บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการสร้างแบบประเมินการลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคารที่เหมาะสมเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมีขั้นตอนหลัก ในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

1. การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. กำหนดตัวแปรที่สำคัญ
3. ประยุกต์ข้อมูลเพื่อใช้สร้างแบบประเมินอาคาร
4. ทดสอบแบบประเมิน

การศึกษาทฤษฎี พลังงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นการศึกษาให้ทราบถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารอันเนื่องมาจากลักษณะรูปทรงภายนอก และการจัดวางทิศทางเป็นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นการยืนยันและสนับสนุนการวิจัย ดังแสดงรายละเอียดในบทที่ 2

ดังนั้นในบทที่ 3 นี้ จะเป็นขั้นตอนการกำหนดตัวแปรที่สำคัญที่ใช้วิเคราะห์เพื่อนำผลไปสร้างเป็นแบบประเมินอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานจากอิทธิพลของรูปทรงภายนอกและการจัดวางทิศทางโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 จำแนกตัวแปรสำคัญของลักษณะรูปทรงภายนอกและการจัดวางทิศทางของอาคาร

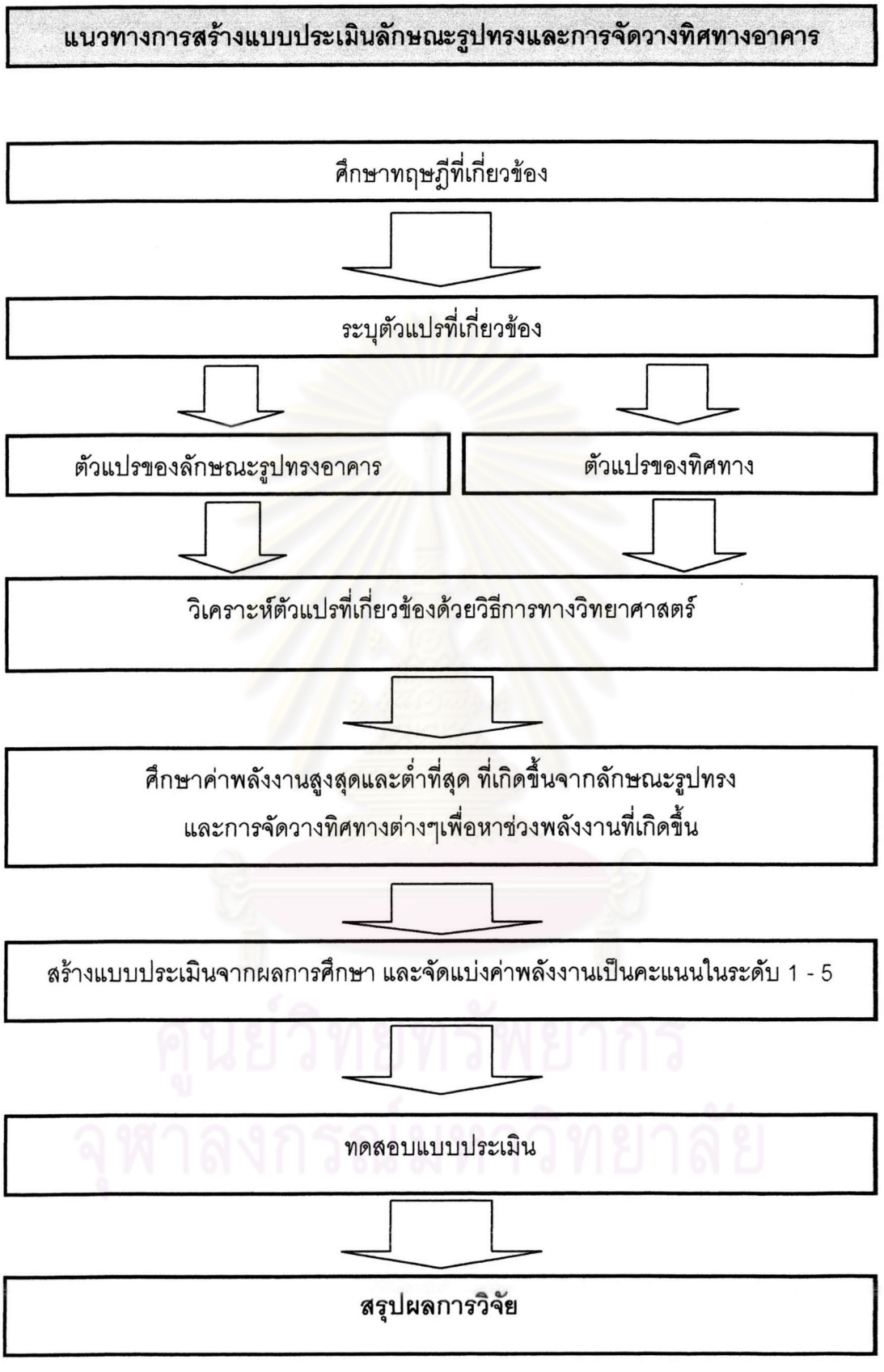
3.2 วิเคราะห์ตัวแปร

3.3 การสร้างแบบประเมิน

ข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิจัยคือ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศรายปี เป็นข้อมูลที่ได้ทำการเก็บข้อมูลโดยกรมอุตุนิยมวิยา

ในการคำนวณใช้โปรแกรม Microsoft excel 2003

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 3- 1 แสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย

3.1 ตัวแปรที่สำคัญของลักษณะรูปทรงอาคาร และการจัดวางทิศทางของอาคาร

3.1.1 ลักษณะรูปทรงอาคารและการจัดวางทิศทางของอาคาร

ลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางสามารถแยกองค์ประกอบเพื่อนำมาพิจารณาได้เป็น

1) ส่วนที่เป็นผนังทึบในแต่ละทิศทาง

2) ส่วนที่เป็นกระจกในแต่ละทิศทาง

3) ส่วนที่เป็นหลังคา

สามารถคำนวณหาภาระการทำเย็นได้จากสมการ

$$Q = U*A*CLTD \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ

Q = ภาระการทำความเย็น (Watt หรือ Btu/h)

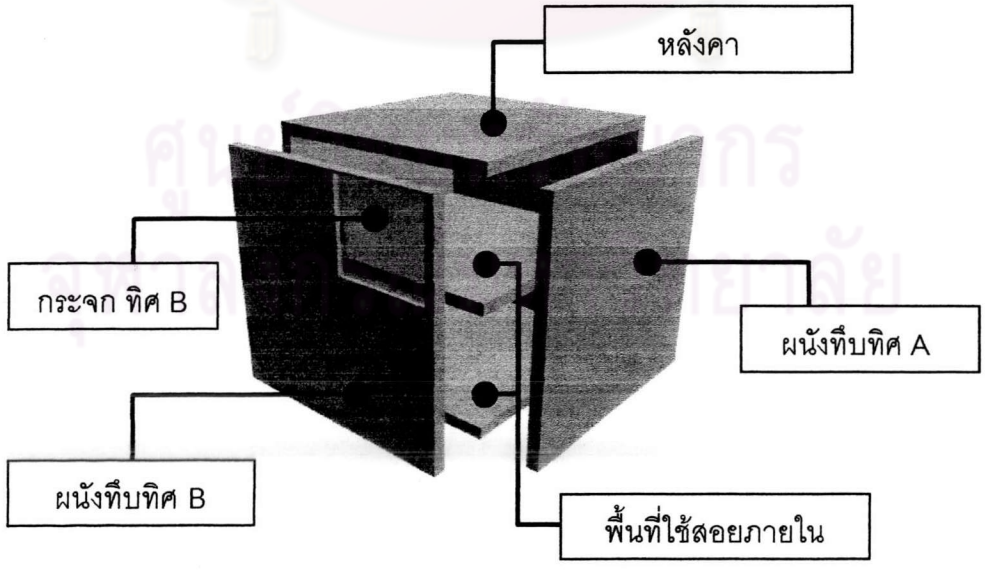
U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (watt/m^2 ^oC หรือ Btu/h ft^2 ^oF)

A = พื้นที่เปลือกอาคาร (m^2 หรือ ft^2)

CLTD = ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าหรือ Cooling Load Temperature Different

หากกำหนดให้ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน มีค่าคงที่ ค่าภาระการทำความเย็นจะแปรผันโดยตรงพื้นที่เปลือกอาคารดังสมการ

$$Q \propto A$$



ภาพที่ 3- 1 แสดงองค์ประกอบของรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคาร

ในการจะเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นในแต่ละองค์ประกอบสามารถพิจารณาได้จากการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นในแต่ละส่วนแต่ละทิศต่อพื้นที่ใช้งานภายในส่วนที่ปรับอากาศ

1) ผนังทึบ

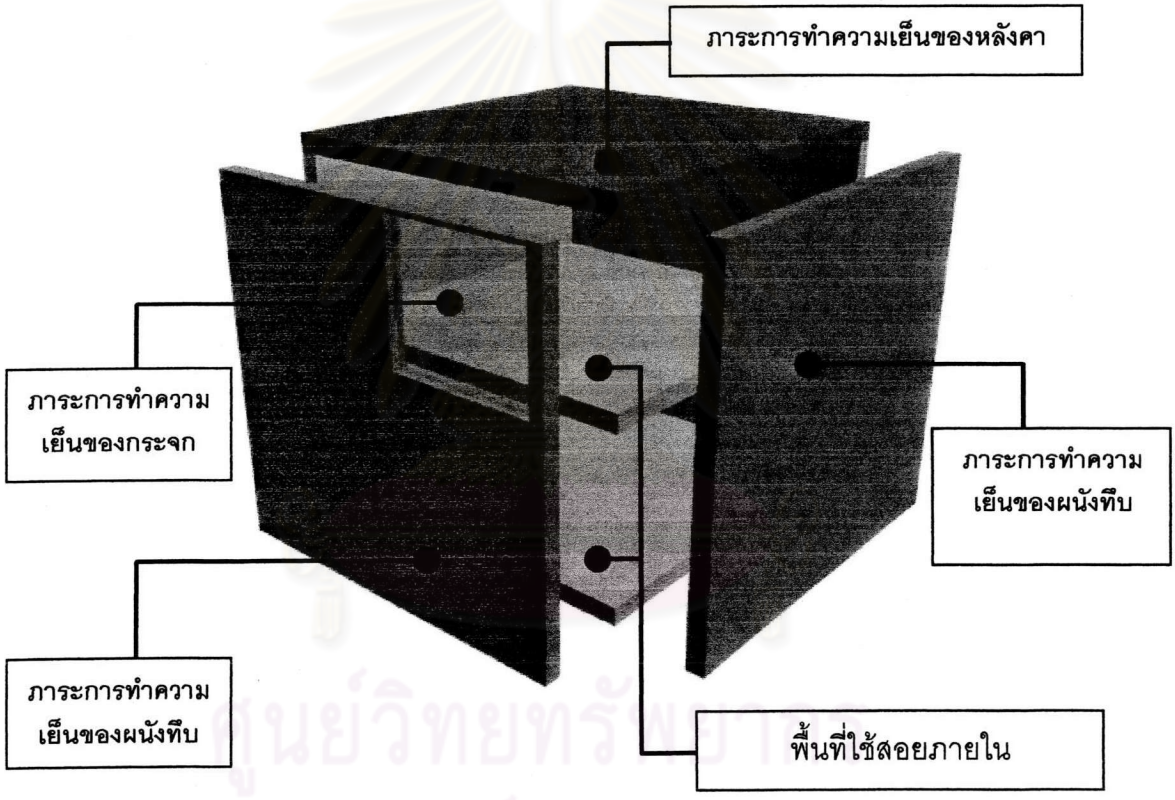
$$Q_{wall} / A_{usable} = (Q_{wall} / A_{usable})\text{ทิศ A} + (Q_{wall} / A_{usable})\text{ทิศ B} + \ldots + (Q_{wall} / A_{usable})\text{ทิศ N} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

2) กระจก

$$Q_{Glass} / A_{usable} = (Q_{Glass} / A_{usable})\text{ทิศ A} + (Q_{Glass} / A_{usable})\text{ทิศ B} + \ldots + (Q_{Glass} / A_{usable})\text{ทิศ N} \ldots (3)$$

3) หลังคา

$$Q_{Roof} / A_{usable} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$



ภาพที่ 3- 2 แสดงภาระการทำความเย็นของแต่ละส่วน

ดังนั้นเมื่อจะเปรียบเทียบลักษณะรูปทรงและทิศทางการจัดวางอาคารจากภาระความเย็นที่เกิดขึ้นทั้งหมดจึงสามารถพิจารณาได้จากผลรวมของภาระการทำความเย็นในแต่ละส่วนแต่ละทิศทางต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ดังสมการ

$$Q_{all} / A_{usable} = (Q_{wall} / A_{usable}) + (Q_{Glass} / A_{usable}) + (Q_{roof} / A_{usable}) \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

เมื่อ Q_{All} = ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นทั้งหมด (Btu/h หรือ Watt)

Q_{wal} = ผลรวมภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากผนังทุกทิศทาง (Btu/h หรือ Watt)

Q_{Glass} = ผลรวมภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากกระจกทุกทิศทาง (Btu/h หรือ Watt)

Q_{roof} = ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากหลังคา (Btu/h หรือ Watt)

A_{usable} = พื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ (m^2หรือ ft^2)

จากสมการเพื่อหาค่าภาระการทำความเย็น

$$Q = U*A*\Delta T$$

เป็นการคำนวณค่าภาระการทำความเย็น เมื่อค่าความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่าคงที่ΔT (Steady State Condition) หรืออิทธิพลจากภายนอกมีค่าไม่รุนแรงมากนัก แต่ในความเป็นจริงที่ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศ วัน เวลา เดือน และละติจูด ตลอดจนลักษณะของมวลสาร สีของผนัง การหน่วงเวลาของผนัง ตลอดจนผลกระทบของแสงแดด อุณหภูมิและสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงใช้ ค่า CLTD (Cooling Load Temperature Differences) เพื่อเป็นการปรับการคำนวณที่คำนึงถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

3.1.2 การวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกของ CLTD

จากการคำนวณด้วยวิธีของ CLTD ทั้งในส่วนของสมการคำนวณหลังคา และในสมการคำนวณของผนัง ค่าของอุณหภูมิอากาศภายนอกที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าที่มีการจำกัดไว้ในสมการ (t_o – 85)

$$CLTD_{roof} = (CLTD + LM)K + (78 - t_R) + (t_o - 85)f$$

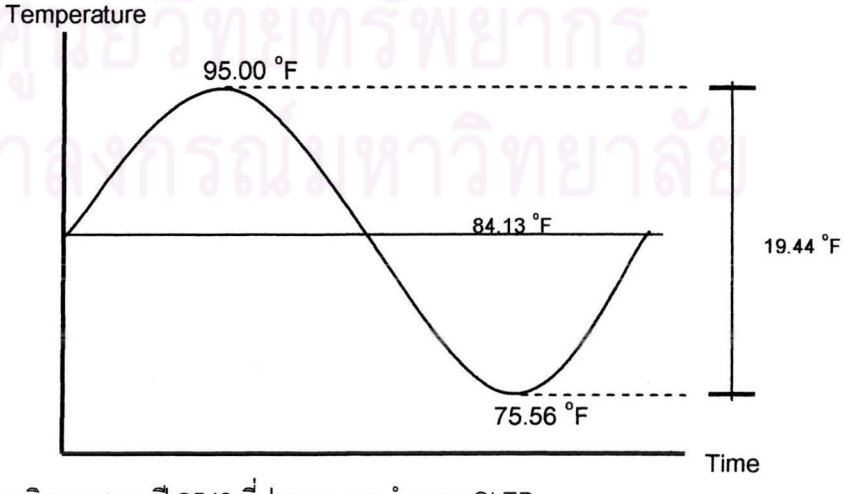
$$CLTD_{wall} = (CLTD + LM)K + (78 - t_R) + (t_o - 85)$$

(ASHRAE, 1989: 26.34) สมการอุณหภูมิอากาศภายนอกนี้สามารถใช้ได้กับอุณหภูมิอากาศภายนอกที่สูงที่สุดคือ 95 องศาฟาเรนไฮต์ (35 องศาเซลเซียส) และค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 85 องศาฟาเรนไฮต์ (29.44 องศาเซลเซียส) โดยที่อุณหภูมิอากาศภายนอกนั้นมีการเปลี่ยนแปลง 21 องศาฟาเรนไฮต์ (11.66 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 3- 1แสดงอุณหภูมิอากาศภายนอกของปี 2543 ที่นำมาใช้ประกอบการคำนวณ

เดือน	อุณหภูมิเฉลี่ย ^{0}F	อุณหภูมิสูงสุด ^{0}F	อุณหภูมิต่ำสุด ^{0}F	อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ^{0}F
มกราคม	86.68	95.00	79.34	15.66
กุมภาพันธ์	82.51	90.86	75.92	14.94
มีนาคม	85.54	92.66	80.24	12.42
เมษายน	85.18	90.68	80.78	9.90
พฤษภาคม	85.84	91.22	80.60	10.62
มิถุนายน	84.07	88.88	80.06	8.82
กรกฎาคม	83.89	89.24	79.70	9.54
สิงหาคม	84.02	89.42	79.16	10.26
กันยายน	83.29	89.06	78.80	10.26
ตุลาคม	83.08	89.06	78.44	10.62
พฤศจิกายน	82.19	88.88	75.56	13.32
ธันวาคม	83.29	90.50	76.28	14.22
ค่าเฉลี่ย	**84.13**	**95.00**	**75.56**	**19.44**

จากตารางที่ 3-1 พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของปี 2543 คือ 84.13 องศาฟาเรนไฮต์ อุณหภูมิอากาศสูงสุดที่ 95.00 องศาฟาเรนไฮต์ (35.0องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลง คือ 19.44 องศาฟาเรนไฮต์ (11.1องศาเซลเซียส) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำอุณหภูมิอากาศของปี 2543 สามารถนำมาใช้คำนวณในสมการของ CLTD ในส่วนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอก คือ $(t_o - 85)$ ดังแสดงในภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3- 3 แสดงอุณหภูมิอากาศของปี 2543 ที่ประกอบการคำนวณ CLTD

3.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่สำคัญ

1) ผนังทึบ

เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของผนังทึบของอาคารพบว่า คุณสมบัติประการหนึ่งของผนังทึบที่มีความเหมาะสมในการใช้เป็นตัวบ่งชี้ (Indicator) ถึงศักยภาพในการประหยัดพลังงานก็คือ ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนและพื้นที่ของผนังทึบ เพราะปริมาณความร้อนจากอากาศภายนอกที่ถ่ายเทผ่านเข้ามาภายในอาคารโดยผ่านผนังทึบจะมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผนัง และคุณสมบัติในถ่ายเทความร้อนของผนังทึบแต่ละชนิด ผนังทึบที่มีพื้นที่น้อยและความสามารถสกัดกั้นไม่ให้ความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในบ้านได้มาก ทำให้ลดภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศได้มาก

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราภาระการทำความเย็นของอาคารในส่วนที่เป็นผนัง สามารถเปรียบเทียบและคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{wall} = U*A*CLTD_{wall} \quad \text{.....(6)}$$

เมื่อ Q = ภาระการทำความเย็น (Watt หรือ Btu/h)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทร้อนรวมผนังทึบ (watt/m^2 ^oC หรือ Btu/h ft^2 ^oF)

A = พื้นที่ผนังทึบ (m^2 หรือ ft^2)

$CLTD_{wall}$= ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Different

โดยค่า $CLTD_{wall}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (ASHREA, 1989 : 26.36)

$$CLTD_{wall} = (CLTD+LM)*K+(78-t_r)+(t_o-85) \quad \text{.....(7)}$$

เมื่อ

CLTD = ค่าจากตาราง (รายละเอียดดูในภาคผนวก)

LM = ค่าปรับละติจูดและเดือนของที่ตั้งอาคาร (รายละเอียดดูในภาคผนวก)

K = ค่าลักษณะสีของอาคาร

K = 1.00 เมื่อผนังสีเข้ม หรือ ผนังสีอ่อนในอาคารอุตสาหกรรม

K = 0.83 เมื่อผนังสีปานกลาง

K = 0.65 เมื่อผนังสีอ่อน

จากสมการข้างต้นแสดงว่า ภาระในการทำความเย็นที่เกิดจากผนังทึบที่เป็นผนังภายนอกอาคารนั้น มีความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ผนังและสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนของผนังนั้นๆ ดังแสดงได้ด้วยสมการ

$$Q \propto A \quad \text{.....(8)}$$

และ

$$Q \propto U \quad \text{.....(9)}$$

ดังนั้น ในกรณีที่ต้องการประเมินศักยภาพของผนังทึบ เปรียบเทียบกัน โดยกำหนดให้ผนังนั้นมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิภายในกับอุณหภูมิภายนอกเท่ากัน จะพบว่าตัวแปรที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินค่าของการประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศก็คือ พื้นที่ผนัง และค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อนหรือค่า U ของผนังนั้นนั่นเอง ผนังที่มีพื้นที่น้อยและมีค่า U ยิ่งน้อยก็จะทำให้เกิดภาระในการทำความเย็นน้อยลงตามไปด้วย

2) กระจก

อิทธิพลของกระจกที่มีผลต่อภาระการทำความเย็นของอาคารไม่ได้เกิดจากปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเนื้อวัสดุด้วยการนำเหมือนผนังทึบเพียงประการเดียวเท่านั้น แต่เนื่องจากกระจกเป็นวัสดุโปร่งแสงทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นคลื่นสั้น สามารถทะลุทะลวงผ่านกระจกเข้ามาภายในอาคารได้ ลักษณะดังกล่าวทำให้คลื่นสั้นที่ผ่านเข้ามาภายในเปลี่ยนรูปเป็นคลื่นยาวซึ่งเป็นวามร้อนสะสมภายในอาคาร ความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแผ่รังสีผ่านกระจกจึงเป็นภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศอีกทางหนึ่ง ภาระในการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของรังสีจากดวง อาทิตย์ผ่านวัสดุโปร่งแสง สามารถคำนวณได้จากสมการ

ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจากการนำความร้อนของกระจกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{glass} = U*A*(CLTD_{glass}) \quad \text{.....(10)}$$

เมื่อ

Q = ภาระการทำความเย็น (Watt หรือ Btu/h)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทร้อนรวมของกระจก (watt/m^2 ^oC หรือ Btu/h ft^2 ^oF)

A = พื้นที่กระจก (m^2 หรือ ft^2)

$CLTD_{glass}$= ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Different

ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกซึ่งสามารถคำนวณได้โดย

$$Q_{glass} = A*SC* SHGF*CLF \quad \text{.....(11)}$$

เมื่อ

Q = ภาระการปรับอากาศ (Watt หรือ Btu/h)

SC = Shading Coefficient หรือ สัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก

A = พื้นที่กระจก (m^2 หรือ ft^2)

SHGF = Solar Heat Gain Factor มีหน่วยเป็น Btu / (h ft^2).ในระบบ I-P หรือ W / m^2 ในระบบ SI

CLF = Cooling load factors

จากสมการข้างต้นแสดงว่า ภาระในการทำความเย็นที่เกิดจากกระจกที่เป็นผนังภายนอกอาคารนั้น มีความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับพื้นที่กระจกและสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกนั้นๆ ดังแสดงไว้ด้วยสมการ

$$Q \propto A \quad \text{.....(12)}$$

$$Q \propto U \quad \text{.....(13)}$$

และ

$$Q \propto SC \quad \text{.....(14)}$$

ดังนั้นในกรณีที่ต้องการประเมินศักยภาพของกระจกเปรียบเทียบกัน โดยกำหนดให้ตัวแปร SHGF และ CLF มีค่าเท่ากัน จะพบว่าตัวแปรที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินค่าการประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศคือ พื้นที่กระจก สัมประสิทธิ์การถ่ายเทร้อนรวมของกระจก และสัมประสิทธิ์การบังแดดหรือ ค่าSC ของกระจกนั่นเอง ผนังที่มีพื้นกระจกและค่า SC ยิ่งน้อยก็ยิ่งทำให้เกิดภาระในการทำความเย็นน้อยตามลงไปด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในกรณีของการประเมินค่าการประหยัดพลังงานของเปลือกอาคารที่เป็นกระจก ในส่วนของอิทธิพลที่เกิดจากการแผ่รังสี จึงพิจารณาพื้นที่กระจก และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดโดยวิธีการรวบรวมค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก และค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

3) ส่วนหลังคา

ในการคำนวณหาภาระการทำความเย็นของอาคาร ที่เกิดจากอิทธิพลของส่วนหลังคา สามารถคำนวณได้เหมือนกับผนังทึบ ทั้งนี้เนื่องจากผนังทึบและหลังคาเป็นส่วนหนึ่งของระบบเปลือกอาคารเหมือนกันและมีลักษณะเป็นผนังทึบ ปริมาณการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกอาคารจึงเกิดขึ้นโดยกระบวนการนำความร้อน ซึ่งแปรผันไปตามพื้นที่หลังคาและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราภาระการทำความเย็นของอาคารในส่วนที่เป็นหลังคา สามารถเปรียบเทียบและคำนวณได้จากสมการ

$$Q_{wall} = U*A*CLTD_{roof} \quad \text{.....(15)}$$

เมื่อ Q = ภาระการทำความเย็น (Watt หรือ Btu/h)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทร้อนรวมเปลือกอาคาร (watt/m^2 ^oC หรือ Btu/h ft^2 ^oF)

A = พื้นที่หลังคา (m^2 หรือ ft^2)

$CLTD_{roof}$= ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Different

โดยค่า $CLTD_{roof}$สามารถคำนวณได้จากสมการ (ASHREA, 1989 : 26.36)

$$CLTD_{roof} = (CLTD+LM)*K+(78-tr)+(to-85)*f \quad \text{.....(16)}$$

CLTD = ค่าจากตาราง

LM = ค่าปรับละติจูดและเดือนของที่ตั้งอาคาร

K = ค่าลักษณะสีของหลังคา

K = 1.00 เมื่อหลังคาสีเข้ม หรือ ผนังสีอ่อนในอาคารอุตสาหกรรม

K = 0.50 เมื่อหลังคาสีอ่อน

f = ค่าการระบายอากาศของหลังคา

f = 1.00 เมื่อ ไม่มีการระบายอากาศของหลังคา

f = 0.75 เมื่อ มีการระบายอากาศภายใต้หลังคา

จากสมการข้างต้นแสดงว่า ภาระในการทำความเย็นที่เกิดจากหลังคา มีความสัมพันธ์แบบแปรผันโดยตรงกับพื้นที่หลังคาและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุ ดังแสดงไว้ด้วยสมการ

$$Q \propto A \quad \text{.....(17)}$$

และ

$$Q \propto U \quad \text{.....(18)}$$

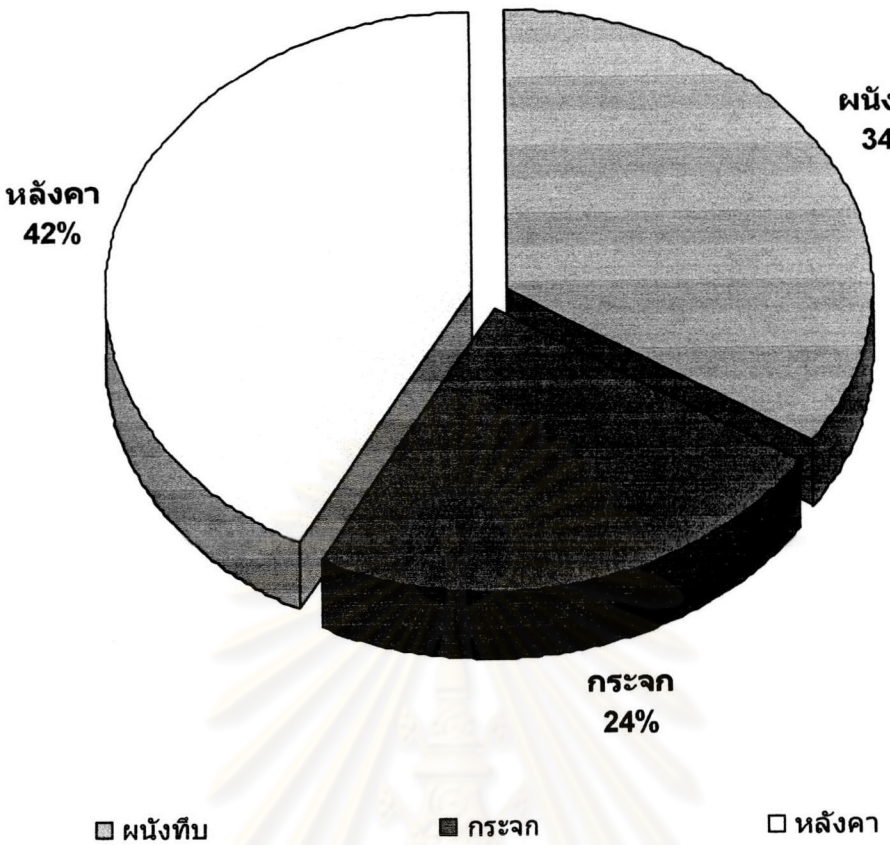
3.3 การสร้างแบบประเมิน

1) การหาสัดส่วนของภาระการทำความเย็นจากผนังทึบ กระจก และหลังคา

ได้จากการพิจารณาค่าภาระการทำความเย็นจากผนังทึบ กระจกและหลังคา ของบ้านตัวอย่าง 15 หลัง มีค่าภาระการทำความเย็นดังนี้

ตารางที่ 3- 2 แสดงค่าภาระการทำเย็นของผนัง กระจก และหลังคา จากตัวอย่างบ้าน 15 หลัง

ลำดับที่	แบบบ้าน	OPAQUE Btu/h.m^2	GLASS Btu/h.m^2	ROOF Btu/h.m^2
1	บ้านปาล์มเมอร์	172.11	124.32	241.70
2	บ้านวรรณวนา	220.72	95.00	229.35
3	บ้านเดี่ยวเบิกบาน	153.53	148.78	239.01
4	บ้านสองชั้นทราสฟอร์ม	150.24	246.00	211.81
5	บ้านพักโมเดิร์น	187.23	130.29	314.66
6	บ้านลดาวารี	230.57	126.58	381.41
7	บ้านกรมโยธา แบบประหยัด 3	301.64	120.40	251.07
8	บ้านกรมโยธา แบบประหยัด 2	122.14	119.19	388.89
9	บ้านลอยชายชั้นครึ่ง	258.08	127.44	238.73
10	บ้านเดี่ยวเรือนเล็ก	220.09	207.31	384.96
11	บ้านเรนโบว์	295.49	214.20	255.86
12	บ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคใต้	473.60	104.83	322.33
13	บ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคเหนือ	424.12	137.99	421.41
14	บ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคอีสาน	298.34	192.74	465.68
15	บ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคกลาง	345.91	158.74	534.38
ค่าเฉลี่ย		256.92	150.25	325.42



แผนภูมิที่ 3- 2 อัตราส่วนค่าเฉลี่ยภาระการทำความเย็นของผนังทึบ กระจกและหลังคา จากตัวอย่างบ้าน 15 หลัง

จากแผนภูมิที่ 3-2 แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนค่าภาระการทำความเย็นเฉลี่ยจากกลุ่มบ้านตัวอย่าง 15 หลัง ซึ่งสัดส่วนจากมากไปน้อยดังนี้

1) หลังคาคิดเป็น 42 %
2) ผนังทึบคิดเป็น 34 %
3) กระจกคิดเป็น 24 %

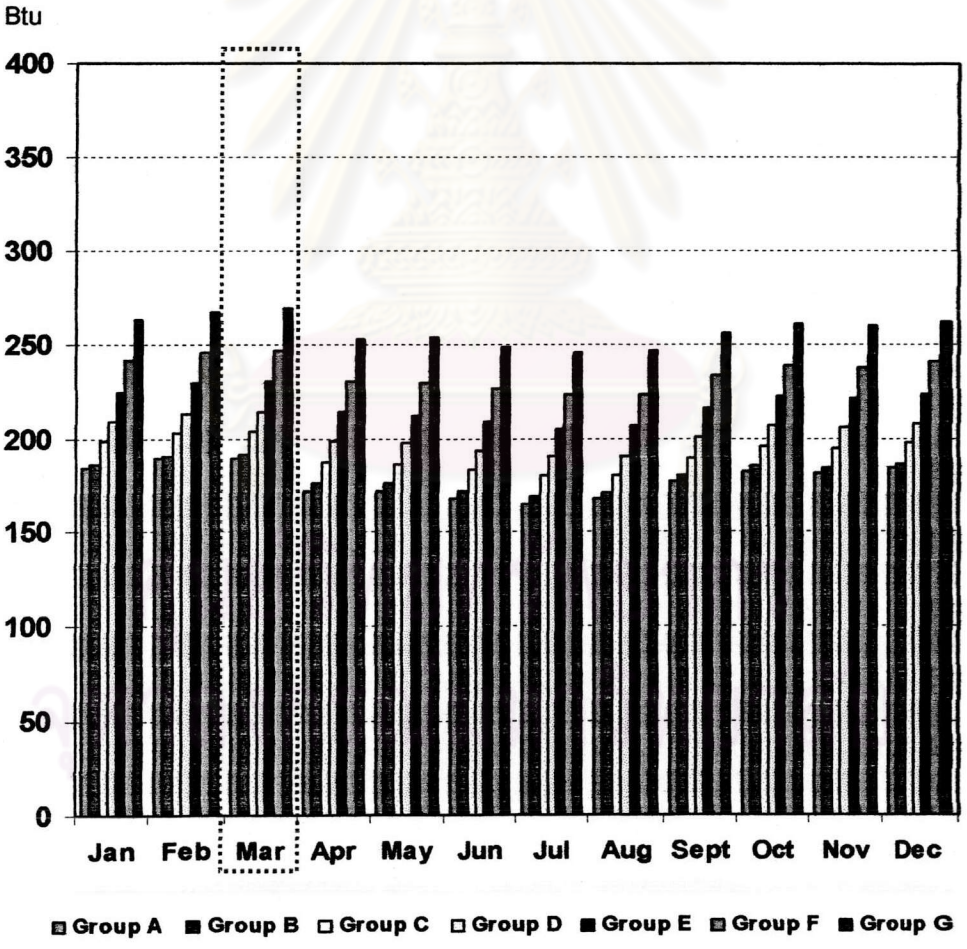
2) การพิจารณาเดือน

ในการคำนวณตามสมการ 1 มีความจำเป็นต้องพิจารณาจากเดือนที่ทำให้เกิดภาระการทำความเย็นมากที่สุดในทุกทิศทาง การเลือกเดือนเพื่อนำมาพิจารณาจึงต้องคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผลรวมของค่าภาระการทำความเย็นจาก หลังคา ผนังทึบ และกระจก ในทุกทิศทาง แต่เนื่องจากอาคารปรับอากาศที่มีการติดตั้งฝ้าเพดานความแตกต่างของทิศทางนั้นมีผลน้อยจึงกำหนดให้ภาระการทำความเย็นจากหลังคามีค่าคงที่ ตัวแปรที่นำมาพิจารณาจึงมีเพียง ค่าภาระการทำความเย็นจากทุกทิศทางของผนังทึบ และ ค่าภาระการทำความเย็นจากทุกทิศทางของกระจก ดังนั้นเดือนที่มีภาระการปรับอากาศสูงสุดคือ เดือนที่มีผลรวมค่าภาระการทำความเย็นใน

ทุกทิศทางจากสัดส่วนผนังทึบ 34% และกระจก 24% ดังได้กล่าวมาแล้ว สามารถเปรียบเทียบได้จากตารางและแผนภูมิ ดังนี้

ตารางที่ 3- 3 ผลรวมค่าภาระการทำความเย็นจากอัตราส่วนภาระการทำความเย็นผนังทึบ 34% และ กระจก 24% ที่เกิดขึ้นแต่ละเดือน

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
Group A	183.93	189.29	189.17	171.62	171.61	167.35	164.86	167.31	177.31	182.30	181.08	184.11
Group B	186.25	190.57	191.66	175.93	175.64	171.78	168.84	170.45	179.80	184.99	183.64	186.43
Group C	198.17	202.57	203.32	187.42	186.64	182.91	180.02	180.24	189.37	195.08	194.58	197.36
Group D	208.67	213.14	214.05	198.22	197.39	193.75	190.57	190.78	200.33	206.24	205.32	207.98
Group E	224.45	229.24	230.01	213.47	212.23	208.62	205.10	206.14	215.97	222.09	220.80	223.35
Group F	241.39	245.96	246.47	229.88	229.54	225.86	222.52	223.34	233.05	238.82	237.51	240.02
Group G	262.64	267.21	269.18	252.72	253.59	248.26	245.73	246.14	256.04	261.20	259.49	261.67



แผนภูมิที่ 3- 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นของผลรวมอัตราส่วนภาระการทำความเย็นผนังทึบ 34% และ กระจก 24% ที่เกิดขึ้นแต่ละเดือน

เดือนที่มีผลรวมภาระการทำความเย็นจาก 8ทิศทางมากที่สุด คือเดือนมีนาคม ดังนั้นจึงเลือกเดือนมีนาคมเพื่อนำไปใช้คำนวณในขั้นต่อไป

3.3.1 การสร้างแบบประเมินผนังทึบ

การสร้างแบบประเมินผนังทึบคือ การสร้างแบบประเมินที่สามารถบอกได้ว่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ที่เกิดจากผนังทึบ มีค่าเป็นเท่าไหร่

การสร้างแบบประเมินในส่วนผนังทึบ ได้จากประยุกต์สมการที่ 2 และ 6 สร้างเป็นแบบประเมินในรูปแบบแผนภูมิเชิงเส้น แบ่งตามทิศทางได้ 8 ทิศทาง แบบประเมินประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นการคำนวณเพื่อหาภาระการทำความเย็นในแต่ละทิศทางที่เกิดจากชนิดของผนังทึบ(พิจาณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม) และกลุ่มของผนังทึบ

ส่วนที่ 2 เป็นการคำนวณเพื่อหาภาระการทำความเย็น (ที่ได้จากส่วนที่ 1)ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศทั้งหมด

ซึ่งตัวแปรในการสร้างแผนภูมิประกอบไปด้วย

ส่วนที่ 1

1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ
2) กลุ่มของผนังทึบ

ส่วนที่ 2

1) ค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากส่วนที่ 1
2) สัดส่วนพื้นที่ผนังทึบต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

ขั้นตอนดำเนินการในส่วนที่ 1 มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ

กำหนดขอบเขตแกน X โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U ของผนังแต่ละชนิดที่มีมาจัดลำดับเพื่อหาค่าต่ำสุด-สูงสุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3- 4 แสดงค่าความต้านทานความร้อน R และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U ของผนังทึบ

	ชนิดผนังประเภทต่างๆ	R (ft^2 h F/Btu)	U (Btu/h ft^2 F)
1	ผนังโลหะลูกฟูก	0.932	1.074
2	ผนังไม้ชั้นเดียว	1.449	0.691
3	ผนังไม้ 2 ชั้น	2.807	0.357
4	ผนังยิปซั่มบอร์ด	2.489	0.402
5	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร	1.722	0.581
6	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.175 เมตร	2.250	0.445
7	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.30 เมตร	3.131	0.320
8	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.50 เมตร	4.540	0.220
9	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.70 เมตร	5.943	0.168
10	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+โฟม 1 นิ้ว*	5.875	0.170
11	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+โฟม 2 นิ้ว*	9.938	0.101
12	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+โฟม 3 นิ้ว*	13.994	0.072
13	ผนังก่ออิฐฉาบปูน 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศตรงกลาง	3.091	0.324
14	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตรตกแต่งด้วยวีว่า บอร์ด	2.977	0.336
15	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 เมตร	4.471	0.224
16	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+โฟม 1 นิ้ว*	8.625	0.116
17	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+โฟม 2 นิ้ว*	12.687	0.079
18	ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+โฟม 3 นิ้ว*	16.744	0.060
19	ผนังก่ออิฐบล็อกหนา 0.10 เมตร	2.017	0.496
20	ผนังก่ออิฐบล็อกหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+ โฟม 1 นิ้ว*	6.170	0.162
21	ผนังก่ออิฐบล็อกหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+ โฟม 2 นิ้ว*	10.233	0.098
22	ผนังก่ออิฐบล็อกหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+ โฟม 3 นิ้ว*	14.290	0.070
23	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร	1.324	0.756
24	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+โฟม 1 นิ้ว*	5.739	0.174
25	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+โฟม 2 นิ้ว*	9.801	0.102
26	ผนังคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 เมตร เพิ่มEIFS+โฟม 3 นิ้ว*	13.858	0.072
27	แผ่นผนังสำเร็จบุด้วยแผ่นอลูมิเนียม	2.199	0.455
28	แผ่นผนังสำเร็จบุด้วยวีว่า บอร์ด	2.744	0.365
29	แผ่นผนังสำเร็จบุด้วยแผ่นอลูมิเนียมเพิ่มฉนวนตรงกลาง	8.790	0.114
30	ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก + โฟม 1 นิ้ว	6.545	0.153
31	ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก + โฟม 2 นิ้ว	10.608	0.094
32	ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก + โฟม 3 นิ้ว	14.665	0.068

(หมายเหตุ : * ผนังทึบที่กำหนดขึ้นเองโดยยังไม่มีการใช้ทั่วไป)

สรุปค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(U) ของผนังทึบมีค่าตั้งแต่ 0.06 – 1.073 Btu/h ft^2 °F ทำให้ทราบถึงขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม โดยพิจารณาได้ในขอบเขตผนัง 32 ชนิดและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่มีเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 2 แบ่งกลุ่มของผนังทึบ

การแบ่งกลุ่มผนังทึบเพื่อสามารถนำไปคำนวณตามสมการที่ 7 อ้างอิงตามหนังสือ ASHRAE,1989 การจัดกลุ่มของผนังอาคารโดยแบ่งตามน้ำหนักของผนัง ส่วนประกอบ และการเรียงส่วนประกอบนั้น ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

ตารางที่ 3- 5แสดงการแบ่งกลุ่มของผนังอ้างอิงตามหนังสือ ASHRAE,1989

Group No.	Description of Construction	Weight (lb/ft2)	U-Vale (Btu/h ft2 F)
4-in. Face brick + (brick)			
C	Air space + 4-in. face brick	83	0.358
D	4-in. common brick	90	0.415
C	1-in. insulation or air space +4-in. common brick	90	0.174-0.301
B	2-in. insulation + 4-in. common brick	88	0.111
B	8-in. common brick	130	0.302
A	Insulation or air space + 8-in. common brick	130	0.154-0.243
4-in. Face brick + (heavyweight concrete)			
C	Air space + 2-in. concrete	94	0.350
B	2-in. insulation + 4-in. concrete	97	0.116
A	Air space or insulation + 8-in.or more concrete	143-190	0.110-0.112
4-in. Face brick + (light or heavyweight concrete block)			
E	4-in. block	62	0.319
D	Air space or insulation + 4-in. block	62	0.153-0.246
D	8-in. block	70	0.274
C	Air space or 1-in. insulation + 6-in. or 8-in.block	73-89	0.221-0.275
B	2-in. insulation + 8-in.block	89	0.096-0.107
4-in. Face brick +(clay tile)			
D	4-in. tile	71	0.381
D	Air space + 4-in. tile	71	0.281
C	Insulation + 4-in. tile	71	0.169
C	8-in. tile	96	0.275
B	Air space or 1-in. insulation + 8-in. tile	96	0.142-0.221

A	2-in. insulation + 8-in. tile	97	0.097
Heavyweight concrete wall + (finish)			
E	4-in. concrete	63	0.585
D	4-in. concrete + 1-in. or 2-in. insulation	63	0.119-0.200
C	2-in. insulation + 4-in. concrete	63	0.119
C	8-in. concrete	109	0.490
B	8-in. concrete +1-in. or 2-in. insulation	110	0.115-0.187
A	2-in. insulation + 8-in. concrete	110	0.115
B	12-in. concrete	156	0.421
A	12-in. concrete + insulation	156	0.113
Light and heavyweight concrete block + (finish)			
F	4-in. block + air space/insulation	29	0.161-0.263
E	2-in. insulation + 4-in. block	29-37	0.105-0.114
E	8-in. block	47-51	0.294-0.402
D	8-in. block + air space/insulation	41-57	0.149-0.173
Clay tile + (finish)			
F	4-in. tile	39	0.419
F	4-in. tile + air space	39	0.303
E	4-in. tile + 1-in. insulation	39	0.175
D	2-in. insulation + 4-in. tile	40	0.110
D	8-in. tile	63	0.296
C	8-in. tile + air space/1-in. insulation	63	0.151-0.231
B	2-in. insulation + 8 in. tile	63	0.099
Metal curtain wall			
G	With/without air space +1-in. to 3-in. insulation	5	0.091-0.230
Frame wall			
G	1-in. to 3-in. insulation	16	0.081-0.178

ขั้นตอนที่ 3 การหาค่า CLTD ของผนังทึบ

จากสมการที่ 6 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (CLTD) เป็นอีกปัจจัยที่ใช้พิจารณาเพื่อทราบถึงภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นในส่วนของผนังทึบ เนื่องจากค่า CLTD ค่าที่ได้คำนึงถึงทิศทาง ที่ตั้งของอาคาร และมวลสารของผนังทึบ

และดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า CLTD เป็นสมการที่แสดงความแตกต่างในเรื่องของทิศทางที่ตั้งของผนังอาคารนั้นๆ จึงต้องมีการปรับค่า CLTD ตามตำแหน่งที่ตั้ง เดือนที่ต้องการหาค่าภาระการทำความเย็น และอุณหภูมิภายในและภายนอกตามสภาพอากาศจริงของเดือนนั้นๆ สมการที่ใช้ในการปรับค่า CLTD คือสมการที่ 7

จากสมการ

$$CLTD_{corr} = (CLTD + LM)k + (78 - T_r) + (T_o - 85)$$

โดยที่

CLTD คือ ค่าที่จำแนกตามผนังอาคารประเภทต่างๆ อ้างอิงตามหนังสือ ASHRAE, 1989

LM คือ ที่ตั้งและเดือน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ที่ตั้งที่ 16° เดือนที่นำมาพิจารณาคือเดือนมีนาคม

T_o คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิจริงเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาปี 2543

T_r คือ ค่าอุณหภูมิอากาศภายในที่ต้องการให้เป็นโดยใช้ระบบปรับอากาศในที่นี้ใช้ค่า T_r = 25°C หรือ 77°F

ทำการหาค่าภาระการทำความเย็นจากสมการ

$$Q = U*A*CLTD_{corr} \text{ หน่วย } Btu/h\ ft^2$$

เมื่อกำหนดให้ ค่า U = 1 และ A = 1 หน่วยพื้นที่

ตารางที่ 3- 6 แสดงตัวอย่างการหาค่า $CLTD_{corr}$ ตามสมการที่ (6) ของผนังกลุ่ม A ทิศเหนือ

Time	CLTD	LM	k	Tr	to	$CLTD_{corr}$
						(CLTD+LM)k+(78-Tr)+(to-85)
1:00	14	-3	1	77	82.05	9.05
2:00	14	-3	1	77	81.72	8.72
3:00	14	-3	1	77	81.44	8.44
4:00	13	-3	1	77	81.11	7.11
5:00	13	-3	1	77	80.68	6.68
6:00	13	-3	1	77	80.15	6.15
7:00	12	-3	1	77	80.48	5.48
8:00	12	-3	1	77	82.28	7.28

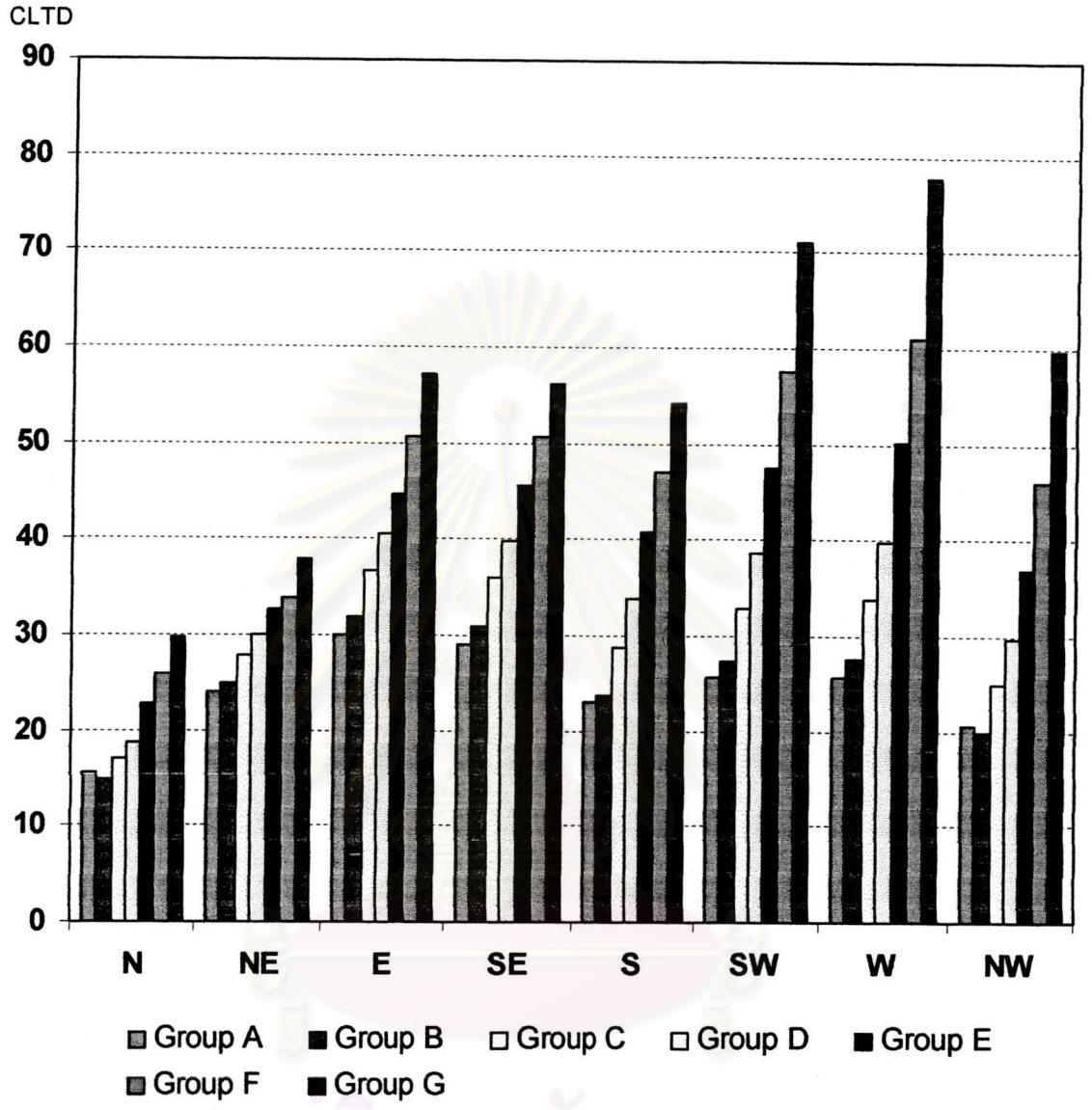
9:00	11	-3	1	77	84.91	8.91
10:00	11	-3	1	77	87.1	11.10
11:00	10	-3	1	77	89.22	12.22
12:00	10	-3	1	77	90.63	13.63
13:00	10	-3	1	77	91.75	14.75
14:00	10	-3	1	77	92.24	15.24
15:00	10	-3	1	77	92.65	15.65
16:00	10	-3	1	77	91.93	14.93
17:00	11	-3	1	77	90.76	14.76
18:00	11	-3	1	77	88.49	12.49
19:00	12	-3	1	77	86.05	11.05
20:00	12	-3	1	77	84.57	9.57
21:00	13	-3	1	77	83.85	9.85
22:00	13	-3	1	77	83.36	9.36
23:00	14	-3	1	77	82.98	9.98
0:00	14	-3	1	77	82.5	9.50

สามารถสรุปค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า CLTD ของกลุ่มผนังทึบในแต่ละทิศทาง จากการคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 3- 7 แสดงความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าCLTDของผนังทึบ 7 ชนิดใน 8 ทิศทาง

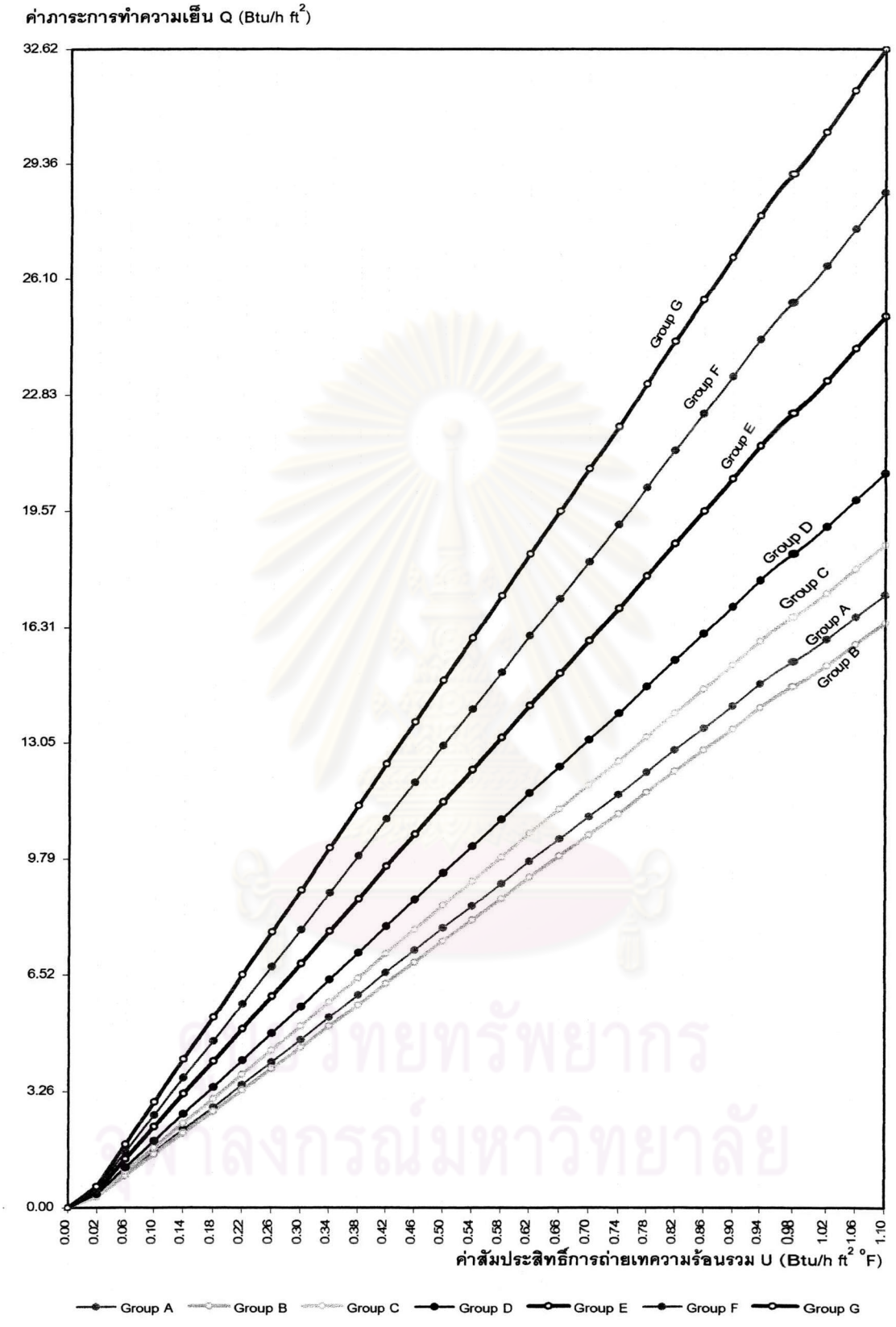
CLTD	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Group A	15.654	23.934	29.934	28.934	22.934	25.654	25.754	20.754
Group B	14.931	24.934	31.934	30.934	23.761	27.358	27.505	19.981
Group C	16.934	27.934	36.654	35.934	28.761	32.846	33.846	24.846
Group D	18.761	29.934	40.654	39.934	33.761	38.566	39.846	29.846
Group E	22.761	32.654	44.754	45.654	40.761	47.485	50.052	37.052
Group F	25.934	33.754	50.628	50.754	46.934	57.485	61.052	46.052
Group G	29.654	37.908	57.097	56.223	54.242	70.934	77.761	59.761

แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า CLTD ของกลุ่มผนังทึบในแต่ละทิศทาง ได้ดังแผนภูมิแต่ไปนี้

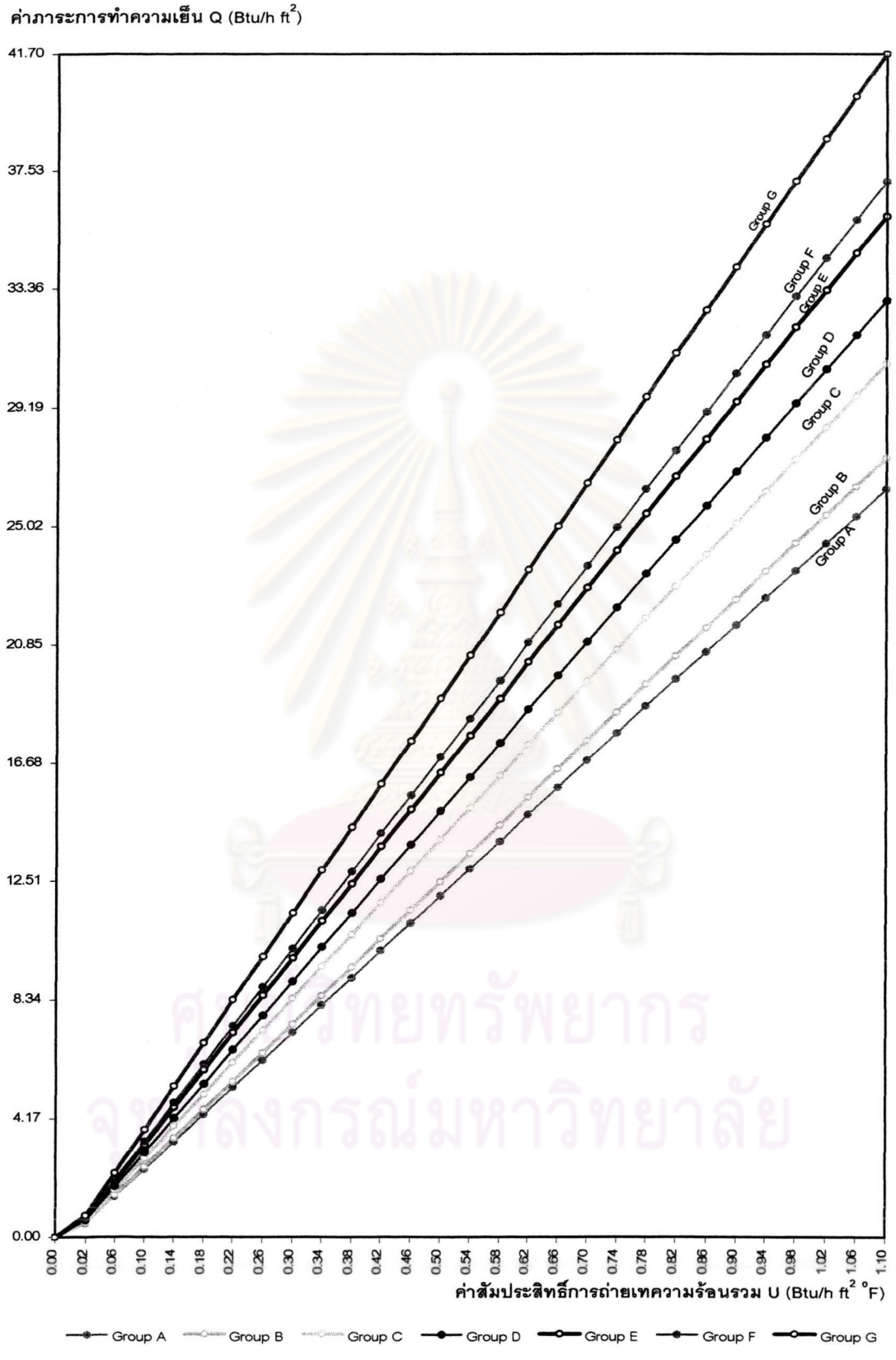


แผนภูมิที่ 3- 4 แสดงความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (CLTD) ในแต่ละทิศทาง ของผนังทึบ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมมีค่าเท่ากับ 1 Btu/h ft^2 ^oF

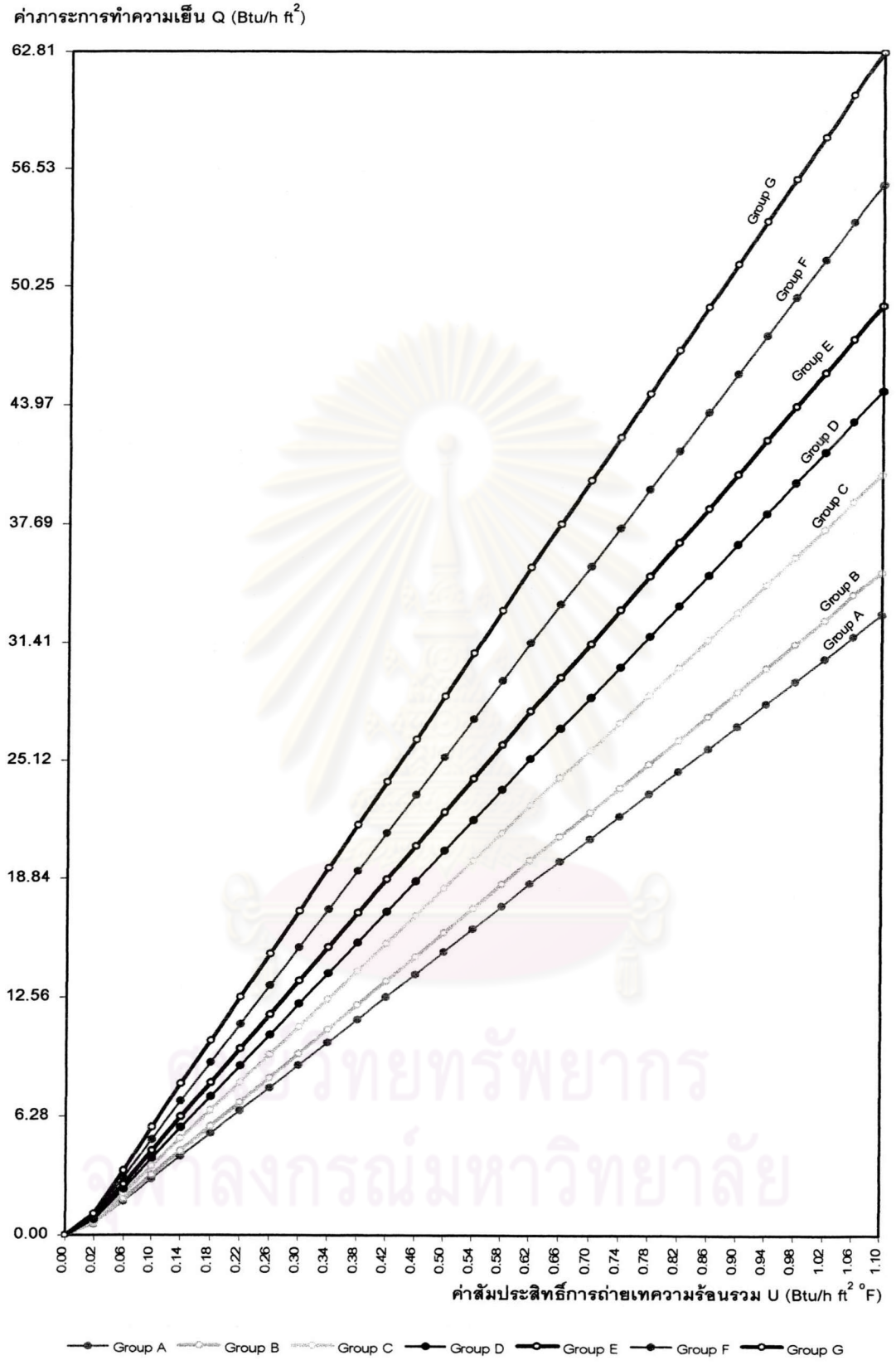
จากช่วงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) และความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (CLTD) ของผนังทึบทั้ง 8 ทิศ สามารถนำมาสร้างแผนภูมิเชิงเส้นในส่วนที่ 1 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า U และกลุ่มของผนังทึบ ใน 8 ทิศทางได้ ดังนี้



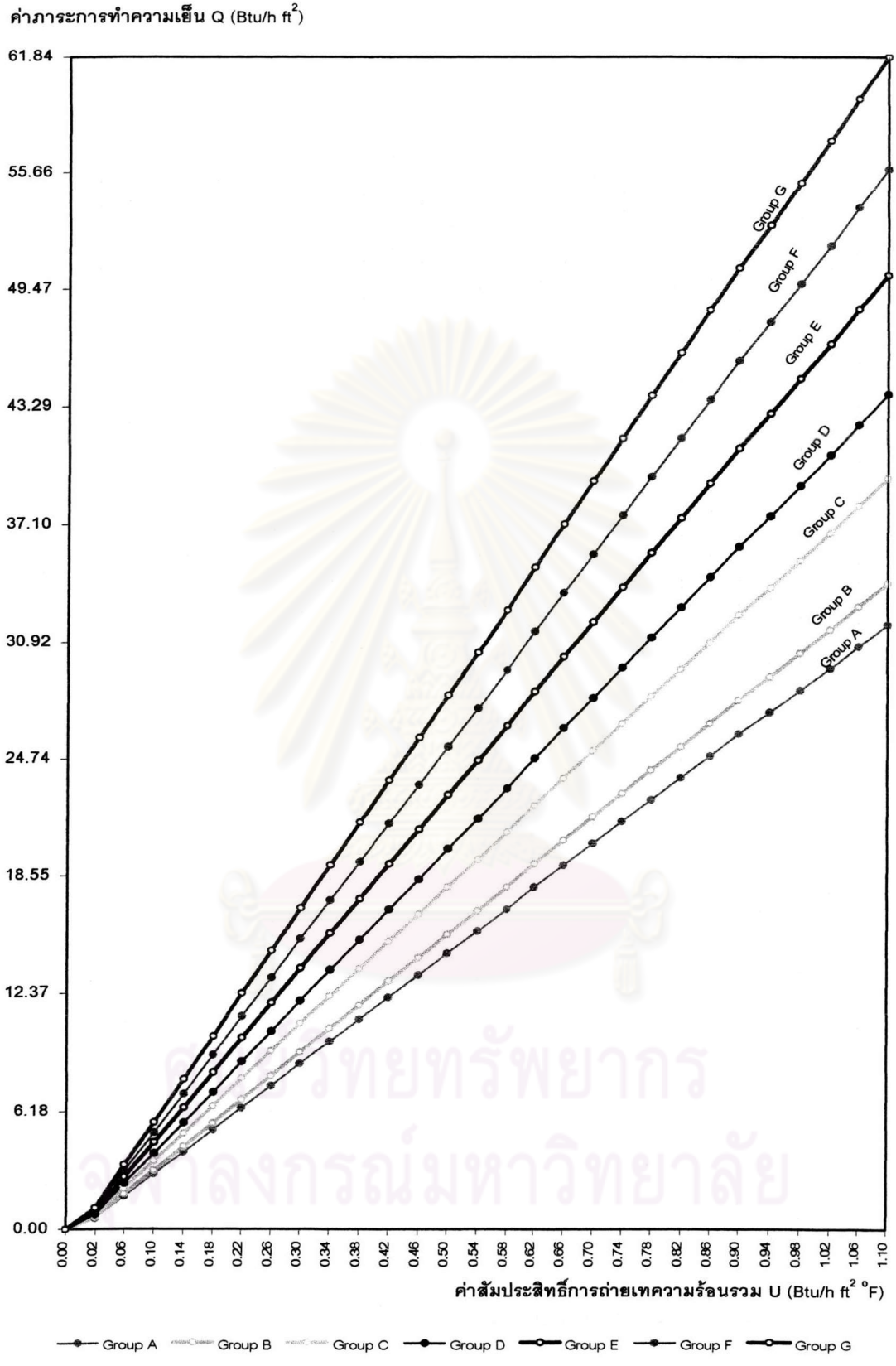
แผนภูมิที่ 3- 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศเหนือ



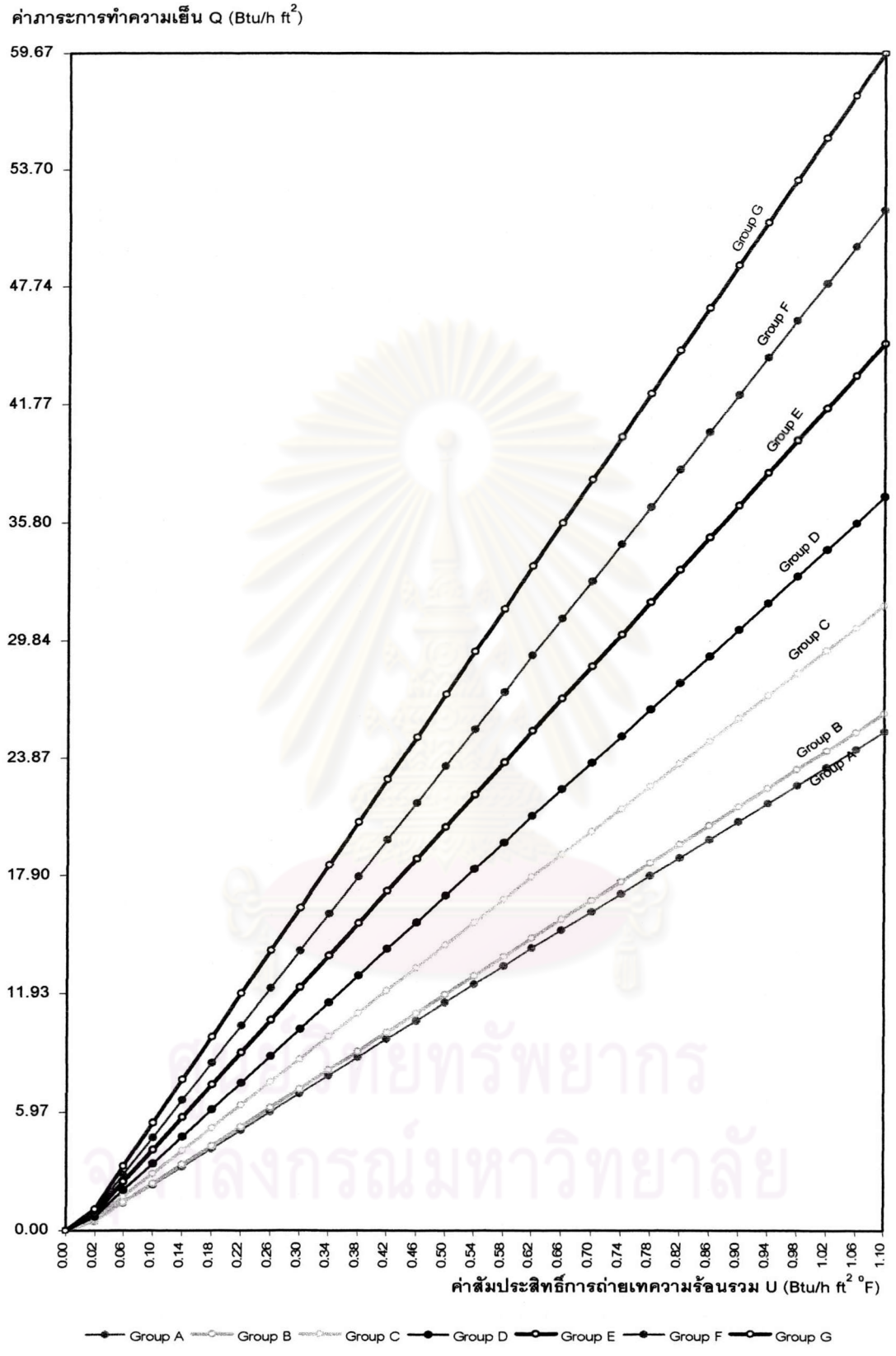
แผนภูมิที่ 3- 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ



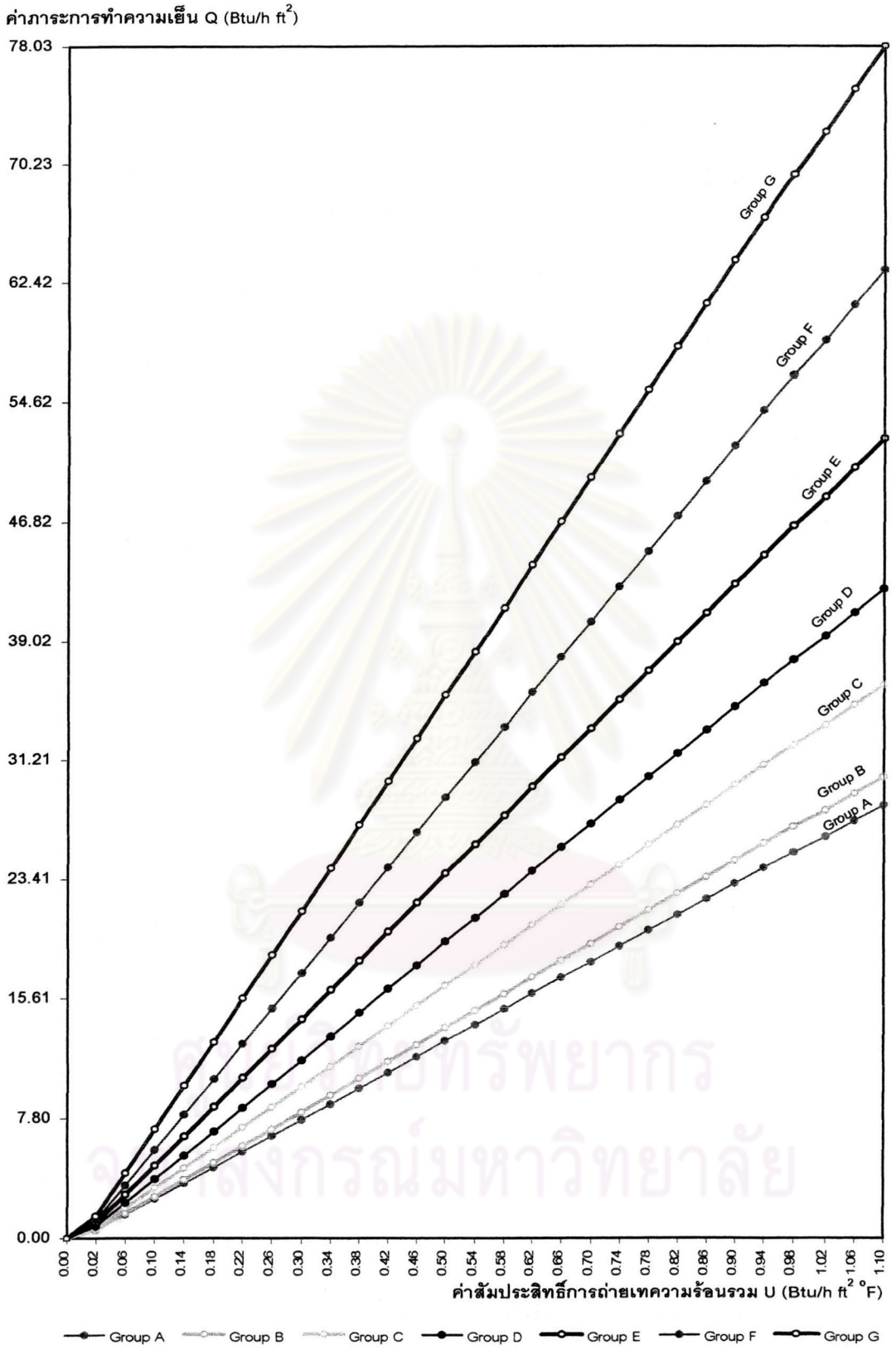
แผนภูมิที่ 3- 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันออก



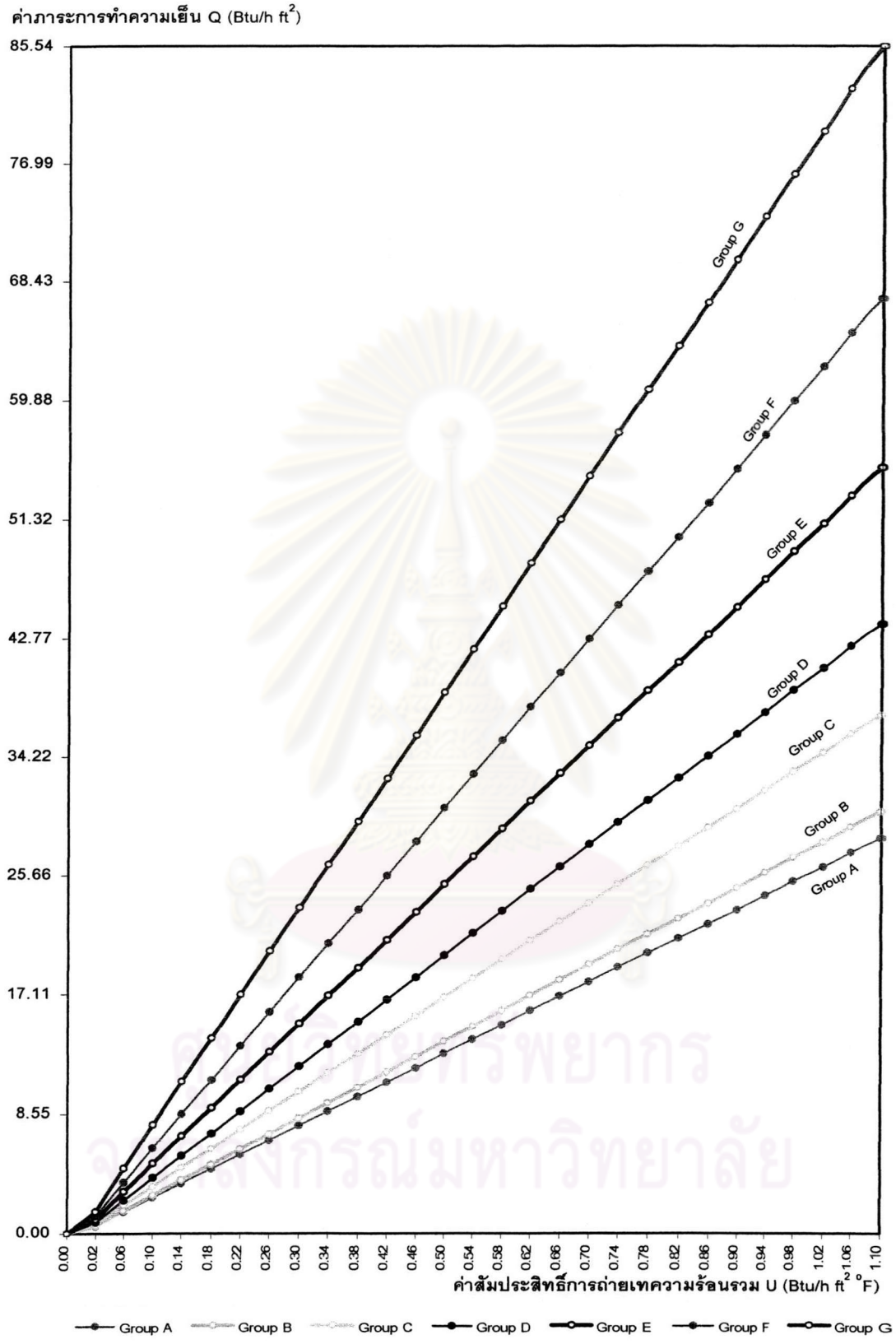
แผนภูมิที่ 3- แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันออกเฉียงใต้



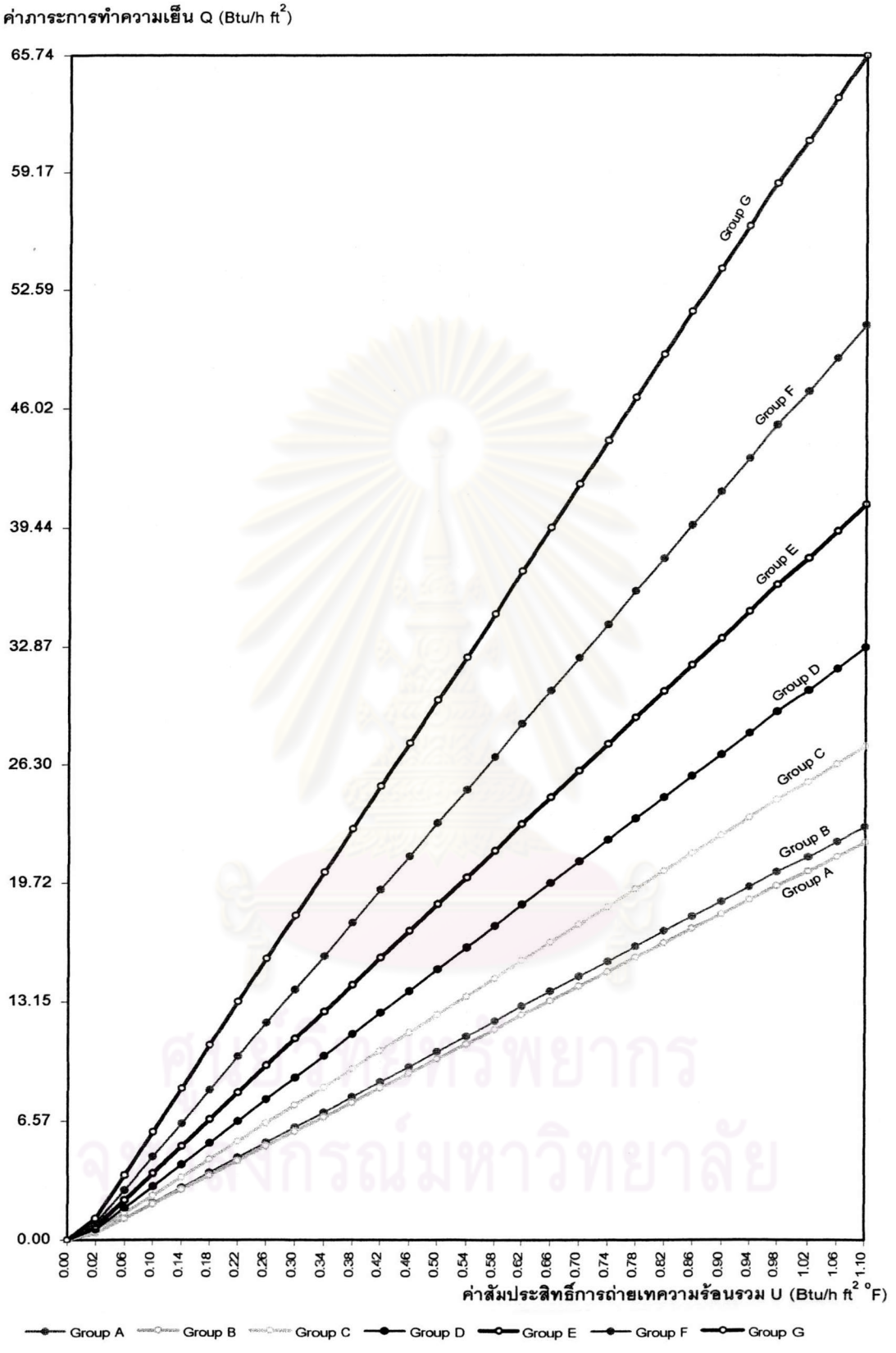
แผนภูมิที่ 3- แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศใต้



แผนภูมิที่ 3- 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันตกเฉียงใต้



แผนภูมิที่ 3- 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 3- 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นของผนัง 7 กลุ่มกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

ขั้นตอนดำเนินการในส่วนที่ 2 มีดังนี้

การกำหนดอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

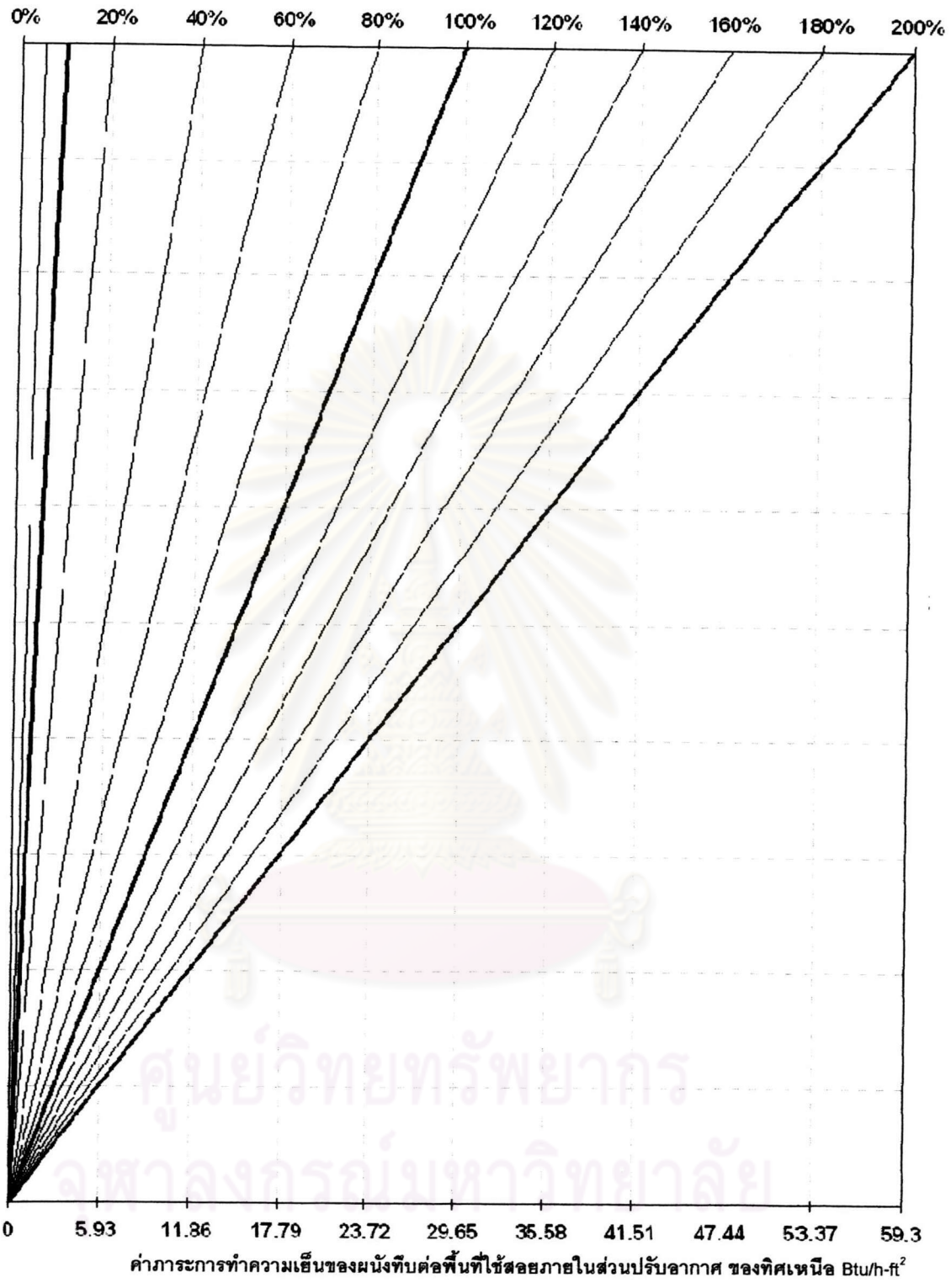
จากการศึกษาอัตราส่วนบ้านตัวอย่าง 15 หลัง สามารถหาค่าอัตราส่วนผนังทึบต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศได้ดังนี้

ตารางที่ 3- 8 แสดงอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ของบ้านตัวอย่าง 15 หลัง

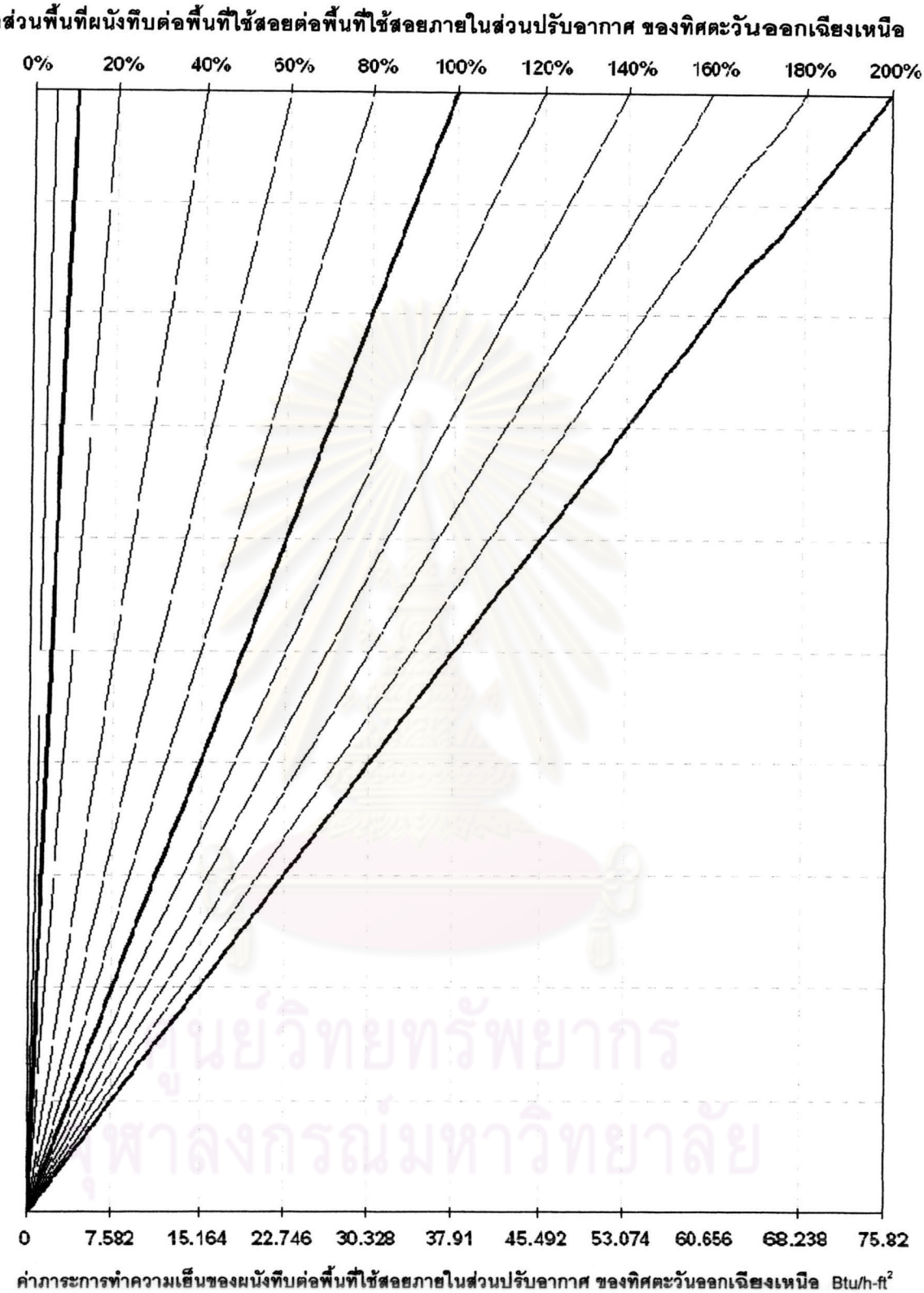
ลำดับ	แบบบ้าน	อัตราส่วนพื้นที่ผนังต่อพื้นที่ใช้สอย			
		N	E	S	W
1	บ้านกรมโยธา แบบประหยัด 2	0.460	0.338	0.460	0.338
2	บ้านเดี่ยวเรือนเล็ก	0.676	0.222	0.694	0.269
3	บ้านลอยชายชั้นครึ่ง	0.413	0.416	0.298	0.495
4	บ้านกรมโยธา แบบประหยัด 3	0.764	0.511	0.753	0.511
5	บ้านเรนโบว์	0.479	0.582	0.447	0.582
6	บ้านเดี่ยวเบิกบาน	0.329	0.284	0.329	0.257
7	บ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคกลาง	0.555	0.763	0.555	0.763
8	บ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคเหนือ	0.807	0.849	0.807	0.793
9	บ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคใต้	1.716	1.090	0.342	0.594
10	บ้านไทยอนุรักษ์ไทยภาคอีสาน	0.701	0.417	0.701	0.417
11	บ้านลดาวารี	0.430	0.350	0.430	0.334
12	บ้านวรรณวนา	0.359	0.342	0.359	0.346
13	บ้านปาล์มเมอร์	0.323	0.246	0.333	0.273
14	บ้านพักโมเดิร์น	0.359	0.284	0.372	0.276
15	บ้านสองชั้นทราสฟอร์ม	0.349	0.331	0.319	0.336

ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบ(ในหนึ่งด้าน)ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศมากที่สุดคือ 1.716 ในความเป็นจริงบ้านอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศอาจมีค่าได้มากกว่า ดังนั้น แบบประเมินจึงผนังทึบจึงกำหนดค่าอัตราส่วนมีค่าเป็น 2 หรือ 200%ของพื้นที่ใช้สอยภายใน ช่วงอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบ(ในหนึ่งด้าน)ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศจึงเป็น 0-200%

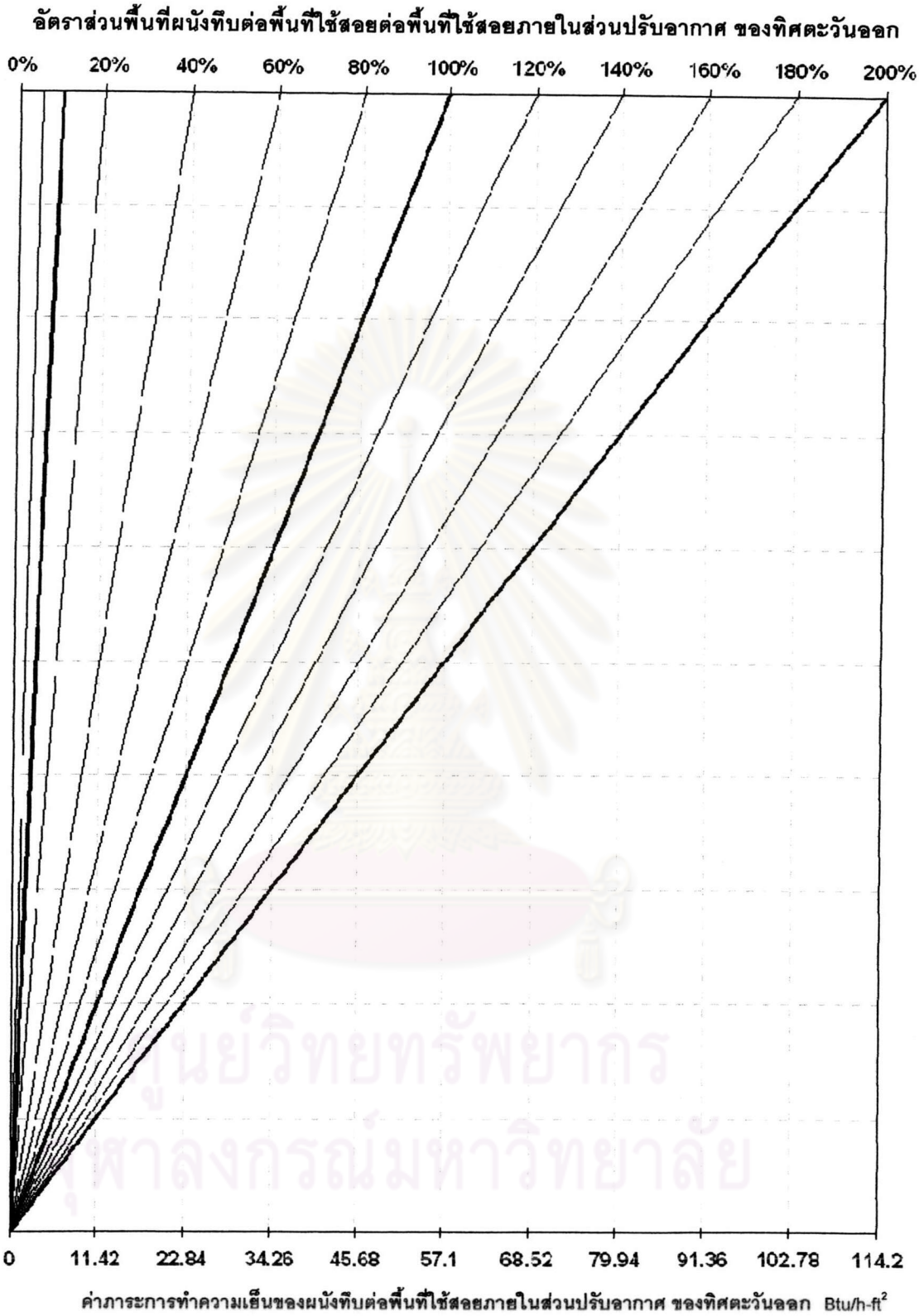
จากภาระการทำความเย็นของผนังทึบที่คำนวณได้ในส่วนที่ 1 เมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบ(ในหนึ่งด้าน)ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ จะได้ภาระการทำความเย็นของผนังทึบทั้ง 8 ทิศ ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ แสดงเป็นแผนภูมิเชิงเส้นได้ดังนี้



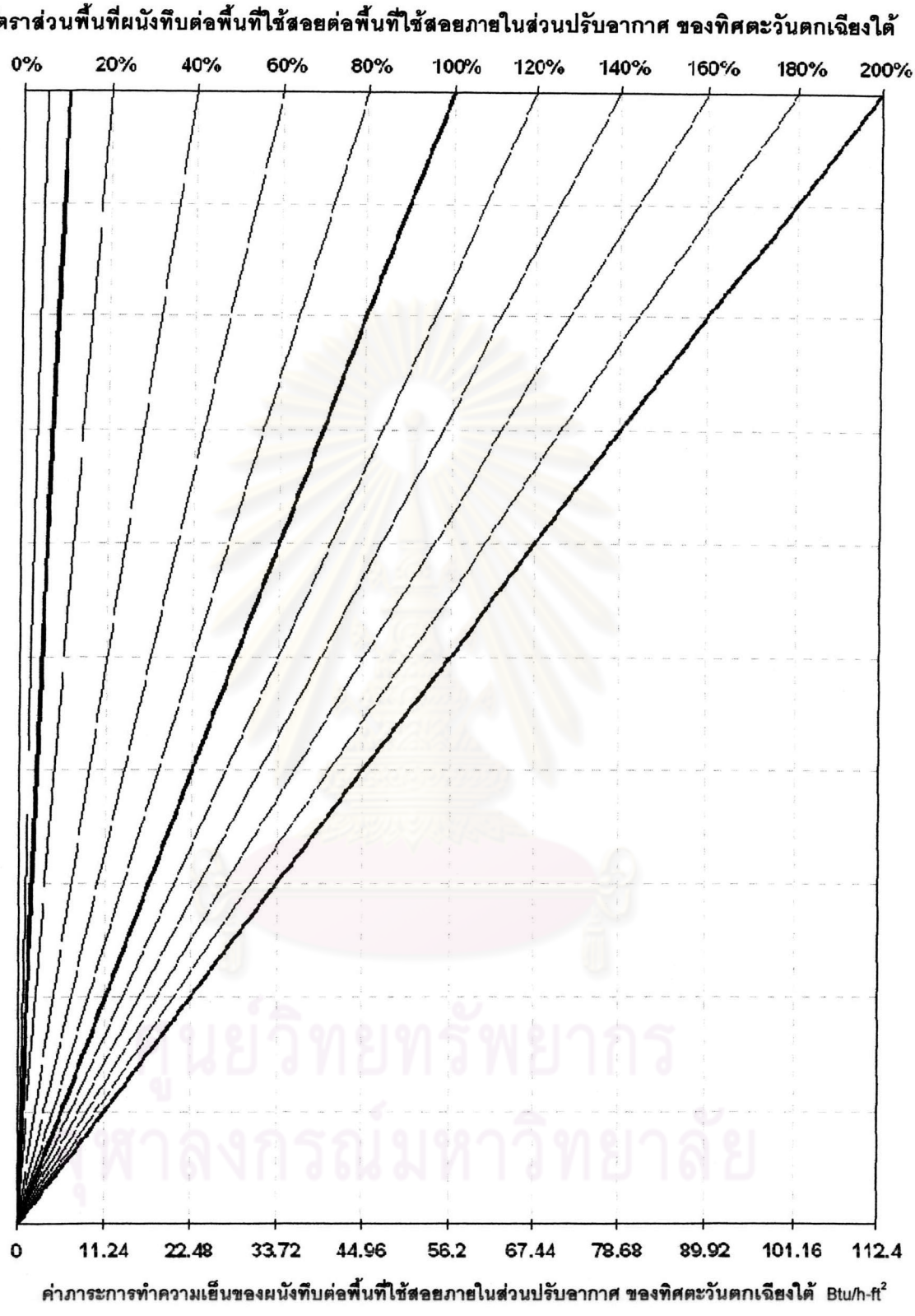
แผนภูมิที่ 3- 11 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศเหนือ / พื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ



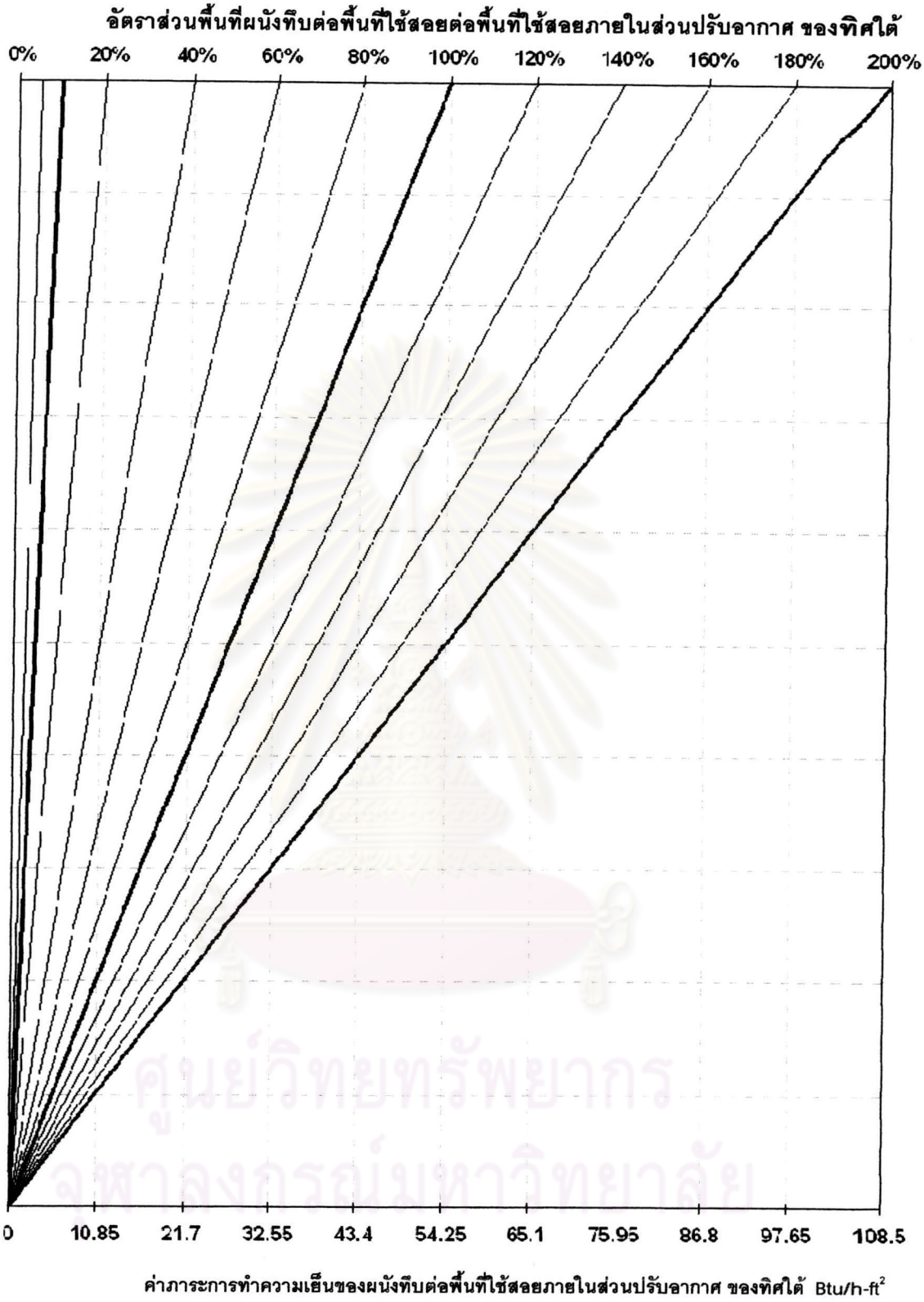
แผนภูมิที่ 3- 12 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 3- 13 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันออกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

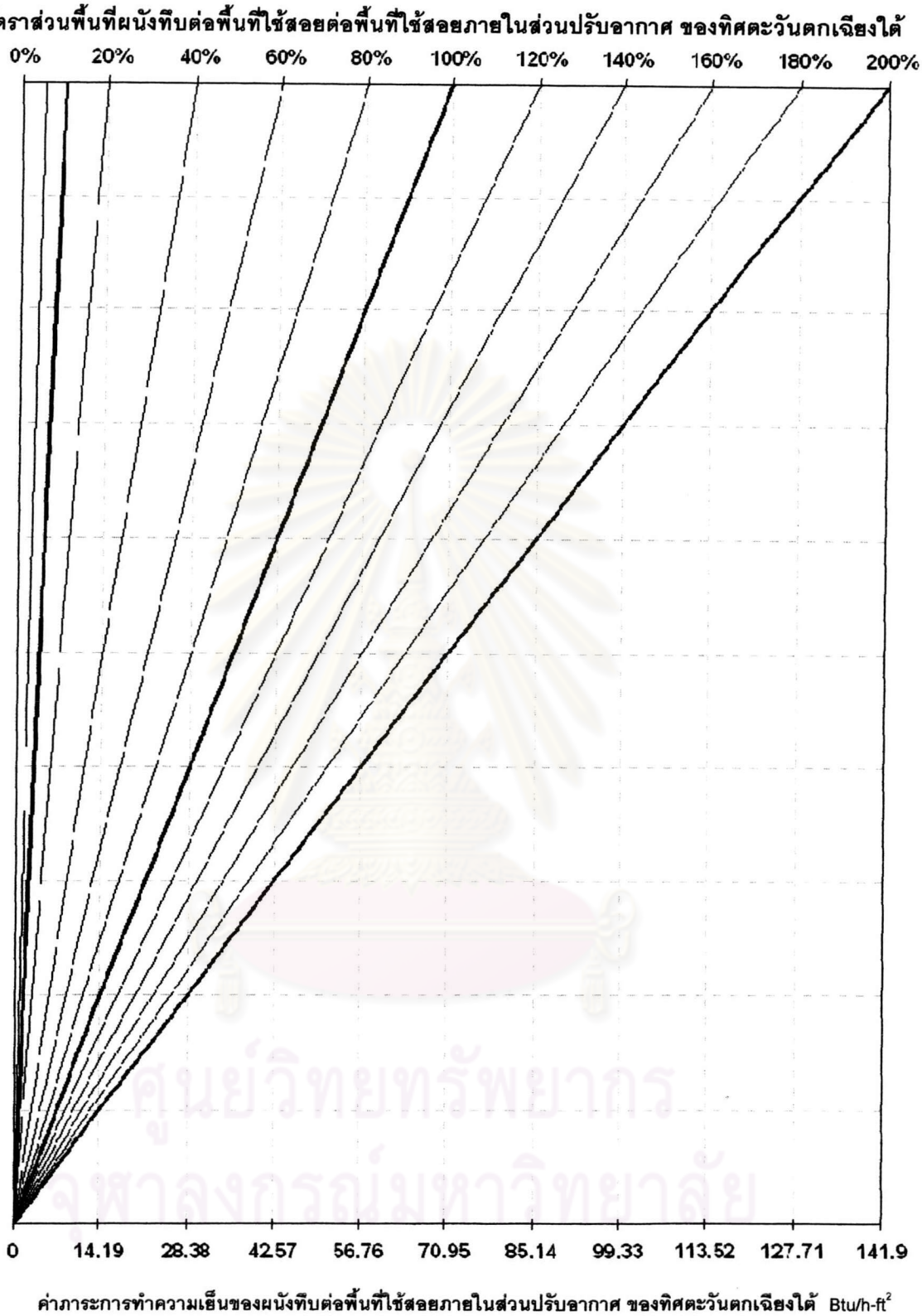


แผนภูมิที่ 3- 14 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ



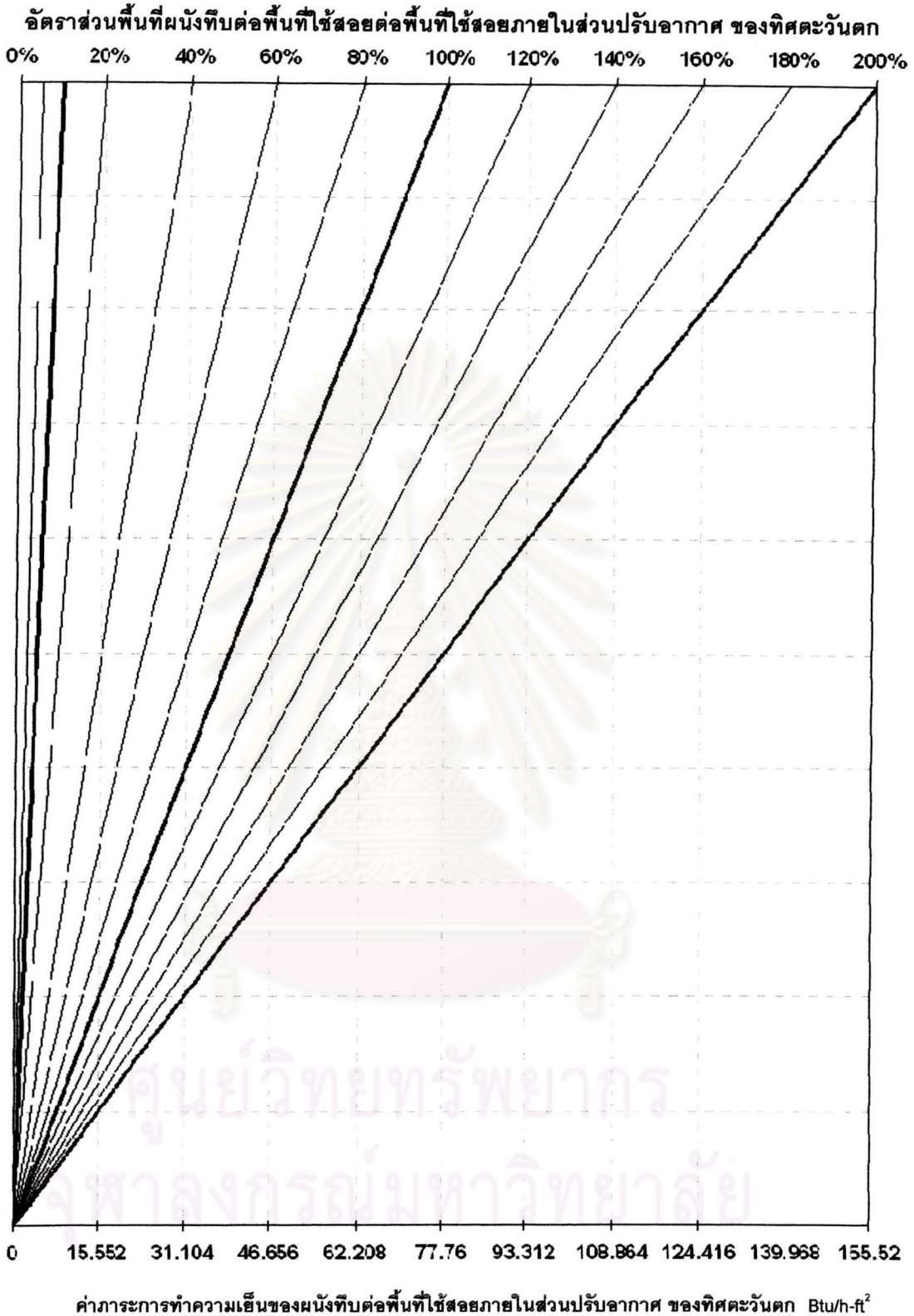
แผนภูมิที่ 3- 15 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศใต้ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

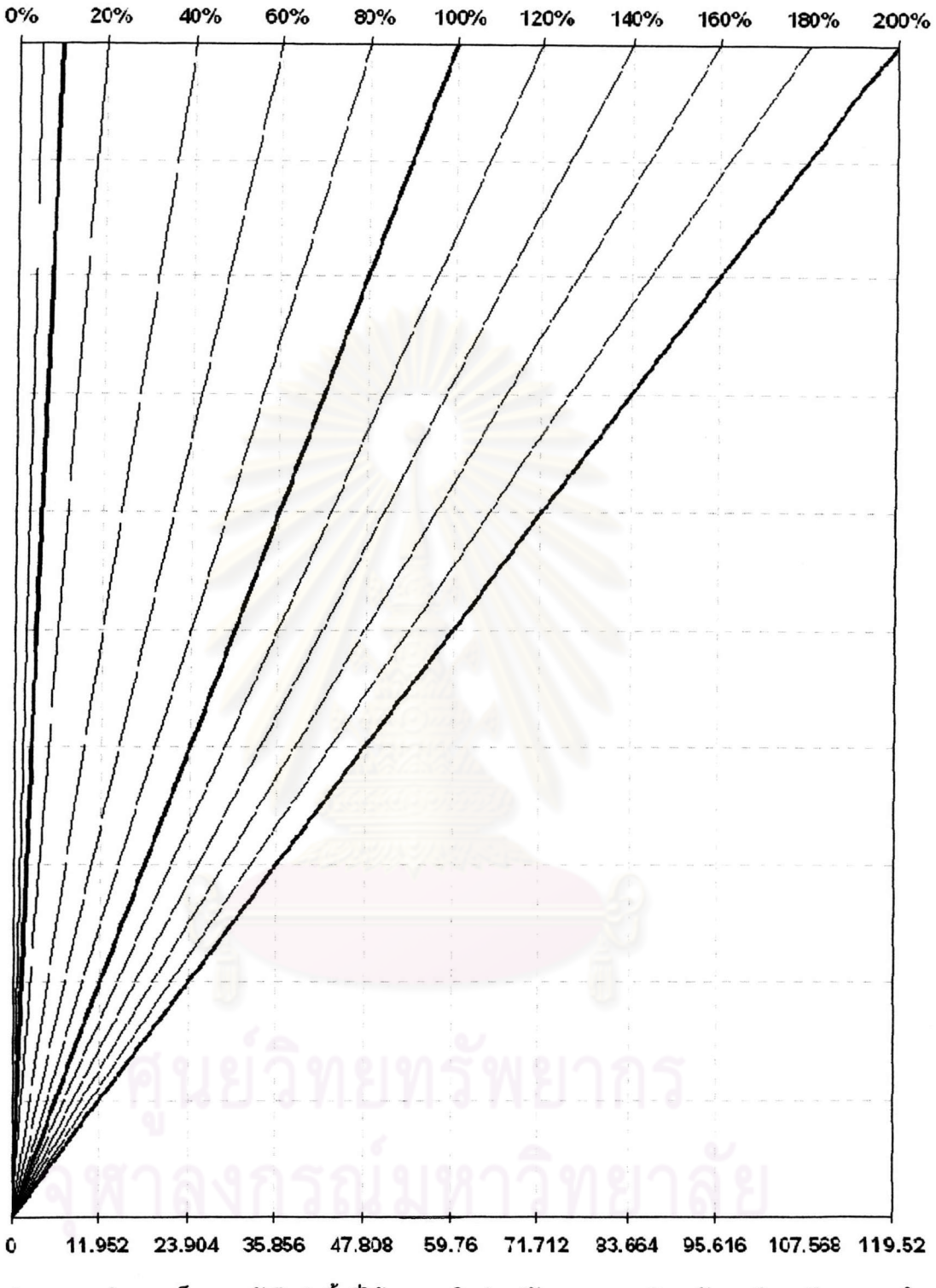


แผนภูมิที่ 3- 16 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 3- 17 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันตกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 3- 18 แสดงค่าภาระการทำความเย็นเมื่อคูณเข้ากับอัตราส่วนพื้นที่ผนังทึบด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 การสร้างแบบประเมินกระจก

การสร้างแบบประเมินกระจกคือ การสร้างแบบประเมินที่สามารถบอกได้ว่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ที่เกิดจากกระจก มีค่าเป็นเท่าไหร่

การสร้างแบบประเมินในส่วนกระจก ได้จากประยุกต์สมการที่ 10 และ 11 สร้างเป็นแบบประเมินในรูปแบบแผนภูมิเชิงเส้น แบ่งตามทิศทางได้ 8 ทิศทาง แบบประเมินประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นการคำนวณเพื่อหาภาระการทำความเย็นในแต่ละทิศทางที่เกิดจากการนำความร้อนของกระจก(Conduction)ใช้สมการที่ 10 เป็นหลักในการคำนวณ โดยพิจาณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า CLTD และ อัตราส่วนพื้นที่กระจกด้านที่ประเมินต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศทั้งหมด

ส่วนที่ 2 เป็นการคำนวณเพื่อหาภาระการทำความเย็นในแต่ละทิศทางที่เกิดจากการแผ่รังสีของกระจก(Radiation) ใช้สมการที่ 11 เป็นหลักในการคำนวณ โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (SC) ค่า CLF x SHGF และ ค่าอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

ซึ่งตัวแปรในการสร้างแผนภูมิประกอบไปด้วย

ส่วนที่ 1

1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก
2) ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า CLTD
3) อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

ส่วนที่ 2

1) ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจก SC
2) ค่า CLF ค่า SHGF
3) อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

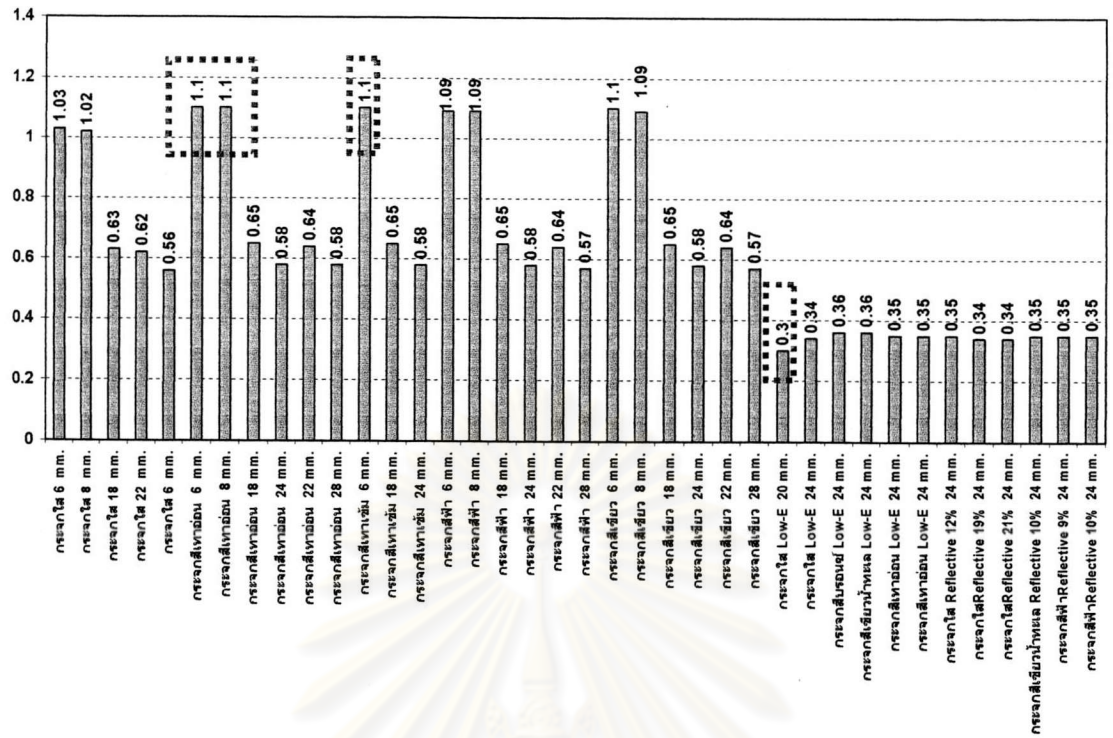
ขั้นตอนดำเนินการในส่วนที่ 1 มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก

กำหนดขอบเขตแกน X โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U ของกระจกแต่ละชนิดที่มีมาจัดลำดับเพื่อหาค่าต่ำสุด-สูงสุด

ตารางที่ 3- 9 แสดงชนิดและคุณสมบัติของกระจกที่ทำการศึกษา

ชนิดวัสดุ	ความหนากระจก (mm)	ช่องว่างอากาศ (mm)	ความหนากระจกด้านใน (mm)	ความหนารวม (mm)	U (Overall Heat	SC (Shading
กระจกใส	6			6	1.03	0.96
	8			8	1.02	0.92
	6	6	6	18	0.63	0.81
	8	6	8	22	0.62	0.79
	8	12	8	28	0.56	0.79
กระจกสีเทาอ่อน	6			6	1.10	0.64
	8			8	1.10	0.57
	6	6	6	18	0.65	0.53
	6	12	6	24	0.58	0.52
	8	6	8	22	0.64	0.45
	8	12	8	28	0.58	0.44
กระจกสีเทาเข้ม	6			6	1.10	0.63
	6	6	6	18	0.65	0.46
	6	12	6	24	0.58	0.45
กระจกสีฟ้า	6			6	1.09	0.68
	8			8	1.09	0.61
	6	6	6	18	0.65	0.55
	6	12	6	24	0.58	0.54
	8	6	8	22	0.64	0.47
	8	12	8	28	0.57	0.46
กระจกสีเขียว	6			6	1.10	0.65
	8			8	1.09	0.59
	6	6	6	18	0.65	0.52
	6	12	6	24	0.58	0.51
	8	6	8	22	0.64	0.46
	8	12	8	28	0.57	0.45
กระจกใส/กระจกสีเคลือบ Low-E ภายนอก						
กระจกใส Low-E	3	14	ใส, 3mm	20	0.30	0.69
	6	12	ใส, 6mm	24	0.34	0.65
กระจกสีบรอนซ์ Low-E	6	12	ใส, 6mm	24	0.36	0.43
กระจกสีเขียวนำทะเล Low-E	6	12	ใส, 6mm	24	0.36	0.44
กระจกสีเทาอ่อน Low-E	6	12	ใส, 6mm	24	0.35	0.42
	6	12	ใส, 6mm	24	0.35	0.33
กระจกใส Reflective, แผ่นในเคลือบLow-E						
กระจกใส Reflective 12%	6	12	ใสLow-E, 3mm	24	0.35	0.32
กระจกใสReflective 19%	6	12	ใสLow-E, 3mm	24	0.34	0.26
กระจกใสReflective 21%	6	12	ใสLow-E, 3mm	24	0.34	0.14
กระจกสีเขียวนำทะเล, แผ่นในเคลือบLow-E						
กระจกสีเขียวนำทะเล Reflective 10%	6	12	ใสLow-E, 3mm	24	0.35	0.19
กระจกสีฟ้าReflective, แผ่นในเคลือบLow-E						
กระจกสีฟ้าReflective 9%	6	12	ใสLow-E, 3mm	24	0.35	0.20
กระจกสีฟ้าReflective 10%	6	12	ใสLow-E, 3mm	24	0.35	0.15



แผนภูมิที่ 3- 19 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U ของกระจกแต่ละชนิด

สรุปค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(U) ของกระจกมีค่าตั้งแต่ 0.3 – 1.1 Btu/h ft^2 °F โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่มีเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า

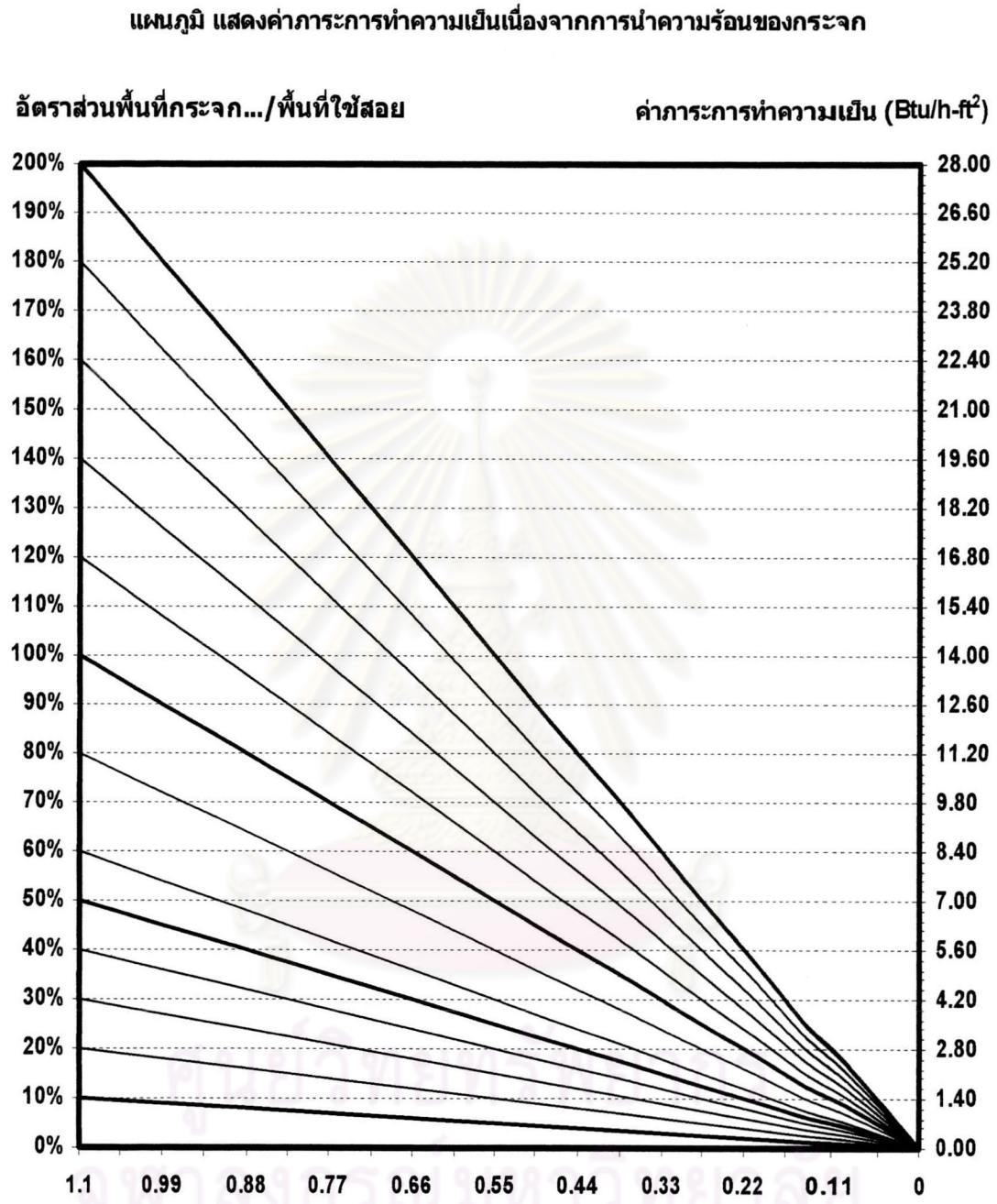
สามารถพิจารณาได้จากตาราง Cooling Load Temperature Differences (CLTD) for Conduction Through Glass เพื่อหาค่าสูงสุดที่จะนำไปคำนวณต่อไป

ตารางที่ 3- 10 Cooling Load Temperature Differences (CLTD) for Conduction Through Glass

Solar Time, h	CLTD ˚F	Solar Time, h	CLTD ˚F
1:00	1	13:00	12
2:00	0	14:00	13
3:00	-1	15:00	14
4:00	-2	16:00	14
5:00	-2	17:00	13
6:00	-2	18:00	12
7:00	-2	19:00	10
8:00	0	20:00	8
9:00	2	21:00	6
10:00	4	22:00	4
11:00	7	23:00	3
12:00	9	0:00	2

(ASHRAE,1989. 26.38)

ดังนั้นค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าที่นำไปคำนวณคือ 14



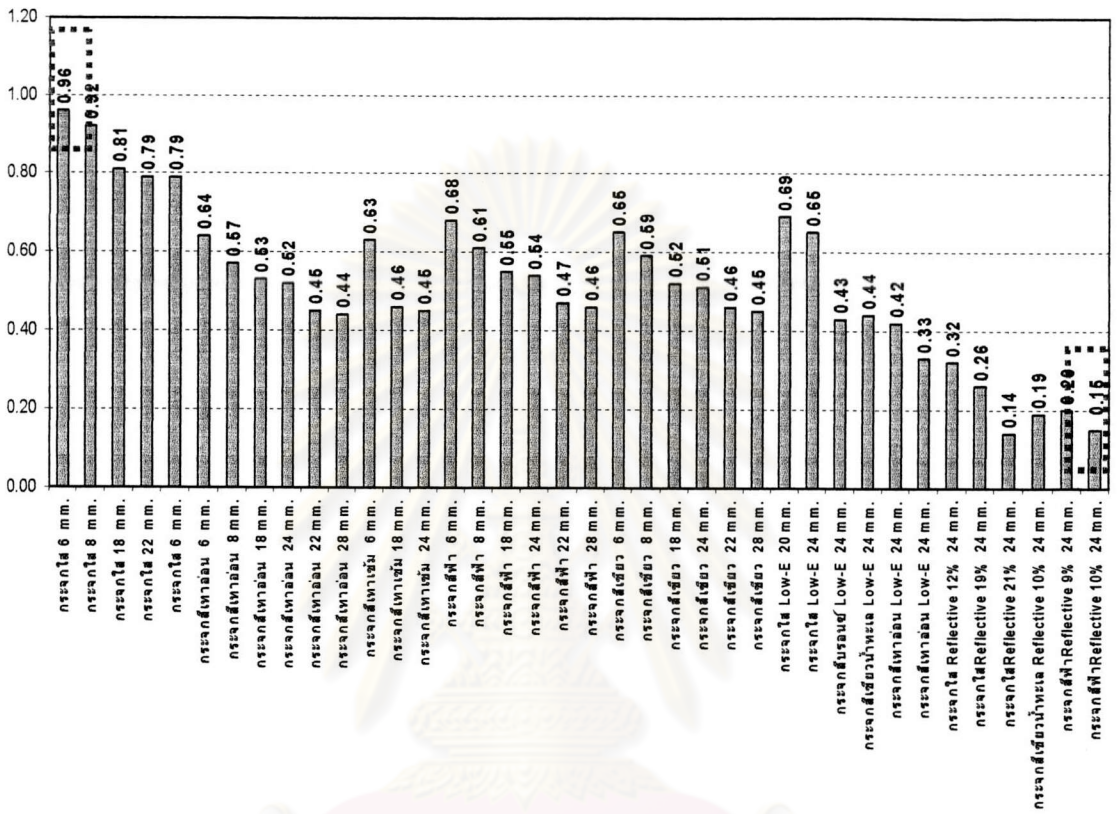
แผนภูมิที่ 3- 20 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการนำความร้อนของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

แผนภูมินี้สามารถหาภาระการทำความเย็นนำความร้อนของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ได้ทุกทิศทาง

ขั้นตอนดำเนินการในส่วนที่ 2 มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด SC

กำหนดขอบเขตแกน X โดยนำค่าสัมประสิทธิ์บังแดด SC ของกระจกแต่ละชนิดที่มี เพื่อหาค่าต่ำสุด-สูงสุด สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 3-8 และแผนภูมิดังต่อไปนี้

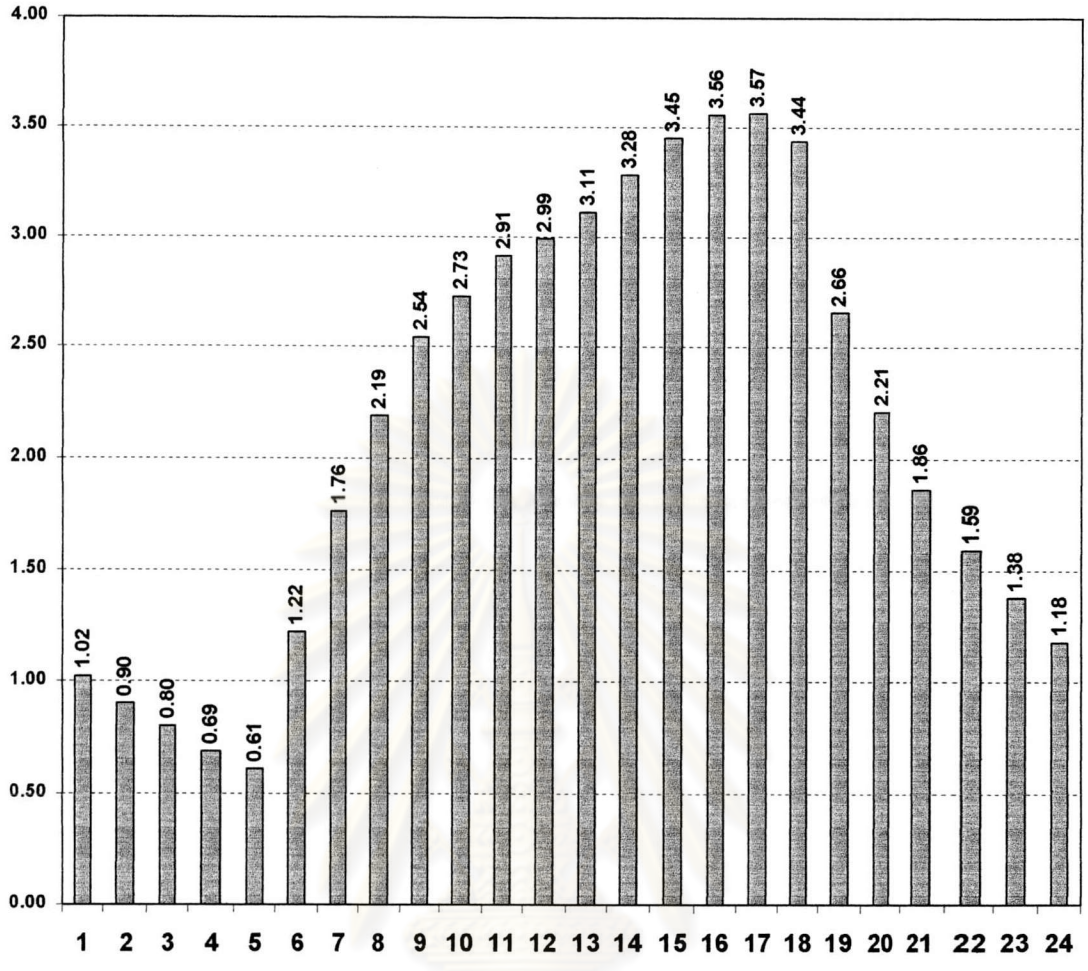


แผนภูมิที่ 3- 21 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกแต่ละชนิด

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด SC ที่มากที่สุดคือ 0.96 ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดที่น้อยที่สุดคือ 0.14 จึงกำหนดช่วงในการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดคือ 0.96 – 0.14

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดค่า CLF (Cooling Load Factor) และ SHGF (Maximum Solar Heat Gain Factor)

พิจารณาค่า CLFเลือกค่าสูงสุดในทุกทิศทางเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณ ค่า CLF สามารถหาได้จากตาราง Cooling Load Factor (CLF) for Glass Without Interior Shading, North Latitude, General (ภาคผนวก) การในวิจัยเลือกใช้ Type M (โครงสร้าง ขนาดกลาง ผนังคอนกรีต 4 นิ้ว พื้นคอนกรีตน้ำหนักประมาณ 70 lb of Building material / ft^2 of Floor area) เนื่องจากมีการใช้งานจริงเป็นส่วนมาก



แผนภูมิที่ 3- 22 แสดงการเปรียบเทียบผลรวมของค่า CLF ของ 8 ทิศทางในแต่ละเวลา

เวลาที่เลือกมาเป็นตัวแทนในการคำนวณคือ 17.00 น.โดยมีค่า CLF ดังนี้

ตารางที่ 3- 11 แสดงค่า CLF ของ 8 ทิศทาง

CLF	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
tpye M	0.75	0.23	0.23	0.29	0.41	0.59	0.56	0.51

ค่า SHGF สามารถหาได้จากตาราง Maximum Solar Heat Gain Factor,Btu/h ft^2 for Sunlit Glass, North Latitudes เลือกใช้ที่ 16^{o} N Lat เดือน มีนาคม มีค่าSHGF ดังนี้

ตารางที่ 3- 12 แสดงค่า SHGF ของ 8 ทิศทาง

SHGF 16 N Lat	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Mar.	35	140	239	197	93	197	239	140

คำนวณหาผลคูณระหว่าง CLF กับ SHGF เพื่อนำไปคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นที่จะเกิดขึ้นต่อไป

ตารางที่ 3- 13 แสดงค่าผลคูณระหว่าง ค่าCLF กับ ค่า SHGF

CLF x SHGF Glass	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
	26.25	32.2	54.97	57.13	38.13	116.23	133.84	71.4

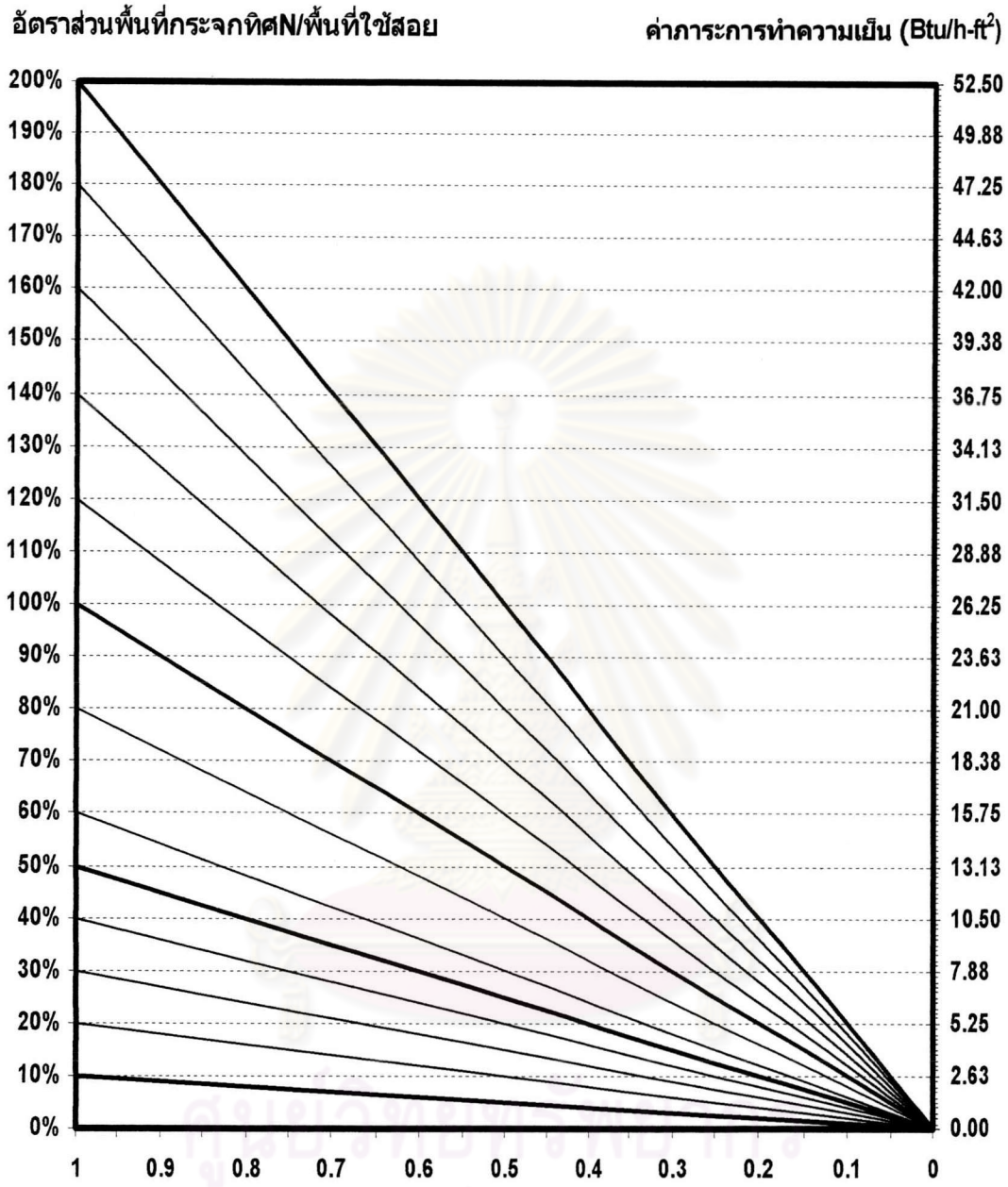
ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดช่วงของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

ช่วงอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศสามารถกำหนดได้ตามอัตราส่วนของผนังทึบเนื่องจากหากเปลี่ยนผนังทึบให้เป็นกระจก ช่วงที่อัตราส่วนที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจึงกำหนดช่วงอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ เป็น 2 หรือ 200%

แบบประเมินกระจกเนื่องจากการแผ่รังสี เกิดจากการนำค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด คูณกับค่าอัตราส่วนอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ และคูณค่า (CLF X SHFG) ของแต่ละทิศทาง แสดงเป็นแผนภูมิเชิงเส้นได้ดังนี้

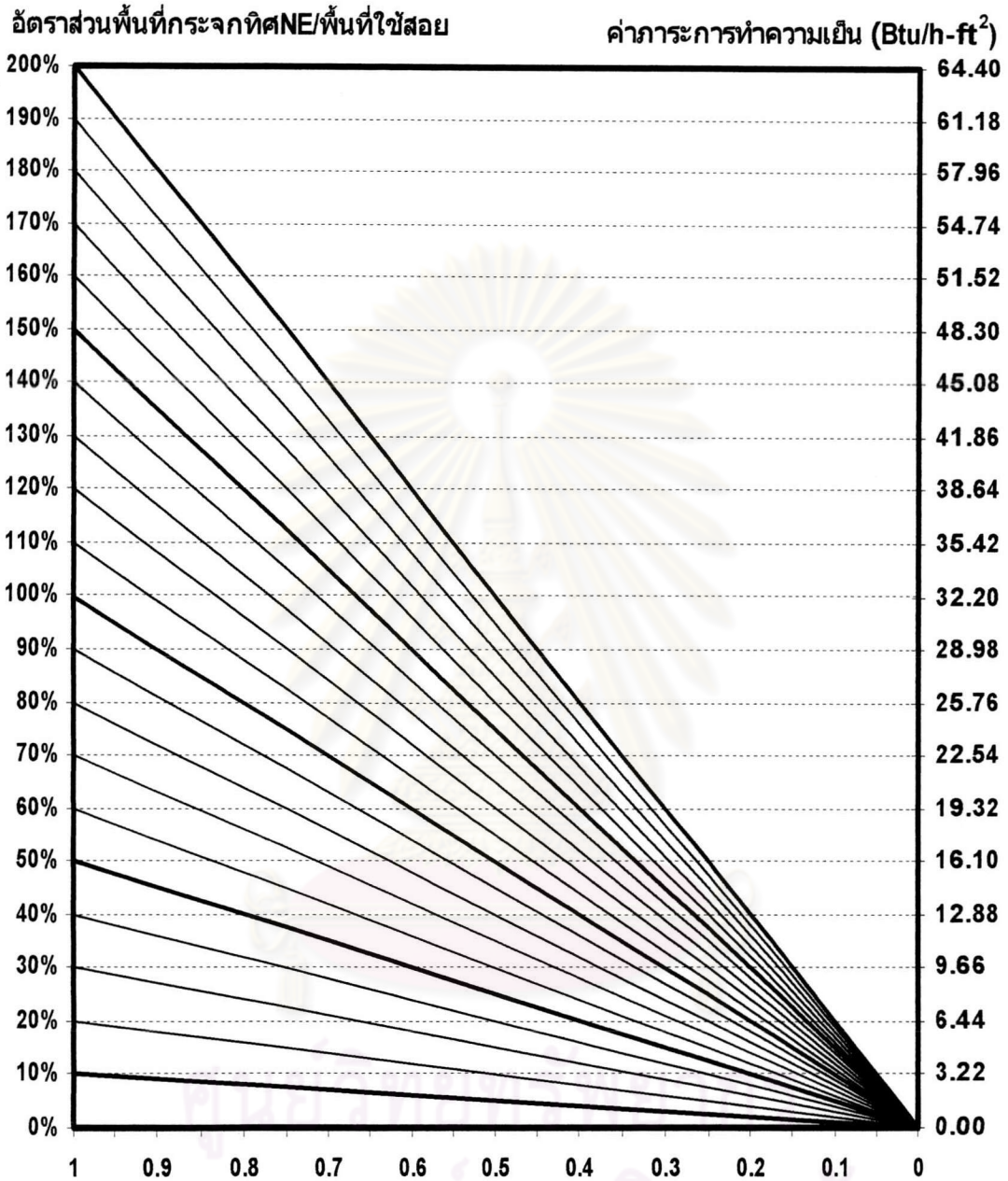
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิ แสดงค่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจก ด้านทิศ N



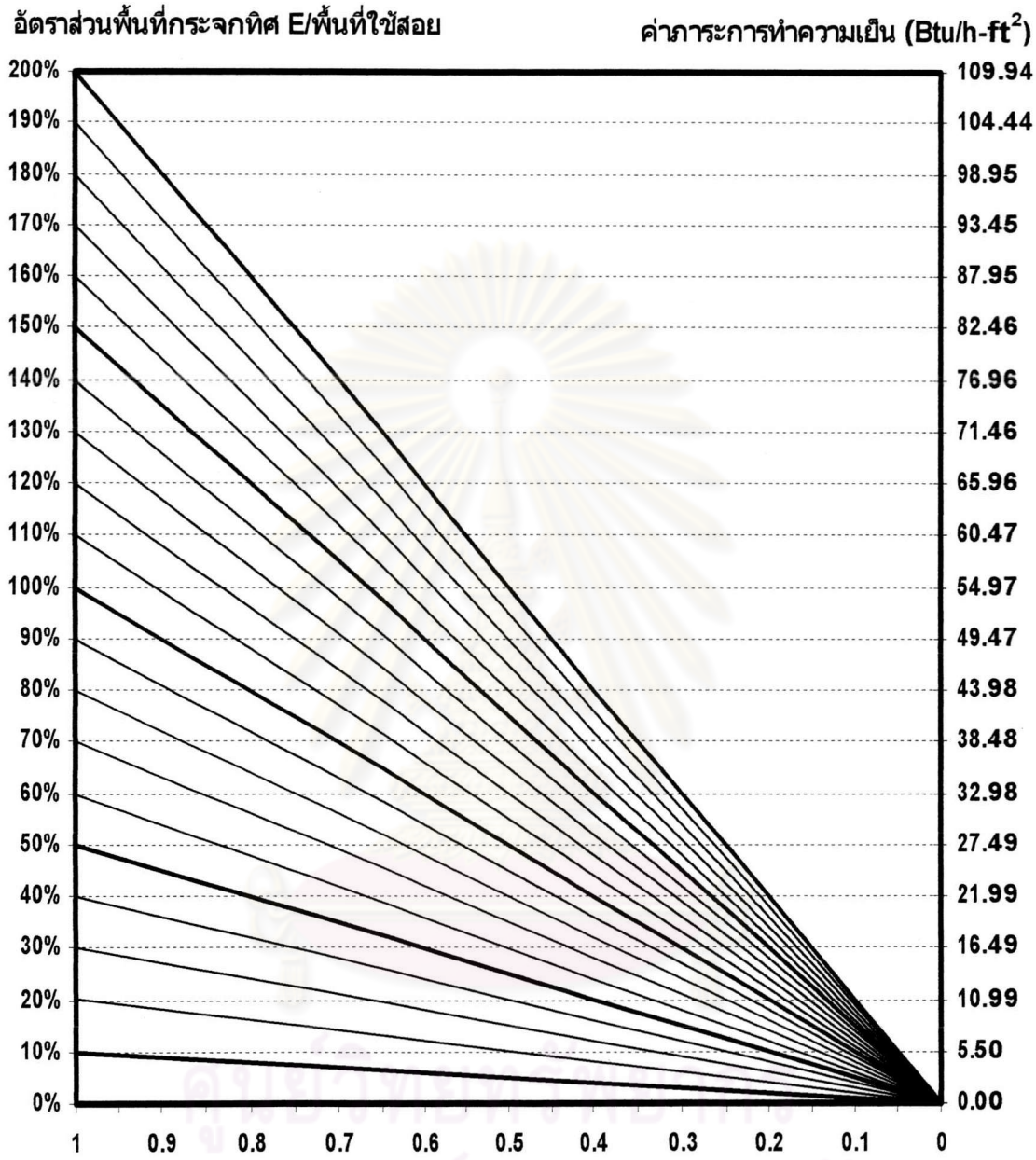
แผนภูมิที่ 3- 23 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศเหนือ

แผนภูมิ แสดงค่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจก ด้านทิศ NE



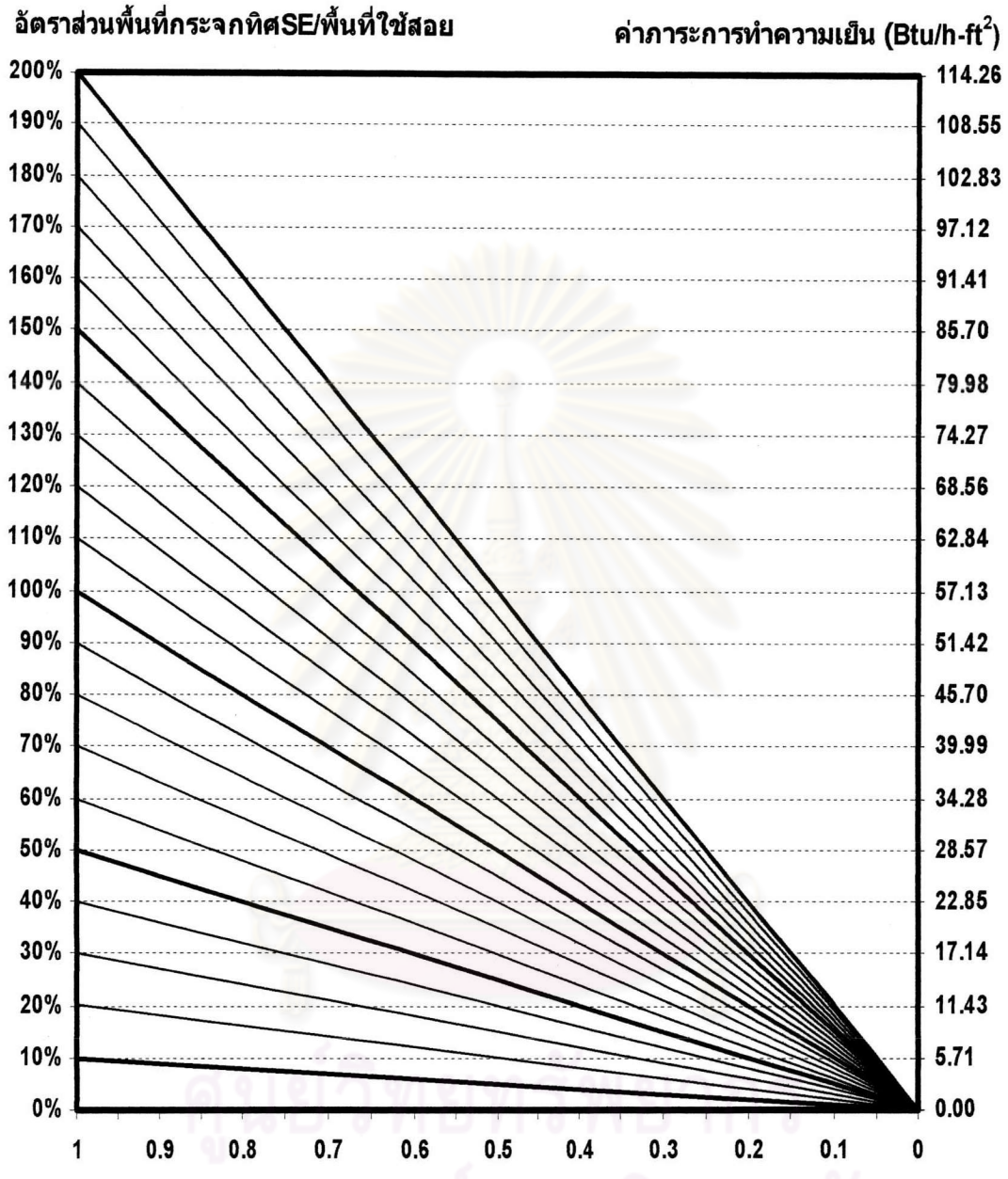
แผนภูมิที่ 3- 24 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

แผนภูมิ แสดงค่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจก ด้านทิศ E



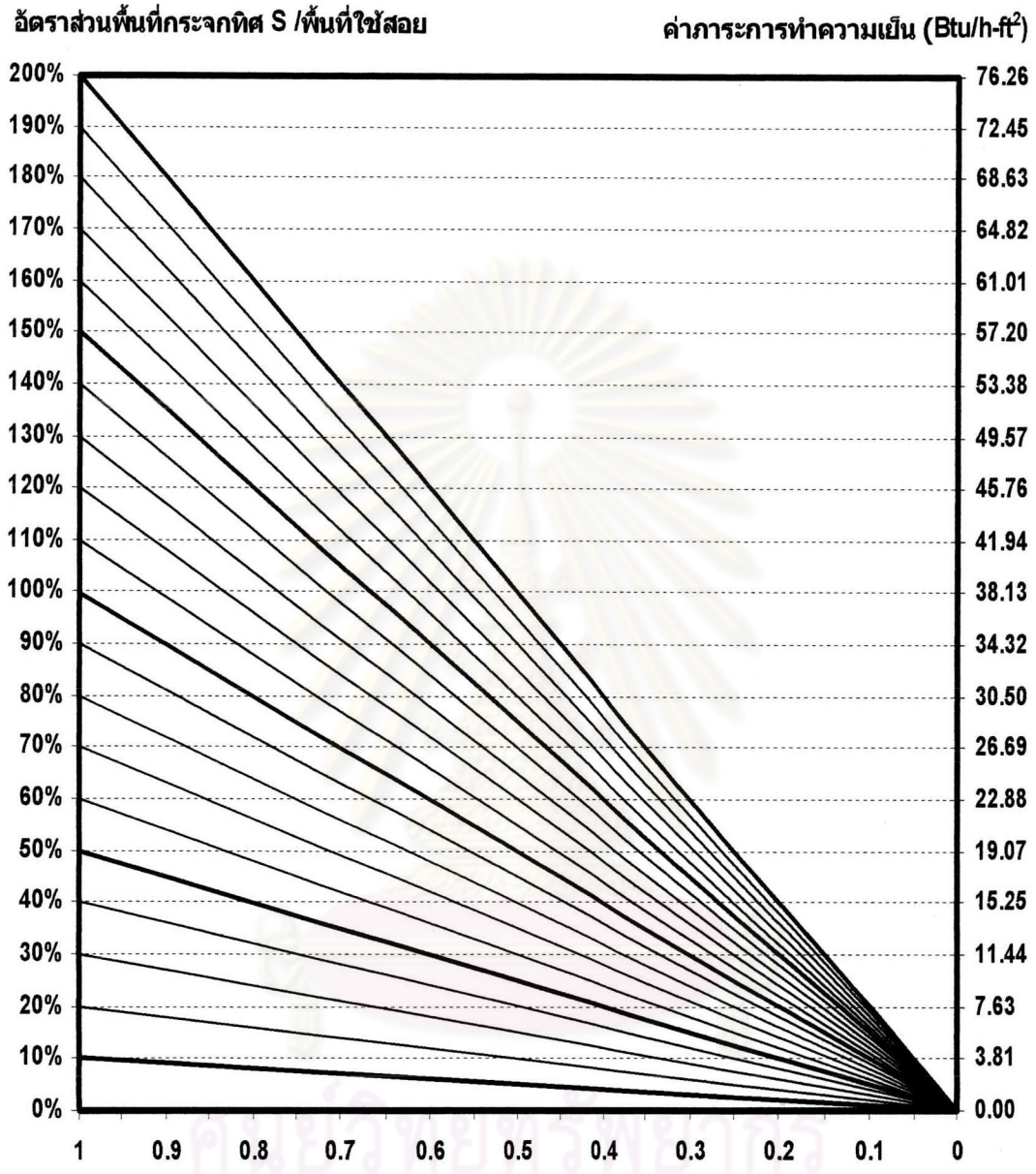
แผนภูมิที่ 3- 25 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันออก

แผนภูมิ แสดงค่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจก ด้านทิศ SE



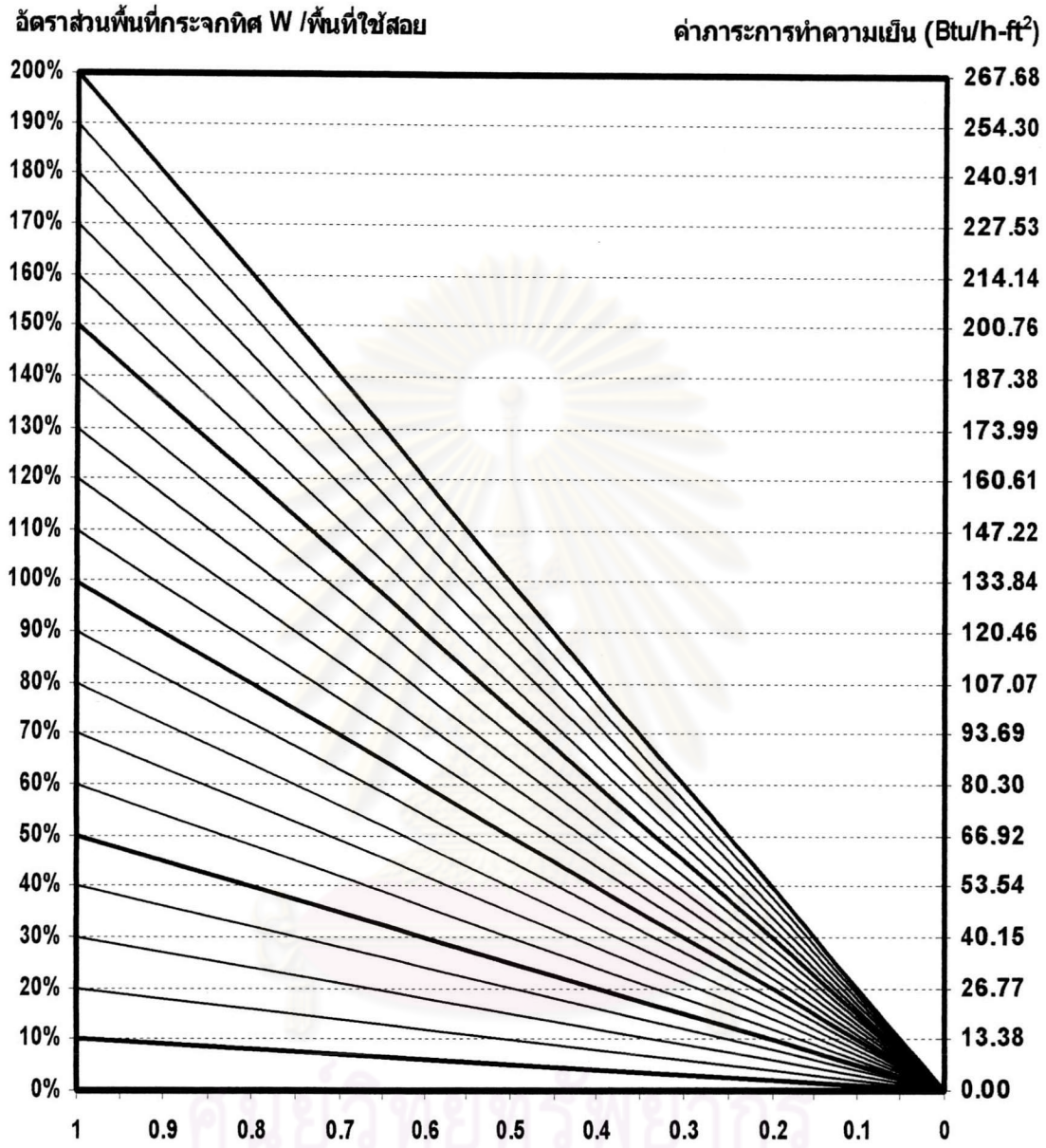
แผนภูมิที่ 3- 26 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้

แผนภูมิ แสดงค่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจก ด้านทิศ S



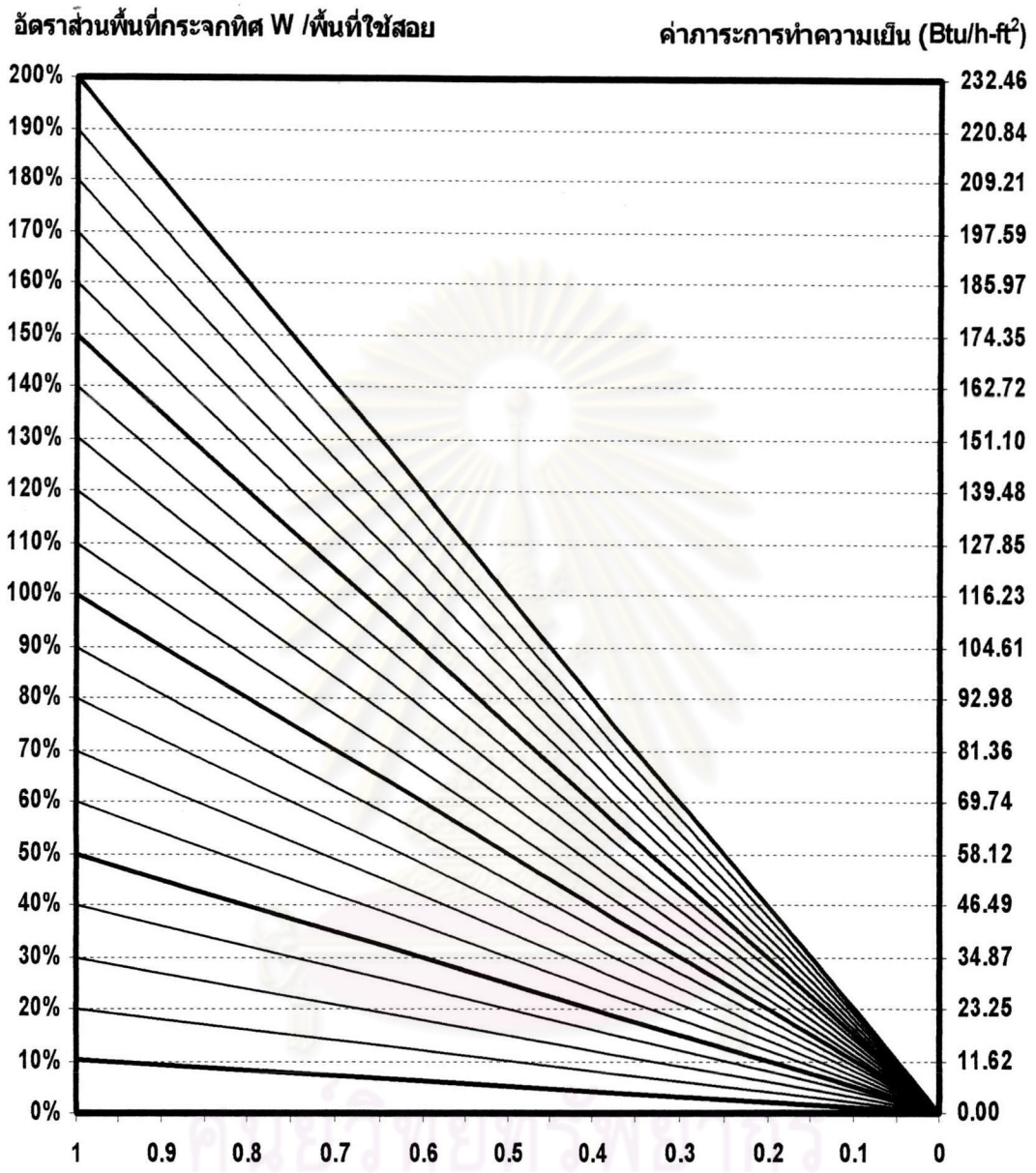
แผนภูมิที่ 3- 27 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศใต้

แผนภูมิ แสดงค่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจก ด้านทิศ W



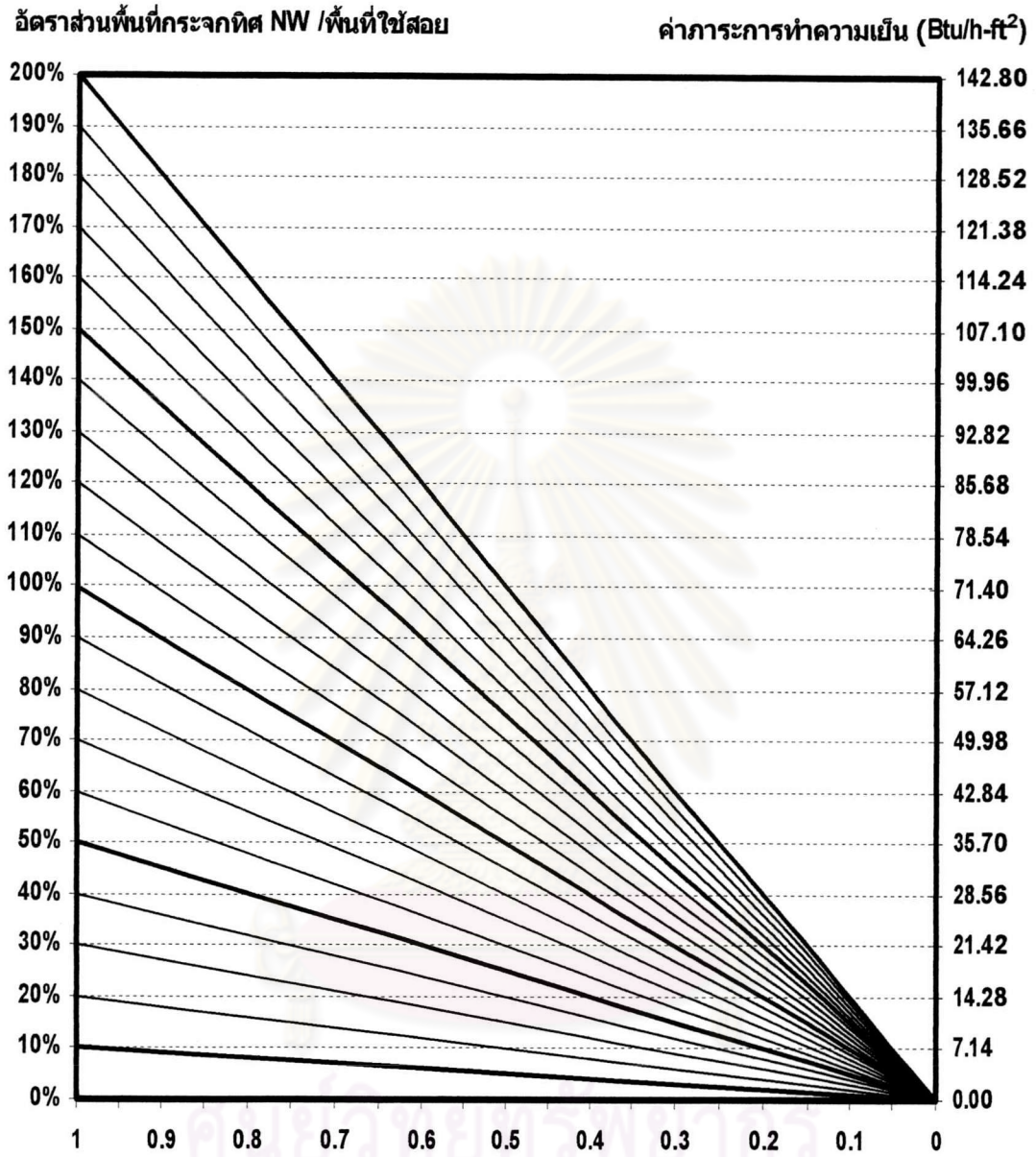
แผนภูมิที่ 3- 28 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันตก

แผนภูมิ แสดงค่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจก ด้านทิศ SW



แผนภูมิที่ 3- 29 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

แผนภูมิ แสดงค่าภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจก ด้านทิศ NW



แผนภูมิที่ 3- 30 แสดงภาระการทำความเย็นเนื่องจากการแผ่รังสีของกระจกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

3.3.3 การสร้างแบบประเมินหลังคาหลังคา

การสร้างแบบประเมินหลังคาคือ การสร้างแบบประเมินที่สามารถบอกได้ว่าภาระการทำความเย็นต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ ที่เกิดจากหลังคา ว่ามีค่าเป็นเท่าไหร่

การสร้างแบบประเมินในส่วนหลังคา ได้จากประยุกต์สมการที่ 15 และ 16 สร้างเป็นแบบประเมินในรูปแบบแผนภูมิเชิงเส้น แบบประเมินประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 เป็นการคำนวณเพื่อหาภาระการทำความเย็นที่เกิดจากชนิดของหลังคา (พิจาณาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม) และกลุ่มของหลังคา

ส่วนที่ 2 เป็นการคำนวณเพื่อหาภาระการทำความเย็น (ที่ได้จากส่วนที่ 1)ต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศทั้งหมด

ซึ่งตัวแปรในการสร้างแผนภูมิประกอบไปด้วย

ส่วนที่ 1

1) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ
2) กลุ่มของหลังคา
3) ค่าCLTD

ส่วนที่ 2

3) ค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดจากส่วนที่ 1
4) สัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

ขั้นตอนดำเนินการในส่วนที่ 1 มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดขอบเขตค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

กำหนดขอบเขตแกน X โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U ของหลังคาแต่ละชนิดที่มีมาจัดลำดับเพื่อหาค่าต่ำสุด-สูงสุด

ตารางที่ 3- 14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-VALUE) ของวัสดุหลังคาแต่ละชนิด

ลำดับ	ชนิดของหลังคา	ค่า R (ft^2. h. ^oF/Btu)	ค่า U-VALUE (Btu/h . ft^2 . ^oF)
1	หลังคาแผ่นแอสฟัลท์ มีฝ้าเพดานหนา 12 มม.+ฉนวนหนา 6 นิ้ว	25.620	0.039
2	หลังคากระเบื้องซีแพคโมเนีย มีฝ้าเพดาน+ฉนวนหนา2นิ้ว	21.370	0.047
3	หลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน+ฉนวนหนา2นิ้ว	14.990	0.067
4	หลังคากระเบื้องซีแพคโมเนีย มีฝ้าเพดาน + แผ่นอลูมินั่มฟอยด์	13.370	0.075

ลำดับ	ชนิดของหลังคา	ค่า R (ft^2. h. ^oF/Btu)	ค่า U-VALUE (Btu/h . ft^2 . ^oF)
5	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 30 ซม มีฝ้าเพดาน+ฉนวนหนา2นิ้ว	11.690	0.086
6	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 15 ซมมีฝ้าเพดาน+ฉนวนหนา2นิ้ว	11.090	0.090
7	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 12 ซม มีฝ้าเพดาน+ฉนวนหนา2นิ้ว	10.970	0.091
8	หลังคากระเบื้องลอนคู่มีฝ้าเพดาน+ฉนวนหนา2นิ้ว	10.540	0.095
9	หลังคากระเบื้องดินเผามีฝ้าเพดาน+ฉนวนหนา2นิ้ว	10.522	0.095
10	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 30 ซม มีฝ้าเพดาน	3.690	0.271
11	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 15 ซม มีฝ้าเพดาน	3.090	0.324
12	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 12 ซม มีฝ้าเพดาน	2.970	0.337
13	หลังคากระเบื้องลอนคู่ มีฝ้าเพดาน	2.540	0.394
14	หลังคากระเบื้องดินเผา มีฝ้าเพดาน	2.522	0.397
15	หลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน	2.490	0.402
16	หลังคาสังกะสี มีฝ้าเพดาน	2.490	0.402

สรุปค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาค่ามากที่สุดคือ 0.402 และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาค่าน้อยที่สุดคือ 0.039

การจัดกลุ่มของหลังคาที่ใช้ในการศึกษา

ก่อนที่จะทำการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นได้นั้น ทำการคัดเลือกหลังคาที่จะนำมาทำการคำนวณได้แล้ว ในการที่พิจารณาเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานของหลังคาอาคารในด้านของภาระการทำความเย็น จากสมการที่ 15 ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (CLTD) เป็นสมการที่แสดงถึงความแตกต่างในเรื่องของประเภทมวลสารของมวลสารของหลังคา รวมทั้งทิศทางที่ตั้งและสีของหลังคาอีกด้วย ดังนั้นจึงใช้สมการที่ 15 ในการที่จะคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาแต่ละประเภท ดังนั้นจึงต้องทำการคำนวณหาค่ามวลสารของหลังคาแต่ละชนิดเสียก่อน โดยมีวิธีการคำนวณค่ามวลสารของหลังคาที่คัดเลือกมาดังนี้

ตารางที่ 3- 15 แสดงมวลของหลังคาแต่ละชนิดเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

ตารางแสดงมวลของหลังคาแต่ละชนิดเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

ลำดับที่	ชนิดของหลังคา	มวลของหลังคา lb / ft^2
1	หลังคาสังกะสี + ฝ้าเพดาน หนา 9 มม.	4.3581
2	หลังคาแผ่นโลหะ + ฝ้าเพดาน หนา 9 มม.	4.3581
3	กระเบื้องดินเผา + ฝ้าเพดาน หนา 9 มม.	16.3075

ลำดับที่	ชนิดของหลังคา	มวลของหลังคา lb / ft^2
4	หลังคาแผ่นโลหะ ชนิดมีฉนวนหนา 2 นิ้ว	4.6862
5	กระเบื้องดินเผา ชนิดมีฉนวนหนา 2 นิ้ว	16.6356
6	กระเบื้องซีแพคโมเนีย หนา 15 มิลลิเมตร + ฝ้าเพดาน หนา 9 มม.	14.0128
7	กระเบื้องลอนคู่ หนา 6 มิลลิเมตร + ฝ้าเพดาน หนา 9 มม.	9.7044
8	กระเบื้องซีแพคโมเนีย หนา 15 มิลลิเมตร ชนิดมีฉนวนหนา 2 นิ้ว	12.1755
9	กระเบื้องลอนคู่ หนา 6 มิลลิเมตร ชนิดมีฉนวนหนา 2 นิ้ว	10.0325
10	หลังคาแอสฟัลท์ ชนิดมีฉนวนหนา 6 นิ้ว	7.0020
11	หลังคาคสล.หนา 12 มิลลิเมตร + ฝ้าเพดาน หนา 9 มม.	61.1817
12	หลังคาคสล. หนา 12 ซม. มีฝ้าเพดาน หนา 12 มม.มีฉนวนหนา 2 นิ้ว	61.5098
13	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 15 มิลลิเมตร + ฝ้าเพดาน หนา 9 มม.	75.9359
14	หลังคาคสล. หนา 15 ซม. มีฝ้าเพดาน หนา 9 มม. มีฉนวนหนา 2 นิ้ว	76.2639
15	หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 30 มิลลิเมตร + ฝ้าเพดาน หนา 9 มม.	149.7064
16	หลังคาคสล. หนา 30 ซม. มีฝ้าเพดาน หนา 9 มม.มีฉนวนหนา 2 นิ้ว	150.0349

จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทค่าความร้อนและค่ามวลสารที่คำนวณได้ไปทำการเปรียบเทียบกับตารางค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (CLTD) เพื่อกำหนดวัสดุปกคลุมหลังคาแต่ละชนิดว่าจัดอยู่ในกลุ่มใดของตาราง CLTD (ASHRAE, 1989)

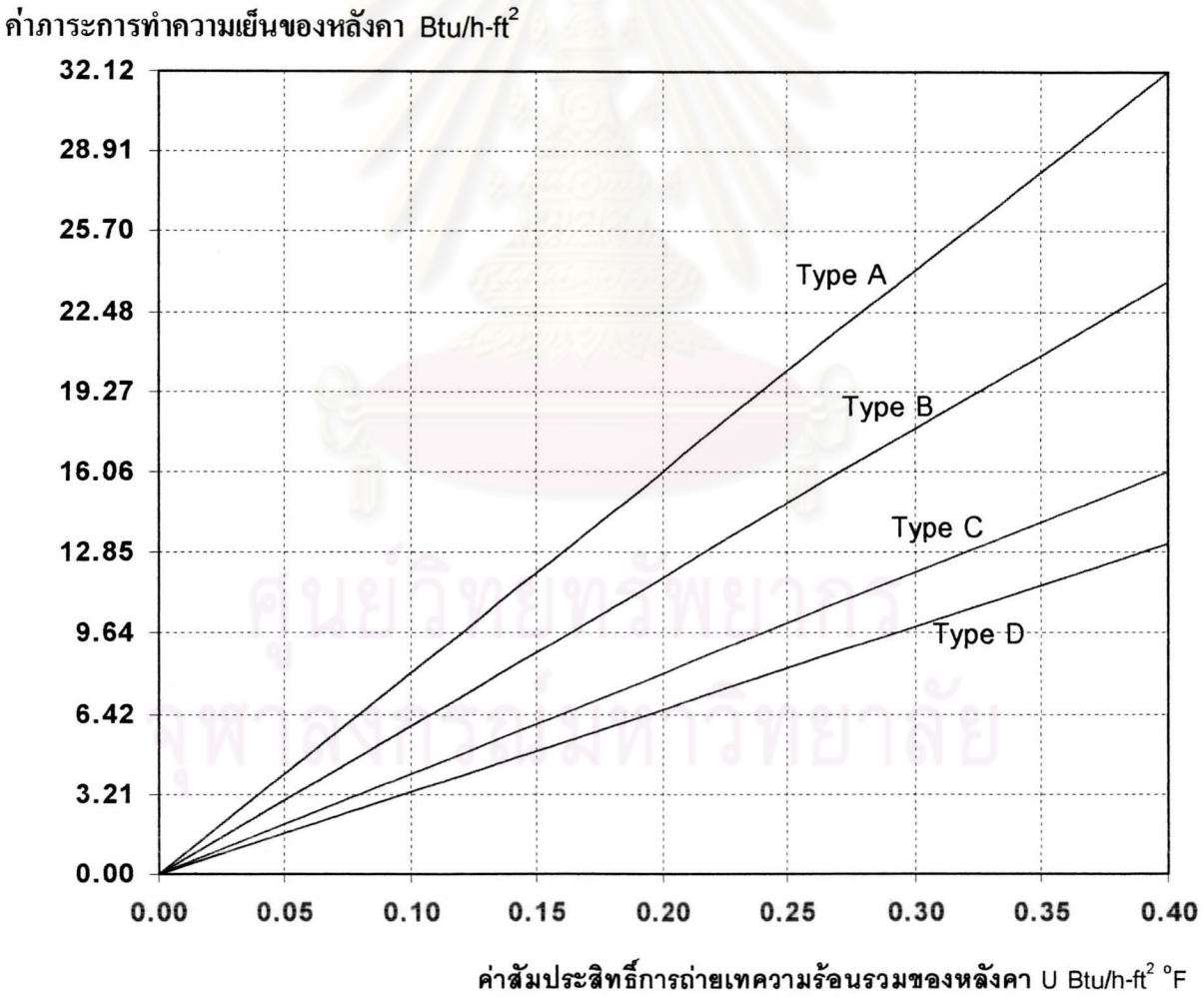
จากค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (CLTD) สามารจัดกลุ่มประเภทของวัสดุหลังคาที่นำมาทำการศึกษาได้ดังนี้

- หลังคาแผ่นโลหะ, หลังคาแผ่นสังกะสี จัดอยู่ในกลุ่มหลังคาหมายเลข 1 ของตารางความร้อนเทียบเท่า (CLTD) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เรียกว่า หลังคา TYPE A
- หลังคากระเบื้องซีแพคโมเนีย, หลังคากระเบื้องลอนคู่ และกระเบื้องดินเผา จัดอยู่ในกลุ่มหลังคาหมายเลข 5 ของตารางความร้อนเทียบเท่า (CLTD) ซึ่งในนี้กำหนดให้เรียกว่า หลังคา TYPE B
- หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 12 เซนติเมตร จัดอยู่ในกลุ่มหลังคาหมายเลข 9 ของตารางความร้อนเทียบเท่า (CLTD) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เรียกว่า หลังคา TYPE C
- หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก หนา 15 เซนติเมตร จัดอยู่ในกลุ่มหลังคาหมายเลข 11 ของตารางความร้อนเทียบเท่า (CLTD) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เรียกว่า หลังคา TYPE D

ค่า CLTD ของหลังคาที่ได้จากการคำนวณ ตามสมการที่ 16 สามารถแสดงได้ดังนี้

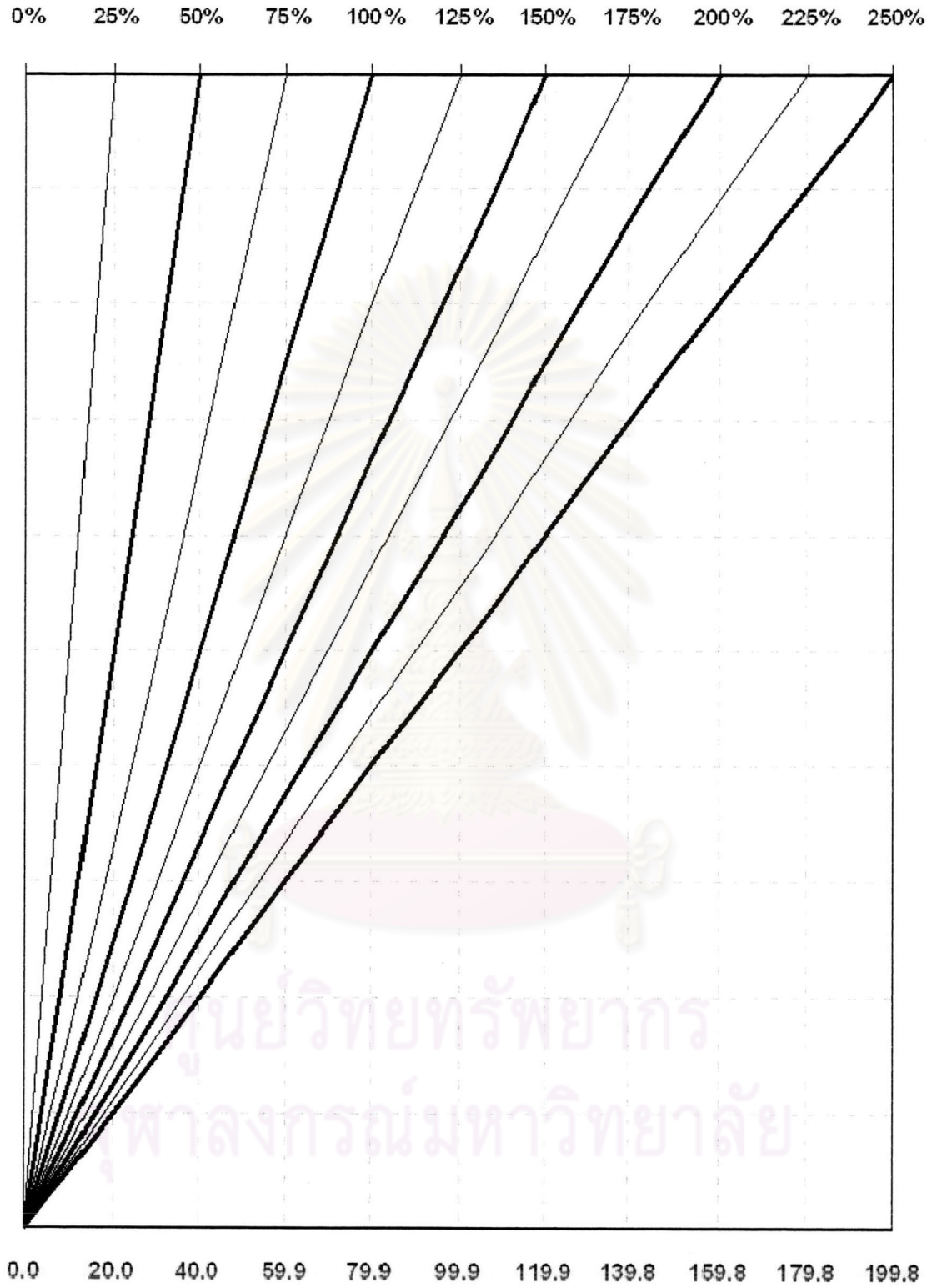
ตารางที่ 3- 16 แสดงค่า CLTD ของหลังคา 4 กลุ่ม

Type	CLTD Roof
Type A	79.9
Type B	58.9
Type C	39.9
Type D	32.9



แผนภูมิที่ 3- 31 แสดงภาระการทำความเย็นที่เกิดจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและกลุ่มของหลังคา

อัตราส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 3- 32 แสดงค่าภาระการทำความเย็นของหลังคาต่อพื้นที่ใช้สอยภายในส่วนปรับอากาศ

3.3.4 สร้างช่วงคะแนน

การสร้างช่วงคะแนนแบบประเมินลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคาร แบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ

ค่าคะแนนระดับ ที่ 1 มีประสิทธิภาพในการประยัดพลังงานต่ำที่สุด

ค่าคะแนนระดับ ที่ 2 มีประสิทธิภาพในการประยัดพลังงานต่ำ

ค่าคะแนนระดับ ที่ 3 มีประสิทธิภาพในการประยัดพลังงานปลานกลาง

ค่าคะแนนระดับ ที่ 4 มีประสิทธิภาพในการประยัดพลังงานดี

ค่าคะแนนระดับ ที่ 5 มีประสิทธิภาพในการประยัดพลังงานดีที่สุด

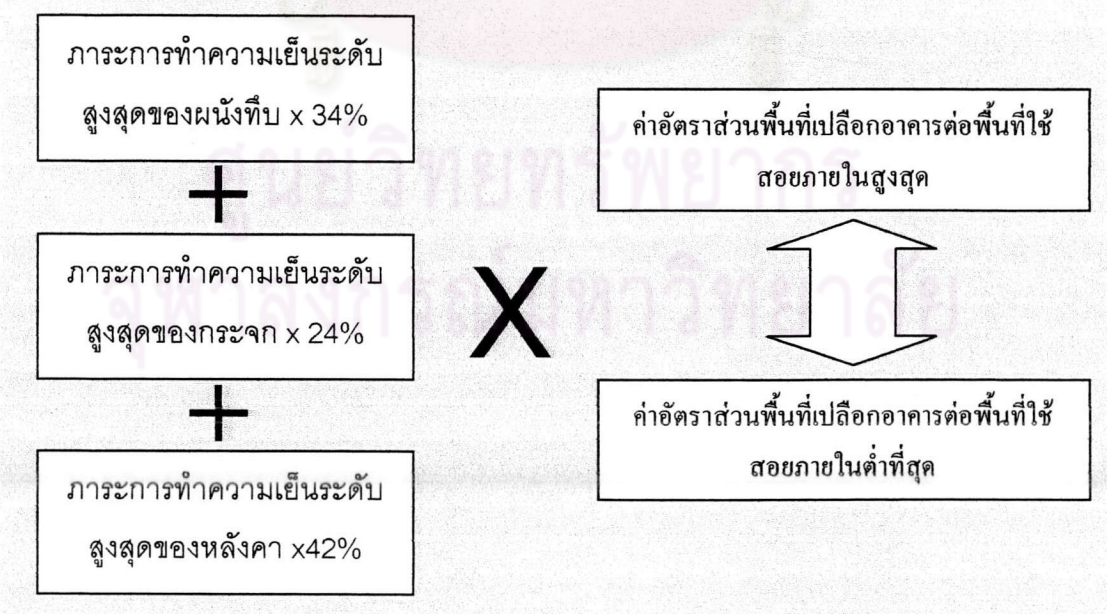
กรณี ค่าคะแนนระดับที่ 1 เกิดจากการนำ ผลรวมค่าภาระการทำความเย็นต่ำสุดของ ผนังทึบ กระจก และหลังคา คูณกับช่วงค่าอัตราส่วนต่ำที่สุดจนถึงสูงที่สุดของพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายใน

กรณี ค่าคะแนนระดับที่ 3 เกิดจากการนำ ผลรวมค่าภาระการทำเย็นที่เกิดจากวัสดุที่ใช้กันทั่วไปของ ผนังทึบ กระจก และหลังคา คูณกับช่วงค่าอัตราส่วนต่ำที่สุดจนถึงสูงที่สุดของพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายใน

กรณี ค่าคะแนนระดับที่ 5 เกิดจากการนำ ผลรวมค่าภาระการทำความเย็นสูงสุดของ ผนังทึบ กระจก และหลังคา คูณกับช่วงค่าอัตราส่วนส่วนต่ำที่สุดจนถึงสูงที่สุดของพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายใน

แสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้

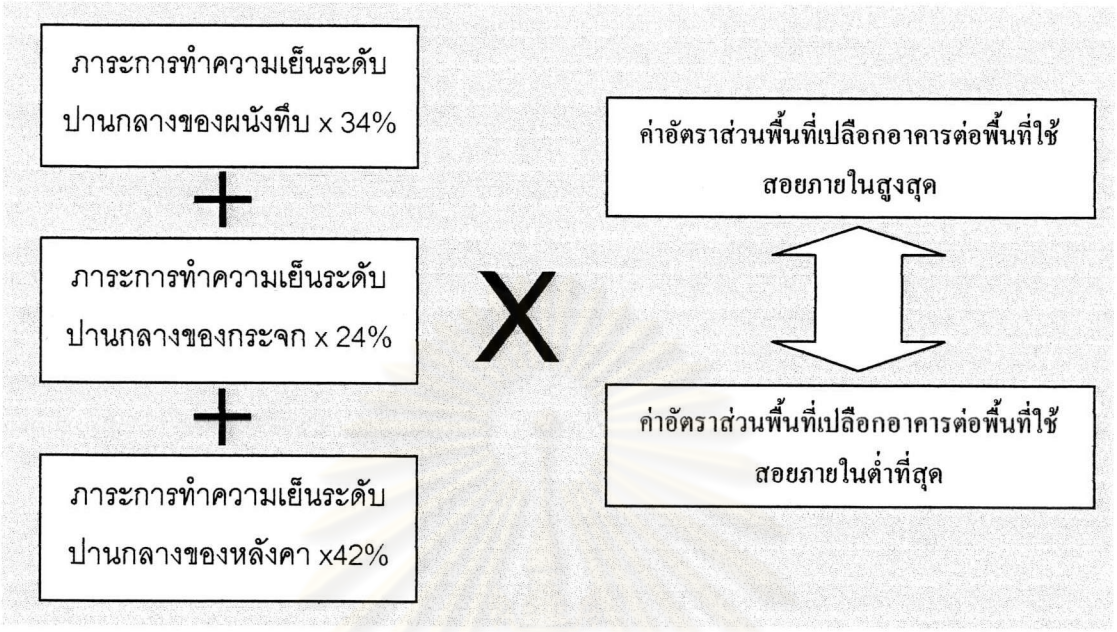
กรณีคะแนนระดับที่ 1



แผนภูมิที่ 3- 33 แสดงการหาช่วงคะแนนระดับที่ 1

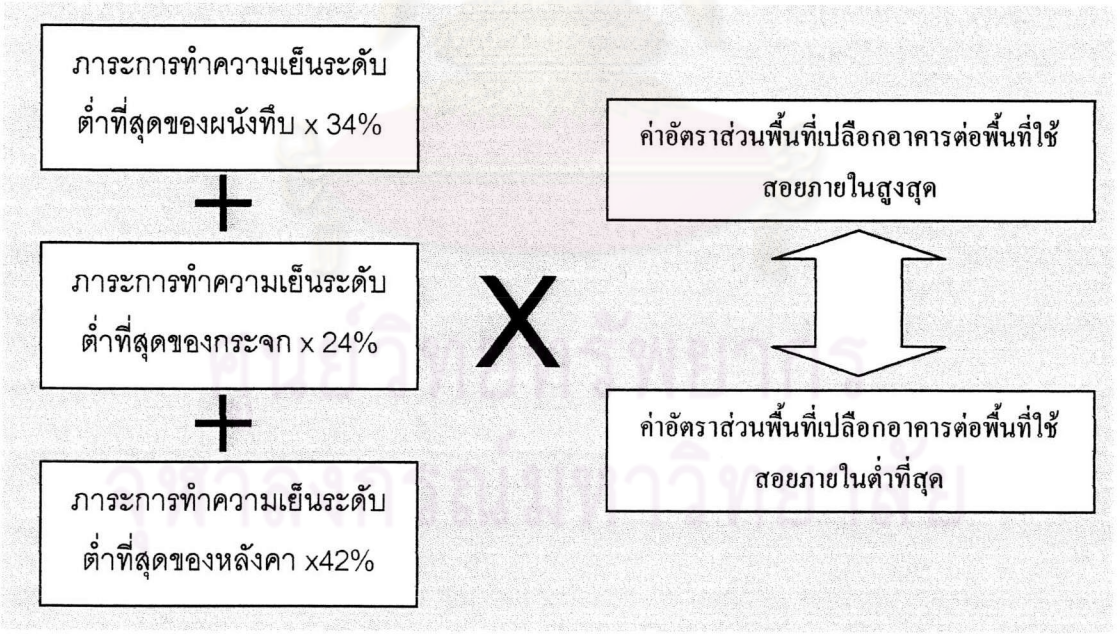
ค่าอัตราส่วนที่คูณกับค่าภาระการทำความเย็นของ ผนังทึบ กระจก และหลังคา พิจารณาจาก แผนภูมิที่ 3-2

กรณีคะแนนระดับที่ 3



แผนภูมิที่ 3- 34 แสดงการหาช่วงคะแนนระดับที่ 3

กรณีคะแนนระดับที่ 5



แผนภูมิที่ 3- 35 แสดงการหาช่วงคะแนนระดับที่ 5

กรณีคะแนนระดับที่ 3 ได้จากค่ากลางระหว่างค่าระดับที่ 4 กับค่าระดับที่ 5

กรณีคะแนนระดับที่ 2 ได้จากค่ากลางระหว่างค่าระดับที่ 1 กับค่าระดับที่ 3

การเลือกวัสดุในการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นในแต่ละระดับคะแนน

ภาระการทำความเย็นสูงสุด

ภาระการทำความเย็นสูงสุด ของ ผนังทึบ เกิดจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด ได้แก่ **ผนังโละลูกฟูก**

ภาระการทำความเย็นสูงสุด ของ กระจก เกิดจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดสูงสุด ได้แก่ **กระจกใส 6 มิลลิเมตร**

ภาระการทำความเย็นสูงสุด ของ หลังคา เกิดจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด ได้แก่ **หลังคาแผ่นโลหะ มีฝ้าเพดาน**

ภาระการทำความเย็นระดับปานกลาง

ภาระการทำความเย็นสูงสุด ของ ผนังทึบ เกิดจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ระดับปานกลาง และมีใช้กันอย่างแพร่หลาย เลือกใช้ **ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 0.10 เมตร**

ภาระการทำความเย็นสูงสุด ของ กระจก เกิดจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดระดับปานกลาง เลือกใช้ **กระจกเทาอ่อน ความหนารวม 18 มิลิเมตร**

ภาระการทำความเย็นสูงสุด ของ หลังคา เกิดจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด ได้แก่ **หลังคากระเบื้องซีแพคโมเนีย มีฝ้าเพดาน**

ภาระการทำความเย็นต่ำที่สุด

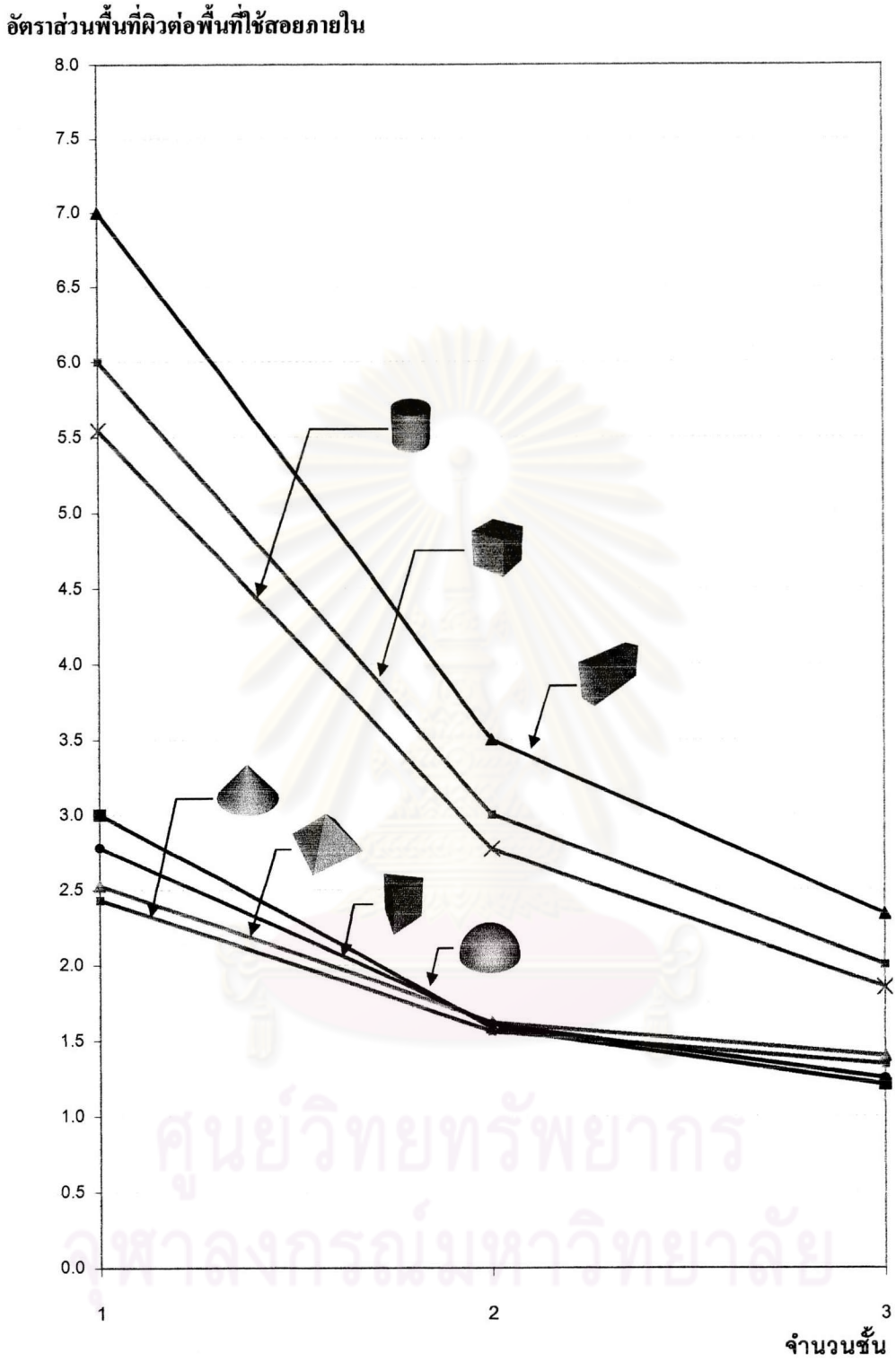
ภาระการทำความเย็นสูงสุด ของ ผนังทึบ เกิดจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ระดับต่ำที่สุด เลือกใช้ **ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก + โฟม 3 นิ้ว**

ภาระการทำความเย็นสูงสุด ของ กระจก เกิดจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดต่ำที่สุด เลือกใช้ **กระจกสีฟ้า**Reflective 10%

ภาระการทำความเย็นสูงสุด ของ หลังคา เกิดจากวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูงสุด เลือกใช้ **หลังคาแผ่นแอสฟัลท์ มีฝ้าเพดานหนา 12 มม.+ฉนวนหนา 6 นิ้ว**

ช่วงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายใน

ช่วงค่าอัตราส่วนพื้นที่เปลือกอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยภายในเกิดจาก การนำรูปทรงต่างๆมาคำนวณหาค่าอัตราส่วนพื้นที่เปลือกต่อพื้นที่ใช้สอยภายใน โดยกำหนดให้รูปทรงมีพื้นที่ใช้สอย 200 หน่วยเท่ากัน ความสูงของชั้น 2.5 หน่วย จำนวน 3 ชั้น แสดงเป็นแผนภูมิได้ดังนี้

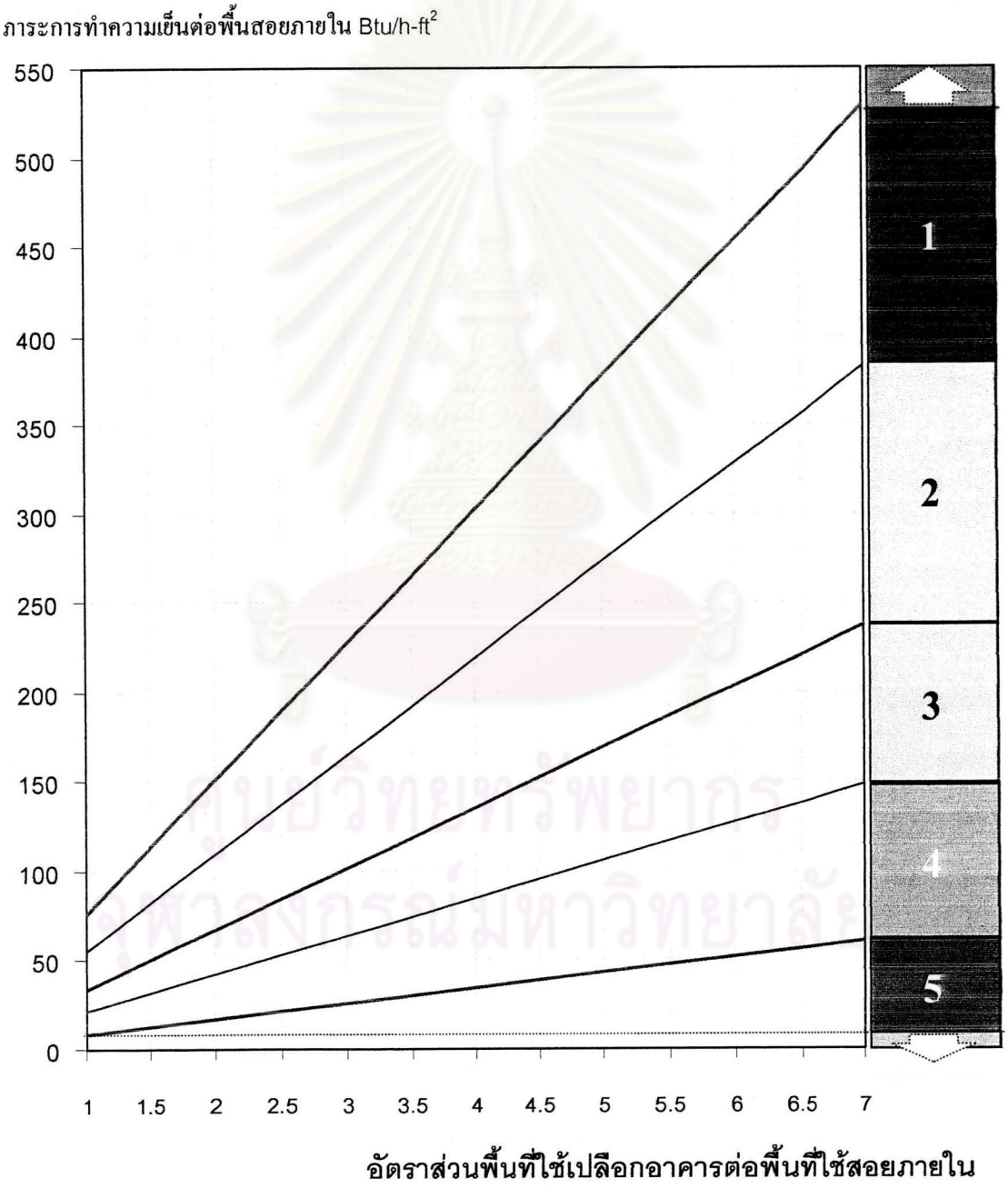


แผนภูมิที่ 3- 36 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นทีใช้สอยภายในรูปทรงต่างๆ เมื่อมีพื้นที่ใช้สอยภายใน 200 หน่วย เท่ากัน และมีความสูงชั้นที่ 2.5 หน่วย เท่ากัน'

ค่าต่ำสุดของอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยภายในของรูปทรงที่ระดับ 3 ชั้น เมื่อพื้นที่ใช้สอย และความสูงชั้นเท่ากัน คือ 1.3

ค่าสูงสุดของอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยภายในของรูปทรงที่ระดับ 3 ชั้น เมื่อพื้นที่ใช้สอย และความสูงชั้นเท่ากัน คือ 7

การข้อมูลข้างต้นสามารถสร้างแผนภูมิ ช่วงคะแนนการ ประเมินศักยภาพการประหยัดเนื่องจากลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคารได้ดังนี้



แผนภูมิที่ 3- 37 แสดงการแบ่งช่วงคะแนน ของแบบประเมินลักษณะรูปทรงและการจัดวางทิศทางอาคารที่เหมาะสม