

บทที่ 2

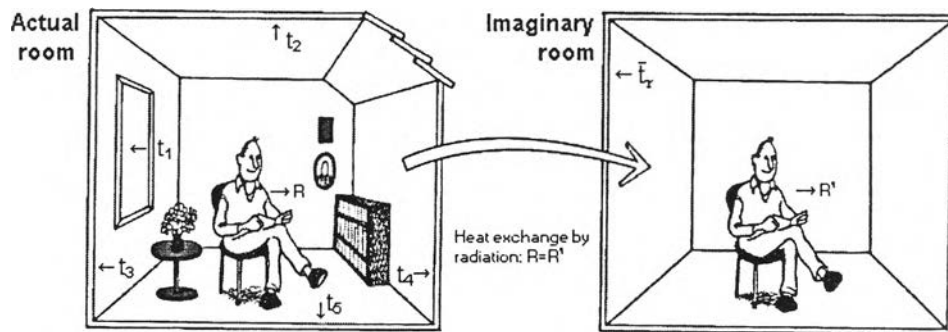
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

1. อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ หรือ MRT (Mean Radiant temperature)

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature : MRT) เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากสิ่งแวดล้อม โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยของการแผ่รังสีจากแหล่งต่างๆในสภาพแวดล้อม หรือที่ P.O.Fanger(1997)¹ ได้กล่าวไว้ว่า

The Mean Radiant Temperature of an environment is defined as that uniform temperature of an imaginary black enclosure which would result in the same heat loss by radiation from the person as the actual enclosure.



รูปที่ 2. 1 แสดงการคิด MRT จากห้องสมมติ

(ที่มา:Fanger,O.P..Thermal comfort . www.innova.dk/books/thermal/thermal,1997)

ซึ่งสมการสำหรับคำนวณ MRT คือ

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{\sum_n F_{p-i} (t_i + 273)^4} - 273$$

t_i Surface temperature of surface i [°C]
 F_{p-i} Angle factor between the person and surface i $\sum F_{p-i} = 1$

การหา MRT ของทุกพื้นผิวภายในห้องๆหนึ่งมักจะถูกหลีกเลี่ยงในการหาเพราะใช้เวลานาน และโดยการหา angle factor (จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 5)

จากสมการจะเห็นได้ว่า MRT นั้นขึ้นกับ Angle Factor และ อุณหภูมิของพื้นผิว (Surface Temperature) ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับเรื่องการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

MRT เป็นผลกระทบจากการแลกเปลี่ยนความร้อน radiant energy ระหว่างผิวผนังภายในอาคารกับผู้ใช้อาคาร ซึ่งมีผลมาจากอุณหภูมิผิวภายใน และ ระยะทางระหว่างพื้นผิวนั้นๆกับผู้อยู่ในอาคาร ซึ่งระยะทางนั้นก็คือ angle factor นั้นเอง

ส่วนอุณหภูมิพื้นผิวภายในมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวภายนอก ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบย่อมจะมีความสัมพันธ์กับสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่นกัน ก็คือ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม และการแผ่รังสีความร้อน

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบต่างกับอุณหภูมิอากาศ เพราะ อุณหภูมิอากาศเป็นการผสมกันระหว่างair conduction และconvection มากกว่าradiation แต่อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบเป็นอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสี และMRTมีอิทธิพลต่อสภาวะนำสบายมากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง40เปอร์เซ็นต์ (สุนทร บุญญฤทธิ์การ,2536) นั่นก็คือเมื่อMRTลดลง 1 องศาเซลเซียส จะรู้สึกเย็นลงเท่ากับ 1.4องศาเซลเซียส

การใช้ MRTในการปรับสภาพแวดล้อมภายในนั้นก็เพื่อให้ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดี นั่นคือการทำให้อุณหภูมิแวดล้อมภายในอาคารเย็น ซึ่งจะทำให้เกิดการแผ่รังสีความร้อนจากร่างกายไปสู่พื้นผิวที่เย็นกว่า ซึ่งก็คือ เปลือกของอาคาร ได้แก่ พื้นผนัง หลังคาภายในอาคารรอบตัวผู้พักอาศัย ซึ่งถ้าสภาพภายในอาคารมีอุณหภูมิของพื้นผิว (Surface Temperature) ที่ต่ำ ก็จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบตัวร่างกายก็จะสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีได้ดีขึ้นจะทำให้รู้สึกเย็นขึ้นและในบางครั้งอิทธิพลของ MRT ก็จะมีผลทำให้สภาพแวดล้อมภายในอยู่ในสภาวะนำสบายมากกว่าอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ จึงควรที่จะมีการทำการศึกษาเพื่อให้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการพิจารณาเพื่อให้อาคารมีสภาพแวดล้อมภายในอาคารที่ดีขึ้น

1.1. MRT กับสภาวะนำสบาย

MRTเป็นตัวแปรหรือปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายของคนเราในสภาวะที่ร่างกายปกติอยู่ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 6 ตัวแปร ซึ่งแบ่งเป็นตัวแปรด้านบุคคล 2 ตัวแปร คือ

- อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate)
- เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value)

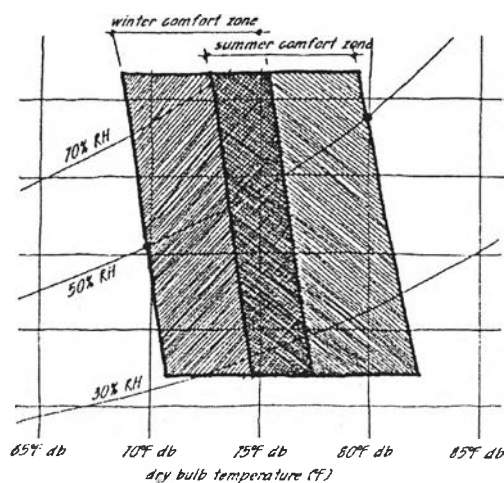
และตัวแปรทางสภาพแวดล้อม 4 ตัวแปร คือ

- อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)
- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
- อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)
- ความเร็วลม (Air Velocity)

1.3. Comfort Zone

คือ ช่วงของสภาพที่อยู่ใสภาพะน่าสบาย หรือ Thermal Comfort โดยเป็นการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) และตัวแปรทางด้านสภาวะแวดล้อมทั้งสาม คือ MRT ความชื้นสัมพัทธ์ และ ความเร็วลม

การศึกษวิเคราะห์ Comfort Zone จะกำหนดมาเป็นช่วง หรือ บริเวณ ซึ่งคนส่วนใหญ่รู้สึกสบาย ไม่ร้อน หรือ ไม่หนาวจนเกินไป ซึ่งเป็นช่วงของการประมาณ ทั้งนี้เนื่องจากยังมีตัวแปรอื่นๆอีกหลายตัวแปรที่มีผลต่อความสบายของมนุษย์ เช่น ความชอบ ความคุ้นเคยของแต่ละบุคคล ลักษณะทางกายภาพและจิตใจ วัฒนธรรม ระดับกิจกรรมที่ทำอยู่ เสื้อผ้าที่สวมใส่



รูปที่ 2. 4 แผนภาพแสดง โชนสบาย

2. การคำนวณMRT

2.1. การคำนวณMRTจากอุณหภูมิอากาศ และ อุณหภูมิGlobe

มีเครื่องมือหลายชนิดที่สามารถวัดMRTได้ แต่ Globe Thermometer เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัด MRT ซึ่ง MRT ที่ได้เป็น MRT ของ Globe Thermometer²ซึ่งจะต้องนำมาคำนวณหา MRT โดยใช้อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม และ MRT ที่วัดได้จาก Globe Thermometer ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่นิยมใช้เป็นของ Vernon³ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15.2 เซนติเมตร และ Missenard⁴มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9เซนติเมตร และในทางทฤษฎีแล้วยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางมากเท่าไรก็จะแม่นยำยิ่งขึ้น เพราะ Convective Heat Transfer Coefficient จะต่ำกว่า

$$\bar{F}_r = \sqrt[4]{\left((t_g + 273)^4 + \frac{h_{cg}}{h_r} (t_g - t_a) - 273 \right)}$$

โดยที่

$$h_r = \epsilon \sigma = 0.95 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} = 5.38 \cdot 10^{-8}$$

$$h_{cg} = \max_{\text{of}} \begin{cases} 6.3 \frac{(v_a)^{0.6}}{D^{0.4}} & \text{Forced convection} \\ 1.4 \left(\frac{|t_g - t_a|}{D} \right)^{0.25} & \text{Free convection} \end{cases}$$

2.2. การคำนวณMRTจากการประมาณค่าจากค่าPlane Radiant temperature

สำหรับคนนั่ง มีสมการคือ

$$\bar{t}_r = \frac{0.18 [t_{pr}(\text{up}) + t_{pr}(\text{down})] + 0.22 [t_{pr}(\text{right}) + t_{pr}(\text{left})] + 0.30 [t_{pr}(\text{front}) + t_{pr}(\text{back})]}{2 \cdot (0.18 + 0.22 + 0.30)}$$

สำหรับคนยืน มีสมการคือ

$$\bar{t}_r = \frac{0.08 [t_{pr}(\text{up}) + t_{pr}(\text{down})] + 0.23 [t_{pr}(\text{right}) + t_{pr}(\text{left})] + 0.35 [t_{pr}(\text{front}) + t_{pr}(\text{back})]}{2 \cdot (0.08 + 0.23 + 0.35)}$$

2.3. การคำนวณMRTจากการประมาณค่าจากพื้นที่ผิว และอุณหภูมิผิว

$$\bar{t}_r = \frac{t_{s1}A_1 + t_{s2}A_2 + t_{s3}A_3 + t_{s4}A_4 + \dots + t_{sn}A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots + A_n}$$

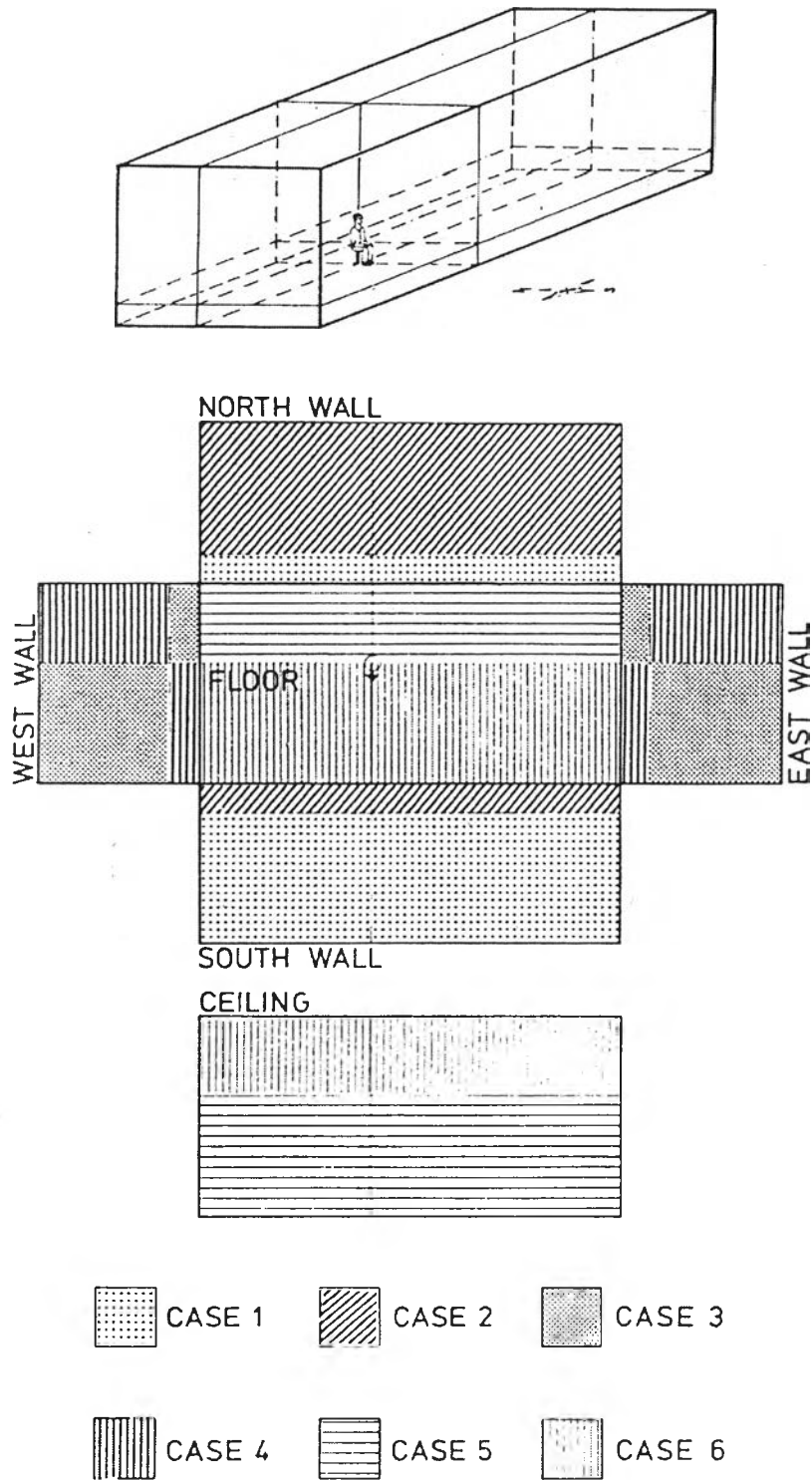
3. อุณหภูมิพื้นผิว(Surface Temperature)

อุณหภูมิพื้นผิว เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากกระบวนการที่ความร้อนความร้อนจะถูกส่งผ่าน ไปสู่พื้นผิว โดยการนำความร้อน(Conduction) การพาความร้อน (Convection)และ การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) โดยผสมผสานกัน

โดยการการแผ่รังสีความร้อนของผนังจะมีปัจจัยของ Emittance และ Reflectivity และค่าความต่างของอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุกับสภาพแวดล้อม และ ค่าของมุม angle factorระหว่างผิวสัมผัสนั้นกับสภาพแวดล้อม

3.1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวของวัสดุ

ความร้อนจากสภาพแวดล้อมทั่วไปทั้งภายนอกและภายในอาคารที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของพื้นผิววัสดุนั้นไม่ได้ทำให้อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด



รูปที่ 2. 5 แสดงการแบ่งพื้นผิวของห้อง

(ที่มา: Fanger, O.P., Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

นอกจากนี้ P.O.Fanger (1967) ยังได้คิด diagram ในการหา Angle Factor โดยในแต่ละ Diagram จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง b/c และ a/b โดยที่

b จะเท่ากับความยาวด้านข้างของพื้นผิว

a จะเท่ากับระยะห่างระหว่างคนกับพื้นผิว

โดย Diagram หลักจะใช้เมื่อ $0 < b/c < 10$

และ Detailed Diagram จะใช้เมื่อ $b/c < 2$

ดังแสดงไว้ในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

4.1. เมื่อผู้ใช้อาคารนั่งอยู่ในอาคาร

4.1.1. ผืนที่อยู่ข้างหน้า เหนือส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 6\text{m.}$, $b = 2\text{m.}$, $c = 4\text{m.}$

$b/c = 0.5\text{m.}$, $a/c = 1.5\text{m.}$

$F_{P-A} = 0.037$

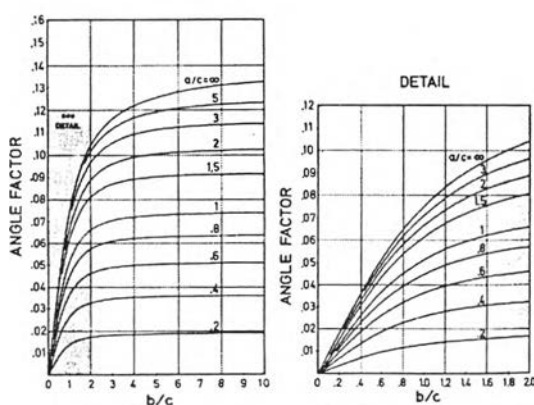
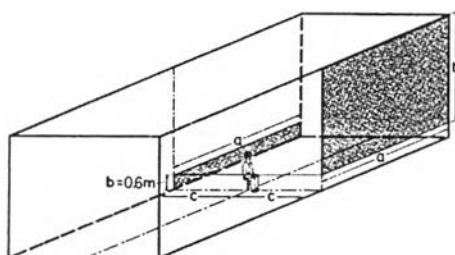


Fig. 42. Angle factor between a seated person and a vertical rectangle, in front of him and above his centre, or behind him and below his centre (case 1).
Example: $a = 6\text{m.}$, $b = 2\text{m.}$, $c = 4\text{m.}$ $b/c = 0.5$, $a/c = 1.5$; $F_{P-A} = 0.037$.

รูปที่ 2. 6 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของผืนที่อยู่ข้างหน้า เหนือส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย

(ที่มา: Fanger, O.P., Thermal comfort .NY.Mcgraw-Hill, 1976.)

4.1.2. ผืนที่อยู๋ข้างหน้า ต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังเหนือ ส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 6m.$, $b = 0.6m.$, $c = 2m.$

$b/c = 0.3m.$, $a/c = 3.0m.$

$F_{P-A} = 0.023$

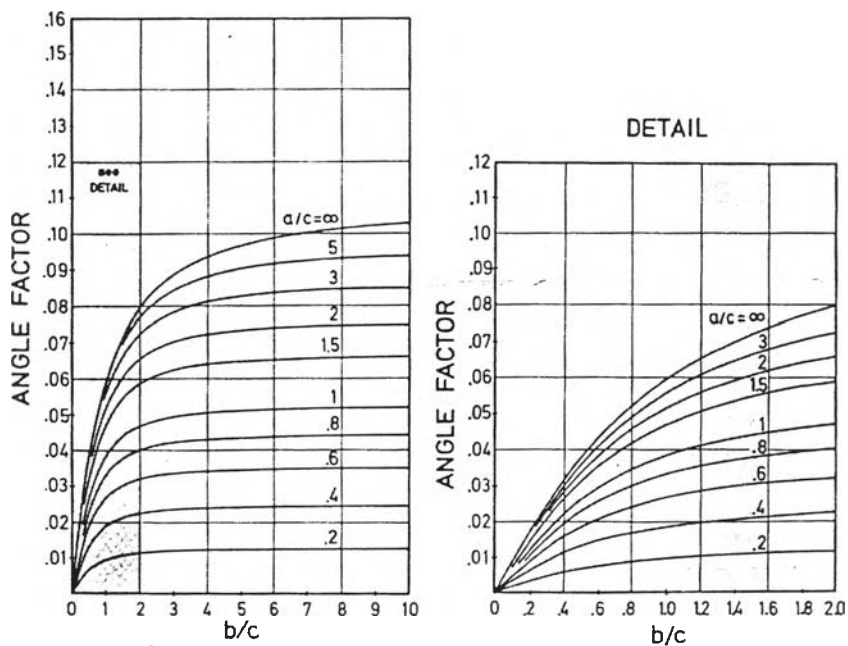
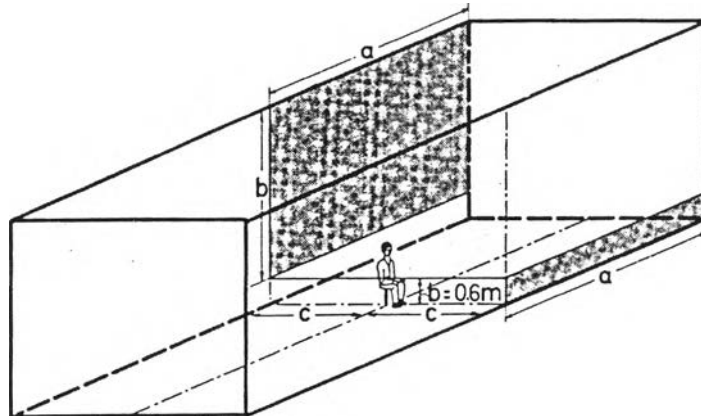


Fig. 43. Angle factor between a seated person and a vertical rectangle, in front of him and below his centre or behind him and above his centre (case 2).

Example: $a = 6m$, $b = 0.6m$, $c = 2m$. $b/c = 0.3$, $a/c = 3.0$: $F_{P-A} = 0.023$.

รูปที่ 2. 7 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ ผืนที่อยู๋ข้างหน้า ต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังเหนือส่วนกลางของร่างกาย (ที่มา: Fanger, O.P.. Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

4.1.3. ผนังที่อยู่ข้างหลัง เหนือส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังต่ำกว่า ส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 1.5 \text{ m.}$, $b = 2 \text{ m.}$, $c = 5 \text{ m.}$

$b/c = 0.4 \text{ m.}$, $a/c = 0.3 \text{ m.}$

$F_{P-A} = 0.009$

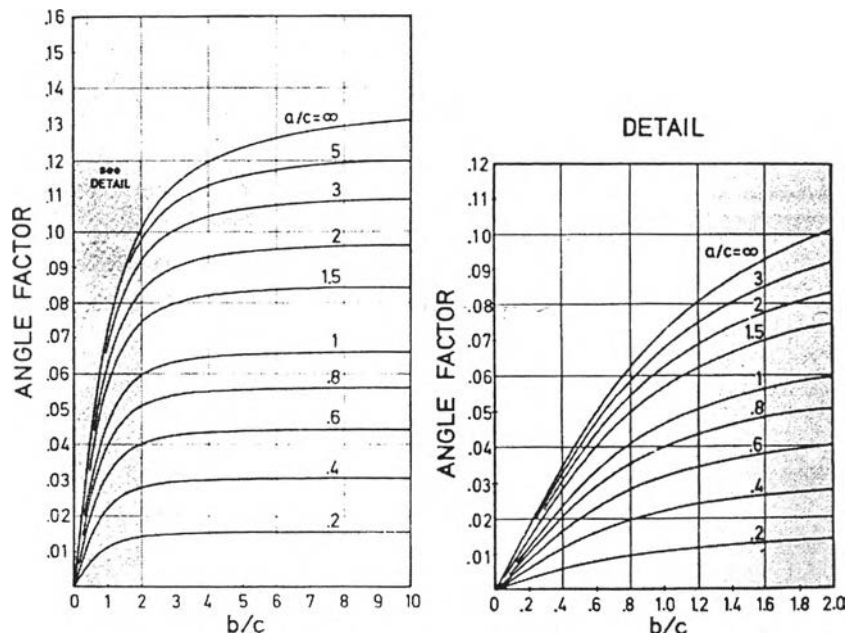
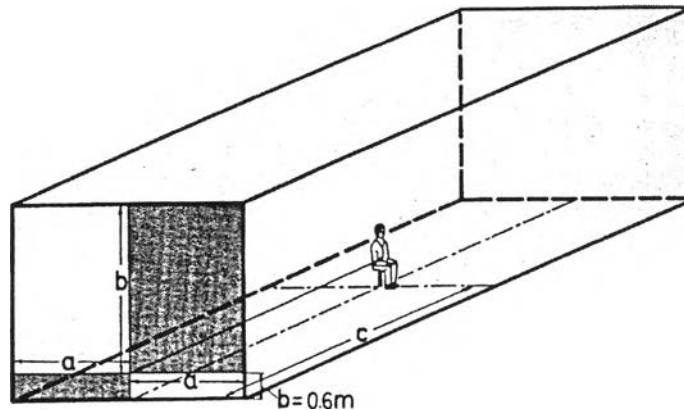


Fig. 44. Angle factor between a seated person and a rectangle on the side wall, above and forward of his centre, or below and behind his centre (case 3).

Example: $a = 1.5 \text{ m.}$, $b = 2 \text{ m.}$, $c = 5 \text{ m.}$ $b/c = 0.4$, $a/c = 0.3$: $F_{P-A} = 0.009$.

รูปที่ 2. 8 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ ผนังที่อยู่ข้างหลัง เหนือส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย (ที่มา: Fanger, O.P., Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

4.1.4. ผนังที่อยู่ข้างหลัง ต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังเหนือ ส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 3\text{ m.}$, $b = 0.6\text{ m.}$, $c = 3\text{ m.}$

$b/c = 0.2\text{ m.}$, $a/c = 1.0\text{ m.}$

$F_{P-A} = 0.011$

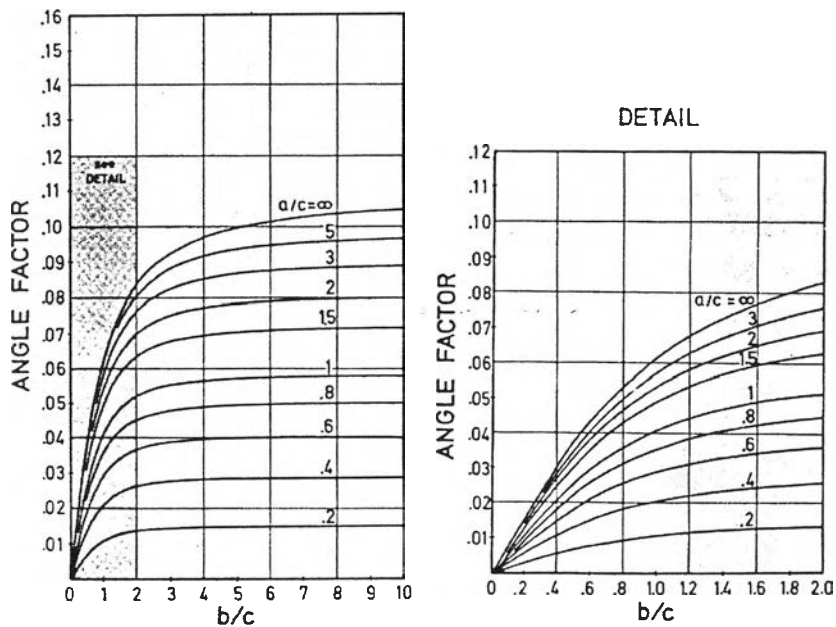
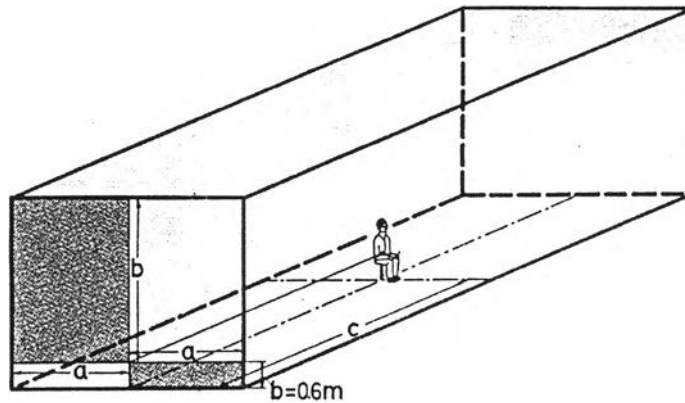


Fig. 45. Angle factor between a seated person and a rectangle on the side wall, below and forward of his centre, or above and behind his centre (case 4).

Example: $a = 3\text{ m.}$, $b = 0.6\text{ m.}$, $c = 3\text{ m.}$ $b/c = 0.2$, $a/c = 1.0$: $F_{P-A} = 0.011$.

รูปที่ 2. 9 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ ผนังที่อยู่ข้างหลัง ต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังเหนือส่วนกลางของร่างกาย

(ที่มา: Fanger, O.P., Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

4.1.5. เพดานที่อยู่ข้างหน้าส่วนกลางร่างกายและพื้นที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 3\text{m.}$, $b = 2.4\text{m.}$, $c = 0.6\text{m.}$

$b/c = 4.0\text{m.}$, $a/c = 5.0\text{m.}$

$F_{P-A} = 0.111$

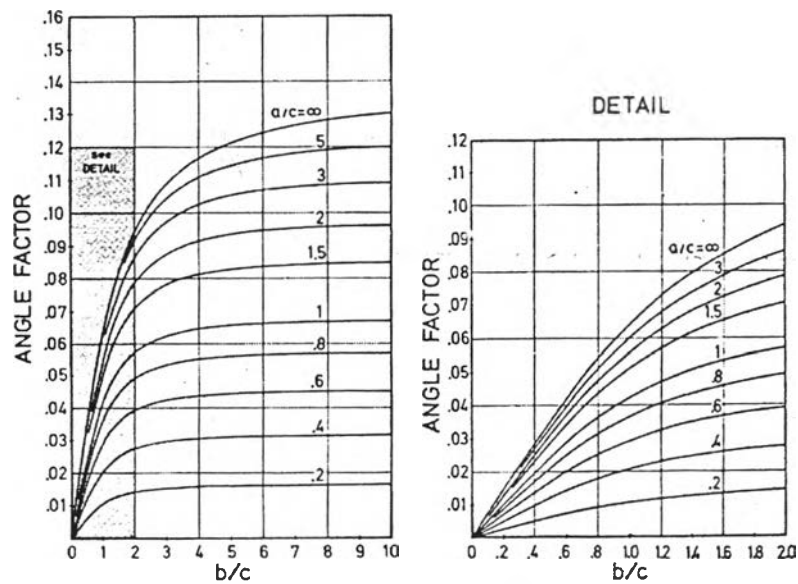
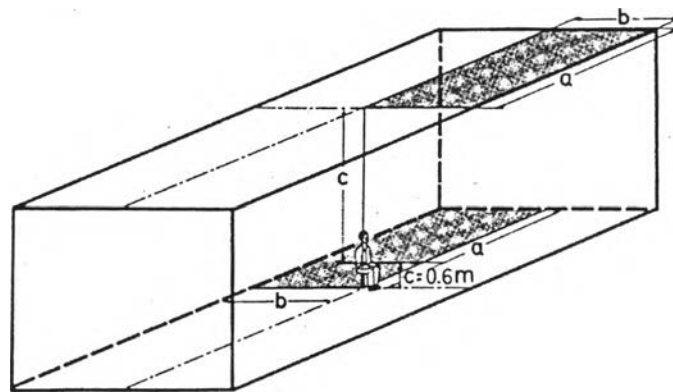


Fig. 46. Angle factor between a seated person and a rectangle on the ceiling and forward of his centre, or on the floor and behind his centre (case 5).

Example: $a = 3\text{m.}$, $b = 2.4\text{m.}$, $c = 0.6\text{m.}$ $b/c = 4.0$, $a/c = 5.0$: $F_{P-A} = 0.111$.

รูปที่ 2. 10 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ เพดานที่อยู่ข้างหน้าส่วนกลางร่างกายและพื้นที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางของร่างกาย

(ที่มา: Fanger, O.P., *Thermal comfort*. NY: McGraw-Hill, 1976.)

4.1.6. เพดานที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางร่างกายและพื้นที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 3 \text{ m.}$, $b = 1.8 \text{ m.}$, $c = 0.6 \text{ m.}$

$b/c = 3.0 \text{ m.}$, $a/c = 5.0 \text{ m.}$

$F_{P-A} = 0.080$

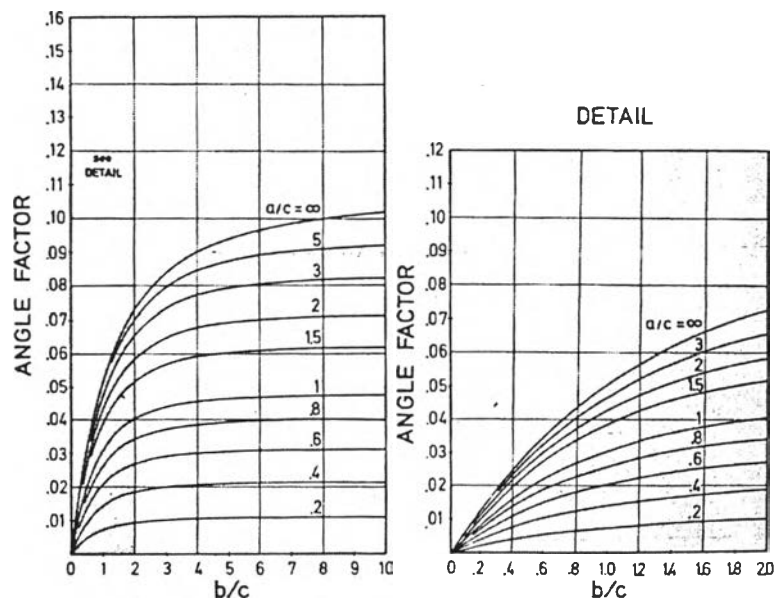
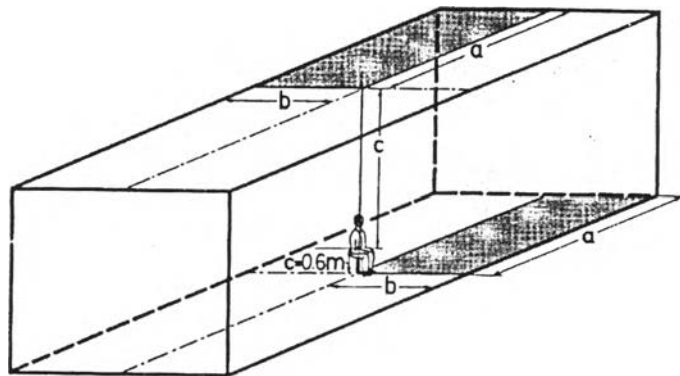


Fig. 47. Angle factor between a seated person and a rectangle on the ceiling and behind his centre or on the floor and forward of his centre (case 6).

Example: $a = 3 \text{ m.}$, $b = 1.8 \text{ m.}$, $c = 0.6 \text{ m.}$ $b/c = 3.0$, $a/c = 5.0$: $F_{P-A} = 0.080$.

รูปที่ 2. 11 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ เพดานที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางร่างกายและพื้นที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางของร่างกาย

(ที่มา: Fanger, O.P., Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

4.2. เมื่อผู้ใช้อาคารนั่งอยู่ภายในอาคาร และรู้แต่ตำแหน่งของผู้ใช้อาคารไม่รู้ทิศทาง

4.2.1. ผนังที่อยู่เหนือส่วนกลางร่างกายหรือต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 4 \text{ m.}$, $b = 3 \text{ m.}$, $c = 5 \text{ m.}$

$$b/c = 0.6 \text{ m.}, \quad a/c = 0.8 \text{ m.}$$

$$F_{P-A} = 0.029$$

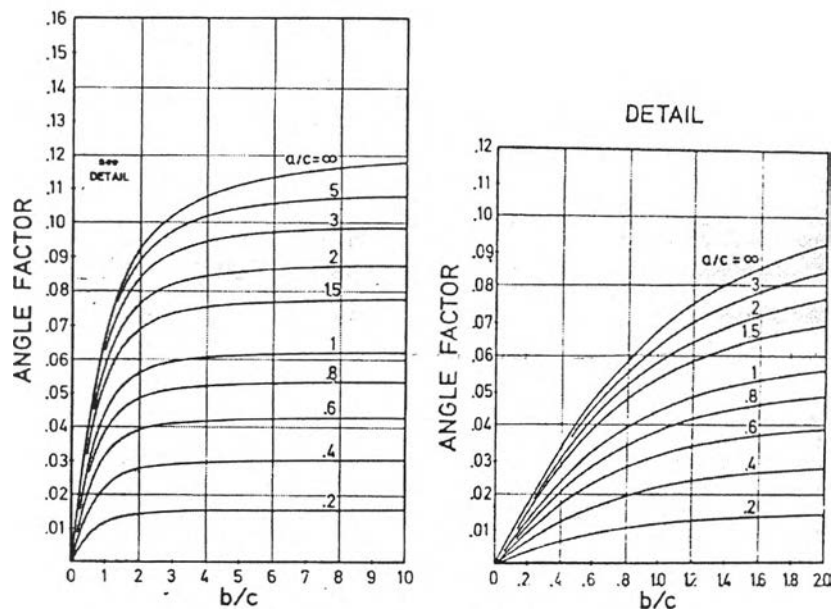
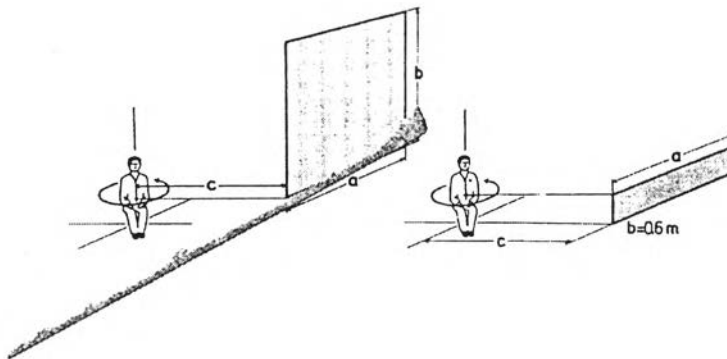


Fig. 49. Mean value of angle factor between a seated person and a vertical rectangle (above or below his centre) when the person is rotated around a vertical axis. To be used when the location but not the orientation of the person is known.

Example: $a = 4 \text{ m.}$, $b = 3 \text{ m.}$, $c = 5 \text{ m.}$ $b/c = 0.6$, $a/c = 0.8$: $F_{P-A} = 0.029$.

รูปที่ 2. 12 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ ผนังที่อยู่เหนือส่วนกลางร่างกายหรือต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย

(ที่มา: Fanger, O.P., *Thermal comfort* .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

4.2.2. เพดานและพื้น

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 3 \text{ m.}$, $b = 6 \text{ m.}$, $c = 2 \text{ m.}$

$$b/c = 3.0 \text{ m.}, \quad a/c = 1.5 \text{ m.}$$

$$F_{P-A} = 0.067$$

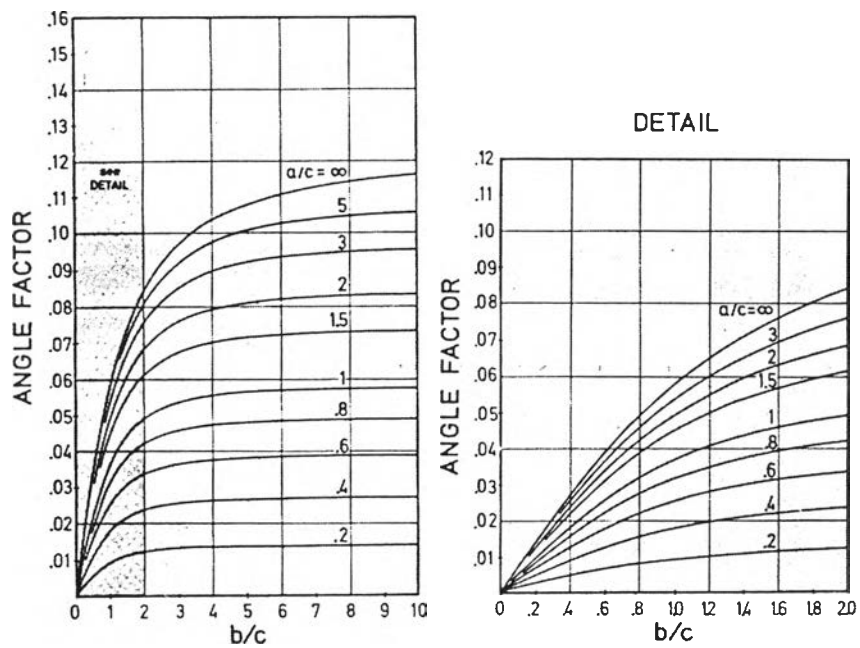
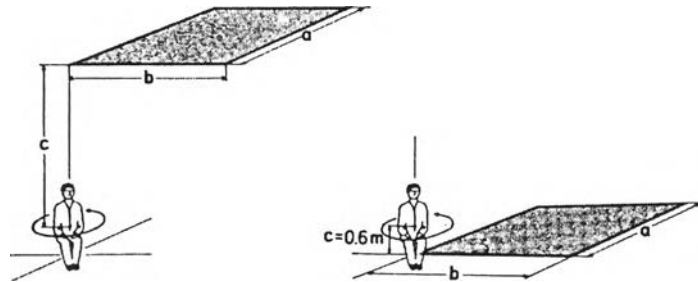


Fig. 50. Mean value of angle factor between a seated person and a horizontal rectangle (on the ceiling or on the floor) when the person is rotated around a vertical axis. To be used when the location but not the orientation of the person is known.

Example: $a = 3 \text{ m.}$, $b = 6 \text{ m.}$, $c = 2 \text{ m.}$ $b/c = 3.0$, $a/c = 1.5$: $F_{P-A} = 0.067$.

รูปที่ 2. 13 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ เพดานและพื้น

(ที่มา: Fanger, O.P., Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

4.3. เมื่อผู้ใช้อาคารยืนอยู่ภายในอาคาร

4.3.1. ผนังที่อยู่ข้างหน้า เหนือส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย และผนังที่อยู่ข้างหน้า ต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังเหนือส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 6\text{m.}$, $b = 4\text{m.}$, $c = 4\text{m.}$
 $b/c = 1.0\text{m.}$, $a/c = 1.5\text{m.}$
 $F_{P-A} = 0.063$

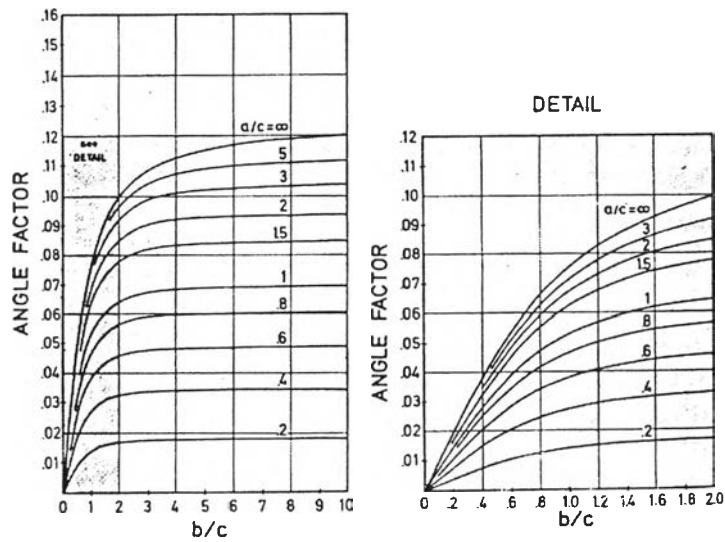
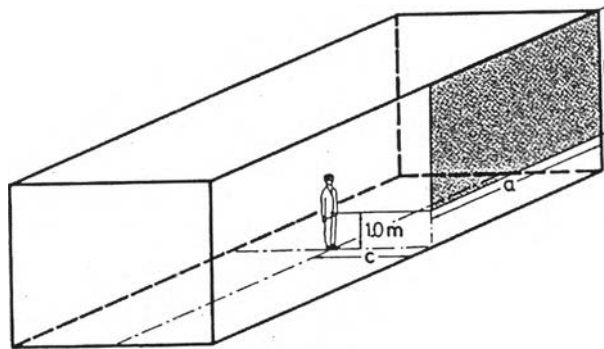


Fig. 51. Angle factor between a standing person and a vertical rectangle in front of him or behind him, above or below his centre (case 1 & 2).
 Example: $a = 6\text{m.}$, $b = 4\text{m.}$, $c = 4\text{m.}$ $b/c = 1.0$, $a/c = 1.5$; $F_{P-A} = 0.063$.

รูปที่ 2. 14 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ ผนังที่อยู่ข้างหน้า เหนือส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย และผนังที่อยู่ข้างหน้า ต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังเหนือส่วนกลางของร่างกาย

(ที่มา: Fanger.O.P..Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill,1976.)

4.3.2. ผืนที่อยู่อุดด้านข้าง ข้างหน้า เหนือส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลัง ต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 1.5 \text{ m.}$, $b = 4.5 \text{ m.}$, $c = 1.5 \text{ m.}$

$b/c = 3.0 \text{ m.}$, $a/c = 1.0 \text{ m.}$

$F_{P-A} = 0.054$

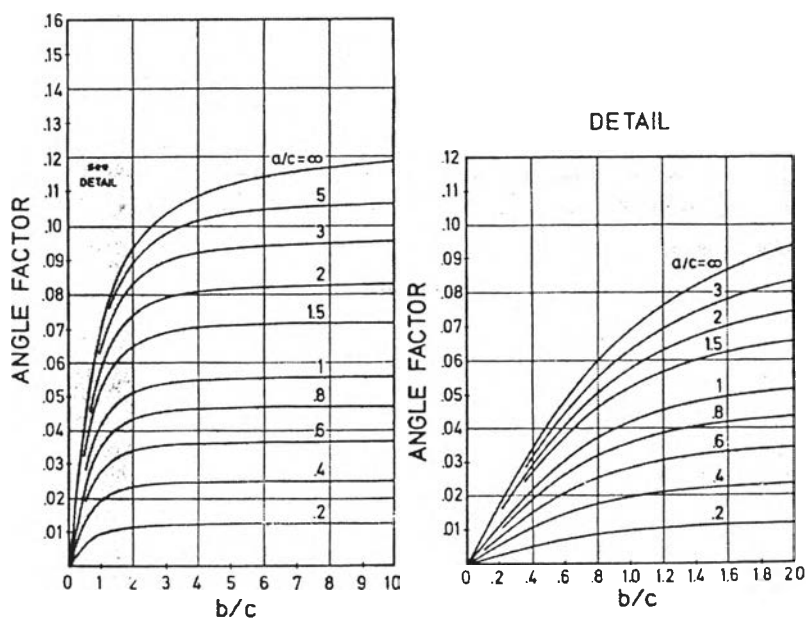
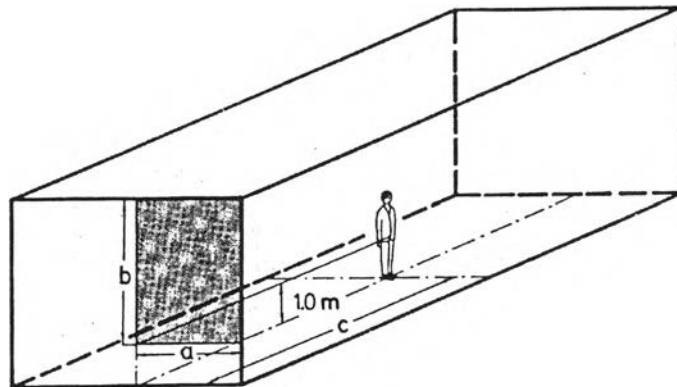


Fig. 52. Angle factor between a standing person and a rectangle on the side wall, forward or behind, above or below his centre (case 3 and 4).

Example: $a = 1.5 \text{ m.}$, $b = 4.5 \text{ m.}$, $c = 1.5 \text{ m.}$ $b/c = 3.0$, $a/c = 1.0$: $F_{P-A} = 0.054$.

รูปที่ 2. 15 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ ผืนที่อยู่อุดด้านข้าง ข้างหน้า เหนือส่วนกลางของร่างกาย หรือ อยู่ข้างหลังต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย

(ที่มา: Fanger, O.P. Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

4.3.3. เพดานที่อยู่ข้างหน้าส่วนกลางร่างกายและพื้นที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางของร่างกายและเพดานที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางร่างกายและพื้นที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 5\text{m.}$, $b = 4\text{m.}$, $c = 1.0\text{m.}$

$$b/c = 4.0 \text{ m.}, \quad a/c = 5.0\text{m.}$$

$$F_{P-A} = 0.095$$

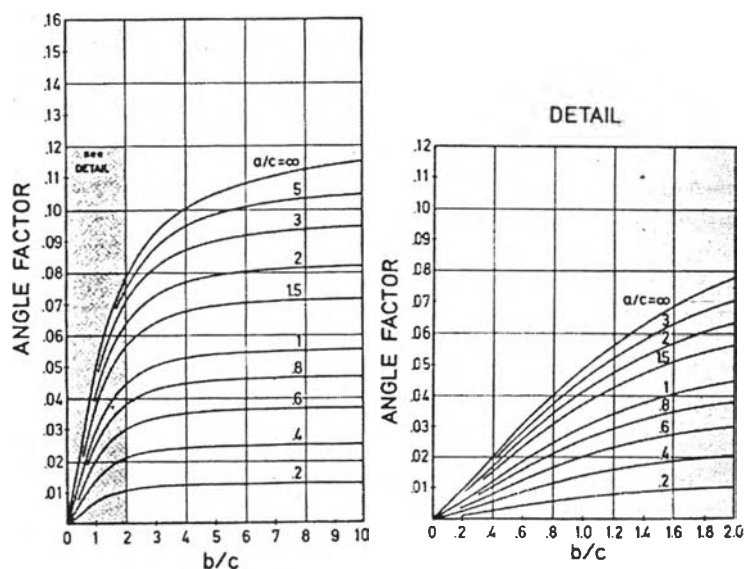
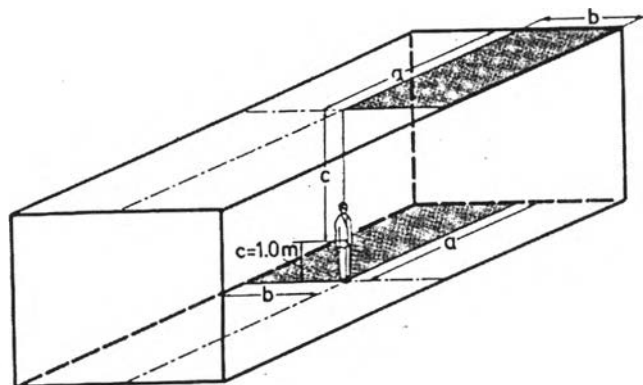


Fig. 53. Angle factor between a standing person and a rectangle on the ceiling or on the floor, forward of or behind his centre (case 5 and 6).

Example: $a = 5\text{m.}$, $b = 4\text{m.}$, $c = 1.0\text{m.}$ $b/c = 4.0$, $a/c = 5.0$: $F_{P-A} = 0.095$.

รูปที่ 2. 16 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ เพดานที่อยู่ข้างหน้าส่วนกลางร่างกายและพื้นที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางของร่างกายและเพดานที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางร่างกายและพื้นที่อยู่ข้างหลังส่วนกลางของร่างกาย

(ที่มา: Fanger, O.P., Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

4.4. เมื่อผู้ใช้อาคารยืนอยู่ในอาคาร และรู้แต่ตำแหน่งของผู้ใช้อาคารไม่รู้ทิศทาง

4.4.1. ผนังที่อยู่เหนือส่วนกลางร่างกายหรือต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 4.5 \text{ m.}$, $b = 2.0 \text{ m.}$, $c = 3.0 \text{ m.}$

$$b/c = 0.67 \text{ m.}, \quad a/c = 1.5 \text{ m.}$$

$$F_{P-A} = 0.047$$

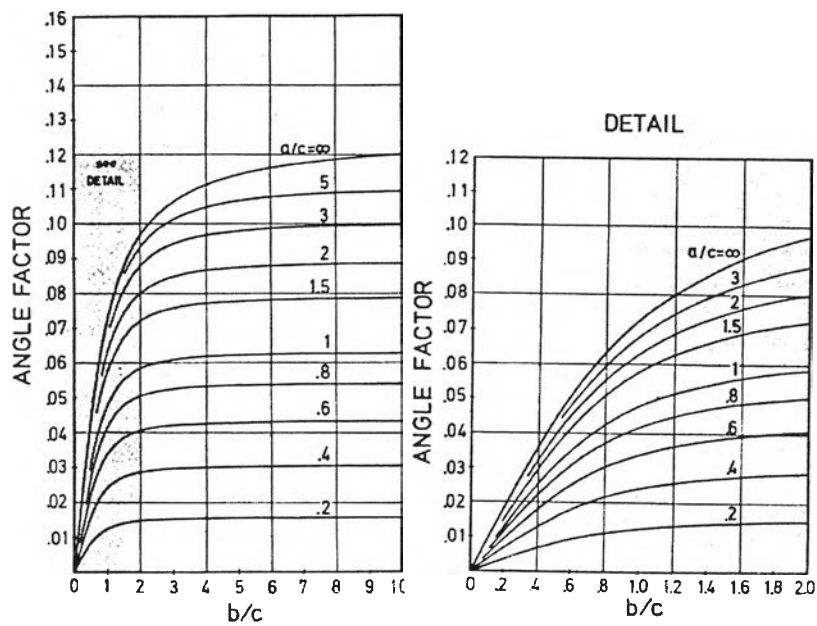
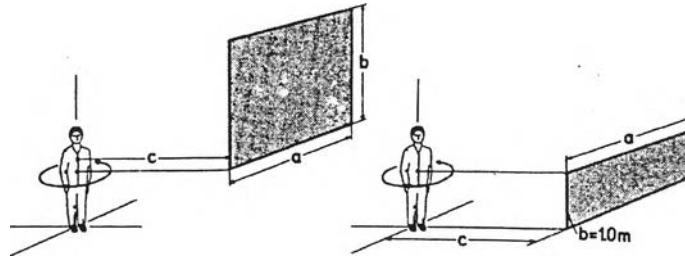


Fig. 55. Mean value of angle factor between a standing person and a vertical rectangle (above or below his centre) when the person is rotated around a vertical axis. To be used when the location but not the orientation of the person is known.

Example: $a = 4.5\text{m}$, $b = 2.0\text{m}$, $c = 3.0\text{m}$. $b/c = 0.67$, $a/c = 1.5$: $F_{P-A} = 0.047$.

รูปที่ 2. 17 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ ผนังที่อยู่เหนือส่วนกลางร่างกายหรือต่ำกว่าส่วนกลางของร่างกาย

(ที่มา: Fanger, O.P., Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

4.4.2. เพดานและพื้น

ตัวอย่างการคิด Angle Factor โดยใช้ Diagram

เมื่อ $a = 1.0 \text{ m.}$, $b = 15 \text{ m.}$, $c = 1.5 \text{ m.}$

$$b/c = 10 \text{ m.}, \quad a/c = 0.67 \text{ m.}$$

$$F_{P-A} = 0.039$$

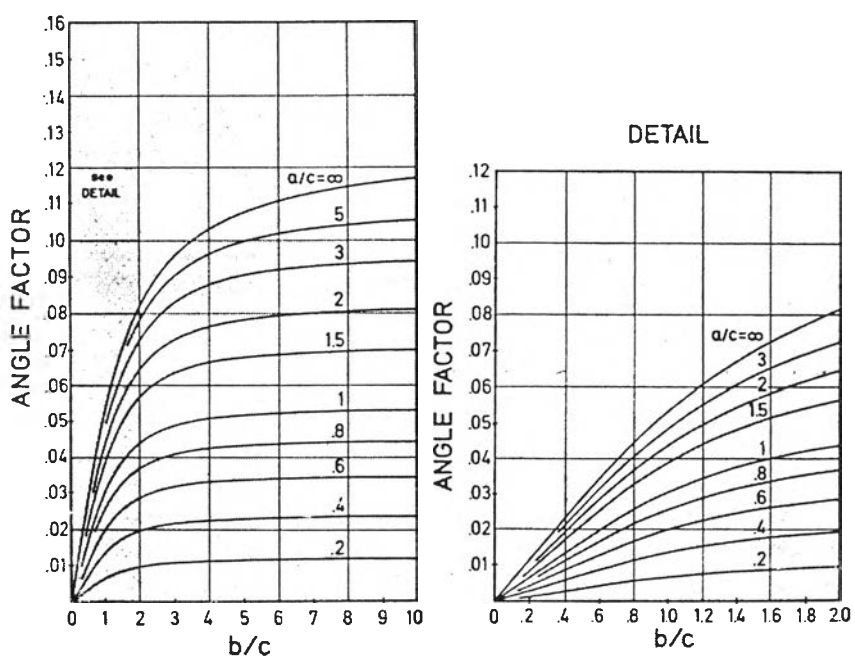
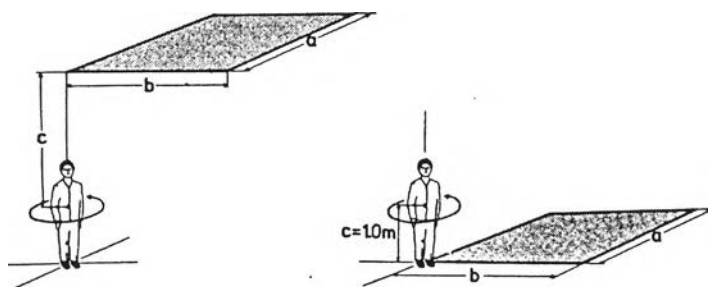


Fig. 56. Mean value of angle factor between a standing person and a horizontal rectangle (on the ceiling or on the floor) when the person is rotated around a vertical axis. To be used when the location but not the orientation of the person is known.

Example: $a = 1.0\text{m}$, $b = 15\text{m}$, $c = 1.5\text{m}$. $b/c = 10$, $a/c = 0.67$: $F_{P-A} = 0.039$.

รูปที่ 2. 18 แผนภาพในการใช้หา angle factor ของ เพดานและพื้น

(ที่มา: Fanger, O.P., Thermal comfort .NY:Mcgraw-Hill, 1976.)

5. การพิจารณา Mean Radiant Temperature ในการออกแบบเรือนไทย

ในการพิจารณาถึงตัวแปร MRT กับ การออกแบบเรือนไทย มีประเด็นที่น่าสนใจในการวิเคราะห์รูปแบบของเรือนไทยในแง่ของกาลด MRT โดยการศึกษาลักษณะและรูปแบบต่างๆ ของเรือนไทยโดยมีรายละเอียด ดังนี้

5.1. ส่วนของหลังคา

ในการลด MRT ของเรือนไทยสามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุที่จะแผ่รังสีความร้อนและการลด Solid Angle ที่จะทำให้ลดค่า Angle Factor ที่จะทำให้ MRT สามารถลดลงได้ โดยจะวิเคราะห์ถึงประเด็นต่างๆ ดังนี้

5.1.1. วัสดุผนังหลังคา

• เรือนเครื่องผูก

เรือนชนิดนี้สร้างจากวัสดุอย่างง่าย โครงหลังคาใช้ไม้ไผ่ และมุงหลังคาด้วยใบจาก หรือ กล้วยาคาที่ผูกเป็นตับแล้ว การมุงหลังคาด้วยใบจาก หรือ กล้วยาคา นี้ รวมถึงในส่วนของกาบปิดหน้าจั่วของหลังคาด้วยเช่นกัน

โดยหลังคาจาก หรือ กล้วยาคา (Thatch) เป็นหลังคาที่มีมวลเบา (Light Weight) มีน้ำหนักประมาณ 5 กก./ตร.ม. มีช่องว่างระหว่างวัสดุทำให้มีความเป็นฉนวน โดยช่องว่างเหล่านี้เกิดจากการซ้อนทับกันของวัสดุหลายๆชั้นทำให้เกิดอากาศนิ่ง (Still Air) อยู่ภายใน

และเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อยมีน้ำหนักเบา จะทำให้มีค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) น้อย และมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ไม่มาก จึงมีการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุน้อย ทำให้การคายความร้อนในเนื้อวัสดุเร็ว มีผลให้อุณหภูมิผิวภายในของวัสดุ และอุณหภูมิภายในมีค่าลดลง ซึ่งเมื่ออุณหภูมิผิวภายในลดลงแล้ว MRT ก็ลดลงด้วย

นอกจากนี้เมื่อถึงเวลากลางคืน หลังคาจากหรือหลังคากล้วยาคาจะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า และเมื่ออุณหภูมิผิวของหลังคามีอุณหภูมิต่ำกว่า Dew Point จะทำให้หลังคาเกิดน้ำค้าง และเมื่อหลังคาได้รับ Radiation จากดวงอาทิตย์ และ กระแสลม จะทำให้น้ำค้างระเหย เมื่อมีการระเหยของน้ำค้างในที่ที่มีลมพัดผ่าน จะทำให้อุณหภูมิผิวของหลังคาเป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศมาก ทำให้หลังคามีอุณหภูมิผิวลดลง ทำให้ภายในเรือนมี MRT น้อยด้วย

• เรือนเครื่องสับ

เรือนชนิดนี้จะใช้วัสดุที่แข็งแรงทนทานกว่าเรือนเครื่องผูก เช่น ไม้เนื้อแข็ง กระเบื้องมุงหลังคานิยมใช้กระเบื้องดินเผา หรือมุงด้วยแป้นเกล็ด ไม่นิยมทำฝ้าเพดาน และ ชายคา

กระเบื้องดินเผาที่นิยมใช้มุงหลังคา ทำมาจากดินเหนียวขึ้นรูปเป็นแผ่น แล้วนำไปเผา มีลักษณะเป็นแผ่นแบนเล็กๆขนาดประมาณ 12.50 x 23.00 ซม. หนาประมาณ 1 ซม. มีทั้งแบบชาย

ตัดและชายมนมุงซ้อนทับกัน โดยมีระยะระแนง 9-10 ซม. จัดเป็นหลังคาที่มีมวลสารน้อยมีน้ำหนักประมาณ 40-50 กก./ตร.ม. หลังคามีการมุงซ้อนกันของกระเบื้องทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นกระเบื้อง

เนื่องจากกระเบื้องดินเผาเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย ค่าความจุความร้อนน้อย และการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไม่มาก ทำให้มีการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุน้อย คายความร้อนได้เร็ว ทำให้มีอุณหภูมิผิว และ อุณหภูมิภายในที่ลดลง จึงทำให้ MRT ด้วย

5.1.2. รูปทรงและความลาดเอียงของหลังคา

• เรือนเครื่องผูก

รูปทรงของหลังคาของเรือนเครื่องผูกส่วนใหญ่เป็นหน้าจั่ว มีทั้งจั่วเดี่ยวและ จั่วแฝด หลังคาปั้นหยาจะไม่ค่อยมี มีความลาดเอียงของหลังคามาก ประมาณ 35° - 45° มีชายคาปีกนกคลุมด้านจั่วทั้งหน้าและหลัง ไม่มีฝ้าเพดานและฝ้าชายคา หน้าจั่วเหนือชายคาปีกนกทำเป็นช่องเล็กๆ สวมเหลี่ยมเปิดโล่ง ซึ่งการที่หลังคามีความชันมากทำให้ Solid Angle ลดลง ทำให้ Angle Factor มีค่าน้อยลงและ MRT น้อยลงตามไปด้วย

การออกแบบชายคาที่ยื่นยาว และมีชายคาปีกนกคลุมด้านจั่วทั้งหน้าและหลัง จะทำให้ลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทำให้ผนังมีอุณหภูมิผิวที่ลดลง และ MRT ที่ลดลงด้วย

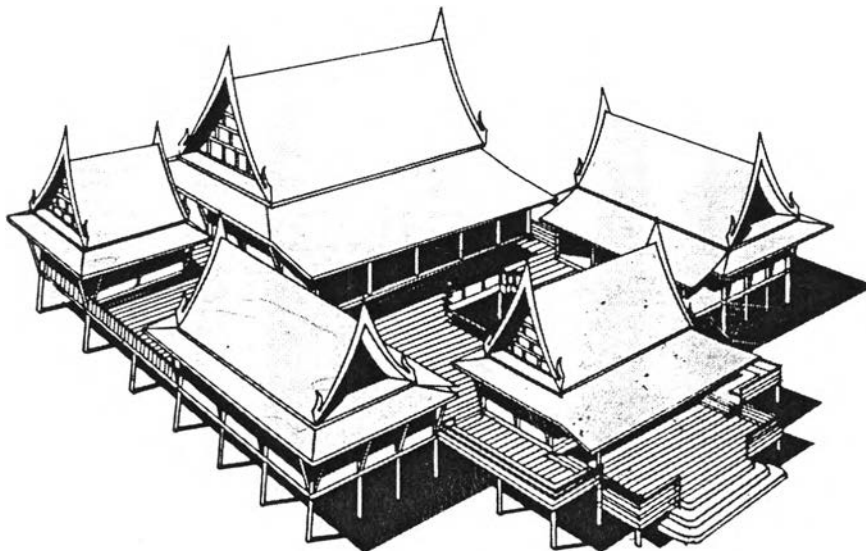
• เรือนเครื่องสับ

รูปทรงของหลังคาของเรือนเครื่องสับส่วนใหญ่เป็นหน้าจั่ว มีทั้งจั่วเดี่ยวและ จั่วแฝด เป็นทรงจั่วสูงลักษณะเป็นยอดแหลมเหมือนจอมแห มีความลาดเอียงของหลังคามาก ประมาณ 50° - 55° มีชายคายื่นยาว ไม่มีฝ้าเพดานและฝ้าชายคา ซึ่งการที่หลังคามีความชันมากทำให้ Solid Angle ลดลง ทำให้ Angle Factor มีค่าน้อยลงและ MRT น้อยลงตามไปด้วย

โดยลักษณะของหลังคาที่มีความลาดชันมาก ทำให้มุมมองของดวงอาทิตย์ไม่ตั้งฉากกับหลังคา หลังคาจึงไม่โดนแสงแดดเต็มที่ในเวลาเที่ยงวัน

การออกแบบชายคาที่ยื่นยาว ทำมุมกดช่วยป้องกันความร้อนจากแสงแดดผ่านผนังเข้ามา จะทำให้ลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทำให้ผนังมีอุณหภูมิผิวที่ลดลง และ MRT ที่ลดลงด้วย

บริเวณหน้าจั่วบริเวณหน้าจั่วเป็นไม้แบบเดียวกับฝาเรือน และ หน้าจั่วจะปิดไม่มีการระบายอากาศ แต่เนื่องจากใช้ไม้ที่เป็นวัสดุมวลสารน้อย ทำให้การเก็บกักความร้อนในมวลอากาศ และการหน่วงเหนี่ยวความร้อนน้อย และ เมื่ออุณหภูมิอากาศลด อุณหภูมิผิวบริเวณหน้าจั่วก็จะลดด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2. 19 แสดงลักษณะหลังคาของเรือนเครื่องสับ

5.2. ฝาเรือน

- เรือนเครื่องผูก

เรือนชนิดนี้จะใช้ฝาเรือนที่ทำจากไม้ไผ่ หรือ ต้นหมากผ่าซีกทาบให้เป็นแผ่นแน่น เรียกว่า ฟาก หรือ เฝือก หรือจะใช้ใบไม้ขนาดใหญ่ เช่น ใบพลวงหรือ ใบจาก

- เรือนเครื่องสับ

เรือนชนิดนี้ ฝาเรือนจะเป็นไม้ เรียกว่า ฝาปะกน และ เสาของเรือนทุกต้นจะสอดเข้าหา ศูนย์กลางของตัวเรือนเล็กน้อย

ฝาเรือนของเรือนทั้งสองชนิดนี้เป็นผนังมวลสารน้อย มีความจุความร้อนน้อย และ การหน่วงเหนี่ยวไม่มาก ทำให้มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในน้อย และ เป็นวัสดุที่มีค่าความต้านทานต่ำจึงทำให้ไม่มีอิทธิพลที่รุนแรงต่อ MRT ทำให้ MRT มีค่าใกล้เคียงกับ อุณหภูมิอากาศ

และเนื่องจากมีการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของผนังจากการยื่นยาวและทำมุมกดของ ชายคา ทำให้ผนังอาคารโดนแดดน้อยลง ทำให้ลดอุณหภูมิผิวของผนังที่เกิดจากรังสีดวงอาทิตย์ (Sol-air Effect) ทำให้พื้นผิวผนังส่วนใหญ่ไม่หันหน้าสู่ท้องฟ้า ทำให้ผนังได้รับ Diffused Radiation น้อยลงทำให้การถ่ายเทความร้อนน้อยลง

5.3. พื้นเรือน

- เรือนเครื่องผูก

เรือนชนิดนี้จะใช้พื้นเรือนที่ทำจากไม้ไผ่ หรือ ดินหมากผ่าซีกทุบให้เป็นแผ่นแน่น เรียกว่า ฟาก หรือ ฝือก และจะยกใต้ถุนสูง

- เรือนเครื่องสับ

เรือนชนิดนี้ พื้นเรือนจะเป็นไม้ และจะยกใต้ถุนสูง

พื้นเรือนของเรือนทั้งสองชนิดนี้เป็นวัสดุมวลสารน้อย มีความจุความร้อนน้อย และ การหน่วงเหนี่ยวไม่มาก ทำให้มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในน้อย และเป็นวัสดุที่มีค่าความต้านทานต่ำจึงทำให้ไม่มีอิทธิพลที่รุนแรงต่อ MRT และในเวลากลางวันกิจกรรมที่เกิดขึ้นมักจะเกิดที่ใต้ถุนเรือนมากกว่า เพราะ เมื่ออยู่ใกล้ผิวดินที่เย็นกว่าผิวกาย MRT จะน้อยเพราะจะทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนให้กับดินมากกว่าความร้อนจากสภาพแวดล้อม

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย

An Evaluation of Thermal Comfort and Related Variables in Thai Architecture

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ MRT และ Thermal comfort ในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมไทยนั้น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดย สุนทร บุญญธิการ และ ธนิต จินดาวงศ์ (2536) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องการวิเคราะห์สภาวะน่าสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของอาคารสถาปัตยกรรมไทย (An Evaluation of Thermal Comfort and Related Variables in Thai Architecture)

ซึ่งเป็นงานวิจัยที่มุ่งแสวงหาอิทธิพลของตัวแปรสำคัญ ๆ ที่เป็นปัจจัยในการสร้างสภาวะน่าสบายให้กับผู้อยู่อาศัยในสถาปัตยกรรมไทยด้วยวิธีธรรมชาติโดยปราศจากการใช้เครื่องปรับอากาศ ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นค่าที่ได้จากการวัดจริงจากเครื่องมือวิทยาศาสตร์ การวิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษาสภาพภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครที่เกี่ยวข้องโดยตรงเท่าที่จะค้นคว้าหาได้และมีหลักฐานอ้างอิงประกอบกับการสุ่มตัวอย่างอาคารเพื่อหาขอบเขต

(Magnitude) ของอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่จะใช้เป็นพื้นฐานในการเลือกศึกษาอาคารสถาปัตยกรรมไทยขั้นต่อไป ในงานวิจัยนี้ได้เลือกเอาตัวอย่างสถาปัตยกรรมไทยประกอบกับตัวอย่างอาคารสถาปัตยกรรมไทยร่วมสมัยและสถาปัตยกรรมไทยสมัยใหม่เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบและขอบเขตอิทธิพลตัวแปรต่างๆทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของมวลสารและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องไม่อาจหาได้จากอาคารใดอาคารหนึ่งหรืออาคารในสมัยใดสมัยหนึ่งโดยเฉพาะ

ผลของการวิจัยชี้ให้เห็นถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายในอาคาร ซึ่งได้แก่

- สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร
- มวลอาคาร
- การดูดความร้อนของมวลอาคาร
- อุณหภูมิที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนรังสีความร้อน
- รังสีดวงอาทิตย์
- ลม
- การระบายลม

การศึกษาวิเคราะห์จากตัวอย่างอาคารสถาปัตยกรรมไทย สถาปัตยกรรมไทยร่วมสมัย และ สถาปัตยกรรมไทยสมัยใหม่ได้พบตัวแปรที่สำคัญในการเสริมสร้างสภาวะน่าสบายในอาคาร สถาปัตยกรรมไทยและสรุปเป็นแผนภูมิขั้นตอนในการออกแบบเพื่อเสริมสร้างสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

โดยการวิจัยมีกระบวนการวิจัย ดังนี้ คือ

1. แสวงหาเครื่องมือที่ใช้วัดค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่
 - a. Comfort Meter
 - b. Datalogger 16 Channels
 - c. Wind Velocity and Direction
 - d. Globe Thermometer

2. การศึกษาคุณลักษณะภูมิอากาศของไทย

โดยจะศึกษาเฉพาะตัวแปรที่จะช่วยปรุงแต่งให้มนุษย์มีความรู้สึกเย็นลงกว่าอุณหภูมิที่วัดได้จริงในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นพอจะสรุปได้ ดังนี้

- a. การมีความเร็วลมที่เพียงพอ
- b. การมี MRT แตกต่างไปจากภูมิอากาศ
- c. การระเหยของน้ำ

3. การเลือกตัวอย่างและการศึกษาขอบเขตของอิทธิพล (Magnitude) ของตัวแปร

โดยเมื่อหลังจากการทดลองแล้ว สามารถอภิปรายองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมและประเด็นต่างๆที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย (Thermal comfort) และ สภาพสภาวะอาคาร (Building Performance) ในการปรับเปลี่ยนสภาพภายในอาคารในเชิงความร้อน (Thermal) ได้ออกเป็นหัวข้อ ดังนี้

1. Microclimate
2. Mean Radiant Temperature (MRT) และ Solar Radiation

3. Mass Effect และ Heat sink
4. ลม และ การระบายอากาศ

2. The effect of radiant heat exchange on thermal comfort in the work place

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ radiant heat และ Thermal comfort โดย Pantuda Boonlualohr ,University of Michigan ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องอิทธิพลของ การแลกเปลี่ยนความร้อนจากการแผ่รังสีที่มีผลต่อ Thermal comfort

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ศึกษาสภาวะน่าสบายที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีความร้อนในสภาวะแวดล้อม
2. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบ Thermal Sensation ระหว่างการทดลอง และ Thermal equation
3. จำกัดขอบเขตการใช้การแผ่รังสีความร้อนระหว่างอาคารและผู้ใช้ เพื่อหาแนวทางในการออกแบบอาคาร
4. เพื่อพัฒนา simulation model เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารต่อไป
5. เพื่อสร้างตัวช่วยในการออกแบบเป็น Diagram

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเลือก workplace ในการวิจัยที่สามารถควบคุม HVAC ได้ อิทธิพลของ Outdoor climate
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. Thermal sensation survey
4. Thermal sensation analysis
5. การพัฒนา simulation model

¹ P.O.Fanger. Thermal comfort. www.innova.dk/books/thermal/thermal. Innova Air tech Instruments A/S, 1997.

² Globe Thermometer เป็นพื้นผิวทรงกลมสีดำ อาจทำจากทองแดง หรือ พลาสติก หรือ Balloon ทาสี โดยข้างในตรงกลางจะมี Thermal sensor ซึ่งเป็นปรอทในหลอดแก้ว Thermocouple หรือ Thermister

³ Vernon, H.M.: The Globe Thermometer. Proc. Inst. of Heating and Ventilating Engineerings, 39:100, 1932.

⁴ Missenard, A.: Theorie Simplifie du Thermometre Resultant. Chauffage et ventilation, 12:347, 1935.