บทที่ 7
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงความสามารถในการกระจายแสง และลักษณะการบังแดดของอุปกรณ์บังแดด 13รูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยลักษณะหลัก ดังนี้

อุปกรณ์บังแดดในแนวนอน

อุปกรณ์บังแดดในแนวตั้ง

อุปกรณ์บังแดดแนวตั้งและแนวนอนประกอบกัน

โดยในแต่ละลักษณะ ยังแบ่งแยกออกเป็นรูปแบบย่อยอีก ตามระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดด ความกว้างของอุปกรณ์บังแดด ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์บังแดดแต่ละตัว ขนาดของมุมที่อุปกรณ์บังแดดทำต่อดวงอาทิตย์ จากผลการวิจัยในบทที่ 6 สามารถสรุปความสามารถในการบังแดดของอุปกรณ์บังแดด ทั้ง 13รูปแบบ โดยแยกตามการวางทิศทางของอาคาร และช่องเปิดของอาคารได้ดังนี้

7.1 รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสม

อาคารที่ช่องเปิดของอาคาร อยู่ทางทิศเหนือ

ช่องเปิดที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด ไม่สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนมิถุนายนได้ โดยเฉพาะในวันที่ 22มิถุนายน(summer soltice) เวลาsolar noon เนื่องจากในวัน เวลาดังกล่าวดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่ง Azimuth ที่180° และ Altitude ที่80° สำหรับช่องเปิดที่ไม่มีอุปกรณ์บังแดด จึงเกิดปัญหาการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร ส่วนอุปกรณ์บังแดดรูปแบบอื่นๆสามารถแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้ ยกเว้น M8, M9 และ M13 ที่ไม่มีการเก็บข้อมูล เนื่องจากเป็นรูปแบบช่องเปิดที่ออกแบบเฉพาะสำหรับทิศทางอื่น

ลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับช่องเปิดในทิศนี้ คือ อุปกรณ์บังแดดในแนวนอน การพิจารณาระยะยื่น และความถี่ จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์บังแดดในแนวนอนเพียงตัวเดียว ที่มีระยะยื่นเพียง 1.2 เมตรก็สามารถป้องการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ได้ หากใช้อุปกรณ์บังแดดที่มีระยะยื่นมากกว่านี้ จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานจากแสงประดิษฐ์เพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการกระจายแสงภายในอาคาร ก็พบว่ามีความสม่ำเสมอใกล้เคียงกับรูปแบบอื่น จึงไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์บังแดดที่เป็นแนวนอนหลายๆตัวประกอบกัน เพราะจะมี

ข้อเสียในแง่ของการบดบังทัศนียภาพ แต่เมื่อพิจารณาถึงการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคาร อุปกรณ์บังแดดแบบที่6(M6) จะมีค่าการใช้พลังงานโดยรวม(Total Energy Consumption) ต่ำที่สุด ถึงแม้จะมีค่าการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์มากกว่าM2 และมีค่าการใช้พลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นมากกว่าM12 ก็ตาม

ข้อดีของการใช้อุปกรณ์บังแดดรูปแบบ M6 คือ มีอัตราการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคารน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอุปกรณ์บังแดดรูปแบบอื่น คือมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.88 watt/sq.m.*hr เท่านั้น

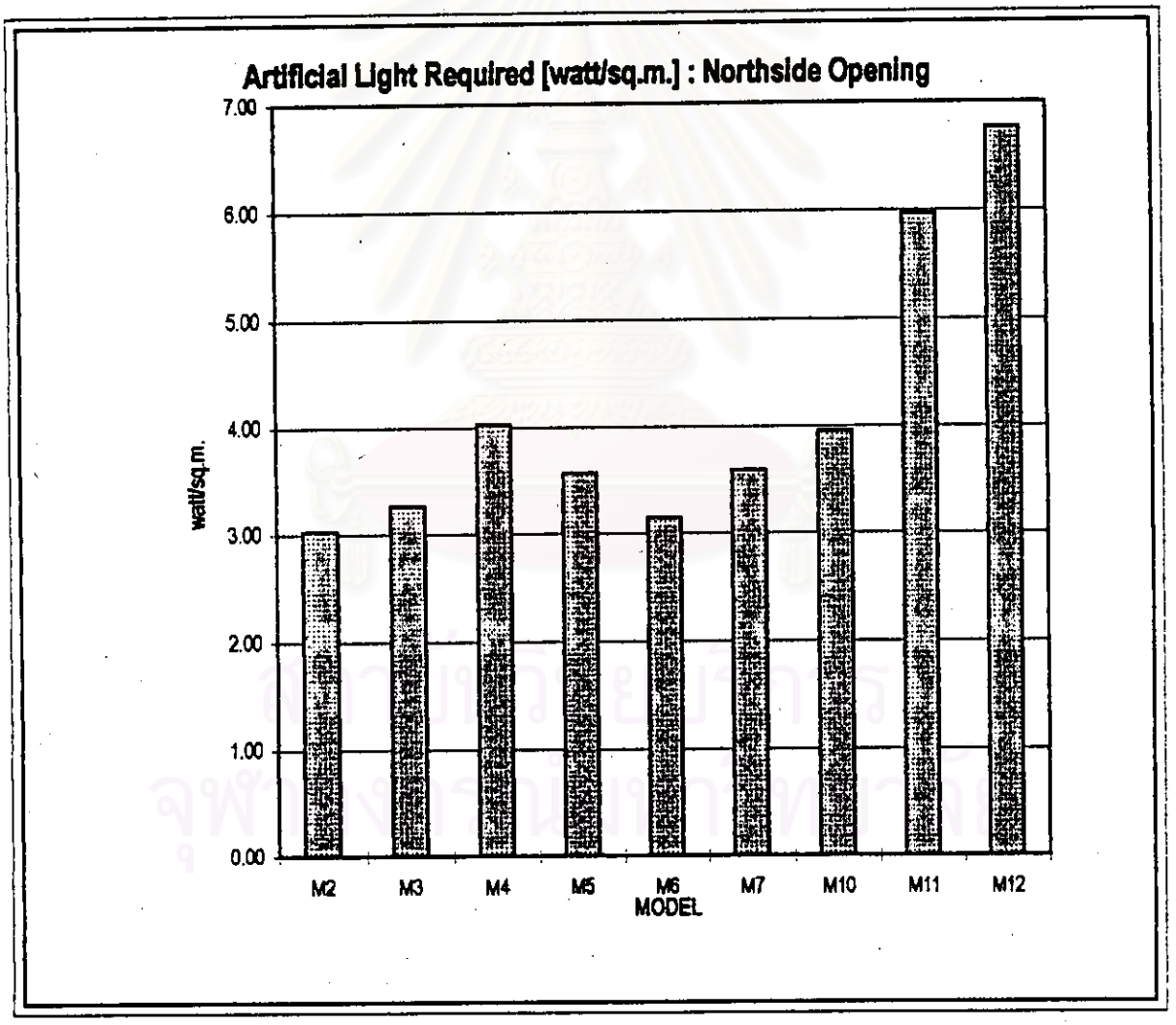
การพิจารณาการใช้อุปกรณ์บังแดดร่วมกับ กระจก High Performance

สำหรับช่องเปิดทางด้านทิศเหนือจากผลการคำนวณดังตารางที่ พบว่าการใช้กระจกHigh Performance -Heat Mirror ที่มีค่าCoolness Index=1.2 (Daylight Transmission=0.53 Shading Coefficient=0.41)โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์บังแดด จะมีอัตราการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคาร 7.85 watt/sq.m.ช่วยลดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการใช้พลังงานรวมในอาคารได้ปีละ 1804 บาทเมื่อเปรียบเทียบกับ อาคารที่ไม่มีช่องเปิดอาศัยเพียงความสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์เท่านั้น(ค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 1.95บาท/Kw*hr) ส่วนการใช้กระจกLow-e ที่มี Coolness Index 1.77 (Daylight Transmission=0.46 Shading Coefficient=0.26)โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์บังแดด จะมีอัตราการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคาร 6.96 watt/sq.m.ช่วยลดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการใช้พลังงานรวมในอาคารได้ปีละ 2153 บาทเมื่อเปรียบเทียบกับ อาคารที่ไม่มีช่องเปิด

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าช่องเปิดของอาคารทางด้านทิศเหนือ การใช้กระจก High Performance กับช่องเปิดที่ไม่มีอุปกรณ์กันแดดจะมีความเหมาะสมที่สุดในแง่ของการใช้พลังงานรวม ส่วนการพิจารณาว่าจะใช้กระจก High Performanceประเภทใดนั้น ควรพิจารณากระจก High Performance ที่มีค่าCoolness Index สูง ซึ่งหมายถึงมีความสามารถให้แสงธรรมชาติผ่านได้สูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความร้อนที่ผ่านกระจก เพราะกระจกที่มีค่า Coolness Index ต่ำจะทำให้แสงธรรมชาติผ่านเข้ามาได้น้อยทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์มากขึ้น อย่างไรก็ตาม กระจกที่มีค่าCoolness Index สูงมักมีราคาแพง จึงควรพิจารณาควบคู่กับงบประมาณการลงทุนและระยะเวลาในการคืนทุนด้วย

Artificial Light Required : Northside Opening													
Time	Artificial Light Required(FC)												
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
21 Mar& 24 Sept	-	15.69	16.18	19.98	16.69	14.34	18.06	-	-	20.87	30.24	34.56	-
22 June.	-	11.30	13.53	16.08	15.65	13.87	13.68	-	-	14.34	24.03	27.46	-
22 December.	-	16.85	17.50	22.11	19.28	17.29	20.23	-	-	21.82	31.91	35.66	-
AVERAGE(FC)	-	14.61	15.74	19.39	17.20	15.17	17.32	-	-	19.01	28.73	32.56	-
Energy[watt/sq.m.]	-	3.03	3.27	4.03	3.57	3.15	3.60	-	-	3.95	5.97	6.76	-

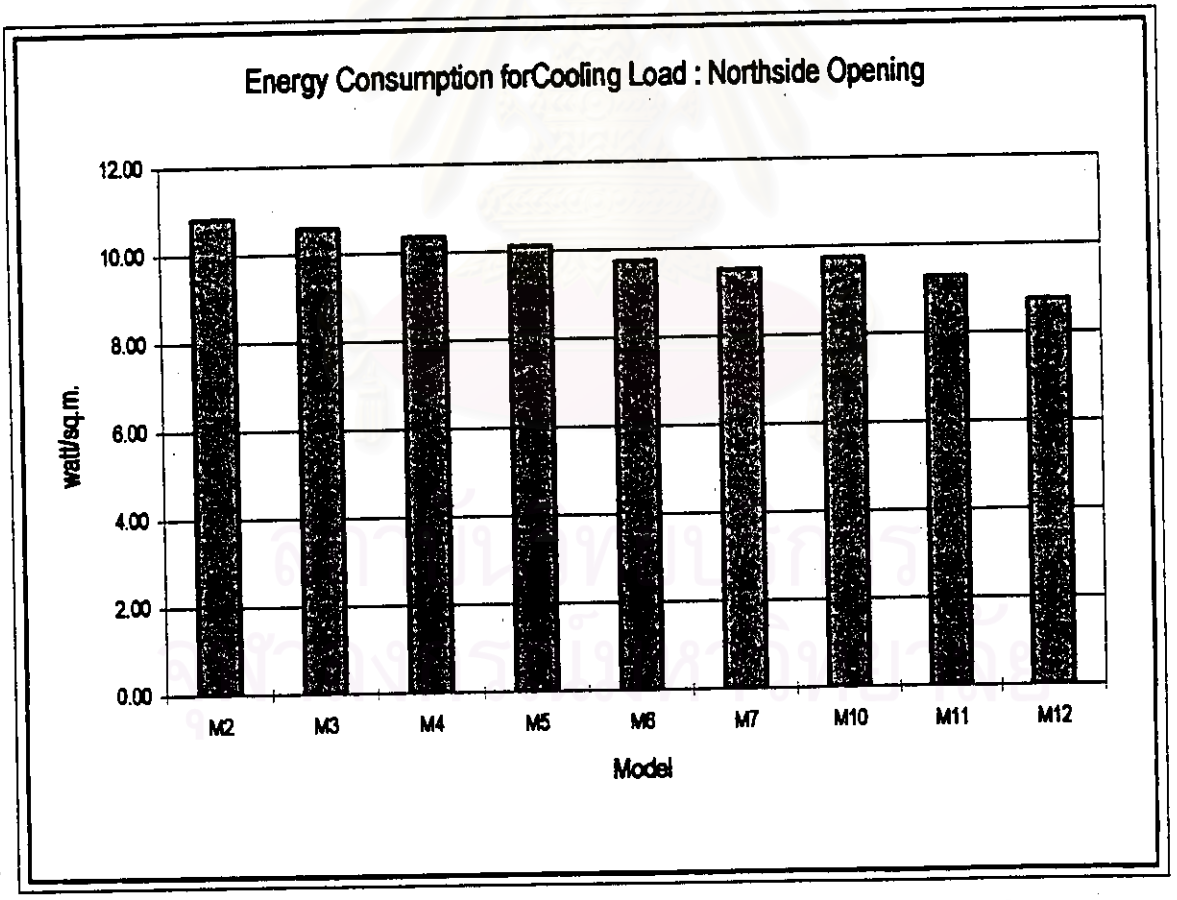
ตารางที่ 48 อัตราการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์ ช่องเปิดด้านทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 26 อัตราการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์ ช่องเปิดด้านทิศเหนือ

Energy Consumption for cooling load : Northside Opening													
	Refrigerant Effect(watt/sq.m.)												
Date	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
21 March& 24Sept.	-	22.84	22.40	21.97	21.54	20.82	20.38	-	-	20.82	19.95	18.94	-
22 June.	-	38.80	37.83	36.86	35.89	34.27	33.30	-	-	34.27	32.32	30.06	-
22 December.	-	19.81	19.48	19.15	18.82	18.27	17.94	-	-	18.27	17.60	16.83	-
Average(watt/sq.m.)	-	27.15	26.57	25.99	25.42	24.45	23.87	-	-	24.45	23.29	21.94	-
COP=2512	Energy Consumption												
watt/sq.m.	-	10.81	10.58	10.35	10.12	9.73	9.50	-	-	9.73	9.27	8.74	-

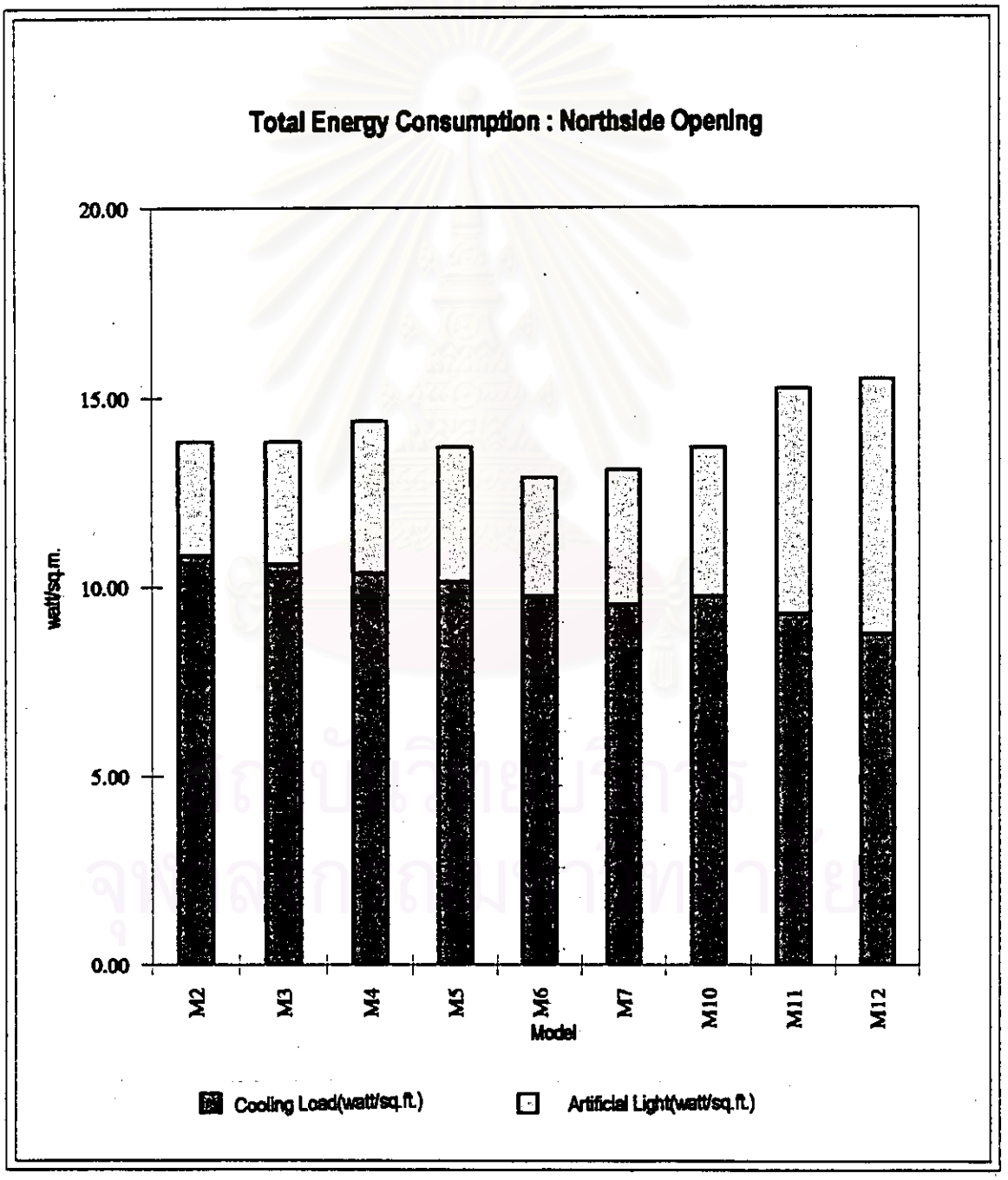
ตารางที่ 49 การใช้พลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นสำหรับช่องเปิดด้านทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 27 การใช้พลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นสำหรับช่องเปิดด้านทิศเหนือ

Total Energy Consumption(watt/sq.m.) : Northside Opening													
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
Cooling Load(watt/sq.m.)	-	10.81	10.58	10.35	10.12	9.73	9.50	-	-	9.73	9.27	8.74	-
Artificial Light(watt/sq.m.)	-	3.03	3.27	4.03	3.57	3.15	3.60	-	-	3.95	5.97	6.76	-
Total Energy(watt/sq.m.)	-	13.84	13.85	14.38	13.69	12.88	13.10	-	-	13.68	15.24	15.50	-

ตารางที่ 50 การใช้พลังงานโดยรวมจากช่องเปิดด้านทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 28 การใช้พลังงานโดยรวมจากช่องเปิดด้านทิศเหนือ

Opaque Wall	
Artificial Light	10.38
Cooling Load	2.04
Total Energy (watt/sq.m)	12.42
Electricity Cost(Baht)	

M1-clear glass	
Artificial Light	2.7
Cooling Load	11.65
Total Energy (watt/sq.m)	14.35
Electricity Cost(Baht)	

M1-Heat Mirror	
Artificial Light	3.375
Cooling Load	4.47
Total Energy (watt/sq.m)	7.845
Electricity Cost(Baht)	

M1- Low-E	
Artificial Light	3.78
Cooling Load	3.18
Total Energy (watt/sq.m)	6.96
Electricity Cost(Baht)	

M2-clear glass	
Artificial Light	3.03
Cooling Load	10.81
Total Energy (watt/sq.m)	13.84
Electricity Cost(Baht)	

M2-Heat Mirror	
Artificial Light	3.7875
Cooling Load	4.12
Total Energy (watt/sq.m)	7.9075
Electricity Cost(Baht)	

M2- Low-E	
Artificial Light	4.242
Cooling Load	2.97
Total Energy (watt/sq.m)	7.212
Electricity Cost(Baht)	

M3-clear glass	
Artificial Light	3.27
Cooling Load	10.58
Total Energy (watt/sq.m)	13.85
Electricity Cost(Baht)	

M3-Heat Mirror	
Artificial Light	4.0875
Cooling Load	4.03
Total Energy (watt/sq.m)	8.1175
Electricity Cost(Baht)	

M3- Low-E	
Artificial Light	4.578
Cooling Load	2.91
Total Energy (watt/sq.m)	7.488
Electricity Cost(Baht)	

M4-clear glass	
Artificial Light	4.03
Cooling Load	10.35
Total Energy (watt/sq.m)	14.38
Electricity Cost(Baht)	

M4-Heat Mirror	
Artificial Light	5.0375
Cooling Load	3.93
Total Energy (watt/sq.m)	8.9675
Electricity Cost(Baht)	

M4- Low-E	
Artificial Light	5.642
Cooling Load	2.85
Total Energy (watt/sq.m)	8.492
Electricity Cost(Baht)	

ตารางที่ 51 ค่ากระแสไฟฟ้ารายปีสำหรับห้องเรียนที่ใช้อุปกรณ์บังแดดและช่องเปิดที่ใช้กระจกชนิดต่างๆ ช่องเปิดด้านทิศเหนือ

M6-clear glass	
Artificial Light	3.15
Cooling Load	9.73
Total Energy (watt/sq.m)	12.88
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M6-Heat Mirror	
Artificial Light	3.9375
Cooling Load	3.68
Total Energy (watt/sq.m)	7.6175
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M6- Low-E	
Artificial Light	4.41
Cooling Load	2.69
Total Energy (watt/sq.m)	7.1
Electricity Cost(Baht)	[illegible]

M7-clear glass	
Artificial Light	3.6
Cooling Load	9.5
Total Energy (watt/sq.m)	13.1
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M7-Heat Mirror	
Artificial Light	4.5
Cooling Load	3.59
Total Energy (watt/sq.m)	8.09
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M7- Low-E	
Artificial Light	5.04
Cooling Load	2.63
Total Energy (watt/sq.m)	7.67
Electricity Cost(Baht)	[illegible]

M10-clear glass	
Artificial Light	3.95
Cooling Load	9.73
Total Energy (watt/sq.m)	13.68
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M10-Heat Mirror	
Artificial Light	4.9375
Cooling Load	3.68
Total Energy (watt/sq.m)	8.6175
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M10- Low-E	
Artificial Light	5.53
Cooling Load	2.69
Total Energy (watt/sq.m)	8.22
Electricity Cost(Baht)	[illegible]

M11-clear glass	
Artificial Light	5.97
Cooling Load	9.27
Total Energy (watt/sq.m)	15.24
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M11-Heat Mirror	
Artificial Light	7.4625
Cooling Load	3.5
Total Energy (watt/sq.m)	10.9625
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M11- Low-E	
Artificial Light	8.358
Cooling Load	2.57
Total Energy (watt/sq.m)	10.928
Electricity Cost(Baht)	[illegible]

M12-clear glass	
Artificial Light	6.76
Cooling Load	8.74
Total Energy (watt/sq.m)	15.5
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M12-Heat Mirror	
Artificial Light	8.45
Cooling Load	3.27
Total Energy (watt/sq.m)	11.72
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M12- Low-E	
Artificial Light	9.464
Cooling Load	2.43
Total Energy (watt/sq.m)	11.894
Electricity Cost(Baht)	[illegible]

ตารางที่ 51 ค่ากระแสไฟฟ้ารายปีสำหรับห้องเรียนที่ใช้อุปกรณ์บังแดดและช่องเปิดที่ใช้กระจกชนิดต่างๆ (ช่องเปิดด้านทิศเหนือ) (ต่อ)

อาคารที่ช่องเปิดของอาคาร อยู่ทางทิศตะวันออก

จากการวิเคราะห์ รูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ สำหรับช่องเปิดทางทิศตะวันออกในช่วงเดือนมีนาคม และกันยายน(Equinox) เวลา 8.00น ได้ มีเพียงอุปกรณ์บังแดดรูปแบบ M11 และ M12 เท่านั้น ส่วนช่องเปิดแบบอื่นไม่สามารถป้องกันการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วงนี้ได้ เนื่องจากในวัน เวลาดังกล่าวดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่ง Azimuth ที่90° ซึ่งทำมุมตั้งฉากกับช่องเปิดพอดี และ Altitude ที่ 31 ° ซึ่งมีค่าต่ำมาก หากอุปกรณ์บังแดดไม่มีความเหมาะสมจะทำให้เกิดปัญหาการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร จากค่าของมุม Altitude ที่31 ° จะพบว่าการใช้อุปกรณ์บังแดดในแนวนอนให้มีระยะยื่นมากหรือการใช้หลายๆตัวประกอบกันก็สามารถแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้ ยกเว้น M13 ที่ไม่มีการเก็บข้อมูลจึงไม่กล่าวถึง

ลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับช่องเปิดในทิศนี้ คือ อุปกรณ์บังแดดในแนวนอน ที่มีการออกแบบโดยการใช้มุมที่สัมพันธ์กับตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ และมีการพิจารณาถึงระยะยื่น และความถี่ที่เหมาะสม จะสามารถป้องการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ได้ หากใช้อุปกรณ์บังแดดที่มีระยะยื่นมากกว่านี้โดยไม่คำนึงถึงความสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ก็จะไม่สามารถป้องกันDirect Sunได้ และยังจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานจากแสงประดิษฐ์เพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการใช้พลังงานรวมภายในอาคาร จากแผนภูมิที่ ถึงแม้ว่าหุ่นจำลองที่ใช้อุปกรณ์บังแดด M12 มีการใช้พลังงานรวมภายในอาคารต่ำกว่าแบบM11ก็ตาม แต่อุปกรณ์บังแดดทั้ง2แบบมีค่าการใช้พลังงานรวมในอาคารสูงถึง 22.2 และ 21.7 watt/sq.m.

การพิจารณาการใช้อุปกรณ์บังแดดร่วมกับกระจก High Performance

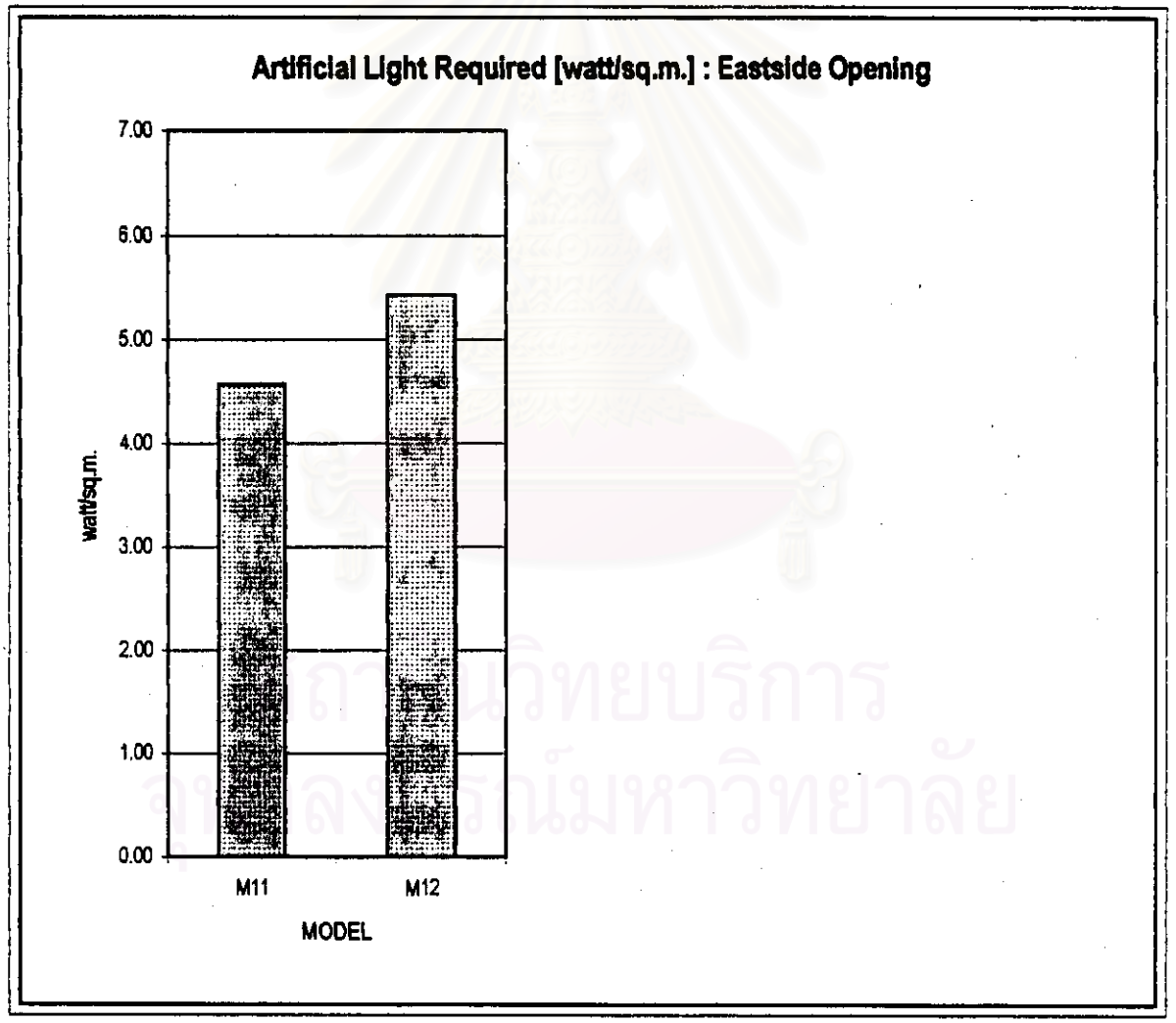
สำหรับช่องเปิดทางด้านทิศตะวันออกจากผลการคำนวณดังตารางที่ การใช้กระจก High Performance - Low-e ที่มีค่าCoolness Index =1.77 ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด M12 จะมีค่าการใช้พลังงานรวมอยู่ที่ 11.99 watt/sq.m. แต่การใช้กระจก High Performance - Low-e ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด M11 จะมีค่าการใช้พลังงานรวมอยู่ที่ 11.14 watt/sq.m. ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานรวมต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานรวมของอาคารที่ติดตั้งอุปกรณ์กันแดดรูปแบบอื่นและสามารถลดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการใช้พลังงานรวมในอาคารได้ปีละ 506 บาทเมื่อเปรียบเทียบกับ อาคารที่ไม่มีช่องเปิด ดังนั้นหากมีการใช้อุปกรณ์บังแดดร่วมกับHeat Mirror สำหรับ

ช่องเปิดด้านทิศตะวันออก อุปกรณ์บังแดด M11 จะเหมาะสมที่สุดในแง่ของการใช้พลังงาน และยังมีความเหมาะสมในแง่ของการมองทัศนียภาพมากกว่าอุปกรณ์บังแดด M12 อีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Artificial Light Required : Eastside Opening													
Time	Artificial Light Required(FC)												
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
21 Mar& 24 Sept	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.94	27.84	-
22 June.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.05	23.48	-
22 December.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.01	27.08	-
AVERAGE(FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.00	26.14	-
Energy[watt/sq.m.]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.57	5.43	-

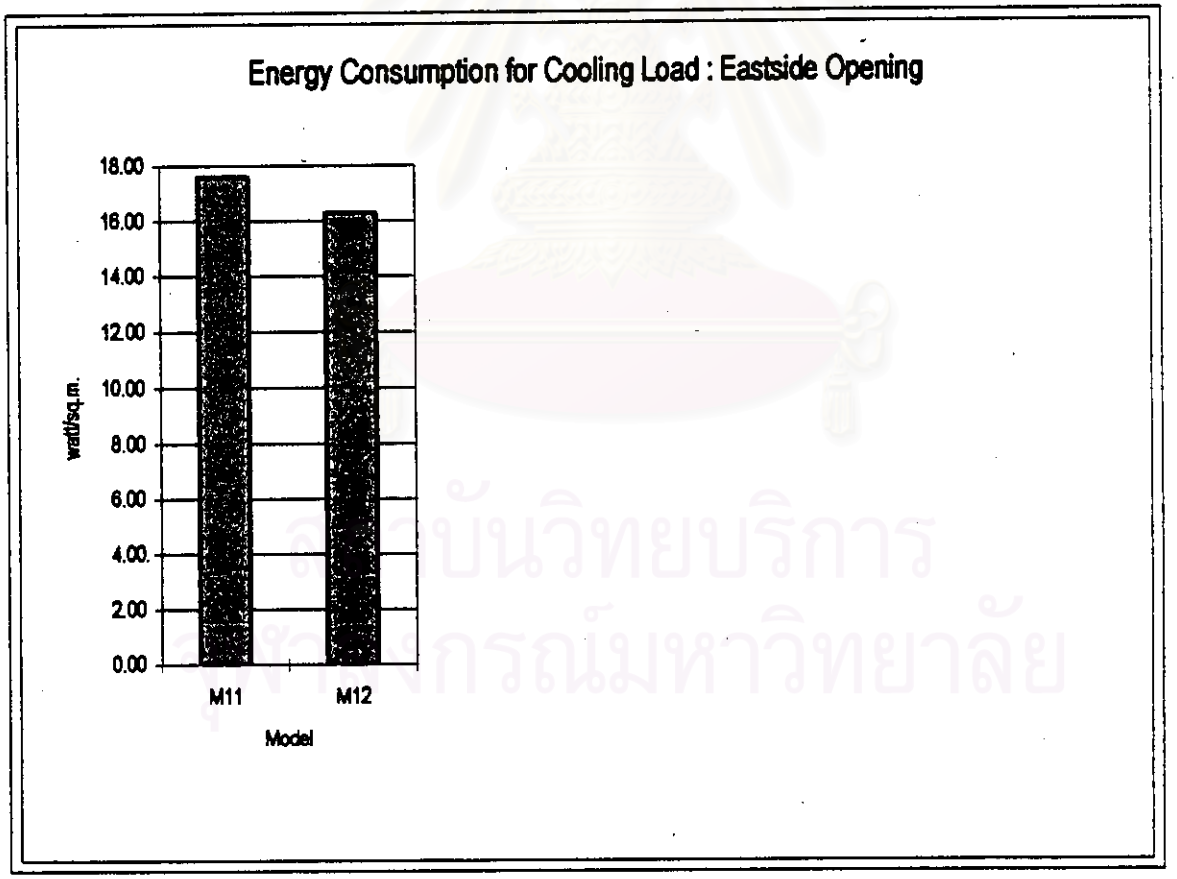
ตารางที่ 52 อัตราการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์ ช่องเปิดด้านทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 29 อัตราการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์ ช่องเปิดด้านทิศตะวันออก

Energy Consumption for cooling load : Eastside Opening													
	Refrigerant Effect(watt/sq.m.)												
Date	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
21 March& 24Sept.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47.12	43.51	-
22 June.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44.50	41.15	-
22 December.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41.05	38.03	-
Average(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44.22	40.90	-
COP=2.512	Energy Consumption												
watt/sq.m.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.60	16.28	-

ตารางที่ 53 การใช้พลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นสำหรับช่องเปิดด้านทิศตะวันออก

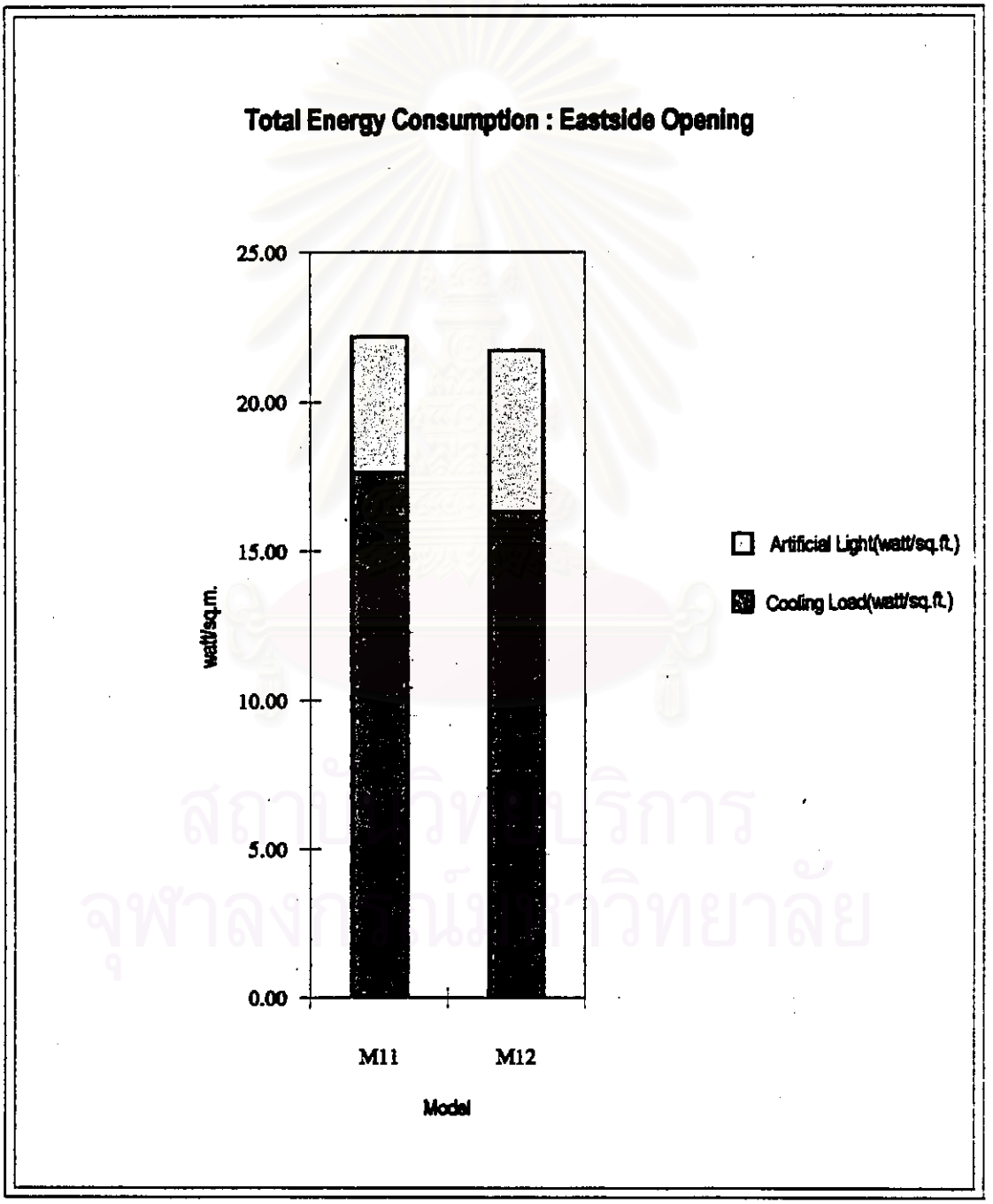


แผนภูมิที่ 30 การใช้พลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นสำหรับช่องเปิดด้านทิศตะวันออก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Total Energy Consumption(watt/sq.m.) : Eastside Opening													
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
Cooling Load(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.60	16.28	-
Artificial Light(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.57	5.43	-
Total Energy(watt/sq.m.)													

ตารางที่ 54 การใช้พลังงานโดยรวมจากช่องเปิดด้านทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 31 การใช้พลังงานโดยรวมจากช่องเปิดด้านทิศตะวันออก

Opaque Wall	
Artificial Light	10.38
Cooling Load	2.04
Total Energy (watt/sq.m)	12.42
Electricity Cost(Baht)	

M11-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	4.57
Cooling Load(watt/sq.m.)	17.60
Total Energy (watt/sq.m)	22.17
Electricity Cost(Baht)	
M11-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	5.71
Cooling Load(watt/sq.m.)	6.91
Total Energy (watt/sq.m)	12.62
Electricity Cost(Baht)	
M11- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	6.40
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.74
Total Energy (watt/sq.m)	11.14
Electricity Cost(Baht)	

M12-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	5.43
Cooling Load(watt/sq.m.)	16.28
Total Energy (watt/sq.m)	21.71
Electricity Cost(Baht)	
M12-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	6.79
Cooling Load(watt/sq.m.)	6.37
Total Energy (watt/sq.m)	13.16
Electricity Cost(Baht)	
M12- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	7.60
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.39
Total Energy (watt/sq.m)	11.99
Electricity Cost(Baht)	

ตารางที่ 55 ค่ากระแสไฟฟ้ารายปีสำหรับห้องเรียนที่ใช้อุปกรณ์บังแดดและช่องเปิดที่ใช้กระจกชนิดต่างๆ ช่องเปิดด้านทิศตะวันออก

อาคารที่ช่องเปิดของอาคาร อยู่ทางทิศใต้

ในการออกแบบอุปกรณ์บังแดด เพื่อป้องกันการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ สำหรับช่องเปิดทางทิศใต้ ควรพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของช่องเปิด กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนธันวาคมเป็นสำคัญ เพราะเป็นช่วงที่แนวการโคจรดวงอาทิตย์อ้อมไปทางทิศใต้มากที่สุด โดยเฉพาะในวันที่ 22 ธันวาคม(winter soltice) เนื่องจากในวันดังกล่าว ในเวลา 8.00(solar time) ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่ง Altitude ที่22° และในเวลา 12.00(solar noon)ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่ง Azimuth ที่ 0° และ Altitude ที่54 ° ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดที่ดวงอาทิตย์ทำกับช่องเปิดทางทิศใต้ สำหรับช่องเปิดที่ไม่มีการออกอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสม จะเกิดปัญหาการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคารทั้งวัน จากผลการวิจัยอุปกรณ์บังแดดที่สามารถแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้ คือ M8, M9, M10, M11, M12 และ M13

ลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับช่องเปิดในทิศนี้ คือ อุปกรณ์บังแดดในแนวนอน ที่มีการออกแบบโดยการใช้มุมที่สัมพันธ์กับตำแหน่งการโคจรของดวงอาทิตย์ และมีการพิจารณาถึงระยะยื่น และความถี่ที่เหมาะสม จะสามารถป้องการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ได้ หากใช้อุปกรณ์บังแดดที่มีระยะยื่นมากกว่านี้โดยไม่คำนึงถึงความสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ก็จะไม่สามารถป้องกันDirect Sunได้ และยังจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานจากแสงประดิษฐ์เพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น

สำหรับช่องเปิดทางด้านทิศใต้ อุปกรณ์บังแดดM9-clear glass มีอัตราการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์อยู่ที่ 3.37 watt/sq.m. และอัตราการใช้พลังงานรวมอยู่ที่ 20.64 watt/sq.m.

การพิจารณาการใช้อุปกรณ์บังแดดร่วมกับ กระจก High Performance

สำหรับช่องเปิดทางด้านทิศใต้จากผลการคำนวณ ดังตารางที่ พบว่าการใช้กระจก Heat Mirror ที่มีCoolness Index 1.2 ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด M10 จะมีอัตราการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคาร =10.33 watt/sq.m.ช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ปีละ 824 บาท(เมื่อค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 1.95บาท/Kw*hr)

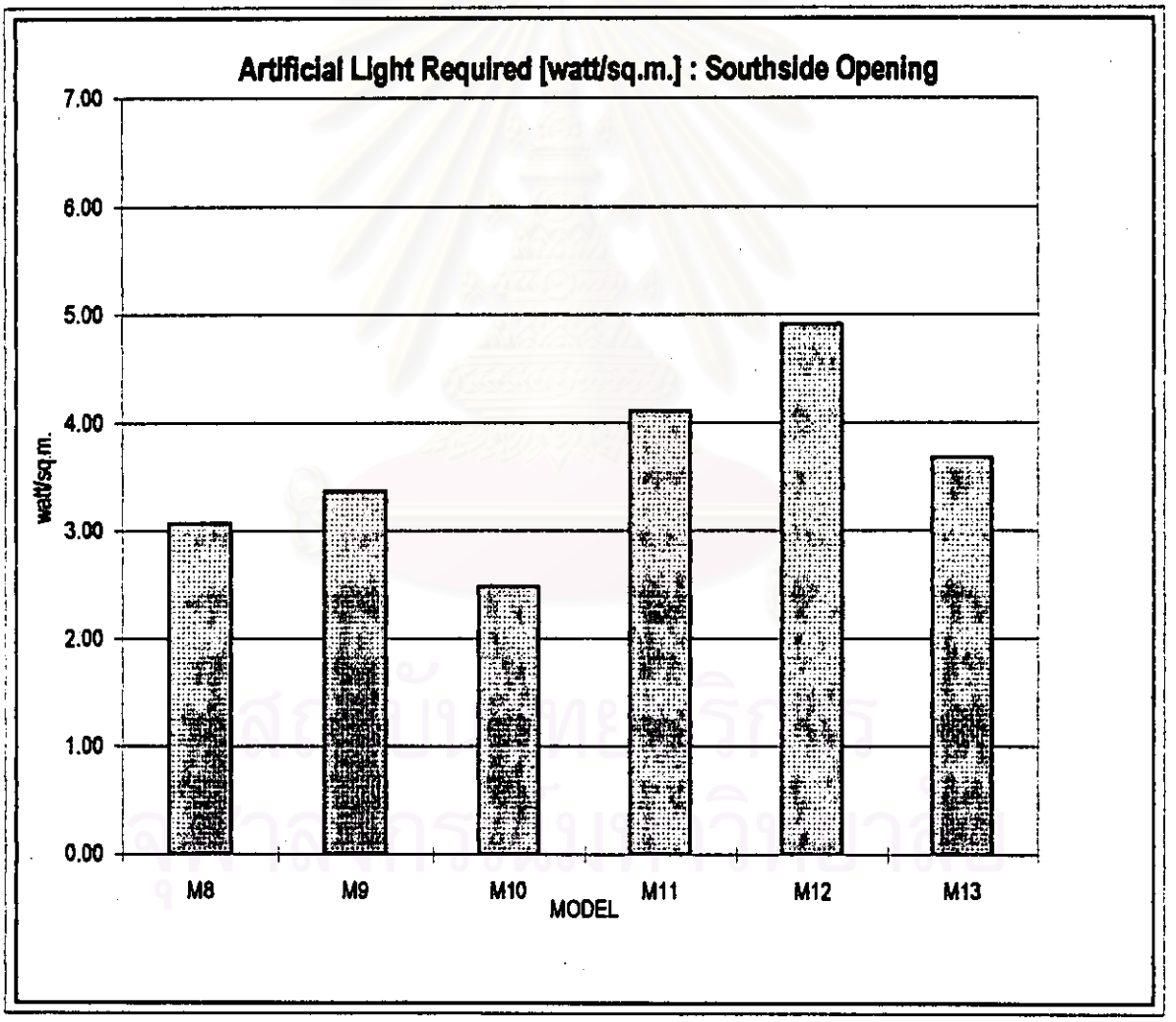
ส่วนการใช้กระจกLow-e ที่มี Coolness Index 1.77 (Daylight Transmission=0.46 Shading Coefficient=0.26)โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์บังแดด จะมีอัตราการใช้พลังงานโดยรวมภายในอาคาร =9.28 watt/sq.m.ช่วยลดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการใช้พลังงานรวมในอาคารได้ปีละ1238บาทเมื่อเปรียบเทียบกับ อาคารที่ไม่มีช่องเปิด

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าช่องเปิดของอาคารทางด้านทิศใต้ การใช้กระจก High Performance กับช่องเปิดที่ไม่มีอุปกรณ์กันแดดM10จะมีความเหมาะสมที่สุดในแง่ของการใช้พลังงานรวม ส่วนการพิจารณาว่าจะใช้กระจก High Performanceประเภทใดนั้น ควรพิจารณากระจก High Performance ที่มีค่าCoolness Index สูง ซึ่งควรพิจารณาควบคู่กับงบประมาณการลงทุนและระยะเวลาในการคืนทุนด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Artificial Light Required : Southside Opening													
Time	Artificial Light Required(FC)												
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
21 Mar& 24 Sept	-	-	-	-	-	-	-	17.10	19.80	12.71	23.24	27.83	21.66
22 June.	-	-	-	-	-	-	-	23.60	24.96	19.80	30.71	36.97	26.92
22 December.	-	-	-	-	-	-	-	3.66	3.86	3.35	5.38	6.14	4.53
AVERAGE(FC)	-	-	-	-	-	-	-	14.79	16.21	11.95	19.78	23.65	17.70
Energy[watt/sq.m.]	-	-	-	-	-	-	-	3.07	3.37	2.48	4.11	4.91	3.68

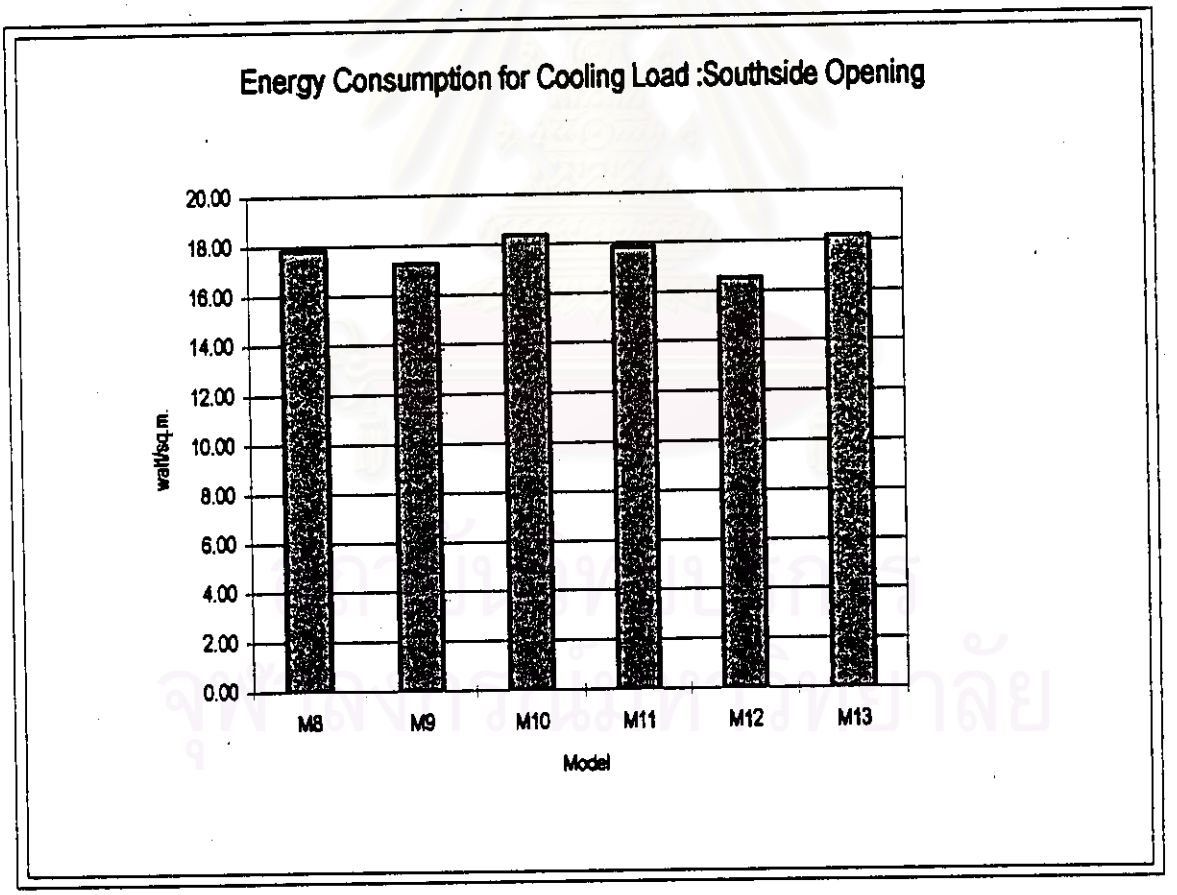
ตารางที่ 56 อัตราการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์ ช่องเปิดด้านทิศใต้



แผนภูมิที่ 32 อัตราการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์ ช่องเปิดด้านทิศใต้

Energy Consumption for cooling load : Southside Opening													
	Refrigerant Effect(watt/sq.m.)												
Date	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
21 March& 24Sept.	-	-	-	-	-	-	-	34.89	33.90	35.89	34.89	32.57	35.56
22 June.	-	-	-	-	-	-	-	22.97	22.45	23.49	22.97	21.76	23.31
22 December.	-	-	-	-	-	-	-	76.44	73.78	79.10	76.44	70.24	78.21
Average(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	44.77	43.38	46.16	44.77	41.52	45.69
COP=2.512	Energy Consumption												
watt/sq.m.	-	-	-	-	-	-	-	17.82	17.27	18.38	17.82	16.53	18.19

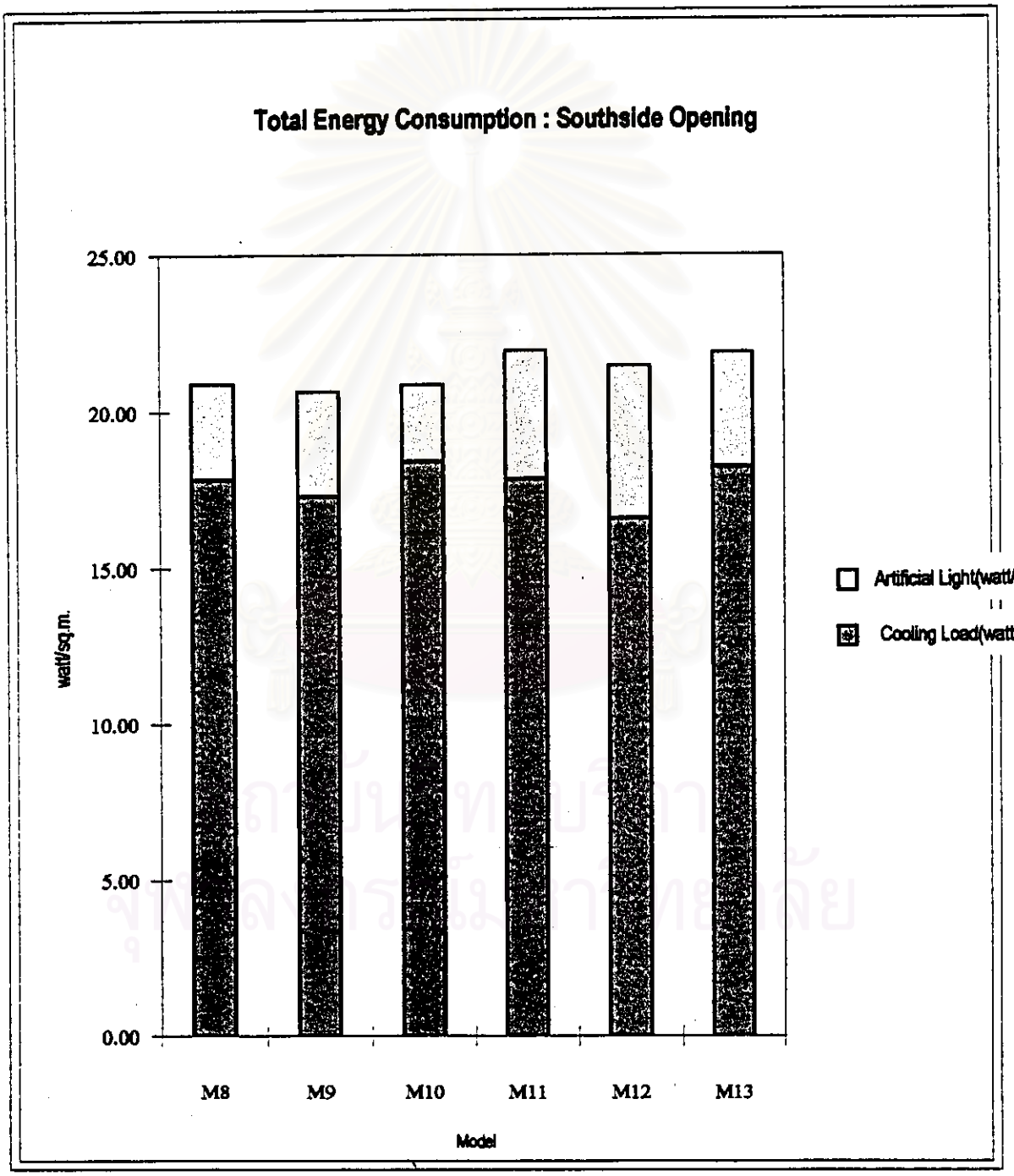
ตารางที่ 57 การใช้พลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นสำหรับช่องเปิดด้านทิศใต้



แผนภูมิที่ 33 การใช้พลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นสำหรับช่องเปิดด้านทิศใต้

Total Energy Consumption(watt/sq.m.): Southside Opening													
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
Cooling Load(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	17.82	17.27	18.38	17.82	16.53	18.19
Artificial Light(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	3.07	3.37	2.48	4.11	4.91	3.68
Total Energy(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	20.89	20.64	20.86	21.93	21.44	21.87

ตารางที่ 58 การใช้พลังงานโดยรวมจากช่องเปิดด้านทิศใต้



แผนภูมิที่ 34 การใช้พลังงานโดยรวมจากช่องเปิดด้านทิศใต้

Opaque Wall	
Artificial Light(watt/sq.m.)	10.38
Cooling Load(watt/sq.m.)	2.04
Total Energy (watt/sq.m)	12.42
Electricity Cost(Baht)	

M8-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	3.07
Cooling Load(watt/sq.m.)	17.82
Total Energy (watt/sq.m)	20.89
Electricity Cost(Baht)	

M8-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	3.8375
Cooling Load(watt/sq.m.)	6.998
Total Energy (watt/sq.m)	10.8355
Electricity Cost(Baht)	

M8- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	5.3725
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.79
Total Energy (watt/sq.m)	10.1625
Electricity Cost(Baht)	

M9-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	3.37
Cooling Load(watt/sq.m.)	17.27
Total Energy (watt/sq.m)	20.64
Electricity Cost(Baht)	

M9-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	4.2125
Cooling Load(watt/sq.m.)	6.79
Total Energy (watt/sq.m)	11.0025
Electricity Cost(Baht)	

M9- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	5.8975
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.65
Total Energy (watt/sq.m)	10.5475
Electricity Cost(Baht)	

M10-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	2.48
Cooling Load(watt/sq.m.)	18.38
Total Energy (watt/sq.m)	20.86
Electricity Cost(Baht)	

M10-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	3.1
Cooling Load(watt/sq.m.)	7.23
Total Energy (watt/sq.m)	10.33
Electricity Cost(Baht)	

M10- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	4.34
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.94
Total Energy (watt/sq.m)	9.28
Electricity Cost(Baht)	

ตารางที่ 59 ค่ากระแสไฟฟ้ารายปีสำหรับห้องเรียนที่ใช้อุปกรณ์บังแดดและช่องเปิดที่ใช้กระจกชนิดต่างๆ (ช่องเปิดด้านทิศใต้)

M11-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	4.11
Cooling Load(watt/sq.m.)	17.82
Total Energy (watt/sq.m)	21.93
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M11-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	5.1375
Cooling Load(watt/sq.m.)	6.998
Total Energy (watt/sq.m)	12.1355
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M11- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	7.1925
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.79
Total Energy (watt/sq.m)	11.9825
Electricity Cost(Baht)	[illegible]

M12-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	4.91
Cooling Load(watt/sq.m.)	16.53
Total Energy (watt/sq.m)	21.44
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M12-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	6.1375
Cooling Load(watt/sq.m.)	6.47
Total Energy (watt/sq.m)	12.6075
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M12- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	8.5925
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.45
Total Energy (watt/sq.m)	13.0425
Electricity Cost(Baht)	[illegible]

M13-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	3.68
Cooling Load(watt/sq.m.)	18.19
Total Energy (watt/sq.m)	21.87
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M13-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	4.6
Cooling Load(watt/sq.m.)	7.15
Total Energy (watt/sq.m)	11.75
Electricity Cost(Baht)	[illegible]
M13- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	6.44
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.89
Total Energy (watt/sq.m)	11.33
Electricity Cost(Baht)	[illegible]

ตารางที่ 59 ค่ากระแสไฟฟ้ารายปีสำหรับห้องเรียนที่ใช้อุปกรณ์บังแดดและช่องเปิดที่ใช้กระจกชนิดต่างๆ ช่องเปิดด้านทิศใต้ (ต่อ)

อาคารที่ช่องเปิดของอาคาร อยู่ทางทิศตะวันตก

ในการออกแบบอุปกรณ์บังแดด เพื่อป้องกันการส่องสว่างโดยตรงจากดวงอาทิตย์ สำหรับช่องเปิดทางทิศตะวันตก การพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของช่องเปิด กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นไปในทำนองเดียวกันกับกรณีช่องเปิดอยู่ทางทิศตะวันออก แต่ผลของดวงอาทิตย์ที่ทำกับอาคาร จะเกิดขึ้นในเวลาที่ตรงกันข้ามกัน แต่อย่างไรก็ตาม ความเหมาะสมของรูปแบบช่องเปิดก็เป็นไปในทำนองเดียวกันคือ สำหรับช่องเปิดทางด้านทิศตะวันตก อุปกรณ์บังแดดM12 - clear glass ที่มีอัตราการใช้พลังงานรวมมีค่าเท่ากับ 21.67 watt/sq.m. เป็นอุปกรณ์บังแดดที่มีค่าการใช้พลังงานรวมต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์บังแดดรูปแบบอื่นที่ใช้ร่วมกับกระจกใส แต่ก็นับว่ามีค่าการใช้พลังงานรวมสูง ดังนั้นจึงควรพิจารณาอุปกรณ์บังแดดร่วมกับการใช้กระจกHigh Performance

การพิจารณาการใช้อุปกรณ์บังแดดร่วมกับกระจก High Performance

สำหรับช่องเปิดทางด้านทิศตะวันตกจากผลการคำนวณดังตารางที่ พบว่า การใช้กระจกHeat Mirror ร่วมกับอุปกรณ์บังแดด M11 จะช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ปีละ 506 บาท (เมื่อค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 1.95บาท/Kw*hr) ดังนั้น หากมีการใช้อุปกรณ์บังแดดร่วมกับHeat Mirror สำหรับช่องเปิดด้านทิศตะวันตก อุปกรณ์บังแดด M11 จะเหมาะสมที่สุดในแง่ของการใช้พลังงาน และยังมีความเหมาะสมในแง่ของการมองทัศนียภาพมากกว่าอุปกรณ์บังแดด M12 อีกด้วย

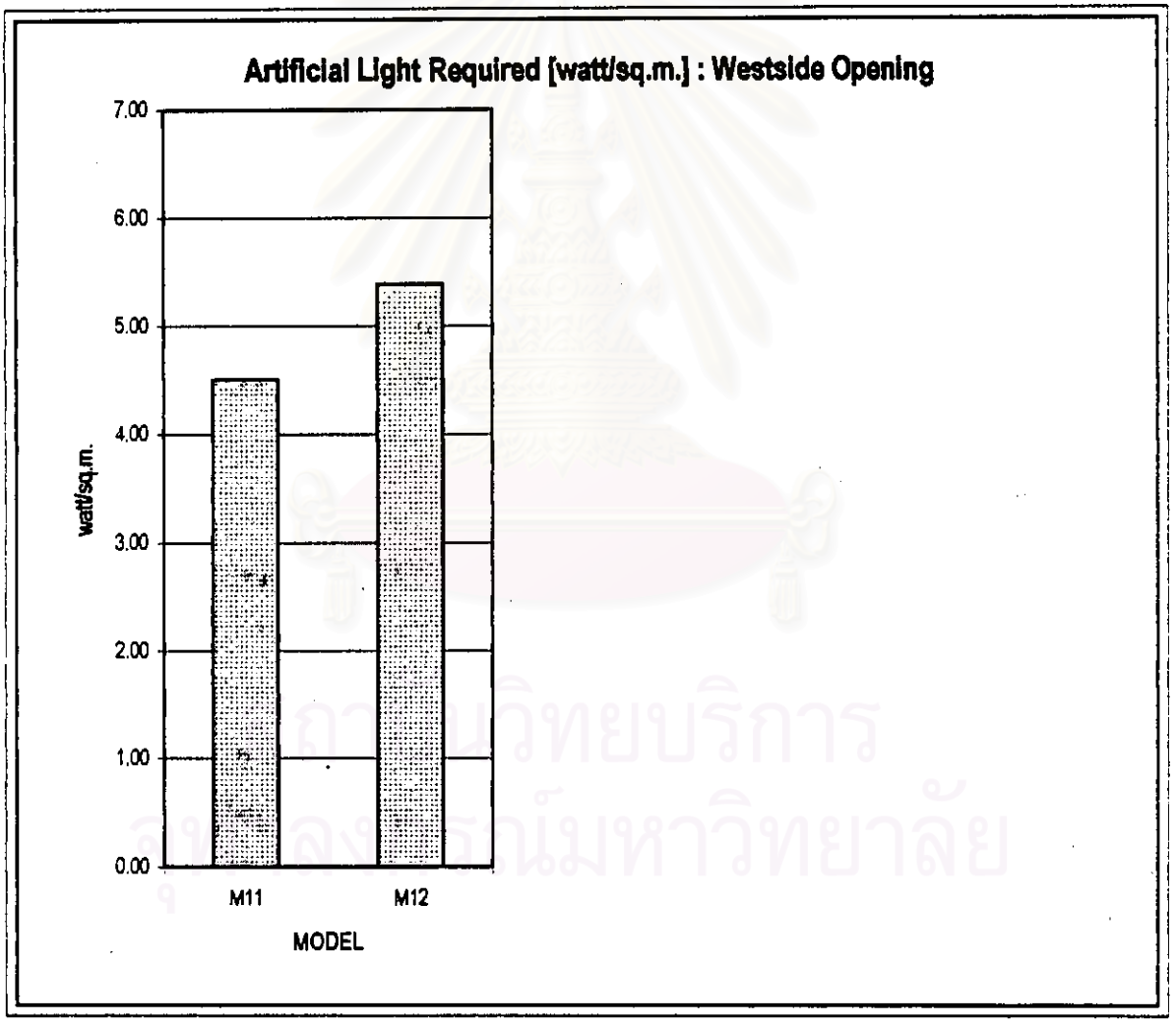
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปแบบช่องเปิดที่เหมาะสมในทิศทางต่างๆ สามารถสรุปเป็นแผนภูมิของการใช้พลังงานรวมได้ดังแผนภูมิที่ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของการใช้อุปกรณ์บังแดดกับช่องเปิดของอาคารในทิศทางต่างๆ ในแง่ของค่าพลังงานรวมที่ต้องใช้ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการเลือกรูปแบบของอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสมสำหรับอาคารต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Artificial Light Required : Westside Opening													
Time	Artificial Light Required(FC)												
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
21 Mar& 24 Sept	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.06	27.30	-
22 June.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.37	23.89	-
22 December.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.60	26.60	-
AVERAGE(FC)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21.68	25.93	-
Energy[watt/sq.m.]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.50	5.39	-

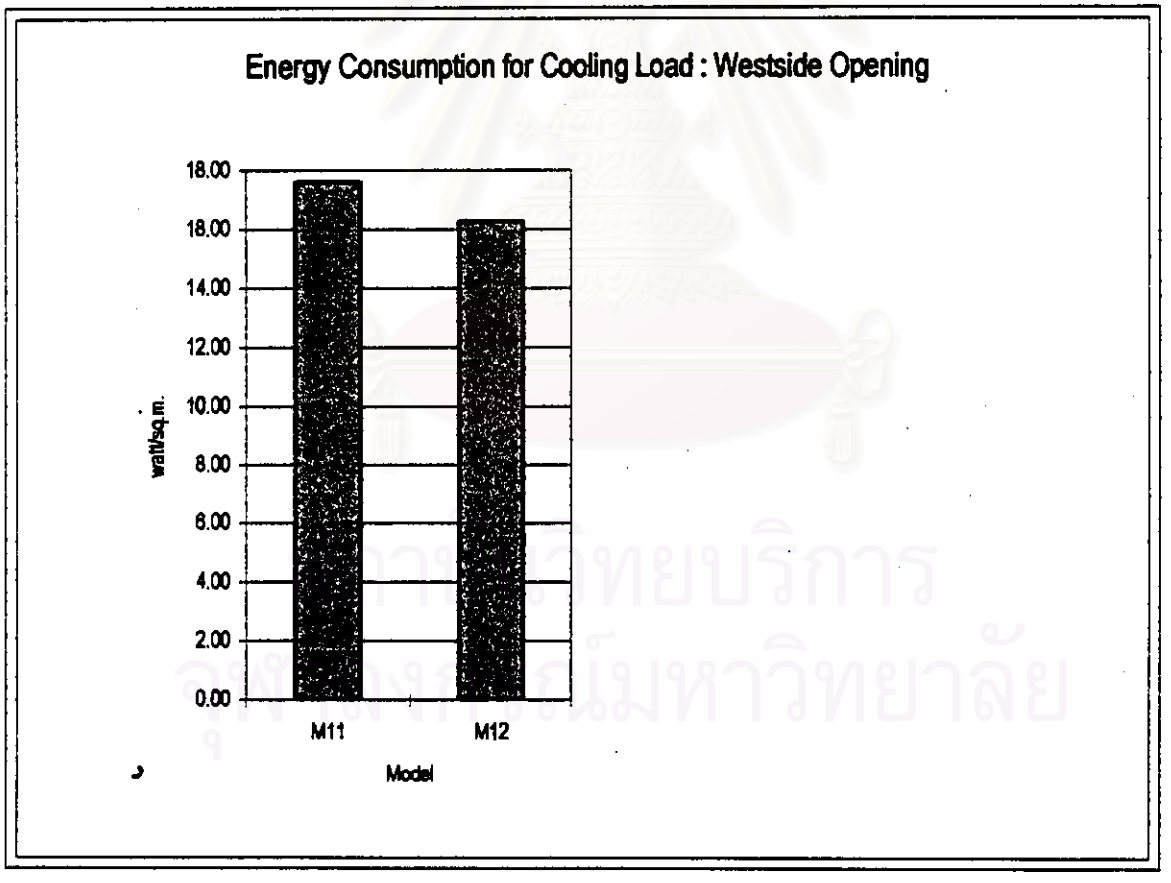
ตารางที่ 60 อัตราการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์ ช่องเปิดด้านทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 35 อัตราการใช้พลังงานในส่วนของแสงประดิษฐ์ ช่องเปิดด้านทิศตะวันตก

Energy Consumption for cooling load : Westside Opening													
	Refrigerant Effect(watt/sq.m.)												
Date	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
21 March& 24Sept.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47.12	43.51	-
22 June.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44.50	41.15	-
22 December.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41.05	38.03	-
Average(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44.22	40.90	-
COP=2.512	Energy Consumption												
watt/sq.m.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.60	16.28	-

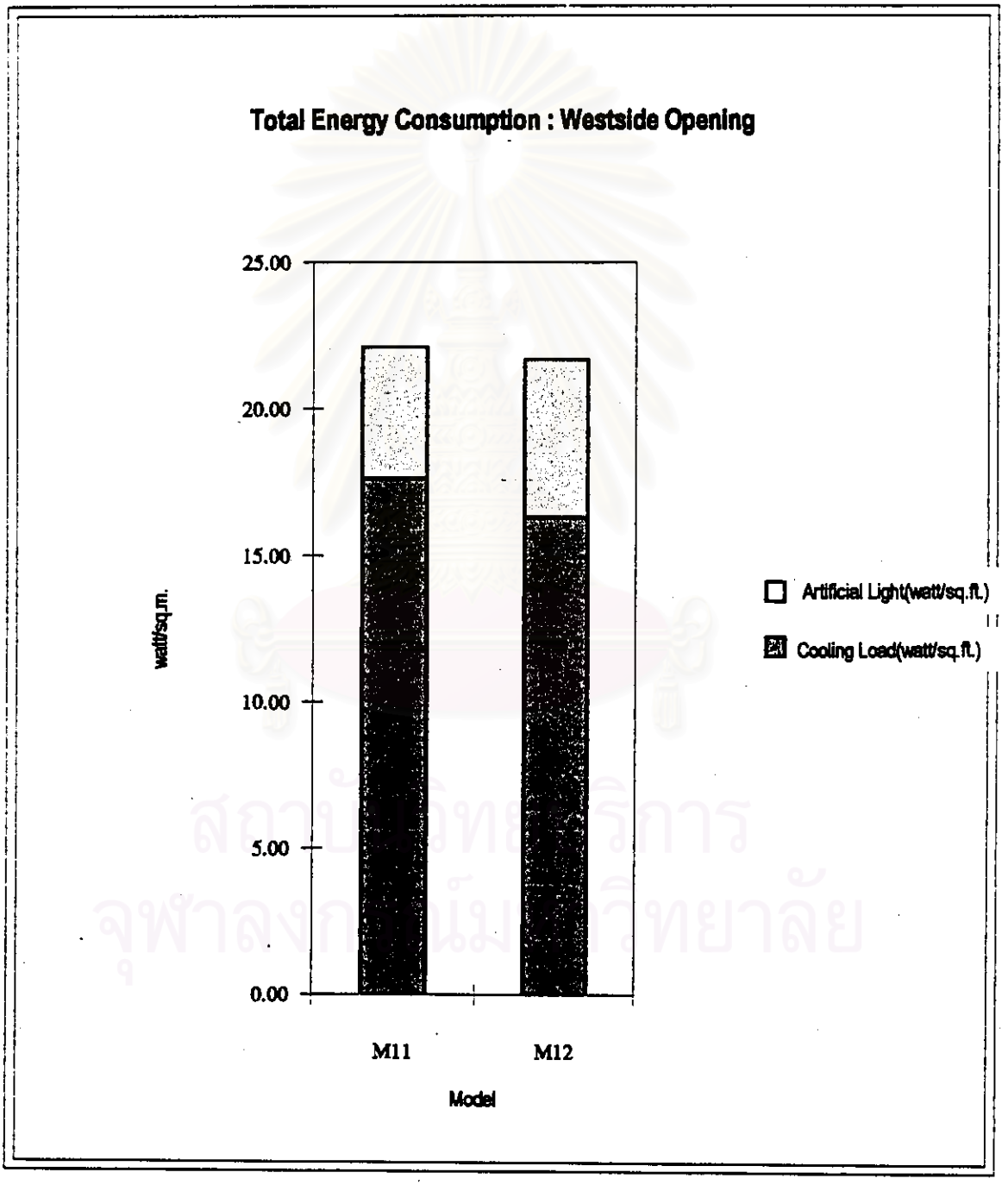
ตารางที่ 6T การใช้พลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นสำหรับช่องเปิดด้านทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 36 การใช้พลังงานในส่วนของภาระการทำความเย็นสำหรับช่องเปิดด้านทิศตะวันตก

Total Energy Consumption(watt/sq.m.): Westside Opening													
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
Cooling Load(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.60	16.28	-
Artificial Light(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.50	5.39	-
Total Energy(watt/sq.m.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.10	21.67	-

ตารางที่ 62 การใช้พลังงานโดยรวมจากช่องเปิดด้านทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 37 การใช้พลังงานโดยรวมจากช่องเปิดด้านทิศตะวันตก

Opaque Wall	
Artificial Light	10.38
Cooling Load	2.04
Total Energy (watt/sq.m)	12.42
Electricity Cost(Baht)	

M11-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	4.50
Cooling Load(watt/sq.m.)	17.6
Total Energy (watt/sq.m)	22.1
Electricity Cost(Baht)	

M11-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	5.63
Cooling Load(watt/sq.m.)	6.91
Total Energy (watt/sq.m)	12.54
Electricity Cost(Baht)	

M11- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	6.40
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.74
Total Energy (watt/sq.m)	11.14
Electricity Cost(Baht)	

M12-clear glass	
Artificial Light(watt/sq.m.)	5.39
Cooling Load(watt/sq.m.)	16.28
Total Energy (watt/sq.m)	21.67
Electricity Cost(Baht)	

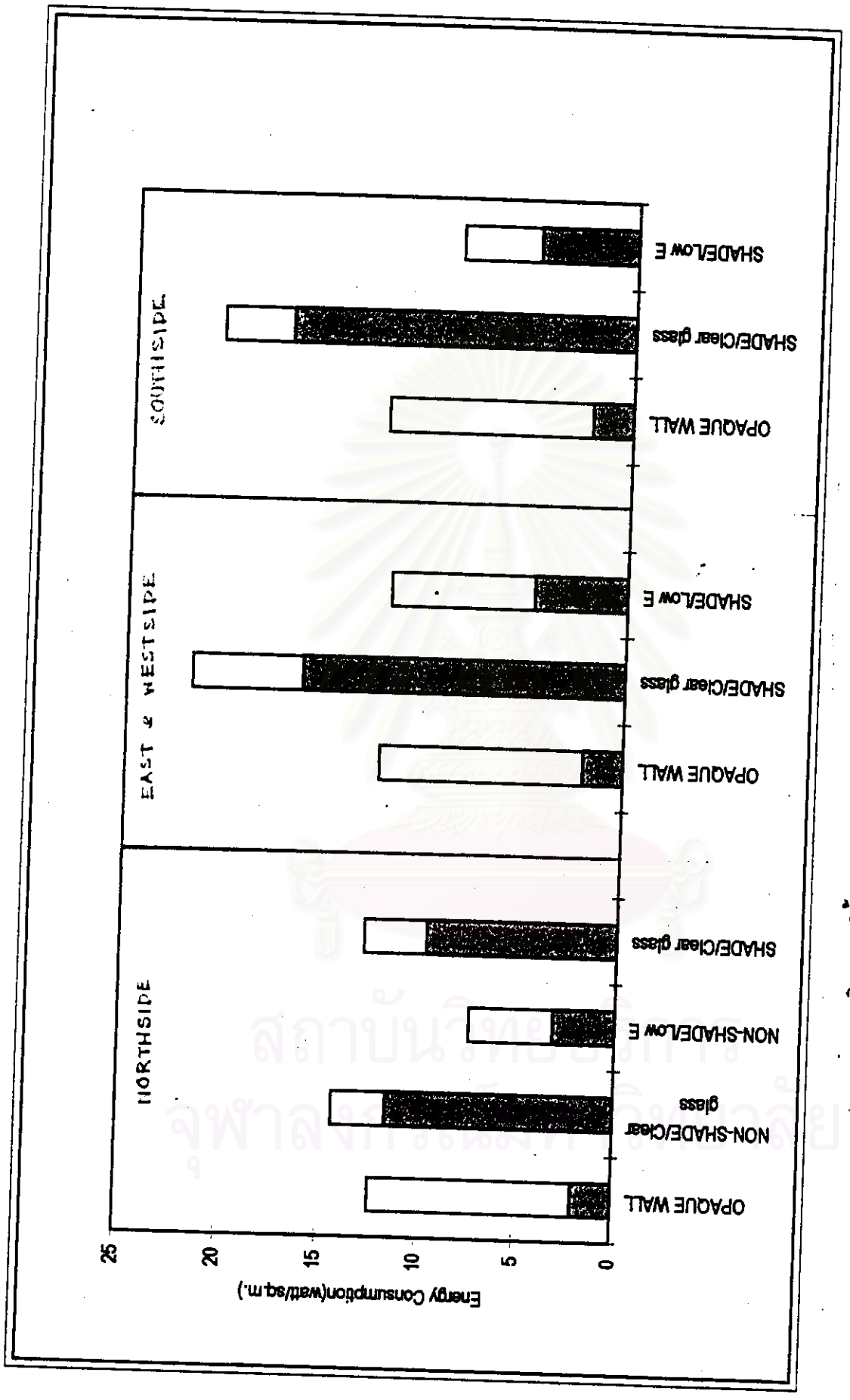
M12-Heat Mirror	
Artificial Light(watt/sq.m.)	6.74
Cooling Load(watt/sq.m.)	6.37
Total Energy (watt/sq.m)	13.11
Electricity Cost(Baht)	

M12- Low-E	
Artificial Light(watt/sq.m.)	9.43
Cooling Load(watt/sq.m.)	4.39
Total Energy (watt/sq.m)	13.82
Electricity Cost(Baht)	

ตารางที่ 63 ค่ากระแสไฟฟ้ารายปีสำหรับห้องเรียนที่ใช้อุปกรณ์บังแดดและช่องเปิดที่ใช้กระจกชนิดต่างๆ ช่องเปิดด้านทิศตะวันตก

	Northside Opening		
	Energy Required for Cooling Load(watt/sq.m.)	Average Lighting Energy Required(watt/sq.m.)	Totol
OPAQUE WALL	2.04	10.38	12.42
NON-SHADE/Clear glass	11.65	2.7	14.35
NON-SHADE/Low E	3.18	3.78	6.96
SHADE/Clear glass	9.73	3.15	12.88
	Eastside Opening		
	Energy Required for Cooling Load(watt/sq.m.)	Average Lighting Energy Required(watt/sq.m.)	Totol
OPAQUE WALL	2.04	10.38	12.42
SHADE/Clear glass	16.3	5.43	21.73
SHADE/Low E	4.74	6.4	11.14
	Southside Opening		
	Energy Required for Cooling Load(watt/sq.m.)	Average Lighting Energy Required(watt/sq.m.)	Totol
OPAQUE WALL	2.04	10.38	12.42
SHADE/Clear glass	17.27	3.37	20.64
SHADE/Low E	4.94	4.34	9.28
	Westside Opening		
	Energy Required for Cooling Load(watt/sq.m.)	Average Lighting Energy Required(watt/sq.m.)	Totol
OPAQUE WALL	2.04	10.38	12.42
SHADE/Clear glass	16.3	5.39	21.69
SHADE/Low E	4.74	7.31	12.05

ตารางที่ 64 การใช้พลังงานรวมของอุปกรณ์บังแดดที่มีความเหมาะสมในทิศทางต่างๆ



ภาพที่ 36 การใช้พลังงานรวมของอุปกรณ์บังแดดที่มีความเหมาะสมในทิศทางต่างๆ

7.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อจำกัดของเวลาที่ใช้ในการทำงานวิจัย จึงจำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลใน Skydome ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถจำลองตำแหน่งของดวงอาทิตย์ให้อยู่ในวันเวลาใดก็ได้ แต่ก็มีข้อจำกัดคือ เราไม่อาจทราบพฤติกรรมของแสงในกรณีที่เป็น Cloudy Skyได้ และลักษณะการกระจายแสงภายในSkydome อาจเกิดการReflect ของแสงที่ผิวภายในSkydome ทำให้ค่าการกระจายแสงที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง จึงจำเป็นที่ผู้ทำการวิจัยจะต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบถึงค่าความแตกต่างของการกระจายแสงภายในSkydome กับสภาพท้องฟ้าจริง ซึ่งอาจเป็นการเปรียบเทียบเพียงวันใดวันหนึ่ง แล้วนำผลที่ได้มาพิจารณาควบคู่กันไป เพื่อให้ผลการวิจัยที่ได้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย