บทที่ 4

การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคาร

รายละเอียดเนื้อหาของบทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ตัวแปรในส่วนเปลือกอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และสรุปเกณฑ์ในการออกแบบเปลือกอาคารสำนักงานที่เหมาะสมต่อการประหยัดพลังงานในเขตร้อนชื้น ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารส่วนเปลือกอาคาร ซึ่งนำมาพิจารณาในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. การออกแบบรูปทรงอาคาร
2. การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารประหยัดพลังงาน
3. การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม

ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

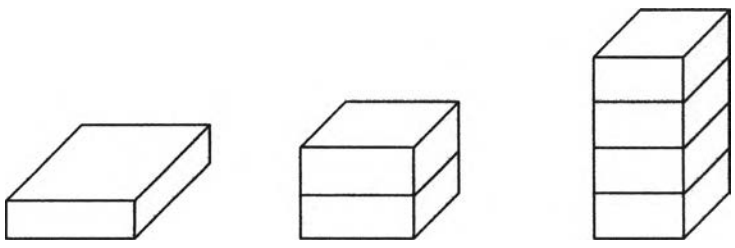
4.1 การศึกษารูปทรงอาคารที่เหมาะสมต่อการประหยัดพลังงาน

การออกแบบรูปทรงอาคาร เป็นปัจจัยแรกที่ผู้ออกแบบควรคำนึงถึง จากการศึกษาข้างต้น พบว่า พื้นที่ผิวเปลือกอาคารส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารโดยตรง เนื่องจากเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก ดังนั้นสิ่งที่ควรพิจารณาอย่างยิ่งคือ อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย ซึ่งอาคารประหยัดพลังงานที่ดีควรมีอัตราส่วนที่ต่ำ

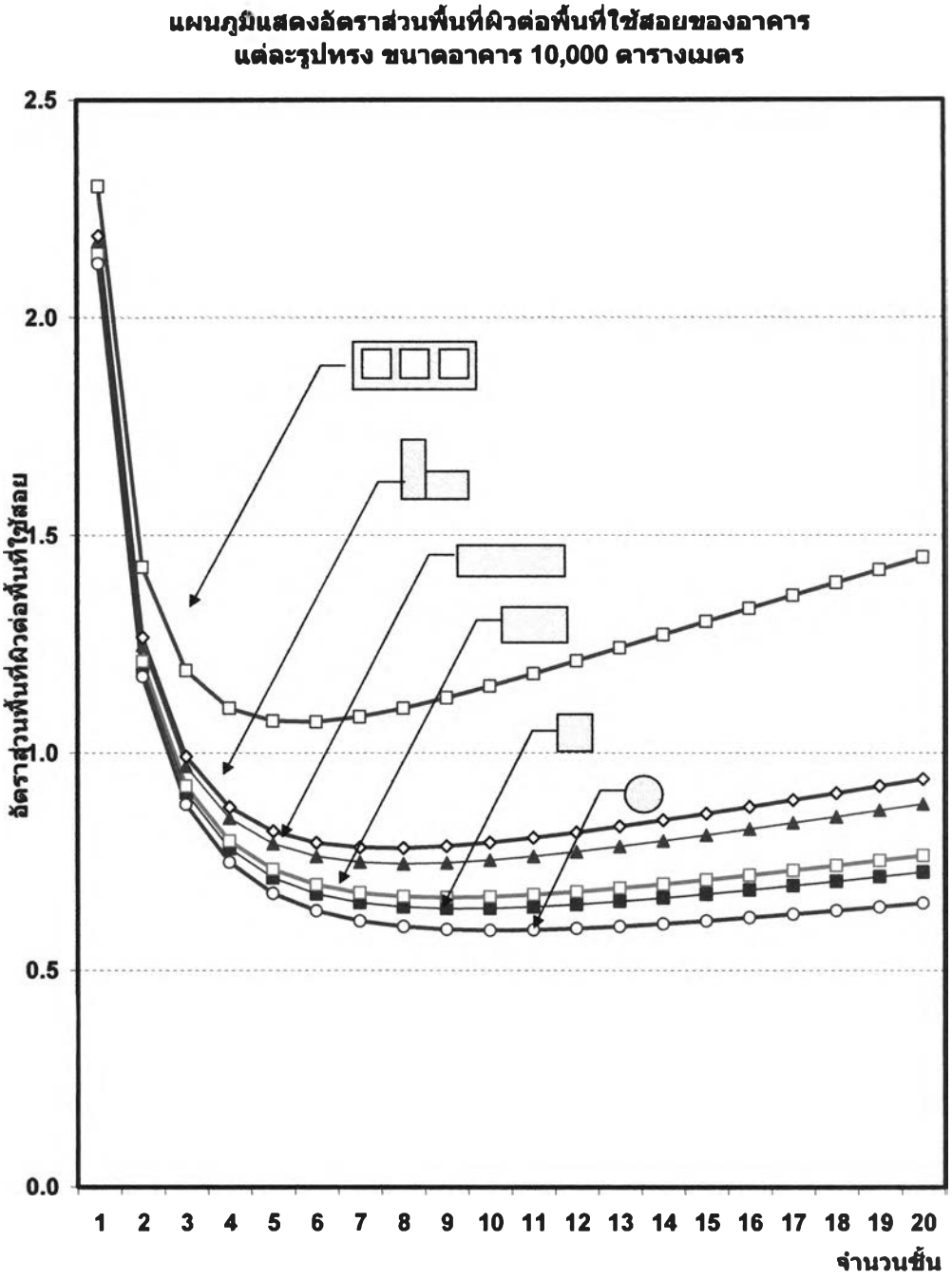
4.1.1. การวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลต่ออัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย

- **การวิเคราะห์รูปทรงอาคาร**

การศึกษาอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยที่มีความเหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด โดยการคำนวณอัตราส่วนเมื่อกำหนดให้มีพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน พิจารณาอาคารขนาด 1,000 – 10,000 ตารางเมตร ทุกอาคารมีระยะความสูงจากพื้นถึงพื้น (Floor to Floor) 4.0 เมตร กรณีอาคารชั้นเดียวกำหนดให้ความสูงจากพื้นถึงพื้นเท่ากับ 5.0 เมตร คำนวณอัตราส่วนพื้นผิว 6 ด้านต่อพื้นที่ใช้สอย ตั้งแต่อาคาร 1-20 ชั้น ของทุกรูปทรงอาคาร



ภาพที่ 4.1 แสดงการลักษณะอาคารที่ใช้ในการคำนวณอัตราส่วนพื้นที่ผิวภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย



แผนภูมิที่ 4.1 แสดงอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปทรงต่างๆ กรณีอาคารขนาดพื้นที่ใช้สอย 10,000 ตารางเมตร

1) **ลักษณะรูปทรงอาคาร สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า** (1:2) **สี่เหลี่ยมผืนผ้า** (1:4) **รูปทรงกระบอก รูปตัวแอล และรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีคอร์ดกลาง**

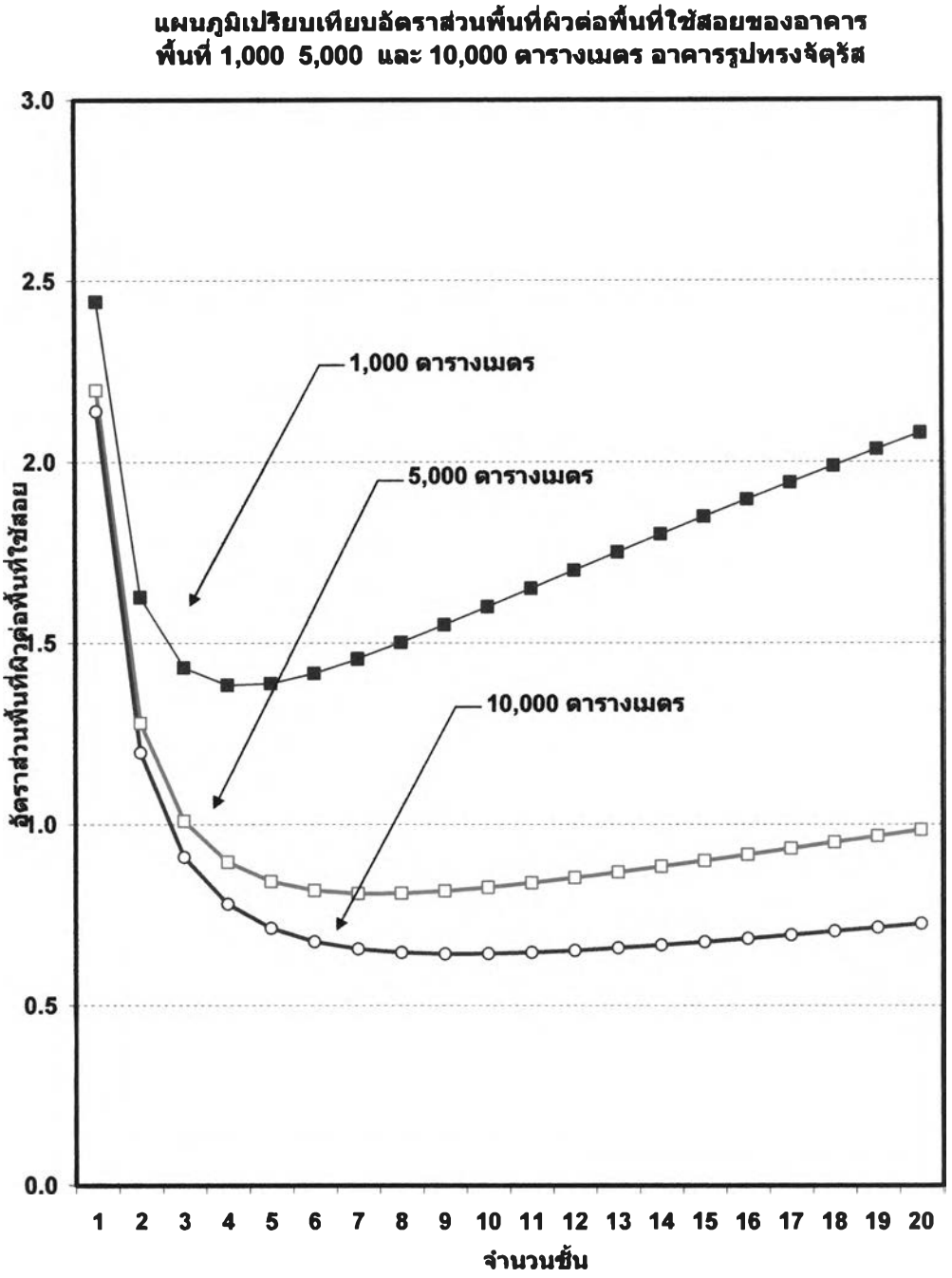
พบว่าของอาคารทุกขนาดพื้นที่มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกรูปทรง คือ เมื่อกำหนดให้พื้นที่ใช้สอยและระยะความสูงระหว่างชั้นคงที่ และมีการเพิ่มจำนวนชั้นขึ้นไปเรื่อยๆ อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยจะลดลงเรื่อยๆจนถึงจุดหนึ่งซึ่งมีค่าอัตราส่วนที่น้อยที่สุดและจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มจำนวนชั้นต่อไปเรื่อยๆ ทั้งนี้เป็นเพราะ ในระดับชั้นแรกๆ อาคารมีพื้นที่ผิวโดยรวมมากโดยเฉพาะส่วนหลังคาและพื้น เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นขึ้น พื้นที่ผิวส่วนพื้นและหลังคาจะลดลงเรื่อยๆรูปทรงอาคารมีความกระชับขึ้น พื้นที่ผิวโดยรวมลดต่ำลงจนถึงระดับที่ต่ำสุด หากมีการเพิ่มจำนวนชั้นต่อไปอีกพื้นที่ผิวอาคารจะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะส่วนผนังทั้ง 4 ด้าน ส่งผลให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยมากขึ้น แสดงในแผนภูมิที่ 4.2

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างรูปทรงที่มีพื้นที่ใช้สอย 10000 ตารางเมตร พบว่ารูปทรงที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด คือรูปทรงกระบอก รองลงมาคือรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปตัวแอล ตามลำดับ มีอัตราส่วนที่สูงที่สุด รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีคอร์ดกลาง ทั้งนี้เป็นเพราะว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีคอร์ดกลางมีเส้นรอบรูปมากกว่าทุกรูปทรง

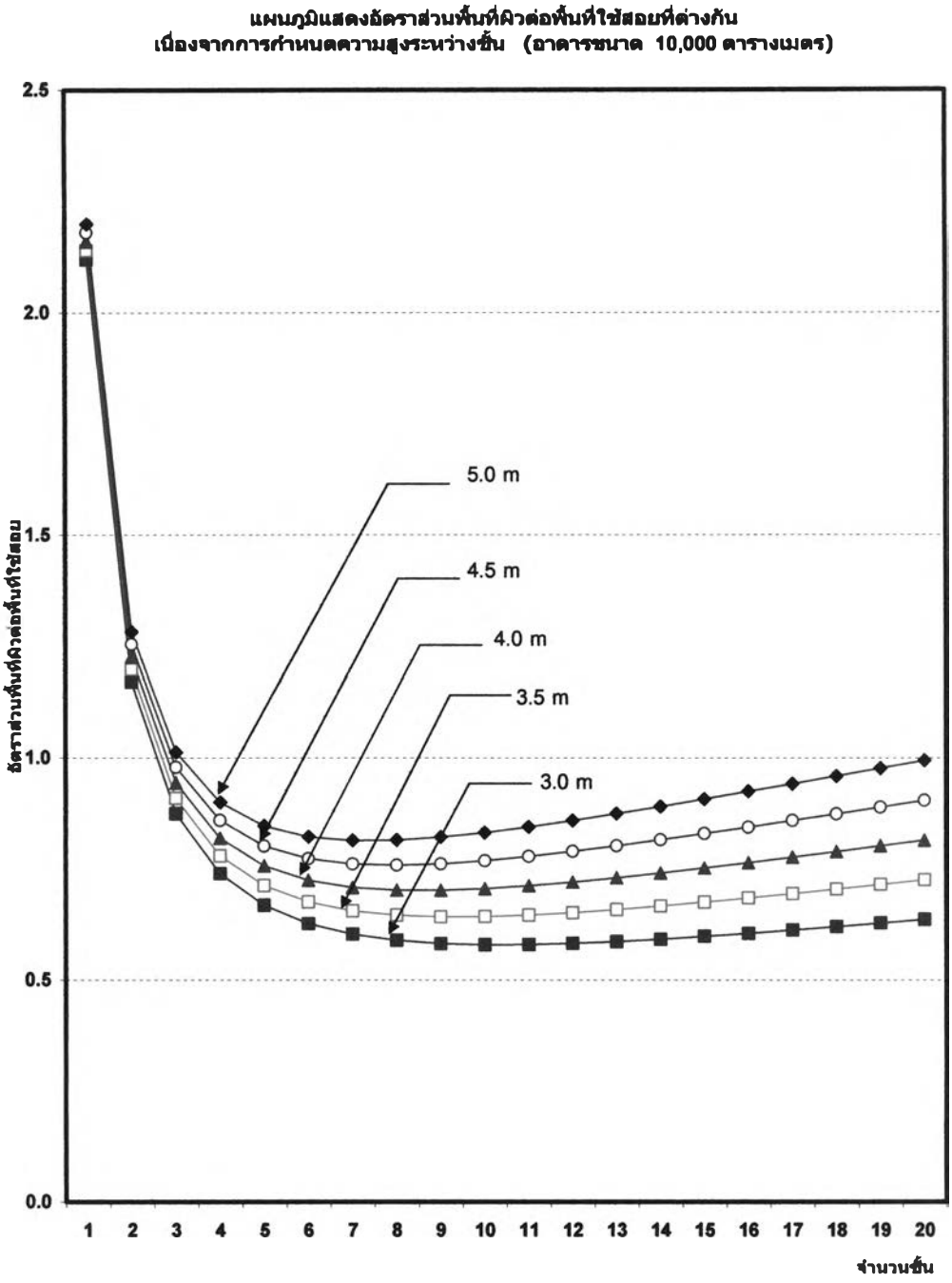
สำหรับอาคารทุกขนาดและทุกรูปทรงจะมีความแตกต่างของอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยในสองชั้นแรกน้อยมาก ตั้งแต่ชั้น 3 เป็นต้นไป อัตราส่วนดังกล่าวของแต่ละรูปทรงจะมีความแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้น อาคารรูปตัวแอลและสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดสัดส่วน 1:4 มีการเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยในอัตราที่สูงขึ้นมากกว่าอาคารรูปทรงกระบอก และสี่เหลี่ยมจตุรัส แสดงในแผนภูมิที่ 4.2

2) **การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอาคารที่มีขนาดพื้นที่ใช้สอยแตกต่างกัน** (1,000 5,000 **และ** 10,000 **ตารางเมตร**)

การเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่มีขนาดพื้นที่ใช้สอยแตกต่างกัน จะเห็นว่า อาคารที่มีพื้นที่ใช้สอย 1,000 ตารางเมตร มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยมากกว่าอาคารขนาด 5,000 และ 10,000 ตารางเมตร ทั้งนี้เป็นเพราะอาคารมีพื้นที่น้อยเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นขึ้น ส่งผลให้มีพื้นที่ต่อชั้นน้อยมากอาคารจึงมีลักษณะสูง พื้นที่ผิวผนังเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยมากขึ้นตามไปด้วย แสดงในแผนภูมิที่ 4.3



แผนภูมิที่ 4.2 แสดงอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปทรงจัตุรัสกรณีอาคารขนาดพื้นที่ใช้สอย 1,000 5,000 และ 10,000 ตารางเมตร



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารที่มีพื้นที่ระหว่างชั้นต่างกัน (3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 เมตร) กรณีอาคารขนาดพื้นที่ใช้สอย 10,000 ตารางเมตร

3) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงระหว่างชั้น (3.0 3.5 4.0 4.5 และ 5.0 **เมตร) กับอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย**

ความสูงระหว่างชั้นเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่ออัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคาร จากการคำนวณอาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยเท่ากันรูปทรงเดียวกัน แต่มีระยะความสูงระหว่างชั้นแตกต่างกัน พบว่า อาคารที่มีระยะความสูง 3.5 เมตร ส่งผลให้เกิดอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยที่ต่ำกว่าทุกกรณี ในทางตรงกันข้ามอาคารที่มีความสูงระหว่างชั้น 5.0 เมตร ส่งผลให้เกิดอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยมากที่สุด

จากการศึกษาดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า การออกแบบรูปทรงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานนั้น ควรเลือกรูปทรงที่มีเส้นรอบรูปที่น้อยและมีขนาดกะทัดรัดเพื่อลดพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร และควรเลือกความสูงที่ส่งผลให้เกิดอัตราส่วนที่ต่ำที่สุด นอกจากนั้นควรมีความสูงระหว่างชั้นที่ไม่สูงเกินไป ตามปกติแล้วควรอยู่ในช่วง 3 – 4 เมตร ขึ้นอยู่กับระบบโครงสร้างอาคาร

4.1.2 การสรุปเกณฑ์ที่เหมาะสมในการออกแบบรูปทรงอาคาร

1) รูปทรงอาคาร

เพื่อทำการศึกษาเกณฑ์ที่เหมาะสมในการออกแบบรูปทรงอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน จึงคำนวณอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารที่มีขนาดแตกต่างกัน ตั้งแต่ 1,000 – 10,000 ตารางเมตร ซึ่งลักษณะรูปทรงอาคารที่พิจารณาเป็นรูปทรงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุดของอาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยตั้งแต่ 1,000 – 10,000 ตารางเมตร ของแต่ละรูปทรง

พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)	สี่เหลี่ยมจัตุรัส 1 : 1	สี่เหลี่ยมผืนผ้า 1 : 2	สี่เหลี่ยมผืนผ้า 1 : 4	ทรงกระบอก	รูปตัวแอล	สี่เหลี่ยมมิดอร์ดกลาง
1,000	1.39	1.44	1.61	1.28	1.69	2.02
2,000	1.10	1.14	1.28	1.01	1.34	1.84
3,000	0.96	1.00	1.11	0.89	1.17	1.60
4,000	0.87	0.91	1.01	0.80	1.06	1.45
5,000	0.81	0.84	0.94	0.75	0.98	1.35
6,000	0.76	0.79	0.88	0.70	0.93	1.27
7,000	0.72	0.75	0.84	0.67	0.88	1.21
8,000	0.69	0.72	0.80	0.64	0.84	1.15
9,000	0.66	0.69	0.77	0.61	0.81	1.11
10,000	0.64	0.67	0.74	0.59	0.78	1.07

เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุดในแต่ละรูปทรงอาคาร (ตารางที่ 4.1) พบว่าอาคารทรงสี่เหลี่ยม (สัดส่วนอาคาร 1:1 , 1:2 และ 1:4) พิจารณาที่พื้นที่ใช้สอยเท่ากัน เมื่อเพิ่มสัดส่วนของอาคารมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยเพิ่มขึ้น ดังนั้นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมสัดส่วนอาคาร 1:1 เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการลดการใช้พลังงานในส่วนเปลือกอาคารได้ดีกว่าอัตราส่วนอาคาร 1:2 และ 1:4 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับอาคารรูปตัว L พบว่า ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยมีค่าสูงกว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูปทรงอาคารทั้งหมด พบว่า อาคารรูปทรงกระบอกมีค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด โดยเฉพาะอาคารที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใกล้เคียงกับความสูง เช่น พื้นที่ใช้สอย 10,000 ตารางเมตร อาคารสูง 10 ชั้น (35 เมตร) เส้นรัศมีเท่ากับ 17.84 เมตร (เส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 35.6 เมตร) จะทำให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด แสดงในตารางที่ 4.6และกรณีอาคารที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีคอร์ดกลาง พบว่ามีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับทรงกระบอกพบว่าอัตราส่วนนี้จะสูงกว่าเป็น 1.8 เท่า จึงทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสกับแสงได้มากที่สุดและนำความร้อนเข้าสู่อาคารได้มากที่สุด ทำให้ต้องใช้ระบบปรับอากาศเพื่อนำความร้อนออกจากอาคารทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

ดังนั้นสรุปได้ว่ารูปทรงกระบอกเป็นรูปทรงที่เหมาะสมมากที่สุดเพราะมีพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำสุด (0.59) โดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปทรงกระบอกที่มีความกว้างและความสูงใกล้เคียงกัน ทำให้มีพื้นที่ในการรับความร้อนจากภายนอกต่ำที่สุดจึงช่วยในการลดการใช้พลังงานในส่วนเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และในทางกลับกันพบว่ารูปทรงสี่เหลี่ยมมีคอร์ดกลางที่มีพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยสูงที่สุด (2.3) จึงเป็นรูปทรงที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานต่ำที่สุด

แต่ในการพิจารณารูปทรงอาคารที่เหมาะสมนั้นต้องมีการคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการก่อสร้างและการใช้งานประกอบด้วย โดยรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความเป็นไปได้ในการก่อสร้างคือต้องมีความกว้างต่ำสุดที่ระยะ 19 เมตร รูปทรงทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำสุด 19 เมตร (Crane Dixon, 1991) และอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าสัดส่วน 1:2 ,1:4 และอาคารรูปตัวแอล มีความกว้างต่ำสุดระยะ 8 เมตร (มาลินี ศรีสุวรรณ, 2542) ดังแสดงในตารางที่ 4.3-4.8 จึงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปทรงต่างๆ ที่เป็นไปได้ในการก่อสร้างและแนะนำแนวทางที่สามารถใช้เป็นทางเลือกในการออกแบบโดยพิจารณารูปทรงและจำนวนชั้นที่มีความเหมาะสมในการประหยัดพลังงานในส่วนเปลือกอาคารได้

ตัวอย่าง ถ้าต้องการออกแบบอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส อัตราส่วนความกว้างต่อความยาวเป็น 1:1 ที่มีพื้นที่ใช้สอย 5000 ตารางเมตร จากในตารางที่ 4.3 พบว่าอาคารที่มีความสูง 7-8 ชั้น (24.5 – 28 เมตร; ความสูงระหว่างพื้นถึงเพดานในแต่ละชั้น 3.5 เมตร) เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดเพราะทำให้อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด (0.81) และถ้าพบว่าอาคารที่มีความสูงมากกว่าหรือน้อยกว่านี้จะมีค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยสูงขึ้นทำให้การใช้พลังงานในส่วนเปลือกอาคารสูงขึ้น

2) **จำนวนชั้นที่เหมาะสมของรูปทรงอาคารแบบต่าง ๆ**

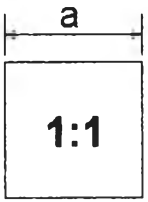
กรณีที่อาคารมีพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน การเพิ่มจำนวนชั้นจะส่งผลต่อพื้นที่ผิวอาคารโดยตรง เมื่อทำการเพิ่มชั้นในช่วงแรกจะส่งผลให้พื้นที่ผิวอาคารลดลงจนถึงจุดที่มีพื้นที่ผิวต่ำที่สุด ซึ่งเป็นจุดที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยน้อยที่สุด หากทำการเพิ่มจำนวนชั้นขึ้นไปอีก อาคารจะมีลักษณะสูงเพรียวอาคารจะมีพื้นที่ผิวมากขึ้นอีก ส่งผลให้อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยสูงขึ้นอีกครั้ง องค์ประกอบอาคารที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารช่วงนี้มากที่สุด คือ พื้นที่กระจก และผนัง ซึ่งเป็นส่วนที่มีการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด ดังนั้นในการออกแบบหากไม่มีความจำเป็นไม่ควรที่จะสร้างอาคารที่มีจำนวนชั้นมากนัก หากจำเป็นที่จะต้องสร้างควรพิจารณาเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนต่อไป จากการศึกษาสามารถสรุปจำนวนชั้นที่มีความเหมาะสมสำหรับอาคารแต่ละรูปทรงที่มีขนาดพื้นที่ใช้สอยต่างกัน ดังนี้

ตารางที่ 4.2 จำนวนชั้นที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด และความเป็นไปได้ในการก่อสร้าง

รูปทรงอาคาร	**พื้นที่ใช้สอยอาคาร (ตารางเมตร)**									
	1000	**2000**	**3000**	**4000**	**5000**	**6000**	**7000**	**8000**	**9000**	**10000**
สี่เหลี่ยมจัตุรัส 1 : 1	-	5	6	7	7-8	8	8	9	9	9
สี่เหลี่ยมผืนผ้า 1 : 2	4	5	6	7	7	8	8	8-9	9	10
สี่เหลี่ยมผืนผ้า 1 : 4	-	5	5	6	6	7	7	7-8	8	8
ทรงกระบอก	-	6	7	7-8	8	8-9	9	9	10	10
L-SHAPE	-	5	5	6	6	6-7	7	7	7-8	8

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย กับพื้นที่ใช้สอยอาคาร , จำนวนชั้น และขนาดอาคาร กรณีอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส สัดส่วน 1 : 1

ชั้น	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (ตารางเมตร)																			
	1000		2000		3000		4000		5000		6000		7000		8000		9000		10000	
	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio
1	31.62	2.44	44.7	2.31	54.8	2.26	63.2	2.22	70.7	2.20	77.5	2.18	83.7	2.17	89.4	2.16	94.9	2.15	100.0	2.14
2	22.36	1.63	31.6	1.44	38.7	1.36	44.7	1.31	50.0	1.28	54.8	1.26	59.2	1.24	63.2	1.22	67.1	1.21	70.7	1.20
3	18.26	1.43	25.8	1.21	31.6	1.11	36.5	1.05	40.8	1.01	44.7	0.98	48.3	0.96	51.6	0.94	54.8	0.92	57.7	0.91
4	15.81	1.39	22.4	1.13	27.4	1.01	31.6	0.94	35.4	0.90	38.7	0.86	41.8	0.83	44.7	0.81	47.4	0.80	50.0	0.78
5	14.14	1.39	20.0	**1.100**	24.5	0.97	28.3	0.89	31.6	0.84	34.6	0.80	37.4	0.77	40.0	0.75	42.4	0.73	44.7	0.71
6	12.91	1.42	18.3	1.10	22.4	**0.959**	25.8	0.88	28.9	0.82	31.6	0.78	34.2	0.74	36.5	0.72	38.7	0.69	40.8	0.68
7	11.95	1.46	16.9	1.11	20.7	0.96	23.9	**0.871**	26.7	**0.810**	29.3	0.76	31.6	0.73	33.8	0.70	35.9	0.68	37.8	0.66
8	11.18	1.50	15.8	1.14	19.4	0.97	22.4	0.88	25.0	**0.810**	27.4	**0.761**	29.6	**0.723**	31.6	0.69	33.5	0.67	35.4	0.65
9	10.54	1.55	14.9	1.16	18.3	0.99	21.1	0.89	23.6	0.82	25.8	0.76	27.9	0.72	29.8	**0.692**	31.6	**0.665**	33.3	**0.642**
10	10.00	1.60	14.1	1.19	17.3	1.01	20.0	0.90	22.4	0.83	24.5	0.77	26.5	0.73	28.3	0.69	30.0	0.67	31.6	0.64
11	9.53	1.65	13.5	1.22	16.5	1.03	19.1	0.92	21.3	0.84	23.4	0.78	25.2	0.74	27.0	0.70	28.6	0.67	30.2	0.65
12	9.13	1.70	12.9	1.25	15.8	1.05	18.3	0.93	20.4	0.85	22.4	0.79	24.2	0.75	25.8	0.71	27.4	0.68	28.9	0.65
13	8.77	1.75	12.4	1.28	15.2	1.08	17.5	0.95	19.6	0.87	21.5	0.81	23.2	0.76	24.8	0.72	26.3	0.69	27.7	0.66
14	8.45	1.80	12.0	1.31	14.6	1.10	16.9	0.97	18.9	0.88	20.7	0.82	22.4	0.77	23.9	0.73	25.4	0.70	26.7	0.67
15	8.16	1.85	11.5	1.35	14.1	1.12	16.3	0.99	18.3	0.90	20.0	0.83	21.6	0.78	23.1	0.74	24.5	0.70	25.8	0.68
16	7.91	1.90	11.2	1.38	13.7	1.15	15.8	1.01	17.7	0.92	19.4	0.85	20.9	0.79	22.4	0.75	23.7	0.72	25.0	0.69
17	7.67	1.94	10.8	1.41	13.3	1.17	15.3	1.03	17.1	0.93	18.8	0.86	20.3	0.81	21.7	0.76	23.0	0.73	24.3	0.69
18	7.45	1.99	10.5	1.44	12.9	1.20	14.9	1.05	16.7	0.95	18.3	0.88	19.7	0.82	21.1	0.78	22.4	0.74	23.6	0.71
19	7.25	2.04	10.3	1.47	12.6	1.22	14.5	1.07	16.2	0.97	17.8	0.89	19.2	0.83	20.5	0.79	21.8	0.75	22.9	0.72
20	7.07	2.08	10.0	1.50	12.2	1.24	14.1	1.09	15.8	0.99	17.3	0.91	18.7	0.85	20.0	0.80	21.2	0.76	22.4	0.73



อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยที่มีความเหมาะสมที่สุด

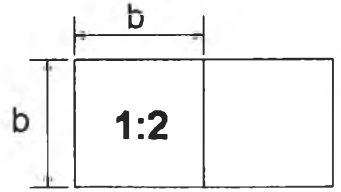
1.00 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมแต่ไม่มีความเหมาะสมในการก่อสร้างและใช้งาน

a ระยะความกว้างของอาคาร

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย กับพื้นที่ใช้สอยอาคาร , จำนวนชั้น และขนาดอาคาร กรณีอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

สัดส่วน 1 : 2

ชั้น	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (ตารางเมตร)																			
	1000		2000		3000		4000		5000		6000		7000		8000		9000		10000	
	b	Ratio	b	Ratio	b	Ratio	b	Ratio	b	Ratio	b	Ratio	b	Ratio	b	Ratio	b	Ratio	b	Ratio
1	22.36	2.47	31.62	2.33	38.73	2.27	44.72	2.23	50.00	2.21	54.77	2.19	59.16	2.18	63.25	2.17	67.08	2.16	70.71	2.15
2	15.81	1.66	22.36	1.47	27.39	1.38	31.62	1.33	35.36	1.30	38.73	1.27	41.83	1.25	44.72	1.23	47.43	1.22	50.00	1.21
3	12.91	1.48	18.26	1.24	22.36	1.14	25.82	1.07	28.87	1.03	31.62	1.00	34.16	0.97	36.51	0.95	38.73	0.94	40.82	0.92
4	11.18	**1.439**	15.81	1.16	19.36	1.04	22.36	0.97	25.00	0.92	27.39	0.88	29.58	0.85	31.62	0.83	33.54	0.81	35.36	0.80
5	10.00	1.45	14.14	**1.142**	17.32	1.01	20.00	0.93	22.36	0.87	24.49	0.83	26.46	0.80	28.28	0.77	30.00	0.75	31.62	0.73
6	9.13	1.48	12.91	1.15	15.81	**0.997**	18.26	0.91	20.41	0.85	22.36	0.80	24.15	0.77	25.82	0.74	27.39	0.72	28.87	0.70
7	8.45	1.53	11.95	1.16	14.64	1.00	16.90	**0.907**	18.90	**0.841**	20.70	0.79	22.36	0.76	23.90	0.72	25.35	0.70	26.73	0.68
8	7.91	1.58	11.18	1.19	13.69	1.02	15.81	0.91	17.68	0.84	19.36	**0.792**	20.92	**0.752**	22.36	**0.720**	23.72	0.69	25.00	0.67
9	7.45	1.63	10.54	1.22	12.91	1.04	14.91	0.93	16.67	0.85	18.26	0.80	19.72	0.75	21.08	**0.720**	22.36	**0.692**	23.57	**0.668**
10	7.07	1.68	10.00	1.25	12.25	1.06	14.14	0.94	15.81	0.86	17.32	0.81	18.71	0.76	20.00	0.73	21.21	0.69	22.36	0.67
11	6.74	1.74	9.53	1.28	11.68	1.08	13.48	0.96	15.08	0.88	16.51	0.82	17.84	0.77	19.07	0.73	20.23	0.70	21.32	0.67
12	6.45	1.79	9.13	1.32	11.18	1.11	12.91	0.98	14.43	0.89	15.81	0.83	17.08	0.78	18.26	0.74	19.36	0.71	20.41	0.68
13	6.20	1.85	8.77	1.35	10.74	1.13	12.40	1.00	13.87	0.91	15.19	0.85	16.41	0.79	17.54	0.75	18.61	0.72	19.61	0.69
14	5.98	1.90	8.45	1.39	10.35	1.16	11.95	1.02	13.36	0.93	14.64	0.86	15.81	0.81	16.90	0.76	17.93	0.73	18.90	0.70
15	5.77	1.95	8.16	1.42	10.00	1.18	11.55	1.04	12.91	0.95	14.14	0.88	15.28	0.82	16.33	0.78	17.32	0.74	18.26	0.71
16	5.59	2.00	7.91	1.45	9.68	1.21	11.18	1.06	12.50	0.97	13.69	0.89	14.79	0.83	15.81	0.79	16.77	0.75	17.68	0.72
17	5.42	2.05	7.67	1.49	9.39	1.24	10.85	1.09	12.13	0.98	13.28	0.91	14.35	0.85	15.34	0.80	16.27	0.76	17.15	0.73
18	5.27	2.10	7.45	1.52	9.13	1.26	10.54	1.11	11.79	1.00	12.91	0.92	13.94	0.86	14.91	0.82	15.81	0.78	16.67	0.74
19	5.13	2.15	7.25	1.55	8.89	1.29	10.26	1.13	11.47	1.02	12.57	0.94	13.57	0.88	14.51	0.83	15.39	0.79	16.22	0.75
20	5.00	2.20	7.07	1.58	8.66	1.31	10.00	1.15	11.18	1.04	12.25	0.96	13.23	0.89	14.14	0.84	15.00	0.80	15.81	0.76



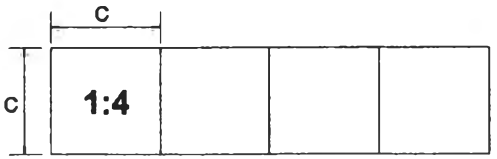
อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยที่มีความเหมาะสมที่สุด

1.00 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมแต่ไม่มีความเหมาะสมในการก่อสร้างและใช้งาน

a ระยะความกว้างของอาคาร

ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย กับพื้นที่ใช้สอยอาคาร , จำนวนชั้น และขนาดอาคาร กรณีอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า สัดส่วน 1 : 4

ชั้น	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (ตารางเมตร)																			
	1000		2000		3000		4000		5000		6000		7000		8000		9000		10000	
	c	Ratio	c	Ratio	c	Ratio	c	Ratio	c	Ratio	c	Ratio	c	Ratio	c	Ratio	c	Ratio	c	Ratio
1	15.8	2.55	22.4	2.39	27.4	2.32	31.6	2.28	35.4	2.25	38.7	2.23	41.8	2.21	44.7	2.20	47.4	2.18	50.0	2.18
2	11.2	1.78	15.8	1.55	19.4	1.45	22.4	1.39	25.0	1.35	27.4	1.32	29.6	1.30	31.6	1.28	33.5	1.26	35.4	1.25
3	9.1	1.63	12.9	1.34	15.8	1.22	18.3	1.15	20.4	1.10	22.4	1.06	24.2	1.03	25.8	1.01	27.4	0.99	28.9	0.97
4	7.9	1.61	11.2	1.28	13.7	1.14	15.8	1.05	17.7	0.99	19.4	0.95	20.9	0.92	22.4	0.89	23.7	0.87	25.0	0.85
5	7.1	1.64	10.0	**1.275**	12.2	**1.114**	14.1	1.02	15.8	0.95	17.3	0.91	18.7	0.87	20.0	0.84	21.2	0.81	22.4	0.79
6	6.5	1.69	9.1	1.29	11.2	1.12	12.9	**1.011**	14.4	**0.940**	15.8	0.89	17.1	0.85	18.3	0.81	19.4	0.79	20.4	0.76
7	6.0	1.75	8.5	1.32	10.4	1.13	12.0	1.02	13.4	0.94	14.6	**0.883**	15.8	**0.839**	16.9	**0.803**	17.9	0.77	18.9	0.75
8	5.6	1.82	7.9	1.36	9.7	1.15	11.2	1.03	12.5	0.95	13.7	0.89	14.8	0.84	15.8	**0.803**	16.8	**0.772**	17.7	**0.746**
9	5.3	1.88	7.5	1.40	9.1	1.18	10.5	1.05	11.8	0.96	12.9	0.90	13.9	0.85	14.9	0.81	15.8	0.78	16.7	0.75
10	5.0	1.95	7.1	1.44	8.7	1.21	10.0	1.08	11.2	0.98	12.2	0.91	13.2	0.86	14.1	0.82	15.0	0.78	15.8	0.75
11	4.8	2.02	6.7	1.48	8.3	1.24	9.5	1.10	10.7	1.00	11.7	0.93	12.6	0.88	13.5	0.83	14.3	0.79	15.1	0.76
12	4.6	2.08	6.5	1.52	7.9	1.27	9.1	1.13	10.2	1.02	11.2	0.95	12.1	0.89	12.9	0.84	13.7	0.81	14.4	0.77
13	4.4	2.15	6.2	1.56	7.6	1.31	8.8	1.15	9.8	1.05	10.7	0.97	11.6	0.91	12.4	0.86	13.2	0.82	13.9	0.78
14	4.2	2.21	6.0	1.61	7.3	1.34	8.5	1.18	9.4	1.07	10.4	0.99	11.2	0.93	12.0	0.87	12.7	0.83	13.4	0.80
15	4.1	2.28	5.8	1.65	7.1	1.37	8.2	1.20	9.1	1.09	10.0	1.01	10.8	0.94	11.5	0.89	12.2	0.85	12.9	0.81
16	4.0	2.34	5.6	1.69	6.8	1.40	7.9	1.23	8.8	1.11	9.7	1.03	10.5	0.96	11.2	0.91	11.9	0.86	12.5	0.83
17	3.8	2.40	5.4	1.73	6.6	1.43	7.7	1.26	8.6	1.14	9.4	1.05	10.1	0.98	10.8	0.92	11.5	0.88	12.1	0.84
18	3.7	2.46	5.3	1.77	6.5	1.47	7.5	1.29	8.3	1.16	9.1	1.07	9.9	1.00	10.5	0.94	11.2	0.89	11.8	0.85
19	3.6	2.52	5.1	1.81	6.3	1.50	7.3	1.31	8.1	1.18	8.9	1.09	9.6	1.02	10.3	0.96	10.9	0.91	11.5	0.87
20	3.5	2.57	5.0	1.85	6.1	1.53	7.1	1.34	7.9	1.21	8.7	1.11	9.4	1.04	10.0	0.98	10.6	0.92	11.2	0.88



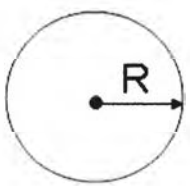
อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยที่มีความเหมาะสมที่สุด

1.00 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมแต่ไม่มีความเหมาะสมในการก่อสร้างและใช้งาน

a ระยะความกว้างของอาคาร

ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย กับพื้นที่ใช้สอยอาคาร , จำนวนชั้น และขนาดอาคาร กรณีอาคารรูปทรงกระบอก

ชั้น	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (ตารางเมตร)																			
	1000		2000		3000		4000		5000		6000		7000		8000		9000		10000	
	R	Ratio	R	Ratio	R	Ratio	R	Ratio	R	Ratio	R	Ratio	R	Ratio	R	Ratio	R	Ratio	R	Ratio
1	17.84	2.39	25.23	2.28	30.90	2.23	35.67	2.20	39.89	2.18	43.69	2.16	47.19	2.15	50.45	2.14	53.51	2.13	56.41	2.12
2	12.61	1.55	17.84	1.39	21.85	1.32	25.23	1.28	28.20	1.25	30.90	1.23	33.37	1.21	35.67	1.20	37.84	1.18	39.89	1.18
3	10.30	1.35	14.56	1.15	17.84	1.06	20.60	1.01	23.03	0.97	25.23	0.94	27.25	0.92	29.13	0.91	30.90	0.89	32.57	0.88
4	8.92	1.28	12.61	1.05	15.45	0.95	17.84	0.89	19.94	0.85	21.85	0.82	23.60	0.80	25.23	0.78	26.76	0.76	28.20	0.75
5	7.98	1.28	11.28	1.02	13.82	0.91	15.95	0.84	17.84	0.79	19.54	0.76	21.11	0.73	22.56	0.71	23.93	0.69	25.23	0.68
6	7.28	1.29	10.30	**1.013**	12.61	0.89	14.56	0.81	16.28	0.76	17.84	0.73	19.27	0.70	20.60	0.67	21.85	0.65	23.03	0.64
7	6.74	1.32	9.53	1.02	11.68	**0.885**	13.48	**0.805**	15.08	0.75	16.51	0.71	17.84	0.68	19.07	0.65	20.23	0.63	21.32	0.61
8	6.31	1.36	8.92	1.03	10.92	0.89	12.61	**0.805**	14.10	**0.746**	15.45	**0.703**	16.69	0.67	17.84	0.64	18.92	0.62	19.94	0.60
9	5.95	1.40	8.41	1.05	10.30	0.90	11.89	0.81	13.30	0.75	14.56	**0.703**	15.73	**0.667**	16.82	**0.638**	17.84	0.61	18.80	0.59
10	5.64	1.44	7.98	1.08	9.77	0.92	11.28	0.82	12.61	0.75	13.82	0.71	14.92	0.67	15.95	0.64	16.92	**0.614**	17.84	**0.592**
11	5.38	1.48	7.61	1.10	9.32	0.93	10.76	0.83	12.03	0.76	13.17	0.71	14.23	0.67	15.21	0.64	16.13	0.62	17.01	0.59
12	5.15	1.53	7.28	1.13	8.92	0.95	10.30	0.85	11.51	0.77	12.61	0.72	13.62	0.68	14.56	0.65	15.45	0.62	16.28	0.60
13	4.95	1.57	7.00	1.15	8.57	0.97	9.89	0.86	11.06	0.79	12.12	0.73	13.09	0.69	13.99	0.65	14.84	0.63	15.64	0.60
14	4.77	1.61	6.74	1.18	8.26	0.99	9.53	0.88	10.66	0.80	11.68	0.74	12.61	0.70	13.48	0.66	14.30	0.63	15.08	0.61
15	4.61	1.65	6.51	1.21	7.98	1.01	9.21	0.89	10.30	0.81	11.28	0.75	12.19	0.71	13.03	0.67	13.82	0.64	14.56	0.61
16	4.46	1.69	6.31	1.23	7.72	1.03	8.92	0.91	9.97	0.83	10.92	0.77	11.80	0.72	12.61	0.68	13.38	0.65	14.10	0.62
17	4.33	1.74	6.12	1.26	7.49	1.05	8.65	0.93	9.67	0.84	10.60	0.78	11.45	0.73	12.24	0.69	12.98	0.66	13.68	0.63
18	4.20	1.78	5.95	1.29	7.28	1.07	8.41	0.94	9.40	0.86	10.30	0.79	11.12	0.74	11.89	0.70	12.61	0.67	13.30	0.64
19	4.09	1.82	5.79	1.31	7.09	1.09	8.18	0.96	9.15	0.87	10.02	0.80	10.83	0.75	11.57	0.71	12.28	0.68	12.94	0.65
20	3.99	1.86	5.64	1.34	6.91	1.11	7.98	0.98	8.92	0.88	9.77	0.82	10.55	0.76	11.28	0.72	11.97	0.69	12.61	0.65



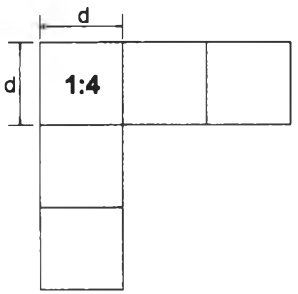
อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยที่มีความเหมาะสมที่สุด

1.00 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมแต่ไม่มีความเหมาะสมในการก่อสร้างและใช้งาน

a ระยะความกว้างของอาคาร

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย กับพื้นที่ใช้สอยอาคาร , จำนวนชั้น และขนาดอาคาร กรณีอาคารรูปทรงตัวแอล

ชั้น	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (ตารางเมตร)																			
	1000		2000		3000		4000		5000		6000		7000		8000		9000		10000	
	d	Ratio	d	Ratio	d	Ratio	d	Ratio	d	Ratio	d	Ratio	d	Ratio	d	Ratio	d	Ratio	d	Ratio
1	14.14	2.59	20.00	2.42	24.49	2.34	28.28	2.30	31.62	2.27	34.64	2.24	37.42	2.22	40.00	2.21	42.43	2.20	44.72	2.19
2	10.00	1.84	14.14	1.59	17.32	1.48	20.00	1.42	22.36	1.38	24.49	1.34	26.46	1.32	28.28	1.30	30.00	1.28	31.62	1.27
3	8.16	**1.695**	11.55	1.39	14.14	1.26	16.33	1.18	18.26	1.13	20.00	1.09	21.60	1.06	23.09	1.03	24.49	1.01	25.82	0.99
4	7.07	1.69	10.00	1.34	12.25	1.19	14.14	1.09	15.81	1.03	17.32	0.98	18.71	0.95	20.00	0.92	21.21	0.90	22.36	0.88
5	6.32	1.73	8.94	**1.339**	10.95	**1.167**	12.65	1.06	14.14	0.99	15.49	0.94	16.73	0.90	17.89	0.87	18.97	0.84	20.00	0.82
6	5.77	1.79	8.16	1.36	10.00	1.17	11.55	**1.061**	12.91	**0.984**	14.14	**0.927**	15.28	0.88	16.33	0.85	17.32	0.82	18.26	0.79
7	5.35	1.86	7.56	1.40	9.26	1.19	10.69	1.07	11.95	0.99	13.09	**0.927**	14.14	**0.880**	15.12	**0.841**	16.04	**0.810**	16.90	0.78
8	5.00	1.93	7.07	1.44	8.66	1.22	10.00	1.09	11.18	1.00	12.25	0.94	13.23	0.88	14.14	0.84	15.00	**0.810**	15.81	**0.781**
9	4.71	2.00	6.67	1.48	8.16	1.25	9.43	1.11	10.54	1.02	11.55	0.95	12.47	0.90	13.33	0.85	14.14	0.82	14.91	0.79
10	4.47	2.08	6.32	1.53	7.75	1.28	8.94	1.14	10.00	1.04	10.95	0.97	11.83	0.91	12.65	0.86	13.42	0.83	14.14	0.79
11	4.26	2.15	6.03	1.57	7.39	1.32	8.53	1.17	9.53	1.06	10.44	0.99	11.28	0.93	12.06	0.88	12.79	0.84	13.48	0.80
12	4.08	2.22	5.77	1.62	7.07	1.35	8.16	1.20	9.13	1.09	10.00	1.01	10.80	0.94	11.55	0.89	12.25	0.85	12.91	0.82
13	3.92	2.30	5.55	1.67	6.79	1.39	7.84	1.22	8.77	1.11	9.61	1.03	10.38	0.96	11.09	0.91	11.77	0.87	12.40	0.83
14	3.78	2.37	5.35	1.71	6.55	1.43	7.56	1.25	8.45	1.14	9.26	1.05	10.00	0.98	10.69	0.93	11.34	0.88	11.95	0.85
15	3.65	2.43	5.16	1.76	6.32	1.46	7.30	1.28	8.16	1.16	8.94	1.07	9.66	1.00	10.33	0.95	10.95	0.90	11.55	0.86
16	3.54	2.50	5.00	1.81	6.12	1.50	7.07	1.31	7.91	1.19	8.66	1.09	9.35	1.02	10.00	0.97	10.61	0.92	11.18	0.88
17	3.43	2.57	4.85	1.85	5.94	1.53	6.86	1.34	7.67	1.21	8.40	1.12	9.07	1.04	9.70	0.98	10.29	0.93	10.85	0.89
18	3.33	2.63	4.71	1.89	5.77	1.57	6.67	1.37	7.45	1.24	8.16	1.14	8.82	1.06	9.43	1.00	10.00	0.95	10.54	0.91
19	3.24	2.69	4.59	1.94	5.62	1.60	6.49	1.40	7.25	1.26	7.95	1.16	8.58	1.08	9.18	1.02	9.73	0.97	10.26	0.92
20	3.16	2.76	4.47	1.98	5.48	1.63	6.32	1.43	7.07	1.29	7.75	1.18	8.37	1.10	8.94	1.04	9.49	0.99	10.00	0.94



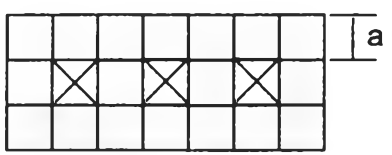
อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยที่มีความเหมาะสมที่สุด

1.00 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมแต่ไม่มีความเหมาะสมในการก่อสร้างและใช้งาน

a ระยะความกว้างของอาคาร

ตารางที่4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอย กับพื้นที่ใช้สอยอาคาร จำนวนชั้น และขนาดอาคาร กรณีอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมมีคอร์ดกลาง

ชั้น	พื้นที่ใช้สอยอาคาร (ตารางเมตร)																			
	1000		2000		3000		4000		5000		6000		7000		8000		9000		10000	
	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio	a	Ratio
1	7.5	2.95	10.5	2.67	54.8	2.55	14.9	2.48	16.7	2.43	18.3	2.39	19.7	2.36	21.1	2.34	22.4	2.32	23.6	2.30
2	5.3	2.35	7.5	1.95	38.7	1.78	10.5	1.67	11.8	1.60	12.9	1.55	13.9	1.51	14.9	1.48	15.8	1.45	16.7	1.43
3	4.3	**2.32**	6.1	**1.84**	31.6	1.62	8.6	1.49	9.6	1.41	10.5	1.34	11.4	1.29	12.2	1.25	12.9	1.22	13.6	1.19
4	3.7	2.41	5.3	1.85	27.4	**1.60**	7.5	**1.45**	8.3	**1.35**	9.1	1.28	9.9	1.22	10.5	1.17	11.2	1.14	11.8	1.10
5	3.3	2.53	4.7	1.91	24.5	1.63	6.7	1.47	7.5	**1.35**	8.2	**1.27**	8.8	**1.21**	9.4	**1.15**	10.0	**1.11**	10.5	**1.07**
6	3.0	2.67	4.3	1.99	22.4	1.68	6.1	1.50	6.8	1.38	7.5	1.29	8.1	1.22	8.6	1.16	9.1	**1.11**	9.6	**1.07**
7	2.8	2.81	4.0	2.07	20.7	1.74	5.6	1.55	6.3	1.41	6.9	1.32	7.5	1.24	8.0	1.18	8.5	1.13	8.9	1.08
8	2.6	2.95	3.7	2.16	19.4	1.81	5.3	1.60	5.9	1.46	6.5	1.35	7.0	1.27	7.5	1.20	7.9	1.15	8.3	1.10
9	2.5	3.08	3.5	2.25	18.3	1.87	5.0	1.65	5.6	1.50	6.1	1.39	6.6	1.30	7.0	1.23	7.5	1.18	7.9	1.13
10	2.4	3.22	3.3	2.33	17.3	1.94	4.7	1.71	5.3	1.55	5.8	1.43	6.2	1.34	6.7	1.27	7.1	1.21	7.5	1.15
11	2.2	3.35	3.2	2.42	16.5	2.01	4.5	1.76	5.0	1.60	5.5	1.47	5.9	1.38	6.4	1.30	6.7	1.24	7.1	1.18
12	2.2	3.47	3.0	2.50	15.8	2.07	4.3	1.82	4.8	1.64	5.3	1.52	5.7	1.42	6.1	1.34	6.5	1.27	6.8	1.21
13	2.1	3.59	2.9	2.59	15.2	2.14	4.1	1.87	4.6	1.69	5.1	1.56	5.5	1.45	5.8	1.37	6.2	1.30	6.5	1.24
14	2.0	3.71	2.8	2.67	14.6	2.20	4.0	1.93	4.5	1.74	4.9	1.60	5.3	1.49	5.6	1.40	6.0	1.33	6.3	1.27
15	1.9	3.83	2.7	2.75	14.1	2.27	3.8	1.98	4.3	1.79	4.7	1.64	5.1	1.53	5.4	1.44	5.8	1.37	6.1	1.30
16	1.9	3.94	2.6	2.82	13.7	2.33	3.7	2.03	4.2	1.83	4.6	1.68	4.9	1.57	5.3	1.47	5.6	1.40	5.9	1.33
17	1.8	4.05	2.6	2.90	13.3	2.39	3.6	2.08	4.0	1.88	4.4	1.72	4.8	1.60	5.1	1.51	5.4	1.43	5.7	1.36
18	1.8	4.16	2.5	2.97	12.9	2.45	3.5	2.13	3.9	1.92	4.3	1.76	4.6	1.64	5.0	1.54	5.3	1.46	5.6	1.39
19	1.7	4.26	2.4	3.05	12.6	2.51	3.4	2.18	3.8	1.97	4.2	1.80	4.5	1.68	4.8	1.58	5.1	1.49	5.4	1.42
20	1.7	4.37	2.4	3.12	12.2	2.56	3.3	2.23	3.7	2.01	4.1	1.84	4.4	1.71	4.7	1.61	5.0	1.52	5.3	1.45



อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยที่มีความเหมาะสมที่สุด

1.00 อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมแต่ไม่มีความเหมาะสมในการก่อสร้างและใช้งาน

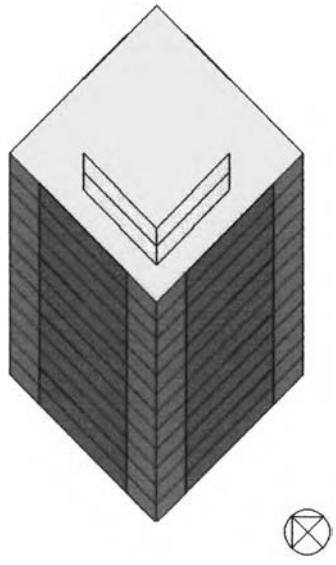
a ระยะความกว้างของอาคาร

4.2 การพิจารณาคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร

การเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารโดยตรง เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเข้าสู่ภายใน ดังนั้นคุณสมบัติของวัสดุที่ควรคำนึงถึง คือ การป้องกันการถ่ายเทความร้อน หรือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) เนื้อหาในส่วนนี้ได้ศึกษาค่าคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของวัสดุเปลือกอาคารที่เหมาะสม และพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนกับอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคาร

4.2.1 การวิเคราะห์ช่วงที่เหมาะสมของวัสดุเปลือกอาคาร

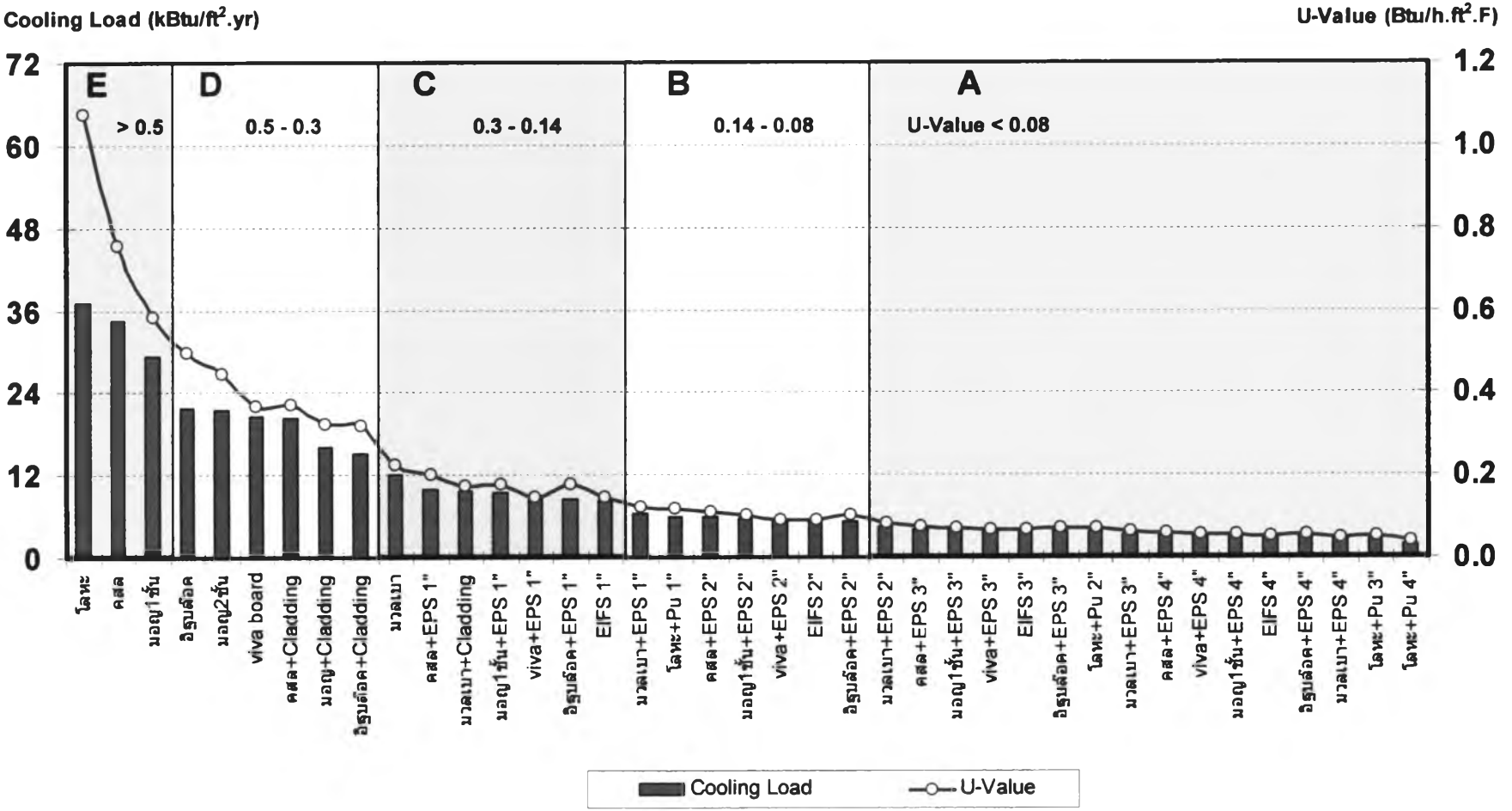
เพื่อทำการศึกษาค่าคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของวัสดุเปลือกอาคารที่เหมาะสม จึงทำการคำนวณภาระการทำความเย็นตลอดทั้งปีของวัสดุเปลือกอาคารทึบแสงแต่ละชนิดด้วยโปรแกรม DOE21E โดยเขียนอาคารจำลองขึ้นมาในโปรแกรมตามรายละเอียดข้างล่างนี้ แล้วป้อนข้อมูลคุณสมบัติการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเข้าไป แล้วคำนวณด้วยโปรแกรม DOE21E นำผลการคำนวณภาระการทำความเย็นตลอดทั้งปีมาหาค่าเฉลี่ยต่อพื้นที่ผิวของวัสดุนั้น (มีหน่วยเป็น kBtu/ft^2 yr) แล้วนำค่าทั้งหมดแต่ละชนิดมาเรียงกันตั้งแต่ค่าสูงสุดไปค่าต่ำสุดและทำการวิเคราะห์หาช่วงที่เหมาะสมโดยการพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ลดลง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ทำการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุอาคารเท่านั้น (ในระหว่างการคำนวณองค์ประกอบหนึ่งของอาคารควรมีการควบคุมตัวแปรองค์ประกอบส่วนที่เหลือให้เหมือนกัน เช่น คำนวณส่วนหลังคา ควรควบคุมตัวแปรส่วนผนัง กระจก และพื้น ให้มีค่า U-Value ต่ำที่สุด)



รายละเอียดอาคารจำลอง

- ขนาดกว้างxยาว 40x40 เมตร
- จำนวน 12 ชั้น ความสูงรวม 42 เมตร ระยะห่างระหว่างชั้น 3.5 เมตร
- Window to Wall Ratio 50 %
- การวางอาคารทิศทางหลัก แนวเหนือ-ใต้
- การใช้งาน 8:00 – 16:00 น.
- ควบคุมปัจจัยภายในทั้งหมด

แผนภูมิที่ 4.4 แสดงรายละเอียดอาคารจำลองที่ใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นในส่วนเปลือกอาคารทึบแสง



แผนภูมิที่ 4.5 แสดงการแบ่งกลุ่มวัสดุผนังตามค่า U-Value

1) **การวิเคราะห์หาช่วงค่า U-Value ที่เหมาะสมในส่วนผนัง**

เมื่อป้อนข้อมูลวัสดุผนังทั้งชนิดที่มีมวลสารมาก มวลสารปานกลาง มวลสารน้อย รวมถึงผนังประกอบขึ้นจากหลายวัสดุ และผนังที่มีการติดตั้งฉนวน ในโปรแกรม DOE21E แล้วนำผลภาระการทำความเย็นที่ได้มาเรียงกันตั้งแต่ค่าสูงสุดไปถึงค่าต่ำสุด และทำการพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่ลดลงไป พบว่า สามารถแบ่งผนังออกเป็น 5 กลุ่ม ตามค่า U-Value ของวัสดุ ดังนี้

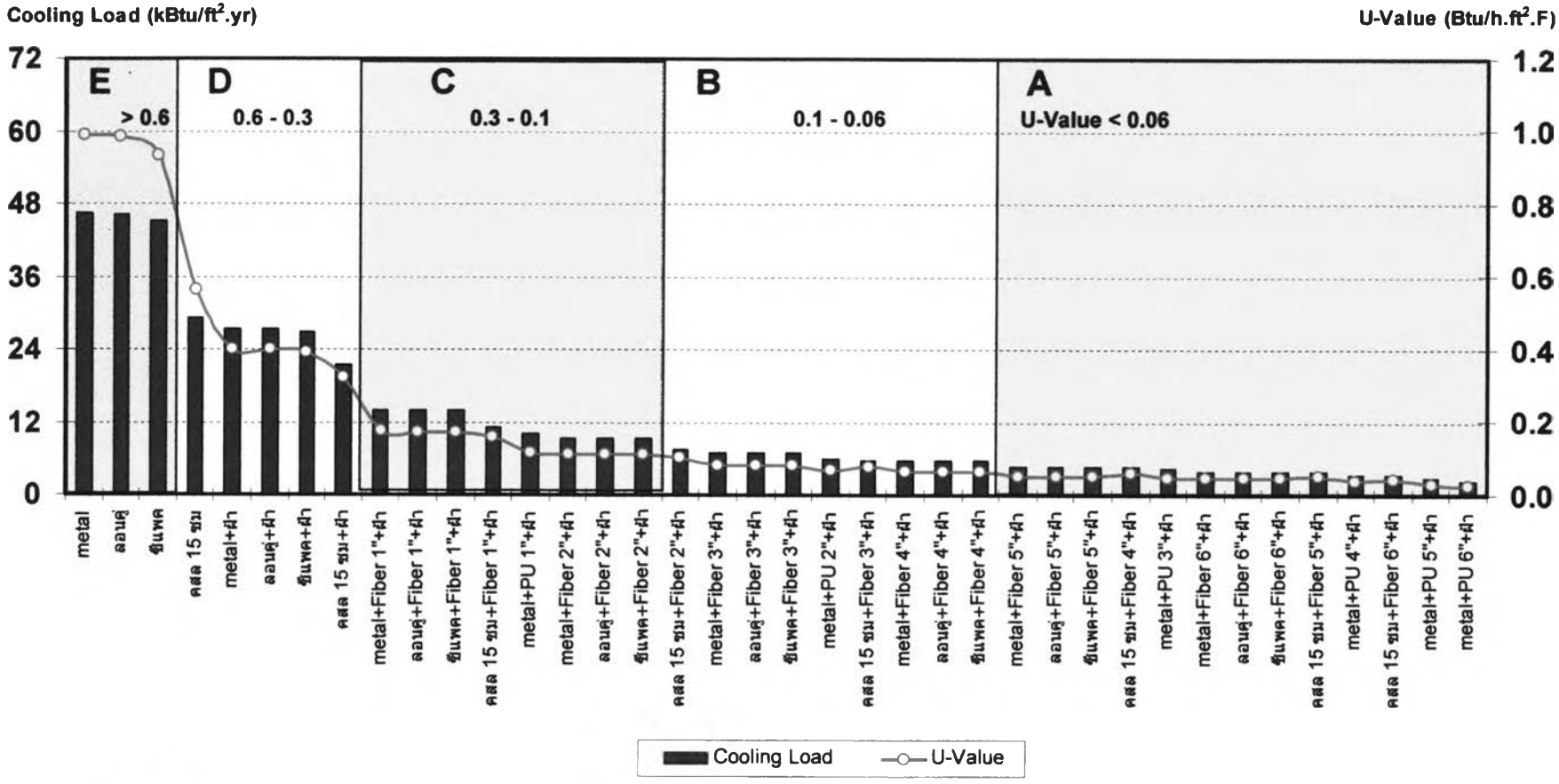
กลุ่ม E **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value มากกว่า 0.5 Btu/h.ft^2.F ขึ้นไป จัดได้ว่าเป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงที่สุด ได้แก่ ผนังโลหะ, ผนัง คสล. และอิฐมอญ

กลุ่ม D **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ในช่วง 0.5-0.3 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงรองลงมา สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 25 % ได้แก่ ผนังก่ออิฐมอญ 2 ชั้น และผนังประกอบขึ้นจากหลายวัสดุ

กลุ่ม C **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ในช่วง 0.3-0.14 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงระดับปานกลาง สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 45 % ได้แก่ ผนังมวลเบา และผนังที่มีการติดตั้งฉนวนหนาประมาณ 1 นิ้ว

กลุ่ม B **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ในช่วง 0.14 -0.08 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานต่ำ สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 65 % ได้แก่ ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนหนาประมาณ 2 นิ้ว

กลุ่ม A **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ต่ำกว่า 0.08 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานต่ำที่สุด สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 85 % ได้แก่ ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนหนาประมาณ 3 นิ้ว ขึ้นไป จะสังเกตได้ว่าหากมีการเพิ่มความหนาของฉนวนมากขึ้น สำหรับผนังกลุ่มนี้จะส่งผลให้ภาระการทำความเย็นลดลงไปน้อยมากซึ่งไม่คุ้มค่าการการลงทุน



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการแบ่งกลุ่มวัสดุหลังคาตามค่า U-Value

2) **การวิเคราะห์หาช่วง** U-Value **ที่เหมาะสมของส่วนหลังคา**

หลังคาที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย หลังคาที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน , มีการติดตั้งฝ้าเพดาน , และมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน จากการคำนวณสามารถแบ่งหลังคาออกเป็น 5 กลุ่ม ตามค่า U-Value ของวัสดุ ดังนี้

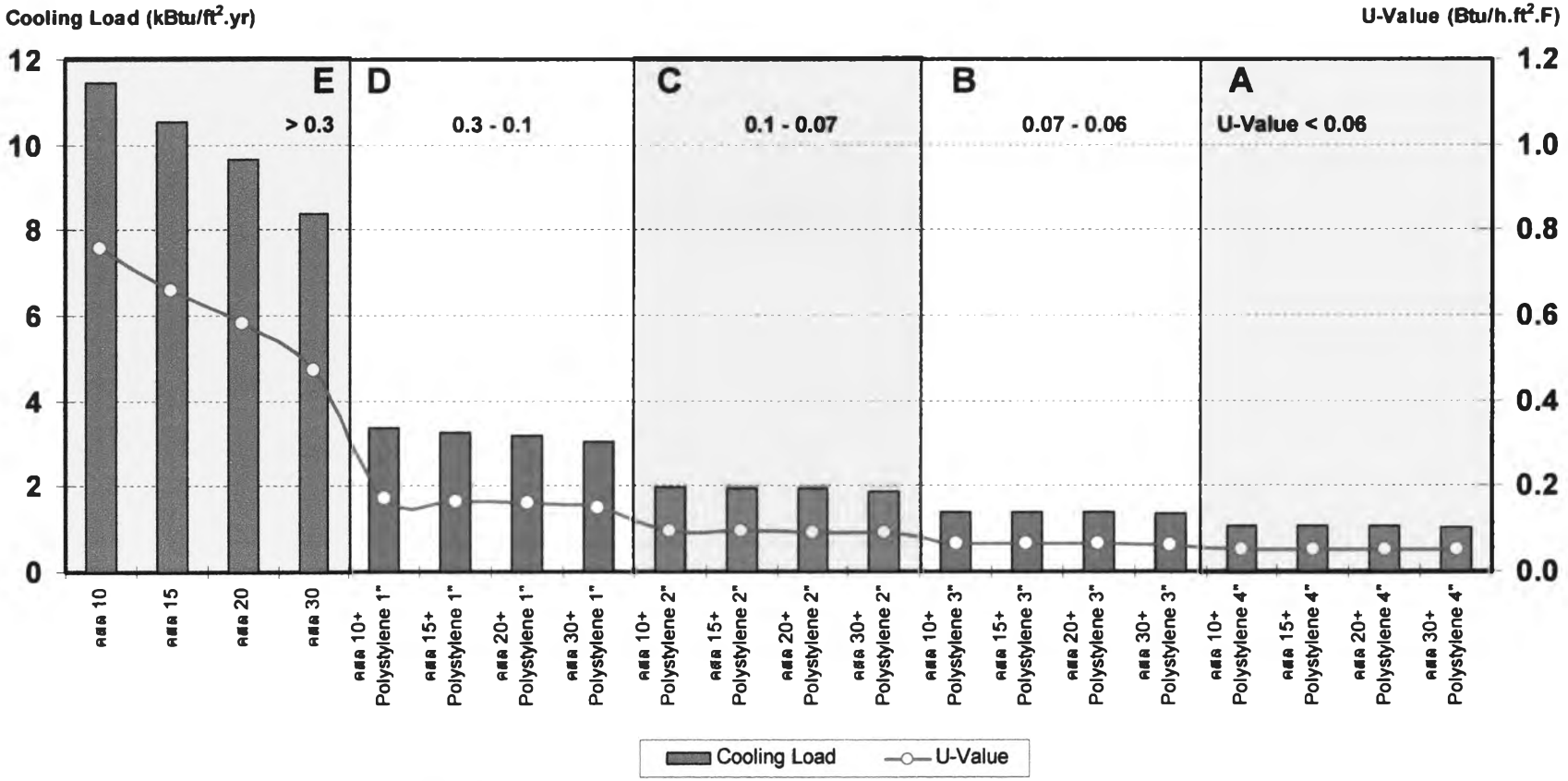
กลุ่ม E **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value มากกว่า 0.6 Btu/h.ft^2.F ขึ้นไป จัดได้ว่าเป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงที่สุด ได้แก่ หลังคาที่ติดตั้งด้วยโครงที่ไม่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน

กลุ่ม D **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ในช่วง 0.6-0.3 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงรองลงมา สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 35 % ได้แก่ หลังคาที่มีการติดตั้งฝ้าเพดาน

กลุ่ม C **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ในช่วง 0.3-0.1 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงระดับปานกลาง สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 70 % ได้แก่ หลังคาที่มีการติดตั้งฉนวนหนา 1-2 นิ้ว

กลุ่ม B **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ในช่วง 0.1 -0.06 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานต่ำ สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 83 % ได้แก่ หลังคาที่มีการติดตั้งฉนวนหนาประมาณ 3-4 นิ้ว

กลุ่ม A **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ต่ำกว่า 0.06 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานต่ำที่สุด สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 90 % ได้แก่ ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนหนาตั้งแต่ 5 นิ้ว ขึ้นไป จะสังเกตได้ว่าหากมีการเพิ่มความหนาของฉนวนมากขึ้น สำหรับหลังคากลุ่มนี้จะส่งผลให้ภาระการทำความเย็นลดลงไปน้อยมาก



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการแบ่งกลุ่มวัสดุพื้นตามค่า U-Value

3) การวิเคราะห์หาช่วงค่า U-Value ที่เหมาะสมในส่วนพื้น

จากการคำนวณสามารถแบ่งพื้นออกเป็น 5 กลุ่ม ตามค่า U-Value ของวัสดุ ดังนี้

กลุ่ม E **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value มากกว่า 0.3 Btu/h.ft^2.F ขึ้นไป จัดได้ว่าเป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงที่สุด ได้แก่ พื้นที่ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน

กลุ่ม D **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ในช่วง 0.3-0.1 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงรองลงมา สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 60 % ได้แก่ พื้นที่ติดตั้งฉนวนหนา 1 นิ้ว

กลุ่ม C **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ในช่วง 0.1-0.07 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานสูงระดับปานกลาง สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 76 % ได้แก่ พื้นที่ติดตั้งฉนวนหนา 2 นิ้ว

กลุ่ม B **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ในช่วง 0.07 -0.06 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานต่ำ สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 83 % ได้แก่ พื้นที่ติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

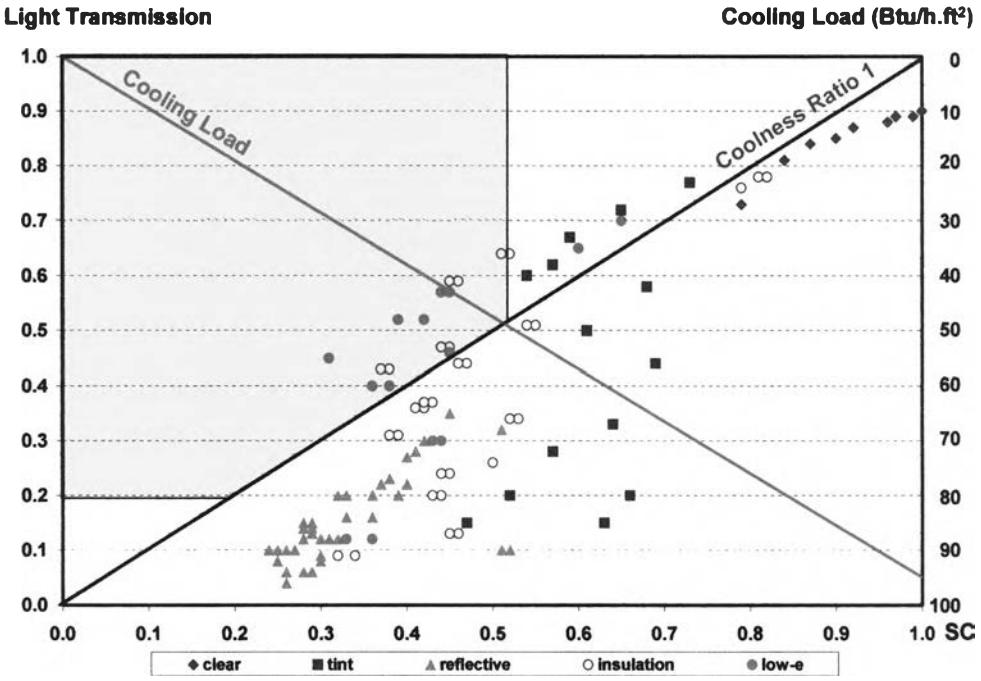
กลุ่ม A **คือ** กลุ่มที่มีค่า U-Value ต่ำกว่า 0.06 Btu/h.ft^2.F เป็นกลุ่มที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานต่ำที่สุด สามารถลดภาระการทำความเย็นจากกลุ่ม E ได้ประมาณ 87 % ได้แก่ พื้นที่ติดตั้งฉนวนหนา 4 นิ้ว ขึ้นไป

หมายเหตุ การพิจารณาเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารทึบแสงในการศึกษาครั้งนี้ พิจารณาเฉพาะคุณสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเท่านั้น ในการใช้ข้อมูลควรทำการพิจารณาปัจจัยอื่นประกอบด้วย เช่น ความเหมาะสมทางด้านการใช้งาน และความเหมาะสมทางด้านการลงทุน เป็นต้น

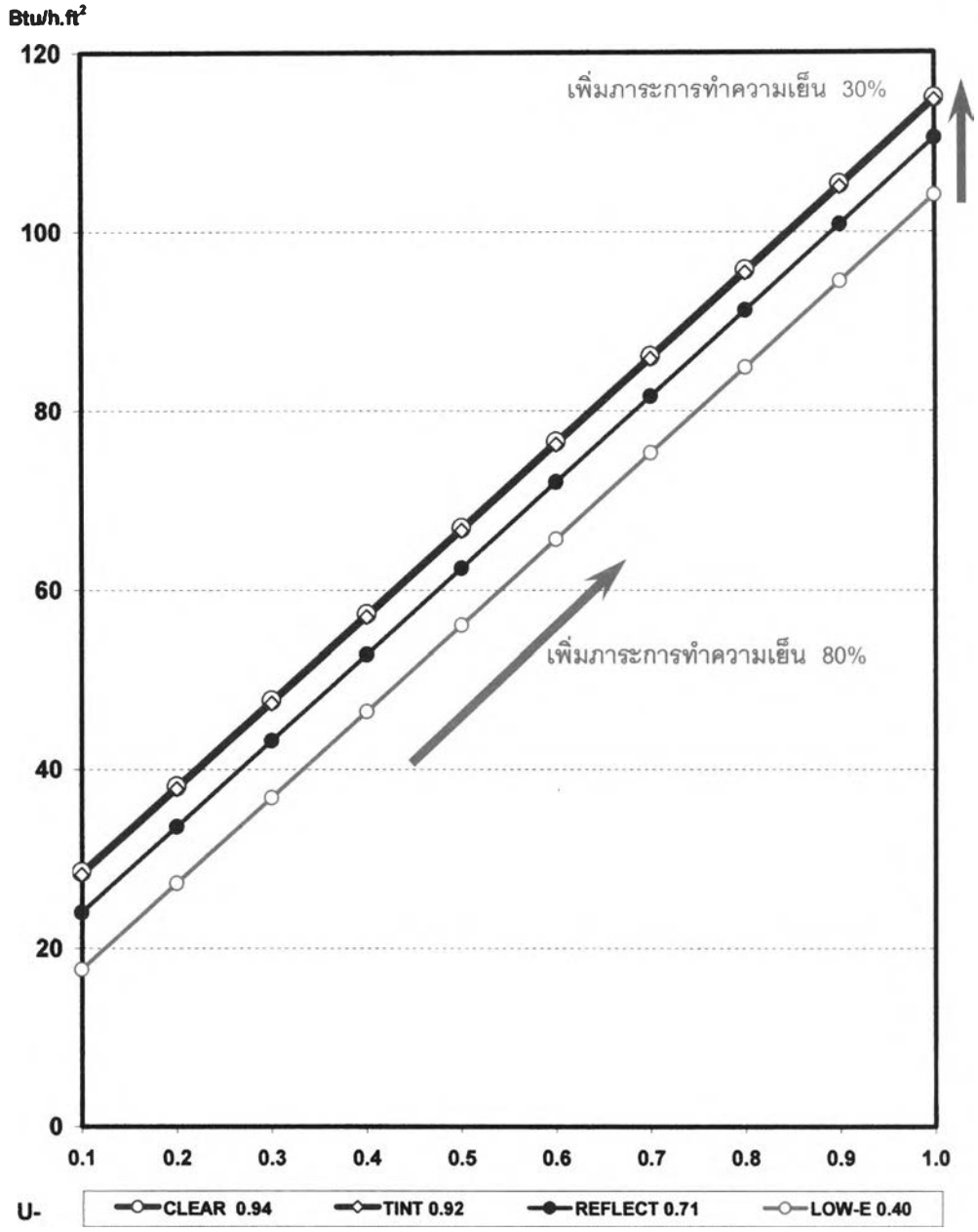
4) การวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติที่เหมาะสมของกระจก

การเลือกใช้กระจกที่เหมาะสมนั้นควรจะต้องพิจารณา ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการป้องกันความร้อน และค่าการทะลุผ่านของแสงในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็น (LT) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการนำแสงธรรมชาติมาใช้ ประกอบกัน

จากการรวบรวมและวิเคราะห์คุณสมบัติของกระจก ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า กระจกที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ในอาคารควรมีค่า SC ต่ำ และมีค่า LT ที่สูง หรือมีอัตราส่วนค่าการทะลุผ่านของแสงในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็นต่อค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (Coolness Ratio; LT/SC) ที่สูงค่าเหมาะสมควรสูงกว่า 1.0 สำหรับค่า LT ต่ำสุดที่ควรนำมาใช้ไม่ควรต่ำกว่า 0.2 (สุนทร บุญญาธิการ และ วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์, 2546) เมื่อคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนของกระจกที่มีค่า SC ตั้งแต่ 0–1 (ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ค่าประมาณการเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์) จะพบว่าค่า SC ที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 0.5



แผนภูมิที่ 4.8 แสดงคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเลือกใช้กระจก



แผนภูมิที่ 4.9 เปรียบเทียบภาระการทำความเย็นที่เกิดจากการนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อนของกระจก

จากการคำนวณภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในส่วนกระจก พบว่า เมื่อกระจกมีค่า SC เท่ากัน หากมีการเพิ่มค่า U-Value จากค่าต่ำสุดไปค่าสูงสุด ส่งผลให้เกิดภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเพียง 30% ในทางกลับกันหากกระจกมีค่า U-Value เท่ากัน แต่มีการเพิ่มค่า SC จากค่าต่ำสุดไปค่าสูงสุด จะส่งผลให้เกิดภาระการการทำความเย็นเพิ่มขึ้นถึง 80% จึงสรุปได้ว่า ค่า SC ของกระจกเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงกว่า ค่า U-Value ประมาณ 2.5 เท่า ดังนั้นการพิจารณาคุณสมบัติกระจกเพื่อประหยัดพลังงาน ควรพิจารณาค่า SC เป็นอันดับแรก

4.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์และค่าน้ำหนักระหว่างรูปทรงอาคารและคุณสมบัติวัสดุเปลือกอาคาร

การคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร สามารถพิจารณาได้จากสมการ ดังนี้

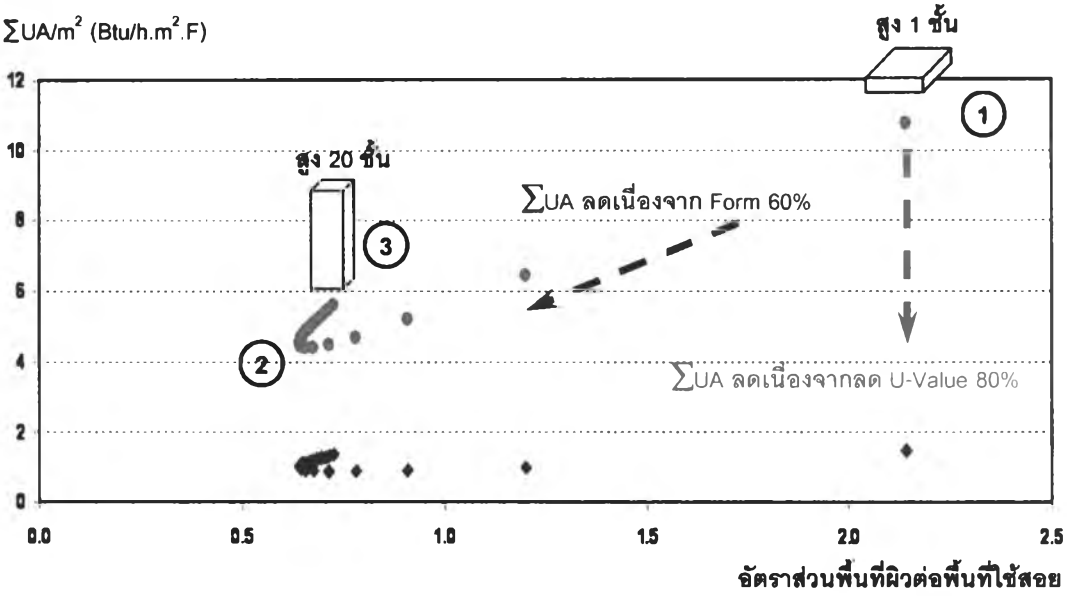
ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคาร $Q = \Sigma UA(\Delta T)$

ดังนั้น ตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่นำมาศึกษา คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ(U-Value) และพื้นที่ผิวของแต่ละองค์ประกอบอาคาร ในการศึกษาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และค่าน้ำหนักระหว่างรูปทรงอาคารและคุณสมบัติวัสดุเปลือกอาคารนี้ ทำโดยการคำนวณการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารทั้ง 6 ด้านของอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่ใช้สอย 10,000 ตารางเมตร ซึ่งศึกษาวัสดุที่มีค่า U-Value สูงสุดและต่ำสุด คือ กลุ่ม A และ E ที่ทำการแบ่งแล้วข้างต้น คำนวณกับอาคารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยทุกระดับ กำหนดให้มี Window to Wall Ratio เท่ากับ 50% แล้วนำผลที่ได้มาคิดเฉลี่ยต่อตารางเมตรพื้นที่ใช้สอยเพื่อทำการเปรียบเทียบ ซึ่งสมการในการคำนวณ มีดังนี้

$$\Sigma UA = UA_{WALL} + UA_{ROOF} + UA_{FLOOR} + UA_{GLASS}$$

จากแผนภูมิที่ 4.9 จะเห็นว่าลักษณะเส้นแนวโน้มมีลักษณะเป็นเส้นโค้งกลับ ซึ่งในช่วงต้นจะมีค่าลดต่ำลงจนถึงจุดหนึ่งแล้วกลับขึ้นมามีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะ เมื่อกำหนดให้อาคารมีพื้นที่ใช้สอยเท่ากันและคงที่ อาคารในช่วงจำนวนชั้นแรกๆมีรูปทรงแบนราบมีพื้นที่ผิวสัมผัสดินมากมีพื้นที่เปลือกอาคารที่มากที่สุดในส่วน หลังคา และพื้น ดังนั้น ค่า U-Value ของหลังคา และพื้น จึงมีอิทธิพลมากที่สุดของอาคารในช่วงนี้ นอกจากนั้นพื้นที่ผิวรวม 6 ด้านมีค่ามากที่สุด ส่งผลให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยมากทำให้ $\sum UA/m^2$ ในช่วงนี้มีค่าสูง (จุดที่ 1) เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นมากขึ้นส่งผลให้อาคารมีรูปทรงกะทัดรัดมากขึ้น พื้นที่ผิวรวมของอาคารลดต่ำลงจนถึงจุดที่มีค่าพื้นที่ผิวต่ำที่สุด คือ จุดที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยต่ำที่สุด (จุดที่ 2) เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นขึ้นไปอีกจะส่งผลให้อาคารมีลักษณะสูงเพรียวผิวผนังแนวตั้งทั้ง 4 ด้านมีพื้นที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ค่า U-Value ของผนังและกระจกจึงมีอิทธิพลมากสำหรับอาคารในช่วงนี้ เพราะฉะนั้นจึงทำให้อาคารที่มีรูปทรงเดียวกัน ขนาดพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน มีช่วงหนึ่งที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน

แต่ $\sum UA/m^2$ ต่างกัน ซึ่งอาคารที่มีจำนวนชั้นสูงมากจะได้รับอิทธิพลจากกระจก ซึ่งมีค่า U-Value ที่สูงกว่าองค์ประกอบส่วนอื่นของอาคาร



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบรูปทรงอาคารกับคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของวัสดุ กรณีอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดพื้นที่ใช้สอย 10,000 ตารางเมตร

หมายเหตุ จากแผนภูมิข้างต้น จุดสีแดง คือ $\sum UA/m^2$ ที่เกิดจากการคำนวณวัสดุที่มีค่า U-Value ในกลุ่ม E ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีค่าสูงสุดกับอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส และ จุดสีน้ำเงิน คือ $\sum UA/m^2$ ที่เกิดจากการคำนวณวัสดุที่มีค่า U-Value ในกลุ่ม A ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีค่าต่ำสุดกับอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส

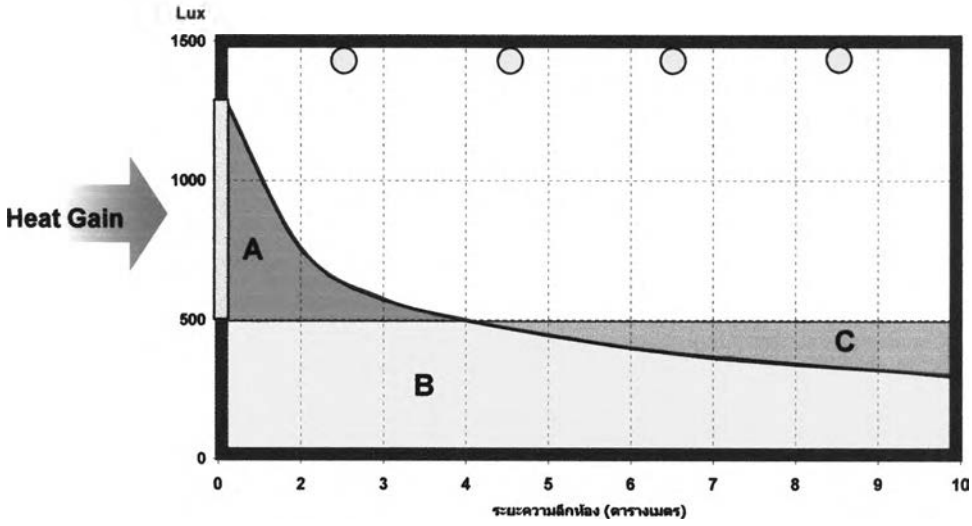
เมื่อทำการพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างอาคารที่มีการใช้วัสดุที่มีค่า U-Value สูงที่สุด กับอาคารที่มีการใช้วัสดุที่มีค่า U-Value ต่ำที่สุด หากพิจาณาเส้นแนวโน้มสีแดง(ลูกศรสีดำ) พบว่าการออกแบบอาคารให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยลดต่ำลงจนถึงจุดที่ดีที่สุดสามารถลด $\sum UA/m^2$ ไปได้ ประมาณ 60% หากมีการปรับปรุงอาคารโดยคงอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยเดิมไว้ แต่ลดค่า U-Value เพียงอย่างเดียว สามารถลด $\sum UA/m^2$ ไปได้ ประมาณ 80%

ดังนั้นสรุปได้ว่า การลดค่า U-Value ของวัสดุช่วยลดการใช้พลังงานในอาคารได้ดีกว่า การออกแบบรูปทรงอาคาร หรือ กล่าวได้ว่า ตัวแปรทางด้านคุณสมบัติของวัสดุมีอิทธิพลมากกว่ารูปทรงอาคารดังนั้นสิ่งที่ต้องทำการพิจารณาเป็นอันดับแรกการออกแบบอาคารคือ การออกแบบรูปทรงอาคารให้มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นการลดพลังงานโดยไม่

เสียค่าใช้จ่าย แต่ในความเป็นจริงการสร้างอาคารไม่สามารถกำหนดรูปทรงได้อย่างอิสระ เนื่องจากถูกบังคับด้วยกฎหมายและรูปร่างของที่ดิน เพราะฉะนั้นวิธีที่จะช่วยลดพลังงานในกรณีนี้ได้คือการเลือกวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีเรื่องของการลงทุนมาเกี่ยวข้อง หากอาคารมีการออกแบบที่คำนึงถึงทั้งสององค์ประกอบจะสามารถลดการใช้พลังงานได้มากขึ้น

4.3 การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม

สิ่งสำคัญที่ต้องทำการพิจารณาในการออกแบบเปลือกอาคาร คือ การนำแสงธรรมชาติมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม ซึ่งแสงธรรมชาติที่ผ่านมาทางช่องแสงแม้จะส่งผลต่อการลดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคาร แต่ในขณะเดียวกันก็ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเพื่อทำการรีดความร้อนที่มากับแสงสว่าง ดังนั้นในการออกแบบช่องแสงควรทำการพิจารณาถึงความเหมาะสมของพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ลดลงประกอบกับพลังงานไฟฟ้าส่วนปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.2 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานส่วนต่างๆเนื่องจากการเปิดช่องแสง

A ส่วนที่มีปริมาณการส่องสว่างเกินความต้องการ และเกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านทางช่องแสงทั้งการนำความร้อนการแผ่รังสีความร้อนส่งผลต่อการใช้พลังงานส่วนปรับอากาศโดยตรง

B ส่วนที่ได้รับแสงสว่างจากภายนอกผ่านทางช่องแสงซึ่งแสงสว่างที่ได้ส่งผลให้เกิดการลดการใช้พลังงานแสงสว่างลงได้ (หากมีการติดตั้งระบบควบคุมการปิด-เปิด)

C ส่วนที่มีปริมาณการส่องสว่างที่ต่ำกว่าระดับมาตรฐานจำเป็นที่จะต้องใช้ไฟฟ้าแสงสว่างเพิ่มเข้าไปเพื่อให้เกิดความสว่างที่เพียงพอ

หลักการออกแบบช่องแสงเพื่อให้มีความเหมาะสมและประหยัดพลังงานสูงสุด คือ การลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าส่วนปรับอากาศที่เกิดจากกระจกแต่เพิ่มปริมาณความส่องสว่างที่เพียงพอให้เข้ามาภายในอาคารให้ได้มากที่สุดและลึกที่สุดเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานเนื่องจากการเปิดช่องแสงมีดังนี้

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดใช้พลังงานส่วนปรับอากาศที่เกิดจากกระจก ได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุกระจก ซึ่งกระจกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ควรมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(U-Value) และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ต่ำที่สุด ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ควรมีการบังแดดให้กับช่องแสงเพื่อลดอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดภาระการทำความเย็นสูงที่สุด ทิศทางเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญโดยควรหลีกเลี่ยงการเปิดช่องแสงที่มีพื้นที่มากในทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ซึ่งทิศที่เหมาะสมต่อการเปิดช่องแสงมากที่สุดคือทิศเหนือ นอกจากนั้นพื้นที่ช่องแสงยังส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านมาทางกระจกด้วยเช่นกัน

ส่วนปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการส่องสว่าง ได้แก่ คุณสมบัติทางด้านการทะลุผ่านของแสงในช่วงคลื่นที่จำเป็นต่อการมองเห็นซึ่งควรจะสูงที่สุด การใช้เทคนิคหรืออุปกรณ์พิเศษ การวางตำแหน่งช่องแสงซึ่งส่งผลต่อความลึกที่แสงเข้าถึงและพื้นที่ช่องแสงส่งผลต่อปริมาณการส่องสว่างภายในอาคาร

การศึกษาเกณฑ์การใช้แสงธรรมชาติในอาคารสำนักงานในส่วนนี้ทำโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานเนื่องจากการเปิดช่องแสงและนำมาพัฒนาเป็นตัวคูณ (Factor)สำหรับการคำนวณพลังงานที่เกิดจากองค์ประกอบของเปลือกอาคาร ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

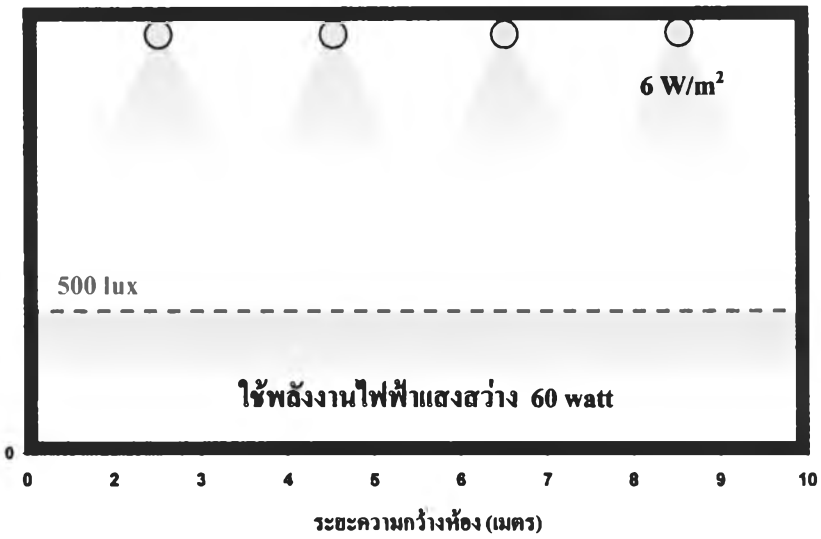
ค่าตัวคูณ เท่ากับ 1 หมายถึง กรณีที่ไม่มีการเปิดช่องแสงซึ่งกำหนดให้เป็นกรณีมาตรฐาน คือ ไม่มีการสูญเสียพลังงานส่วนปรับอากาศที่เกิดจากกระจกและไม่มีการลดพลังงานแสงสว่างที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้

ค่าตัวคูณ มากกว่า 1 เป็นระดับที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานต่ำหมายถึงกรณีการเปิดช่องแสงที่มีการสูญเสียพลังงานปรับอากาศส่วนกระจกมากกว่าพลังงานแสงสว่างที่ลดลงเนื่องจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้

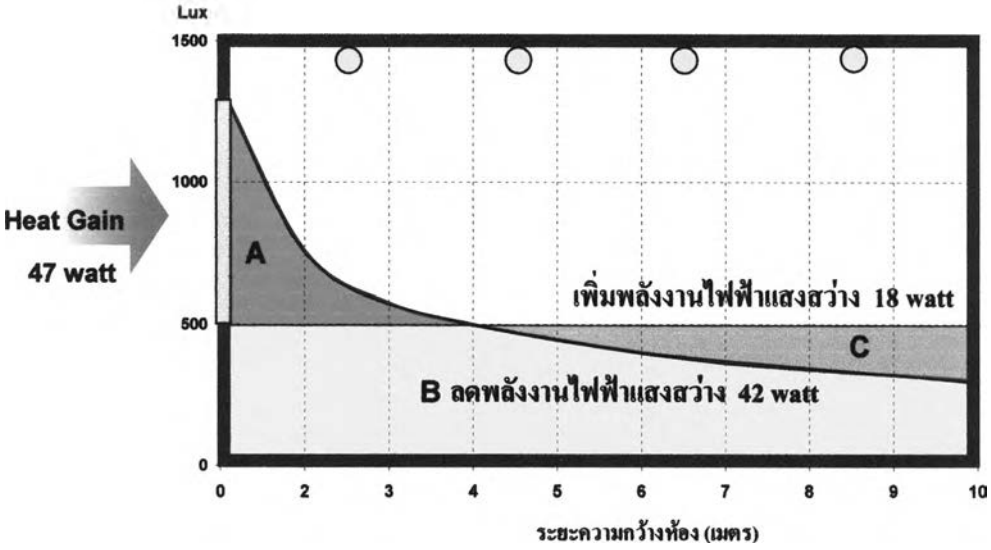
ค่าตัวคูณ น้อยกว่า 1 เป็นระดับที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานสูงหมายถึงกรณีการเปิดช่องแสงที่มีการสูญเสียพลังงานส่วนปรับอากาศที่เกิดจากกระจกน้อยกว่ากว่าพลังงานแสงสว่างที่ลดลงเนื่องจากการนำแสงธรรมชาติมาใช้

การคำนวณค่าตัวคูณนี้ ทำโดยการหาอัตราส่วนพลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่ลดลงเนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ ซึ่งค่าอัตราส่วนนี้จะใช้สำหรับนำไปคูณกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารทั้งสองที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คือ อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยอาคาร และค่าคุณสมบัติการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร เพื่อหาปริมาณพลังงานที่เกิดจากองค์ประกอบเปลือกอาคารต่อไป

การศึกษาครั้งนี้เนื่องจากมีเวลาที่จำกัดประกอบกับการศึกษาเรื่องการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนและซับซ้อน ดังนั้นจึงไม่ได้ทำการทดลองและคำนวณในส่วนนี้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการแสดงการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารที่เกิดจากเปลือกอาคารที่จะกล่าวต่อไป จึงทำการตั้งสมมติฐานและประมาณค่าประสิทธิภาพของการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคาร โดยกำหนดให้การนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.8 ส่วนที่มีประสิทธิภาพต่ำสุดมีค่าเท่ากับ1.2 ซึ่งวิธีการคำนวณหาอัตราส่วนพลังงานที่สูญเสียต่อพลังงานที่ลดลงเนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ แสดงในภาพที่4.3 และ 4.4



ภาพที่ 4.3 ภาพประกอบการคำนวณพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างกรณีไม่เปิดช่องแสง



ภาพที่ 4.4 ภาพประกอบการคำนวณพลังงานไฟฟ้าส่วนต่างๆกรณีเปิดช่องแสง

จากภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 เป็นภาพประกอบการคำนวณพลังงานส่วนปรับอากาศและพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งการคำนวณได้ตั้งสมมติฐานเป็นห้องลึกระยะ 10 เมตร มีความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 3 เมตร ความกว้างของช่องแสง 1 เมตร เพื่อลดอิทธิพลที่เกิดจากส่วนทึบแสงของห้องจึงกำหนดให้มีค่า U-Value ของส่วนทึบแสงมีค่าต่ำที่สุด กรณีอาคารที่ไม่มีการเปิดช่องแสง การใช้พลังงานในกรณีนี้มีเพียงแต่พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเท่านั้นไม่มีพลังงานไฟฟ้าส่วนปรับอากาศที่เกิดจากกระจก ดังนั้นอัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่อพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ จึงมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งการคำนวณในกรณีนี้ทำโดยนำค่ากำลังไฟฟ้าการส่องสว่าง(6 W/m^2)คูณกับพื้นที่ความลึกของห้อง ดังนั้นจากภาพพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ใช้จึงมีค่า 60 watt

ส่วนกรณีที่มีการเปิดช่องแสง สามารถคำนวณโดยพิจารณาเส้นแนวโน้มการส่องสว่างภายในห้อง (Daylight Curve) รายชั่วโมง ซึ่งกำหนดให้มีระดับความส่องสว่างที่เหมาะสมเท่ากับ 500 lux ทำการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟสีเหลือง และสีเทา แล้วแปลงออกมาเป็นค่าความเข้มการส่องสว่างต่อตารางเมตร ในที่นี้คือ 4.2 และ 1.8 W/m^2ตามลำดับ นำค่าดังกล่าวคูณกับระยะความลึกห้อง สรุปได้ว่าสามารถลดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้ 42 watt และต้องเพิ่มพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง 18 watt ในขณะเดียวกันต้องพิจารณาพลังงานไฟฟ้าส่วนปรับอากาศที่สูญเสียผ่านทางช่องแสงโดยการคำนวณหาภาระการทำความเย็นรวมทั้งหมดแล้วหารด้วย COP (กำหนดให้เท่ากับ 3) แล้วแปลงเป็นค่าพลังงานที่ใช้ ในที่นี้คือ 47 watt ดังนั้นในการเปิดช่องแสงรูปแบบนี้มีอัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่อพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ เท่ากับ 47/42 เท่ากับ 1.12 ซึ่งถือได้ว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ซึ่งค่าอัตราส่วนที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาพลังงานรวมที่เกิดเปลือกอาคารต่อไป

4.4 การคำนวณการใช้พลังงานที่เกิดจากเปลือกอาคาร

จากการศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปร พบว่า ปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร มี 3 ปัจจัยหลัก คือ

- อัตราส่วนพื้นที่ผิวภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย (A)
- คุณสมบัติการป้องกันการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U)
- อัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่อพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ (Daylight Utilization Factor; $UF_{Daylight}$)

สามารถพัฒนาปัจจัยทั้ง 3 นี้มาเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์เพื่อคำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากเปลือกอาคารได้อย่างคร่าวๆ ดังนี้

$$\text{ภาระการทำความเย็นสูงสุด (KWh/m}^2\text{.yr)} = \frac{(U*A*UF_{Daylight})*Hr}{COP*1{,}000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

$$\text{พลังงานที่ใช้ส่วนเปลือกอาคาร (KWh/m}^2\text{.yr)} = \frac{(U*A*UF_{Daylight})*Hr}{COP*1{,}000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

เมื่อ

	U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารแต่ละชนิด ($W/m^2.K$)
	A	อัตราส่วนพื้นที่ผิวภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย
	$UF_{Daylight}$	อัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่อพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ
	Hr	ชั่วโมงการใช้งาน
	COP	ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

ตัวอย่างการคำนวณ

อาคารสำนักงาน มีการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานหลังหนึ่ง มี อัตราส่วนพื้นที่ผิวภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย 0.59 มีค่า U-Value ของเปลือกอาคารทึบแสง สูงสุด 0.34 $W/m^2.K$ (0.06 $Btu/h.ft^2.F$) มีอัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่อพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ($UF_{Daylight}$) เท่ากับ 0.8 ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ (COP) มีค่าเท่ากับ 4 พื้นที่ใช้สอยอาคาร 10,000 ตารางเมตร รวมชั่วโมงการใช้งาน 2,000 ชม.

แทนค่าในสมการ

$$\text{พลังงานที่ใช้ส่วนเปลือกอาคาร} = \frac{(0.34*1.3*0.8)*2,000}{3*1,000}$$

$$= 0.23 \quad KWh/m^2.yr$$

หมายเหตุ ค่า A หาได้จากแผนภูมิที่ 4.1 ค่า U หาได้จากแผนภูมิที่ 4.4 - 4.6 และค่า $UF_{Daylight}$ ได้จากการประมาณค่าในหัวข้อ 4.3

จากการคำนวณดังกล่าวเป็นการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่เกิดจากเปลือกอาคารในเบื้องต้น ซึ่งเกิดจากการนำค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดคูณด้วยจำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน ผลลัพธ์ที่จึงมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงเนื่องจากช่วงที่เกิดภาระการทำความเย็นสูงสุดไม่ได้เกิดตลอดทั้งวัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคำนวณ จึงกำหนดตัวคูณปรับค่าพลังงาน โดยทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนพลังงานที่เกิดจากการคำนวณด้วยโปรแกรม DOE21E กับการคำนวณด้วยสมการที่ (3) ข้างล่างนี้ แล้วนำตัวคูณนี้ไปคูณกับสมการที่ (2) ซึ่งการกำหนดค่าตัวคูณมีรายละเอียดดังนี้

1. จำลองอาคารในโปรแกรม DOE21E มีรายละเอียดอาคาร ดังนี้

- ขนาดอาคาร 10,000 ตร.ม 25*25*56 ม.
- ความสูงระหว่างชั้น 3.5 ม.
- หลังคา คสล.15 ซม.+ ฝ้าเพดาน (1.84W/m^2.K)
- ผนังก่ออิฐฉาบปูน (3.3 W/m^2.K)
- พื้น คสล 10 ซม. (4.3 W/m^2.K)
- กระจกใส (6.2 W/m^2.K)
- ใช้งาน 8-16 น. 2000 ชม ต่อ ปี

ภาพที่ 4.5 ภาพอาคารจำลองที่ใช้ในการหาค่าตัวคูณพลังงานไฟฟ้า

2. ป้อนข้อมูลอาคารในโปรแกรม DOE21E แล้วทำการคำนวณ โดยใช้ข้อมูลอากาศ BKK99 รวมภาระการทำความเย็นตลอดทั้งปีในส่วนเปลือกอาคารคิดเป็นพลังงานที่ใช้มีหน่วยเป็น KWh/m^2.yr

3. คำนวณพลังงานที่ใช้ตลอดทั้งปีด้วยสมการ

$$\text{พลังงานที่ใช้ส่วนเปลือกอาคาร (KWh/m}^2\text{.yr)} = \frac{(U^*A^*\Delta t)^*Hr}{COP^*1{,}000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

เมื่อ U สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคาร ($W/m^2.K$)

A อัตราส่วนพื้นที่ผิวภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย

Δt อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี

Hr ชั่วโมงการใช้งาน

COP ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

4. นำผลที่ได้จากการคำนวณในข้อ 2 หารด้วย ข้อ 3 เป็นตัวคูณปรับค่าพลังงาน

จากขั้นตอนดังกล่าวสรุปผลได้ ดังนี้

พลังงานที่เกิดจากเปลือกอาคาร (คำนวณด้วย DOE21E) มีค่า เท่ากับ 12.24 $kWh/m^2.yr$

พลังงานที่เกิดจากเปลือกอาคาร (คำนวณด้วยสมการ 3) มีค่า เท่ากับ 20.40 $kWh/m^2.yr$

ดังนั้น ตัวคูณปรับค่าพลังงาน 12.24 / 20.40 เท่ากับ 0.6

จากนั้นนำตัวคูณปรับค่าพลังงานไปใส่ในสมการที่ 2 เพื่อให้การคำนวณใกล้เคียงความเป็นจริง ซึ่งสมการที่ได้นี้ใช้ในการคำนวณหาพลังงานที่เกิดจากปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารหรือการออกแบบสถาปัตยกรรมเพียงอย่างเดียว ไม่รวมถึงปัจจัยทางด้านการรั่วซึมและการระบายอากาศ ปัจจัยภายในอาคารที่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นต่างๆ โดยที่ข้อมูลที่นำมาคำนวณเป็นข้อมูลอาคารเบื้องต้น (ค่า A หาได้จากแผนภูมิที่ 4.1 ค่า U หาได้จากแผนภูมิที่ 4.4 - 4.6 และค่า $UF_{Daylight}$ ได้จากการประมาณค่าในหัวข้อ 4.3) ซึ่งง่ายต่อการใช้งาน

พลังงานที่ใช้ส่วนเปลือกอาคาร (KWh/m^2.yr) $= \frac{(U*A*UF_{Daylight})*Hr*0.6}{COP*1,000}$ .....(4)

เมื่อ U สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารแต่ละชนิด (W/m^2.K)

A อัตราส่วนพื้นที่ผิวภายนอกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย

$UF_{Daylight}$ อัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียต่อพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ

Hr ชั่วโมงการใช้งาน

COP ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

4.5 การทดสอบเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคาร

การศึกษาส่วนนี้เป็นการทดสอบเกณฑ์ที่สรุปในแต่ละปัจจัย ซึ่งทำการคำนวณอาคารตัวอย่าง 2 กรณี ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยเท่ากัน 10,000 ตร.ม.ด้วยสมการที่สร้างขึ้นมา โดยเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่เกิดจากเปลือกอาคารระหว่างอาคารที่มีการออกแบบโดยใช้เกณฑ์ซึ่งคำนึงถึงการประหยัดพลังงานกับอาคารทั่วไปที่ไม่การคำนึงถึงประเด็นดังกล่าว รายละเอียดอาคารมีดังนี้

ตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดอาคารที่เป็นกรณีศึกษา

รายละเอียด	อาคารที่ออกแบบตามเกณฑ์	อาคารทั่วไป
อัตราส่วนพื้นผิว/พื้นที่ใช้สอย	0.59	2.3
U-Roof (W/m^2.K)	0.34	5.62
U-Wall (W/m^2.K)	0.34	3.4
U-Floor (W/m^2.K)	0.34	4.3
$UF_{Daylight}$	0.8	1.2
COP	4	3
รูปทรงอาคาร	ทรงกระบอก	ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีคอร์ดกลาง

สามารถสรุปผลการคำนวณด้วยสมการที่ 4 ในโปรแกรม Excel ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการคำนวณพลังงานที่เกิดจากอาคารทั้ง 2 กรณี

Building name : อาคารออกแบบตามเกณฑ์			Area (m^2)	10000	Surface	5924
	Roof	Floor	Wall			
			N	S	E	W
U-Value (W/m^2)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
Surface/Area	1000	1000	982	982	982	982
Daylight Utilize Factor	1	1	0.8	0.8	0.8	0.8
	340.00	340.00	267.10	267.10	267.10	267.10
Total load						1748.42
Different Temperature Factor						0.60
COP	4		Consumption ($kWh/m^2.yr$)			**0.1**

Building name : อาคารทั่วไป			Area (m^2)	10000	Surface	23017
	Roof	Floor	Wall			
			N	S	E	W
U-Value (W/m^2)	1.84	3.73	3.4	3.4	3.4	3.4
Surface/Area	10000	10000	754.25	754.25	754.25	754.25
Daylight Utilize Factor	1	1	1.2	1.2	1.2	1.2
	18400.00	37300.00	3077.34	3077.34	3077.34	3077.34
Total load						68009.36
Different Temperature Factor						0.60
COP	3		Consumption ($kWh/m^2.yr$)			**4.1**

จากการคำนวณ พบว่าอาคารที่มีการออกแบบตามเกณฑ์ที่กำหนด มีปริมาณการใช้พลังงานรวมต่อตารางเมตรต่อปี เท่ากับ 0.1 $kWh/m^2.yr$ ส่วนอาคารทั่วไปที่ไม่มีการออกแบบตามเกณฑ์หรือไม่คำนึงถึงการประหยัดพลังงาน มีปริมาณการใช้พลังงานรวมต่อตารางเมตรต่อปี เท่ากับ 4.1 $kWh/m^2.yr$ ซึ่งมากกว่าอาคารที่ออกแบบตามเกณฑ์ประมาณ 41 เท่า