บทที่ 5

การหาสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุด

บทนำ

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการหาค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุด เมื่อกำหนดวัสดุ, พื้นที่กระจก, ขนาดพื้นที่ชั้น และทิศทางของอาคารให้ และหาค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสมจากแบบจำลอง ซึ่งมีค่าอัตราส่วนช่องกระจกต่อกำแพง และทิศทางการวางอาคารต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางให้สถาปนิกและวิศวกรพิจารณาในการออกแบบอาคารต่อไป

การหาสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุด

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว ความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านกำแพงด้านใดด้านหนึ่งนั้นสามารถหาได้จาก

$$q = [(1-WWR)xU_w xTDe_q + WWRxU_f x\Delta T + WWRxSCxSF]A_o$$

ดังนั้น

$$q/A_o = (1-WWR)xU_w xTDe_q + WWRxU_f x\Delta T + WWRxSCxSF$$

ถ้าให้ $h = (1-WWR)xU_w xTDe_q + WWRxU_f x\Delta T + WWRxSCxSF$

$=$ ความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านพื้นที่กำแพงขนาด 1 หน่วยด้านใด ๆ

สำหรับอาคารที่วางในแกน N-S-E-W ถ้าให้ x เป็นความยาวของ

กำแพงในด้านทิศ N,S และ y เป็นความยาวของกำแพงในด้านทิศ E, W และ c เป็นความสูงระหว่างชั้นของอาคารซึ่งมีค่าคงที่ ความร้อนที่ผ่านกำแพงของอาคารจะมีค่าเท่ากับ

$$Q = q_N + q_S + q_E + q_W$$

ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q &= h_N cx + h_S cx + h_E cy + h_W cy \\ &= (h_N + h_S)cx + (h_E + h_W)cy \end{aligned} \qquad \ldots.(5.1)$$

โดยที่

$$xy = A \qquad \ldots.(5.2)$$

เมื่อ A คือขนาดพื้นที่ชั้น

ในการคำนวณหาค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุดจะใช้วิธีการของ Lagrange Multipliers (8) ซึ่งการหาค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสมนี้ ไม่จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางหลังคา เนื่องจากพื้นที่หลังคามีค่าคงที่(เท่ากับขนาดพื้นที่ชั้น,A) ซึ่งทำให้ความร้อนที่ผ่านหลังคาคงที่ด้วย ไม่ว่าอาคารจะมีค่าสัดส่วนอย่างไรก็ตาม จากสมการที่ (5.1) และ (5.2) จะเห็นว่าสมการที่ (5.1) นั้นจะเป็น Objective Function ซึ่ง x และ y เป็นตัวแปร ในขณะที่วัสดุและค่า WWR ของกำแพงแต่ละด้านถูกกำหนดให้ ส่วนสมการที่ (5.2) จะเป็น Constraint ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{Minimize } Q = f(x,y) = (h_N + h_S)cx + (h_E + h_W)cy \qquad \ldots.(5.3)$$

subject to $\phi(x,y) = xy - A = 0$ ....(5.4)

โดยวิธี Lagrange Multipliers Q จะมีค่าต่ำสุดได้ก็ต่อเมื่อ

$$\nabla Q - \lambda \nabla \phi = 0 \quad ....(5.5)$$

$$xy - A = 0 \quad ....(5.6)$$

λ = Lagrange Multiplier = Constant

จากสมการ (5.5)

ดิฟเฟอเรนติเอทเทียบกับ x :

$$(h_N + h_S)c - \lambda y = 0$$

$$\lambda y = (h_N + h_S)c \quad ....(5.7)$$

ดิฟเฟอเรนติเอทเทียบกับ y :

$$(h_E + h_W)c - \lambda x = 0$$

$$\lambda x = (h_E + h_W)c \quad ....(5.8)$$

จากสมการที่ (5.7) และ (5.8)

$$x/y = (h_E + h_W)/(h_N + h_S) \quad ....(5.9)$$

ค่า x/y นี้ คือ ค่าสัดส่วนอาคาร, R^*, ซึ่งทำให้อาคารได้รับความร้อนน้อยที่สุด, Q^*,

จากสมการที่ (5.3) ถึง (5.9) แก้สมการหาค่า x^*, y^*, และ

Q^* จะได้

$$x^* = \sqrt{A(h_E + h_W)/(h_N + h_S)} \quad \ldots.(5.10)$$

$$y^* = \sqrt{A(h_N + h_S)/(h_E + h_W)} \quad \ldots.(5.11)$$

$$\lambda = c\sqrt{(h_N + h_S)(h_E + h_W)/A} \quad \ldots.(5.12)$$

$$Q^* = 2c\sqrt{A(h_N + h_S)(h_E + h_W)} \quad \ldots.(5.13)$$

ค่า x^* และ y^* จากสมการที่ (5.10) และ (5.11) จะเป็นความยาวของอาคารที่เหมาะสมที่ทำให้อาคารได้รับความร้อนน้อยที่สุด, Q^*, ซึ่งค่า Q^* สามารถหาได้จากสมการที่ (5.13)

ในทำนองเดียวกัน สำหรับอาคารที่วางในแกน NE-SW-SE-NW ก็สามารถหาค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุดได้ในลักษณะเดียวกัน ซึ่งถ้าให้ x เป็นความยาวของกำแพงในด้าน NE, SW และ y เป็นความยาวของกำแพงในด้าน SE, NW ค่า R^*, x^*, y^* และ Q^* จะมีค่าดังนี้

$$R^* = (h_{SE} + h_{NW})/(h_{NE} + h_{SW}) \quad \ldots.(5.14)$$

$$x^* = \sqrt{A(h_{SE} + h_{NW})/(h_{NE} + h_{SW})} \quad \ldots.(5.15)$$

$$y^* = \sqrt{A(h_{NE} + h_{SW})/(h_{SE} + h_{NW})} \quad \ldots.(5.16)$$

$$\lambda = c\sqrt{(h_{NE} + h_{SW})(h_{SE} + h_{NW})/A} \quad \ldots.(5.17)$$

$$Q^* = 2c\sqrt{A(h_{N\,E}+hs_W)(hs_E+h_{N\,W})} \quad ....(5.18)$$

อนึ่ง ในการแก้ปัญหาการหาค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุดดังที่กล่าวมานี้ เป็นการแก้ปัญหาแบบ Constrained Optimization ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้เป็นการแก้ปัญหาแบบ Unconstrained Optimization ได้ โดยมีวิธีการดังนี้ จาก

$$x/y = R \quad ....(5.19)$$

และ $$xy = A \quad ....(5.20)$$

ในกรณีวางอาคารในแกน N-S-E-W เมื่อแทนค่า x และ y ให้อยู่ในรูปของ A และ R สมการที่ (5.3) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

Minimize

$$Q = (h_N+hs)cR^{1/2}A^{1/2} + (h_E+h_W)cR^{-1/2}A^{1/2} \quad ..(5.21)$$

ในการหาค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสม, R^*, เพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุด สามารถหาได้โดย

$$\frac{dQ}{dR} = 0 \quad ....(5.22)$$

และการตรวจลอบดูว่า ค่า Q ที่ $R = R^*$ มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดนั้น สามารถตรวจสอบได้โดย Q จะมีค่าต่ำสุดเมื่อ

$$\frac{d^2Q}{dR^2} > 0 \qquad \ldots.(5.23)$$

ดังนั้น จากสมการ (5.21) และ (5.22)

$$\frac{dQ}{dR} = \frac{1}{2}(h_N + h_S)cA^{1/2}R^{-1/2} - \frac{1}{2}(h_E + h_W)cA^{1/2}R^{-3/2}$$

$$= 0$$

$$R^* = (h_E + h_W)/(h_N + h_S)$$

ตรวจสอบดูว่า ค่า Q ที่ R = R* มีค่าต่ำสุดจริงหรือไม่

$$\frac{d^2Q}{dR^2} = \frac{-1}{4}(h_N + h_S)cA^{1/2}R^{-3/2} + \frac{3}{4}(h_E + h_W)cA^{1/2}R^{-5/2}$$

จากสมการ (5.23)

$$\frac{-1}{4}(h_N + h_S)cA^{1/2}R^{-3/2} + \frac{3}{4}(h_E + h_W)cA^{1/2}R^{-5/2} > 0$$

$$-(h_N + h_S) + 3(h_E + h_W)/R > 0$$

$$\frac{3(h_E + h_W)}{(h_N + h_S)} - R > 0$$

แทนค่า R = R*

$$\frac{3(h_E + h_W)}{(h_N + h_S)} - \frac{(h_E + h_W)}{(h_N + h_S)} > 0$$

$$\frac{2(h_E + h_W)}{(h_N + h_S)} > 0 \qquad \ldots.(5.24)$$

จากสมการที่ (5.24) จะแสดงได้ว่า ค่า Q มีค่าต่ำสุดจริงที่ R=R* และ ค่า Q* จะมีค่าเท่ากับ

$$Q^* = 2c\sqrt{A(h_N + h_S)(h_E + h_W)}$$

จากทั้งสองวิธีการดังกล่าว จะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเหมือนกันและค่า R จะมีได้ค่าเดียวที่ให้ Q มีค่าต่ำสุด ในทำนองเดียวกัน อาคารที่วางในแกน NE-SW-SE-NW ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณา Constraint คือขนาดพื้นที่ชั้น, A, นั้น เมื่อค่า A แปรเปลี่ยนไป ค่า Q* จะแปรเปลี่ยนไปด้วยซึ่งการแปรเปลี่ยน Q* เนื่องจากการแปรเปลี่ยน A นี้เรียกว่า Sensitivity Coefficient, SC, ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$SC = \frac{\partial Q^*}{\partial A}$$

ค่า Sensitivity Coefficient, SC, นี้ จะมีค่าเท่ากับ Lagrange Multiplier, , ด้วย

$$SC = \lambda$$

ประโยชน์ของ Sensitivity Coefficient, SC, นี้ ก็คือจะแสดงให้เห็นว่า เมื่อค่า A แปรเปลี่ยนไป ค่า Q* จะมีผลแปรเปลี่ยนอย่างไร

สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ การหาค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม เพื่อทำให้อาคารได้รับความร้อนน้อยที่สุด จะทำการคำนวณโดยใช้แบบจำลองอาคาร ซึ่งมีลักษณะดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ดังนี้

1. กำแพงของแบบจำลองเป็นคอนกรีตบล็อคหนาประมาณ 10 cm.

2. หลังคาของแบบจำลองเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก หนาประมาณ 10 cm.

3. กระจกที่ใช้เป็นแบบคูลเกรย์ หนาประมาณ 6 mm.

4. ไม่มีอุปกรณ์บังแดดทั้งภายนอกและภายใน

5. ความสูงของชั้นของแบบจำลองคงที่ มีค่าเท่ากับ 3.5 m.

ซึ่งต่อไปนี้ แบบจำลองจะหมายถึงอาคาร

<u>ผลการคำนวณสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุด</u>

การคำนวณสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมนี้ จะคำนวณจากแบบจำลอง ซึ่งจะต้องกำหนด

1. ทิศทางการวางแบบจำลอง

2. ค่าอัตราส่วนช่องกระจกต่อกำแพง, WWR, ในแต่ละด้านของแบบจำลอง

3. ขนาดของพื้นที่ชั้น, A, ของแบบจำลอง

ในการคำนวณ จะคำนวณแบบจำลองที่มีขนาดพื้นที่ชั้น 1 sq.m. วางอยู่ในแกน N-S-E-W และ NE-SW-SE-NW และจะทำการแปรเปลี่ยนค่า WWR ของกำแพงแต่ละด้าน ดังนี้

1) แปรเปลี่ยนค่า WWR ของกำแพงทีละด้านตั้งแต่ 0 % ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยขณะที่ WWR ของกำแพงอีก 3 ด้านมีค่าเท่ากันที่ 20 %, 40 % 60 %, 80 % และ 100 %

2) แปรเปลี่ยนค่า WWR โดยแปรเปลี่ยนทีละ 2 ด้านซึ่งอยู่ตรงข้ามกัน WWR ด้านซึ่งอยู่ตรงข้ามกันจะมีค่าเท่ากัน ในการแปรเปลี่ยน WWR จะแปรเปลี่ยน ตั้งแต่ 0 % ถึง 100 %

ผลการคำนวณหาค่า R*, Q* และ SC สำหรับแบบจำลอง ซึ่งมีค่า WWR ต่าง ๆ ซึ่งวางในแกน N-S-E-W และ NE-SW-SE-NW ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค และค่าความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านพื้นที่กำแพงของแบบจำลองขนาด 1 หน่วย, h, สำหรับทิศทางต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งที่ค่า WWR อื่น ๆ ที่ไม่มีในตารางสามารถหาได้โดยการเทียบอัตราส่วน ในกรณีที่ต้องการหาค่า R*, Q* และ SC ของแบบจำลองที่มีค่า WWR อื่น ๆ ที่ไม่ได้ปรากฏในภาคผนวก ค ก็สามารถหาได้โดยใช้ค่า h ต่าง ๆ จากตารางที่ 5.1 นำไปแทนในสมการที่ใช้หาค่า R*, Q* และ SC ตามที่ได้แสดงไว้ข้างต้น ก็จะได้ค่าต่าง ๆ ตามต้องการ

<u>การวิเคราะห์ค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสม</u>

เมื่อพิจารณาสมการที่ใช้ในการหาค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมของแบบจำลอง เพื่อแบบจำลองจะได้รับความร้อนน้อยที่สุด จากสมการที่ (5.9) และ (5.14)

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านกำแพงแบบจำลองในทิศทางต่าง ๆ

AVERAGE HEAT GAIN PER UNIT AREA OF ENVELOPE

WWR	HEAT GAIN PER UNIT WALL AREA (W/m^2)							
(%)	h_N	h_S	h_E	h_W	h_{NE}	h_{SW}	h_{SE}	h_{NW}
0	21.76	27.2	27.2	27.2	24.48	27.2	27.2	24.48
20	39.898	51.642	49.266	52.17	43.526	53.226	50.718	45.242
40	58.036	76.084	71.332	77.14	62.572	79.252	74.236	66.004
60	76.174	100.526	93.398	102.11	81.618	105.278	97.754	86.766
80	94.312	124.968	115.464	127.08	100.664	131.304	121.272	107.528
100	112.45	149.41	137.53	152.05	119.71	157.33	144.79	128.29

สำหรับแกน N-S-E-W $R^* = (h_E + h_W)/(h_N + h_S)$

สำหรับแกน NE-SW-SE-NW $R^* = (h_{SE} + h_{NW})/(h_{NE} + h_{SW})$

ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$R^* = x^*/y^* = \frac{\text{ผลรวมของความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านพื้นที่ 1 หน่วยของกำแพงด้านที่ยาว } y}{\text{ผลรวมของความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านพื้นที่ 1 หน่วยของกำแพงด้านที่ยาว } x} \quad \ldots.(5.25)$$

จะเห็นได้ว่า ค่า R^* จากสมการดังกล่าว ไม่ขึ้นกับขนาดพื้นที่ชั้น, A, ของแบบจำลองแต่อย่างใด แต่จะขึ้นกับความร้อนเฉลี่ยที่ผ่านพื้นที่กำแพงขนาด 1 หน่วย, h, ของด้านต่าง ๆ ซึ่งค่า h สำหรับด้านต่าง ๆ นี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนช่องกระจกต่อกำแพง, WWR, ของด้านนั้น ๆ ถ้า WWR มาก ค่า h ก็จะมาก ถ้า WWR น้อยค่า h ก็จะน้อย นั่นคือเมื่อวัสดุของกำแพงแบบจำลอง (กระจกและกำแพง)ถูกกำหนด ค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสมของแบบจำลอง R^*, จะมีค่าเท่าไร ขึ้นกับ WWR ของกำแพงด้านต่าง ๆ ของแบบจำลอง โดยที่ไม่ขึ้นกับขนาดพื้นที่ชั้น, A, ของแบบจำลองเลย ดังนั้น ในการวิเคราะห์ค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสม, R^*, จะพิจารณาจากแบบจำลองที่มี WWR แบบต่าง ๆ ซึ่งจากผลการคำนวณในภาคผนวก ค พอจะสรุปได้ดังนี้

1. แบบจำลองที่มี WWR ของกำแพงใกล้เคียงกันทั้ง 4 ด้าน ในกรณีเมื่อวางอยู่ในแกน N-S-E-W ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม จะอยู่ในช่วง 1.4:1 ถึง 1:1.1 และเมื่อแบบจำลองมีค่า WWR เท่ากันทั้งสี่ด้าน ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 1.1:1 สำหรับในกรณีเมื่อวางอยู่ในแกน NE-SW-SE-NW ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 1.2:1 ถึง 1:1.3 และเมื่อแบบจำลองมีค่า WWR เท่ากันทั้ง 4 ด้าน ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม

จะมีค่าเท่ากับ 1:1

2. แบบจำลองที่มีค่า WWR ของกำแพง 3 ด้านใกล้เคียงกัน โดยที่ WWR ของกำแพง 3 ด้านนี้ มีค่ามาก และ ด้านที่ 4 มีค่า WWR น้อย เมื่อแบบจำลองวางอยู่ในแนวแกน N-S-E-W ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 2.1:1 ถึง 1:1.6 และในกรณีเมื่อวางอยู่ในแนวแกน NE-SW-SE-NW จะอยู่ในช่วง 1.9:1 ถึง 1:1.8

3. แบบจำลองที่มี WWR ของกำแพงด้านตรงข้ามเท่ากันโดยที่คู่หนึ่งมีค่า WWR มาก และอีกคู่หนึ่งมีค่าน้อย เมื่อแบบจำลองวางอยู่ในแนวแกน N-S-E-W ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 5.9:1 ถึง 1:4.8 และกรณีเมื่อวางอยู่ในแนวแกน NE-SW-SE-NW จะอยู่ในช่วง 5.3:1 ถึง 1:5.4

4. แบบจำลองที่มี WWR ของกำแพงมากอยู่ด้านเดียว ส่วนอีก 3 ด้าน มีค่า WWR น้อย เมื่อแบบจำลองวางอยู่ในแกน N-S-E-W ค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 3.7:1 ถึง 1:3.2 และในกรณีเมื่อวางอยู่ในแนวแกน NE-SW-SE-NW จะอยู่ในช่วง 1:1.3 ถึง 1:3.5

ตารางที่ 5.2 จะแสดงช่วงของสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองแบบต่าง ๆ ดังกล่าว

เมื่อพิจารณาสมการที่ (5.25) จะพบว่าค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม R^*, นี้จะเป็นตัวที่ทำให้ผลรวมของความร้อนที่ผ่านกำแพงด้าน x มีค่าเท่ากับผลรวมของความร้อนที่ผ่านกำแพงด้าน y จากแบบจำลองที่มีค่า WWR ของกำแพงเท่ากัน 4 ด้าน ในกรณีวางแบบจำลองในแกน N-S-E-W ซึ่งค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม, R^*, เท่ากับ 1.1:1 นั่นคือ ผลรวมของความร้อนที่ผ่านกำแพงด้าน E และ W จะเท่ากับผลรวมของความร้อนที่ผ่านกำแพงด้าน N และ S ซึ่งยาว 1.1 เท่าของกำแพงด้าน E และ W ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผลรวมความร้อนที่

ผ่านกำแพงด้าน E และ W มากกว่าผลรวมความร้อนที่ผ่านกำแพงด้าน N และ S เมื่อมีพื้นที่เท่ากัน ในกรณีวางแบบจำลองในแกน NE-SW-SE-NW ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะลม, R* , เท่ากับ 1:1 นั่นคือผลรวมของความร้อนที่ผ่านกำแพงด้าน NE และ SW จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความร้อนที่ผ่านกำแพงด้าน SE และ NW ซึ่งยาวเท่ากัน ซึ่งเมื่อแบบจำลองมีค่า WWR เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลทำให้ความร้อนที่ผ่านกำแพงเปลี่ยนแปลงไป ค่า R* นี้ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

เมื่อพิจารณาถึงผลการคำนวณค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม, R* ,ของแบบจำลองต่าง ๆ ที่คำนวณได้ จะพบว่าค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม, R* ,นี้จะให้รูปร่างแบบจำลองที่มีลักษณะด้านกำแพงที่มี WWR มาก จะเป็นด้านที่แคบ และด้านกำแพงที่มี WWR น้อย จะเป็นด้านที่กว้าง จากแบบจำลองทั้ง 4 แบบ ในบางกรณีแบบจำลองที่มี WWR ของกำแพงด้านตรงข้ามเท่ากัน และแบบจำลองที่มี

ตารางที่ 5.2 แสดงช่วงของสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองแบบต่าง ๆ

N-S-E-W : สัดส่วนอาคาร = $\frac{\text{ความยาวกำแพงด้าน N หรือ S}}{\text{ความยาวกำแพงด้าน E หรือ W}}$

NE-SW-SE-NW : สัดส่วนอาคาร = $\frac{\text{ความยาวกำแพงด้าน NE หรือ SW}}{\text{ความยาวกำแพงด้าน SE หรือ NW}}$

แบบจำลอง	ช่วงของสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม	
	N-S-E-W	NE-SW-SE-NW
มี WWR เท่ากันทั้ง 4 ด้าน	1.1:1	1:1
มี WWR 4 ด้าน	1.4:1 - 1:1.1	1.2:1 - 1:1.3
มี WWR 3 ด้าน	2.1:1 - 1:1.6	1.9:1 - 1:1.8
มี WWR 2 ด้าน	5.9:1 - 1:4.8	5.3:1 - 1:5.4
มี WWR 1 ด้าน	3.7:1 - 1:3.2	3.3:1 - 1:3.5

WWR ของกำแพงมากอยู่ด้านเดียว เช่น แบบจำลองที่มีด้าน N, S มี WWR อยู่ 60 % และด้าน E, W เป็นกำแพงทึบ (WWR = 0%) จากผลการคำนวณ ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม ความยาวกำแพงด้าน N หรือ S ต่อความยาวกำแพงด้าน E หรือ W มีค่าเท่ากับ 1:3.2 ซึ่งออกมาในลักษณะด้าน E, W ซึ่งเป็นกำแพงทึบเป็นด้านยาว และ กำแพงด้าน N, S ซึ่งมีพื้นที่กระจกเป็นด้านกว้าง ซึ่งเมื่อพิจารณาในแง่ทางปฏิบัติแล้ว สถาปนิกมักจะไม่ออกแบบอาคารในลักษณะนี้ เนื่องจากรูปร่างอาคารจะออกมาในลักษณะแลดูทึบ ซึ่งผู้ใช้อาคารจะมีความรู้สึกอึดอัดด้วย และช่องเปิดมีพื้นที่น้อยกว่า 20 % ของพื้นที่รูปรอบนอกของอาคารซึ่งขัดกับข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมการก่อสร้างอาคาร พ.ศ. 2522 แต่จะออกแบบในลักษณะด้าน N, S จะเป็นด้านยาว และ ด้าน E, W ซึ่งเป็นกำแพงทึบจะเป็นด้านกว้าง แม้ว่าจะได้รับความร้อนมากกว่าก็ตาม เนื่องจากสถาปนิกได้คำนึงถึงความงามทางด้านสถาปัตยกรรมของอาคารด้วย

ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงผลการคำนวณค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมของแบบจำลองต่าง ๆ โดยคำนึงถึงในแง่ทางปฏิบัติด้วยแล้ว ค่าสัดส่วนของอาคารที่เหมาะสมที่คำนวณได้ของแบบจำลองที่มี WWR ของกำแพงทั้ง 4 ด้าน และ ของแบบจำลองที่มี WWR ของกำแพง 3 ด้าน ค่าที่คำนวณได้จะใช้ได้ดีในทางปฏิบัติ ส่วนแบบจำลองที่มี WWR ของกำแพงด้านตรงข้ามเท่ากันและแบบจำลองที่มี WWR ของกำแพงมากอยู่ด้านเดียว ถ้าค่า WWR ของกำแพงไม่แตกต่างกันมาก ๆ นัก ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมที่คำนวณได้ก็สามารถใช้ได้ในทางปฏิบัติ ค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมที่คำนวณได้ของแบบจำลองต่าง ๆ ที่ใช้ได้ทางปฏิบัตินั้น ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ในช่วง 1:1 ถึง 1:2 ในกรณีค่าสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมที่คำนวณได้ ไม่นิยมนำใช้ออกแบบในทางปฏิบัติ ก็สามารถพิจารณาแบบจำลองที่มีค่าสัดส่วนอาคารอื่น ๆ ได้จากบทที่ 4 แล้วเลือกออกแบบเพื่อความเหมาะสมต่อไป

การคำนวณหารูปทรงอาคารที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุด

ที่ผ่านมาเป็นการกล่าวถึงการหาสัดส่วนอาคารที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุด โดยคำนวณจากแบบจำลองสูง 1 ชั้น โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงความร้อนที่ผ่านหลังคา ปัญหาต่อมาก็คือว่า ขนาดพื้นที่ของชั้น, A, ควรจะมีค่าเป็นเท่าไร จึงจะเหมาะสมเพื่อให้แบบจำลองทั้งหลังได้รับความร้อนน้อยที่สุด เมื่อกำหนดขนาดพื้นที่ชั้นรวม (Total floor Area, TA) มาให้ การคำนวณหารูปทรงอาคารที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุด เป็นการคำนวณหาขนาดพื้นที่ของชั้น, A, หรือจำนวนชั้น, n, ที่เหมาะสมเพื่อให้แบบจำลองทั้งหลังได้รับความร้อนน้อยที่สุด เมื่อกำหนดขนาดพื้นที่ชั้นรวม, TA, และ WWR ของกำแพงแต่ละด้านมาให้ โดยมีสัดส่วนอาคารเป็นสัดส่วนที่เหมาะสม, R*, การคำนวณหารูปทรงอาคารที่เหมาะสมนี้ ความร้อนที่ผ่านหลังคาจะต้องนำมาพิจารณาด้วย จากสมการที่ (5.21) เมื่อพิจารณาความร้อนที่แบบจำลองที่มีหลายชั้นได้รับ ซึ่งเมื่อรวมถึงความร้อนที่ผ่านหลังคาด้วย สามารถเขียนได้ดังนี้ กรณีแบบจำลองอยู่ในแกน N-S-E-W

$$Q = [(h_N + h_S)R^{1/2} + (h_E + h_W)R^{-1/2}]cnA^{1/2} + U_r TD_{eq} A \quad ....(5.26)$$

โดยที่ $nA = TA$

$n = 1,2,3 ....$

n = จำนวนชั้นของแบบจำลอง

c = ความสูงระหว่างชั้น มีค่าเท่ากับ 3.5 m.

A = ขนาดพื้นที่ชั้น (Floor Area)

TA = ขนาดพื้นที่ชั้นรวม (Total floor Area)

กรณีแบบจำลองอยู่ในแกน NE-SW-SE-NW

$$Q = [(h_{NE}+h_{SW})R^{1/2} + (h_{SE}+h_{NW})R^{-1/2}]cnA^{1/2} + U_r TD_{eq} A \quad ....(5.27)$$

โดยที่ $nA = TA$ ....(5.28)

$n = 1,2,3 ....$

เมื่อแทน $R = R^*$ และ $A = TA/n$ สมการที่ (5.26) และ (5.27) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

กรณีแบบจำลองอยู่ในแกน N-S-E-W

$$Q = 2c\sqrt{TAn(h_N+h_S)(h_E+h_W)} + U_r TD_{eq} TA/n \quad ....(5.29)$$

เมื่อ $n = 1,2,3 ....$

กรณีแบบจำลองอยู่ในแกน NE-SW-SE-NW

$$Q = 2c\sqrt{TAn(h_{NE}+h_{SW})(h_{SE}+h_{NW})} + U_r TD_{eq} TA/n \quad ....(5.30)$$

เมื่อ $n = 1,2,3 ....$

เทอมแรกของสมการที่ (5.29) และ (5.30) เป็นเทอมของความร้อนที่ผ่านกำแพง และเทอมหลังเป็นเทอมของความร้อนที่ผ่านหลังคา ที่ค่าขนาดพื้นที่ชั้นรวม, TA, หนึ่ง ๆ แบบจำลองที่มีจำนวนชั้นมาก ความร้อนที่ผ่านกำแพง

จะมาก และความร้อนที่ผ่านหลังคาจะน้อย เนื่องจากพื้นที่หลังคาน้อย ซึ่งเท่ากับขนาดพื้นที่ของชั้น, A, แบบจำลองที่มีจำนวนชั้นน้อย ความร้อนที่ผ่านกำแพงจะน้อย และความร้อนที่ผ่านหลังคาจะมาก เนื่องจากพื้นที่ของหลังคามีมาก ดังนั้นเมื่อพิจารณาดูแล้ว จะเห็นได้ว่าจะมีค่าขนาดพื้นที่ของชั้น,A, ค่าหนึ่งหรือจำนวนชั้นค่าหนึ่งที่เหมาะสมซึ่งทำให้แบบจำลองได้รับความร้อนน้อยที่สุด ในการคำนวณหาค่า A หรือ n ที่เหมาะสมนี้ เมื่อพิจารณาฟังชั่น Q ในสมการที่(5.29) หรือ (5.30) จะเห็นว่าเป็นฟังชั่นแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงไม่สามารถหาค่า A หรือ n ที่ทำให้ฟังชั่น Q มีค่าต่ำสุดโดยวิธีการดิฟเฟอเรนติเอทธรรมดาได้แต่สามารถหาได้โดยการทดลองคำนวณ (Trial) โดยเมื่อกำหนดขนาดพื้นที่ชั้นรวม, TA, และ WWR ของกำแพงแต่ละด้านแล้ว คำนวณหาค่า Q โดยให้ n = 1,2,3 .. แล้วเปรียบเทียบหาค่า Q ที่น้อยที่สุด ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ดี เนื่องจากจะได้ทราบค่า Q ของแบบจำลองที่มีจำนวนชั้นต่าง ๆ ตารางที่ 5.3 เป็นตัวอย่างการคำนวณเปรียบเทียบค่า Q เพื่อหาจำนวนชั้น, n, หรือขนาดพื้นที่ชั้น, A, ที่เหมาะสมของแบบจำลองที่มี WWR ของกำแพงทุกด้านเท่ากับ 60 % และขนาดพื้นที่ชั้นรวม, TA, เท่ากับ 25,000 sq.m. ซึ่งสัดส่วนอาคารที่เหมาะสม ความยาวกำแพงด้าน E หรือ W, มีค่าเท่ากับ 1.1:1 ผลการคำนวณปรากฏว่า แบบจำลองซึ่งมีขนาดพื้นที่ชั้น, A, เท่ากับ 8333.33 sq.m. สูง 3 ชั้น จะได้รับความร้อนน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบในช่วง n เท่ากับ 1 ถึง 20 โปรแกรมคอมพิวเตอร์การคำนวณได้แสดงไว้ภาคผนวก ง

ในทางปฏิบัติการออกแบบอาคาร การกำหนดขนาดพื้นที่ชั้น (Floor Area) หรือจำนวนชั้น (นั่นคือความสูง) ของอาคาร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างที่จะต้องพิจารณา เช่น ราคาค่าก่อสร้าง, ขนาดและราคาที่ดิน อาคารทรงเตี้ยมีจำนวนชั้นน้อย ขนาดพื้นที่ชั้นจะมาก ราคาค่าก่อสร้างจะต่ำ แต่จะใช้ที่ดินมาก ซึ่งในปัจจุบันราคาที่ดินก็แพง อาคารทรงสูง มีจำนวนชั้นมาก ขนาดพื้นที่ชั้นจะเล็กลง การใช้เนื้อที่ดินจะน้อย แต่ราคาค่าก่อสร้างจะสูง อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงการใช้งานของอาคารด้วยว่าแต่ละชั้นมีไว้เพื่อทำอะไร ดังนั้น การคำนวณหารูปทรงอาคารที่เหมาะสมเพื่อให้ได้รับความร้อนน้อยที่สุดนี้ ก็เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งอยาก

ให้สถาปนิกคำนึงถึงและพิจารณาเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบอาคารต่อไป

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการคำนวณหาสัดส่วนอาคารและจำนวนชั้นที่เหมาะสม

```
OPTIMUM SHAPE OF BUILDING

ORIENTATION OF BUILDING  :

                          N-S-E-W

WALL CONSTRUCTION :
NORTH FACADE  :
CONSTRUCTION :10 cm. h.w. concrete block
              Uw = 2.72 W/m^2-C   weight = 177 kg/m^2
              window-wall ratio = 60 %  SC = .66
SOUTH FACADE  :
CONSTRUCTION :10 cm. h.w. concrete block
              Uw = 2.72 W/m^2-C   weight = 177 kg/m^2
              window-wall ratio = 60 %  SC = .66
EAST FACADE  :
CONSTRUCTION :10 cm. h.w. concrete block
              Uw = 2.72 W/m^2-C   weight = 177 kg/m^2
              window-wall ratio = 60 %  SC = .66
WEST FACADE  :
CONSTRUCTION :10 cm. h.w. concrete block
              Uw = 2.72 W/m^2-C   weight = 177 kg/m^2
              window-wall ratio = 60 %  SC = .66
FLOOR AREA = 25000 sq.m.  HEIGHT = 3.5 m.

OPTIMUM SHAPE OF BUILDING :
(N OR S SIDE / E OR W SIDE)
=  1.10644 : 1
AVERAGE HEAT GAIN (excluded roof) = 205716.1  W
SENSITIVITY COEFFICIENT = 4.114325
```

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) ตัวอย่างการคำนวณหาสัดส่วนอาคารและจำนวนชั้นที่เหมาะสม

OPTIMUM FORM OF BUILDING

TOTAL FLOOR AREA = 25000 sq.m.
NUMBER OF STOREY = 20

STOREY	FL.AREA	Qw (W)	Qr (W)	TOTAL HEAT GAIN (W)
1	25000	205716.2	567000	772716.3
2	12500	290926.6	283500	574426.6
3	8333.333	356311	189000	545311
4	6250	411432.5	141750	553182.5
5	5000	459995.5	113400	573395.5
6	4166.667	503899.7	94500	598399.7
7	3571.429	544273.9	81000	625273.9
8	3125	581853.4	70875	652728.4
9	2777.778	617148.7	63000	680148.7
10	2500	650531.8	56700	707231.8
11	2272.727	682283.6	51545.46	733829
12	2083.333	712622	47250	759872
13	1923.077	741720.4	43615.39	785335.8
14	1785.714	769719.6	40500	810219.6
15	1666.667	796735.5	37800	834535.5
16	1562.5	822864.9	35437.5	858302.4
17	1470.588	848189.9	33352.94	881542.8
18	1388.889	872780.1	31500	904280.1
19	1315.789	896696.2	29842.1	926538.4
20	1250	919990.9	28350	948340.9

OPTIMUM NUMBER OF STOREY = 3
OPTIMUM FLOOR AREA = 8333.333 sq.m.
TOTAL HEAT GAIN = 545311 W