

การพัฒนาแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งสำหรับคำนวณภาระความเย็น ในกรุงเทพมหานครด้วยระเบียบวิธีดุลความร้อน Development of Clear Sky Model for Cooling load Calculation in Bangkok Using the Heat Balance Method

พิชัย กฤตไมตรี* วีรพจน์ เวศพันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

*E-mail: fengpck@ku.ac.th

Phichai Kritmaitree* Teerapot Wessapan

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Jatujak, Bangkok 10900

*E-mail: fengpck@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การคำนวณภาระความเย็นอย่างถูกต้องนับเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสม ในปัจจุบันสมาคมวิศวกรปรับอากาศ ทำความเย็น และ ทำความเย็นแห่งสหรัฐอเมริกา (ASHRAE) ได้แนะนำให้คำนวณภาระความเย็นด้วยวิธีดุลความร้อนเพื่อความแม่นยำของภาระความเย็นที่ได้ ในการคำนวณภาระความเย็นด้วยวิธีนี้รังสีดวงอาทิตย์นับเป็นแหล่งความร้อนหลักที่ส่งผ่านโครงสร้างของอาคาร ซึ่งรังสีดวงอาทิตย์นี้สามารถประเมินได้จากแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งของ ASHRAE อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ทำเพื่อใช้กับประเทศสหรัฐอเมริกาจึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับประเทศไทยหรือประเทศอื่น ๆ โดยตรง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งของ ASHRAE เพื่อให้สามารถทำนายค่ารังสีดวงอาทิตย์สำหรับกรุงเทพมหานครได้อย่างถูกต้อง โดยได้ทำการปรับปรุงสัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศและตัวประกอบรังสีกระจายของแบบจำลองท้องฟ้าโปร่ง โดยอาศัยข้อมูลรังสีของดวงอาทิตย์ ณ กรุงเทพมหานครจากกรมอุตุนิยมวิทยา จากการเปรียบเทียบภาระความเย็นที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการวิจัย และจากแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งเดิม กับภาระความเย็นที่ได้จากการวัดจริง พบว่าแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการวิจัยอาจะให้ค่าภาระความเย็นลดลงจากแบบจำลองเดิม 4 ถึง 7 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ

คำหลัก แบบจำลองท้องฟ้าโปร่ง ภาระความเย็น ดุลความร้อน

Abstract

Accurate cooling load calculation is the key parameter in design of an appropriate air-conditioning system. Recently, ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning

Engineers – introduces heat balance method as an accurate cooling load calculation procedure. In the calculation procedure, the solar radiation contributes the major part of the heat gain through structure. This solar radiation could be estimated using the ASHRAE clear sky model. However the ASHRAE clear sky model is found to be appropriate for the cooling load calculation in the United States but can not give the accurate results for Thailand or other countries due to the difference in climate. Therefore, the present work focuses on the characteristics of Bangkok solar radiation in order to develop Bangkok clear sky model for more accurate results. For the purpose, the existing extinction coefficient and the diffuse factor of the ASHRAE clear sky model are modified with the aid of the meteorological solar data of Bangkok. The resulting models obtained are then compared with the cooling load of actual measured solar data. It is found from the results that with the present model the cooling load may be reduced by approximately 4–7% from the result of the existing model.

Keywords: clear sky model, cooling load, heat balance

1. บทนำ

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลรังสีรวมและรังสีกระจายของดวงอาทิตย์ของกรุงเทพมหานครจากกรมอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี ค.ศ. 1998 ถึงปี ค.ศ. 2004 มาทำการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งเดิมของ ASHRAE และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณภาระความเย็นจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใหม่กับแบบจำลองเดิม

2. ทฤษฎี

รังสีอาทิตย์ที่เข้าสู่บรรยากาศโลกจะถูกทำให้กระเจิงโดยโมเลกุล ก๊าซ ไอน้ำ ฝุ่น และเมฆในบรรยากาศ ส่วนของรังสีที่ไม่ได้ถูกดูดซับหรือทำให้กระเจิงโดยบรรยากาศมายังผิวโลกทิศทางของรังสีอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์เราเรียกว่ารังสีตรง (direct radiation) G_D ส่วนรังสีที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ทางเดินของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวรับแสงเรียกว่ารังสีกระจาย (diffuse radiation) G_d ซึ่งรังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า ส่วนรังสีรวม (total or global radiation) G_t คือผลรวมของรังสีตรงแนวฉากกับผิวโลก และ (G_{ND}) รังสีกระจาย

$$G_t = G_{ND} + G_d \quad (1)$$

3. แบบจำลองท้องฟ้าโปร่งของสมาคมวิศวกรปรับอากาศและท่าอากาศยานแห่งสหรัฐอเมริกา

ค่ารังสีตรงที่ผิวโลกในวันฟ้าโปร่งสามารถหาได้จากแบบจำลองฟ้าโปร่งของสมาคมวิศวกรปรับอากาศและท่าอากาศยานแห่งสหรัฐอเมริกาดังนี้

$$G_{ND} = \frac{A}{\exp(B / \sin \beta)} \quad (2)$$

โดยที่ G_{ND} = รังสีตรงแนวฉากกับผิวโลก (W/m^2), A = รังสีปรากฏที่มวลอากาศมีค่าเป็นศูนย์ (W/m^2), B = สัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศ และ β = มุมระดับความสูงของดวงอาทิตย์

สำหรับค่ารังสีกระจายที่กระทำกับพื้นราบสามารถหาได้จากค่า C

$$G_d = (C)G_{ND} \quad (3)$$

โดยที่ค่า C คือตัวประกอบรังสีกระจายซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนของรังสีกระจายบนพื้นราบต่อรังสีตรงบนพื้นราบ และพิจารณาให้เป็นค่าคงที่สำหรับค่าเฉลี่ยในวันที่ท้องฟ้าโปร่งในแต่ละเดือน

4. การคำนวณสัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศ

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศสำหรับแบบจำลองที่ 1

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศเราเลือกค่าที่มีค่ารังสีสูงสุดของช่วงเวลานั้น ๆ ในแต่ละเดือนทุก ๆ ช่วงเวลาแทนวันที่เป็นวันฟ้าโปร่งจริง ๆ ของปีนั้น ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรของรังสีตรงที่วัดได้สูงสุดในวันฟ้าโปร่ง รังสีปรากฏ และมุมเซไนทของดวงอาทิตย์ ในแต่ละเดือนดังนี้

$$B[1/(\cos \psi)] = -\ln[G_{ND} / A] \quad (4)$$

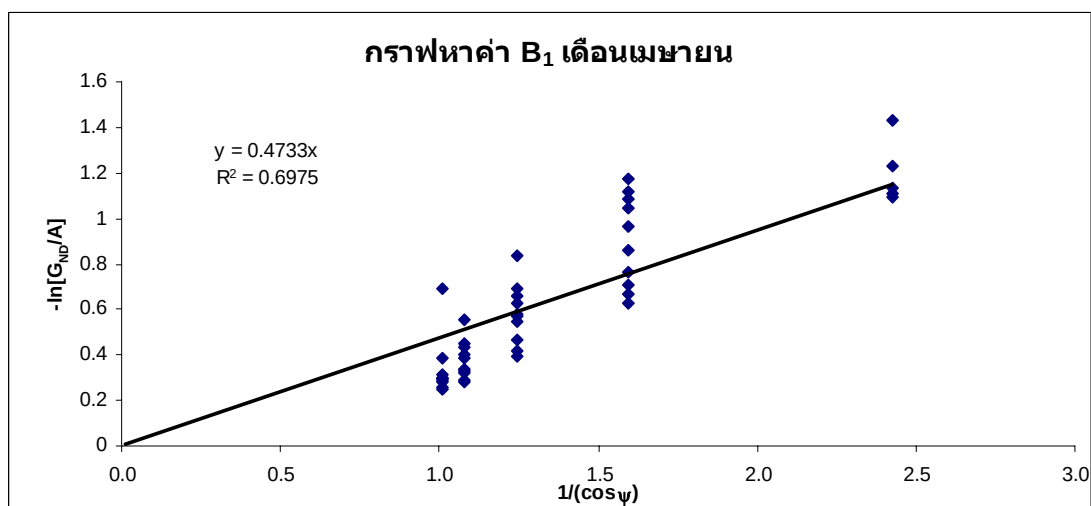
ทำการลงจุดกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ค่าของมวลอากาศซึ่งก็คือ $[1/(\cos \psi)]$ และค่า $-\ln[G_{ND} / A]$ โดยที่ ψ คือมุมเซไนทของกรุงเทพมหานคร G_{ND} คือค่ารังสีตรงบนพื้นราบตั้งฉากในวันฟ้าโปร่งที่วัดได้ ณ กรุงเทพมหานคร และ A คือค่ารังสีปรากฏจากสมาคมวิศวกรปรับอากาศและท่าอากาศยานแห่งสหรัฐอเมริกา ซึ่งค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวคือสัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศในวันฟ้าโปร่งของกรุงเทพมหานคร

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศสำหรับแบบจำลองที่ 2

หาค่าสัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศ (B_2) จากการแก้สมการหาความสัมพันธ์จากสมการแบบจำลองท้องฟ้าโปร่ง ณ เวลาที่รังสีตรงมีค่าสูงที่สุดสมัยบุรณตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 – 2004 ในทุก ๆ เดือนเพื่อให้แบบจำลองท้องฟ้าโปร่งนี้ครอบคลุมทุก ๆ ค่าของรังสีตรงของกรุงเทพมหานคร ดังนี้

$$B = -\cos \psi \{ \ln[G_{ND} / A] \} \quad (5)$$

จะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศของแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์ความสูญหายของบรรยากาศของกรุงเทพมหานครสำหรับเดือนเมษายน

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์ความสูญเสียของบรรยากาศของสมาคมวิศวกร
ปรับอากาศและทำความเย็นแห่งสหรัฐอเมริกาและสัมประสิทธิ์ความสูญ
หายของบรรยากาศที่ได้จากการวิจัย

	B _{ASHRAE}	B ₁	B ₂
มกราคม	0.141	0.528	0.429
กุมภาพันธ์	0.142	0.521	0.335
มีนาคม	0.149	0.539	0.285
เมษายน	0.164	0.473	0.244
พฤษภาคม	0.177	0.508	0.290
มิถุนายน	0.185	0.534	0.215
กรกฎาคม	0.186	0.469	0.261
สิงหาคม	0.182	0.489	0.236
กันยายน	0.165	0.580	0.325
ตุลาคม	0.152	0.557	0.358
พฤศจิกายน	0.144	0.549	0.353
ธันวาคม	0.141	0.528	0.374

5. การคำนวณตัวประกอบรังสีกระจาย

สมการแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งของสมาคมวิศวกรปรับอากาศ
และทำความเย็นแห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับคำนวณค่ารังสีกระจายที่
กระทำต่อพื้นราบในรูปอัตราส่วนของรังสีกระจายบนพื้นราบกับรังสีตรง
ตั้งฉากกับพื้นราบโดยมีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงเส้นดังแสดงไว้ใน
สมการที่ (3)

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวประกอบรังสีกระจายสำหรับ
แบบจำลองที่ 1

ทำการลงจุดกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง รังสีกระจายที่ตก
กระทบพื้นราบ ซึ่งค่ารังสีกระจายที่นำมาใช้นี้คือค่ารังสีรวมสูงสุดของปี
ลบด้วยค่ารังสีตรงสูงสุดของปี และค่ารังสีตรงที่ได้จากการทำนายโดย
แบบจำลองที่ 1 ซึ่งค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวคือค่าตัว
ประกอบรังสีกระจาย (C₁) ในวันฟ้าโปร่งของกรุงเทพมหานคร

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาตัวประกอบรังสีกระจายสำหรับ
แบบจำลองที่ 2

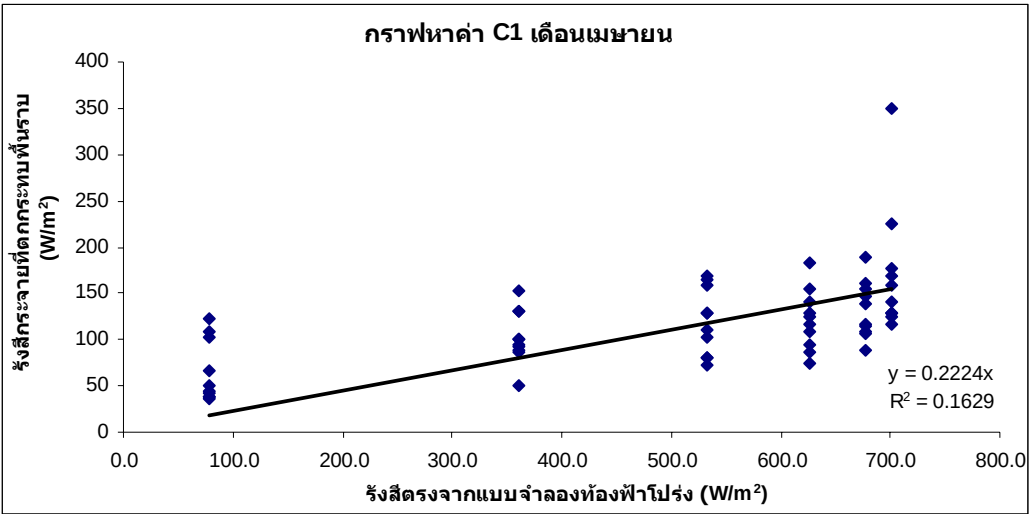
ค่าตัวประกอบรังสีกระจาย (C₂) จากการแก้สมการหา
ความสัมพันธ์จากสมการแบบจำลองท้องฟ้าโปร่งของรังสีกระจาย
สมการที่ (3) จะได้ค่า C₂ ในแต่ละเดือนจากความสัมพันธ์ดังนี้

$$C_2 = G_d / G_{ND} \quad (6)$$

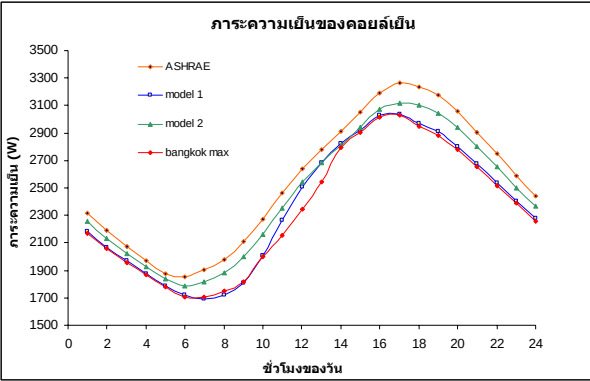
โดยค่า G_d คำนวณได้จาก ค่ารังสีรวมที่เคยสูงสุดในเดือนนั้น ๆ ลบด้วย
ค่ารังสีตรงสูงสุดเฉลี่ยในเดือนนั้น และ ค่า G_{ND} คือค่ารังสีตรงจาก
แบบจำลองท้องฟ้าโปร่งที่คำนวณมาจากสัมประสิทธิ์ความสูญเสียของ
บรรยากาศ (B₂) จะได้ตัวประกอบรังสีกระจายสำหรับแบบจำลองที่ 1
และ 2 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวประกอบรังสีกระจายของสมาคมวิศวกรปรับอากาศและ
ทำความเย็นแห่ง สหรัฐอเมริกาและตัวประกอบรังสีกระจายที่ได้จาก
การวิจัย

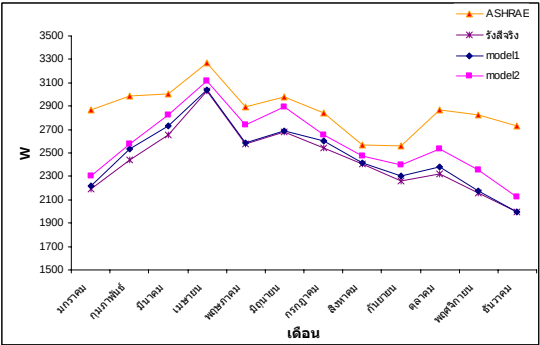
	C _{ASHRAE}	C ₁	C ₂
มกราคม	0.103	0.239	0.181
กุมภาพันธ์	0.104	0.260	0.167
มีนาคม	0.149	0.300	0.163
เมษายน	0.164	0.222	0.148
พฤษภาคม	0.177	0.345	0.246
มิถุนายน	0.185	0.325	0.161
กรกฎาคม	0.186	0.233	0.209
สิงหาคม	0.182	0.242	0.156
กันยายน	0.165	0.368	0.265
ตุลาคม	0.152	0.320	0.285
พฤศจิกายน	0.144	0.247	0.210
ธันวาคม	0.141	0.210	0.121



รูปที่ 2 กราฟแสดงการหาค่าตัวประกอบรังสีกระจายของกรุงเทพมหานครสำหรับเดือนเมษายน



รูปที่ 3 ภาระความเย็นที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในเดือนเมษายน



รูปที่ 4 ภาระความเย็นของอาคารทดสอบในแต่ละเดือน

6 คำนวณภาระความเย็นของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ใช้โปรแกรมคำนวณภาระความเย็นด้วยวิธีดุลความร้อน ทำการคำนวณภาระความเย็นของอาคารจากคุณลักษณะของอาคารด้วยแบบจำลองห้องฟ้าโปร่งของสมาคมวิศวกรปรับอากาศและทำความเย็นแห่งสหรัฐอเมริกา แบบจำลองห้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการวิจัยทั้งสองแบบ เปรียบเทียบกับค่ารังสีจริงสูงสุดเฉลี่ยเพื่อดูการกระจายตัวของภาระความเย็นในช่วงเวลาต่าง ๆ ของการคำนวณภาระความเย็นด้วยแบบจำลองแต่ละแบบ และเลือกภาระความเย็นที่มีค่าสูงสุดไปใช้ในการออกแบบระบบปรับอากาศ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบภาระความเย็นที่ได้จากการคำนวณด้วยรังสีจากแบบจำลองห้องฟ้าโปร่งและค่ารังสีจริงสูงสุดเฉลี่ย

เดือน	ASHRAE (W)	model1 (W)	model2 (W)	ค่าจริง สูงสุด (W)
เมษายน	3,267.84	3,036.84	3,118.84	3,025.84
สิงหาคม	2,571.84	2,410.84	2,477.84	2,401.84
ธันวาคม	2,729.84	1,993.84	2,121.84	1,995.84

จากค่าภาระความเย็นที่ได้จากการคำนวณในตาราง จะเห็นได้ว่าค่าภาระความเย็นสูงสุดที่ได้ อยู่ที่เดือนเมษายน เนื่องมาจากเดือนเมษายนเป็นเดือนที่มีค่ารังสีอาทิตย์สูงสุด ค่าภาระความเย็นสูงสุด

ที่ได้นี้ จึงเป็นค่าที่นำไปใช้ในการออกแบบอุปกรณ์และระบบทำความเย็นต่อไป

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความประหยัดที่ได้จากการลดขนาดเครื่องทำความเย็นจากการคำนวณภาระความเย็นโดยใช้แบบจำลองห้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการวิจัยเทียบกับแบบจำลองห้องฟ้าโปร่งของสมาคมวิศวกรปรับอากาศและทำความเย็นแห่งสหรัฐอเมริกา

	ความประหยัดของ เดือน	ความประหยัดของ model1	ความประหยัดของ model2
เมษายน		7.61 %	4.78 %
สิงหาคม		6.68 %	3.79 %
ธันวาคม		36.91 %	28.65 %

7. สรุป

ค่าภาระความเย็นสูงสุดที่ได้จากการคำนวณอยู่ที่เดือนเมษายน เราจึงเลือกภาระความเย็นที่มีค่าสูงสุดไปใช้ในการออกแบบระบบปรับอากาศ ค่าภาระความเย็นที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองห้องฟ้าโปร่งของกรุงเทพมหานครที่ได้จากการวิจัยทั้ง 2 แบบนั้น จากผลการทดสอบด้วยโปรแกรมคำนวณภาระความเย็นด้วยวิธีดุลความร้อนพบว่าหากนำแบบจำลองห้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการวิจัยมาใช้คำนวณภาระความเย็นแทนแบบจำลองห้องฟ้าโปร่งของสมาคมวิศวกรปรับอากาศและทำความเย็นแห่งสหรัฐอเมริกาจะทำให้สามารถทำให้ผู้ออกแบบระบบปรับอากาศสามารถออกแบบระบบปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทำให้ใช้งานระบบปรับอากาศได้อย่างคุ้มค่า และลดปัญหาการออกแบบระบบทำความเย็นเกินขนาด ซึ่งทำให้ต้นทุนของอุปกรณ์ทำความเย็นแพงโดยไม่จำเป็นไปได้ โดยเฉพาะระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ยังสามารถประหยัดได้มากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ธีระชาติ พรพิบูลย์ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้โปรแกรมคำนวณภาระความเย็นด้วยวิธีดุลความร้อน และสละเวลาให้ความแนะนำช่วยเหลือเป็นอย่างดี และขอขอบคุณ คุณสมฤทธิ์ สุทธิประภา แผนกไอโซน กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพมหานคร ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลรังสีอาทิตย์ของกรุงเทพมหานคร

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานร่วมกับ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร “แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย” บริษัทจีรังริชต์จำกัด กรุงเทพฯ พ.ศ.2542.
- [2] กฤษณพงศ์ กีรติกร “อนุกรมพลังงานออกแบบและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เล่มที่ 1: การแผ่รังสีดวงอาทิตย์และตัวรับรังสี” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ พ.ศ.2542.

- [3] จิรสรณ์ สันติสิริสมบุญ “การประเมินศักยภาพรังสีอาทิตย์สำหรับประเทศไทย” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ.2542.
- [4] เสริม จันทร์ฉาย, ปิยะศักดิ์ ประดิษฐ์วงศ์ และ จินดา แก้วเขียว “รายงานการวิจัยการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และลักษณะทางสถิติของรังสีกระจายและรังสีรวมของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย” พ.ศ.2542.
- [5] T.Y. Bong and Y.W. Wong, “Clearness Number and Diffuse Factor of the Meteorological Condition in Singapore,” Journal of The Institution of Engineers, Vol. 1, No.5, 2004, pp. 58-98.
- [6] N. Galanis and R. Chatigny, “A Critical Review of the ASHRAE Solar Radiation Model,” ASHRAE Transactions, Vol. 92, 1986.
- [7] M.A. Machler and M.Iqbal, “A Modification of the ASHRAE Clear Sky Model,” ASHRAE Transactions, Vol. 91, Part 1A, 1985, pp. 106-116.
- [8] T.M. McClellan and C.O. Pedersen, “Investigation of Outside Heat Balance Methods for Use in a Heat Balance Cooling Load Calculation Procedure,” ASHRAE Transactions, Vol. 103, No.2, 1997, pp. 469-484.
- [9] F.C. McQuiston, J.D. Parker and J.D. Spitler, Heating, Ventilating and Air Conditioning Analysis and Design, 5th ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, 2000.
- [10] C.O. Pedersen, D.E. Fisher and R.J. Liesen, “Development of a Heat Balance Procedure for Calculating Cooling Loads,” ASHRAE Transactions, Vol. 103, No.2, 1997, pp. 459-468.