

การศึกษาผลกระทบของอุปกรณ์บังแดดแนวนอนต่อการระบายอากาศภายในอาคาร

The Study Effect of Horizontal Shading Devices in Indoor Air Movement Pattern in Buildings

ปัทมาพร ท่อชู¹ ศุทธา ศรีเพ็ญ¹

Received: July, 2014; Accepted: December, 2014

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันแนวโน้มของอุณหภูมิอากาศที่สูงขึ้น ส่งผลทำให้สัดส่วนการใช้พลังงานในการปรับอากาศเพิ่มขึ้น การสร้างสภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิโดยเพิ่มการเคลื่อนไหวยของอากาศภายในอาคาร ศึกษาการระบายอากาศของอุปกรณ์บังแดด เนื่องจากอากาศภายนอกมีอุณหภูมิที่สูงกว่าภายในอาคาร ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์บังแดดที่สามารถมีคุณสมบัติในการระบายให้อากาศออกไปโดยไม่สะสมความร้อน การแก้ปัญหาเรื่องการระบายความร้อนโดยศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศอาศัย การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเป็นหลัก และป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ เพื่อศึกษาการออกแบบอุปกรณ์บังแดดแนวนอนที่มีผลต่อการระบายอากาศภายในอาคาร ประสิทธิภาพการระบายอากาศและรูปแบบช่องเปิด โดยทำการทดสอบโดยวิธีการคำนวณค่าด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล ประเมินผลการทดลองเฉพาะเดือนธันวาคม เนื่องจากเป็นเดือนที่ดวงอาทิตย์อ้อมได้มากที่สุด ผลการศึกษาสำหรับการออกแบบอุปกรณ์บังแดดด้านทิศใต้ ขนาดช่องเปิดสูง 1.30 เมตร ยาว 2.40 เมตร ระยะยื่น 1.30 เมตร พบว่า ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคาร 0.10 เมตร จะสามารถกันแดดได้ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพ ระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดดไม่มีผลต่อการระบายอากาศ แต่ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับผนังอาคาร 0.10 เมตร รูปแบบช่องเปิดของห้องมีผลต่อความเร็วลม การกระจายของลม ซึ่งมีลักษณะการเคลื่อนไหวยของลมที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรูปแบบห้อง และมีผลต่อการระบายอากาศทั้งภายในและภายนอกห้อง

คำสำคัญ : การเคลื่อนไหวยของอากาศ; สภาวะสบาย; อุปกรณ์บังแดดในแนวนอน; โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล

¹ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E - mail : pattamar02@gmail.com

Abstract

At the present time, the height temperature has been increasing trend which produce as a result of motional Air movement in the building was designed for comfort zone. Future more Shading device studies with decreasing outside temperature, this advantage decreasing accumulate height temperature ventilation. The study concentrates about natural ventilation and preventive solar radiation. The objective of this research is design Horizontal Shading Devices for preventive solar radiation which effect on ventilation efficiency and pattern space air flow. As well as implement Computational Fluid Dynamics Analysis and calculation method. In addition the period evaluate was set on December, cause of the sun move as below the Earth and angel of shiny projection was closely in this month. The result of experiment can show: Overhang Shading Device set to the south; and dimension of height was 1.30 m, length 2.40 m. distance between device and building offset 0.10 m. This is the most efficiency protective solar radiation. In the other hand ventilation was not depend on depth of Overhang Shading Device. The conclusion is space which air get indoor and air get outdoor effect on wind speed and disperse. Also pattern air movement is decided by room pattern including internal-external building ventilation

Keywords : Air movement; Comfort zone; Horizontal Shading Devices; Computational Fluid Dynamics Analysis (CFD)

บทนำ

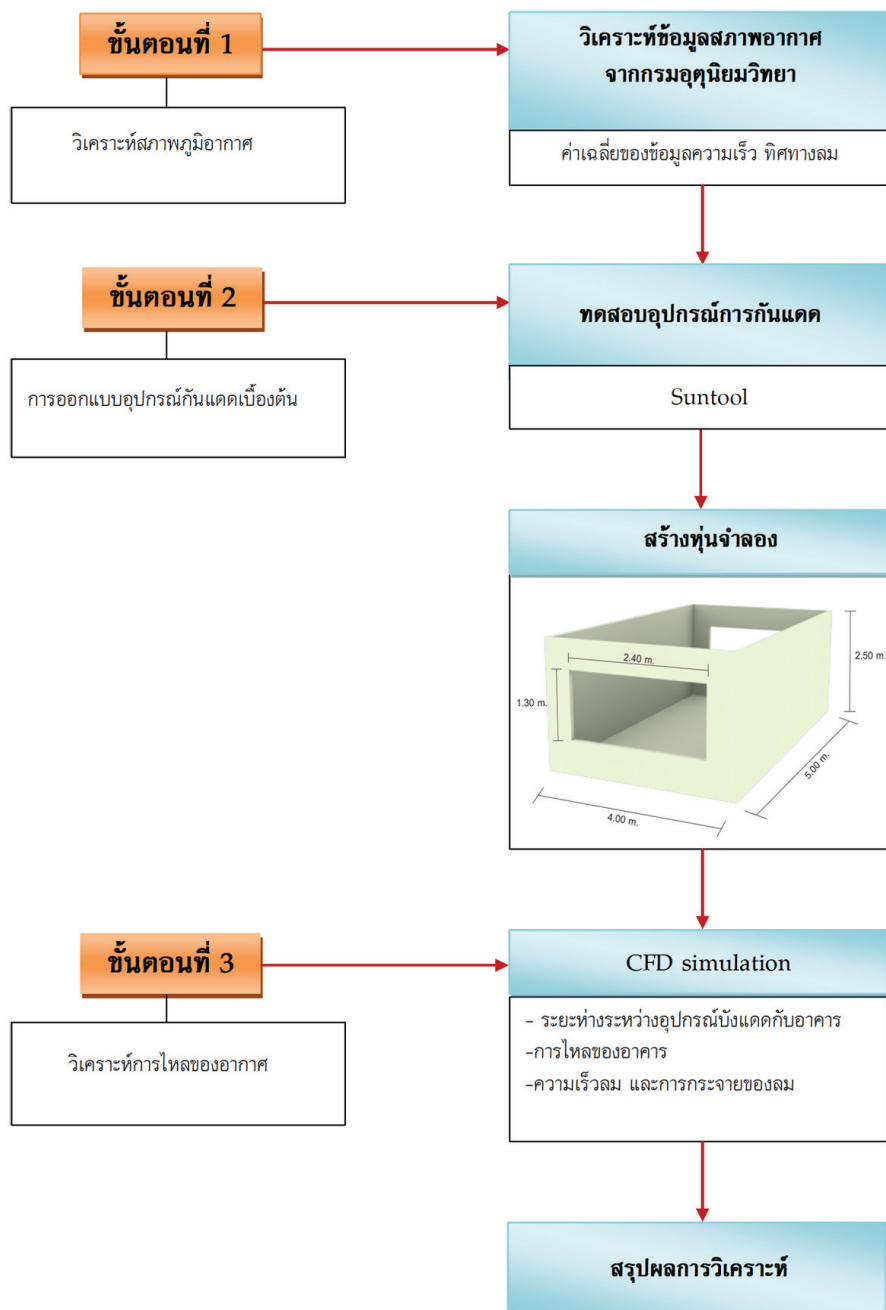
ช่องแสงเป็นส่วนที่ความร้อนผ่านเข้ามาได้มากที่สุด การลดความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการกำหนดตำแหน่งของช่องแสง การออกแบบและการให้ร่มเงากับช่องแสง ผู้วิจัยจึงเน้นการศึกษาในเรื่องของลักษณะการระบายอากาศของอุปกรณ์บังแดด เนื่องจากอากาศภายนอกอาคารมีอุณหภูมิที่สูงกว่าภายใน ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์บังแดดที่สามารถมีคุณสมบัติในการระบายให้อากาศออกไปโดยไม่เก็บสะสมความร้อนและได้นำรูปแบบที่มีการใช้งานในปัจจุบันมาทดสอบด้วยวิธีการคำนวณจากหุ่นจำลองที่สร้างขึ้นภายในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล ได้ทำการวิเคราะห์สภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร จากกรมอุตุนิยมวิทยา ย้อนหลัง 10 ปี เพื่อหาทิศทางของลมและเป็นฐานข้อมูลในการทดลอง

การดำเนินการวิจัย และผลการทดสอบ

งานวิจัยมุ่งเน้นการแก้ปัญหาการระบายความร้อน โดยศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศ อาศัยการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติเป็นหลัก และป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ โดยการติดตั้งอุปกรณ์บังแดดในแนวนอนต่างๆ ทดสอบเฉพาะด้านทิศใต้ โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ขั้นตอนดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เพื่อนำค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนข้อมูลภูมิอากาศจริง โดยทำการเก็บข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา เก็บข้อมูลลม 10 ปีย้อนหลัง เพื่อหาความเร็วลมเฉลี่ยและทิศทางลมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 - 2552 เนื่องจากมีความแปรปรวนของอากาศน้อยที่สุด มีความเสถียรมากที่สุด จึงนำช่วงนี้มาทำการศึกษา
2. ทดสอบการป้องกันความร้อนของอุปกรณ์บังแดดที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ผนังด้านทิศใต้ และวันที่ดวงอาทิตย์อ้อมได้มากที่สุด โดยใช้โปรแกรม Suntool จากคำร้อยละการบังแดด
3. ทดสอบรูปแบบการไหลของกระแสลม การกระจายของลม และความเร็วลม ขั้นตอนสุดท้ายนี้ใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล CFD ชื่อโปรแกรม Vasari Autodesk เป็นโปรแกรมประมวลผล 3 มิติ ใช้สมการ The Reynolds Statistically Averaged Navier-Stokes (RANS) Equations ขนาด Grid 0.231 มีตัวแปร 2 ตัวแปร คือ ทิศทางของลมและความเร็ว

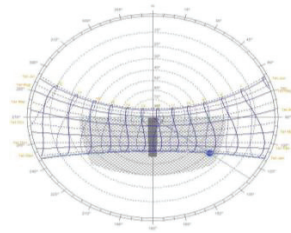
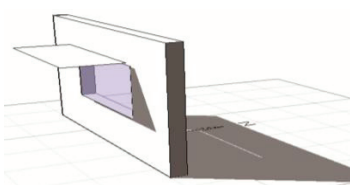
โดยมีแผนภาพแสดงขั้นตอนการทดลอง (แสดงในรูปที่ 1) ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเก็บข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา เก็บข้อมูลลม 10 ปีย้อนหลัง แล้วมาหาทิศทางของลม ผลที่ได้คือ โดยส่วนมากลมจะพัดเข้ามาทางด้านทิศใต้ ดังนั้น จากการทดลองที่ได้จึงอ้างอิงทิศทางกระแสลมทิศใต้และมีความเร็วลมเฉลี่ย 5 เมตรต่อวินาที

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาตำแหน่งดวงอาทิตย์ ช่วงเวลาแดดและระยะห่างระหว่างผนังอาคารกับอุปกรณ์บังแดดที่สามารถกันแดดได้โดยใช้โปรแกรม Suntool



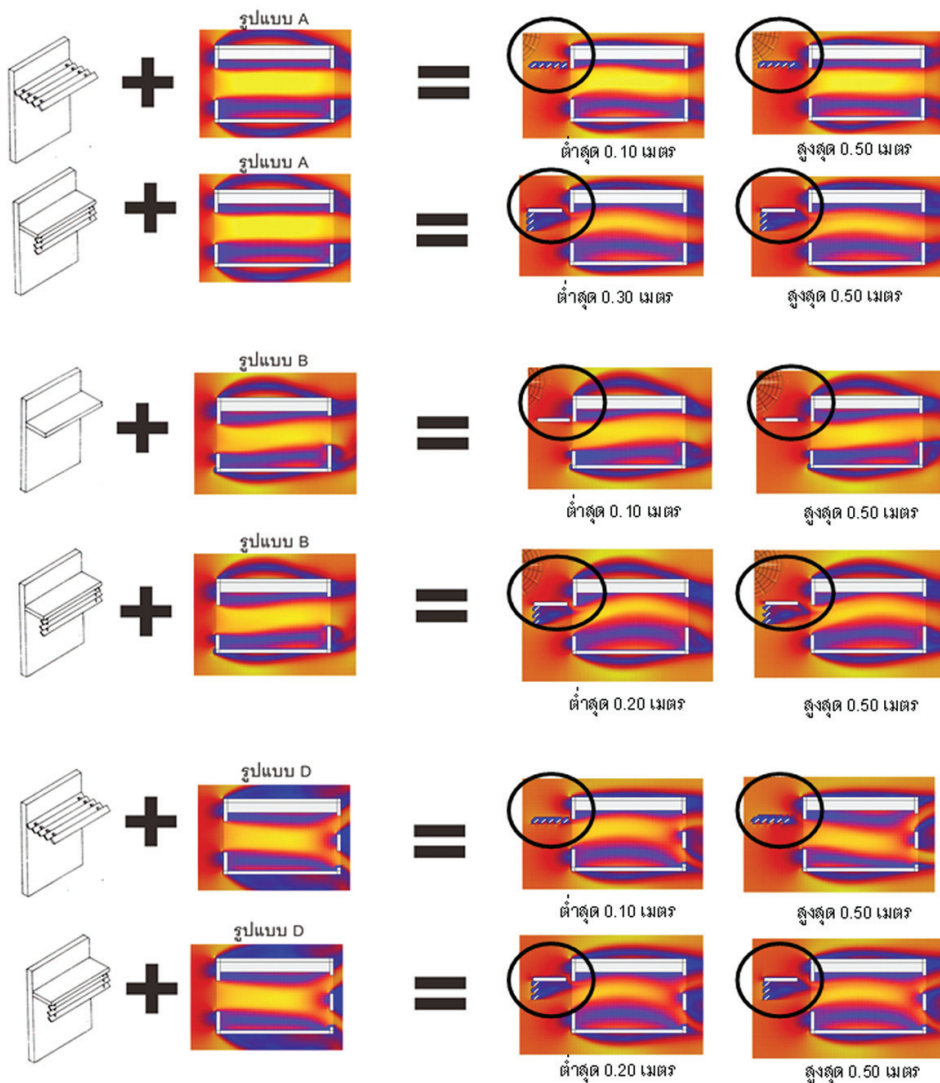
Tabulated Dally Solar Data						
Latitude : 13.7°		Date : 21 st December		Local Correction : -15.9 mins		
Longitude : 100.5°		Julian Date : 355		Equation of time : 2.1 mins		
Timezone : 105.0° [+7.Ohrs]		Sunrise : 7.40		Declination : -23.5°		
Orientation : 180.0°		Sunset : 18.51				
Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading
08.00	(06.44)	115.5°	4.4°	-64.5°	10.1°	0%
08.30	(07.14)	117.7°	10.9°	-62.3°	22.5°	16%
09.00	(07.44)	120.3°	17.3°	-59.7°	31.6°	27%
09.30	(08.14)	123.5°	23.4°	-56.5°	38.1°	37%
10.00	(08.44)	127.4°	29.4°	-52.6°	42.8°	50%
10.30	(09.14)	132.1°	35.0°	-47.9°	46.2°	58%
11.00	(09.44)	137.9°	40.1°	-42.1°	48.7°	80%
11.30	(10.14)	144.9°	44.7°	-35.1°	50.4°	83%
12.00	(10.44)	153.3°	48.5°	-26.7°	51.6°	91%
12.30	(11.14)	163.1°	51.2°	-16.9°	52.4°	94%
13.00	(11.44)	174.0°	52.6°	-6.0°	52.8°	97%
13.30	(12.14)	-174.7°	52.7°	5.3°	52.8°	97%
14.00	(12.44)	-163.7°	51.3°	16.3°	52.4°	95%
14.30	(13.14)	-153.8°	48.6°	26.2°	51.7°	92%
15.00	(13.44)	-145.3°	44.9°	34.7°	50.5°	84%
15.30	(14.14)	-138.3°	40.4°	41.7°	48.8°	83%
16.00	(14.44)	-132.5°	35.3°	47.5°	46.4°	74%
16.30	(15.14)	-127.7°	29.7°	52.3°	43.0°	51%
17.00	(15.44)	-123.8°	23.8°	56.2°	38.4°	42%
17.30	(16.14)	-120.5°	17.6°	59.5°	32.0°	29%
18.00	(16.44)	-117.8°	11.3°	62.2°	23.1°	20%
18.30	(17.14)	-115.6°	4.8°	64.4°	10.9°	0%

รูปที่ 2 แสดงสัดส่วนร้อยละที่สามารถกันแดดได้, ช่วงเวลาที่อุปกรณ์บังแดดแต่ละขนาดสามารถกันแดดได้
ระยะยื่น = 1.30 เมตร

ระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดด 1.30 เมตร สามารถกันแดดได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับระยะอื่น ที่ทำการทดลองมีสัดส่วนร้อยละการบังแดดได้สูงที่สุด แสดงในรูปที่ 2

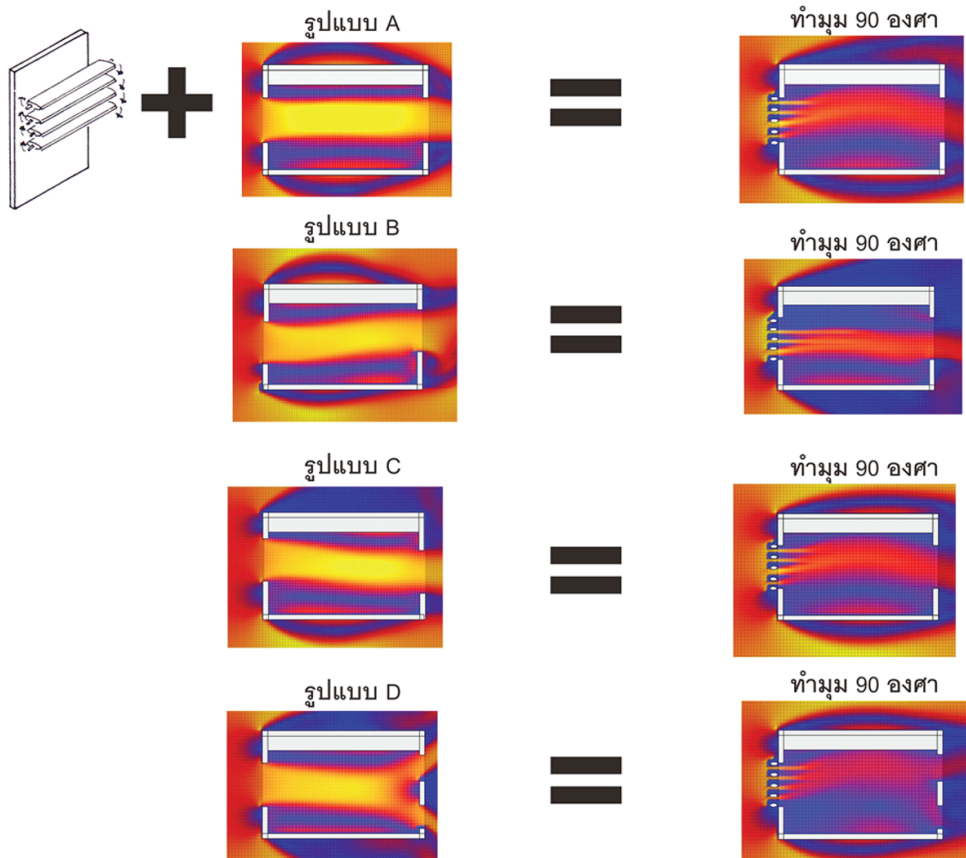
ดังนั้น อุปกรณ์บังแดดเบื้องต้นที่เหมาะสมที่สุดคือ ระยะยื่น 1.30 เมตร และระยะห่างระหว่าง อาคาร 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 และ 0.50 เมตร และรูปแบบอุปกรณ์บังแดดต่าง ๆ ประกอบที่หุ่นจำลอง ข้างต้นนำมาทดสอบเพื่อที่จะหาระยะและรูปแบบที่เหมาะสมต่อการระบายอากาศ ในห้องที่หุ่นจำลอง รูปแบบต่าง ๆ ขั้นตอนต่อไป โดยใช้โปรแกรม CFD ทั้งหมด 84 รูปแบบ

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์การไหลของอากาศ ได้ผลการวิเคราะห์ คือ รูปแบบห้องที่มีช่องเปิด ในแต่ละแบบ คือ รูปแบบ A, B และ D แสดงตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงระยะห่างที่มีผลต่อการระบายอากาศภายนอกของอุปกรณ์บังแดด

กรณีอุปกรณ์บังแดดแบบบานเกล็ด



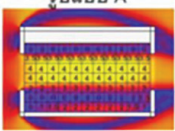
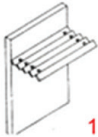
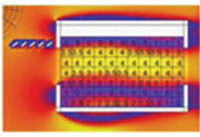
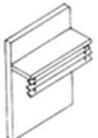
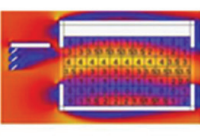
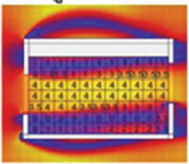
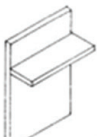
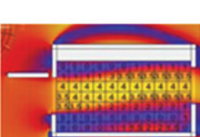
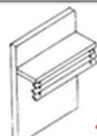
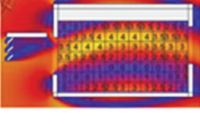
รูปที่ 4 แสดงการระบายอากาศภายนอกของอุปกรณ์บังแดดแบบบานเกล็ด

จากรูปที่ 4 บานเกล็ดที่ทำมุม 90 องศา จะมีการระบายอากาศได้ดีที่สุด มีลมเข้ามากกว่า บานเกล็ดที่ทำมุม 45 และ 60 องศา และไม่มี ความแตกต่างกันมากนักในด้านปริมาณของลมที่เข้ามาภายในห้อง เมื่อนำมาทดสอบกับห้องที่มีรูปแบบที่มีช่องทางลมออก 1 ช่อง (รูปแบบห้อง A,B,C) แต่ช่องเปิดที่มีช่องเปิดทางลมออกสองช่อง (รูปแบบของห้อง D) ลมมีความอ่อนแรงมากกว่ารูปแบบอื่นๆ ที่นำมาทดสอบ และมีการกระจายของอากาศออกไปตามช่องเปิด เนื่องจากลมต้องระบายออกตรงช่องเปิดลมออกทั้งสองช่อง ผลสรุป คือ

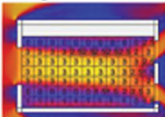
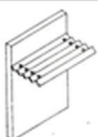
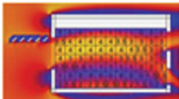
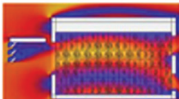
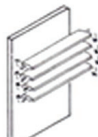
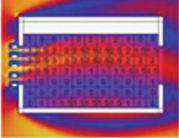
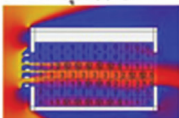
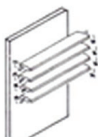
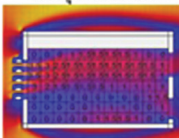
1. การออกแบบอุปกรณ์บังแดดที่สัมพันธ์กับทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์สามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารผ่านทางช่องเปิดได้ โดยใช้ระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมกับช่วงเวลาในการกันแดด

2. ระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดดไม่มีผลต่อการระบายอากาศ แต่ระยะห่างและรูปแบบช่องเปิดของห้อง มีผลต่อการระบายอากาศ ทั้งภายในห้อง และระบายอากาศออกไปที่ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับอาคาร (บริเวณอุปกรณ์บังแดด)

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมภายในอาคารจากระยะห่างที่ต่ำสุด

ลักษณะ อุปกรณ์ บังแดด	รูปแบบ ห้อง	บริเวณช่องเปิด						
		ระยะยื่น (m.)	ระยะห่าง (m.)	ต้นลม (m/s)	กลาง (m/s)	ปลาย (m/s)	เฉลี่ย รวม	%
	A รูปแบบ A 							
		-	-	4	4	4	4	
 1		1.30	0.10	3.3	3.4	3.3	3.3	82.5
 2		1.30	0.30	2.9	2.9	2.5	2.8	70
	B รูปแบบ B 							
		-	-	3.6	3.6	3.6	3.6	
 3		1.30	0.10	3	3.4	3	3.1	86
 4		1.30	0.20	2.5	2.3	2.3	2.4	67

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองค่าความเร็วลมภายในอาคารจากระยะห่างที่ต่ำสุด (ต่อ)

ลักษณะอุปกรณ์บังแดด	รูปแบบห้อง	บริเวณช่องเปิด						
		ระยะยื่น (m.)	ระยะห่าง (m.)	ต้นลม (m/s)	กลาง (m/s)	ปลาย (m/s)	เฉลี่ยรวม	%
	D รูปแบบ D 	-	-	2.8	2.9	2.7	2.8	
 5		1.30	0.10	3.3	3	1.7	2.7	96
 6		1.30	0.20	2.9	2.6	1.2	2.2	81
	A90 ทำมุม 90 องศา 							
				2.5	1.5	1.3	1.8	45
	B90 ทำมุม 90 องศา 			2.3	1.8	1.5	1.7	47
	D90 ทำมุม 90 องศา 			2.5	1.1	0.7	1.4	50

รูปแบบทั้งหมดที่ระยะยื่น 1.30 เมตร และระยะห่างที่อุปกรณ์บังแดดแต่ละแบบสามารถกันแดดได้และระบายอากาศได้ ซึ่งมีระยะห่างที่แตกต่างกันไปนำมาทำการทดลองวัดความเร็วลม ระหว่างห้องที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดดกับห้องที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด จากตารางที่ 1 ได้ดังนี้

1. มีความเร็วลมร้อยละ 82.5 ลดลงจาก A (รูปแบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด) ร้อยละ 17.5
2. มีความเร็วลมร้อยละ 70 ลดลงจาก A (รูปแบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด) ร้อยละ 30
3. มีความเร็วลมร้อยละ 86 ลดลงจาก B (รูปแบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด) ร้อยละ 14
4. มีความเร็วลมร้อยละ 67 ลดลงจาก B (รูปแบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด) ร้อยละ 33
5. มีความเร็วลมร้อยละ 96 ลดลงจาก D (รูปแบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด) ร้อยละ 4
6. มีความเร็วลมร้อยละ 81 ลดลงจาก D (รูปแบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด) ร้อยละ 19

บานเกล็ด A90 มีความเร็วลมร้อยละ 45 ลดลงจากรูปแบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ร้อยละ 55

บานเกล็ด B90 มีความเร็วลมร้อยละ 47 ลดลงจากรูปแบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ร้อยละ 53

บานเกล็ด D90 มีความเร็วลมร้อยละ 50 ลดลงจากรูปแบบที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด ร้อยละ 50

ผลที่ได้คือ ห้องที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด จะมีความเร็วลมเฉลี่ยที่มากกว่าห้องที่ติดตั้งอุปกรณ์บังแดด และความเร็วลมมากน้อยแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดต่าง ๆ การกระจายของลมก็มีความแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับรูปแบบของช่องเปิดและรูปแบบของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งความเร็วลมและการกระจายของลมที่แตกต่างกันไป จะเห็นความแตกต่างได้จากแถบสีซึ่งได้มาจากการทดลอง ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกนำไปปรับใช้ได้อย่างเหมาะสมตามความจำเป็นของประเภทอาคารเพื่อให้สอดคล้องและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อการใช้อยู่อาศัย

สรุปผลการวิจัย

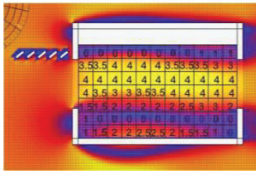
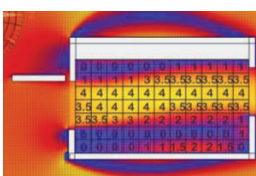
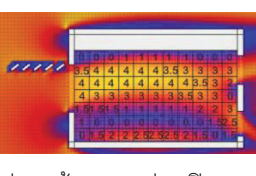
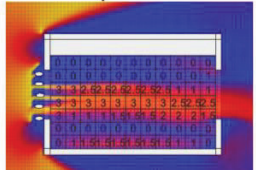
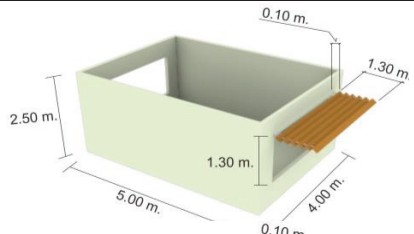
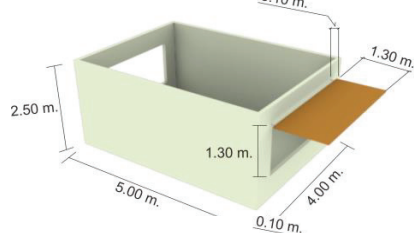
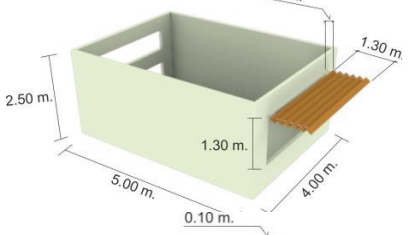
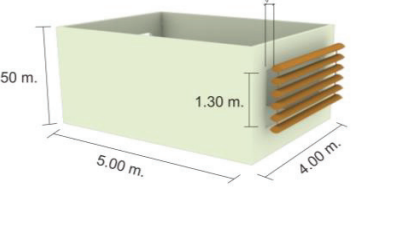
1. วิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เพื่อนำค่าเฉลี่ยไปใช้เป็นตัวแปรทดสอบในโปรแกรม CFD โดยทำการเก็บข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา เก็บข้อมูลลม 10 ปีย้อนหลัง แล้วมาหาทิศทางของลม ผลที่ได้คือ ส่วนใหญ่ลมจะพัดเข้ามาทางด้านทิศใต้ ดังนั้น จากการทดลองที่ได้จึงอ้างอิงทิศทางกระแสลมทิศใต้

2. ทดสอบการกันแดดของอุปกรณ์บังแดด โดยใช้โปรแกรม Suntool และศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด ผลที่ได้คือ ในด้านทิศใต้ ระยะยื่น 1.30 เมตร สามารถกันแดดได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับระยะอื่นที่ทำการทดลอง และในระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับอาคารที่ระยะ 0.10 เมตร จะสามารถกันแดดได้ดีที่สุด

3. ทดสอบการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของกระแสลม การกระจายของลมและความเร็วลม ขั้นตอนสุดท้ายนี้ใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล Vasari ทำการทดลองกับระยะยื่นที่ 1.30 เมตร ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับอาคารที่ระยะ 0.10 เมตร

จากการทดลองและทดสอบทั้งหมด จึงสรุปการทดลองได้ว่า ระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดดไม่มีผลต่อการระบายอากาศ แต่ระยะห่างและรูปแบบช่องเปิดของห้องมีผลต่อความเร็วลม การกระจายของลม และมีผลต่อการระบายอากาศทั้งภายในห้องและภายนอก

ตารางที่ 2 สรุปการวิจัย

อุปกรณ์บังแดดแนวนอน (Horizontal Overhangs)		
ทิศทางของลม	การกันแดด (Shading)	การกระจายลม (Air Flow Pattern)
ทิศใต้ (S)	ระยะยื่นที่ 1.30 เมตร ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดกับอาคารที่ระยะ 0.10 เมตร จะสามารถกันแดดได้ดีที่สุด	การกระจายของลมก็มีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของช่องเปิดและรูปแบบของอุปกรณ์บังแดด ซึ่งมีความเร็วลมความนิ่มนวลของลม และการกระจายของลมที่แตกต่างกันไป จะเห็นความแตกต่างได้จากแถบสี ซึ่งได้มาจากการทดลอง ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกนำไปใช้ปรับใช้ได้
ความเร็วลม		
รูปแบบห้อง A1 ช่องเปิดตรงกัน  รูปแบบห้อง B3 ช่องเปิดลมออกสูงกว่า  รูปแบบห้อง D5 ช่องเปิดลมออก 2 ช่อง  รูปแบบห้อง B90 ช่องเปิดตรงกัน ทำมุม 90 องศา     		

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองได้ทำการศึกษาในลักษณะที่เป็นเพียงช่องเปิดที่กระแสนลมเข้าสู่อาคารได้ตลอดแนวนั้นเท่านั้น เพื่อให้ภายในห้องรับกระแสนลมเต็มที่ ซึ่งในความเป็นจริงภายในห้องนั้นต้องมีเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ทำให้มีผลต่อความเร็วลม การกระจายของลม และลักษณะการเคลื่อนที่ของลมที่ผันแปรเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้ผู้ที่นำไปใช้ต้องคำนึงถึงการจัดพื้นที่การใช้งานที่สอดคล้องกับการระบายอากาศภายในด้วย
2. รูปแบบห้อง ทดลองเฉพาะห้องที่มีช่องเปิดสองด้านเพื่อให้ภายในห้องรับกระแสนลมเต็มที่ และการศึกษาผลกระทบจากอุปกรณ์บังแดดได้ชัดเจนขึ้น ไม่ได้ทดลองในห้องรูปแบบอื่นที่มีช่องเปิดหลายช่อง
3. ทิศทางกระแสนลมที่ใช้ในการทดลองใช้เฉพาะทางทิศใต้ หากเป็นช่องเปิดในด้านอื่นควรศึกษาทิศทางของลมในทิศนั้นๆ ในกรณีที่อาคารวางในทิศทางต่างๆ กัน

บรรณานุกรม

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2556). ภูมิอากาศของประเทศไทย. เข้าถึงเมื่อ 9 มกราคม 2556. เข้าถึงได้จาก (<http://www.tmd.go.th/service/service.php>)
- ตริงใจ บุรณสมภพ. (2539). การออกแบบอาคารเพื่อประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพฯ : บริษัทอัมรินทร์พรินต์ติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด(มหาชน).
- ธีรมน ไวโรจนกิจ. (2554). เอกสารประกอบการสอนวิชา Environmental Technology For Building. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปรีชญา รังสิรักษ์. (2554). เอกสารประกอบการสอนวิชา แนวความคิดในเรื่องสภาวะความสบาย. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ปรีชญา รังสิรักษ์. (2554). เอกสารประกอบการสอนวิชา Advanced Climatology. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มาลินี ศรีสุวรรณ. (2543). การศึกษาความสัมพันธ์ของทิศทางกระแสนลมกับการเจาะช่องเปิดที่ผนังอาคาร สำหรับภูมิอากาศร้อนชื้นในประเทศไทย. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. (2541). Tropical Design Environment. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Autodesk®. (2012). Vasari. เข้าถึงเมื่อ 3 ธันวาคม 2556. เข้าถึงได้จาก (<http://autodeskvasari.com/>)
- Ernst Danz. (1967). Architecture And The Sun. London :Thamus and Hudson.
- Givoni,B. (1979). Man Climate And Architecture. 2 nd ed. London : Applied Science Pub.
- Olgay,V. (1967). Design With Climate. Princeton University Press, New Jersey.