

การจำลองสภาพการเกิดเงาบนหน้าต่างจาก อุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอนและแนวตั้งด้วย คอมพิวเตอร์ *

นุภาพ แยมไตรพัฒน์ ¹⁾

¹⁾ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จังหวัด
กรุงเทพฯ 10530

Email : nuparby@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพการเกิดเงาและการคำนวณพื้นที่เกิดเงาบนหน้าต่างจากอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้งและแนวนอน ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากแบบจำลองอุปกรณ์บังแดดแบบย่อส่วน ชนิดแนวตั้งขนาด 20 x 10 cm² และชนิดแนวนอนขนาด 25x10 cm² ในช่วงเวลาระหว่าง 13.30-16.30 น. จากการเปรียบเทียบพื้นที่การเกิดเงาพบว่ามีความแตกต่างกันประมาณ10% ค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมนี้สามารถนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด สำหรับใช้ในสมการคำนวณค่า OTTV ของอาคารได้

คำสำคัญ : การเกิดเงา, อุปกรณ์บังแดด, โปรแกรมคอมพิวเตอร์

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2549 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน 2549

Computer simulation of shading profile on windows from overhang and fin shading devices^{*}

Nuparb Yamtraipat¹⁾

¹⁾ Lecture, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology, Bangkok, 10530

Email: nuparby@yahoo.com

ABSTRACT

This paper presents the use of computer program to simulate shading profile and to calculate the shading area from the shading devices, which are fin type and overhang type. The results from the program were conducted to compare with the experiment. The shading device models of the 20 x 10 cm² fin type and the 25 x 10 cm² overhang type were used in the experiment during 1.30-4.30 PM. The compared results of shading area show that it was about 10% in difference. The obtainable values from this program could determine the shading coefficient value for solving the OTTV equation for buildings.

Keywords : Shading profile, Shading devices, Computer program

* Original manuscript submitted: March 16, 2006 and Final manuscript received: June 13, 2006

บทนำ

ความร้อนจากภายนอกที่เข้าสู่อาคารเกิดขึ้นได้หลายทางเช่นการนำความร้อนผ่านทางผนังภายนอก พื้นหลังคา การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรงผ่านพื้นที่โปร่งแสงเช่นหน้าต่าง และหลังคาโปร่งแสง (Sky light) ความร้อนเหล่านี้มีผลทำให้เกิดภาวะความร้อนขึ้นภายในอาคาร ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ หากพิจารณาเฉพาะในส่วนของหน้าต่างอาคาร ความร้อนจากภายนอกสามารถผ่านเข้ามาได้โดย

- การนำความร้อนผ่านทางกระจก เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร การป้องกันความร้อนโดยวิธีนี้อาจทำได้ยากเนื่องจากประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศภายนอกอาคารค่อนข้างสูงทั้งปี การเพิ่มอุณหภูมิภายในอาคารเพื่อให้ความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยลงอาจจะกระทบต่อสภาวะสบายเชิงความร้อนของคนในอาคาร

- การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์หรือท้องฟ้า ที่ตกกระทบหน้าต่างโดยตรง การลดปริมาณความร้อนในส่วนนี้ทำได้ง่ายกว่าวิธีแรก และมีแนวทางป้องกันได้หลายวิธี เช่น การใช้กระจกติดฟิล์ม การติดตั้งกระจกแบบสองชั้น หรือการติดอุปกรณ์บังแดดจากภายนอก (Passive solar shading)

ปริมาณความร้อนที่เข้ามาทางหน้าต่างขึ้นอยู่กับ 3 องค์ประกอบหลักคือ 1) ขนาดของพื้นที่กระจกที่ถูกรังแสงอาทิตย์ส่อง 2) ตำแหน่งและทิศทางของอาคาร 3) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง (Shading Coefficient ; SC) ซึ่งองค์ประกอบนี้เกี่ยวข้องกับการใช้อุปกรณ์บังแดดภายนอกหน้าต่างที่ทำได้หลายวิธี เช่น การติดตั้งผ้าใบบังแดด (Awnings) การติดบานเกล็ด (Louvers) และกันสาดเป็นต้น จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้องค์ประกอบสุดท้ายเป็นวิธีการควบคุมปริมาณความร้อนเข้ามาทางหน้าต่างที่ทำได้ง่ายที่สุด โดยเฉพาะอาคารที่ปลูกสร้างไปแล้ว การออกแบบอุปกรณ์บังแดดที่ดีจะทำให้ได้ค่า SC ต่ำ ความร้อนที่ผ่านเข้ามาจะน้อยลง เนื่องจากว่า เมื่อรังสีอาทิตย์กระทบหน้าต่างที่มีอุปกรณ์บังแดด พื้นที่บริเวณที่เกิดเงาจะได้รับพลังงานจากรังสีกระจายเท่านั้น ในขณะที่บริเวณที่ไม่เกิดเงาจะได้รับพลังงานทั้งจากรังสีตรงและรังสีกระจาย ดังนั้นหากมีส่วนของพื้นที่เกิดเงาบนหน้าต่างมากเท่าใดจะทำให้พลังงานรวมจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านเข้ามาน้อยลงหรือกล่าวได้ว่าค่า SC ลดลง

ในการคำนวณค่า SC จำเป็นต้องทราบ พื้นที่ในส่วนที่เกิดเงาและไม่เกิดเงา ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามเวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ตลอดเวลา ดังนั้นค่า SC จึงมีค่าไม่คงที่ในแต่ละวัน การคำนวณอย่างละเอียดแม่นยำอาจดูยุ่งยาก ในการคำนวณแบบง่ายจึงนิยมใช้เป็นค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปี ค่าที่ได้นี้จะถูกนำมาใช้ ร่วมกับค่าการแผ่รังสีอาทิตย์ (Chirattananon S., et al., 1989) ในสมการการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (Overall Thermal Transfer Value; OTTV) ในลำดับต่อไป (Vechaphutti, T., 1989)

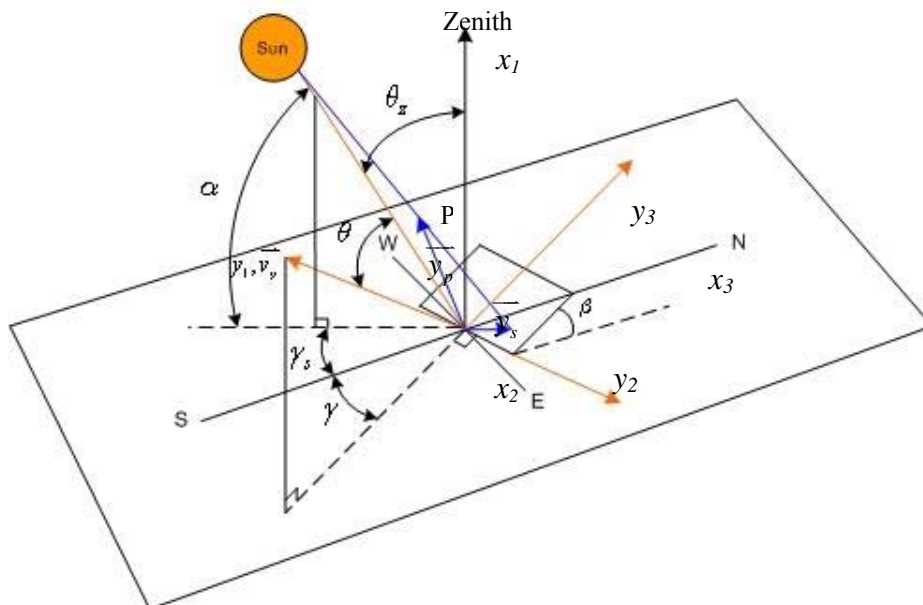
บทความวิจัยนี้ต้องการนำเสนอการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณพื้นที่ที่เกิดเงา และจำลองสภาพของลักษณะเงาที่เกิดขึ้นบนหน้าต่างในช่วงเวลาต่างๆของวัน ในจังหวัดกรุงเทพฯ โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาจากแบบจำลองอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอน (Overhang type) และชนิดแนวตั้ง (Fin type) การวิจัยจะเริ่มต้นจากการใช้ข้อมูลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมการ

คำนวณการเกิดเงาหน้าของงานวิจัยที่ผ่านมา (Budin, R. and Budin, L., 1982), (Chirarattananon, S., 1985) จากนั้นนำไปเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมวลผลเพื่อคำนวณพื้นที่เกิดเงาและจำลองภาพของเงาได้ แล้วนำมาตรวจสอบเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง ประโยชน์ที่จะได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์บังแดดที่เหมาะสม และค่าพื้นที่เงาที่คำนวณได้สามารถนำไปหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง (SC) ได้ทุกช่วงเวลา เพื่อให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร (OTTV) มีความละเอียดแม่นยำขึ้น โดยสมการและวิธีการคำนวณค่า OTTV จะไม่ขอกกล่าวถึงในบทความวิจัยนี้

งานวิจัยที่ผ่านมา (วี สุวนาคกุล, 2541) ได้ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์บังแดดแบบแนวนอน ด้วยโปรแกรม Visual Basic แต่งานวิจัยจะคำนวณพื้นที่เกิดเงาแทนนั้นไม่ได้จำลองภาพการเกิดเงาด้วยโปรแกรม งานวิจัยล่าสุด (นภาพ แยมไตรพัฒน์, 2548) ได้ทำการศึกษาลักษณะเดียวกันแต่เป็นอุปกรณ์บังแดดชนิดผสม (Egg crate)

ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้อง

การพิจารณาดำเนินเงาหน้าของเงาของจุด P ตามรูปที่ 1 นั้น จะวิเคราะห์แบบเวกเตอร์บนพิกัดของระนาบ x (ขนานกับพื้น) และ y (ระนาบเอียง) โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของระนาบเอียงใดๆ, เวกเตอร์หนึ่งหน่วยแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์ และเวกเตอร์ตำแหน่งของจุดที่ทำให้เกิดเงา แล้วนำมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาพิกัดของเงา โดยมีสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้



รูปที่ 1 เวกเตอร์ในการคำนวณเงา

- การคำนวณพิกัดของเงาบนระนาบใดๆ

$$\bar{y}_s = \bar{y}_p - \left[\frac{\bar{y}_p \cdot \bar{v}_y}{\bar{v}_s \cdot \bar{v}_y} \right] \cdot \bar{v}_s \quad (1)$$

เมื่อ

- \bar{y}_s = เวกเตอร์ของจุดเกิดเงาบนระนาบเอียง
- \bar{y}_p = เวกเตอร์ของจุดที่จะทำให้เกิดเงา
- \bar{v}_s = เวกเตอร์หนึ่งหน่วยแสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์
- \bar{v}_y = เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของระนาบ

- พิจารณานบน x - coordinate

$$\bar{v}_s = \begin{bmatrix} \sin \alpha \\ -\cos \alpha \sin \gamma_s \\ -\cos \alpha \cos \gamma_s \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\bar{v}_y = \begin{bmatrix} \cos \beta \\ -\sin \beta \sin \gamma \\ -\sin \beta \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\bar{v}_y \cdot \bar{v}_s = \cos \theta \quad (4)$$

เมื่อ

- θ : มุมตกกระทบระหว่างแนว \bar{v}_s และ \bar{v}_y
- β : มุม tilt angle = 90° (กรณีระนาบตั้งฉาก)
- γ : มุม plane azimuth
- γ_s : มุม solar azimuth
- α : มุม elevation (หรือ altitude)

- สมการแปลงเวกเตอร์จาก x เป็น y - coordinate

$$\bar{y} = A_{XY} \bar{x} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \gamma \sin \beta & -\cos \gamma \sin \beta \\ 0 & \cos \gamma & -\sin \gamma \\ \sin \beta & \sin \gamma \cos \beta & \cos \gamma \cos \beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

โดยที่ A_{XY} : Transform matrix

- การหามุม solar azimuth

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \phi} \quad (7)$$

- การหามุม elevation

$$\sin \alpha = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (8)$$

เมื่อ

ϕ : มุมเส้นรุ้ง (กรุงเทพฯ = + 13.7 °)

δ : มุม declination

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \left(\frac{284+n}{365} \right) \right] \quad (9)$$

n : ลำดับที่ของวันในรอบปี

ω : มุมชั่วโมง (hour angle)

$$\omega = 15 (\text{Solar time} - 12) \quad (10)$$

- จากสมการมุมชั่วโมง ต้องแปลงเวลามาตรฐานท้องถิ่นที่กำหนดให้เป็น Solar time

$$\text{Solar time} = \text{Standard time} + 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (11)$$

โดยที่

Standard time = เวลาตามมาตรฐานท้องถิ่น (ประเทศไทยใช้จังหวัดอุบลราชธานีเป็นเวลามาตรฐาน)

$$L_{st} = -105.0^\circ \quad (\text{เส้นแวงอุบล})$$

$$L_{loc} = -100.5^\circ \quad (\text{เส้นแวงกรุงเทพฯ})$$

$$E = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (12)$$

เมื่อ

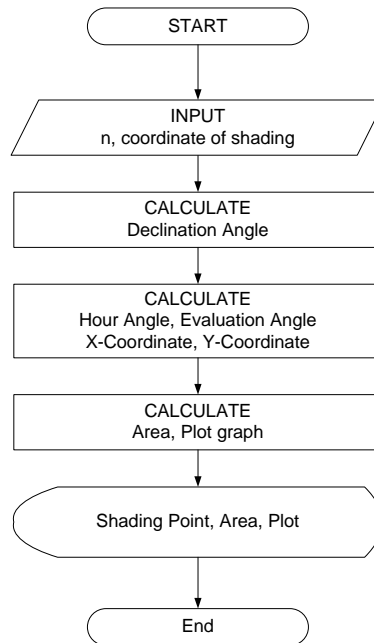
$$B = \frac{360 (n-81)}{365} \quad (13)$$

การดำเนินการทดลอง

การเขียนโปรแกรม

งานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม MATLAB เริ่มโดยการเขียน Source code โปรแกรมจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมการคำนวณ ตามที่แสดงในผังการทำงานรูปที่ 2 สำหรับการประมวลผล เริ่มโดยการป้อนค่า ตัวแปร input ได้แก่ วันที่, เดือน (แปลงให้เป็นค่า n) และเวลา (มาตรฐาน) ที่ต้องการคำนวณ โดยกำหนดช่วงเวลาให้โปรแกรมคำนวณได้ระหว่าง 12.00 -18.00น. จากนั้นใส่ค่าขนาดของอุปกรณ์บังแดดซึ่งจะใช้ค่าเป็นพิกัด (จุดที่จะทำให้เกิดเงา)จากแกนอ้างอิง

ต่อจากนั้นโปรแกรมจะคำนวณหาพิกัดของจุดเกิดเงาบนผนังและนำค่าไปคำนวณพื้นที่การเกิดเงารวมทั้งหมดและพื้นที่เงาที่ตกบนหน้าต่าง สำหรับ output จะแสดงค่าที่คำนวณได้เป็นตัวเลข และแสดงภาพเงาที่เกิดขึ้นบนกราฟ



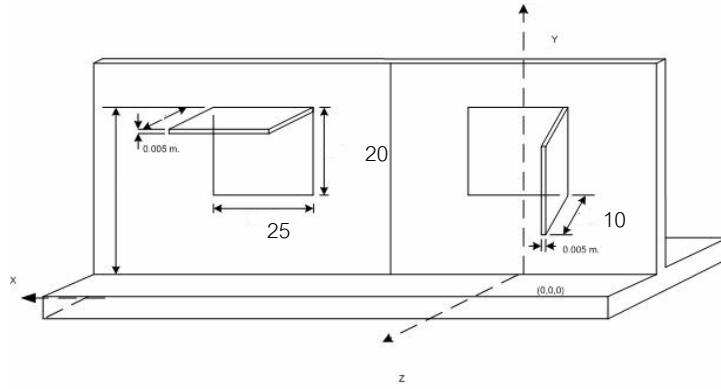
รูปที่ 2 Flow chart ของโปรแกรม

การสร้างอุปกรณ์บังแดดจำลอง

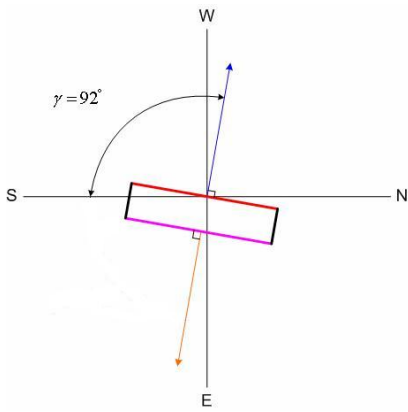
อุปกรณ์บังแดดจำลองทำขึ้นจากพลาสติกแข็งยึดติดกับแผงไม้ที่สมมติเป็นผนังอาคาร (แสดงในรูป 3) โดยแผงไม้จะมีสเกลกระดาษกราฟสำหรับบอกพิกัดของเงาที่จะเกิดขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณพื้นที่เงาจริง หน้าต่างจำลองบนแผงไม้มีขนาด กว้าง 25 cm x สูง 20 cm อุปกรณ์บังแดดแบบแนวนอนมีขนาด 25 cm x 10 cm อุปกรณ์บังแดดแบบแนวตั้งมีขนาด 20 cm x 10 cm

วิธีการทดลอง

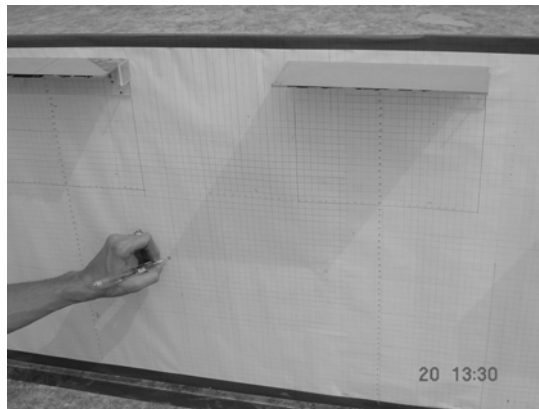
ในการทดลองได้นำแผงอุปกรณ์ไปวางบนดาดฟ้าอาคารแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพฯ โดยหันหน้าไปทางเดียวกับอาคารด้านทิศตะวันตกทำมุม plane azimuth (γ) = 92° ค่านี้ได้จากการวัดพิกัดตั้งแสดงในรูปที่ 4 การทดลองครั้งนี้ทำในช่วงเวลา 13.30-16.30 น. (ตามเวลามาตรฐานท้องถิ่นประเทศไทย) ระหว่างเดือน มกราคม – มีนาคม ในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการพล็อตตำแหน่งจุดพิกัดเงาที่เกิดขึ้นบนแผงทดลอง 2 จุดปลายของอุปกรณ์บังแดด โดยเก็บข้อมูลทุกครั้งชั่วโมง (แสดงในรูปที่ 5) เสร็จแล้วก็นำไปคำนวณหาพื้นที่เงาที่เกิดขึ้นจริงบนแผงทดลอง



รูปที่ 3 ลักษณะแผงทดลอง



รูปที่ 4 การหาทิศของอาคารและกำหนดตำแหน่งทดลอง

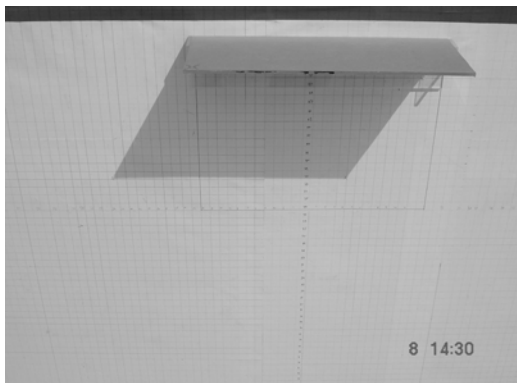


รูปที่ 5 วิธีการกำหนดพิกัดเงาบนแผงทดลอง

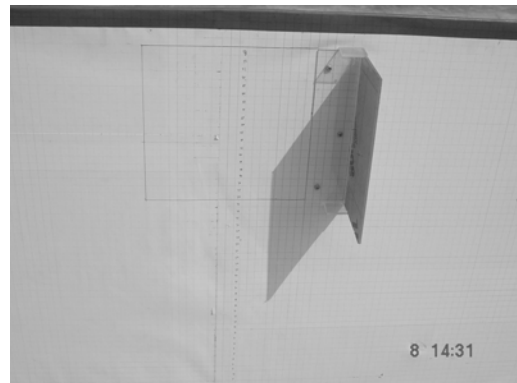
ผลการทดลอง

ผลการทดลองจากแบบจำลอง

ในรูปที่ 6 a) เป็นตัวอย่างผลการทดลองของอุปกรณ์บังแดดชนิดหน้าต่างวันที่ 8/2/2548 เวลา 14.30 น. จากผลการทดลองคำนวณค่าพื้นที่เงาที่เกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 425.0 cm^2 พื้นที่เงาในส่วนหน้าต่างต่าง 325.10 cm^2 ในรูปที่ 6 b) เป็นผลการทดลองของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้งวันที่ 8/2/48 เวลา 14.31 น. จากการคำนวณค่าพื้นที่เงาที่เกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 220.0 cm^2 พื้นที่เงาในส่วนหน้าต่างต่าง 117.90 cm^2



a)

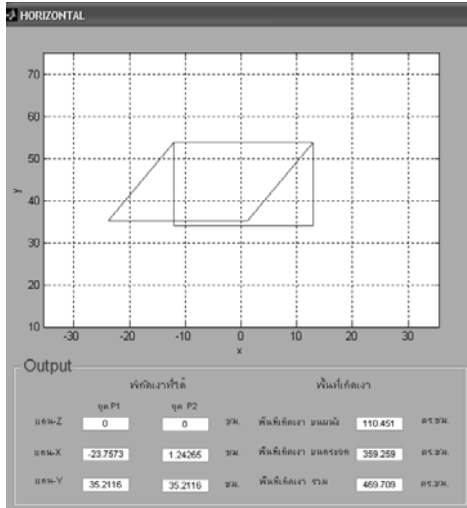


b)

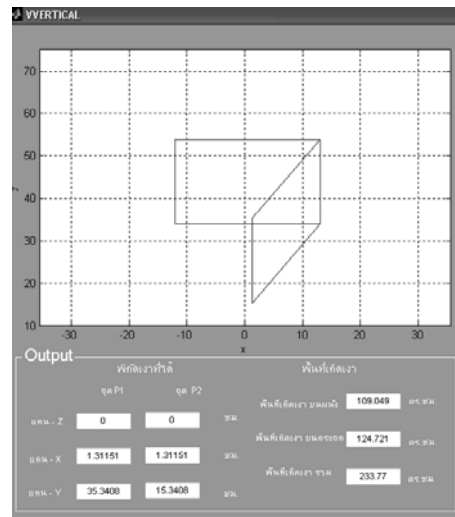
รูปที่ 6 ผลการทดลองอุปกรณ์บังแดด a) ชนิดหน้าต่าง b) ชนิดแนวตั้ง

ผลการทดลองจากการใช้โปรแกรม

ในรูปที่ 7a) เป็นผลการคำนวณพื้นที่การเกิดเงาและการจำลองภาพการเกิดเงาของอุปกรณ์บังแดดชนิดหน้าต่างด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบผลการทดลองในรูปที่ 6a) ซึ่งเป็นวันและเวลาเดียวกัน โดยโปรแกรมสามารถคำนวณพื้นที่เงาทั้งหมดได้ 469.71 cm^2 พื้นที่เงาบนหน้าต่างต่าง 359.26 cm^2 ส่วนในรูปที่ 7 b) เป็นผลคำนวณจากโปรแกรมของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้ง เปรียบเทียบกับผลการทดลองในรูปที่ 6 b) ผลการคำนวณพื้นที่เงารวมคือ 233.77 cm^2 พื้นที่เงาบนหน้าต่างต่าง 124.72 cm^2 จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณพื้นที่เงารวมจากโปรแกรมกับการทดลองพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยประมาณ 9.5 % ในกรณีอุปกรณ์บังแดดชนิดหน้าต่างและ 5.89 % ของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้ง



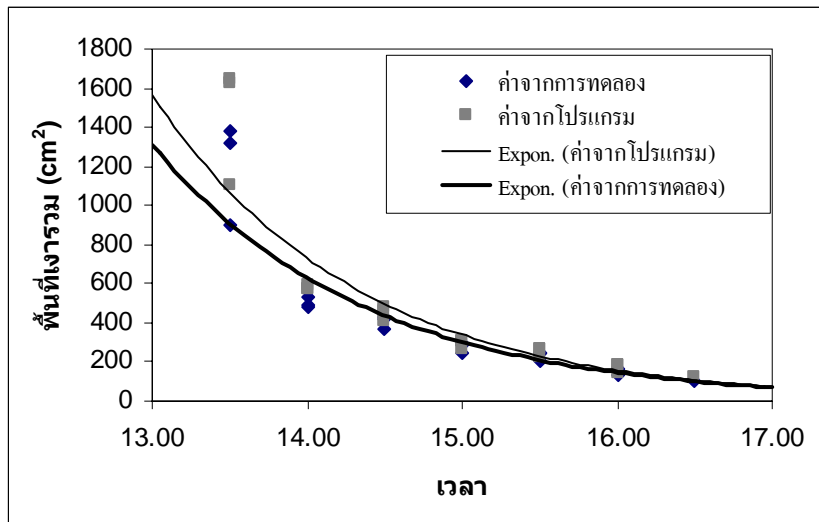
a)



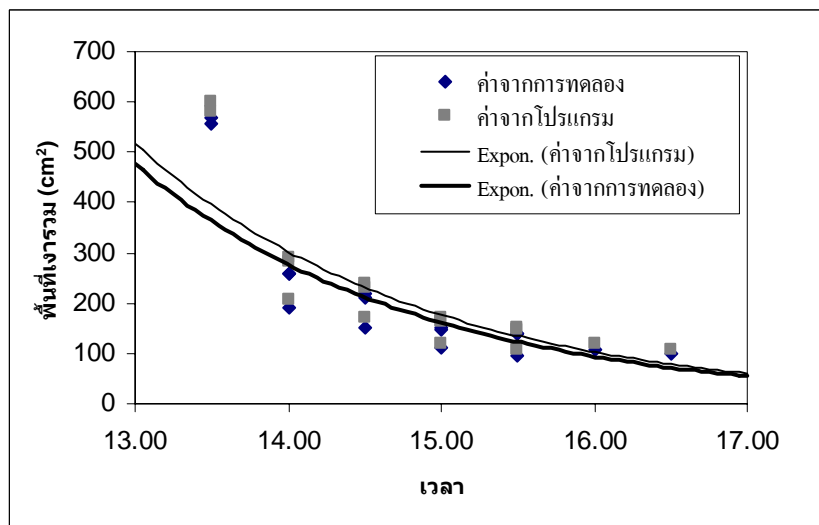
b)

รูปที่ 7 ภาพจากโปรแกรมของอุปกรณ์บังคับ a) ชนิด แนวนอน b) ชนิดแนวตั้ง

ผลการทดลองทั้งหมดที่บันทึกค่าได้ถูกนำมาเปรียบเทียบเทียบกับผลจากโปรแกรมเพื่อดูค่าเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนแสดงในกราฟรูปที่ 8 และ 9 ซึ่งทำให้เห็นว่ามีค่าคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แม้ว่าการทดลองได้ทำอย่างระมัดระวังแล้ว ซึ่งสาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนจากการกำหนดพิกัดแปลงที่ ไม่สามารถทำได้แม่นยำ ความคลาดเคลื่อนจากลักษณะของขอบเงาที่ทอดยาวโดยเฉพาะช่วงปลายโมง ครึ่ง ทำให้การพล็อตพิกัดอาจไม่ตรงจุดจริง ซึ่งเมื่อคำนวณพื้นที่เงาออกมาแล้วจะทำให้ค่าผิดพลาดเมื่อ เปรียบกับการใช้โปรแกรมคำนวณ แต่ลักษณะรูปร่างและทิศทางของเงาที่เกิดขึ้นเหมือนกัน



รูปที่ 8 เปรียบเทียบผลของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวนอน



รูปที่ 9 เปรียบเทียบผลของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้ง

สรุป

โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ สามารถจำลองภาพลักษณะของเงาของอุปกรณ์บังแดดชนิดแนวตั้งและแนวนอนที่เกิดขึ้นบนผนังและหน้าต่างได้ จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณพื้นที่เงาระหว่างโปรแกรมที่สร้างจากแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์และจากผลการทดลอง พบว่ามีความ

คลาดเคลื่อนกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการทดลอง ค่าพื้นที่เงาที่ได้นี้สามารถนำไปใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดเพื่อนำไปสู่การคำนวณค่า OTTV ของอาคารในลำดับต่อไป นอกจากนี้ประโยชน์ที่ได้จากโปรแกรมนี้ยังสามารถใช้ศึกษาลักษณะของเงาที่เกิดขึ้นเวลาต่างๆในรอบปีได้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอุปกรณ์บังแดดให้เหมาะสมกับอาคาร สำหรับข้อจำกัดของโปรแกรมในงานวิจัยนี้คือสามารถใช้ศึกษาได้เฉพาะอาคารที่ตั้งอยู่ในจังหวัดกรุงเทพมหานครเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

- Budin, R. and Budin, L. 1982. **A Mathematical Model for Shading Calculations**. Solar Energy. 29: 339-349.
- Chirarattananon, S., 1985. **Shading of Solar Radiation on Building**. Proceedings ASEAN Conference on Energy Conservation, 21-22 October 1985 Chiangmai, Thailand. 170-176.
- Chirarattananon, S., Rakwamsuk, P., Kaewkiew, J., 1989. **A Proposed Building Performance standard for Thailand : An Introduction and Preliminary Assessment of the Potential for Energy Management**. Far East Conference on Air Conditioning in Hot Climates, Kuala Lumpur, Malaysia. 1-24.
- Vechaphutti, T., 1989. **Overall Thermal Transfer Values (OTTV) for Thailand**. Energy and Buildings. 129-133.
- นภาพ แยมไตรพัฒน์, 2548. การวิเคราะห์พื้นที่ที่เกิดเงาบนหน้าต่างของอุปกรณ์บังแดดโดยใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์ร่วมกับแบบจำลอง. บทความการประชุมเชิงวิชาการเครือข่าย\พลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1. 11-13 พค 2548., จ.ชลบุรี. 255-258.
- รวี สุวนาคกุล, 2541. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์บังแดดภายนอกชนิดแหวนนอสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สายวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.