเต็มวัยผึ้งจะคลานออกมาจากหลอดรวง ในรวงรังผึ้งชนิดเดียวกันจะมีหลอดรวงไม่เท่ากันเพราะขนาดของผึ้งในแต่ละวรรณะไม่เท่ากัน เช่น หลอดรวง

ของฝัองงานมีขนาดเล็กที่สุด ในรังผึ้งโพรงไทยหลอดรวงฝัองงานกว้าง 0.18 นิ้ว ส่วนหลอดรวงฝัองตัวผู้จะมีขนาดใหญ่กว่าคือกว้าง 0.21 นิ้ว หลอดรวงของฝัองนางพญามีลักษณะ พิเศษคือ หลอดรวงจะใหญ่ที่สุดเป็นหลอดยาวอยู่ทางด้านล่างของรวงในลักษณะที่ห้อยหัวลง ฝัองทุกระยะเมื่อเป็นตัวเต็มวัยแล้วจะไม่เข้าไปอยู่ในหลอดรวงอีก แต่จะอาศัยเกาะห้อมล้อมรอบๆ รวงรัง หลอดรวงตัวอ่อนนี้อาจจะใช้สำหรับเก็บน้ำฝัองและเกสรได้ด้วย โดยเฉพาะในฤดูดอกไม้บานปกติ หลอดรวงเก็บน้ำฝัองจะอยู่บนสุด เราเรียกว่า หัวรวงหรือหัวน้ำฝัอง ต่ำลงมาเป็นหลอดรวงเก็บเกสรและหลอดรวงตัวอ่อน

ลักษณะรวงรัง (comb) ตามด้านตัดขวางจะพบว่า ประกอบด้วยเซลล์รูปหกเหลี่ยมด้านเท่าจำนวนพันๆ เซลล์ ฐานของเซลล์หนาประมาณ 0.0889 มม.(0.0035 นิ้ว) ผนังเซลล์หนาประมาณ 0.0635 มม.(0.0025 นิ้ว) เมื่อเซลล์ถูกใช้แล้วด้านในจะเล็กลงเพราะปลอกของดักแด้เดิมอยู่ ฝัองงานจะเอาผิวของดักแด้เดิมออกเพื่อให้เซลล์ใหญ่ขึ้นและสามารถใช้ได้อีก เซลล์สำหรับฝัองพันธุ์ทั้ง 3 วรรณะจะมีขนาดที่แตกต่างกัน คือ เซลล์ฝัองงานจะมีขนาดกว้าง 0.20 นิ้ว ในพื้นที่ 1 ตร.นิ้ว จะมีเซลล์ 55.3 เซลล์ทั้งสองด้าน ส่วนเซลล์ฝัองตัวผู้จะมีขนาดใหญ่กว่า กว้าง 0.25 นิ้ว ในพื้นที่ 1 ตร.นิ้ว จะมีเซลล์ 33.4 เซลล์

การสร้างหรือซ่อมแซมรัง เป็นหน้าที่ของฝัองงาน โดยใช้ไขฝัองขากต่อมไขฝัองจากฝัอง 4 คู่ ทางด้านล่างส่วนท้องของฝัองงานที่มีอายุ 12-18 วันไขฝัองจะถูกผลิตออกมาเป็นแผ่นๆ ในการสร้างหรือซ่อมแซมรัง ฝัองงานจะเขียนไขฝัองออกมาจากท้อง แล้วเอามาเคี้ยวผสมกับน้ำลายให้อ่อนตัวลงแล้วจึงนำไปเชื่อมต่อกันเป็นหลอดรวงรูปหกเหลี่ยมหลายๆ อันก่อให้เกิดเป็นรวงรังขึ้น

2.2 แนวความคิดในการออกแบบงานระบบที่เลียนแบบธรรมชาติ ใช้แนวความคิดจากการเคลื่อนไหวของพืช (Plant movement) จากการศึกษาเอกสารการสอนของวิชา General Biology โดย อาจารย์ชุมพล คุณวาสี ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สามารถแบ่งได้ ดังนี้

2.2.1 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของพืช

พืชเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้รับ ไม่ว่าจะเป็นสิ่งแวดล้อมภายในหรือภายนอก การแสดงออกของพืชที่เป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่างๆ ที่ได้รับ

อยู่ในรูปของการเคลื่อนไหว (Plant movement) รูปแบบของพัฒนาการ หรือการเจริญเติบโต และการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ เนื้อเยื่อ อวัยวะ หรือโครงสร้างต่างๆ ของพืช นั่นคือ ลักษณะสัณฐาน (Morphology) หรือกายวิภาค (Anatomy) ที่พืชแสดงออกมาให้เห็น รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางสรีรวิทยา (physiology) ที่เกิดขึ้นในพืช ล้วนเป็นการตอบสนองหรือการปรับตัวของพืชให้เหมาะสมต่อสิ่งแวดล้อม โดยพืชจะมีกลไกภายในที่ใช้สารเคมีหรือสารบางอย่างในการส่งสัญญาณเพื่อตอบรับและตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่พืชได้รับสารที่สำคัญเหล่านั้นมีหลายชนิด เช่น ฮอริโมนพืช รงควัตถุ หรือสารสีชนิดต่างๆ เช่น คลอโรฟิลล์ เป็นต้น

จังหวะรอบวัน ปรากฏการณ์บางอย่างที่สามารถสังเกตเห็นได้ในพืช เช่น การบานและหุบของดอกไม้ นั่น พืชบางชนิดดอกไม้จะบานในเวลากลางวัน และหุบในเวลากลางคืน เช่น ดอกบัวหลวง หรือดอกบัวสาย แต่ดอกไม้บางชนิดจะบานในเวลากลางคืน แล้วหุบหรือโรยไปในเช้าของวันรุ่งขึ้น เช่น ดอกบานดึก ดอกไม้บางชนิด เช่น ดอกสายหยุด จะส่งกลิ่นหอมจัดเฉพาะในช่วงเวลาเช้าๆ แต่พอถึงช่วงเวลาสายๆ ของวัน กลิ่นหอมจะจางลงหรือดอกกรাত্রีซึ่งจะเริ่มมีกลิ่นหอมในเวลากลางคืน และกลิ่นจะจางไปในตอนเช้าหรือตัวอย่างในเรื่องของใบ เช่น ใบของต้นจามจุรี ถ้าสังเกตให้ดีจะเห็นว่า ในช่วงเวลาตอนเย็นหรือกลางคืนใบจะเริ่มหุบพับเข้าหากัน และจะแผ่กางออกใหม่อีกครั้งหนึ่งในตอนเช้า จากตัวอย่างของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเหล่านี้ เป็นข้อสังเกตที่บอกได้ว่า พืชน่าจะมีกลไกบางอย่างที่ทำให้สามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในรอบของหนึ่งวันได้ และมีวิธีต่างๆ ที่แสดงถึงการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงนั้นในรูปแบบที่ซ้ำๆ กันทุกวัน เรียก จังหวะรอบวัน

2.2.2 ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตอบสนองของพืช

การเคลื่อนไหวเนื่องจากการเจริญเติบโต (growth movement) การตอบสนองที่เกิดจากสิ่งเร้าภายนอก (paratonic movement หรือ stimulus movement) มี 2 แบบ คือ

(1) แบบมีทิศทางเกี่ยวข้องกับสิ่งเร้า (tropism หรือ tropic movement) การตอบสนองแบบนี้จะทำให้ส่วนของพืชโค้งเข้าหาสิ่งเร้าเรียกว่า positive

tropism หรือเคลื่อนที่หนีสิ่งเร้าที่มากกระตุ้นเรียกว่า negative tropism จำแนกได้ตามชนิดของสิ่งเร้า ดังนี้

(1.1) Phototropism เป็นการตอบสนองของพืชที่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เป็นแสงพบว่าที่ปลายยอดพืช (ลำต้น) มีทิศทางการเจริญเติบโตเจริญเข้าหาแสงสว่าง (positive phototropism) ส่วนที่ปลายรากจะมีทิศทางการเจริญเติบโตหนีจากแสงสว่าง (negative phototropism)

(1.2) Geotropism เป็นการตอบสนองของพืชที่ตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลกโดยรากพืชจะเจริญเข้าหาแรงโน้มถ่วงของโลก (positive geotropism) เพื่อรับน้ำและแร่ธาตุจากดิน ส่วนปลายยอดพืช (ลำต้น) จะเจริญเติบโตในทิศทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก (negative geotropism) เพื่อชูใบรับแสงสว่าง

(1.3) Chemotropism เป็นการตอบสนองของพืชโดยการเจริญเข้าหาหรือหนีจากสารเคมีบางอย่างที่เป็นสิ่งเร้าเช่นการงอกของหลอดละอองเรณูไปยังรังไข่ของพืชโดยมีสารเคมีบางอย่างเป็นสิ่งเร้า

(1.4) Hydrotropism เป็นการตอบสนองของพืชที่ตอบสนองต่อความชื้น ซึ่งรากของพืชจะงอกไปสู่ที่มีความชื้น

(1.5) Thigmotropism เป็นการตอบสนองของพืชบางชนิดที่ตอบสนองต่อการสัมผัสเช่น การเจริญของมือเกาะ (tendrils) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ยื่นออกไปพันหลักหรือเกาะบนต้นไม้อื่นหรือพืชพวกที่ลำต้นแบบเลื้อยจะพันหลักในลักษณะบิดลำต้นไปรอบๆเป็นเกลียว เช่น ต้นตำลึง ต้นพลู ต้นองุ่น ต้นพริกไทย เป็นต้น

(2) แบบมีทิศทางที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า (nasty หรือ nastic movement) การตอบสนองแบบนี้จะมีทิศทางคงที่คือ การเคลื่อนขึ้นหรือลงเท่านั้น ไม่ขึ้นกับทิศทางของสิ่งเร้า การบานของดอกไม้ (epinasty) เกิดจากกลุ่มเซลล์ด้านในหรือด้านบนของกลีบดอกยึดตัวหรือขยายขนาดมากกว่ากลุ่มเซลล์ด้านนอกหรือด้านล่าง การหุบของดอกไม้ (hyponasty) เกิด

จากกลุ่มเซลล์ด้านนอกหรือด้านล่างของกลีบดอกยึดตัวหรือขยายขนาดมากกว่ากลุ่มเซลล์ด้านบนหรือด้านบน



ภาพที่ 5 การตอบสนองของพืชแบบมีทิศทางที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า

ที่มา: Plantsresponse (2554)

การบานของดอกไม้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและสิ่งเร้า เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสง เป็นต้น ถ้าสิ่งเร้าเป็นแสงแล้วทำให้เกิดการตอบสนองเกิดการเคลื่อนไหวด้วยการบานการหุบของดอกไม้ เรียกว่า Photonasty แต่ถ้าอุณหภูมิเป็นสิ่งเร้าก็เรียกว่า Thermonasty ตัวอย่างเช่น ดอกบัวส่วนมากมักจะหุบในตอนกลางคืนและบานในตอนกลางวัน แต่ดอกกระบองเพชร จะบานในตอนกลางคืนและจะหุบในตอนกลางวัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิต่ำหรือเย็นลงทำให้กลุ่มเซลล์ด้านในของกลีบดอกเจริญมากกว่าด้านนอกจึงทำให้กลีบดอกบานออก แต่ตอนกลางวันอากาศอุ่นขึ้นอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กลุ่มเซลล์ด้านนอกเจริญยึดตัวมากกว่าดอกจะหุบ การบานและการหุบของดอกไม้มีเวลาจำกัด เท่ากับการเจริญของเซลล์ของกลีบดอก เมื่อเซลล์เจริญยึดตัวเต็มที่แล้วจะไม่หุบหรือบานอีกต่อไปกลีบดอกจะโรยและหลุดร่วงจากฐานดอกการบานและการหุบของดอกไม้มีเวลาจำกัด เท่ากับการเจริญของเซลล์ของกลีบดอก

เมื่อเซลล์เจริญยืดยึดตัวเต็มที่แล้วจะไม่หุบหรือบานอีกต่อไป กลีบดอกจะโรยและหลุดร่วงจากฐานดอก

แนวความคิดที่ใช้ในการออกแบบงานระบบ คือ เลียนแบบการเคลื่อนไหวของพืช (Plant movement) แบบมีทิศทางที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า (nasty หรือ nastic movement) ตัวอย่าง เช่น ดอกบัวส่วนมากมักหุบในตอนกลางคืนและบานในตอนกลางวันแต่ดอกกระบองเพชรจะบานในตอนกลางคืนและจะหุบในตอนกลางวัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในตอนกลางคืนจะมีอุณหภูมิต่ำหรือเย็นลงทำให้กลุ่มเซลล์ด้านในของกลีบดอกเจริญมากกว่าด้านนอกจึงทำให้กลีบดอกบานออกแต่ตอนกลางวันอากาศอุ่นขึ้นอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กลุ่มเซลล์ด้านนอกเจริญยืดยึดตัวมากกว่าดอกจะหุบและการบานและการหุบของดอกไม่มีเวลาจำกัด เท่ากับการเจริญของเซลล์ของกลีบดอก เมื่อเซลล์เจริญยืดยึดตัวเต็มที่แล้วจะไม่หุบหรือบานอีกต่อไปกลีบดอกจะโรยและหลุดร่วงจากฐานดอกการบานและการหุบของดอกไม่มีเวลาจำกัด เท่ากับการเจริญของเซลล์ของกลีบดอก เมื่อเซลล์เจริญยืดยึดตัวเต็มที่แล้วจะไม่หุบหรือบานอีกต่อไป กลีบดอกจะโรยและหลุดร่วงจากฐานดอก



ภาพที่ 6 การเคลื่อนไหวของดอกบัวบางชนิดที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า

ก. การบานของดอกบัวในเวลากลางวัน ข. การหุบของดอกบัวในเวลากลางคืน

ที่มา: ชุมพล (2553)

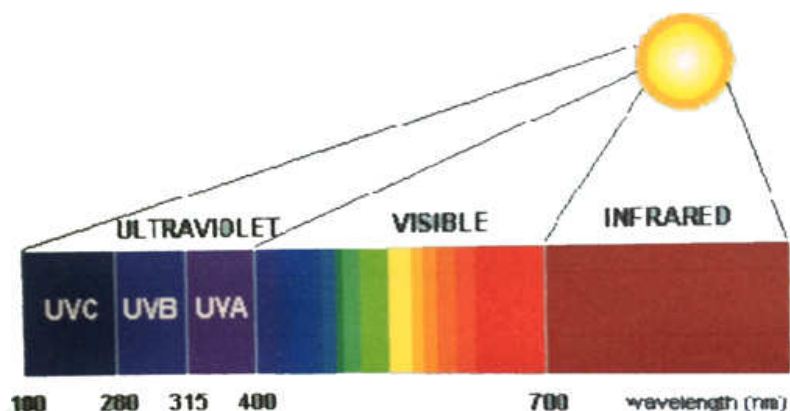
3. ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)

จากศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ จากบทความของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน สามารถแบ่งได้ ดังนี้

3.1 ดวงอาทิตย์ คือ ดาวขนาดยักษ์ที่เต็มไปด้วยก๊าซซึ่งประกอบด้วย ไฮโดรเจนและฮีเลียม ภายในแกนของดวงอาทิตย์ ปฏิบัติการที่เรียกว่า การปฏิกิริยานิวเคลียร์ ได้สร้างพลังงานจำนวนมากที่เกิดจากไฮโดรเจน ภายในแกน และผสมผสานกันกลายเป็นก๊าซฮีเลียม ปฏิกริยานิวเคลียร์ได้ทำการปลดปล่อยพลังงานจากแกนของดาวออกมาสู่พื้นผิว ระหว่างที่เดินทางมาสู่พื้นผิวดวงอาทิตย์ พลังงานดังกล่าวจะใช้เวลาในการแปรสภาพเป็นพลังงานแสงสว่าง แสงสว่างนี้คือสิ่งที่พวกเราเรียกว่า แสงอาทิตย์

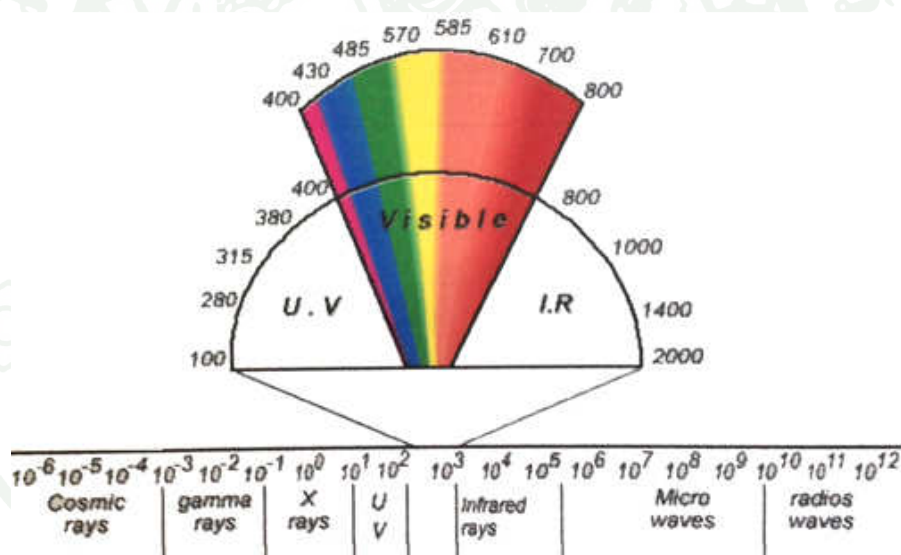
ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรหรือเส้นแบ่งครึ่งโลก จึงได้รับแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงค่าความเข้มแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ยของประเทศจะตกประมาณ 4.7 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร ต่อวัน หากสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่สาดส่องลงมาของพื้นที่ทั้งประเทศเพียงหนึ่งในร้อยส่วนของพื้นที่ทั้งหมด เราจะได้รับพลังงานเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดินประมาณ 7,000,000 ตันต่อปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2552)

จากบันทึกของ องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ หรือ องค์การนาซา (NASA) แสงอาทิตย์เดินทางมายังโลกด้วยความเร็วแสง หรือ ประมาณ 186,000 ไมล์/วินาที ทำให้แสงอาทิตย์ใช้เวลาเดินทางมายังโลกแค่ 8 นาที พลังงานแสงอาทิตย์เดินทางมาสู่บรรยากาศของโลกในลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Spectrum) โดยจะมีความยาวคลื่น (Wavelength) ที่แตกต่างกัน ส่วนที่มาถึงโลกแบ่งตามความยาวคลื่นได้ 3 กลุ่ม



ภาพที่ 7 ค่าความยาวของแสงจากดวงอาทิตย์ที่เดินทางมายังโลก

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)



ภาพที่ 8 ค่าของแสงจากดวงอาทิตย์

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)

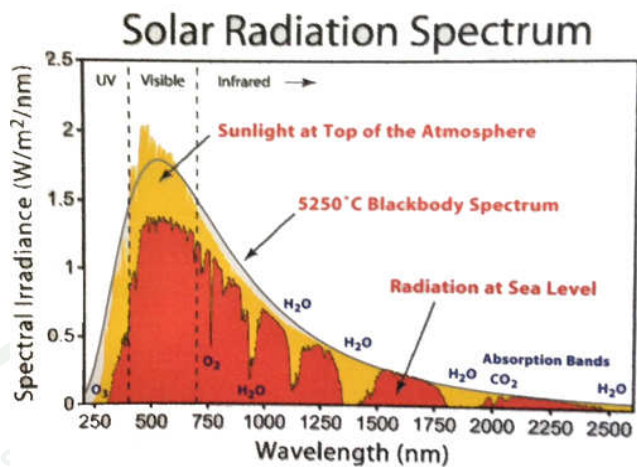
3.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศโลกจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1,353 \text{ W/m}^2$ โดยจะมีค่าการแผ่รังสีเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $1,350$ - $1,440 \text{ W/m}^2$ ค่าการแผ่รังสีดังกล่าวเรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant) คือ อัตราการตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่ในทิศทางตั้งฉากกับดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ

โลกและจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละเดือน โดยมีค่าแปรผันไปตามช่วงความยาวคลื่นของรังสีซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ประกอบไปด้วย รังสีช่วงคลื่นยาว ได้แก่ รังสีอินฟราเรด (Infrared) จนถึงรังสีคลื่นสั้น ได้แก่ รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) รังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นต่างๆ ที่แผ่มายังโลกโดยผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ของโลกจะถูกดูดซับ (Absorbed) และทำให้กระจัดกระจาย (Scattered) อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก การดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสีโดยชั้นบรรยากาศของโลกเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาและมีลักษณะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

3.2.1 รังสีช่วงคลื่นสั้น ส่วนใหญ่จะเป็นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) โดยมีช่วงความยาวต่ำกว่า 300 nm. พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนและถูกทำให้ลดลงในเขตบรรยากาศ Ionosphere โดยแก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน และก๊าซโอโซน ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (Electron Transition) ในอะตอมหรือในโมเลกุลของก๊าซดังกล่าว

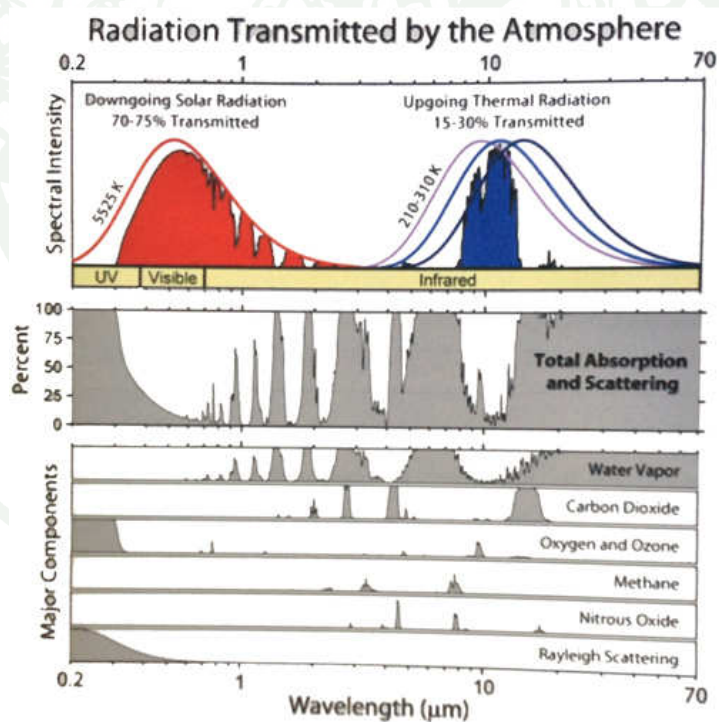
3.2.2 รังสีช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (Visible) จะถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สโอโซน แก๊สออกซิเจน และไอน้ำ

3.2.3 รังสีช่วงคลื่นยาว รังสีในช่วงคลื่นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นรังสีอินฟราเรด (Infrared) มีการดูดกลืนรังสีอันเนื่องมาจากการหมุนและการสั่นสะเทือนของ Polyatomic Molecule ซึ่งได้แก่ น้ำ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 700, 800, 900, 1400, 1900, 2700, 3200 nm. และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1600, 2000, 2700, 4300 nm. การดูดกลืนรังสีดังกล่าวจะเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศด้านล่างซึ่งมีความหนาประมาณ 50 กิโลเมตร และพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชั้นของบรรยากาศ ที่ระยะความยาวคลื่นระหว่าง 8000-12000 nm. บรรยากาศจะโปร่งใส รังสีในช่วงคลื่นนี้เรียกว่า Atmosphere Window ที่ความยาวคลื่นสูงกว่านี้ รังสีดวงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนเกือบหมดด้วยน้ำ ในรูปของไอน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพที่ 9 ค่ารังสีสเปกตรัมจากดวงอาทิตย์

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)



ภาพที่ 10 รังสีดวงอาทิตย์ในช่วงคลื่นต่างๆ ในเขตชั้นบรรยากาศโลก

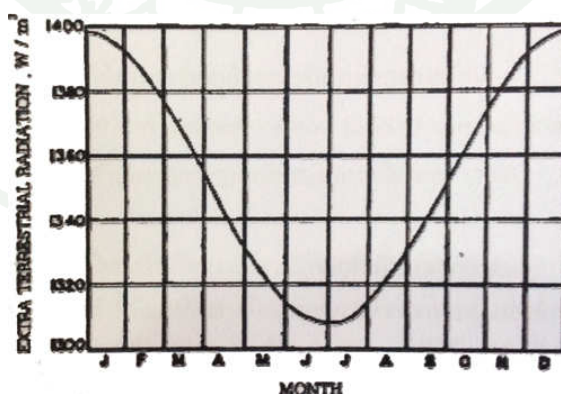
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)

3.3 การแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศโลก (Terrestrial Radiation, IN) รังสีดวงอาทิตย์ เมื่อเดินทางเข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลก ประกอบด้วยรังสีต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 รังสีตรง (Beam หรือ Direct Radiation) คือ รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ไม่มีการกระจาย(Scattering) โดยชั้นของบรรยากาศมีทิศทางแน่นอนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง นั่นคือ อยู่ในแนวรังสีของดวงอาทิตย์

3.3.2 รังสีกระจาย(Diffuse Radiation) คือ รังสีของดวงอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจัดกระจาย เมื่อรังสีของดวงอาทิตย์กระทบกับบรรยากาศโลก โดยแก๊ส ฝุ่นละออง และสิ่งต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของลำแสงก่อนตกกระทบบนพื้นผิวรับแสง รังสีกระจายจะมาจากทุกทิศทุกทางในท้องฟ้า

3.3.3 รังสีรวม (Total หรือ Global Radiation) คือ การรวมของรังสีตรงและกระจาย ซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดคลื่นสั้น (ไม่เกิน 3 μm .) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวที่ได้จากการแผ่รังสีของโลกและบรรยากาศ ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นระนาบในแนวนอน รังสีรวมจะประกอบด้วย รังสีตรงและรังสีกระจายจากท้องฟ้าเท่านั้น คือ ครึ่งวงกลมของท้องฟ้านั้นเอง ในกรณีนี้เรียกว่า Global Radiation แต่เมื่อผิวรับแสงเป็นพื้นระนาบเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วย รังสีตรง รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีกระจายที่สะท้อนจากผิวโลก ในกรณีนี้เรียกว่า Total Radiation



ภาพที่ 11 การเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสีนอกชั้นบรรยากาศโลกใน 12 เดือน

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2552)

4. ทฤษฎีเกี่ยวกับพื้นฐานของการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และแกนเอียงของโลก

4.1 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องด้านภูมิศาสตร์ จากการศึกษาเกี่ยวกับพื้นฐานของการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และแกนเอียงของโลกโดย ทฤษฎีของ Zachary Stieber สามารถแบ่งได้ดังนี้

โลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบกินเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งมีผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ กลางวันและกลางคืนทำให้เห็นดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกในตอนเช้าและตกทางทิศตะวันตก ในตอนเย็น โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบกินเวลา 1 ปีหรือ 365 วัน โดยแนวแกนที่โลกหมุนรอบตัวเองทำมุมเอียงประมาณ 23.5 องศา กับแนวแกนของโคจรที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ

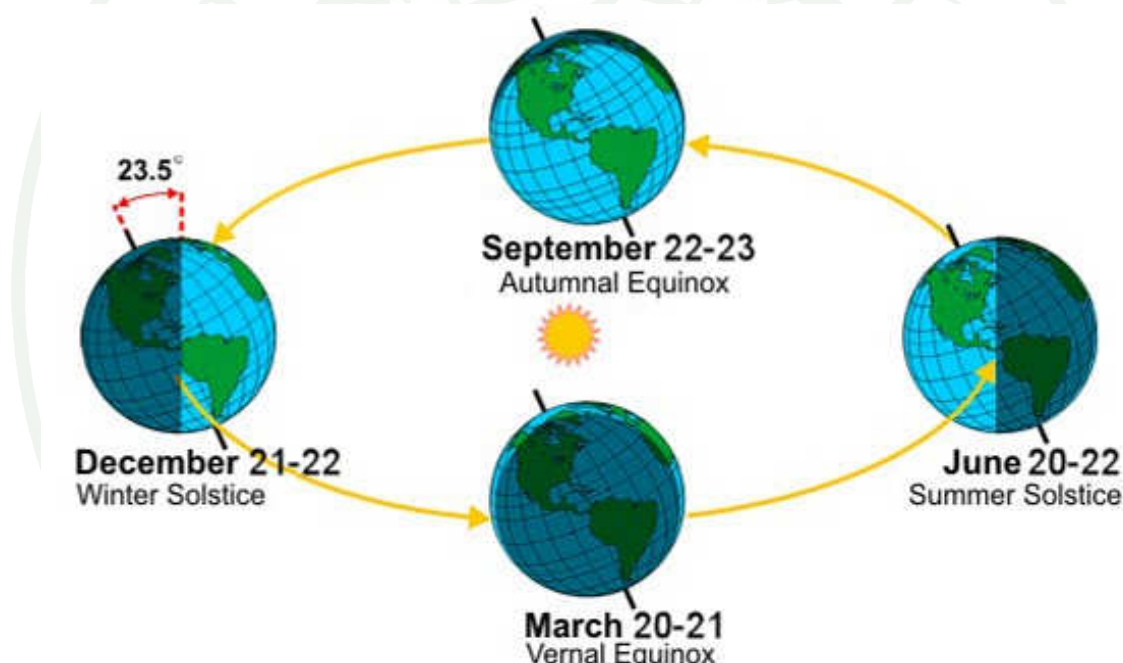
ประมาณวันที่ 21 มีนาคมของทุกปี จะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลกมากที่สุด ดวงอาทิตย์จะอยู่เหนือขึ้นไปในแนวตั้งพอดีกับพื้นที่ที่อยู่ตรงบริเวณ แนวเส้นศูนย์สูตร ในช่วงเวลานี้ทั่วโลกเหนือและทั่วโลกใต้จะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เท่ากัน และจะเป็นช่วงเวลาที่กลางวันยาวเท่ากับกลางคืนในทุกๆ ประเทศ มีชื่อเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า วิษุวัต หรือ Equinox (หมายถึง Equal Night) โดยในช่วงเวลานี้จะเป็น วัสันตวิษุวัต หรือ Vernal Equinox คือ เป็นช่วงเวลาที่ประเทศต่างๆ ทางซีกโลกเหนืออย่างเข้าสู่ฤดูใบไม้ผลิ

ประมาณวันที่ 21 มิถุนายนของทุกปีบริเวณซีกโลกเหนือจะเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ขณะที่แนวเส้นศูนย์สูตรของโลก จะอยู่ไกลจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ในเวลานี้จะเป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศทางซีกโลกเหนือ และจะเป็นช่วงฤดูหนาวของประเทศทางซีกโลกใต้ มีชื่อเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Summer Solstice โดยในช่วงเวลานี้เองจะเกิดปรากฏการณ์พระอาทิตย์เที่ยงคืนขึ้นกับ บางประเทศที่อยู่ ใกล้กับซีกโลกเหนือ เช่น ประเทศนอร์เวย์ เป็นต้น

ประมาณวันที่ 21 กันยายนของทุกปีจะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลกมากที่สุดอีกครั้งหนึ่ง ดวงอาทิตย์จะอยู่เหนือขึ้นไปในแนวตั้งพอดีกับพื้นที่ที่อยู่ตรงบริเวณแนวเส้นศูนย์สูตร ในช่วงเวลานี้ทั่วโลกเหนือและทั่วโลกใต้จะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เท่ากัน และจะเป็นช่วงเวลาที่กลางวันยาวเท่ากับ กลางคืน เช่นเดียวกับ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 21

มีนาคม แต่ในช่วงเวลานี้จะเป็น ศารทวิษุวัต หรือ Autumnal Equinox คือเป็นช่วงเวลา
ต่างประเทศต่างๆ ทางซีกโลกเหนือ อย่างเข้าสู่ฤดูใบไม้ร่วง

ประมาณวันที่ 21 ธันวาคมของทุกปีบริเวณขั้วโลกใต้จะเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มาก
ที่สุด ขณะที่แนวเส้นศูนย์สูตรของโลกจะอยู่ไกลจากดวงอาทิตย์มากที่สุดอีกครั้งหนึ่ง ในเวลานี้จะ
เป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศทางซีกโลกใต้ และจะเป็นช่วงฤดูหนาวของประเทศทางซีกโลกเหนือ
โดยในช่วงเวลานี้จะใกล้เทศกาลคริสต์มาส ซึ่งประเทศที่อยู่บริเวณตอนบนของซีกโลกเหนือจะมี
หิมะตก ค่อนข้างมาก มีชื่อเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า Winter Solstice



ภาพที่ 12 ปรากฏการณ์ของโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์

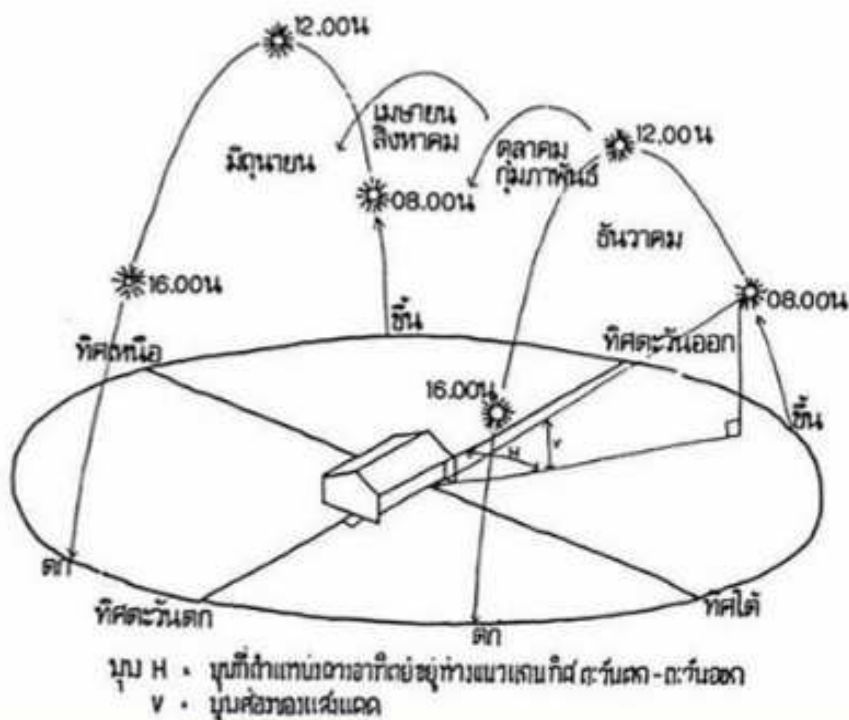
ที่มา: Zachary Stieber (2014)

4.2 ทิศทางของแสงแดดกับประเทศไทย จากการศึกษาบทความ โดย คุณศุภวิศว์ ปัญญาสกุลวงศ์และคุณกฤษณ์ แย้มสระใส สามารถแบ่งได้ ดังนี้

4.2.1 เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในบริเวณที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ทิศทางของแสงแดดตามฤดูกาลจะส่องเฉียงมาจากทางทิศใต้มากกว่าทางทิศเหนือ ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของขั้วโลกมากที่สุด คือ อยู่เหนือขึ้นไปในแนวตั้ง พอดีกับพื้นที่ที่อยู่ตรงบริเวณแนวเส้น ศูนย์สูตร ประมาณวันที่ 21-23 มีนาคม และวันที่ 21-23 กันยายนของทุกปี สำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ก่อนมาทางซีกโลกเหนือแล้ว ในช่วงเวลาดังกล่าว จะได้รับอิทธิพลจาก ดวงอาทิตย์ โดย แสงแดดจะส่องเฉียงมาจากทางทิศใต้ทำมุมยอด 14 องศาในตอนเที่ยง

4.2.2 ช่วงเวลาที่แสงแดดส่องมาจากทางทิศเหนือจะอยู่ระหว่างช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคมของทุกปี เดือนที่แสงแดดส่องเฉียงมาจากทางทิศเหนือมากที่สุดจะเป็นช่วงเดือน มิถุนายน ประมาณวันที่ 21-23 โดยจะทำมุมยอด 9.5 องศาในตอนเที่ยง

4.2.3 ช่วงเวลาที่แสงแดดส่องมาจากทางทิศใต้จะอยู่ระหว่างช่วงเดือนกันยายนถึงเดือน เมษายนของปีถัดไปทุกปี เดือนที่แสงแดดส่องเฉียงมาจากทางทิศใต้มากที่สุดจะเป็นช่วงเดือน ธันวาคม ประมาณวันที่ 21-23 โดยจะทำมุมยอด 37.5 องศาในตอนเที่ยง



ภาพที่ 13 ทางเดินของดวงอาทิตย์

ที่มา: ศุภวิศวรร และ กฤษณ์ (2557)

5. ทฤษฎีเกี่ยวกับพื้นฐานของแสงสว่าง

จากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับพื้นฐานของแสงสว่าง จากบทความของรองศาสตราจารย์สมสิทธิ์ นิตยะ เกี่ยวกับการออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น สามารถแบ่งได้ ดังนี้

5.1 การส่องสว่าง เมื่อแสงออกจากแหล่งกำเนิดแล้วตกกระทบวัตถุใดๆ ทำให้แสงสว่างส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตาแล้วเกิดการมองเห็นขึ้น ปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุนั้นๆ เรียกว่า การส่องสว่าง (Illumination)

5.1.1 ปริมาณแสง (Luminous Flux) คือ ปริมาณแสงที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงในหนึ่งหน่วยเวลาเป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆ มีหน่วย เป็น ลูเมน (lumen)

5.1.2 ความส่องสว่าง (Luminance) เมื่อมีแสงตกกระทบบน 1 หน่วยพื้นที่ใดๆ ผลที่ได้คือ ความสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมน ต่อ 1 หน่วยพื้นที่ ถ้าเราพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงในทรงกลมที่มีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมน ที่พุ่งไปตกบนพื้นที่ 1 ตารางฟุต ของผิวทรงกลมปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล

5.2 แสงสว่างธรรมชาติ แสงธรรมชาติเป็นรูปแบบพลังงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับทิศทางและตำแหน่งการโคจรในมุมต่างๆกันของดวงอาทิตย์ โดยปริมาณแสงธรรมชาตินั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามวัน เวลา และฤดูกาล ซึ่งเป็นผลมาจาก การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ในระบบสุริยะ ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบที่แน่นอนของทิศทางและปริมาณแสงธรรมชาติที่สม่ำเสมอและคงที่ แต่ก็มีปัจจัยหลายๆอย่างที่ทำให้ปริมาณและรูปแบบของแสงธรรมชาตินั้นแปรเปลี่ยนและไม่สม่ำเสมอ เช่น สภาพแวดล้อม สภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ ภัยธรรมชาติ มลภาวะ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาสภาพที่ตั้งของประเทศไทย ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยทั่วไป อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีมีค่าประมาณ 28 – 29 องศาเซลเซียส เฉพาะเวลากลางวันมีค่าประมาณ 30-31 องศาเซลเซียส สภาพท้องฟ้ามีเมฆมากมีแดดจัดเกือบตลอดปี ดัชนีเมฆของประเทศไทยนั้นมีค่าตั้งแต่ 5.9 – 9.0 (10 คือค่าสูงสุด)และค่าระดับความสว่างของกรุงเทพฯ มีค่าในระดับ 10,000 ลักซ์ขึ้นไป มีความถี่กว่า 99% ของเวลากลางวัน

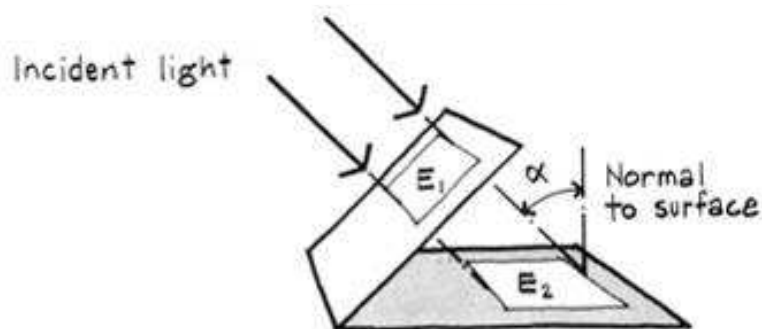
5.2.1 แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติ จากการที่องค์ประกอบของท้องฟ้าและสภาพแวดล้อม มีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณแสงธรรมชาติ ดังนั้น CIE (Commission International de l'Eclairage) แบ่งลักษณะของแสงธรรมชาติออกเป็นประเภทต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดแสงได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

(ก) แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สำคัญที่สุด ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทำกับพื้นผิวโลก ขึ้นอยู่กับมุมองศาของรังสีที่กระทำกับพื้นผิวโลก ตามแต่ละภูมิภาคต่างๆของโลก เนื่องจากแกนของโลกนั้นทำมุม 23.5 องศา ทำให้ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลก มีค่าเท่ากับความเข้มของรังสีปกติคูณด้วยค่า Cosine ของมุมรังสีที่ตกกระทบบนกฎ Cosine Law

$$E_2 = E_1 \cos \alpha$$

E = illumination level (fc)

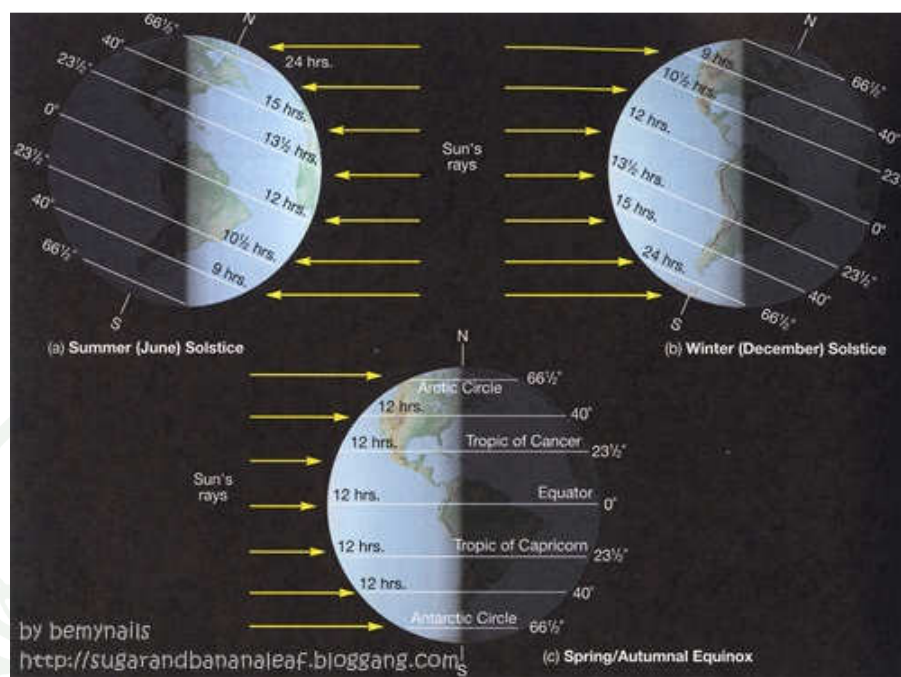
α = angle between ray of light and the normal to surface (degrees)



ภาพที่ 14 สูตรคำนวณ และภาพแสดง กฎ Cosine Law

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

เมื่อทิศทางของรังสีทำมุม 90 องศา กับพื้นผิวที่ตกกระทบ จะทำให้ค่าความเข้มของรังสีต่อหน่วยบนพื้นผิวโลกมีความเข้มมากที่สุด และค่าจะลดลงเมื่อมุมตกกระทบเบี่ยงเบนออกจากแนวตั้งฉากกับพื้นผิว ชั้นบรรยากาศที่ปกคลุมโลกก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ลดลงก่อนที่จะเดินทางลงมาถึงผิวโลก โดยรังสีบางส่วนจะถูกดูดกลืนในชั้นโอโซน ฝุ่นละออง และ ไอน้ำ บางส่วนถูกสะท้อนกลับด้วยเมฆ และบางส่วนถูกกระจายออกด้วยโมเลกุลในบรรยากาศ รังสีที่ตกกระทบพื้นผิวโลกก็จะสะท้อนกลับสู่อวกาศ และมีส่วนหนึ่งที่ตกลงสู่ผิวโลกแล้วถูกดูดกลืนไว้ รังสีในส่วนนี้จะเปลี่ยนรูปจากพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมบนโลกสูงขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของชั้นบรรยากาศในช่วงเวลาต่างๆ ที่มีปริมาณความแตกต่างของไอน้ำ หมอกควัน และองค์ประกอบอื่นๆ ทำให้ปริมาณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคของโลกมีความแตกต่างกันออกไปตามวันเวลาและฤดูกาล

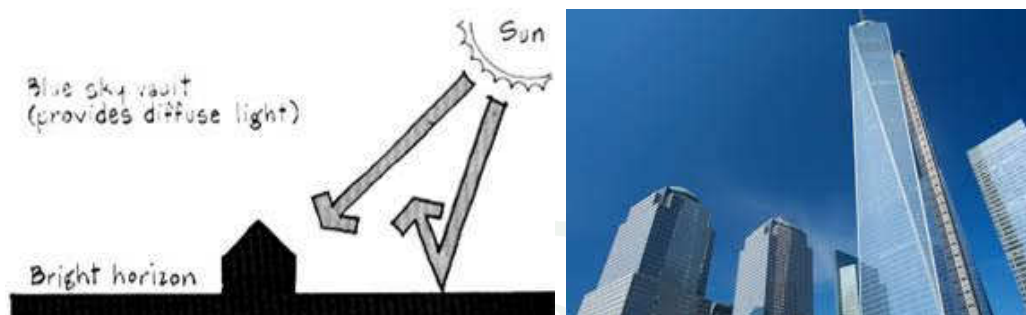


ภาพที่ 15 รังสีดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่บรรยากาศโลกตามวันเวลาและฤดูกาล

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

(ข) แสงธรรมชาติจากท้องฟ้า การส่องผ่านของแสงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ จะเกิดการกระจายตัวของแสงทั่วท้องฟ้า เมื่อกระทบกับฝุ่น ละอองไอน้ำ สารแขวนลอยต่างๆ ในแต่ละชั้นบรรยากาศ การกระจายตัวของแสงจากท้องฟ้า จะพิจารณาจากปริมาณของเมฆบนท้องฟ้า ทำให้เกิดลักษณะต่างๆของท้องฟ้าดังนี้

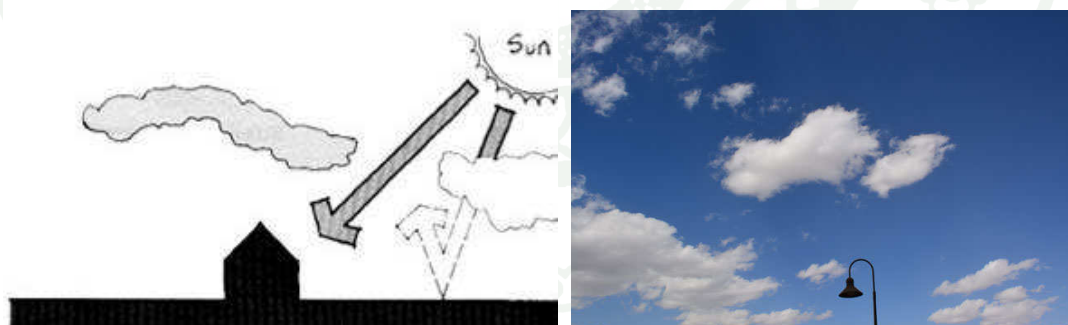
- ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) หมายถึง สภาพท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมไม่ถึง 30 % โดยความสว่างของท้องฟ้า (Sky Luminance) จะประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ความส่องสว่างจากแสงอาทิตย์ตรง (Direct Sun) และความสว่างของแสงจากการกระจายแสง (Diffuse Illuminance) ของท้องฟ้า โดยองค์ประกอบทั้ง 2 นี้จะแปรผันตามตำแหน่งมุมอัสติจูดของดวงอาทิตย์ (Solar Altitude) เป็นหลัก (Kittler 1981:69)



ภาพที่ 16 ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

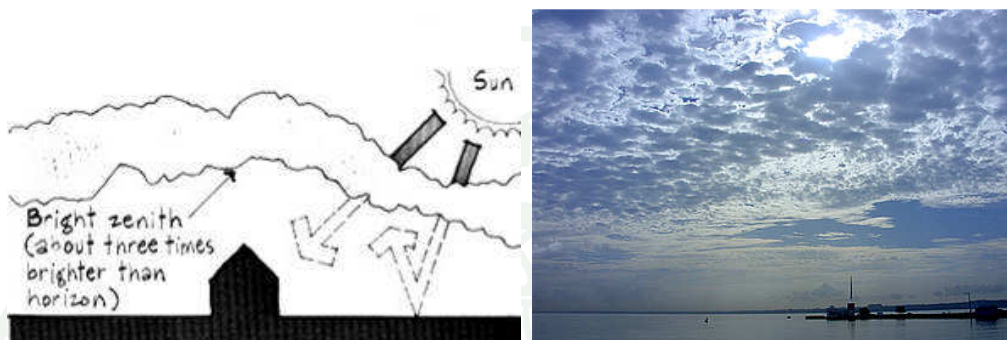
- ท้องฟ้าที่มีเมฆเป็นบางส่วน (Partly Sky or Cloud Sky) หมายถึงสภาพท้องฟ้าที่มีปริมาณเมฆปกคลุมไม่ถึง 30-70 % การพิจารณาความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้จะทำได้ยาก เนื่องจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Dynamic) ซึ่งสภาพท้องฟ้าส่วนใหญ่ของประเทศไทย เป็นแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน (กรมอุตุนิยมวิทยา 2543:1)



ภาพที่ 17 ท้องฟ้าที่มีเมฆเป็นบางส่วน (Partly Sky or Cloud Sky)

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

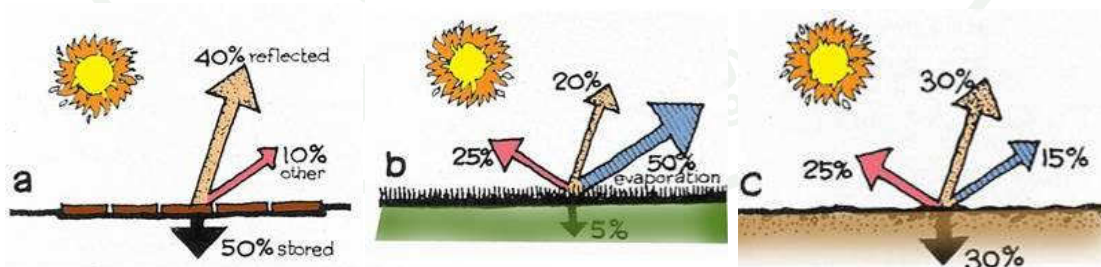
- ท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) สภาพท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมไม่ถึง 70 % จนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ ท้องฟ้าลักษณะนี้จะเป็นท้องฟ้าแถบสแกนดิเนเวียและตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก เช่น ประเทศอังกฤษ



ภาพที่ 18 ท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky)

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

(ค) แสงธรรมชาติจากพื้นดินการสะท้อนของแสงจากพื้นดิน มีความสำคัญสำหรับการออกแบบอาคารที่ใช้แสงธรรมชาติ แสงที่เกิดขึ้นจากการสะท้อนจากพื้นดินเข้าสู่ช่องเปิดอาคารนั้น จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 10 – 15% ของปริมาณแสงทั้งหมดที่ผ่านช่องเปิดของอาคาร ซึ่งปริมาณแสงสะท้อนจากพื้นดินนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นผิวที่สะท้อนแสง



ภาพที่ 19 แสงที่สะท้อนจากพื้นดินบนวัสดุแบบต่างๆ

ที่มา: สมสิทธิ์ (2541)

5.3 การนำแสงธรรมชาติไปใช้งาน การนำแสงธรรมชาติไปใช้กับอาคาร นอกจากจะต้องคำนึงถึงเรื่องปริมาณความร้อนที่มากับแสงธรรมชาติเป็นสำคัญแล้ว อีกประการที่ต้องคำนึงถึงคือเรื่องของการแปรปรวนของปริมาณแสงธรรมชาติ เนื่องจากสภาพท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงยากต่อการคาดคะเนปริมาณแสงที่จะเกิดขึ้น ทำให้มีการศึกษาทางด้านแสงธรรมชาติ เพื่อคาดคะเนปริมาณแสงธรรมชาติ ณ ตำแหน่งต่างๆของวันเวลา และสภาพท้องฟ้า ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ และสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ เพื่ออธิบายความสว่างจากแสงธรรมชาติได้เป็นอย่างดี (สมสิทธิ์, 2541)

5.4 การวิเคราะห์ปริมาณแสงสว่างภายในอาคารที่ได้รับจากแสงธรรมชาตินั้นจะมี 3 วิธี ได้แก่ Lumen Method , Daylight Factor Method , Flux Transfer Method ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธี Daylight Factor Method เนื่องจากเป็นวิธีการพิจารณาความสว่างภายในอาคารที่ได้รับจากแสงธรรมชาติที่มีความเหมาะสมซึ่งเกี่ยวข้องกับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก

5.4.1 Daylight Factor Method หรือ Sky Factor หรือ Split Flux method เป็นวิธีการคำนวณระดับความส่องสว่างภายในอาคารที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากกว่า 70 ปี (Waldram 1940 : 86) วิธี Daylight Factor ได้รับการพัฒนาให้เหมาะสมต่อมาเพื่อการใช้งานที่สะดวกขึ้น (Hopkison, petherbridge, and Longmore 1966:135) หลักการของ Daylight Factor เป็นวิธีการที่กำหนดขึ้นจากอัตราส่วนเปรียบเทียบ ระหว่างค่าความส่องสว่างภายในอาคารในระนาบพื้นผิว (Ei) ต่อค่าความส่องสว่างภายนอกของอาคาร (Ee) โดยการคำนวณที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามวันเวลา โดยมีสมการมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{สูตร D.F.(%) = } \frac{\text{ค่าความสว่างภายใน} \times 100}{\text{ความสว่างภายนอก}}$$

องค์ประกอบของวิธีการคำนวณ Daylight Factor (D.F.) การพิจารณาค่าความส่องสว่างภายในอาคารโดยอาศัยแสงธรรมชาติด้วยวิธี Daylight Factor เป็นวิธีการคำนวณที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ โดยองค์ประกอบที่สำคัญมี ดังนี้

(ก) องค์ประกอบจากท้องฟ้า (sky component) ปริมาณความสว่างจากท้องฟ้า นั้นจะขึ้นกับสภาพท้องฟ้า ณ.เวลานั้นๆ เช่น ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ หรือท้องฟ้ามีเมฆมาก มีเมฆปกคลุมบางส่วน

(ข) องค์ประกอบภายนอก (externally reflected component) เป็นการพิจารณา แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรือ อาคารข้างเคียง เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกที่หนึ่ง ปริมาณแสงจะขึ้นกับทิศทางที่แสงสะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่แสงสะท้อนนั้น

(ค) องค์ประกอบภายใน (Internally reflected component) เป็นการพิจารณา แสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุหรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายในโดยได้รับแสงจากท้องฟ้าและ องค์ประกอบภายนอก ปริมาณแสงจะขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่แสงสะท้อนนั้นๆ สำหรับ Daylight Factor (D.F.) คือ การกำหนดค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลง บนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใด ๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่แนวระนาบภายนอกของ อาคารภายใต้สภาพท้องฟ้าที่ไม่มีสิ่งกีดขวางและไม่รวมแสงแดดโดยตรงจากดวงอาทิตย์ค่าที่ได้ เป็น ค่าเปอร์เซ็นต์

การกำหนดค่าของ Daylight Factor (D.F.) ที่พอเพียงต่อการใช้งานในพื้นที่หนึ่งๆ พิจารณาจากตารางที่ 1 ได้ ดังนี้

ตารางที่ 1 Daylight Factor (D.F.) ที่พอเพียงต่อลักษณะการใช้งานประเภทต่างๆ

ลักษณะการใช้งาน	ค่า D.F. (%)
การอ่านหนังสือ หรือการทำงานในช่วงเวลาปกติที่ไม่มีการใช้สายตาในกิจกรรมหนึ่งๆ นานเกินไป	1.5 – 2.5
การอ่านหนังสือ การใช้สายตาในการทำงานในช่วงเวลานานพอสมควร หรือการทำงานที่ไม่มีอันตรายต่อร่างกาย	2.5 – 4.0
การทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง การใช้เครื่องมือเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ก่อให้เกิดอันตรายได้	4.8 – 8.0

ที่มา: Millet and Bedrick (1998: 237)

5.5 มาตรฐานการส่องสว่าง ในการกำหนดระดับการส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่างๆ นั้น มีการกำหนดโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น British IES และ American IES เป็นต้น ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ การใช้งานและลักษณะสภาพอากาศ ดังนั้น ค่าที่กำหนดไว้อาจมีความแตกต่างกันได้ส่วนค่า มาตรฐานที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐานสากลโดยไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่งนั้นได้แก่ CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE) ซึ่งได้กำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่นๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยหรือน้อย กว่าค่าเฉลี่ยก็ได้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ต่างๆ เช่น

5.5.1 ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปกติให้ใช้ความสว่าง มากขึ้น

5.5.2 ถ้าความผิดพลาดเนื่องจากการมองอาจทำให้เกิดปัญหาร้ายแรงหรือเสียหาย มากก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างในตารางมากขึ้น

5.5.3 ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมากก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

5.5.4 ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาไม่มีหน้าต่างให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

5.5.5 ถ้าผู้ใช้งานบริเวณที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

ตารางที่ 2 มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES (USA) ตามประเภทการใช้งาน

พื้นที่ใช้งาน	CIE (lx)	IES (lx)	พื้นที่ใช้งาน
ทางเดิน, พื้นที่ทำงานภายนอก	20-30-50	20-30-50 (a)	Public spaces with dark Surrounding
ทางเดินภายในและการแวะผ่านระยะสั้น	50-75-100	50-75-100 (a)	Simple orientation for short temporary visits
ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน	100-150-200	100-150-200 (a)	Working space where visual tasks are only occasionally performed
งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่น โรงงาน งานชิ้นใหญ่	200-300-500	200-300-500 (b)	Performance of visual tasks of high contrast or Large size
งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300-500-750		
งานที่ใช้สายตามาก เช่น การเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000 (b)	Performance of visual tasks of medium contrast or small size
งานที่ใช้สายตามากๆ เช่น การประกอบชิ้นส่วน	700-1000-1500		
งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ	1000-1500-2000	1000-1500-2000 (b)	Performance of visual tasks of low contrast or very small size

ตารางที่ 2 (ต่อ)

พื้นที่ใช้งาน	CIE (lx)	IES (lx)	พื้นที่ใช้งาน
งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่น การผ่าตัด	มากกว่า 2000	2000-3000- 5000 (x)	Performance of visual tasks of low contrast or very small size, Prolonged period
		5000-7000- 10000 (x)	Performance of very prolonged and exacting visual tasks
		10000 (x)	Performance of very special visual tasks of extremely low contrast and small size

ที่มา: ชำนาญ (2540)

ตารางที่ 3 มาตรฐานการส่องสว่างของ CIE และ IES (USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง		ค่า Daylight Factor (%)		
	(lx)	(lx)	เฉลี่ย	ต่ำ	จุดที่วัด
	ตามมาตรฐาน CIE	ตามมาตรฐาน IES			
อาคารทั่วไป					
- ทางเดิน	50-100-150	50-75-100	2	0.6	พื้น
- บันได, บันไดเลื่อน	100-150-200	100-150-200	2	0.6	ลูกนอน
- ที่เก็บของ, ห้องเก็บของ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	work plane
- ห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	work plane
สำนักงาน					
- พื้นที่ทั่วไป, คอมพิวเตอร์	300-500-750	500-750-1000	5	2.5	work plane
- เขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	5	2.5	work plane
- ห้องประชุม	300-500-750	200-300-500			
- โถงทางเข้า		100-150-200	2	0.6	work plane
ห้องสมุด					
- หิ้งหนังสือ	150-200-300	200-300-500	5	1.5	vertical
- โต๊ะอ่านหนังสือ	300-500-750	200-300-500	5	1.5	work plane
- เคาน์เตอร์	200-300-500	200-300-500	5	2	work plane
ห้องประชุม					
- เอนกประสงค์	150-200-300	200-300-500	5	2.5	work plane

ที่มา: ชำนาญ (2540)

6. ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

จากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน จากหนังสือการถ่ายเทความร้อน โดย สุนันท์ ศรัณยนิศย์ ได้กล่าวเกี่ยวกับกฎการถ่ายเทความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อน เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยความร้อนจะเคลื่อนที่จากที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำ ความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน จึงเรียกผลต่างของอุณหภูมินี้ว่า แรงขับเคลื่อน (Driving Force) ปริมาณความร้อนหรืออัตราการถ่ายเทความร้อนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงขับเคลื่อน และเป็นสัดส่วนผกผันกับความต้านทานต่อการถ่ายเทความร้อน กลไกการถ่ายเทความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

6.1 การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลไปสู่อีกโมเลกุลหนึ่ง ซึ่งอยู่ติดกันไปเรื่อยๆ จากอุณหภูมิสูงไปสู่อุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่างเช่น หากเราจับที่พื้ในหม้อหุงข้าว ความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านที่พื้มายังมือของเราทำให้เรารู้สึกร้อนโลหะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีโลหะและอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลว

6.2 การพาความร้อน (Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของอะตอมและโมเลกุลของสสารซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ ส่วนของแข็งนั้นจะมีการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน และการแผ่รังสีเท่านั้น การพาความร้อนจึงมักเกิดขึ้นในบรรยากาศและมหาสมุทรรวมทั้งภายในโลกและดวงอาทิตย์

6.3 การแผ่รังสี (Radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทุกทาง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน ดังเช่น การนำความร้อน และการพาความร้อน การแผ่รังสีสามารถถ่ายเทความร้อนผ่านอวกาศได้ วัตถุทุกชนิดที่มีอุณหภูมิสูงกว่า -270°C หรือ 0 K (เคลวิน) ย่อมมีการแผ่รังสี วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้นวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว

การแผ่รังสีจากกองไฟทำให้เกิดความร้อนที่กันหม้อด้านนอก โลหะทำให้เกิดการนำความร้อนเข้าสู่ภายในหม้อ ทำให้น้ำที่อยู่เบื้องล่างร้อนและขยายตัว ความหนาแน่นต่ำจึงลอยสู่ด้านบนทำให้น้ำเย็นความหนาแน่นสูงซึ่งอยู่ด้านบนเคลื่อนตัวลงมาแทนที่ เมื่อน้ำเย็นที่เคลื่อนลงมาได้รับความร้อนเบื้องล่างก็จะลอยขึ้นหมุนวนเป็นวัฏจักรต่อเนื่องกันไป ซึ่งเรียกว่า วัฏจักรการพาความร้อน (Convection Circulation)



ภาพที่ 20 การถ่ายเทความร้อน

ที่มา: สุนันท์ (2538: 23)

7. ทฤษฎีเกี่ยวกับสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort)

คำจำกัดความของคำว่าสภาวะน่าสบาย ASHRAE ได้ให้คำจำกัดความว่า “Thermal Comfort is the condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment ; it requires subjective evaluation. (ASHRAE, 1992) หมายความว่า สภาวะน่าสบาย คือ สภาวะทางจิตใจที่แสดงความพอใจในสภาพแวดล้อมที่ร้อนหนาวและการที่จะทราบถึงสภาพดังกล่าวได้ ต้องอาศัยการวิจัยสำรวจประเมินผลความคิดเห็นจากกลุ่มตัวอย่าง ส่วน Baruch Givoni นักวิทยาศาสตร์ชาวอิสราเอลให้คำจำกัดความว่า “Thermal Comfort is the range of climatic conditions considered comfortable and acceptable to humans. This implies an absence of two basic sensations of discomfort, which are 1. Sensation of Heat and 2. Sensation of Skin Wettedness” (Givoni, 1998) หมายความว่า สภาวะน่าสบาย คือ ช่วงของสภาพอากาศที่มนุษย์เห็นว่าน่าสบายและยอมรับได้ ซึ่งหมายถึงการปราศจากความรู้สึกที่ร้อน และเปียกชื้นที่ผิวหนัง จะเห็นได้ว่า คำจำกัดความของคำว่าสภาวะน่าสบายจากทั้งสองที่มามีความหมายที่แตกต่างกัน ในขณะที่ ASHRAE กล่าวถึง ความพึงพอใจในสภาพอากาศของแต่ละบุคคล Givoni หมายถึง สภาพอากาศภายนอก ที่มีผลต่อความรู้สึกต่อความร้อน และความชื้นของมนุษย์ จากงานวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์ก P.O. Fanger (1970) สามารถแบ่งปัจจัยที่มี

ผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ออกเป็น 6 ปัจจัยได้แก่ (1) อุณหภูมิอากาศ (2) อุณหภูมิจากรังสีความร้อน (3) ความชื้นสัมพัทธ์ (4) ความเร็วลม (5) กิจกรรมของบุคคล (6) เสื้อผ้าที่สวมใส่

7.1 อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)

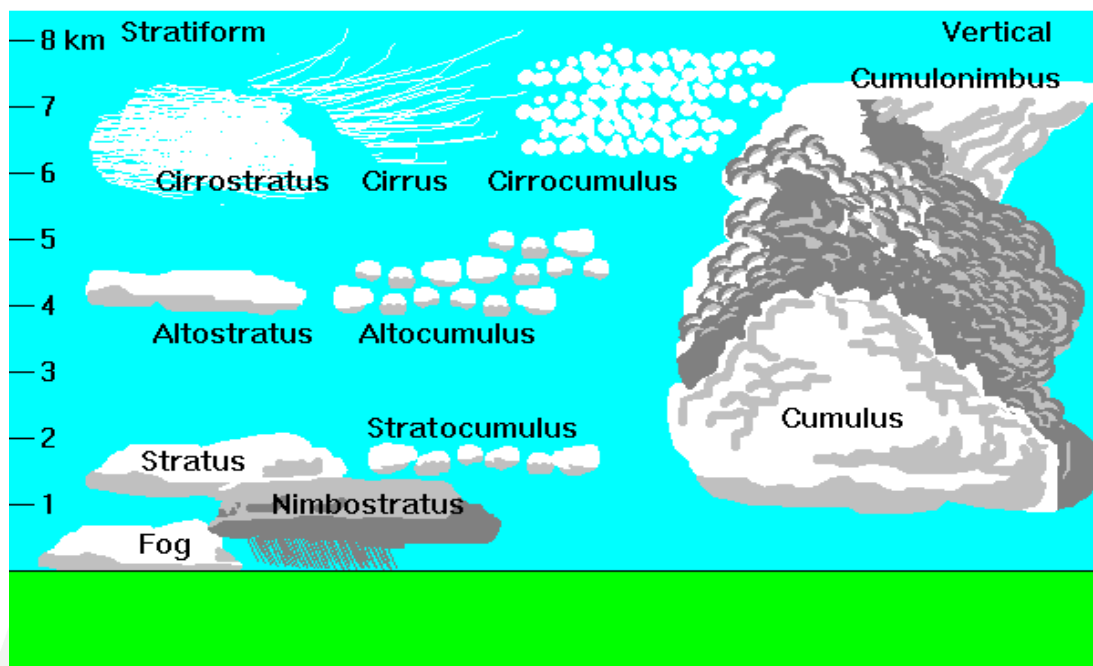
อุณหภูมิ (Temperature) คือ การวัดค่าเฉลี่ยของพลังงานจลน์ซึ่งเกิดขึ้นจากอะตอมแต่ละตัว หรือแต่ละโมเลกุลของสสาร เมื่อเราใส่พลังงานความร้อนให้กับสสาร อะตอมของมันจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่เมื่อเราลดพลังงานความร้อน อะตอมของสสารจะเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง หากเราต้มน้ำด้วยถ้วยและหม้อบนเตาเดียวกัน จะเห็นได้ว่าน้ำในถ้วยจะมีอุณหภูมิสูงกว่า แต่จะมีพลังงานความร้อนน้อยกว่าในหม้อ เนื่องจากปริมาณความร้อนขึ้นอยู่กับมวลทั้งหมดของสสาร แต่อุณหภูมิเป็นเพียงค่าเฉลี่ยของพลังงานในแต่ละอะตอม ดังนั้นบรรยากาศชั้นบนของโลกชั้น เทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere) จึงมีอุณหภูมิสูง แต่มีพลังงานความร้อนน้อย เนื่องจากมีมวลอากาศอยู่อย่างเบาบาง

7.2 ความชื้นในอากาศ

7.2.1 ความชื้น (Humidity) หมายถึง จำนวนของไอน้ำที่มีในอากาศ

7.2.2 ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity) คือน้ำหนัก (มวล) ของไอน้ำในอากาศ ในปริมาณที่กำหนดมักจะแสดงเป็นกรัมของน้ำต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ

7.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือ ปริมาณเปรียบเทียบระหว่างมวลของไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศขณะนั้นกับมวลของ ไอน้ำอิ่มตัว ที่อุณหภูมิและปริมาตรเดียวกัน มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ประเทศไทยตั้ง อยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงมีอากาศร้อนชื้นปกคลุมเกือบตลอดปี เว้นแต่บริเวณที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน ตั้งแต่ภาคกลางขึ้นไป ความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงชัดเจน ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน โดยเฉพาะฤดูร้อน จะเป็นช่วงที่ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำสุดในรอบปี ในบริเวณดังกล่าวมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 72-74 เปอร์เซ็นต์ และจะลดลงเหลือ 62-69 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงฤดูร้อน



ภาพที่ 21 ความชื้นในชั้นบรรยากาศ

ที่มา: ภาควิชาภูมิทัศน์และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ (2556)

7.3 ความเร็วลม (Air Velocity)

ลม คือ กระแสอากาศที่เคลื่อนที่ในแนวนอน ส่วนกระแสอากาศคือ อากาศที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง การเรียกชื่อลมนั้นเรียกตามทิศทางที่ลมนั้นๆ พัดมา เช่น ลมที่พัดมาจากทิศเหนือเรียกว่า ลมเหนือ และลมที่พัดมาจากทิศใต้เรียกว่า ลมใต้ เป็นต้น ในละติจูดต่ำไม่สามารถจะคำนวณหาความเร็วลม แต่ในละติจูดสูงสามารถคำนวณหาความเร็วลมได้ การวัดลมมีวิธีการวัด 2 วิธี คือ วัดทิศลม และวัดความเร็วลม

ปัจจัยความเร็วลมกับสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort Zone) ถ้าอุณหภูมิอากาศอยู่เหนือนอกเขตสภาวะน่าสบาย ความเร็วลมสามารถทำให้สภาพอากาศนั้นกลับเป็นสภาวะน่าสบายได้ กระแสลมที่พัดผ่านผิวหนังจะทำให้อัตราการสูญเสียความร้อนจากการระเหยของเหงื่อสูงขึ้นทำให้ร่างกายรู้สึกเย็น องค์ประกอบที่ส่งเสริมให้เกิดความเร็วลมในอาคารอันเนื่องมาจากแรงลม

ภายนอก ได้แก่ ความเร็วลมภายนอก ทิศทางลม องค์ประกอบในที่ตั้งรอบๆ อาคาร ทิศทางของอาคาร ช่องเปิดอาคาร และการจัดการภายในอาคาร

8. ระบบวัสดุและการออกแบบกรอบอาคาร

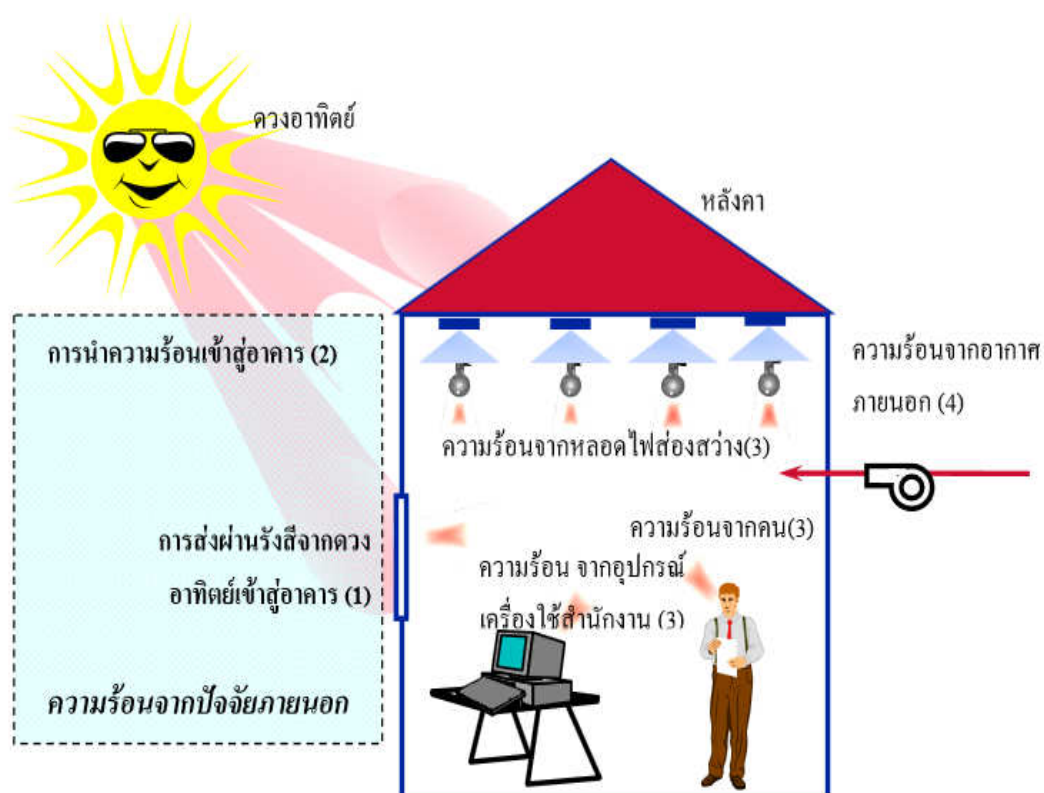
8.1 ระบบกรอบอาคาร (Building Envelope System) จากการศึกษาคู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (อาคาร) พ.ศ. 2553 คือ สำหรับอาคารภาวะการปรับอากาศเป็นผลจากปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคารและปัจจัยภายใน ได้แก่ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัวอาคารเอง โดยปกติแล้ว ความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกจะมีสัดส่วนสูงกว่าความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน คือ คิดเป็นร้อยละ 60 ของภาวะปรับอากาศ แหล่งความร้อนต่างๆ ของภาวะการปรับอากาศ ซึ่งประกอบไปด้วย

(1) การส่งผ่านรังสีจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารโดยตรงผ่านพื้นผิวที่โปร่งแสง เช่น หน้าต่าง หลังคาโปร่งแสง(Skylight)

(2) การนำความร้อนเข้าสู่อาคารโดยผ่านผนังภายนอก(ผนังทึบและผนังกระจก) พื้นหลังคา

(3) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากตัวคน หลอดไฟส่องสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่อยู่ภายในอาคาร

(4) ความร้อนที่เกิดจากอากาศภายนอกที่เข้ามาเพื่อการระบายอากาศภายในหรือที่แทรกซึมเข้าสู่อาคาร เช่น อากาศที่ผ่านเข้าทางประตูหรือหน้าต่างที่เปิดไว้



ภาพที่ 22 แหล่งความร้อนต่างๆ ของอาคารปรับอากาศ

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2550)

8.2 วัสดุและการออกแบบกรอบอาคาร กรอบอาคารนั้นมีความสำคัญมากต่อการใช้พลังงานในอาคาร เนื่องจากเป็นส่วนที่มีการส่งผ่าน และถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในอาคาร ซึ่งความร้อนดังกล่าวเป็นสาเหตุสำคัญให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานในการลดความร้อน และปรับสภาพอากาศภายในอาคารให้เข้าสู่สภาวะน่าสบาย กรอบอาคารนั้นรวมถึงผนังอาคาร หลังคา และหน้าต่างที่ประกอบกันเป็นตัวอาคาร ในออกแบบควรพิจารณาถึงการใช่วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ไม่ให้เข้าไปในอาคาร และเช่นเดียวกันถ้าอาคารนั้นได้ออกแบบ โดยเลือกใช้วัสดุที่ป้องกันความร้อนได้ดี อาคารนั้นจะยิ่งลดการใช้พลังงานได้มากขึ้นอีก และจัดเป็นอาคารที่อยู่ในภาวะสบาย และในทางกลับกันถ้าไม่คำนึงถึงข้อนี้เลย อาคารนั้นจะใช้พลังงานสูงกว่าเดิม (จินดา และวัชระ, 2555)

สัดส่วนกระจกและส่วนที่บัพที่เหมาะสม สำหรับประเทศไทยที่มีอากาศร้อนชื้นและมีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์มาก กระจกนับเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลดังกล่าวโดยตรง ซึ่งหากวัดพลังงานความร้อนที่ผ่านกระจกจะสูงกว่าผนังที่บัพกว่าหลายเท่า หากอาคารมีพื้นที่กระจกมาก ย่อมมีแนวโน้มที่จะทำให้ต้องมีการใช้พลังงานมากขึ้น อย่างไรก็ตาม กระจกก็มีข้อดีในการส่งผ่านแสงธรรมชาติและเป็นช่องทางที่ผู้ใช้อาคารใช้ในการมองเห็นวิวและรับรู้การเปลี่ยนแปลงภายนอก พื้นที่ของกระจกที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 40% ของพื้นที่ผนัง และประมาณไม่เกิน 5% ของพื้นที่หลังคา

ทิศทางในการติดตั้งกระจก ทิศทางที่เหมาะสมในการนำแสงธรรมชาติเข้า อาคารและหลีกเลี่ยงรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ คือ การวางกระจกอาคารในทิศเหนือของ อาคารให้มากที่สุด ทิศดังกล่าวจะมีอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์เพียง 3 เดือน ตั้งแต่ พฤษภาคม ไปจนถึง กรกฎาคม ในขณะที่ทิศใต้จะได้รับอิทธิพลใน 9 เดือนที่เหลือ อย่างไรก็ตามเนื่องจากมุมดวงอาทิตย์ที่กระทบกับกระจกด้านทิศใต้จะอยู่ในมุมที่สูงจึงทำให้ป้องกันได้ด้วยแผงกันแดดที่ไม่ยื่นออกมามากนัก ทิศใต้จึงเป็นทิศที่เหมาะสมกับการติดตั้งกระจกกรองจากทิศเหนือ ส่วนทิศที่ควรหลีกเลี่ยงในการเปิดช่องเปิดคือทิศตะวันออกและทิศตะวันตก เนื่องจากได้รับอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ในมุมต่ำ ป้องกันได้ยาก และอาจก่อให้เกิดปัญหาแสงจ้าภายในอาคารได้ ในการจัดวางกระจกที่เหมาะสมนี้ส่งผลอย่างยิ่งต่อการเลือกที่ดิน ที่ดินที่มีศักยภาพสูงสามารถเปิดช่องเปิดทิศเหนือให้ได้มากที่สุดมากกว่าการเลือกที่ดินที่เปิดสู่ทิศตะวันออกและตะวันตก

9. ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบอุปกรณ์บังแดด

จากการศึกษาหลักการออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น โดย รศ.ดร.สมสิทธิ์ นิตยะ กล่าวคือ ช่องเปิดถือเป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบสถาปัตยกรรม ซึ่งเหตุผลในการเปิดช่องเปิดนั้นอาจเพื่อประโยชน์ในหลายๆ ด้าน เช่น เพื่อการมองเห็นภายนอกอาคาร เพื่อการรับลมและเพื่อการนำแสงธรรมชาติเข้าสู่ตัวอาคาร และจากการเปิดช่องเปิดนี้เองที่ทำให้แสงแดดเข้ามาสู่ตัวอาคาร ซึ่งทำให้เกิดความร้อนจากแสงแดดโดยตรง กับภายในอาคารขนาดและทิศทางของช่องเปิดถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการรับรังสีจากดวงอาทิตย์ และการถ่ายเทความร้อนที่ตามมา ช่องเปิดที่มีขนาดใหญ่ต้องการการควบคุมมากกว่าและสิ่งสำคัญคือการเลือกชนิดของกระจกและประสิทธิภาพของแผงบังแดดเพื่อป้องกันรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์จะเกิดผลดีต่ออิทธิพลของการถ่ายเทความร้อนของช่องเปิดนั้นๆ ทิศทางของช่องเปิดนั้นๆ ก็มีส่วนสำคัญต่อรังสีจากดวงอาทิตย์ที่

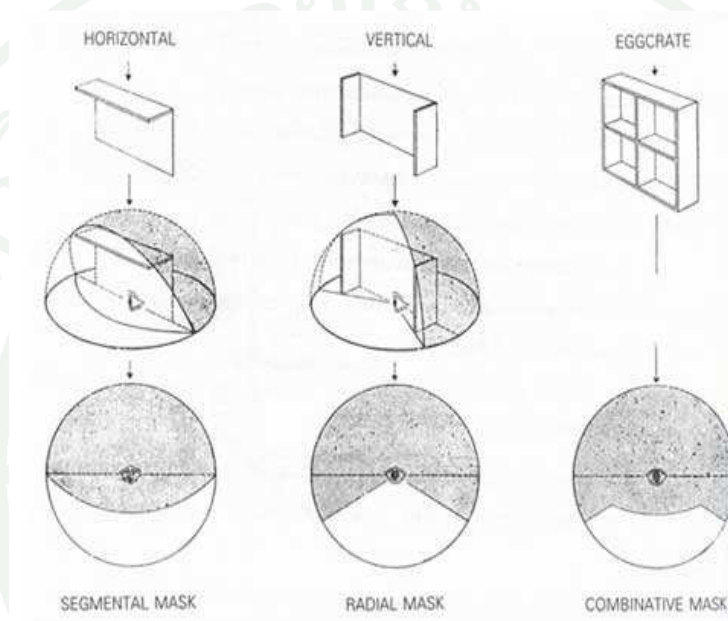
กระทำต่อช่องเปิดนั้นด้วย เพราะลักษณะของการโคจรของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่ตั้ง และทิศทางต่างๆมีความต่างกัน ดังนั้นการเลือกช่องเปิดในทิศทางที่มีค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มีปริมาณมาก เช่น ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ก็จะทำให้ช่องเปิดนั้นรับรังสีจากดวงอาทิตย์มากกว่าช่องเปิดทางด้านอื่นๆ ดังนั้นผู้ใช้อาคารควรหลีกเลี่ยงช่องเปิดขนาดใหญ่และช่องเปิดในทิศทางที่มีค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มีปริมาณมาก แต่หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ก็ควรมีการออกแบบให้ช่องเปิดนั้นได้รับร่มเงา โดยอาจจะใช้แผงบังแดดที่มีประสิทธิภาพในการกันแดดเป็นอย่างดีเข้ามาช่วย

การออกแบบแผงบังแดดให้กับตัวอาคารนั้น เราควรคำนึงถึงหลาย ๆ ส่วนด้วยกัน เนื่องจากแผงบังแดดนั้นไม่ได้มีประโยชน์ในหน้าที่ใช้สอยเพียงอย่างเดียว แต่แผงบังแดดยังมีผลต่อหน้าตาอาคารอีกด้วย ฉะนั้นเมื่อเราจะทำการออกแบบแผงบังแดดจึงควรมีการศึกษารายละเอียดถึงคุณประโยชน์ของแผงบังแดดแต่ละชนิด รวมทั้งควรมีการสำรวจความคิดเห็นของผู้ใช้สอยอาคารต่อแผงบังแดด เพื่อนำผลที่ได้มาออกแบบหรือนำมาปรับปรุงแผงบังแดดเพื่อความเหมาะสมและส่งผลให้เกิดประโยชน์สูงสุด

โดยปกตินั้นการออกแบบแผงบังแดดแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ การออกแบบภายนอกอาคาร และการออกแบบภายในอาคาร การออกแบบแผงบังแดดภายนอกอาคารมีผลดีอย่างมากเพราะตัวชิ้นส่วน ที่ใช้ในการบังแดดนั้นจะต้องร้อนขึ้นและแผ่รังสีออกมา ซึ่งถ้าหากว่าแผงบังแดดนั้นอยู่ภายในอาคารแล้วตัวแผงบังแดดเองจะคลายความร้อนเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศภายในอาคารขึ้นอีก ในกรณีที่แผงบังแดดอยู่ภายนอกอาคารนอกจากการแผ่รังสีจากตัวแผงบังแดดเองจะเข้ามาไม่ถึงแล้ว ยังสามารถให้ลมพัดพาระบายความร้อนจากที่แผงแดดภายนอกได้อีกด้วย (สมสิทธิ์, 2541) ช่องเปิดที่มีแผงบังแดดนั้น เราสามารถแบ่งชนิดของแผงบังแดดออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะการทำงานแผงบังแดดได้ ดังนี้ (1) แผงบังแดดที่สามารถปรับทิศทางได้ (Adjustable Shading Device) (2) แผงบังแดดที่สามารถปรับทิศทางได้อัตโนมัติ (Movable Shading Device) (3) แผงบังแดดที่กำหนดทิศทางและการจัดวางไว้อย่างตายตัว (Fixed Shading Device)

ซึ่งในแต่ละชนิดของแผงบังแดดนั้น เราก็สามารถที่จะแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้อีกตามทิศทางและรูปทรงของแผงบังแดดและการวางตัวของแผงบังแดด ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบได้ดังนี้คือ (1) แผงบังแดดแนวตั้ง (Vertical louvers) (2) แผงบังแดดแนวนอน (Horizontal overhangs) (3) แผงบังแดดแบบตาราง (Egg crate types)

โดยที่แผงบังแดดแต่ละแบบต่างก็สร้างร่มเงาให้กับตัวอาคาร ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ออกไปโดยสามารถอธิบายได้ในรูปแบบเครื่องหมายเงา (Shading mask) โดยแผงบังแดดแนวตั้ง จะให้เครื่องหมายเงารูปร่างเป็นส่วนหนึ่งของวงกลมเป็นเส้นรัศมี (Radial mask) แผงบังแดดแนวนอน จะให้เครื่องหมายเงาเป็นรูปเสี้ยว (Segmental mask) ของวงกลม และแผงบังแดดผสมจะให้ เครื่องหมายเงาจากมุมเงาทางตั้งและทางนอนรวมกัน



ภาพที่ 23 เงาของแผงบังแดดแบบต่างๆ

ที่มา: Olgyay (1967)

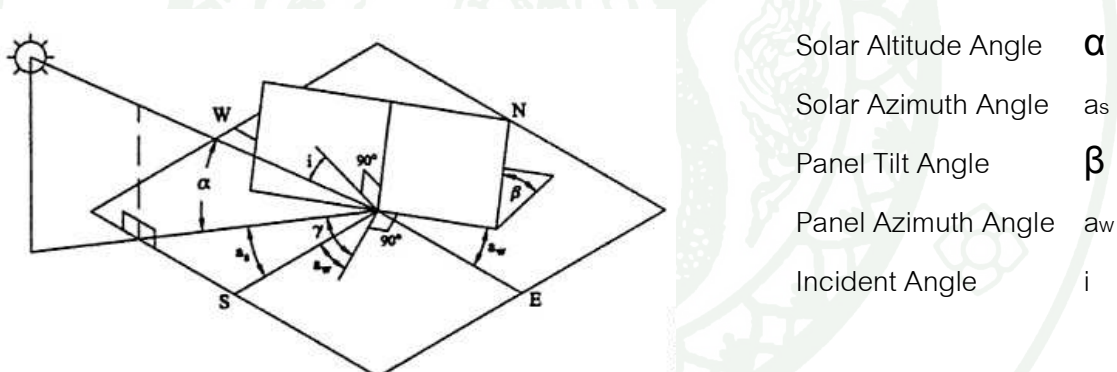
9.1 การออกแบบขนาดและตำแหน่งของแผงบังแดด ในการออกแบบแผงบังแดดนั้นเรา จำเป็นต้องทำความเข้าใจกับ มุมต่างๆที่เกี่ยวกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งมุมต่างๆเหล่านั้น จะ ถูกนำไปใช้ในการออกแบบแผงบังแดด โดยมุมต่างๆที่เกี่ยวกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีดังนี้ คือ

- มุมไต่ (Angle of Declination) คือ มุมที่เกิดขึ้นเนื่องจากดวงอาทิตย์ทำมุมกับเส้น ศูนย์สูตร (หรือ ระนาบของเส้นศูนย์สูตร)

- มุมกระทำ (Altitude Angle) คือ มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำจริงทางแนวตั้งกับระนาบขอบฟ้า อ่านค่าได้ด้วย มุมตัด (Profile Angle) กับมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle)

- มุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) คือ มุมตามแนวระดับที่ดวงอาทิตย์กระทำกับทิศใต้ ซึ่งในตอนเช้าจะหมุนไปทางตะวันออก และตอนบ่ายจะหมุนไปทางทิศตะวันตก Azimuth ในซีกโลกภาคเหนือ เช่น ประเทศไทย คือมุมที่ดวงอาทิตย์หมุนตามแนวระดับเบี่ยงทิศใต้ ส่วน Azimuth ในซีกโลกภาคใต้ คือมุมที่ดวงอาทิตย์หมุนตามแนวระดับเบี่ยงกับทิศเหนือ

- มุมตัด (Profile Angle) คือ มุมที่ระดับของดวงอาทิตย์กระทำในระนาบที่ตั้งฉากกับผนัง หรืออาคาร ค่าของมุมตัด (Profile Angle) จะแตกต่างไปจากค่าของมุมกระทำ (Altitude Angle) และในการออกแบบ ค่ามุมตัด มีความสำคัญมากกว่า มุมกระทำ เพราะนำไปพล็อตหาค่าความลึกของที่บังแดดแน่นอนได้



ภาพที่ 24 มุมของแสงอาทิตย์ทำมุมต่างๆ กับพื้นผิว

ที่มา: D.Goswami, F.Kreith and F.Kreider (2000: 48)

เมื่อได้ทราบถึงมุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จะต้องทำการหาค่าของมุมต่างๆ เหล่านั้น เพื่อนำค่าของมุมต่างๆ ที่ได้มาเป็นข้อมูลในการออกแบบแผงบังแดด และก่อนที่จะออกแบบนั้น ต้องเลือกรวันและเดือนที่ต้องการกันแดดซึ่งขึ้นอยู่กับความร้อนหนาวในฤดูต่างๆ และสภาพลมฟ้าอากาศในเขตความสบาย (Comfort Zone) โดยตรวจสอบดูในแผนภาพ ซึ่งแสดงเขตความสบาย สำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะที่กรุงเทพฯ เมื่อดูจากแผนภาพแสดงเขตความสบาย

(comfort Zone) จะเห็นว่าต้องการการกันแดดตลอดปี (ตริงใจ, 2539:137) และในเครื่องมือหามุมดวงอาทิตย์ จะเห็นว่า ทางด้านทิศใต้แสงแดดจะเข้ามามุมตัด (Profile Angle) ต่ำสุดในเดือนธันวาคม จึงมักเลือกเวลาออกแบบในเดือนธันวาคม เมื่อได้วันและเดือนแล้ว ควรจะเลือกเวลาที่ต้องการจะกันแดด โดยดูจากเวลาที่จะใช้สอยอาคาร ซึ่งอาคารแต่ละชนิดต่างก็มีเวลาการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปเมื่อได้วันและเวลาแล้ว ทำการออกแบบโดยอาศัยแผนภาพแสดงตารางโคจรของดวงอาทิตย์ มาหามุมต่างๆดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ก็จะเริ่มทำการออกแบบแผงบังแดดโดยการออกแบบแผงบังแดด แบ่งลักษณะการออกแบบออกได้เป็น 2 อย่าง คือ แผงบังแดดตามแนวนอน เช่น กันสาด ชายคา เป็นต้น และแผงบังแดดแนวตั้ง และในกรณีที่ไม่สามารถใช้แผงบังแดดแนวนอน หรือแนวตั้งเพียงอย่างเดียว (ทั้งนี้โดยพิจารณาจากมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำว่าไม่วิกฤติจนเกินไป จนการออกแบบกระทำไม่ได้) ซึ่งในกรณีหลังนี้จะต้องใช้วิธีการออกแบบผสมระหว่างแผงบังแดดตามแนวตั้งกับตามแนวนอน (สมสิทธิ์, 2541)

9.2 การออกแบบแผงบังแดดตามแนวนอนหรือแนวระดับ (Horizontal overhangs) การออกแบบแผงบังแดดแบบตามแนวนอนหรือแนวระดับนี้ ก็คือการออกแบบกันสาด หรือชายคานั้นเอง ให้สามารถป้องกันแสงแดดส่องเข้ามาผ่านประตู หรือหน้าต่าง ซึ่งประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับขนาด และตำแหน่งของแผงบังแดด

9.2.1 ความกว้างของแผงบังแดดแนวนอน การหาความกว้างของการยื่นแผงบังแดด จะต้องได้ค่าของมุมตัด (Profile Angle) เสียก่อนโดยจะต้องรู้ว่าจุดวิกฤติในการออกแบบอยู่ที่วันและเวลาใด ที่จะใช้อาคาร แล้วเอาค่าของมุมตัด (Profile Angle) มาหาความกว้าง และใช้ค่ามุมเบี่ยง (Bearing Angle) นำมาหาความยาว ซึ่งหลักการในการป้องกันแสงแดดของที่บังแดดตามแนวนอน คือ ช่องเปิดของผนังอาคารจะต้องป้องกันมุมตัด (Profile Angle) ที่มีค่าน้อยที่สุดทางทิศนั้น ซึ่งถ้าต้องการป้องกันแสงแดดตลอดทั้งปีจะต้องใช้ค่าของมุมตัดที่น้อยที่สุดของตลอดทั้งปี

9.2.2 ความยาวของแผงบังแดดแนวนอน นอกจากความยาวของการยื่นแผงบังแดดหรือชายคาออกไปแล้ว ยังต้องพิจารณาความกว้างของแผงบังแดดด้วย มิฉะนั้นแสงแดดจะสาดเฉียงลอดด้านข้างเข้าไปในบริเวณที่ต้องการมิให้แสงแดดเข้าไปกระทบได้ โดยการหาความยาวของแผงบังแดดนั้น เราจะต้องได้ค่าของมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) เสียก่อน ซึ่งต้องเป็นจุดวิกฤติของวัน และเวลาใด ที่จะใช้อาคารหรือของตลอดทั้งปี และในการหา นั้นจะต้องหาทั้งจาก

ทางด้านซ้ายของช่องเปิดและทางด้านขวาของช่องเปิดอีกด้วยเนื่องจากบางครั้งมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) ของช่องเปิดของด้านทั้งสองอาจมีค่าที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางของช่องเปิดนั้นๆ

9.3 การออกแบบแผงบังแดดตามแนวตั้ง (Vertical louvers) ในบางกรณีการยื่นแผงบังแดดตามแนวระดับหรือชายคาแต่เพียงอย่างเดียวไม่สามารถจะป้องกันแสงแดดได้ ทั้งนี้จะพบเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมตัด (Profile Angle) มีค่าน้อยมาก (แสดงว่าดวงอาทิตย์อยู่เฉียด ๆ ขอบฟ้า) หรือเมื่อดวงอาทิตย์ทำมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) มาก ๆ ในเวลาเช้ามากและบ่ายมาก ดวงอาทิตย์อยู่ต่ำและมีมุมเบี่ยง (Azimuth หรือ Bearing Angle) มาก จนทำให้ต้องยืดความกว้างของแผงบังแดดตามแนวระดับออกไปด้านข้างเกินปกติไปมาก เราอาจใช้แผงบังแดดทางแนวตั้งในการกันแดดแทน

9.3.1 ขนาดความลึกและทิศทางของแผงบังแดดแนวตั้ง ขนาดความลึก และ ทิศทางของแผงบังแดดตามแนวตั้ง ได้จากค่าของมุมเบี่ยงของดวงอาทิตย์ (Azimuth หรือ Bearing Angle) โดยจะต้องหาสองค่าคือ ในเวลาที่เข้าที่ที่สุด (ที่เริ่มต้องการกันแดด) และสายที่สุดหรือบ่ายมากที่สุด (ที่ไม่ต้องการกันแดด) ซึ่งสองเวลานี้มีค่ามุมเบี่ยงมากที่สุดทางทิศตะวันออก และ ทิศตะวันตก

9.3.2 ความสูงของแผงบังแดดตามแนวตั้ง ขนาดความสูงจะหาได้โดยใช้มุมตัด (Profile Angle) ของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งสูงสุดซึ่งในจุดบนสุดของหน้าต่างในระหว่างเวลาที่ต้องการร่มเงา สิ่งพึงระวังของแผงบังแดดตามแนวตั้ง คือ มุมตัด (Profile Angle) ของดวงอาทิตย์ เพราะถ้ามุมตัดมีค่ามาก มุมก็ยิ่งสูง แผงบังแดดตามแนวตั้งก็จะต้องสูงขึ้นตามไปด้วย

9.4 การออกแบบอุปกรณ์บังแดด ควรใช้อุปกรณ์บังแดดแบบภายนอก เพราะมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารดีกว่าแบบภายใน ลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมกับทิศทางต่างๆ มีดังนี้

- ทิศใต้ (S) ควรใช้อุปกรณ์บังแดดแบบผสม และเพิ่มชายคายื่นยาวช่วยบังรังสีอาทิตย์ทั้งในมุมสูงและต่ำ

- ทิศตะวันออก (E) และตะวันตก (W) ใช้แบบแนวตั้งและปรับมุมได้
- ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ใช้แบบตาราง
- ทิศเหนือ (N) จะไม่ได้รับรังสีอาทิตย์โดยตรง ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้อุปกรณ์บังแดดมากนักอาจใช้เพียงแผงกันแดดแนวตั้งยื่นออกมาเล็กน้อยเพื่อบังรังสีอาทิตย์ในช่วงเช้าและเย็น

การติดตั้งกันสาดหรือแผงกันแดดควรหลีกเลี่ยงสะพานความร้อน โดยให้มีจุดเชื่อมต่อระหว่างกันสาดกับตัวอาคารให้น้อยที่สุด หรือให้มีช่องว่างระหว่างกันสาดกับตัวอาคารเพียงพอเพื่อให้สามารถระบายความร้อนได้ดีการใช้อุปกรณ์บังแดดภายในอาคารไม่สามารถลดปริมาณความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่อาคารได้ ควรพิจารณาใช้เฉพาะในกรณีที่ต้องการช่วยลดแสงจ้า (Glare) และช่วยให้เกิดความสบายตาเท่านั้น

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ คือ (1) ข้อมูลพื้นฐานทฤษฎีชีวกลศาสตร์ (2) ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิดในการออกแบบ (3) ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ (4) ทฤษฎีเกี่ยวกับพื้นฐานของการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และแกนเอียงของโลก (5) ทฤษฎีเกี่ยวกับพื้นฐานของแสงสว่าง (6) ทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) (7) ทฤษฎีเกี่ยวกับสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) (8) ระบบวัสดุและการออกแบบกรอบอาคาร (9) ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบอุปกรณ์บังแดด มีความสอดคล้องกับงานวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสนับสนุนกระบวนการแนวความคิดในการออกแบบเปลือกอาคาร แนวทางการทดสอบประสิทธิภาพเปลือกอาคาร และแนวทางการเลือกวัสดุของเปลือกอาคาร เพื่อให้เกิดต้นแบบที่สามารถทดสอบในสภาวะแวดล้อมจริงได้

10. งานอาคารตัวอย่างและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

10.1 งานอาคารตัวอย่าง

10.1.1 Intelligent Shading System Unfurled In Abu Dhabi Al Bahar Towers. แนวความคิดใหม่ในการออกแบบสถาปัตยกรรมในอาบูดาบี นำความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมของโลกมาใช้ในการออกแบบ และยังสร้างแรงบันดาลใจให้กับงานวิจัยในอนาคต

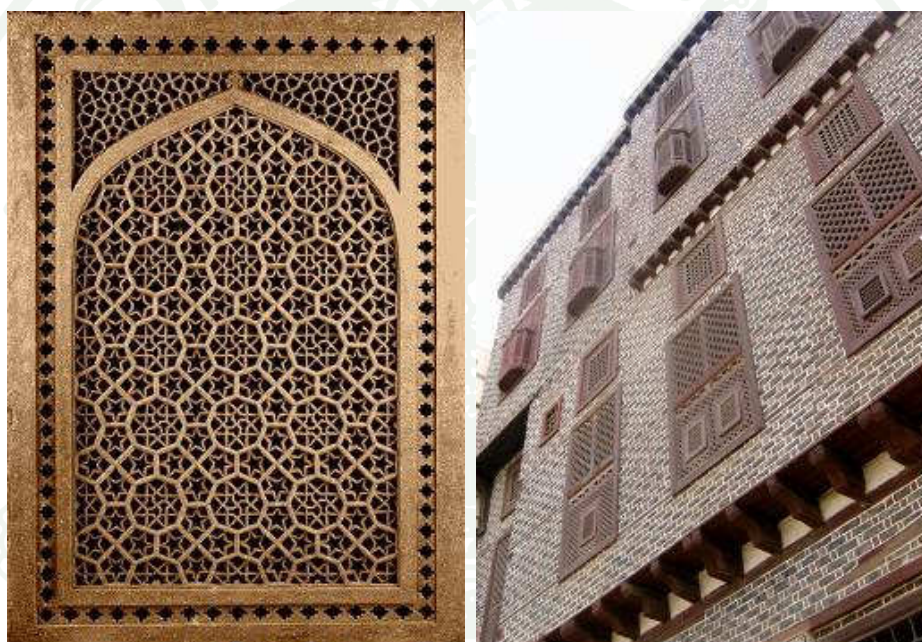


ภาพที่ 25 การจำลองภาพ Abu Dhabi Al Bahar Towers.

ที่มา: Inhabitat (2555)

Al Bahar Towers เป็นที่พักอาศัยและที่ตั้งสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน เป็นผลงานของบริษัทสถาปนิก Aedas ประเทศอังกฤษ ความต้องการในการออกแบบ คือ ต้องการอาคารสำนักงาน เป็นอาคารสูงที่มีรูปลักษณะที่ทันสมัย ส่วนแรงบันดาลใจในการออกแบบ ได้มาจากอุปกรณ์แบบดั้งเดิมของศาสนาอิสลามที่มีลักษณะเป็นตาข่าย เรียกว่า Mashrabiya ซึ่งมีลวดลายเป็นเรขาคณิตที่น่าสนใจ จึงกลายเป็นส่วนที่ห่อหุ้มอาคาร เพิ่มความน่าสนใจให้กับตัวอาคารและช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารอีกด้วย Al Bahar Towers มีอาคารสูง 2 อาคาร แบ่งเป็นสำนักงาน 25 สำนักงาน รองรับพนักงานมากกว่า 1,000 คนเป็นสถานที่ที่สามารถสร้างแรงบันดาลใจในการทำงานและอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

เพื่อให้เกิดความสอดคล้องในงานออกแบบ ตัวที่ดูเหมือนรังไหมต้องออกแบบให้อยู่บนพื้นฐานของรูปทรงเรขาคณิต แล้วค่อยปรับแต่งผ่านเครื่องมือที่ช่วยออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับอัตราส่วนของผนังและพื้นที่อาคาร ตัว Mashrabiya เป็นระบบอัตโนมัติตอบสนองกับแสงแดด ซึ่งทำหน้าที่ลดความเข้มของแสงแดดและแสงจ้าเข้าสู่ตัวอาคาร ระบบจะขับเคลื่อนด้วยพลังงานทดแทนที่ได้มาจากการติดตั้งแผงโซลาเซลล์ที่หลังคา ซึ่งหันหน้าไปทางทิศใต้ของแต่ละอาคาร แผงโซลาเซลล์แต่ละอาคารสามารถสร้างพลังงานได้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมดที่ได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียน



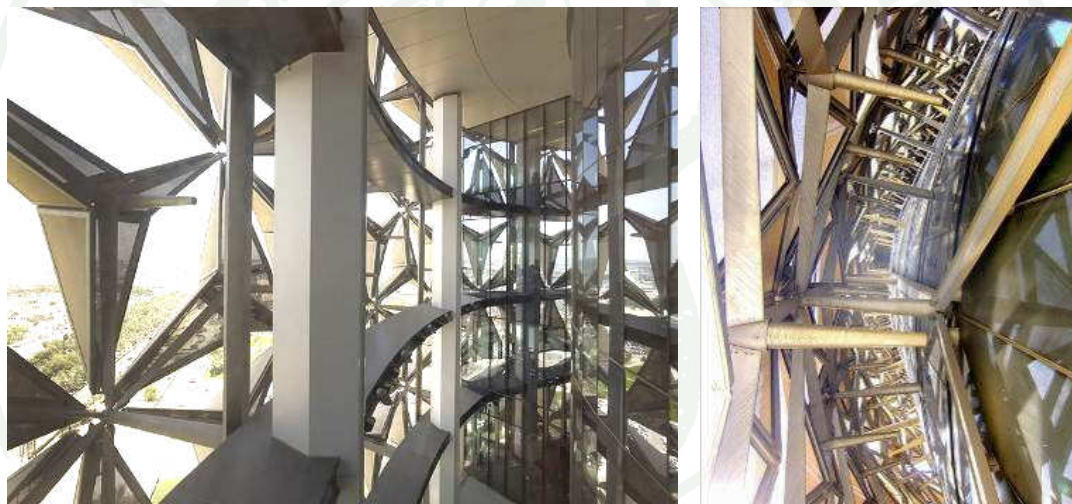
ภาพที่ 26 ตัวอย่างของ Mashrabiya ซึ่งเป็นแนวทางการออกแบบ Facade

ที่มา: Saudi Arabia (2010)



ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบการทำงานของ Facade

ที่มา: Freshome (2555)



ภาพที่ 28 โครงสร้างและงานระบบของ Facade

ที่มา: Freshome (2555)

อาคารตัวอย่างนี้สอดคล้องกับงานวิจัย คือ การใช้เปลือกอาคารเพื่อช่วยเพิ่มความน่าสนใจให้กับตัวอาคารและช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารอีกด้วย แนวทางการออกแบบที่ใช้การลอกเลียนลักษณะของ ตาข่าย ที่เป็นวัฒนธรรมความเป็นอยู่เกี่ยวกับอุปกรณ์แบบดั้งเดิมของศาสนาอิสลามที่เรียกว่า Mashrabiya ซึ่งมีลวดลายเป็นเรขาคณิต มาปรับใช้เป็นเปลือกอาคารเพื่อทำหน้าที่ลดความเข้มของแสงแดดและแสงจ้าเข้าสู่ตัวอาคาร

10.1.2 The King fahad National library

แนวความคิดของอาคารนี้เป็นการให้ความสำคัญกับวัฒนธรรมของประเทศซาอุดีอาระเบีย ห้องสมุดแห่งชาติ The King fahad แสดงให้เห็นถึงความเป็นจุดศูนย์กลาง ความเปลี่ยนแปลงของเมือง Olaya และรูปแบบของอาคารก็มีความโดดเด่นกว่าอาคารทั่วไป อาคารใหม่ใจกลางจัตุรัสในสวนสาธารณะแห่งนี้มีลักษณะอาคารที่เปิดกว้างรับแสง ตัวอาคารเชื่อมโยงกับพื้นที่ของเมืองด้วยขนาดของตัวเอง



ภาพที่ 29 การจำลองภาพ The King Fahad National Library

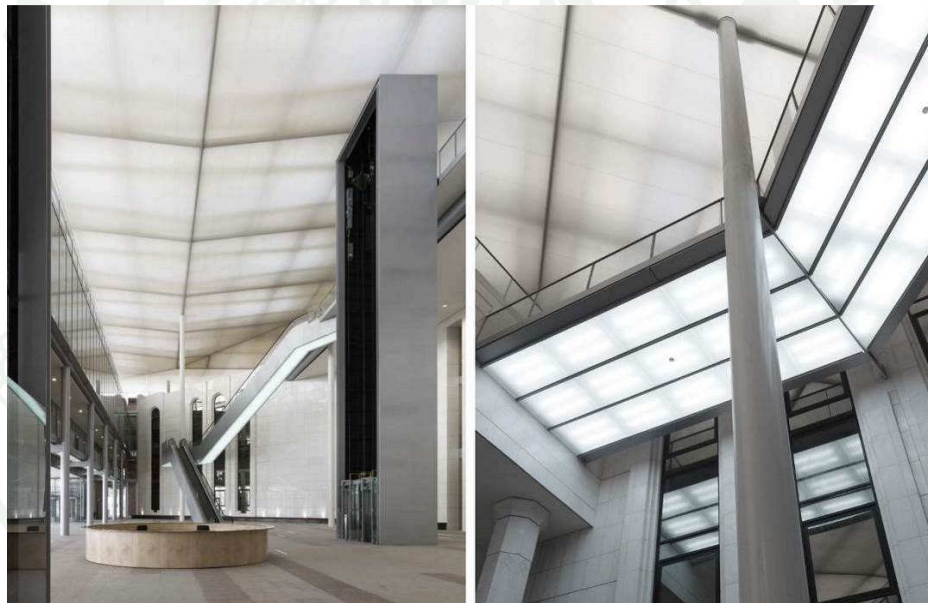
ที่มา: AASA (2014)

Gerber Architekten สถาปนิกได้ออกแบบสวนตลอดจนบริเวณโดยรอบ เพื่อให้ห้องสมุดแห่งนี้กลายเป็นส่วนหนึ่งของเมือง ดังนั้น ห้องสมุดแห่งนี้จึงกลายเป็นศูนย์กลางของเมืองและสามารถเชื่อมต่อกับถนนสายหลักคือ ถนน King fahad และถนน Olaya เข้าด้วยกัน จัตุรัสของเมืองนี้ถูกสร้างขึ้นที่ถนน Olaya สามารถให้คนเดินเท้าเข้าถึงได้โดยตรงและถูกสร้างให้ น่าสนใจอย่างที่สุดแม้จะมีการจราจรที่หนาแน่นก็ตาม และได้สะท้อนให้เห็นถึงสภาพแวดล้อมของเมือง พื้นที่ว่างเปล่าที่ถูกละเลยถูกออกแบบใหม่และสร้างอาคารให้กลายเป็นโอเอซิส ซึ่งกลายเป็นแหล่งพักผ่อน สันทนาการต่างๆ แห่งใหม่ในย่านนี้ อาคารใหม่แห่งนี้ถูกสร้างให้ล้อมรอบอาคารเก่าไว้ในอาคารเดิมมีลักษณะเป็นทางเดิน มียอดโดมตรงกลาง โครงสร้างอาคารเก่าถูกรวมไว้ในภายในและโดมเก่าถูกเปลี่ยนจากคอนกรีตเป็นโครงสร้างเหล็กและกระจก และยอดโดมกลายเป็นสัญลักษณ์ทางวัฒนธรรมของห้องสมุดแห่งนี้ ในอดีตหลังคาทั้งหมดของอาคารมีขนาดกว้างขวาง ปัจจุบันได้ถูกเปลี่ยนให้เป็นหลังคาโปร่งแสงช่วยให้บริเวณที่อ่านหนังสือมีปริมาณแสงที่เพียงพอเพิ่มความน่าสนใจ ส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ทำให้ภายในดูมีแสงเปล่งประกายเหมือนอยู่ในหีบสมบัติ ห้องสมุดแห่งนี้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้ได้ถึงชั้น 3 ของอาคารใหม่โดยใช้สะพานในการเชื่อมต่อกับพื้นที่นั่งอ่านหนังสือ โถงทางเข้าหลักอยู่ที่ชั้นล่าง มีการจัดนิทรรศการเกี่ยวกับบ้าน ร้านอาหาร และร้านหนังสือ ห้องสมุดแห่งนี้มีสวนเฉพาะสำหรับผู้หญิงเท่านั้นและสามารถเข้าถึงได้โดยไม่ต้องผ่านส่วนอื่นของอาคาร จะมีให้บริการในชั้นแรกทางปีกด้านทิศใต้ของอาคารใหม่ องค์ประกอบสำคัญของเปลือกอาคารได้รับการพัฒนาขึ้นโดยเฉพาะสำหรับการสร้างอาคารใหม่ มันเป็นส่วนต่อหุ้มเป็นกันสาดของอาคาร ทำขึ้นจากสิ่งทอมีลักษณะที่ห่อหุ้มขมเป็ยกปูนโดดเด่นด้วยการเล่นกับช่องเปิด-ปิด แทรกด้วยเยื่อใยสีขาว โครงสร้างรับเป็นแบบ 3 มิติรับแรงดึง โดยใช้โครงสร้างสายเคเบิล ทำหน้าที่บังแดด และกันสาดนี้ถูกตีความหมายมาจากเต็นท์ของชาวอาหรับ แต่ใส่ความทันสมัยของเทคโนโลยีเข้าไป ลำดับของความเก่า-ใหม่ จะสร้างลักษณะสถาปัตยกรรมที่เหมือนกันและมีชื่อเสียง โดยมีการออกแบบที่มีลักษณะเฉพาะ ในเวลากลางคืนเปลือกอาคารสามารถเรืองแสงโดยการเปลี่ยนสี กลายเป็นอาคารที่แสดงวัฒนธรรมของเมือง



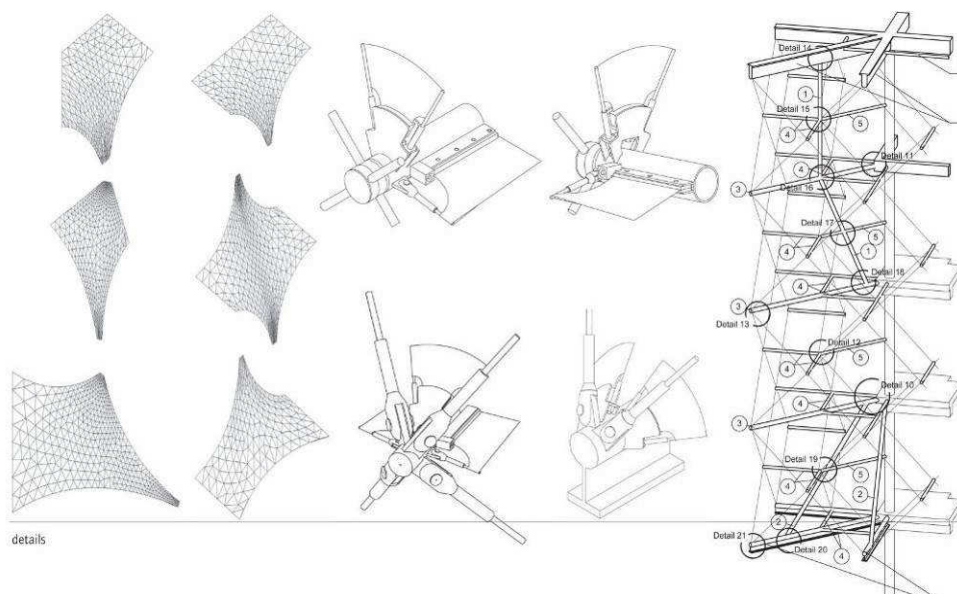
ภาพที่ 30 เต็นท์ของชาวอาหรับ

ที่มา: G. Hadas (2006)



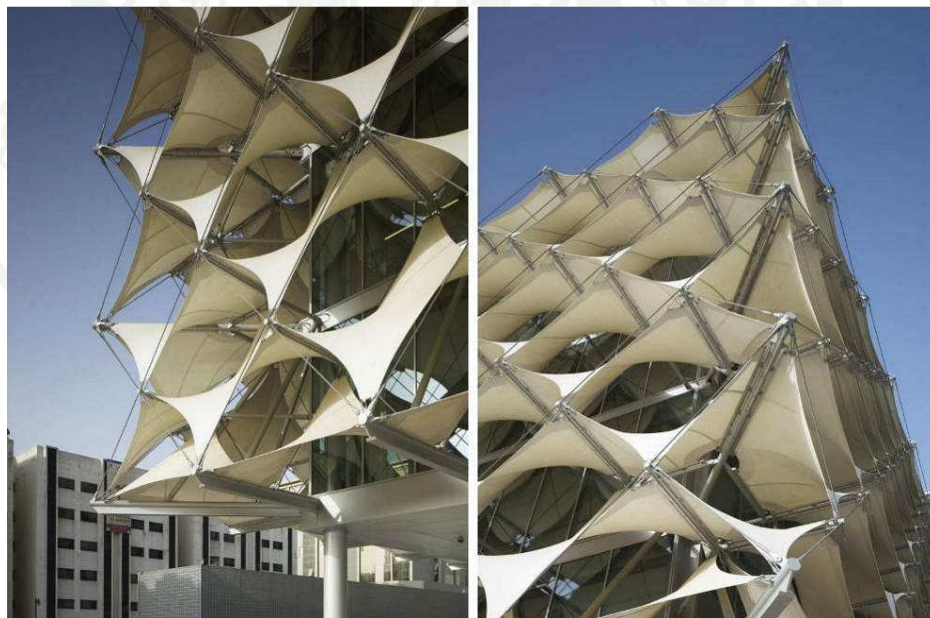
ภาพที่ 31 การตกแต่งภายใน The King fahad National library

ที่มา: AASA (2014)



ภาพที่ 32 โครงสร้างของ Facade

ที่มา: AASA (2014)



ภาพที่ 33 งานระบบของ Facade

ที่มา: AASA (2014)

อาคารตัวอย่างนี้สอดคล้องกับงานวิจัย คือ การใช้เปลือกอาคารและโครงสร้างเคเบิลที่มีลักษณะเป็นเส้นนี้ มีการส่องผ่านของพลังงานแสงอาทิตย์เพียงร้อยละ 7 ในเวลาเดียวกัน มันสามารถมองเห็นได้ทั้งด้านวนและด้านนอก ต่อให้อุณหภูมิด้านนอกสูงถึง 50 องศาเปลือกอาคารนี้ก็สามารถรับทิศทางแสงของดวงอาทิตย์ในท้องถิ่นได้อย่างดี โดยใช้วิธีการที่ซับซ้อน คือ การหักเหแสงแบบสามมิติ ทั้งแสงที่ทะลุเข้าไปและแสงจากความโปร่งใส เปลือกอาคารนี้สามารถระบายอากาศและระบายความร้อนของอาคารโดยวิธีการระบายในแต่ละชั้นของตัวมันเอง ด้วยวิธีนี้จะสามารถสร้างสภาวะน่าสบายให้เพิ่มมากขึ้น และใช้พลังงานลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

10.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นรพล (2550) ได้ศึกษา การออกแบบคอมไฟ : ความมั่นคงใจจากรังผึ้ง การวิจัยในครั้งนี้มี วัตถุประสงค์ในการออกแบบเพื่อนำเสนอคอมไฟโดยมีแนวความคิดจากการนำเอาลักษณะหกเหลี่ยมและรังผึ้งมาออกแบบเป็นรูปทรงของคอมไฟตั้งพื้น คอมไฟตั้งโต๊ะ และคอมไฟห้อย นำไปใช้ในการตกแต่งอาคารบ้านพักที่อยู่อาศัย เพื่อสร้างบรรยากาศและสามารถใช้สอยในชีวิตประจำวันเป็นการตอบสนองความต้องการของคนปัจจุบัน พบว่า สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์คอมไฟจำนวน 3 รูปแบบได้แก่ คอมไฟตั้งพื้นจำนวน 3 ชิ้น คอมไฟตั้งโต๊ะจำนวน 3 ชิ้น และคอมไฟห้อยจำนวน 3 ชิ้น ใช้เนื้อดิน พอร์ตแลนด์และขึ้นรูปด้วยการหล่อกลวง เคลือบด้วยน้ำเคลือบใสเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชั่นซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโครงการ

วรางคณา (2553) ได้ศึกษา การพัฒนารูปทรงอุปกรณ์กันแดดที่มีประสิทธิภาพสำหรับช่องแสงด้านทิศใต้ในประเทศไทย การวิจัยในครั้งนี้มี วัตถุประสงค์ เพื่อการออกแบบรูปทรงอุปกรณ์กันแดดที่สอดคล้องกับทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์และมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดรังสีตรงเข้าสู่อาคาร ในการศึกษาได้กำหนดให้อุปกรณ์กันแดดเป็นชนิดติดตั้งภายนอกและใช้สำหรับช่องแสงด้านทิศใต้ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร พบว่า อุปกรณ์กันแดดนี้มีความสามารถป้องกันรังสีตรงได้เกือบตลอดทั้งปี ยกเว้นในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อ้อมไปทางใต้มากที่สุด (วันที่ 21 ธันวาคม (Winter Solstice)) ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวจะมีแสงส่องตรงเข้าสู่ภายในอาคารเพื่อเพิ่มความอบอุ่นแก่อาคารได้ในช่วงเวลาเช้าและเย็นซึ่งความเข้มแสงมีปริมาณต่ำ โดยยังคงสามารถกันแดดจากรังสีตรงในช่วงเวลา 10.00 – 14.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ความเข้มของแสงมีปริมาณสูง ซึ่งจะเป็นผลให้สามารถลดความร้อนจากรังสีตรงที่จะเข้าสู่อาคารได้ ในการวัดความส่องสว่างของแสงจะ

เห็นว่าอุปกรณ์กันแดดนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแสงในอาคาร เนื่องจากสามารถลดปริมาณของแสงจ้าที่เกิดบริเวณใกล้ช่องแสงได้

ประพทุทธิ (2544) ได้ศึกษา แนวความคิดในการเลือกใช้เปลือกอาคารของอาคารสูงประเภทอาคารสำนักงาน การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแนวความคิดการเลือกใช้เปลือก อาคารของอาคารสูงประเภทอาคารสำนักงาน ตลอดจนวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียและการบำรุงรักษาการเลือกใช้เปลือกอาคารของอาคารสูงที่เหมาะสมกับทิศทางการเก็บข้อมูลผู้วิจัย ได้ดำเนินการวิจัยที่เป็นเอกสารตำราและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ผลการวิจัยสรุปว่า การเลือกใช้เปลือกอาคารสูงระบบผนังเบา มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้กับสถาปัตยกรรมเขตร้อน ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการ ในด้านต่าง ๆ ของอาคารสูงได้อย่างครบถ้วน และควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการถ่ายเท ความร้อนต่ำผิวเรียบ การเลือกใช้กระจก ควรเลือกใช้กระจกที่มีค่าสัมประสิทธิ์การ บังแดดที่ดี เพื่อลดปริมาณแสงโดยตรง และควรเพิ่มความหนาหรือใช้กระจก 2 ชั้น ในกรณีต้องการช่องเปิดด้านทิศตะวันตก เพื่อหน่วงเหนี่ยวความร้อน ลดผลกระทบกับผู้ใช้ ภายในอาคาร และหลีกเลี่ยงการเกิดเงาบนผิวกระจกเพื่อมิให้เกิดปัญหาการแตกร้าว แผงกันแดด เนื่องจากแรงลมบนอาคารสูงมีมาก จึงเป็นการยากในการติดตั้งแผงกันแดด

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีความสอดคล้องกับงานวิจัย คือ แนวทางการนำแนวความคิดจากนวัตกรรมการเลียนแบบความหลากหลายและความมหัศจรรย์ของธรรมชาติ หรือชีวลอกเลียน ซึ่งเป็นการออกแบบรูปทรงและโครงสร้างที่เลียนแบบธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ มีการศึกษาการออกแบบรูปทรงอุปกรณ์กันแดดที่สอดคล้องกับทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดรังสีตรงเข้าสู่อาคาร และแนวความคิดการเลือกใช้เปลือกอาคารของอาคารสูงประเภทอาคารสำนักงาน ตลอดจนวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียและการบำรุงรักษาการเลือกใช้เปลือกอาคารของอาคารสูงที่เหมาะสม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยนี้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาแผงบังแดดภายนอกอาคารที่สามารถปรับทิศทางและให้ความสำคัญกับอาคารด้านทิศใต้จึงพิจารณาออกแบบลักษณะของแผงบังแดดเป็นแบบผสม แผงบังแดดนี้จะถูกติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร เพราะนอกจากการแผ่รังสีจากตัวแผงบังแดดเองจะเข้ามาไม่ถึงแล้ว ยังสามารถให้ลมพัดพาระบายความร้อนจากที่แผงแดดภายนอกได้อีกด้วย ในการพัฒนารูปทรงของเปลือกอาคารคำนึงถึงเรื่องช่องเปิดของตัวเปลือกอาคารและทิศทางของแสงแดด จากนั้นนำรูปแบบที่มีความเหมาะสมไปทดสอบโดยสร้างกล่องทดสอบเพื่อทดสอบเปรียบเทียบด้านความส่องสว่างและอุณหภูมิในสภาวะจริง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยและวิธีการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัย

1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเปลือกอาคาร

- กระดาษแข็ง
- กระดาษกาว, เทปใส
- ที่เย็บกระดาษ
- กรรไกร
- กาว
- ปากกา, ดินสอ



ภาพที่ 34 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาเปลือกอาคาร

1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเรื่องแสงเบื้องต้น

- กล้องทดสอบ
- สเกล
- หลอดไฟ
- กาว



ภาพที่ 35 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเรื่องแสงเบื้องต้น

1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาโครงสร้างเปลือกอาคาร

- แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด
- โครงร่วม
- ไม้ไผ่กริม
- นีลิต ขนาดเล็ก
- แท่งพลาสติก
- เชือกผูกกล่องไปรษณีย์

1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างหุ่นจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

1.4.1 ต้นแบบเปลือกอาคารใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นแผ่นเปลือกอาคารขนาด 1.00 x 1.00 ม. จำนวน 2 ชุด ใช้แผ่นอะลูมิเนียม โครงสร้างใช้เหล็กเส้นขึ้นรูปตามโครงสร้างที่ต้องการ



(1)



(2)

ภาพที่ 36 วัสดุขึ้นรูปต้นแบบเปลือกอาคาร

- (1) แผ่นอะลูมิเนียม แบ่งเป็น 25 ชิ้น ขนาด 20x20 ซม.
 (2) โครงสร้างเหล็กเส้น

1.5 กล้องทดสอบ ขนาด 1.00x1.00x1.00 ม.(กxยxส) สูงจากพื้น 50 ซม.จำนวน 3 กล้อง วัสดุของกล้องโครงสร้างใช้เหล็กฉาก ขนาด 2 นิ้ว ด้านนอกใช้แผ่นสมาร์ทบอร์ดหนา 8 มม. 5 ด้าน ด้านหน้ากระจกใส หนา 6 มม.ด้านในกรุฉนวนโฟม หนา 1 นิ้ว ภายนอกกล้องทาสีขาว ภายในทาสีดำ ในการสร้างกล้อง เพื่อทดสอบการกรองแสงและอุณหภูมิค่านึงถึงผลกระทบจากตัวแปรอื่นๆ จึงกรุฉนวนโฟมและทาสีดำด้านใน เพื่อลดการสะท้อนของแสงและอุณหภูมิภายใน ดังนี้

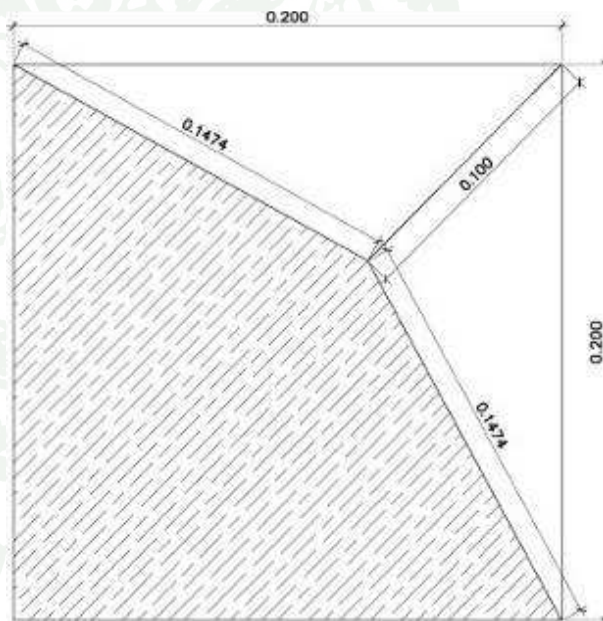
1.5.1 กล้อง A กล้องทดสอบที่ไม่มีการติดตั้งต้นแบบเปลือกอาคาร

1.5.2 กล้อง B กล้องเปิด 30 ซม. หรือคิดเป็นสัดส่วนของช่องเปิดเท่ากับ 65 % ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง (ระยะที่สามารถเปิดได้มากที่สุดของแบบจำลอง 1.00x1.00 ม.

1.5.3 กล้อง C กล้องเปิด 15 ซม. หรือคิดเป็นสัดส่วนของช่องเปิดเท่ากับ 30 % ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง (ระยะที่สามารถเปิดได้ปานกลางของแบบจำลอง 1.00 x 1.00 ม.



(1)



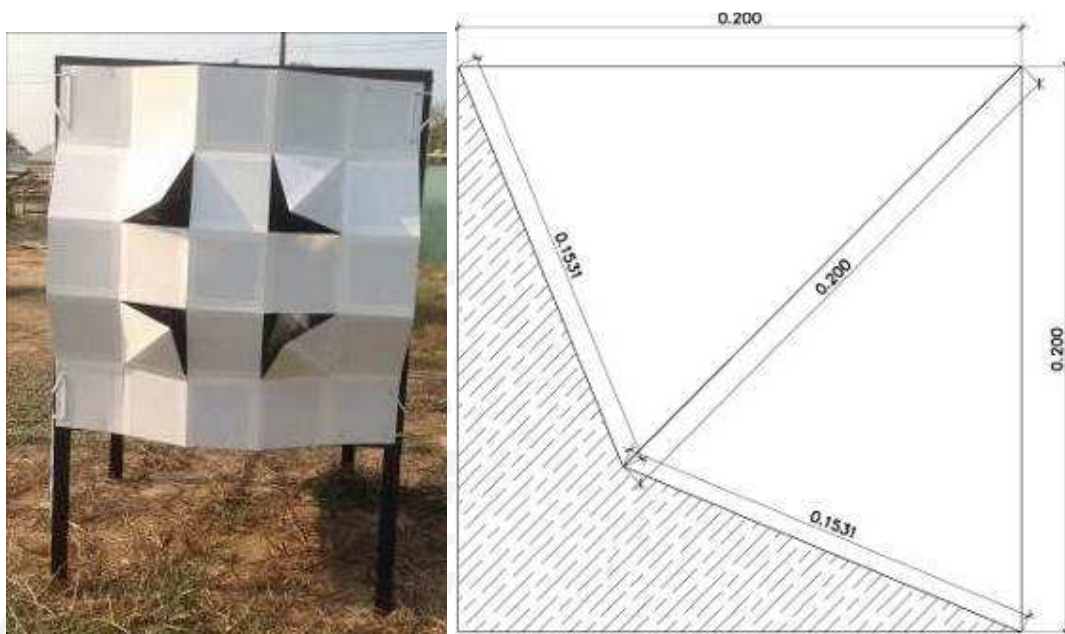
(2)

ภาพที่ 37 กล้องทดสอบและต้นแบบเปลือกอาคารเพื่อการทดสอบ

(1) กล้อง A

(2) กล้อง B

(3) กล้อง C



(3)

ภาพที่ 37 (ต่อ)

1.6 กำหนดเครื่องมือในการวัดและบันทึกผล อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลมี 2 ชนิด คือ อุปกรณ์บันทึกข้อมูลด้านความส่องสว่างและอุปกรณ์บันทึกอุณหภูมิ

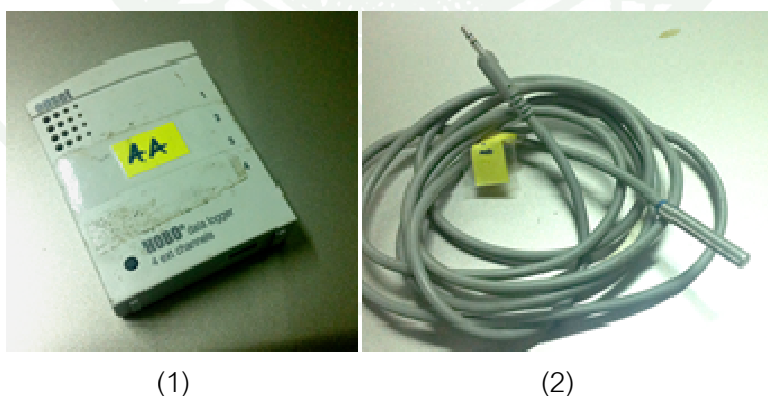
1.6.1 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลด้านค่าความส่องสว่าง คือ Hobo micro station data logger ใช้ทดสอบในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ชุดอุปกรณ์ประกอบไปด้วย ตัวเครื่องมือมีขนาด กว้าง 8.9 ซม. x ยาว 11.4 ซม. ลึก x 5.4 ซม. หน่วยความจำในการจัดเก็บข้อมูล 512 กิโลไบต์ ใช้แบตเตอรี่อัลคาไลน์ ขนาด AA มาตรฐาน จำนวน 4 ก้อน รองรับการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง จำนวน 4 ช่อง ช่วงความสามารถในการบันทึกปริมาณแสง 0-1280 W/m² ช่วงความยาวคลื่น 300-1100 นาโนเมตร ค่าความคลาดเคลื่อน 10 W/m²



ภาพที่ 38 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลด้านค่าความส่องสว่าง

- (1) เครื่อง HOB0 MICRO STATION DATA LOGGER,
 (2) เซ็นเซอร์เก็บข้อมูลด้านปริมาณความส่องสว่าง

1.6.2 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิ คือ HOB0 U12 External Channel Data Logger ใช้ทดสอบในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง ชุดอุปกรณ์ประกอบด้วย ตัวเครื่อง ขนาด กว้าง 5.8 x ยาว 7.4 x ลึก 2.2 ซม. น้ำหนัก 46 กรัม ช่วงความสามารถในการบันทึกอุณหภูมิ -20 ถึง 70°C ช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 0-95% RH หน่วยความจำ 64 กิโลไบต์ รองรับการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ จำนวน 4 ช่อง ช่วงความสามารถในการบันทึกอุณหภูมิในอากาศ -40 ถึง 100°C ค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$



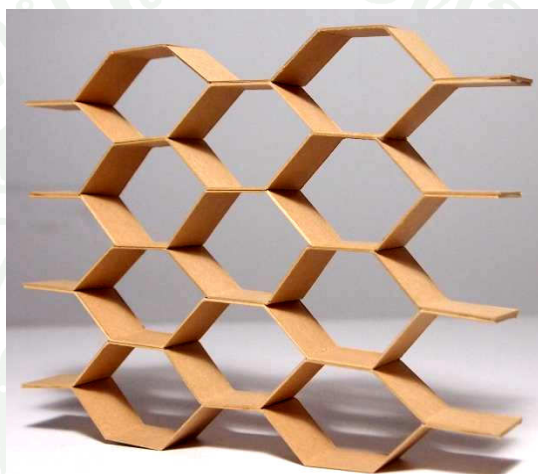
ภาพที่ 39 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลด้านอุณหภูมิ

- (1) เครื่อง HOB0 U12 External Channel Data Logger
 (2) เซ็นเซอร์เก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิ

2. วิธีทำการวิจัย

2.1 การพัฒนาเปลือกอาคารเพื่อการกันแดดด้วยการสร้างแบบจำลอง ในขั้นตอนนี้มีแนวคิดและขั้นตอนการพัฒนา ดังต่อไปนี้

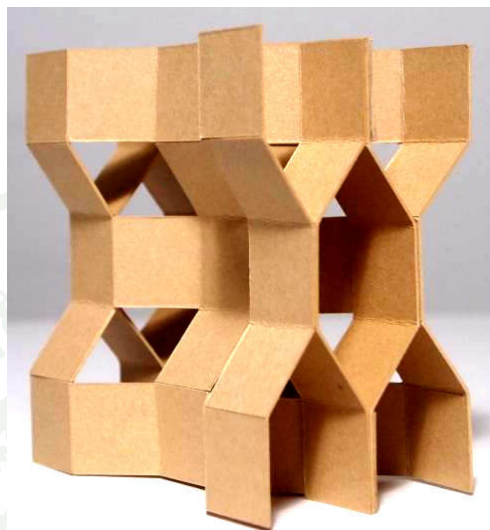
2.1.1 รูปแบบรังผึ้ง



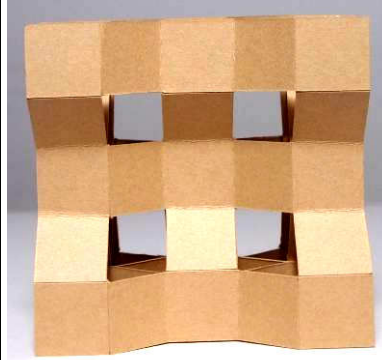


แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
1	พัฒนารูปทรงเปลือกอาคารให้ใกล้เคียงกับรูปแบบของรังผึ้ง ซึ่งจะมีโครงสร้างเป็นลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยม	รูปแบบใกล้เคียงกับรังผึ้งอย่างชัดเจน	มีช่องเปิดมากเกินไป

ภาพที่ 40 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 1

2.1.2 รูปแบบการเพิ่มแผ่นประกบด้านนอก

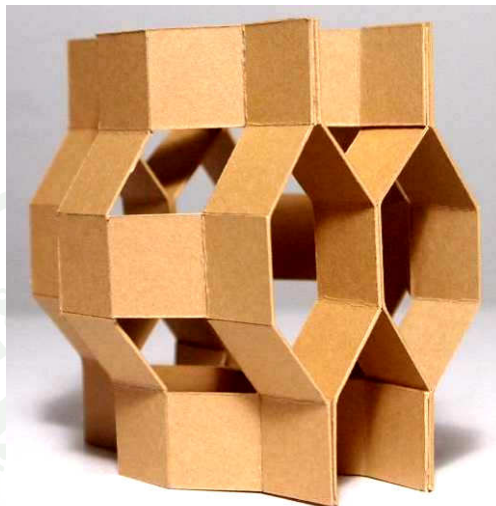


แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
2	พัฒนารูปแบบเปลือกอาคารจากแบบที่ 1 โดยเพิ่มแผ่นประกบโครงสร้างด้านนอก เพราะคำนึงถึงตัวแปรเรื่องแสงและอุณหภูมิ	รูปแบบทกเหลี่ยมของรังผึ้งคงอยู่ในรูปแบบของรูปตัด และลดช่องเปิดของแบบจำลอง	รูปแบบด้านหน้าไม่เป็นรังผึ้ง, ซับซ้อนและสิ้นเปลืองวัสดุ

ภาพที่ 41 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 2

2.1.3 สลับด้านแผ่นประกบ



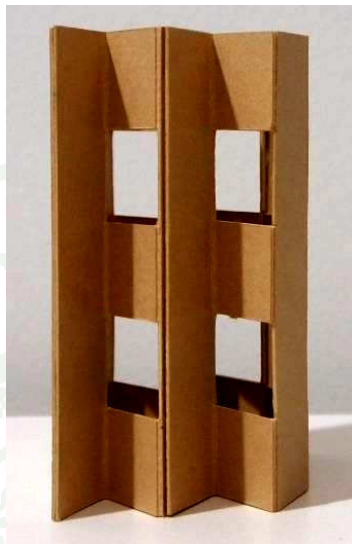
แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
3	พัฒนารูปแบบเปลือกอาคารจากแบบที่ 2 โดยสลับด้านแผ่นประกบ	รูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งคงอยู่ในรูปแบบของรูปตัด มีพื้นที่ว่างภายในมากขึ้นและช่วยในการระบายอากาศได้ดีขึ้น	แบบจำลองใช้พื้นที่มากในการขยายตัว





ภาพที่ 42 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 3

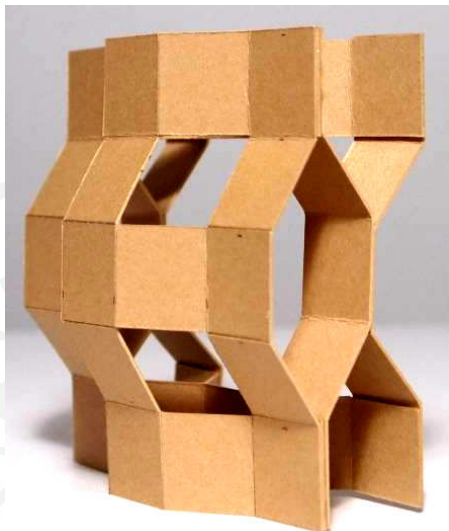
2.1.4 พับลดขนาดได้



แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
4	พัฒนารูปแบบเปลือกอาคารจากแบบที่ 2 โดยคงรูปแบบของช่องเปิดไว้เช่นเดิมแต่ออกแบบให้พับลดขนาดได้	รูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งคงอยู่ในรูปแบบของรูปตัด และสามารถพับให้มีขนาดเล็กลงได้	การพับทำให้ระบบซับซ้อนและสิ้นเปลืองวัสดุมากขึ้น

ภาพที่ 43 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 4

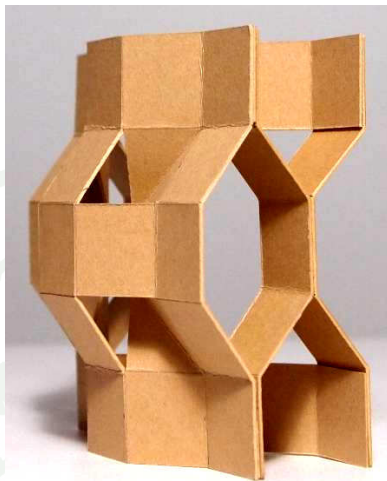
2.1.5 ตัดแผ่นประกบออก 1 ด้าน



แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
5	พัฒนารูปแบบเปลือกอาคารจากแบบที่ 3 โดยลดแผ่นประกบออก 1 ด้าน	รูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งคงอยู่ในรูปแบบของรูปตัด ลดความซับซ้อนและสิ้นเปลืองวัสดุ จากแบบที่ 3	แสงยังสามารถส่องเข้าทางช่องเปิดได้

ภาพที่ 44 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 5

2.1.6 เพิ่มครีบบริเวณช่องเปิด(ครีบบอยู่ด้านใน)



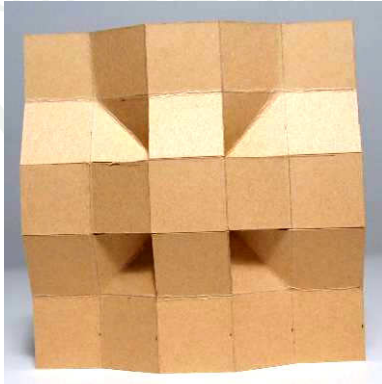
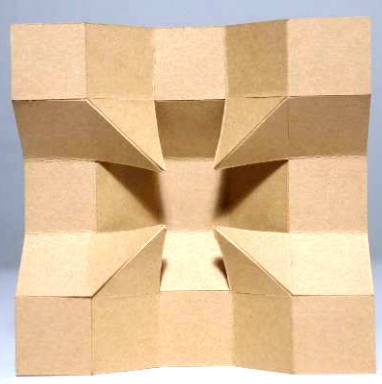

แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
6	พัฒนารูปแบบเปลือกอาคารจากแบบที่ 5 โดยเพิ่มครีบบริเวณช่องเปิด (ครีบบอยู่ด้านใน)	รูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งคงอยู่ในรูปแบบของรูปตัด มีครีบบเป็นตัวเปิด-ปิดรับแสงธรรมชาติ ช่วยกันความร้อน ลดความชื้นชื้นและวัสดุ จากแบบที่ 5	การซ้อนชั้นทำให้สิ้นเปลืองวัสดุ

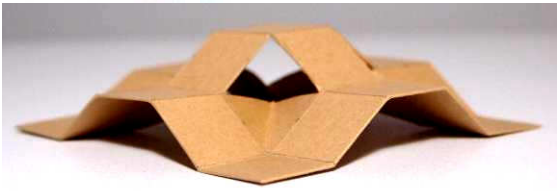
ภาพที่ 45 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 6

2.1.7 ลดแผ่นประกบเหลือ 1 ด้าน(cribอยู่ด้านใน)



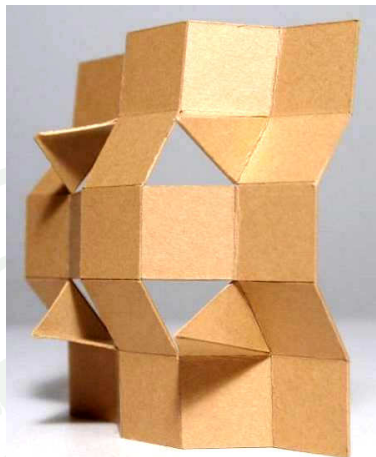
แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
7	พัฒนารูปแบบเปลือกอาคารจากแบบที่ 6 โดยลดความซับซ้อนของรูปแบบลงด้วยคงเหลือแค่แผ่นประกบ 1 ด้าน (cribอยู่ด้านใน)	รูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งคงอยู่ในรูปแบบของรูปตัด cribเป็นตัวเปิด-ปิดรับแสงธรรมชาติ และช่วยกันความร้อน	แสงที่ส่องเข้าทางช่องเปิดอาจไม่เพียงพอต่อการใช้งาน



ภาพที่ 46 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 7

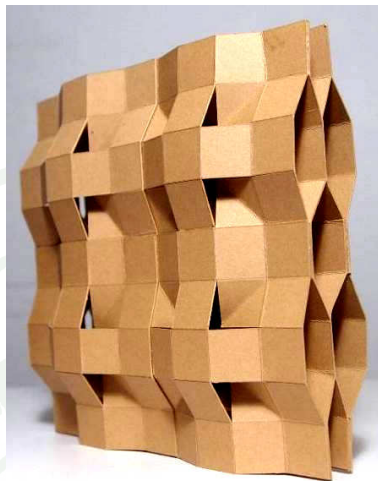
2.1.8 สลับครีบอกอยู่ด้านนอก



แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
8	พัฒนารูปแบบเปลือกอาคารจากแบบที่ 9 โดยลดความซับซ้อนของรูปแบบลงด้วยคงเหลือแค่แผ่นประกบ 1 ด้าน (ครีบอกอยู่ด้านนอก)	รูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งคงอยู่ในรูปแบบของรูปตัด มีครีบอกอยู่ด้านนอกเป็นตัวเปิด-ปิดรับแสงธรรมชาติมากขึ้น และช่วยกันความร้อน	แสงที่ส่องเข้าทางช่องเปิดอาจมากเกินไป

ภาพที่ 47 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 8

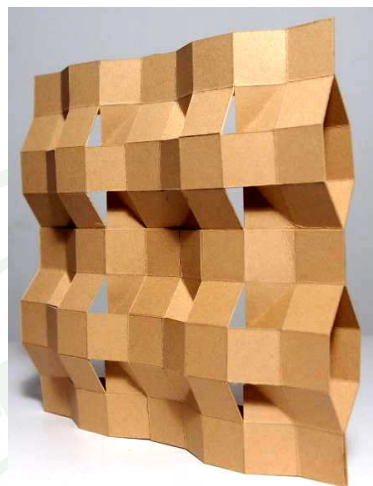
2.1.9 ประสานกัน 2 ชั้น



แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
9	พัฒนารูปแบบเปลือกอาคารจากแบบที่ 6 โดยนำแต่ละชิ้นมาประสานกัน ติดประกบกัน 2 ด้าน	รูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งคงอยู่ในรูปแบบของรูปตัด การติดซ้อน 2 ชั้นช่วยกันความร้อนได้ดี	การซ้อนชั้นทำให้สิ้นเปลืองวัสดุ

ภาพที่ 48 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 9

2.1.10 ประสานกัน 1 ชั้น

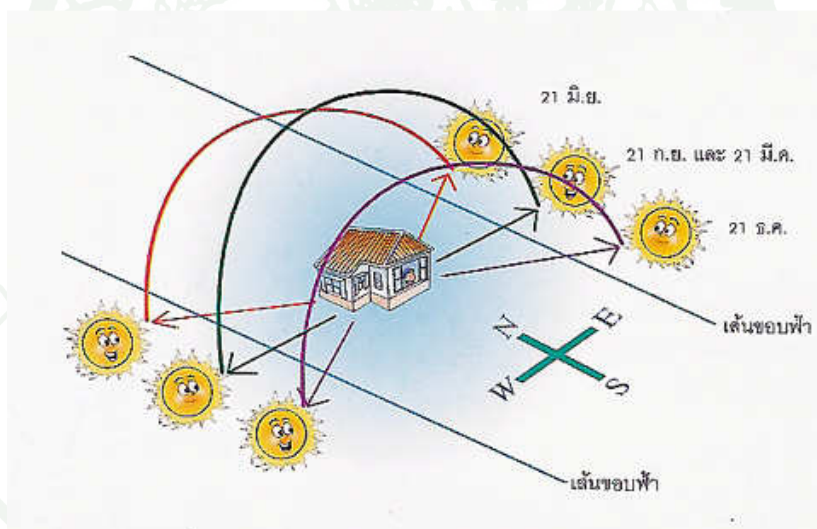


แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
10	พัฒนารูปแบบเปลือกอาคารจากแบบที่ 7 โดยนำแต่ละชิ้นมาประสานกัน ติดประกบกัน 1 ด้าน	รูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งคงอยู่ในรูปแบบของรูปตัด ลดความซับซ้อนและวัสดุ จากแบบที่ 9	การซ้อนชั้นทำให้สิ้นเปลืองวัสดุ

ภาพที่ 49 รูปทรงเปลือกอาคารแบบที่ 10

2.2 การทดสอบแบบจำลองเบื้องต้น

ขั้นตอนการทดสอบแสงที่ส่องผ่านแบบจำลองเบื้องต้น แนวความคิดในการออกแบบ การทดสอบคำนึงถึงอิทธิพลของแสงแดดที่มีผลต่อตัวอาคารทั้งทางด้านทิศทางทิศตะวันออก ทิศ ตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ ในกรณีของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณ ที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร หรือค่อนมาทางซีกโลกเหนือ จะได้รับอิทธิพลของแสงแดดที่ส่องมาจากทางทิศใต้มากกว่า แสงแดดที่ส่องมาจากทางทิศเหนือ เพราะแสงแดดจะทำมุมเฉียงมาจากทิศทางใต้มากกว่า ทั้งนี้ แสงแดดที่ส่องมาจากทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกจะเป็นผลมาจากการที่โลกหมุนรอบ ตัวเอง ในแต่ละวัน ส่วนแสงแดดที่ส่องมาจากทางทิศเหนือและทิศใต้ จะเป็นผลมาจากการที่โลก โคจรรอบดวงอาทิตย์ในแต่ละปี ซึ่งในกรณีนี้ทิศทางของแสงแดดจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (ศุภวิศวรรี และ กฤษณ์, 2557)



ภาพที่ 50 แนวที่ประเทศไทย มองเห็นดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ


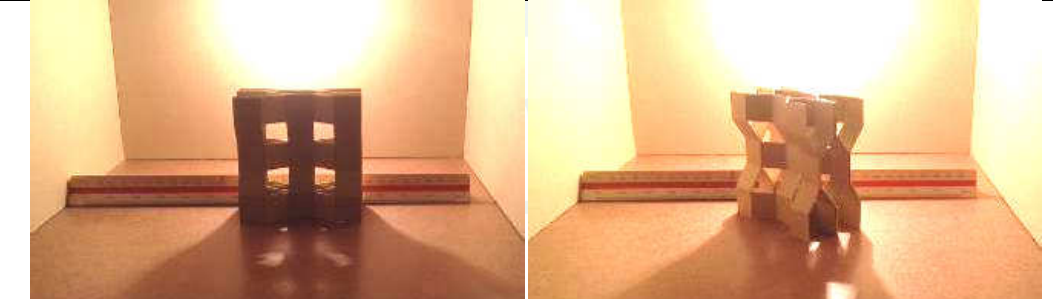
ที่มา: AKALUKSEREE (2556)

สำหรับประเทศไทยนั้นแสงแดดที่ส่องมาจากทางทิศเหนือและทิศใต้มีอิทธิพลต่อการ ออกแบบ เพราะจะมีผลต่อความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละห้องของอาคารใน ฤดูกาลต่างๆ โดยเฉพาะ แสงแดดที่ส่องมาจากทางทิศใต้จะทำมุมค่อนข้างต่ำ และส่องอยู่เป็นระยะเวลา นาน ฉะนั้นการ ออกแบบโดยคำนึงถึงแสงแดดที่ส่องมาจากทิศทางดังกล่าววนอกเหนือไปจากแสงแดดที่ส่องมา




จากทางทิศตะวันออกในช่วงเช้าและทิศตะวันตกในช่วงเย็น จะช่วยให้สามารถการออกแบบเพื่อป้องกันความร้อนจากแสงแดดที่ส่องมาจากทุกๆ ทิศทางได้อย่างเหมาะสม ลดการใช้พลังงานและประหยัดค่าใช้จ่ายต่างๆ (ศุภวิศวรรี และ กฤษณ์, 2557)

จากศึกษาทิศทางของแสงแดดกับการออกแบบ จึงจำลองการทดสอบเบื้องต้นด้วยแบบจำลอง เพื่อเป็นมาตรฐานในการคัดเลือกรูปแบบของเปลือกอาคาร ดังนี้ ใช้หลอดไฟแทนแสงแดดด้านทิศใต้ที่ส่องเข้าสู่ตัวอาคารโดยตรง และทดสอบภายในกล่องทดสอบ

ตารางที่ 4 การทดสอบแสงที่ส่องผ่านแบบจำลองเบื้องต้น

แบบ	ผลการทดสอบ	ข้อเสีย
1	รูปแบบใกล้เคียงกับรังผึ้ง แสงจากหลอดไฟสามารถผ่านช่องเปิด ได้ดีมาก	มีแสงส่องผ่านช่องเปิดได้มาก
		
2	จากแบบที่ 1 เพิ่มแผ่นประกบด้านข้าง ทำให้แสงที่ส่องผ่านช่องเปิด ลดลงจากแบบที่ 1	มีแสงส่องผ่านช่องเปิดอยู่
		

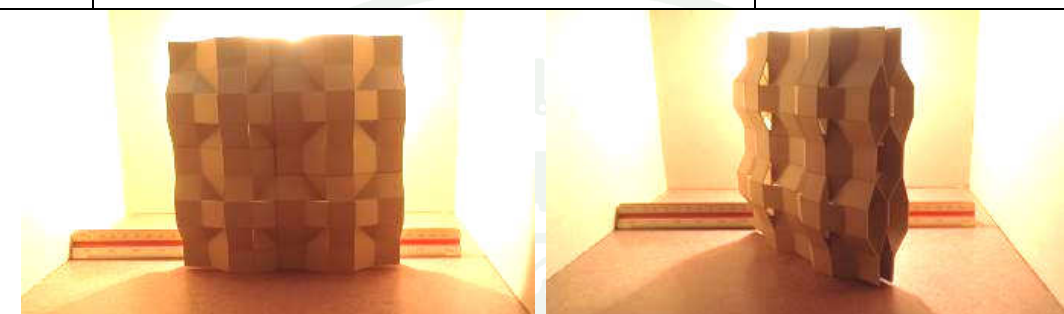
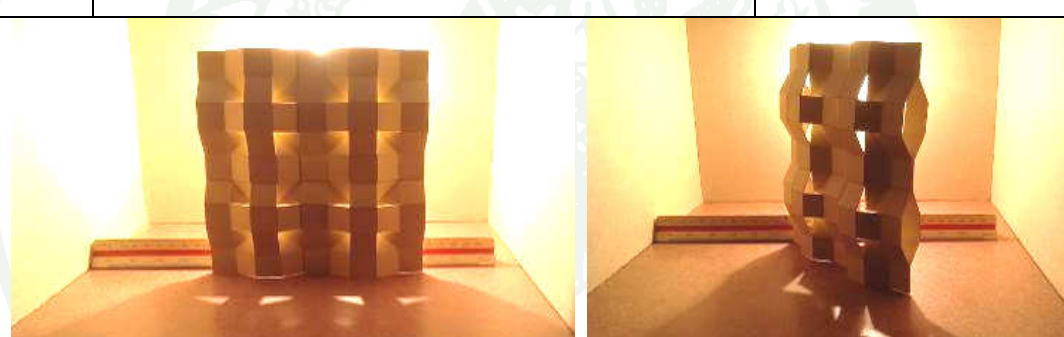
ตารางที่ 4 (ต่อ)

แบบ	ผลการทดสอบ	ข้อเสีย
3	จากแบบที่ 2 สลับด้านแผ่นประกบด้านข้างทำให้แสงที่ส่องผ่านช่องเปิด เพิ่มขึ้น	แสงผ่านช่องเปิดเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 2
		
4	จากแบบที่ 2 โดยคงรูปแบบของช่องเปิดไว้เช่นเดิม แต่ปรับลดขนาดได้ แสงที่ส่องผ่านช่องเปิดลดลงจากแบบที่ 3	มีแสงส่องผ่านด้านข้างของช่องเปิดอยู่
		
5	จากแบบที่ 3 โดยลดแผ่นประกบออก 1 ด้าน มีแสงที่ส่องผ่านช่องเปิด เพิ่มขึ้นจากแบบที่ 3	มีแสงผ่านช่องเปิดเพิ่มขึ้นจากแบบที่ 3
		

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แบบ	ผลการทดสอบ	ข้อเสีย
6	จากแบบที่ 5 โดยเพิ่มครีบบริเวณช่องเปิด (ครีบบอยู่ด้านใน) แสงที่ส่องผ่านช่องเปิด ลดลงจากแบบที่ 5	มีแสงส่องผ่านช่องเปิดอยู่
		
7	จากแบบที่ 6 คงเหลือแผ่นประกบ 1 ด้าน (ครีบบอยู่ด้านใน) แสงสามารถที่ส่องผ่านช่องเปิดใกล้เคียงกับแบบที่ 6	มีแสงส่องผ่านช่องเปิดอยู่
		
8	จากแบบที่ 9 กลับครีบบอกมาด้านนอก แสงสามารถที่ส่องผ่านช่องเปิดเพิ่มขึ้น จากแบบที่ 7	มีแสงส่องผ่านช่องเปิดอยู่
		

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อเสีย
9	จากแบบที่ 6 โดยนำแต่ละชิ้นมาประสานกัน ติดประกบกัน 2 ด้าน แสงไม่สามารถที่ส่องผ่านช่องเปิดของได้	แสงไม่สามารถผ่านได้เลย
		
10	จากแบบที่ 7 ติดประกบกัน 1 ด้าน แสงสามารถที่ส่องผ่านช่องเปิดของ Mass model เพิ่มขึ้นจากแบบที่ 7	มีแสงส่องผ่านช่องเปิดอยู่
		

จากการทดลองพัฒนารูปแบบของเปลือกอาคารด้วยแบบจำลองสามารถนำไปทดสอบเบื้องต้น ด้วยการสังเกตการส่องผ่านของแสงแดด ดังนั้น รูปแบบของเปลือกอาคารที่นำไปพัฒนาต่อ คือ แบบจำลองภาพ (7) เพราะแสงแดดสามารถส่องผ่านได้น้อยที่สุด

2.3 การพัฒนาโครงสร้างของเปลือกอาคาร

การพัฒนาโครงสร้างของเปลือกอาคารกันแดดด้วยการสร้างแบบจำลอง เพื่อการปรับเปลี่ยนในขั้นตอนนี้มีแนวคิดและขั้นตอนการพัฒนา ดังต่อไปนี้

2.3.1 ระบบบานพับ พัฒนาจากแบบที่ 7

แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
11	พัฒนารูปแบบโครงสร้างจากแบบที่ 7 ขนาด 90 x 90 ซม. แบ่งย่อยแผ่นเปลือกอาคารออกเป็น 25 ชิ้นเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนไหว โครงสร้างใช้บานพับเป็นตัวเชื่อมต่อในแต่ละแผ่น	เคลื่อนไหวตามรูปแบบของบานพับ	การเคลื่อนไหวไม่ค่อยอิสระเนื่องจากถูกบังคับด้วยข้อจำกัดของบานพับ



ภาพที่ 51 รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 11

2.3.2 ระบบรางเลื่อน พัฒนาจากแบบที่ 11

แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
12	พัฒนารูปแบบโครงสร้างจากแบบที่ 7 ขนาด 45 x 45 ซม. แบ่งย่อยแผ่นเปลือกอาคารออกเป็น 25 ชิ้นเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนไหว โครงสร้างใช้ระบบรางเลื่อน	สามารถเคลื่อนไหวเปิด-ปิดได้	การเคลื่อนไหวไม่อิสระ, ชั๊บ ช้อน, สิ้นเปลืองวัสดุ



ภาพที่ 52 รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 12

2.3.3 ระบบเสาแกนกลาง พัฒนาจากแบบที่ 12

แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
13	พัฒนารูปแบบโครงสร้างจากแบบที่ 7 ขนาด 45 x 45 ซม. แบ่งย่อยแผ่นเปลือกอาคารออกเป็น 25 ชิ้นเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนไหว โครงสร้างใช้เสาเป็นแกนกลางและรับแรงดึงของเชือกที่ดึงครบเข้าด้านใน เพื่อ เปิด-ปิด	เรียบง่าย	วัสดุไม่ค่อยแข็งแรง



ภาพที่ 53 รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 13

2.3.4 ระบบโครงร่มแกนกลางคียบแบ่ง 1 ชั้น พัฒนาจากแบบที่ 13

แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
14	พัฒนารูปแบบโครงสร้างจากแบบที่ 7 ขนาด 45 x 45 ซม. แบ่งย่อยแผ่นเปลือกอาคารออกเป็น 25 ชิ้นเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนไหว โครงสร้างใช้โครงร่มเป็นแกนกลางและใช้ก้านร่มติดกับครีบ เพื่อใช้ในการ เปิด-ปิด	เป็นระบบมากขึ้น	ไม่สามารถล็อค ปรับระดับการ เปิด-ปิด



ภาพที่ 54 รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 14

2.3.5 ระบบโครงร่มนแกนกลางคียบแบ่ง 2 ชั้น พัฒนาจากแบบที่ 14

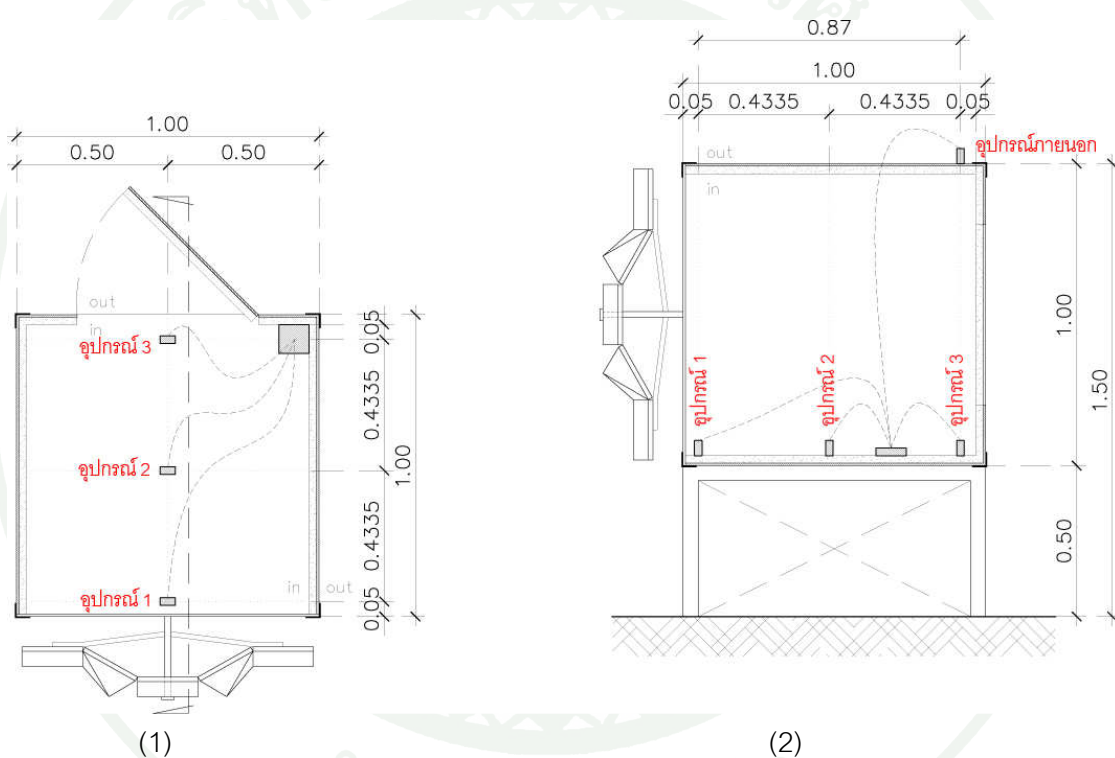
แบบ	แนวความคิดการพัฒนา	ข้อดี	ข้อเสีย
15	พัฒนารูปแบบโครงสร้างจากแบบที่ 7 ขนาด 45 x 45 ซม. แบ่งย่อยแผ่นเปลือกอาคารออกเป็น 25 ชิ้นเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนไหว แบ่งคียบออกเป็น 2 ชั้น โครงสร้างใช้โครงร่มนแกนกลางและใช้ก้านร่มนติดกับคียบทั้ง 2 ชั้น เพื่อใช้ในการ เปิด-ปิด	คียบถูกแบ่งออกเป็น 2 ชั้น ทำให้สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ และรับแสงธรรมชาติได้มากขึ้น	ไม่สามารถล็อค ปรับระดับการ เปิด-ปิด



ภาพที่ 55 รูปแบบโครงสร้างเปลือกอาคารแบบที่ 15

3. ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูล

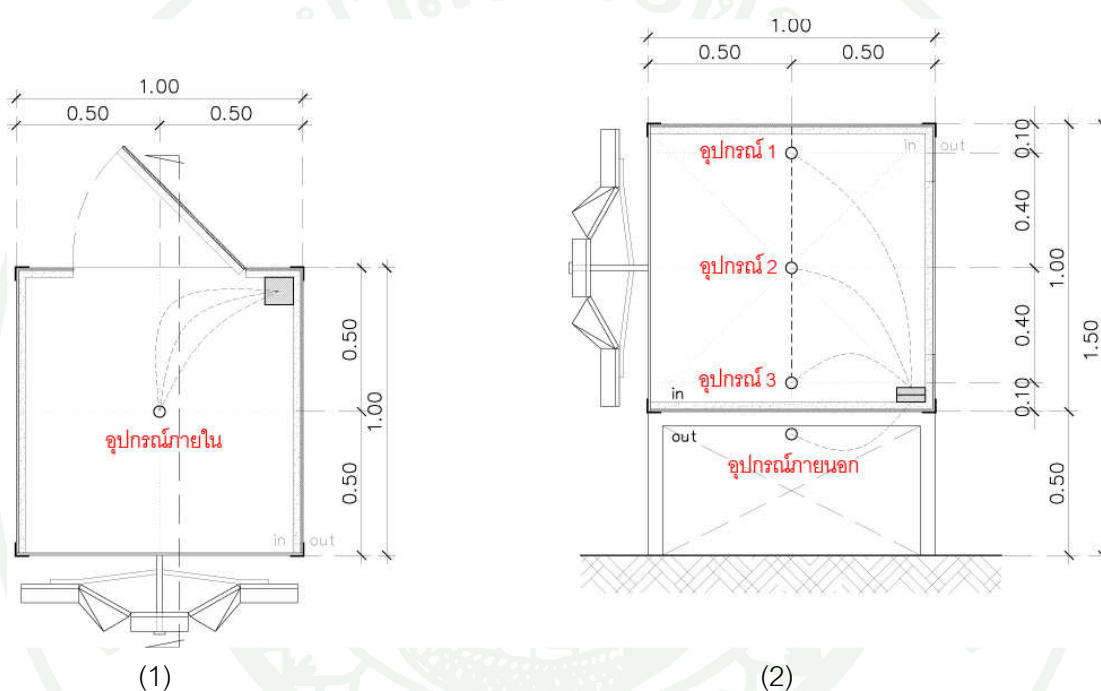
3.1 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณความส่องสว่าง ติดตั้งตำแหน่งอุปกรณ์ภายนอก ติดตั้งด้านบนของกล่องทดสอบและภายในกล่อง 3 จุด คือ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 ติดตั้ง ณ พื้นกล่องตำแหน่งหน้ากล่องติดกับกระจก ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 ติดตั้ง ณ พื้นกล่องตำแหน่งกลางกล่อง ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 ติดตั้ง ณ พื้นกล่องตำแหน่งหลังกล่อง โดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่ 06:00 - 18:00 น. ในช่วงวันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ.2557



ภาพที่ 56 วางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านค่าความส่องสว่าง

- (1) ผังกล่องทดสอบ
- (2) รูปตัดกล่องทดสอบ

3.2 ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ ติดตั้งภายนอก 1 จุด ติดตั้งตำแหน่งอุปกรณ์ภายนอกติดตั้งด้านล่างของกล่องทดสอบและภายในกล่อง 3 จุด คือ แขนงอุปกรณ์ที่ตำแหน่งกลางกล่องทดสอบ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 แขนงตำแหน่งด้านบนของกล่อง ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 แขนงตำแหน่งตรงกลางของกล่อง ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 แขนงตำแหน่งด้านล่างของกล่อง โดยบันทึกผลการทดลองทุกๆ 10 นาที ตั้งแต่ 06:00 - 18:00 น. ในช่วงวันที่ 24-27 มีนาคม พ.ศ. 2557



ภาพที่ 57 วางตำแหน่งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิ

(1) ผัง กล่องทดสอบ

(2) รูปตัด กล่องทดสอบ

หมายเหตุ ไม่ควรติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิไว้ใต้กล่องทดลอง เนื่องจากจะได้รับอิทธิพลด้านการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นดินในเวลากลางคืนที่เกิดการคลายความร้อนของพื้นดินจากบริเวณที่ตั้งกล่องทดสอบ และจะทำให้อุณหภูมิในเวลากลางคืนภายนอกสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเวลากลางคืนภายในกล่องทดลอง

4. ช่วงเวลาที่ทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูล

4.1 สถานที่ทดสอบในสภาวะแวดล้อมจริงในเขต อำเภอลาดบัวหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยตั้งกล่องทดสอบในที่โล่งและจัดให้ด้านที่ติดตั้งต้นแบบเปลือกอาคารหันไปทางทิศใต้ เพื่อให้ได้รับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน

4.2 เก็บผลทดลองในช่วงวันที่ 23-27 มีนาคม พ.ศ.2557 โดยทดสอบภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง ลักษณะท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (Cloud Sky) หมายถึง สภาพท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมไม่ถึง 30-70 % การพิจารณาความสว่างของท้องฟ้าในลักษณะนี้จะทำได้ยากเนื่องจากปริมาณของเมฆในท้องฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา (Dynamic) ซึ่งสภาพท้องฟ้าส่วนใหญ่ของประเทศไทย เป็นแบบมีเมฆปกคลุมบางส่วน

เนื่องจากการทำงานวิจัยครั้งนี้ มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลา ดังนั้น จึงไม่สามารถเก็บผลการทดลองได้ครอบคลุมสภาพอากาศได้ตลอดทั้งปี และเลือกช่วงเวลาที่ทำการทดลองตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นถึงพระอาทิตย์ตก เวลา 06:00–18:00 น.



(ก)



(ข)

ภาพที่ 58 สภาพท้องฟ้าและกล่องทดสอบ

(ก) สภาพท้องฟ้า ในวันที่มีการทดสอบและเก็บข้อมูล

(ข) ตำแหน่งการวางกล่องทดสอบ ด้านหน้าของกล่องทดสอบหันไปด้านทิศใต้

ผลและวิจารณ์

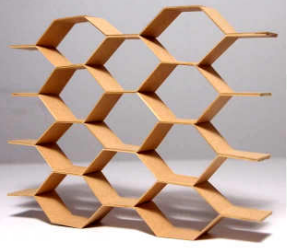



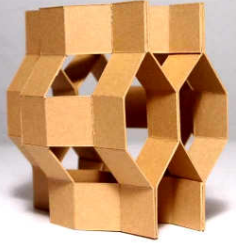

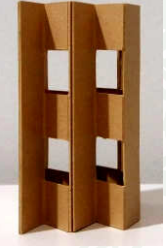

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาแผงบังแดดภายนอกอาคารที่สามารถปรับทิศทางและให้ความสำคัญกับอาคารด้านทิศใต้ แผงบังแดดนี้จะถูกติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ในการพัฒนารูปทรงของเปลือกอาคารคำนึงถึงเรื่องช่องเปิดของตัวเปลือกอาคารและทิศทางของแสงแดด จากนั้นนำรูปแบบที่มีความเหมาะสมไปทดสอบโดยสร้างกล่องทดสอบ เพื่อทดสอบเปรียบเทียบด้านความส่องสว่างและอุณหภูมิในสภาวะแวดล้อมจริง สามารถสรุปดังต่อไปนี้

1. การพัฒนาเปลือกอาคาร โครงสร้างเปลือกอาคาร และการพัฒนาขึ้นต้นแบบ

1.1 การออกแบบเปลือกอาคาร

งานวิจัยนี้พัฒนาต้นแบบเปลือกอาคารโดยใช้แนวความคิดจากนวัตกรรมการเลียนแบบความหลากหลายและความมหัศจรรย์ของธรรมชาติหรือชีวโลกเลียน ซึ่งเป็นการออกแบบรูปทรงที่เลียนแบบธรรมชาติ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบรูปทรงเปลือกอาคารใช้แนวความคิดจากรังผึ้ง จากรูปทรงของเปลือกอาคารถูกพัฒนาจากการนำรูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งมาใช้โดยตรงในแบบที่ 1 แต่การพัฒนาต้องคำนึงถึงเรื่องช่องเปิดของตัวเปลือกอาคารและทิศทางของแสงแดด และการนำไปทดสอบเบื้องต้นด้วยการสังเกตการณ์ส่องผ่านของแสงแดด จึงทำให้รูปทรงของเปลือกอาคารเปลี่ยนไปตามข้อจำกัดของการพัฒนาดังกล่าว ดังนั้น รูปทรงของเปลือกอาคารในแบบที่ 2 - 8 จึงไม่สามารถคงรูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งสามารถมองเห็นจากรูปด้าน แต่ถูกพัฒนาให้อยู่ในรูปแบบของรูปตัด และการคำนึงถึงความสิ้นเปลืองของวัสดุในการผลิตรูปทรงของเปลือกอาคารในแบบที่ 7 - 8 จึงถูกลดทอนลงแต่ยังคงรูปแบบของรังผึ้งให้อยู่ในรูปแบบของรูปตัดได้ แต่รูปแบบหกเหลี่ยมของรังผึ้งอาจจะไม่ชัดเจนเท่าที่ควร

ตารางที่ 5 การพัฒนารูปทรงเปลือกอาคาร จากแบบที่ 1 - 8

แบบที่	หุ่นจำลอง	แบบที่	หุ่นจำลอง
1		5	
2		6	
3		7	
4		8	

1.2 การออกแบบโครงสร้างเปลือกอาคาร

งานวิจัยนี้พัฒนาต้นแบบโครงสร้างเปลือกอาคารโดยใช้แนวความคิดจากการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของพืช แบบมีทิศทางที่ไม่สัมพันธ์กับทิศทางของสิ่งเร้า การตอบสนองแบบนี้จะมีทิศทางคงที่คือ การเคลื่อนขึ้นหรือลงเท่านั้น ไม่ขึ้นกับทิศทางของสิ่งเร้า จากการทำงานของโครงสร้างเปลือกอาคารถูกพัฒนาจากการการเคลื่อนไหวของพืช ในการทดลองเปลือกอาคาร

จะถูกแบ่งย่อยแผ่นออกเป็น 25 ชั้น เพื่อให้ง่ายต่อทดลอง สามารถแบ่งรูปแบบของการพัฒนา โครงสร้างเปลือกอาคารได้ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 โครงสร้างใช้บานพับเป็นตัวเชื่อมต่อในแต่ละแผ่น สามารถเคลื่อนไหว ตามรูปแบบของบานพับ ข้อดี คือ ติดตั้งง่าย ข้อเสีย คือ การเคลื่อนไหวถูกจำกัดด้วยกลไกของบาน พับ



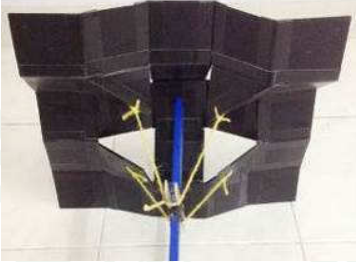


รูปแบบที่ 2 โครงสร้างใช้ระบบรางเลื่อน สามารถเลื่อน เปิด - ปิด ได้ด้วยการหมุน สลักหลายตัว เพื่อให้เคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน ข้อดี คือ ใช้พื้นที่ด้านหลังของเปลือกอาคารในการทำงานของกลไกค่อนข้างน้อย ข้อเสีย คือ กลไกซับซ้อน และสิ้นเปลืองวัสดุ

รูปแบบที่ 3 โครงสร้างใช้เสาเป็นแกนกลางและรับแรงดึงของเชือกที่ดึงครีบเข้าด้านใน เพื่อ เปิด-ปิด ข้อดี คือ กลไกเรียบง่าย ข้อเสีย คือ ใช้พื้นที่ด้านหลังของเปลือกอาคารในการทำงาน ของกลไกค่อนข้างมาก

รูปแบบที่ 4 โครงสร้างใช้โครงร่วมเป็นแกนกลางและใช้ก้านร่วมติดกับครีบ เพื่อใช้ในการ เปิด-ปิด ข้อดี คือ กลไกเป็นระบบมากขึ้น ข้อเสีย คือ ใช้พื้นที่ด้านหลังของเปลือกอาคารในการทำงาน ของกลไกค่อนข้างมาก และไม่สามารถล๊อค ปรับระดับการ เปิด-ปิด

รูปแบบที่ 5 ชั้น โครงสร้างใช้โครงร่วมเป็นแกนกลางและใช้ก้านร่วมติดกับครีบทั้ง 2 ชั้น เพื่อใช้ในการ เปิด-ปิด และครีบถูกแบ่งออกเป็น 2 ชั้น ทำให้สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ ข้อดี คือ รับแสงธรรมชาติได้มากขึ้น ข้อเสีย คือ ใช้พื้นที่ด้านหลังของเปลือกอาคารในการทำงานของ กลไกค่อนข้างมาก และไม่สามารถล๊อค ปรับระดับการ เปิด-ปิด

ตารางที่ 6 การพัฒนาโครงสร้างเปลือกอาคาร จากแบบที่ 1 – 5

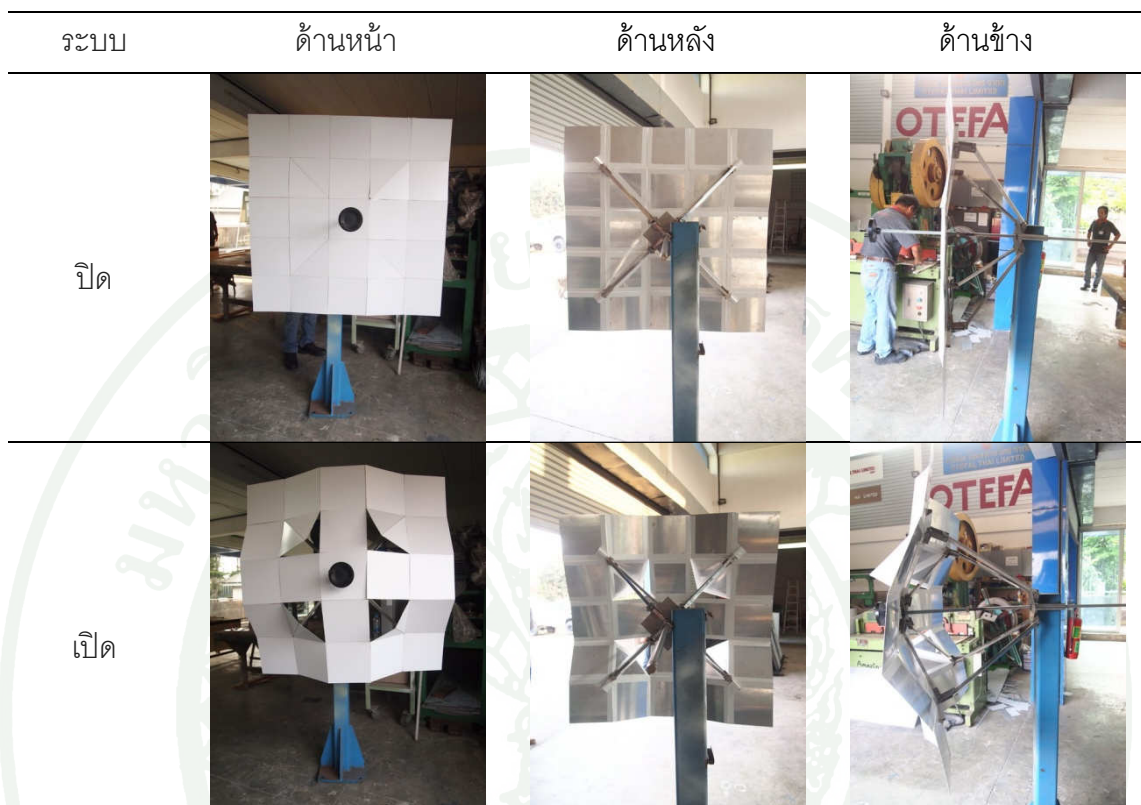
แบบที่	หุ่นจำลอง	แบบที่	หุ่นจำลอง
1		3	
2		4	
5			

จากการพัฒนาโครงสร้างเปลือกอาคารได้ทราบทั้งข้อดีและข้อเสียในกลไกการทำงานของแต่ละรูปแบบ จึงสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อคัดเลือกกลไกการทำงานที่สามารถผลิตเป็นต้นแบบได้ คือ แบบที่ 4

1.3 การพัฒนาขึ้นต้นแบบ

จากการพัฒนาขึ้นต้นแบบยังคงมีข้อเสีย คือ การใช้พื้นที่ด้านหลังของเปลือกอาคารในการทำงานของกลไกค่อนข้างมาก เนื่องจากต้องมีแกนหลักตรงกลางเพื่อควบคุมการทำงานเปิด-ปิดและควบคุมการทำงานของแขนที่เชื่อมไปยังตัวครีป และต้องใช้จุดเชื่อมต่อ(joint) ต่างๆ ค่อนข้างมากในการเชื่อมโยงการทำงานของระบบ

ตารางที่ 7 ต้นแบบเปลือกอาคาร

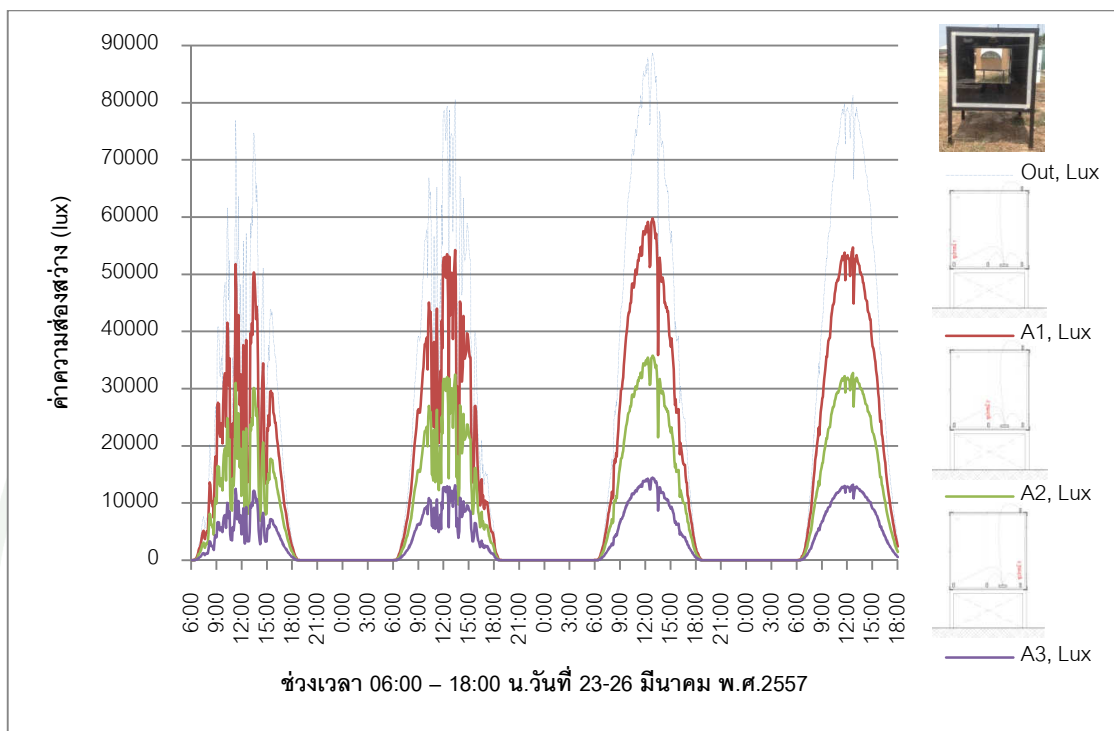


2. การทดสอบในสภาวะแวดล้อมจริง

2.1 ผลการทดสอบด้านความส่องสว่าง

การทดสอบการกรองแสงของเปลือกอาคาร ในช่วงวันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ.2557 เวลา 06:00-18:00 น. ทดสอบและเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที ด้วยเครื่องมือและเปรียบเทียบวัดค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดสอบที่ไม่มีและมีการติดตั้งเปลือกอาคาร เมื่อมีการปรับพื้นที่ช่องเปิด (65 % และ 30%) ติดตั้งอุปกรณ์ภายในกล่อง กล่องละ 3 จุดและภายนอก 1 จุด โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

2.1.1 ผลการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในของกล่องทดสอบที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร (กล่อง A)



ภาพที่ 59 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง A วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที

ผลการทดสอบ กล่อง A กล่องเปล่าที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ และเก็บข้อมูลด้านค่าความส่องสว่าง แบ่งได้ดังนี้

(1) สรุปผลกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกและค่าความส่องสว่างภายใน

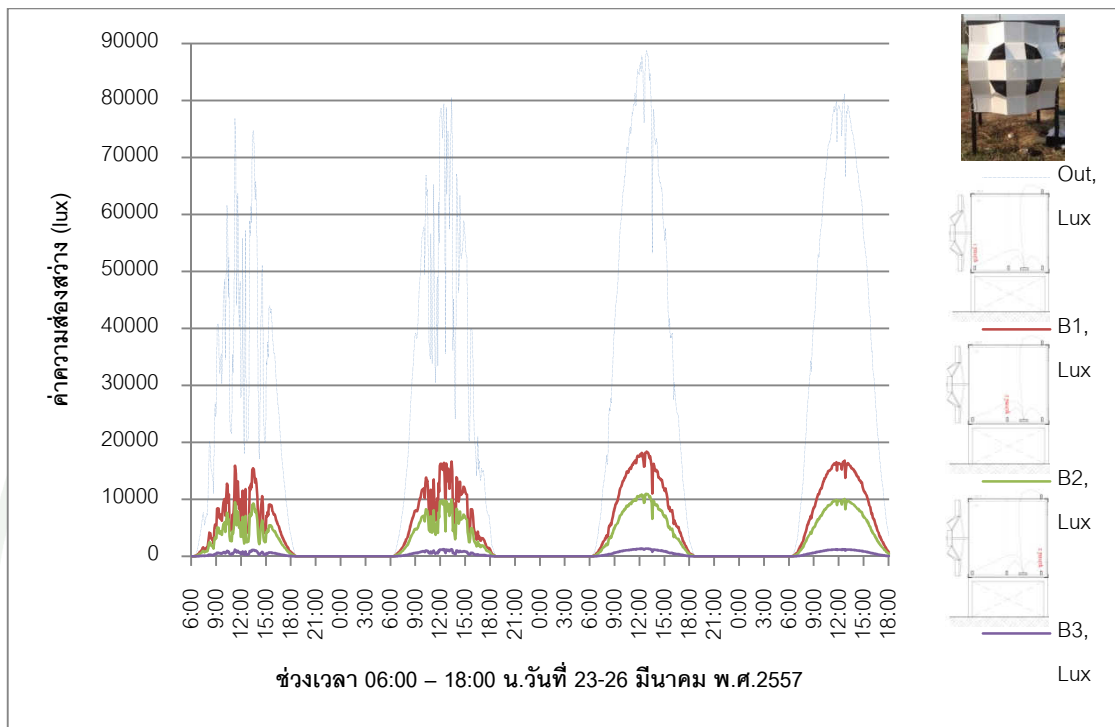
ในวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าความส่องสว่างขึ้น-ลงไม่คงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) มีปริมาณค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 80,524 lux และปริมาณค่าความส่องสว่างภายในสูงสุด เท่ากับ 54,255 lux ในวันที่ 25-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหว

ของค่าความส่องสว่างค่อนข้างคงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (Cloud Sky) มีปริมาณค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 88,759 lux และปริมาณค่าความส่องสว่างภายในสูงสุด เท่ากับ 59,804 lux

(2) การเปรียบเทียบกราฟค่าความส่องสว่าง

จากกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีค่ามากที่สุดในทุกวันและช่วงเวลา และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 ตำแหน่ง พบว่า ในวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ.2557 เวลา 12:50 น. มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด คือ ค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 88,759 lux, ค่าความส่องสว่างภายในมากที่สุด คือ ตำแหน่ง A1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หน้ากล่องใกล้ช่องแสงมากที่สุด มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 59,804 lux, ลำดับที่ 2 คือ ตำแหน่ง A2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่กลางกล่อง มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 35,790 lux, ลำดับที่ 3 คือ ตำแหน่ง A3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หลังกล่อง มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 14,431 lux ดังนั้น ปริมาณค่าความส่องสว่างมีค่าแปรผกผันกับระยะห่างของช่องแสงถึงตำแหน่งอุปกรณ์ A1, A2, A3

2.1.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในของกล่องทดสอบที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร (กล่อง B)



ภาพที่ 60 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง B วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที

ผลการทดสอบ กล่อง B คือ กล่องเปิด 30 ซม. (ระยะที่สามารถเปิดได้มากที่สุดของแบบจำลองขนาด 1.00x1.00 ม.) หรือคิดเป็นสัดส่วนของช่องเปิด เท่ากับ 65 % ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านค่าความส่องสว่าง แบ่งได้ดังนี้

(1) สรุปผลกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกและค่าความส่องสว่างภายใน

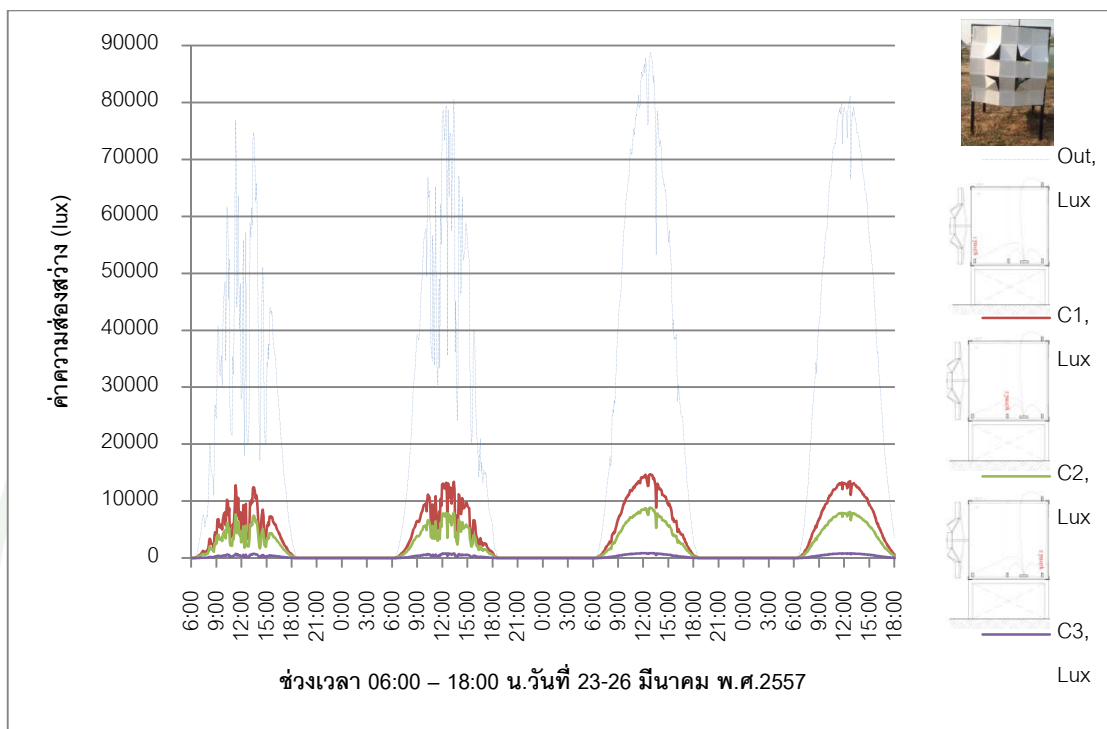
ในวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าความส่องสว่างขึ้น-ลงไม่คงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) มีปริมาณค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 80,524 lux และปริมาณค่าความส่องสว่างภายในสูงสุด เท่ากับ 16,652 lux ใน

วันที่ 25-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าความส่องสว่างค่อนข้างคงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (Cloud Sky) มีปริมาณค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 88,759 lux และปริมาณค่าความส่องสว่างภายในสูงสุด เท่ากับ 18,355 lux

(2) การเปรียบเทียบกราฟค่าความส่องสว่าง

จากกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีค่ามากที่สุดในทุกวันและช่วงเวลา และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 ตำแหน่ง พบว่า ในวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ.2557 เวลา 12:50 น. มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด คือ ค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 88,759 lux, ค่าความส่องสว่างภายในมากที่สุด คือ ตำแหน่ง B1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หน้ากล่องใกล้ช่องแสงมากที่สุด มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 18,355 lux, ลำดับที่ 2 คือ ตำแหน่ง B2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่กลางกล่อง มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 10,985 lux, ลำดับที่ 3 คือ ตำแหน่ง B3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หลังกล่อง มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 1,359 lux ดังนั้น ปริมาณค่าความส่องสว่างมีค่าแปรผกผันกับระยะห่างของช่องแสงถึงตำแหน่งอุปกรณ์ B1, B2, B3

2.1.3 ผลการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในของกล่องทดสอบที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร (กล่อง C)



ภาพที่ 61 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง C วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที

ผลการทดสอบ กล่อง C คือ กล่องเปิด 15 ซม.(ระยะที่สามารถเปิดได้ปานกลางของแบบจำลองขนาด 1.00x1.00 ม.) หรือคิดเป็นสัดส่วนของช่องเปิด เท่ากับ 30 % ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านค่าความส่องสว่าง แบ่งได้ดังนี้

(1) สรุปผลกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกและค่าความส่องสว่างภายใน

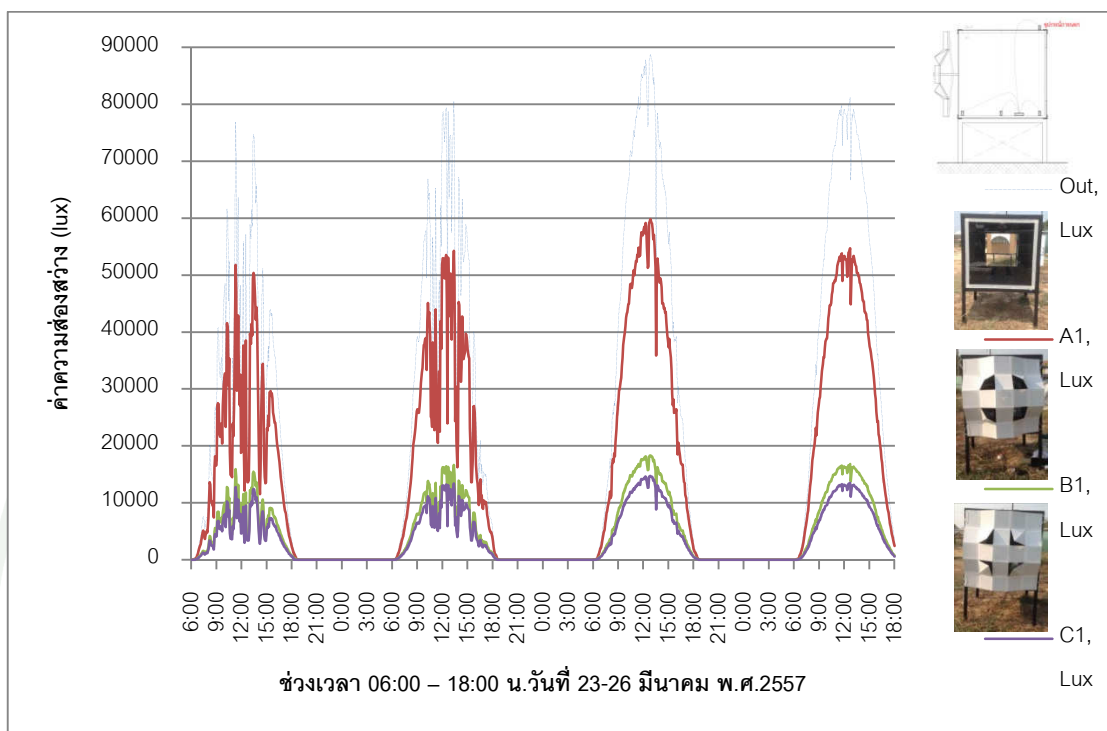
ในวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าความส่องสว่างขึ้น-ลงไม่คงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) มีปริมาณค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 80,524 lux และปริมาณค่าความส่องสว่างภายในสูงสุด เท่ากับ 13,388 lux ใน

วันที่ 25-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าความส่องสว่างค่อนข้างคงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (Cloud Sky) มีปริมาณค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 88,759 lux และปริมาณค่าความส่องสว่างภายในสูงสุด เท่ากับ 14,757 lux

(2) การเปรียบเทียบกราฟค่าความส่องสว่าง

จากกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีค่ามากที่สุดในทุกวันและช่วงเวลา และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 ตำแหน่ง พบว่า ในวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ.2557 เวลา 12:50 น. มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด คือ ค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 88,759 lux, ค่าความส่องสว่างภายในมากที่สุด คือ ตำแหน่ง C1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หน้ากล่องใกล้ช่องแสงมากที่สุด มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 14,757 lux, ลำดับที่ 2 คือ ตำแหน่ง C2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่กลางกล่อง มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 8,831 lux, ลำดับที่ 3 คือ ตำแหน่ง C3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หลังกล่อง มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 878 lux ดังนั้น ปริมาณค่าความส่องสว่างมีค่าแปรผกผันกับระยะห่างของช่องแสงถึงตำแหน่งอุปกรณ์ C1, C2, C3

2.1.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในของกล่องทดสอบ 3 กล่อง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์เดียวกัน (ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1)



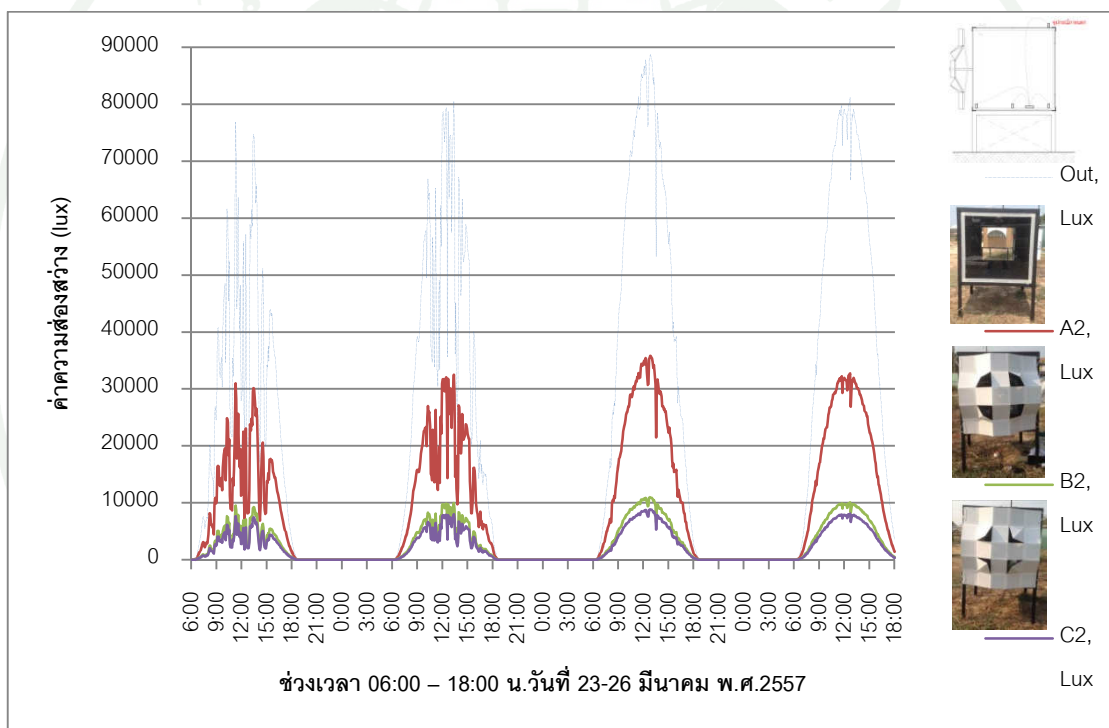
ภาพที่ 62 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที

จากกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีค่ามากที่สุดในทุกวันและช่วงเวลา และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หน้ากล่องใกล้ช่องแสงมากที่สุด พบความแตกต่างของกราฟอย่างชัดเจน คือ กราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟค่าความส่องสว่างภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) และกราฟค่าความส่องสว่างภายใน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน พบว่า กราฟค่าความส่องสว่างกล่อง A ที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคารมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด แต่เมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิด กล่อง B เท่ากับ 65 % และกล่อง C เท่ากับ 30 % มีปริมาณค่าความส่องสว่างใกล้เคียงกัน

จากการนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 พบว่า ในวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ.2557 เวลา 12:50 น. มีปริมาณค่า

ความส่องสว่างสูงสุด คือ กราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดเท่ากับ 88,759 lux, กราฟค่าความส่องสว่างภายในที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดลดลง A1 เท่ากับ 59,804 lux, เมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารระยะช่องเปิด 65 %ปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดลดลง B1 เท่ากับ 18,355 lux, และเมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารระยะช่องเปิด 30 % ปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดลดลง C1 เท่ากับ 14,757 lux

2.1.5 ผลการเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในของกล่องทดสอบ 3 กล่อง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์เดียวกัน (ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2)



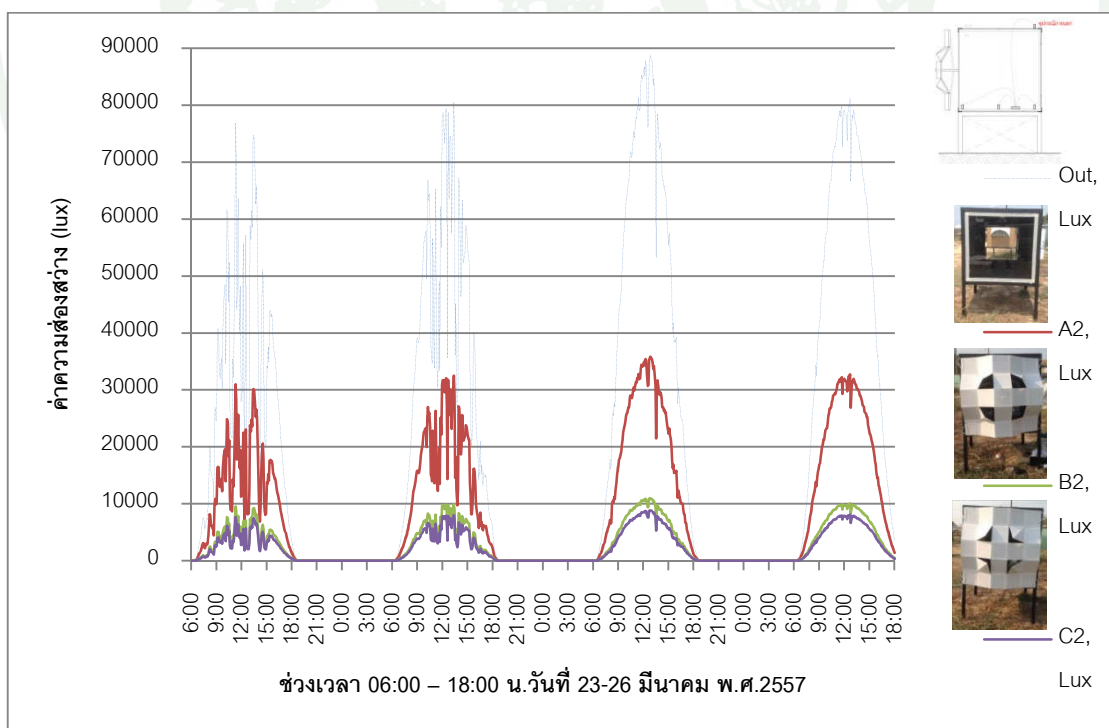
ภาพที่ 63 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดลอง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที

จากกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีค่ามากที่สุดในทุกวันและช่วงเวลา และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่กลางกล่อง พบความแตกต่างของกราฟอย่างชัดเจน คือ กราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟค่าความส่องสว่างภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) และกราฟค่าความส่องสว่างภายใน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

พบว่า กราฟค่าความส่องสว่างกลางแจ้ง A ที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคารมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด แต่เมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยาะช่องเปิด กล้อง B เท่ากับ 65 % และกล้อง C เท่ากับ 30 % มีปริมาณค่าความส่องสว่างใกล้เคียงกัน

จากการนำกราฟมาเปรียบเทียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล้อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 พบว่า ในวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ.2557 เวลา 12:50 น. มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด คือ กราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 88,759 lux, กราฟค่าความส่องสว่างภายในที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดลดลง A2 เท่ากับ 35,790 lux,เมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารระยาะช่องเปิด 65 %ปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดลดลง B2 เท่ากับ 10,985 lux, และเมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารระยาะช่องเปิด 30 % ปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดลดลง C2 เท่ากับ 8,831 lux

2.1.6 ผลการเปรียบเทียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในของกล้องทดสอบ 3 กล้อง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์เดียวกัน (ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3)



ภาพที่ 64 การเปรียบเทียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล้องทดลอง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ทุกๆ 5 นาที

จากกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีค่ามากที่สุดในทุกวันและช่วงเวลา และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล้อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หลังกล้อง พบความแตกต่างของกราฟอย่างชัดเจน คือ กราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟค่าความส่องสว่างภายในทั้ง 3 กล้อง (A, B, C) และกราฟค่าความส่องสว่างภายใน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันพบว่า กราฟค่าความส่องสว่างกล้อง A ที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคารมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด แต่เมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิด กล้อง B เท่ากับ 65 % และกล้อง C เท่ากับ 30 % มีปริมาณค่าความส่องสว่างใกล้เคียงกัน

จากการนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล้อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 พบว่า ในวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ.2557 เวลา 12:50 น. มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด คือ กราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 88,759 lux, กราฟค่าความส่องสว่างภายในที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดลดลง A3 เท่ากับ 14,431 lux เมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารระยะช่องเปิด 65 % ปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดลดลง B3 เท่ากับ 1,359 lux, และเมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารระยะช่องเปิด 30 % ปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดลดลง C3 เท่ากับ 878 lux

2.1.7 Daylight Factor

ในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) คือ สภาพท้องฟ้ามีปริมาณเมฆปกคลุมไม่ถึง 70 % จนบางครั้งไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้ โดยอาศัยหลักการของ Daylight Factor, DF ดังสมการที่ 1

$$D.F.(%) = \frac{\text{ค่าความส่องสว่างภายใน} \times 100}{\text{ความส่องสว่างภายนอก}}$$

จากกราฟค่าความส่องสว่างกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล้อง (A, B, C) และการสังเกตสภาพท้องฟ้า พบว่า วันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าความส่องสว่างขึ้น-ลงไม่

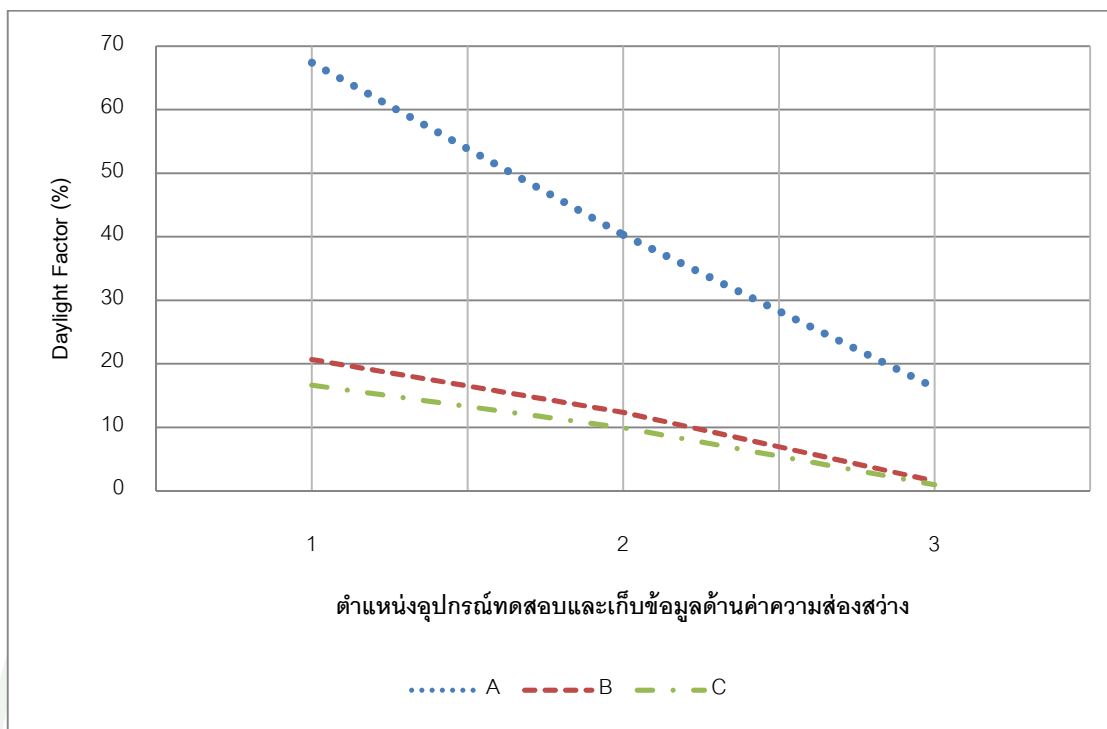
คงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) มีปริมาณค่าความส่องสว่างภายนอกสูงสุด เท่ากับ 80,524 lux และปริมาณค่าความส่องสว่างภายในสูงสุด เท่ากับ 54,255 lux

ดังนั้น จึงนำค่าความส่องสว่างของวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. มาหาผลต่างของค่าความส่องสว่างที่มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุดแล้วลดลงอย่างไม่ปกติ ทุกๆ 1 ชั่วโมง เพราะอาจจะเกิดจากการมีเมฆคลุมทึบอย่างฉับพลัน (ดูจากตารางค่าความส่องสว่างภาคผนวก)

ตารางที่ 8 ค่า Daylight Factor (%) ของวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557

ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น.

Point	Box A	Box B	Box C
1	67.38	20.68	16.63
2	40.32	12.38	9.95
3	16.26	1.53	0.99



ภาพที่ 65 เปรียบเทียบค่า Daylight Factor (%) ในวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557
ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. ของกล่องทดสอบ A, B, C ตามลำดับ

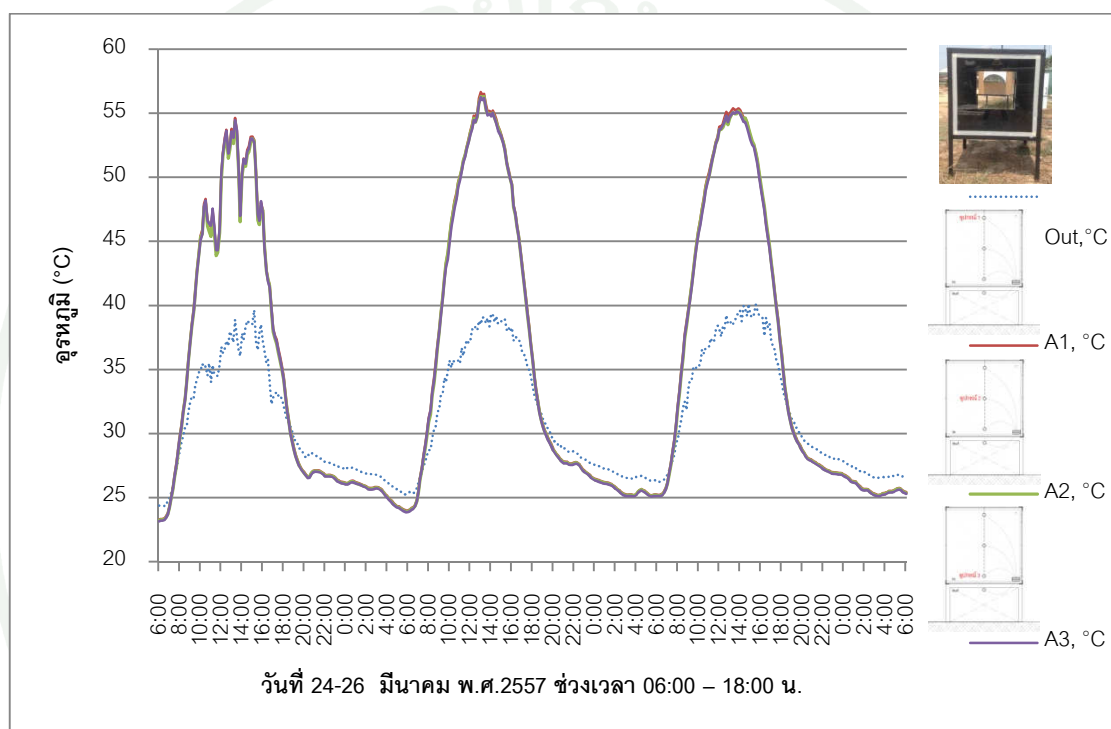
ผลการทดลองสังเกตการตกของกราฟของค่าความส่องสว่างทุกๆ 1 ชม. ของอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลภายในกล่องทดสอบทั้ง 3 ตำแหน่ง จำนวน 2 วัน ในวันที่มีผลต่างของค่าความส่องสว่างปริมาณมาก ตั้งแต่ 06:00-18:00 น. ของวันที่ 23-24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ค่า DF ที่มีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 ของกล่องสอบ A, B, C เท่ากับ 67.38, 20.68, 16.63 % ตามลำดับ ปริมาณค่าความส่องสว่างจะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะห่างของตำแหน่งของอุปกรณ์กับช่องเปิด ค่า DF จะลดลงสอดคล้องกับค่าความส่องสว่าง

2.2 ผลการทดสอบด้านอุณหภูมิ

การทดสอบด้านอุณหภูมิของเปลือกอาคาร ในช่วงวันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทดสอบและเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที ด้วยเครื่องมือและเปรียบเทียบวัดค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดสอบที่ไม่มีและมีการติดตั้งเปลือกอาคาร เมื่อมีการปรับ

พื้นที่ช่องเปิด (65 % และ 30%) ติดตั้งอุปกรณ์ภายในกล่อง กล่องละ 3 จุดและภายนอก 1 จุด โดยมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

2.2.1 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในของกล่องทดสอบที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร (กล่อง A)



ภาพที่ 66 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง A

วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ.2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที

ผลการทดสอบ กล่อง A กล่องเปล่าที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ และเก็บข้อมูลด้านอุณหภูมิ แบ่งได้ดังนี้

(1) สรุปผลกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายใน

ในวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิขึ้น-ลงไม่คงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 14.00-15.00 น.เนื่องจากสภาพ

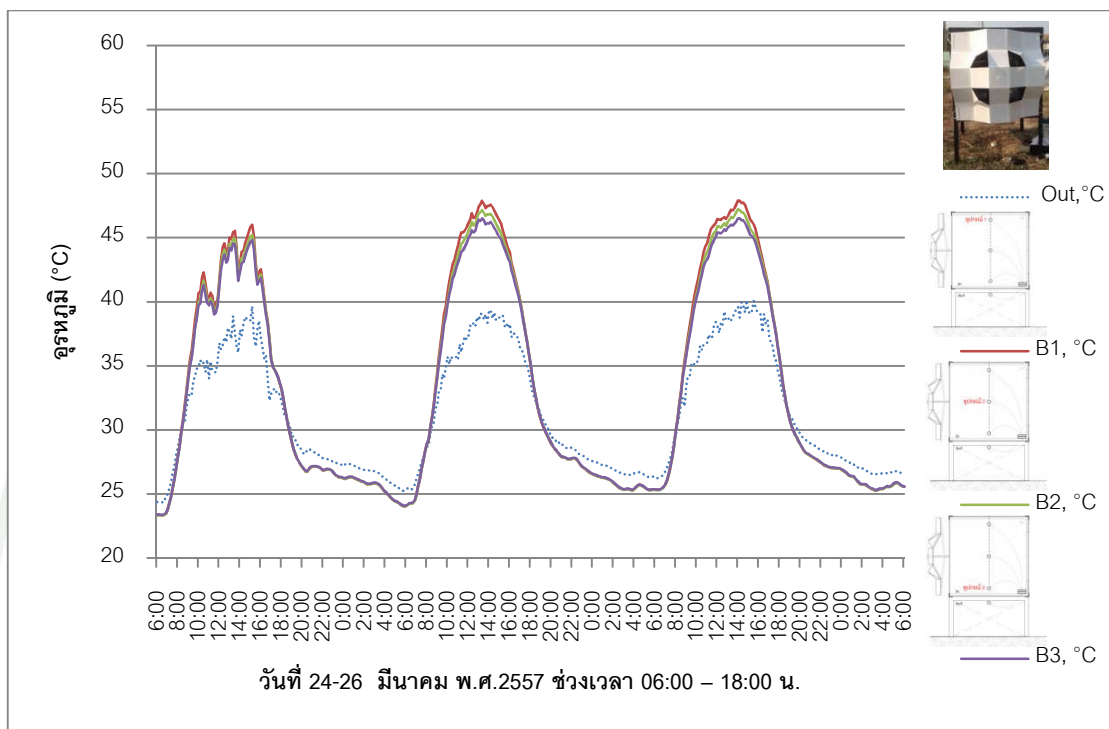
ของท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 39.63°C , มีค่าอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด เท่ากับ 24.34°C และค่าอุณหภูมิภายในสูงสุด เท่ากับ 54.64°C , มีค่าอุณหภูมิภายในต่ำสุด เท่ากับ 23.16°C ในวันที่ 25-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 13.00-14.30 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (Cloud Sky) มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 40.11°C , มีค่าอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด เท่ากับ 25.33°C และค่าอุณหภูมิภายในสูงสุด เท่ากับ 56.66°C , มีค่าอุณหภูมิภายในต่ำสุด เท่ากับ 23.88°C

ในช่วงกลางคืนของ วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ.2557 เวลา 18.10-5.50 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิต่อเนื่องที่ ค่าอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ ตั้งแต่ 18.10 จนถึงช่วงเช้า มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 33.05°C , มีค่าอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด เท่ากับ 25.26°C และค่าอุณหภูมิภายในสูงสุด เท่ากับ 34.60°C , มีค่าอุณหภูมิภายในต่ำสุด เท่ากับ 25.07°C

(2) การเปรียบเทียบกราฟค่าอุณหภูมิ

จากกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกมีค่าน้อยที่สุดในช่วงกลางวันของทุกวัน มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 40.11°C และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในทั้ง 3 ตำแหน่ง พบว่า ค่าอุณหภูมิมีความใกล้เคียงกันมาก คือ ตำแหน่ง A1 ซึ่งแขวนอยู่ด้านบนใกล้หลังคาช่องมากที่สุด มีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 56.66°C , ลำดับที่ 2 คือ ตำแหน่ง A2 ซึ่งแขวนอยู่กลางช่อง มีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 56.30°C , ลำดับที่ 3 คือ ตำแหน่ง A3 ซึ่งแขวนอยู่ด้านล่างใกล้พื้นช่องมากที่สุด มีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 56.26°C ดังนั้น ค่าอุณหภูมิต่างกันกับระยะห่างของช่องแสงถึงตำแหน่งอุปกรณ์ A1, A2, A3

2.2.2 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในของกล่องทดสอบที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร (กล่อง B)



ภาพที่ 67 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง B

วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ.2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที

ผลการทดสอบ กล่อง B คือ กล่องเปิด 30 ซม.(ระยะที่สามารถเปิดได้มากที่สุดของแบบจำลองขนาด 1.00x1.00 ม.) หรือคิดเป็นสัดส่วนของช่องเปิด เท่ากับ 65 % ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านค่าอุณหภูมิ แบ่งได้ดังนี้

(1) สรุปผลกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายใน

ในวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิขึ้น-ลงไม่คงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 14.00-15.00 น.เนื่องจากสภาพของท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 39.63°C, มีค่าอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด เท่ากับ 24.34°C และค่าอุณหภูมิภายในสูงสุด เท่ากับ 46°C, มีค่า

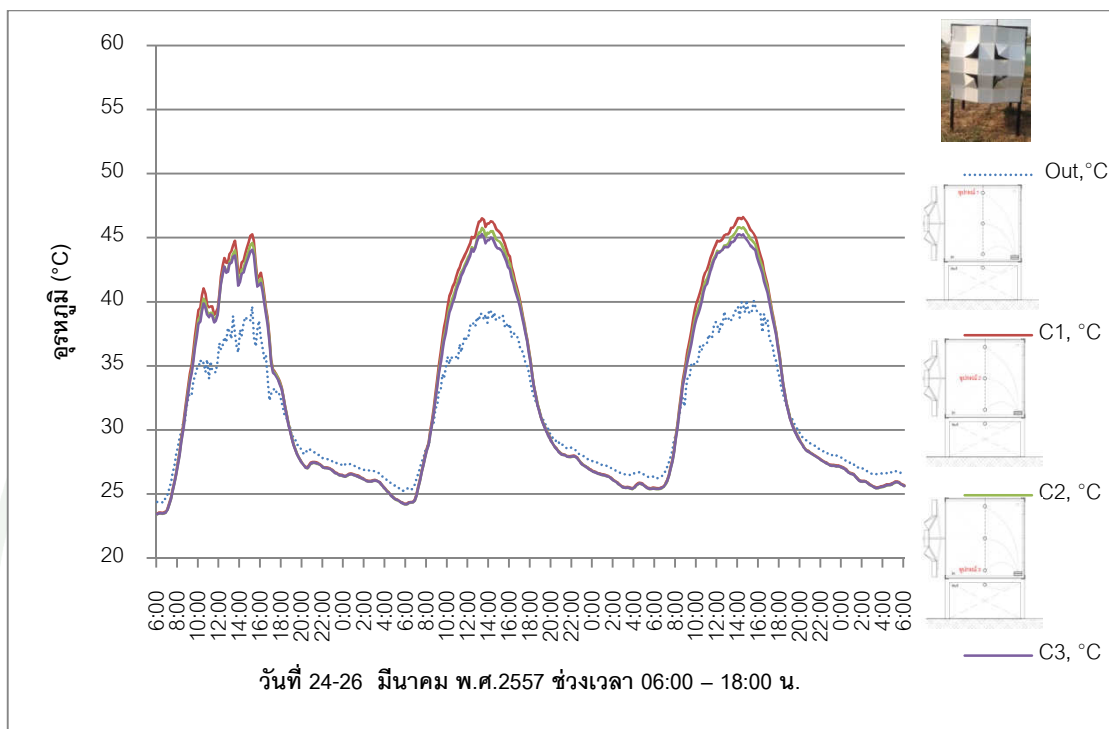
อุณหภูมิภายในต่ำสุด เท่ากับ 23.30°C ในวันที่ 25-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 13.00-14.30 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (Cloud Sky) มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 40.11°C , มีค่าอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด เท่ากับ 25.33°C และค่าอุณหภูมิภายในสูงสุด เท่ากับ 47.91°C , มีค่าอุณหภูมิภายในต่ำสุด เท่ากับ 24.05°C

ในช่วงกลางคืนของ วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ.2557 เวลา 18.10-5.50 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิลดลงค่อนข้างคงที่ ตั้งแต่ 18.10 จนถึงช่วงเช้า มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 33.05°C , มีค่าอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด เท่ากับ 26.30°C และค่าอุณหภูมิภายในสูงสุด เท่ากับ 34.15°C , มีค่าอุณหภูมิภายในต่ำสุด เท่ากับ 25.33°C

(2) การเปรียบเทียบกราฟค่าอุณหภูมิ

จากกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกมีค่าน้อยที่สุดในช่วงกลางวันของทุกวัน มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 40.11°C และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในทั้ง 3 ตำแหน่ง พบว่า ค่าอุณหภูมิมีความใกล้เคียงกันมาก คือ ตำแหน่ง B1 ซึ่งแขวนอยู่ด้านบนใกล้หลังคาถล่มมากที่สุด มีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 47.91°C , ลำดับที่ 2 คือ ตำแหน่ง B2 ซึ่งแขวนอยู่กลางถล่ม มีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 47.22°C , ลำดับที่ 3 คือ ตำแหน่ง B3 ซึ่งแขวนอยู่ด้านล่างใกล้พื้นถล่มมากที่สุด มีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 46.51°C ดังนั้น ค่าอุณหภูมิแปรผกผันกับระยะห่างของช่องแสงถึงตำแหน่งอุปกรณ์ B1, B2, B3

2.2.3 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในของกล่องทดสอบที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร (กล่อง C)



ภาพที่ 68 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง B

วันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ.2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที

ผลการทดสอบ กล่อง C คือ กล่องเปิด 15 ซม.(ระยะที่สามารถเปิดได้มากที่สุดของแบบจำลองขนาด 1.00x1.00 ม.) หรือคิดเป็นสัดส่วนของช่องเปิด เท่ากับ 30 % ของพื้นที่ช่องเปิด 1 ช่อง ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลด้านค่าอุณหภูมิ แบ่งได้ดังนี้

(1) สรุปผลกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายใน

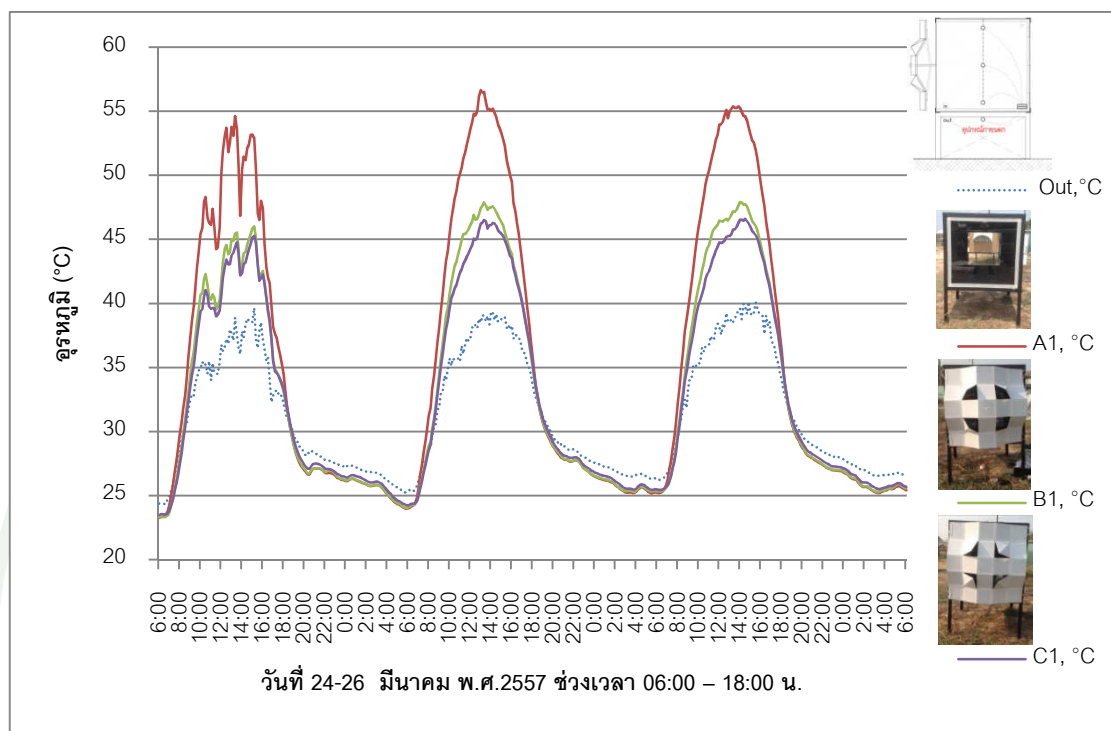
ในวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิขึ้น-ลงไม่คงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 14.00-15.00 น.เนื่องจากสภาพของท้องฟ้าที่มีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 39.63°C, มีค่าอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด เท่ากับ 24.34°C และค่าอุณหภูมิภายในสูงสุด เท่ากับ 45.25°C, มีค่า

อุณหภูมิภายในต่ำสุด เท่ากับ 23.42°C ในวันที่ 25-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ ค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 13.00-14.30 น. เนื่องจากสภาพของท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน (Cloud Sky) มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 40.11°C , มีค่าอุณหภูมิภายนอกต่ำสุด เท่ากับ 25.33°C และค่าอุณหภูมิภายในสูงสุด เท่ากับ 46.61°C , มีค่าอุณหภูมิภายในต่ำสุด เท่ากับ 24.17°C

(2) การเปรียบเทียบกราฟค่าอุณหภูมิ

จากกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกมีค่าน้อยที่สุดในช่วงกลางวันของทุกวัน มีค่าอุณหภูมิภายนอกสูงสุด เท่ากับ 40.11°C และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายในทั้ง 3 ตำแหน่ง พบว่า ค่าอุณหภูมิมีความใกล้เคียงกันมาก คือ ตำแหน่ง C1 ซึ่งแขวนอยู่ด้านบนใกล้หลังคากรองมากที่สุด มีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 46.61°C , ลำดับที่ 2 คือ ตำแหน่ง C2 ซึ่งแขวนอยู่กลางกล่อง มีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 45.81°C , ลำดับที่ 3 คือ ตำแหน่ง C3 ซึ่งแขวนอยู่ด้านล่างใกล้พื้นกล่องมากที่สุด มีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 45.28°C ดังนั้น ค่าอุณหภูมิแปรผกผันกับระยะห่างของช่องแสงถึงตำแหน่งอุปกรณ์ C1, C2, C3

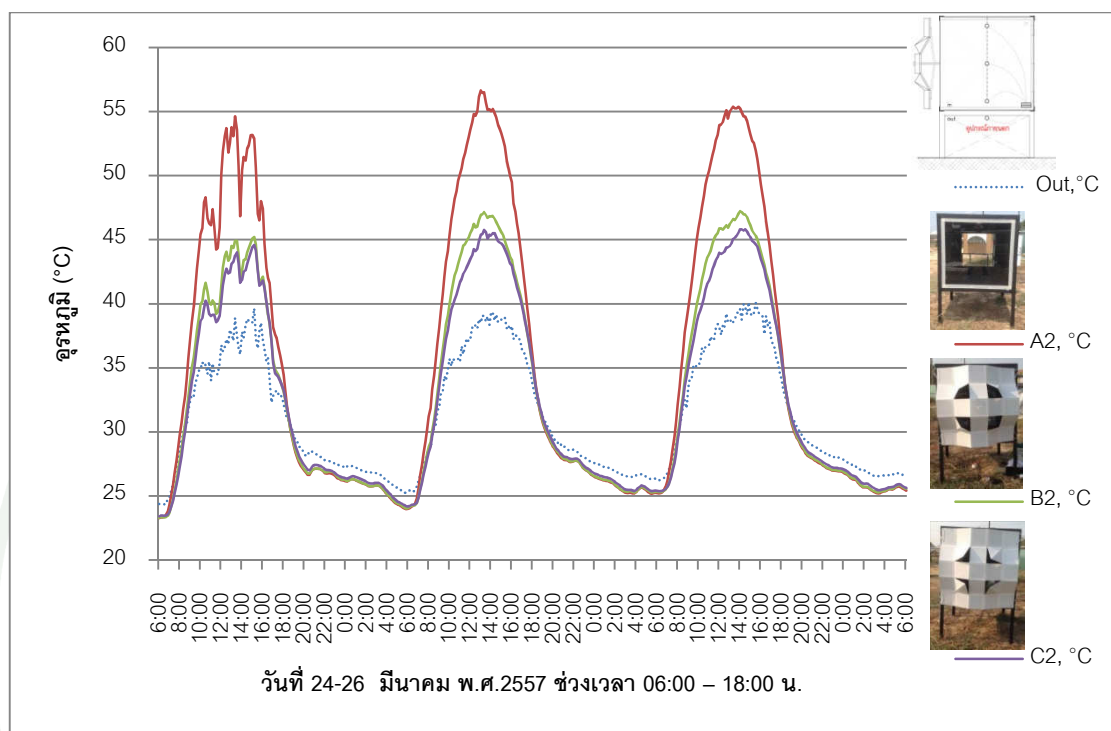
2.2.4 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในของกล่องทดสอบ 3
กล่อง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์เดียวกัน (ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1)



ภาพที่ 69 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์
ที่ 1 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที

จากกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกมีค่าน้อยที่สุดในช่วงกลางวันของทุกวัน และเมื่อนำกราฟ
มาเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 ซึ่ง
แขวนอยู่ด้านบนใกล้หลังคากล่องมากที่สุด พบความแตกต่างของกราฟอย่างชัดเจน คือ กราฟค่า
อุณหภูมิกำลัง A ที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคารมีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 56.66°C แต่เมื่อมีการ
ติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิด 65 % ของกล่อง B ค่าอุณหภูมิสูงสุดลดลง เท่ากับ 47.91°C
และระยะช่องเปิด 30 % ของกล่อง C ค่าอุณหภูมิต่ำสุดลดลง เท่ากับ 46.61°C พบว่า ค่า
อุณหภูมิภายในมีค่าอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน และในช่วงกลางคืน เวลา 18.10 - 5.50 น. ลักษณะ
ของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิลดลงค่อนข้างคงที่

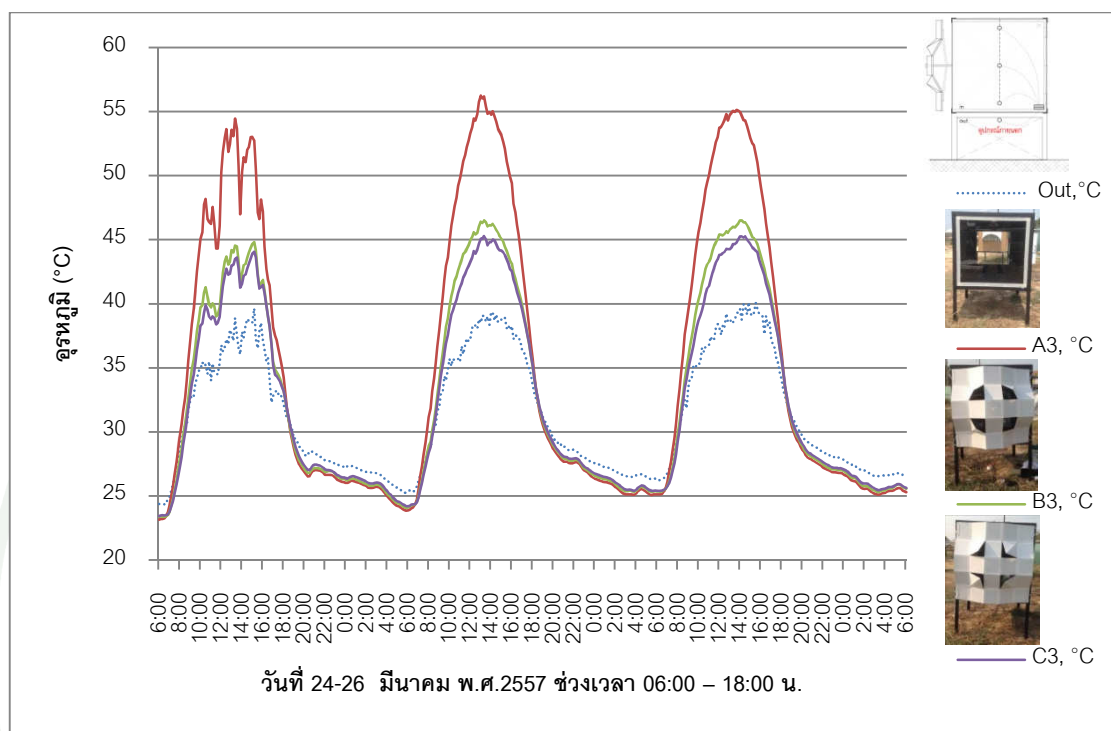
2.2.5 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในของกล่องทดสอบ 3 กล่อง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์เดียวกัน (ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2)



ภาพที่ 70 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที

จากกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกมีค่าน้อยที่สุดในช่วงกลางวันของทุกวัน และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 ซึ่งแขวนอยู่กลางกล่อง พบความแตกต่างของกราฟอย่างชัดเจน คือ กราฟค่าอุณหภูมิกล่อง A ที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคารมีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 56.30°C แต่เมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิด 65 % ของกล่อง B ค่าอุณหภูมิสูงสุดลดลง เท่ากับ 47.22°C และระยะช่องเปิด 30 % ของกล่อง C ค่าอุณหภูมิสูงสุดลดลง เท่ากับ 45.81°C พบว่า ค่าอุณหภูมิภายในมีค่าอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน และในช่วงกลางคืน เวลา 18.10 - 5.50 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิลดลงค่อนข้างคงที่




2.2.6 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในของกล่องทดสอบ 3 กล่อง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์เดียวกัน (ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3)



ภาพที่ 71 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลอง ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ทุกๆ 10 นาที

จากกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกมีค่าน้อยที่สุดในช่วงกลางวันของทุกวัน และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 ซึ่งแขวนอยู่ด้านล่างใกล้พื้นกล่องมากที่สุด พบความแตกต่างของกราฟอย่างชัดเจน คือ กราฟค่าอุณหภูมิกล่อง A ที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคารมีค่าอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 56.26°C แต่เมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิด 65 % ของกล่อง B ค่าอุณหภูมิสูงสุดลดลง เท่ากับ 46.51°C และระยะช่องเปิด 30 % ของกล่อง C ค่าอุณหภูมิสูงสุดลดลง เท่ากับ 45.28°C พบว่า ค่าอุณหภูมิภายในมีค่าอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน และในช่วงกลางคืน เวลา 18.10 - 5.50 น. ลักษณะของกราฟมีการเคลื่อนไหวของค่าอุณหภูมิลดลงค่อนข้างคงที่

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกและภายในกล่องทดลอง A, B, C (°C)

กล่องทดลอง	ตำแหน่งอุปกรณ์	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (°C)			
		ทดสอบ	24 มีนาคม 2557	25 มีนาคม 2557	26 มีนาคม 2557
	ภายนอก		33.56	34.62	35.36
	A1		41.62	44.08	44.48
	A2		41.41	43.90	44.34
	A3		41.57	43.86	44.26
	อุณหภูมิเฉลี่ย		41.53	43.94	44.36
	B1		37.30	39.40	40.02
	B2		36.98	38.99	39.60
	B3		36.79	38.69	39.31
	อุณหภูมิเฉลี่ย		37.02	39.02	39.64
	B1		36.77	38.60	39.16
	B2		36.36	38.10	38.66
	B3		36.16	37.87	38.39
	อุณหภูมิเฉลี่ย		36.43	38.19	38.73

จากการทดลองเปลือกอาคาร ผลการทดลองที่ได้นี้เป็นของช่วงเดือน มีนาคม เท่านั้น เนื่องจากการทดลองด้วยกล่องทดลองมีข้อจำกัดในการทดสอบ เช่น เวลา สภาพท้องฟ้า องศาของแสงแดด ขนาดของกล่องทดลอง และเครื่องมือในการทดสอบที่มีจำนวนจำกัด ทำให้ได้ผลการทดลองเฉพาะช่วงเวลาที่ทดลองและไม่สามารถได้ผลการทดลองที่แม่นยำและครอบคลุมตลอดทั้งปีได้ ดังนั้น เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ครอบคลุมและแม่นยำเพิ่มเติม ควรใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อให้ทราบผลการทดลองตลอดทั้งปีและช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลได้มากขึ้น เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดเวลา สภาพท้องฟ้า องศาของแสงแดดและขนาดของกล่องทดลองได้

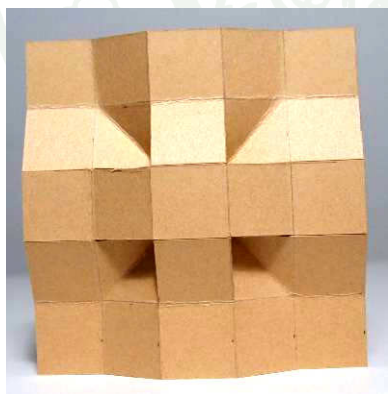
สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

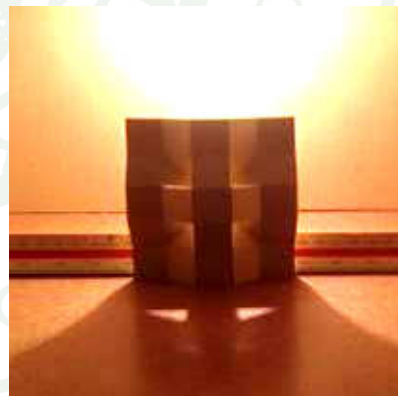
1. สรุปผลการออกแบบเปลือกอาคาร

งานวิจัยนี้พัฒนาต้นแบบเปลือกอาคาร โดยใช้แนวความคิดจากนวัตกรรมการเลียนแบบความหลากหลายและความมหัศจรรย์ของธรรมชาติหรือชีวลอกเลียนซึ่งเป็นการออกแบบรูปทรงและโครงสร้างที่เลียนแบบธรรมชาติ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบรูปทรงเปลือกอาคารใช้แนวความคิดจากรังผึ้ง งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบแผงบังแดดภายนอกอาคารที่สามารถปรับทิศทางและให้ความสำคัญกับอาคารด้านทิศใต้จึงพิจารณาใช้อุปกรณ์บังแดดแบบผสม แผงบังแดดนี้จะถูกติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร

จากการพัฒนารูปแบบของเปลือกอาคารด้วยแบบจำลอง นำไปทดสอบเบื้องต้นด้วยการสังเกตการส่องผ่านของแสงแดด ดังนั้น รูปแบบของเปลือกอาคารที่นำไปพัฒนาต่อ คือ แบบจำลองเปลือกอาคารที่ 7 เพราะแสงแดดสามารถส่องผ่านได้น้อยที่สุด



(ก)



(ข)

ภาพที่ 72 แบบจำลองเปลือกอาคาร

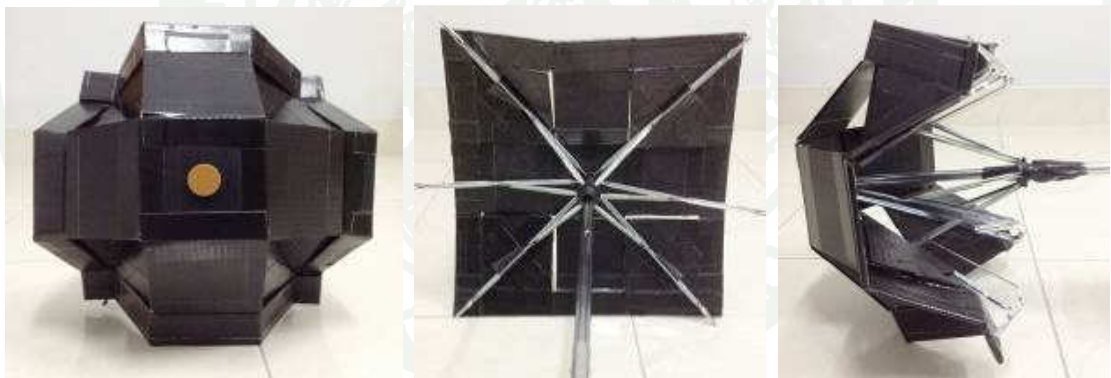
(ก) แบบจำลองเปลือกอาคารที่ 7

(ข) แบบจำลองเปลือกอาคารที่ 7 ที่ทดสอบด้วยการส่องผ่านของแสงแดด

2. สรุปผลการออกแบบโครงสร้างของเปลือกอาคาร

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบแผงบังแดดภายนอกอาคารที่สามารถปรับทิศทางและให้ความสำคัญกับอาคารด้านทิศใต้แผงบังแดดนี้จะถูกติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร เพราะนอกจากการแผ่รังสีจากตัวแผงบังแดดเองจะเข้ามาไม่ถึงแล้ว ยังสามารถให้ลมพัดพาระบายความร้อนจากที่แผงแดดภายนอกได้อีกด้วย

จากการพัฒนารูปแบบของโครงสร้างเปลือกอาคารด้วยแบบจำลอง ทดสอบการทำงานด้วยระบบ Manual หรือ ควบคุมด้วยตนเอง ดังนั้น รูปแบบของโครงสร้างเปลือกอาคารที่นำไปพัฒนาเป็นต้นแบบเพื่อการทดสอบ คือ แบบที่ 14 ระบบโครงร่วมแกนกลางครีบบาง 1 ชั้น คือ การพัฒนารูปแบบโครงสร้างจากแบบเปลือกอาคารที่ 7 ขนาด 45 x 45 ซม. แบ่งย่อยแผ่นเปลือกอาคารออกเป็น 25 ชิ้นเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนไหว โครงสร้างใช้โครงร่วมเป็นแกนกลางและใช้ก้านร่วมติดกับครีบบ เพื่อใช้ในการ เปิด-ปิด

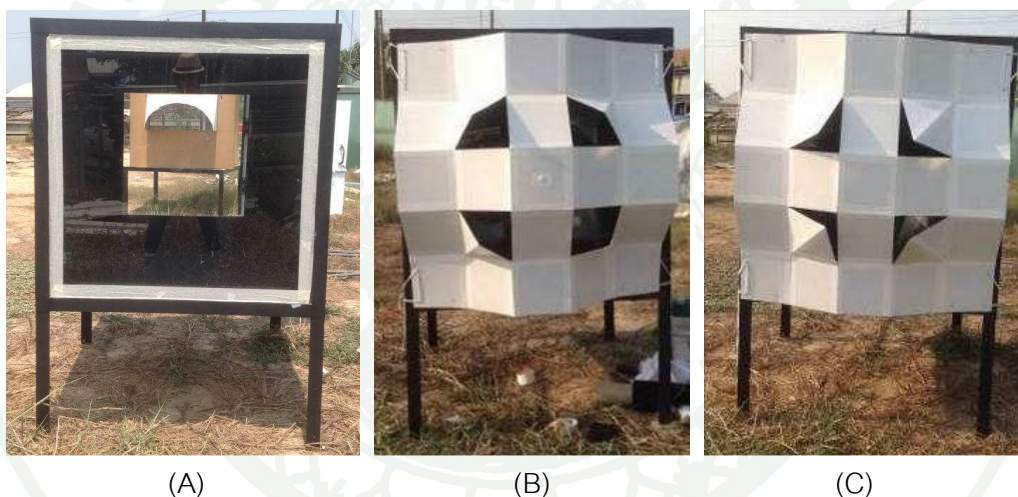


ภาพที่ 73 แบบจำลองโครงสร้างเปลือกอาคาร แบบที่ 14

3. สรุปผลการทดลองของเปลือกอาคาร

งานวิจัยนี้ทดลองโดยใช้กล่องทดสอบเนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลา ผลการทดลองของเปลือกอาคารนี้จึงเป็นผลการทดลองของช่วงเดือน มีนาคม เท่านั้น และสามารถสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ การทดสอบประสิทธิภาพในการกรองแสงและทดสอบประสิทธิภาพในการลดความร้อนภายในอาคารที่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร เมื่อมีการปรับรูปแบบต่างๆ ดังนี้

3.1 การทดสอบประสิทธิภาพในการกรองแสงภายในอาคารที่มีการติดตั้งเปลือกอาคารเมื่อมีการปรับรูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 74 กล่องทดสอบ

- (A) กล่อง A ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร
- (B) กล่อง B มีการติดตั้งเปลือกอาคาร ระยะเวลาเปิด 65%
- (C) กล่อง C มีการติดตั้งเปลือกอาคาร ระยะเวลาเปิด 30%

การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในกล่องทดสอบ มีการบันทึกผลการทดลองทุกๆ 5 นาที จำนวน 3 วัน วันที่ 23-26 มีนาคม พ.ศ. 2557 ช่วงเวลา 06:00 – 18:00 น. จากกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีค่ามากที่สุดในทุกวันและช่วงเวลา และเมื่อนำกราฟมาเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) พบว่า ณ ตำแหน่ง

อุปกรณ์ที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หน้ากล่องใกล้ช่องแสงมากที่สุด พบความแตกต่างของกราฟอย่างชัดเจน คือ กราฟค่าความส่องสว่างภายนอกมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 88,759 lux เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟค่าความส่องสว่างภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) และเมื่อนำกราฟค่าความส่องสว่างภายในมาเปรียบเทียบกัน พบว่า กราฟค่าความส่องสว่างกล่อง A ที่ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคารมีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 59,804 lux แต่เมื่อมีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิด กล่อง B เท่ากับ 65 % มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 18,355 lux และกล่อง C เท่ากับ 30 % มีปริมาณค่าความส่องสว่างสูงสุด เท่ากับ 14,757 lux มีปริมาณค่าความส่องสว่างใกล้เคียงกัน

ดังนั้น จากการเปรียบเทียบกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่หน้ากล่องใกล้ช่องแสงมากที่สุด, ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 เป็นตำแหน่งที่อยู่กลางกล่อง, ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 เป็นตำแหน่งที่อยู่หลังกล่อง พบว่า ปริมาณค่าความส่องสว่างมีค่าแปรผกผันกับระยะห่างของช่องแสงถึงตำแหน่งอุปกรณ์ กล่าวคือ ปริมาณค่าความส่องสว่างจะลดลงตามระยะห่างของช่องแสงถึงตำแหน่งอุปกรณ์

จากการเปรียบเทียบกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) คือ กล่อง A ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร กล่อง B มีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิด เท่ากับ 65 % และกล่อง C มีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิด เท่ากับ 30 % ค่าความส่องสว่างแบบแปรผันตามระยะของช่องเปิด กล่าวคือ ปริมาณค่าความส่องสว่างจะลดลงตามระยะของช่องเปิด

2. การทดสอบประสิทธิภาพในการลดความร้อนภายในอาคารที่มีการติดตั้งเปลือกอาคารเมื่อมีการปรับรูปแบบต่างๆ

จากการเปรียบเทียบกราฟค่าอุณหภูมิภายนอกและภายในทั้ง 3 กล่อง (A, B, C) ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 1 ซึ่งแขวนอยู่ด้านบนใกล้หลังคากล่องมากที่สุด, ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 2 ซึ่งแขวนอยู่กลางกล่อง และ ณ ตำแหน่งอุปกรณ์ที่ 3 ซึ่งแขวนอยู่ด้านล่างใกล้พื้นกล่องมากที่สุด ดังนั้น ค่าอุณหภูมิแปรผกผันกับระยะห่างของช่องแสงถึงตำแหน่งอุปกรณ์ กล่าวคือ ค่าอุณหภูมิจะลดลงตามระยะห่างจากหลังคากล่องทดสอบ

จากการเปรียบเทียบกราฟค่าความส่องสว่างภายนอกและภายในทั้ง 3 กล้อง (A, B, C) คือ กล้อง A ไม่มีการติดตั้งเปลือกอาคาร กล้อง B มีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิดเท่ากับ 65 % และกล้อง C มีการติดตั้งเปลือกอาคารที่ระยะช่องเปิดเท่ากับ 30 % ดังนั้น ค่าอุณหภูมิแบบแปรผันตามกับระยะของช่องเปิด กล่าวคือ ปริมาณค่าอุณหภูมิจะลดลงตามระยะของช่องเปิด คือ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย กล้อง A > B = 5°C, ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย กล้อง A > C = 6°C, ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย กล้อง B > C = 1°C



ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะการออกแบบเปลือกอาคาร

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการออกแบบเปลือกอาคาร โดยใช้แนวความคิดจากนวัตกรรมการเลียนแบบความหลากหลายและความมหัศจรรย์ของธรรมชาติ หรือ ชีวลอกเลียนและการทดสอบหาประสิทธิภาพของต้นแบบเปลือกอาคารทรงแสงแดดปรับเปลี่ยนได้จากโครงสร้างรังผึ้ง ผู้ที่มีความสนใจอาจนำข้อมูลไปพัฒนาต่อด้านระบบกลไกการทำงานของเปลือกอาคาร และการปรับขนาดของช่องเปิดเพื่อให้ได้ปริมาณของแสงเพียงพอต่อการใช้งานในกิจกรรมต่างๆ ที่มีการนำไปใช้ ตลอดจนการเลือกใช้วัสดุที่ช่วยประหยัดพลังงาน หรือแนวทางการใช้ประโยชน์เพิ่มเติมจากเปลือกอาคาร เช่น ใช้เป็นพื้นที่โฆษณา เพื่อให้เปลือกอาคารใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

ลักษณะอาคารที่ควรนำไปใช้ คือ อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่ ที่ผนังของอาคารมีพื้นที่กระจกจำนวนมาก เพราะสามารถติดตั้งได้โดยรอบของอาคารขึ้นอยู่กับการออกแบบ หรืออาคารที่ต้องการ การควบคุมเรื่องแสงและอุณหภูมิเป็นพิเศษ

2. ข้อเสนอแนะการออกแบบโครงสร้างของเปลือกอาคาร

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาต้นแบบโครงสร้างเปลือกอาคารโดยใช้แนวความคิดจากการเลียนแบบการเคลื่อนไหวของพืช สามารถปรับทิศทางเพื่อรับแสงสว่างเข้าสู่ตัวอาคารและลดความร้อนภายในอาคารจากแสงแดดภายนอกได้ จึงผลิตต้นแบบเพื่อการทดสอบจึงพบข้อจำกัดของเปลือกอาคาร คือ การใช้พื้นที่ด้านหลังของเปลือกอาคารในการทำงานของกลไกค่อนข้างมาก และต้องใช้จุดเชื่อมต่อ (joint) ต่างๆ ค่อนข้างมากในการเชื่อมโยงการทำงานของระบบ

ดังนั้น การนำไปพัฒนาต่อควรคำนึงถึงระบบกลไกการทำงานของเปลือกอาคารให้ง่ายต่อการผลิตและดูแลรักษา และลดพื้นที่การทำงานของกลไกลง เพื่อให้ตัวอาคารไม่รับน้ำหนักมากเกินไป

3. ข้อเสนอแนะการทดลองของเปลือกอากาศ

3.1 การทดลองโดยใช้กล่องทดลอง ควรใช้กล่องทดลองที่มีความลึกมากกว่านี้ เพื่อช่วยให้ได้ข้อมูลในการทดสอบที่ถูกต้องมากขึ้น และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายนอกควรมีกล่องทดสอบที่สามารถแขวนเครื่องมือ กันแดดและระบายอากาศได้ดี

3.2 สามารถทดลองเพิ่มเติมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อให้ทราบผลการทดลองตลอดทั้งปีและช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลได้มากขึ้น เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดเวลา สภาพท้องฟ้า องศาของแสงแดดและขนาดของกล่องทดสอบ คือ การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นการรวบรวมวิธีการต่างๆ ที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่างๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วย เพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ โดยมีการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคต (Kelton, et al., 2003) เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงไม่สามารถที่จะทำการทดลองหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานได้จนกว่าจะมองเห็นถึงประโยชน์ที่จะได้รับ อาทิเช่น การขจัดปัญหาที่อยู่นอกเหนือความคาดหมายที่เกิดขึ้น ทำให้กระบวนการผลิตช้าลง ดังนั้นการจำลองสถานการณ์ (Simulation) จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์สภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของระบบ และช่วยหาแนวทางหรือทางเลือก (Scenario) ที่เหมาะสม ก่อนนำไปใช้กับสถานการณ์หรือการปฏิบัติงานจริง ซึ่งจะช่วยให้ลดความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาด หรือความล้มเหลวได้ นอกจากนี้ยังช่วยให้ประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายและเวลาได้อีกทางด้วย (Maria, 1997)

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. **ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy)**. แหล่งที่มา :

http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Build/Build_13,
20 กรกฎาคม 2556.

จตุวัฒน์ วจิตมพันธ์. 2555. **กรอบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน**. แหล่งที่มา :

<http://www.buildernews.in.th/page.php?a=10&n=146&cno=4131>,
13 สิงหาคม 2556.

จินดา แก้วเขียว และ วัชระ มั่งวิฑิตกุล. 2555. การออกแบบบ้าน-อาคารที่เหมาะสมกับสภาวะ
แวดล้อม. **สารนารู้เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน**. ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่ง
ประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2540. **เทคนิคการส่องสว่าง**. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ มก, กรุงเทพมหานคร.

ชุมพล คุณวาสี. 2553. **การตอบสนองและการควบคุมภายในพืช**. แหล่งที่มา :

<http://www.sc.chula.ac.th>, 15 มิถุนายน 2556.

ตริ่งใจ บุรณสมภพ. 2539. **การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน**.

สำนักพิมพ์ บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด(มหาชน), กรุงเทพมหานคร.

นรพล รามฤทธิ์. 2550. **การออกแบบคอมไฟความบันเทิงจากรังผึ้ง**. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ประพฤทธิ เตียะตาข้าง. 2544. **การศึกษาแนวความคิดในการเลือกใช้เปลือกอาคารของ
อาคารสูง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง.

พัลลภ กฤตยานวัช. 2553. **สถาปัตยกรรมแนวธรรมชาติ**. วารสารธนาคารอาคารสงเคราะห์.

ปีที่ 16 (6) : หน้า 6-16

ภาควิชาภูมิทัศน์และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม. 2556. **Physical Geography**. คณะผลิตกรรมการ

เกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่. แหล่งที่มา :

<http://www.rmutphysics.com/charud/naturemystery/sci3/geology/2/>

index_ch_2.htm, 22 พฤษภาคม 2556.

ยุทธนา อินทัยสินทวี. 2553. **“การ์เมนต์” แผ่นบอร์ดและเฟอร์นิเจอร์จากเศษผ้า**. กรมป่า

ไม้และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วรางคณา มีจิตต์. 2553. **การพัฒนารูปทรงอุปกรณ์กันแดดที่มีประสิทธิภาพสำหรับช่องแสง**

ด้านทิศใต้ในประเทศไทย. การค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภวิศวรร บัญญาสกุลวงศ์ และ กฤษณ์ แยมสระโล. 2556. **ทิศทางของแสงแดดกับประเทศไทย**.

แหล่งที่มา : <http://website.informer.com/visit?domain=thaihomemaster.com>, 25

ธันวาคม 2556.

สฤณี อาชวานันทกุล. 2552. **ชีวลอกเลียน : นวัตกรรมที่ธรรมชาติเป็นแรงบันดาลใจ**.

แหล่งที่มา : <http://www.onopen.com/sarinee/09-05-09/4784>, <http://biomimicry.net/>,

5 กันยายน 2556.

สวามินี ธีระวุฒิ. 2553-2554. **ชีวลอกเลียน. วิทยาศาสตร์เพื่อประชาชน**. เล่มที่ 34.

คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา. ตุลาคม 2553-กันยายน 2554.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2541. **การเลี้ยงผึ้งโพรงไทย**. แหล่งที่มา :

<http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/BOOK15/chapter2/t15-2-m.htm>,

11 ตุลาคม 2553.

สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ, ยงยุทธ ไวกกุล, ศุภชัย หล่อโลหการ และเสณนิก หงษ์ทรงเกียรติ. 2528.

หลักการเลี้ยงและขยายพันธุ์ผึ้งในประเทศไทย. สมาคมวิทยาศาสตร์การเกษตรแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. กรุงเทพฯ.

สิริวัฒน์ วงษ์ศิริ และ สุวีรัตน์ เตียววาทินิชย์. 2555. **ชีววิทยาของผึ้ง.** พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

สุนันท์ ศรัณยนิตย์. 2538. **การถ่ายเทความร้อน.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ

สุวัฒน์ ราชณรงค์. 2543. **ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy).** แหล่งที่มา :
<http://e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp?code=PH235>,
 15 สิงหาคม 2556.

สุวัฒน์ เจริญผล. 2551. **มหัศจรรย์แห่งธรรมชาติ(ไม่)ยากที่จะเลียนแบบ.** แหล่งที่มา :
http://lib.edu.chula.ac.th/cuappl/libedu2007/lib_tech/aspboard_Question.asp?GID=55, 23 กรกฎาคม 2556.

สมสิทธิ์ นิตยะ. 2541. **การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศเขตร้อนชื้น.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

สำนักงานศูนย์สร้างสรรค์งานออกแบบ. 2553. **ให้ธรรมชาตินำทางงานออกแบบ.** แหล่งที่มา :
<http://www.tcdc.or.th/articles.php?act=view&id=66&lang=en>, 11 กรกฎาคม 2556.

อุดม เขยกีวงศ์. 2555. **ภาวะโลกร้อน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แสงดาว. กรุงเทพฯ

อัศวเสรี. 2557. **ประเทศไทยกับดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ.** แหล่งที่มา :
<http://www.akalukseeree.com/imgres.aspx>, 6 ธันวาคม 2556

- Aasarchitecture. 2014. **Completed the King Fahad National Library by gerber architekten**. Available Source : <http://aasarchitecture.com/2014/01/completed-the-King-Fahad-National-Library-by-Gerber-Architekten.html#more>, 6 Oct 2013.
- ASHRAE. 1992. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Standard 55-1992, GA : American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- B.Holverstott. 2008. **What Can Architecture Learn From Nature?**. Available Source : <http://www.greenerdesign.com/blog/2008/09/07>, 30 Jun 2013.
- D.Goswami, F.Kreith and F.Kreider. 2000. **Principles of Solar Engineering (2nd)**. Taylor & Francis Publisher, Philadelphia.
- Fanger and P.O. 1970. **Thermal Comfort**. Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark.
- Freshome. 2555. **Intelligent shading system unfurled on Abu Dhabi's Al Bahar Towers**. Available Source : <http://freshome.com/2012/12/24/intelligent-shading-system-showcased-by-abu-dhabis-al-bahar-towers/>, 30 Dec 2013.
- G. Hadas. 2006. **Ein Gedi**. Available Source : <http://www.biblewalks.com/Sites/EinGedi.html>, 20 Jul 2013.
- Givoni. 1998. **Climate Considerations in Building and Urban Design**. Van Nostrand-Reinhold publisher, New York.

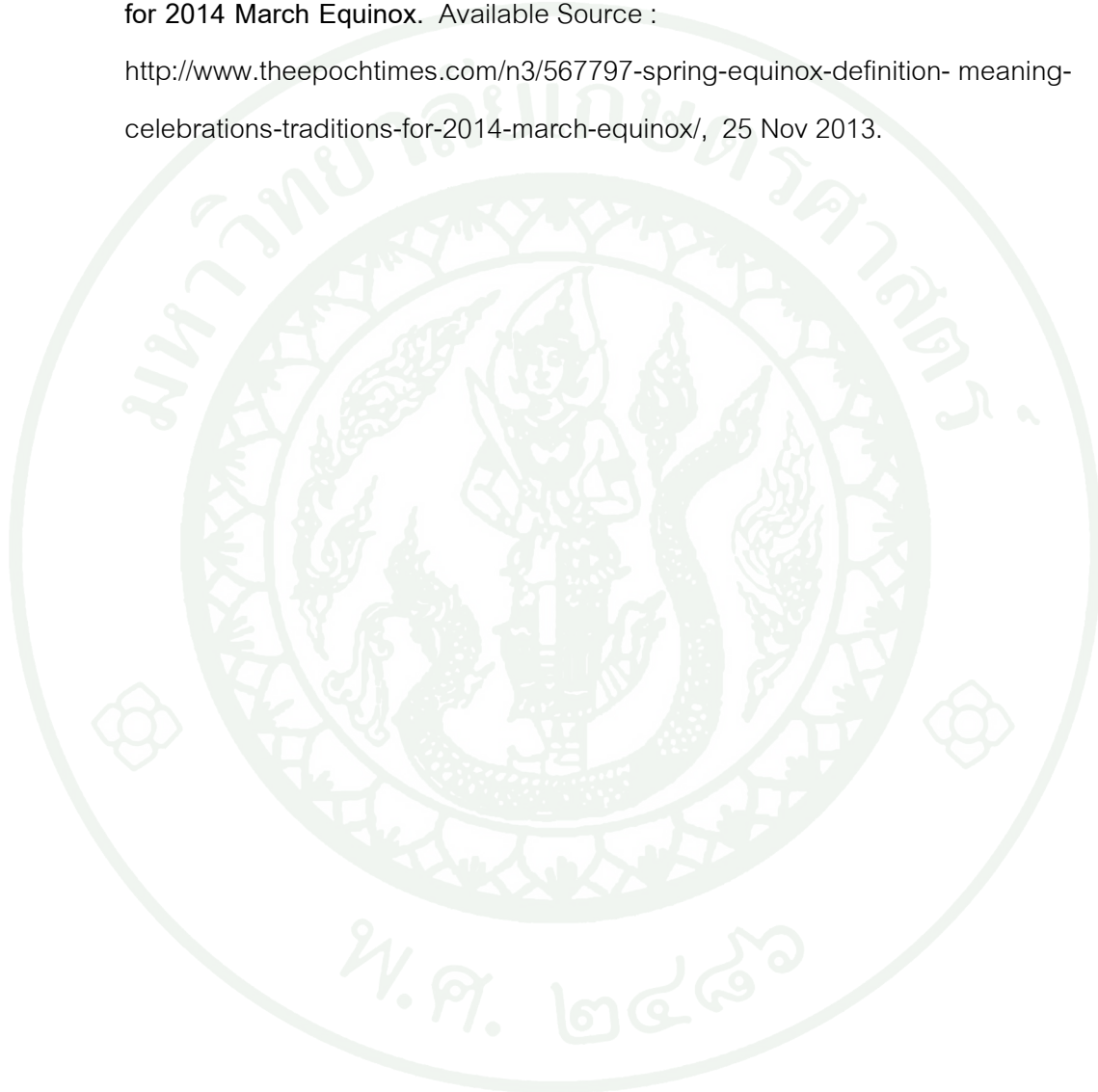
- Inhabitat. 2555. **Exclusive Photos: World's Largest Computerized Façade Cools Aedas' Al Bahr Towers**. Available Source : <http://inhabitat.com/exclusive-photos-worlds-largest-computerized-facade-cools-aedas-al-bahr-towers/al-bahar-towers-lead2/?extend=1>, 15 Nov 2013.
- Kelton ,D.W., Sadowski , R.P. and Sturrock D.T. 2003. **“Simulation with Arena”-3rd ed., International Edition**. McGraw-Hill, The McGraw-Hill Company, Inc., New York.
- Maria. 1997. **“Introduction to model and simulation”**, Proceeding of the 1997 Winter simulation Conference ed. S. Andradottir, K.J. Healy, D.H. Withers, and B.L.Nelson.
- Maxwell and Jane. 1899-1987. **Tropical Architecture in The Dry and Humid Zones (2nd)**. Krieger Pub., Florida.
- Millet, Bedrick and J.Reynolds. **Mechanical and Electrical Equipment for Building (11th)**. New York John Wiley & Sons Co : 1998, 237.
- Olgay. 1967. **Design With Climate : Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism (1st)**. Princeton University Press, New Jersey.
- Gut, P and Ackerknecht. 1993. **Climate Responsive Building - Appropriate Building Construction in Tropical and Subtropical Regions**. SKAT, Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management, Zürich, Switzerland.
- Plantsresponse. 2001. **Paratonic Movement**. Available Source : <http://plantsresponse.exteen.com/>, 10 Aug 2013.

Saudi. 2010. **Mashrabiya**. Available Source :

<http://starsinsymmetry.com/2010/01/05/study-mashrabiya/>, 18 Nov 2013.

Zachary and Epoch. 2014. **Spring Equinox: Definition, Meaning, Celebrations, Traditions for 2014 March Equinox**. Available Source :

<http://www.theepochtimes.com/n3/567797-spring-equinox-definition-meaning-celebrations-traditions-for-2014-march-equinox/>, 25 Nov 2013.





ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายใน
 กล้อง A ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) ทุกๆ 1 ชม.ของ
 อุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลภายในกล้องทดสอบทั้ง 3 ตำแหน่ง

Date	Time	Out, Lux	กล้องทดลอง A		
			A1, Lux	A2, Lux	A3, Lux
23/3/2014	7:35	5464.80	3682.06	2203.55	888.53
23/3/2014	8:40	10999.80	7411.43	4435.40	1788.47
23/3/2014	9:40	30304.80	20418.65	12219.68	4927.29
23/3/2014	10:05	34624.80	23329.44	13916.61	5629.68
23/3/2014	11:45	40294.80	27149.76	16247.90	6551.57
23/3/2014	12:20	18019.80	12141.35	7266.05	2929.56
23/3/2014	13:15	58519.80	39429.37	23596.69	9514.80
23/3/2014	14:10	17074.80	11504.63	6885.00	2776.21
23/3/2014	15:15	34894.80	23511.36	14070.48	5673.58
24/3/2014	9:05	38269.80	25785.36	15431.37	6222.33
24/3/2014	10:45	34624.80	23329.44	13961.61	5629.68
24/3/2014	11:25	30439.80	20509.67	12274.11	4949.29
24/3/2014	12:35	35569.80	23966.16	14324.66	5783.33
24/3/2014	13:45	24094.80	16234.55	9715.65	3917.60
24/3/2014	14:10	46369.80	31242.96	18697.50	7539.31
24/3/2014	15:25	20314.80	13687.67	8191.45	3303.00
24/3/2014	16:50	13294.80	8957.75	5360.81	2161.62
24/3/2014	17:05	14644.80	9867.35	5905.16	2381.11

ตารางผนวกที่ 2 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายใน
 กล้อง B ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) ทุกๆ 1 ชม.ของ
 อุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลภายในกล้องทดสอบทั้ง 3 ตำแหน่ง

		กล้องทดลอง B			
Date	Time	Out, Lux	B1, Lux	B2, Lux	B3, Lux
23/3/2014	7:35	5464.80	1130.14	676.34	83.71
23/3/2014	8:40	10999.80	2274.79	1361.36	168.49
23/3/2014	9:40	30304.80	6267.13	3750.59	464.18
23/3/2014	10:05	34624.80	7160.52	4285.25	530.35
23/3/2014	11:45	40294.80	8333.09	4986.98	617.20
23/3/2014	12:20	18019.80	3726.55	2230.17	276.01
23/3/2014	13:15	58519.80	12102.08	7242.55	896.36
23/3/2014	14:10	17074.80	3531.12	2113.22	261.51
23/3/2014	15:15	34894.80	7216.36	4318.66	534.49
24/3/2014	9:05	38269.80	7914.32	4736.36	586.18
24/3/2014	10:45	34624.80	7160.52	4285.25	530.35
24/3/2014	11:25	30439.80	6295.05	3767.30	466.25
24/3/2014	12:35	35569.80	7355.95	4402.20	544.83
24/3/2014	13:45	24094.80	4982.88	2982.88	369.03
24/3/2014	14:10	46369.80	9589.42	5738.84	710.25
24/3/2014	15:25	20314.80	4201.17	2514.21	311.16
24/3/2014	16:50	13294.80	2749.41	1645.40	203.64
24/3/2014	17.05	14644.80	3028.59	1812.48	224.32

ตารางผนวกที่ 3 การเปรียบเทียบค่าความส่องสว่างภายนอกและภายใน
 กล้อง C ในสภาพท้องฟ้ามีเมฆคลุมทึบ (Overcast Sky) ทุกๆ 1 ชม.ของ
 อุปกรณ์ทดสอบและเก็บข้อมูลภายในกล้องทดสอบทั้ง 3 ตำแหน่ง

			กล้องทดลอง C		
Date	Time	Out, Lux	C1, Lux	C2, Lux	C3, Lux
23/3/2014	7:35	5464.80	988.61	543.76	54.11
23/3/2014	8:40	10999.80	1828.89	1094.51	108.91
23/3/2014	9:40	30304.80	5038.65	3015.40	300.04
23/3/2014	10:05	34624.80	5756.92	3015.40	300.04
23/3/2014	11:45	40294.80	6699.64	4009.43	398.95
23/3/2014	12:20	18019.80	2996.07	1793.01	178.41
23/3/2014	13:15	58519.80	2729.83	5822.87	579.39
23/3/2014	14:10	17074.80	2838.95	1698.99	169.05
23/3/2014	15:15	34894.80	5801.81	3472.12	345.48
24/3/2014	9:05	38269.80	6362.95	3807.94	378.91
24/3/2014	10:45	34624.80	5756.92	3445.25	342.81
24/3/2014	11:25	30439.80	5016.09	3028.84	301.38
24/3/2014	12:35	35569.80	5914.04	3539.38	352.17
24/3/2014	13:45	24094.80	4006.14	2397.49	238.56
24/3/2014	14:10	46369.80	7709.71	4613.91	459.10
24/3/2014	15:25	20314.80	3377.65	2021.37	201.13
24/3/2014	16:50	13294.80	2210.47	1322.87	131.63
24/3/2014	11.05	14644.80	2434.93	1457.19	144.99

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวสุกัญญา นิลผาย
เกิดวันที่	14 มิถุนายน 2528
สถานที่เกิด	อำเภอห้วยแถลง จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	สศ.บ.(เทคโนโลยีสถาปัตยกรรม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
ตำแหน่งปัจจุบัน	สถาปนิก
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท CHOCOLATE GROUP
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ - ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- -