บทที่ 4

การจัดการศึกษาวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและแนวทางของการศึกษาวิจัย ซึ่งประกอบด้วยแนวทางการประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานของระบบทำความเย็นและระบบส่องสว่างและการออฟติไมเซชั่น และการจัดหมวดหมู่ของกรณีศึกษา โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ประดิษฐ์ขึ้นจากภาษาฟอร์แทรน 90 (Fortran 90) รายละเอียดของโปรแกรมทั้งหมดได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ง

4.1 แนวทางการวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบทำความเย็นและระบบส่องสว่าง

การทำความเย็นภายในอาคารมีจุดประสงค์เพื่อสร้างสภาวะสุขสบายตลอดระยะเวลาการให้บริการของอาคาร ในปัจจุบันการกำหนดสภาวะของพื้นที่ทำความเย็นจะควบคุมให้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงประมาณ 24.5 °C ถึง 26.5 °C (76 – 80 °F) และความชื้นสัมพัทธ์ 50% RH เพื่อให้อากาศภายในพื้นที่ทำความเย็นอยู่ในสภาวะที่กำหนดจะต้องนำพาความร้อนในรูปความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงจำนวนหนึ่งออกจากพื้นที่ทำความเย็น ปริมาณความร้อนจำนวนดังกล่าวเรียกว่าภาระการทำความเย็น ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถแสดงได้ 7 ขั้นตอน ตามลำดับดังนี้

1. การรับรู้ข้อมูลอาคาร สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

    1.1. กลุ่มสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นจำเพาะ (Specific humidity) และ ฟลักซ์รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉากบนพื้นผิวแนวระดับ

    1.2. กลุ่มอาคาร ประกอบด้วย ตำแหน่งอาคาร ทิศของผนังอาคาร มิติของอาคาร สภาวะออกแบบภายในอาคาร คุณสมบัติผนังและกระจกอาคาร ความหนาแน่นของจำนวนคนภายในอาคาร เป็นต้น

    1.3. กลุ่มระบบทำความเย็นและส่องสว่าง ประกอบด้วย สมรรถนะการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็น และประสิทธิภาพการส่องสว่างของระบบไฟส่องสว่าง

2. จากคุณสมบัติของผนังอาคารและกระจก คำนวณสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันถ่ายโอนการนำความร้อนของผนังภายนอก สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันถ่ายโอนการนำความร้อนของ

ผนังภายใน สัมประสิทธิ์ฟังก์ชันถ่ายโอนการนำความร้อนระหว่างผนังภายนอกและภายใน

3. วิเคราะห์สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน สัมประสิทธิ์การดูดกลืน และสัมประสิทธิ์การสะท้อนของกระจก สุทธิในช่วงความยาวคลื่นมองเห็นได้และมองไม่เห็นสำหรับมุมตกกระทบค่าต่างๆ

4. วิเคราะห์ปริมาณรังสีตรงและรังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ ในรูปของรังสีความร้อนในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้และมองไม่เห็นและการส่องสว่าง ที่ตกกระทบผนังอาคารแต่ละด้าน

5. คำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธีการสมดุลความร้อน การส่องสว่างจากธรรมชาติบนระนาบทำงาน และการส่องสว่างจากระบบไฟส่องสว่าง

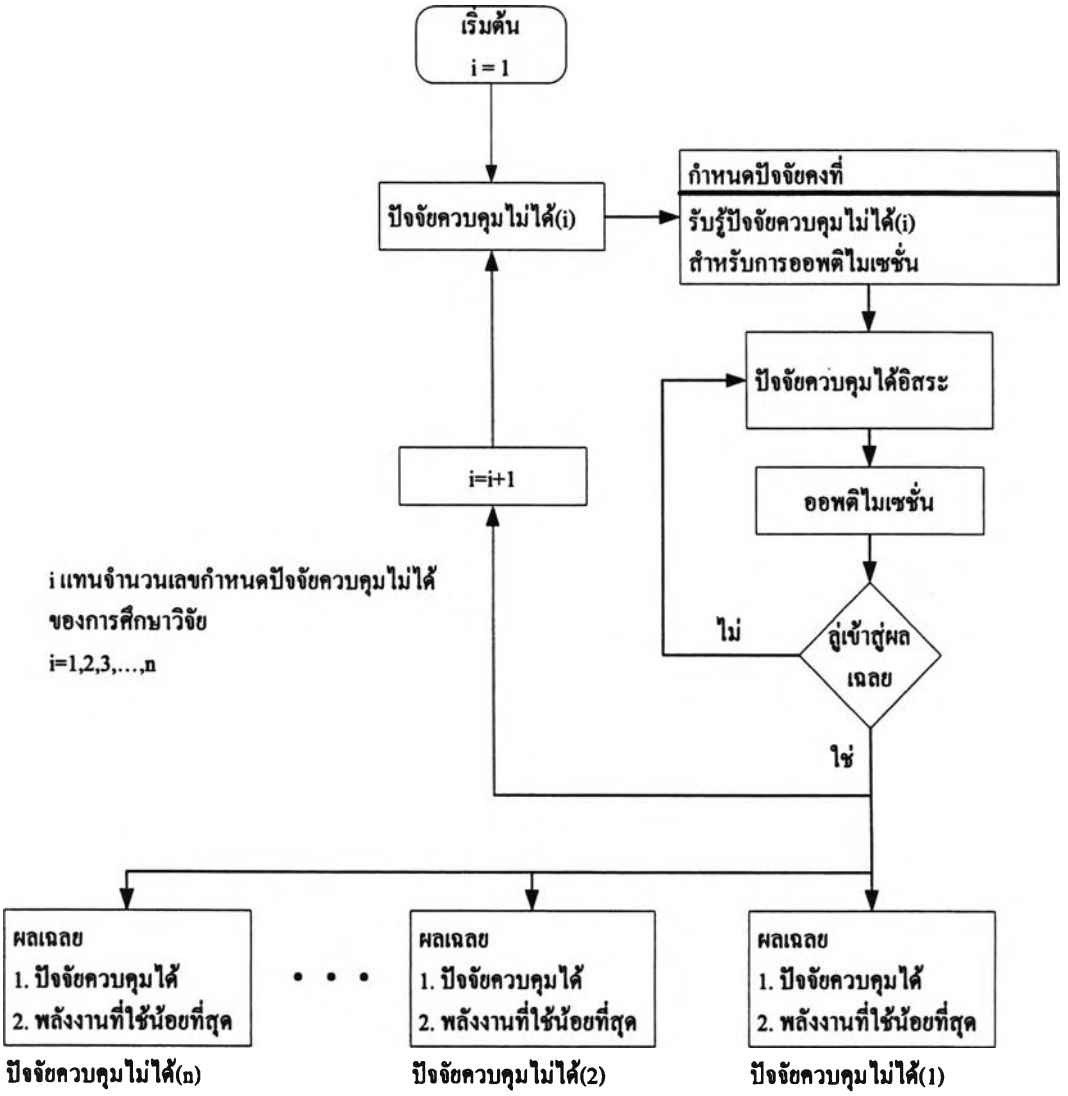
6. คำนวณกำลังงานรายชั่วโมงที่ระบบทำความเย็นและระบบไฟส่องสว่างใช้

7. ประมวลผลพลังงานทั้งหมดที่อาคารใช้รายปี

4.2 แนวทางการออพติไมเซชั่น

การออพติไมเซชั่นเริ่มต้นด้วยการรับรู้ข้อมูลอาคารทั้งสามกลุ่มดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1 โดยเริ่มต้นจากทำการรับรู้ปัจจัยควบคุมไม่ได้และปัจจัยคงที่ต่างๆ ทั้งหมดที่กำหนดขึ้นของการศึกษาวิจัย ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้จะถูกกำหนดให้คงที่ในแต่ละกรณีของการออพติไมเซชั่น จากนั้นทำการรับรู้ปัจจัยควบคุมได้ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระสำหรับการออพติไมเซชั่นโดยกำหนดให้ค่าของปัจจัยควบคุมได้จากข้อมูลอาคารเป็นค่าเริ่มต้นของปัจจัยควบคุมได้ทั้งหมดในการออพติไมเซชั่นภายใต้ฟังก์ชันพีนัลตี้ และใช้วิธีการเซอร์ทสำหรับการหาจุดต่ำสุดของฟังก์ชั่นพีนัลตี้ จากนั้นทำการตรวจสอบการลู่เข้าสู่ผลเฉลยสุดท้ายและตรวจสอบความสอดคล้องของฟังก์ชั่นเงื่อนไข หากจุดต่ำสุดของฟังก์ชั่นพีนัลตี้ที่ได้ยังคงไม่ลู่เข้าสู่ผลเฉลยสุดท้ายหรือยังมีฟังก์ชั่นเงื่อนไขที่ยังคงไม่สอดคล้องภายใต้จุดต่ำสุดของฟังก์ชันพีนัลตี้นั้นจะนำค่าที่ได้กลับไปทำการหาจุดต่ำสุดของฟังก์ชั่นพีนัลตี้ต่อไปโดยให้ค่าของพีนัลตี้ปัจจัยเพิ่มขึ้น จนกว่าจุดต่ำสุดของฟังก์ชั่นพีนัลตี้ลู่เข้าสู่ผลเฉลยสุดท้ายและสอดคล้องต่อฟังก์ชั่นเงื่อนไขทั้งหมด ณ. จุดต่ำสุดของฟังก์ชั่นพีนัลตี้นี้คือผลเฉลยของปัจจัยควบคุมได้ที่ทำให้การใช้พลังงานของอาคารน้อยที่สุดสำหรับปัจจัยคงที่ที่พิจารณาปัจจัยหนึ่งภายใต้อิทธิพลของปัจจัยควบคุมไม่ได้ปัจจัยหนึ่งของการศึกษาวิจัย

ภาพรวมของการออพติไมเซชั่นสำหรับปัจจัยคงที่ปัจจัยหนึ่งภายใต้อิทธิพลของปัจจัยความคุมไม่ได้ต่างๆ ของการศึกษาวิจัยเพื่อนำไปสู่รูปแบบของปัจจัยควบคุมได้ที่ส่งผลให้การใช้พลังงานของอาคารต่ำสุดแสดงในรูปที่ 4.1 และแผนภูมิการออพติไมเซชั่นแสดงในรูปที่ 4.2

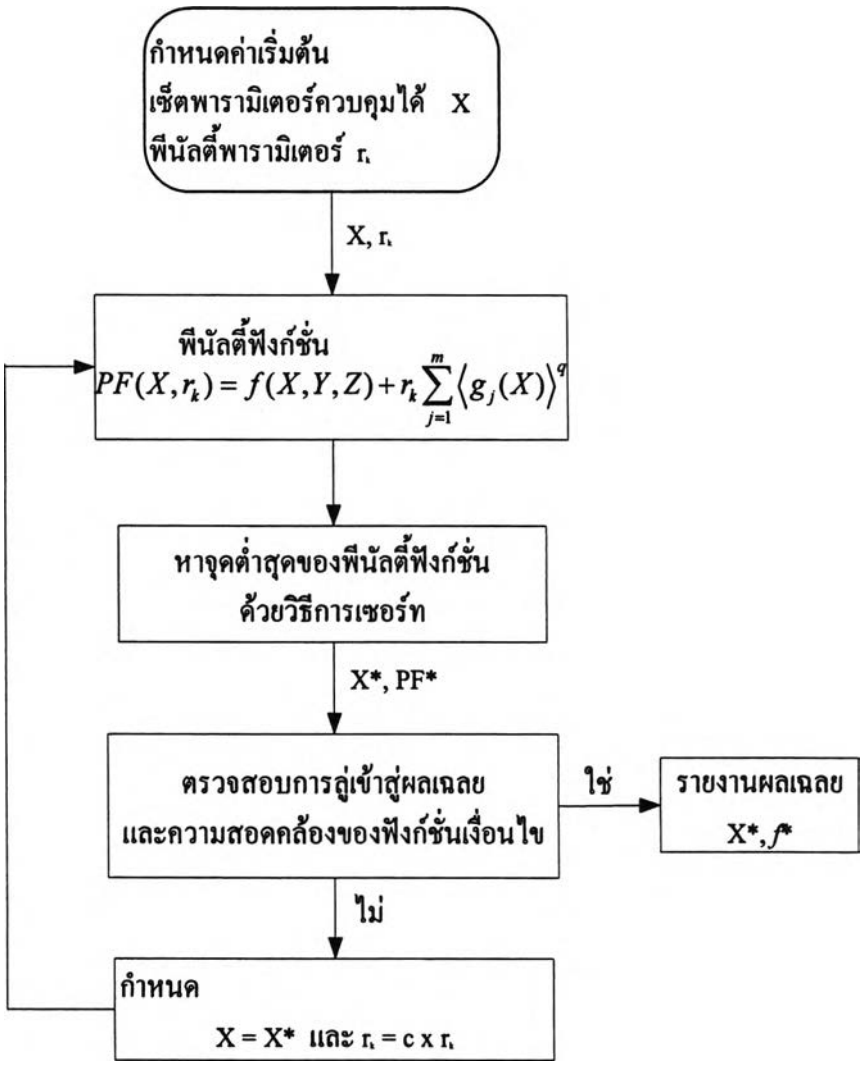


รูปที่ 4.1 ภาพรวมของการออพติไมเซชั่นสำหรับปัจจัยคงที่ปัจจัยหนึ่ง ภายใต้อิทธิพลของปัจจัยควบคุมไม่ได้ต่างๆ ของการศึกษาวิจัย

4.3 การดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ทำการศึกษาการสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงานโดยพิจารณาที่พลังงานที่ใช้ไปในระบบทำความเย็นและระบบไฟส่องสว่างเมื่อปัจจัยควบคุมไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่กำหนด ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการเบี่ยงเบนของสภาวะแวดล้อมจากสภาวะที่พิจารณาที่มีผลต่อการใช้พลังงานของอาคารและส่งผลกระทบต่อปัจจัยการส่องสว่างทางธรรมชาติจะนำไปสู่

การสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงาน ปัจจัยควบคุมได้ที่ทำการพิจารณาจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการนำพารังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่อาคาร ซึ่งจะประกอบด้วย มิติของกระจกภายใต้การวางตัวของผนังอาคารแต่ละด้าน สัมประสิทธิ์การส่งผ่านและสัมประสิทธิ์การสะท้อนของกระจก



โดยที่ C แทน ค่าคงที่มากกว่า 1

รูปที่ 4.2 แผนภูมิการออพติไมเซชั่น

ในช่วงความยาวคลื่นมองเห็นได้ และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและสัมประสิทธิ์การดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นมองไม่เห็น ดังนั้นปัจจัยควบคุมได้ที่พิจารณาทั้งหมดเท่ากับ 12 ตัว ดังนี้

$$X=\big[L_g(DIR_1),L_g(DIR_2),L_g(DIR_3),L_g(DIR_4),\mathrm{H}_g(DIR_1),H_g(DIR_2),H_g(DIR_3),H_g(DIR_4),\tau_v(0),\rho_v(0),\tau_n(0),\alpha_n(0)\big]^T \qquad 4.1$$

โดยที่

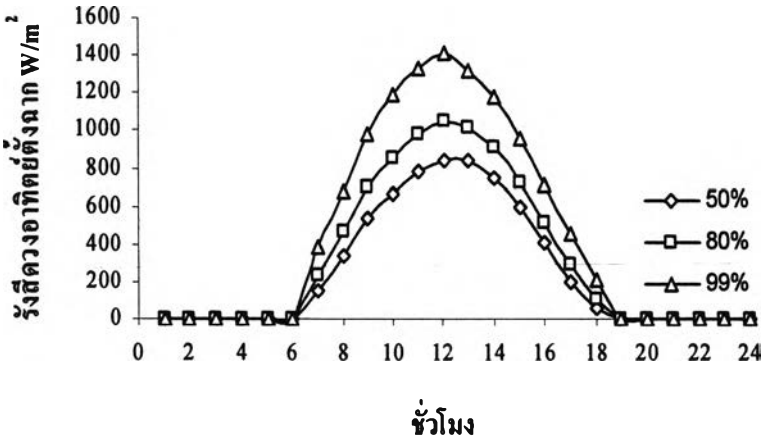
DIR แทน ทิศของผนังอาคาร

L_g และ H_g แทน ความยาวแนวระดับและความสูงของกระจก

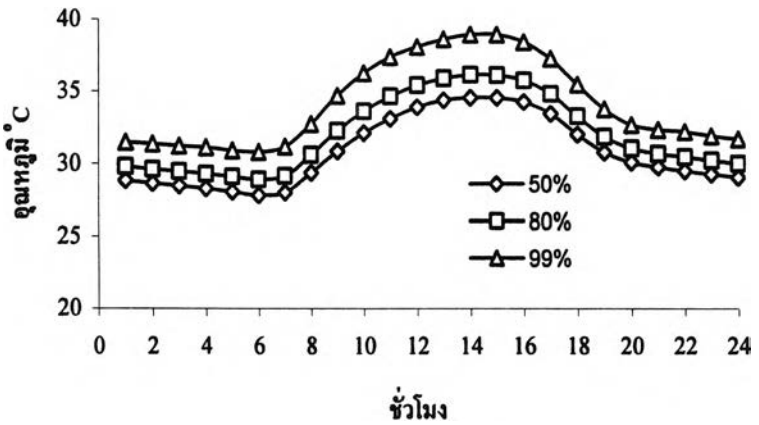
การกำหนดขอบเขตของปัจจัยควบคุมได้ของความยาวแนวระดับและความสูงของกระจกในทิศต่างๆ จะพิจารณาในช่วงขอบเขตระหว่าง 10% ถึง 90% ของความยาวผนังในทิศทางเดียวกับกระจกที่พิจารณา ขณะที่ขอบเขตของคุณสมบัติการส่งผ่านของกระจกในย่านความยาวคลื่นมองเห็นได้จะพิจารณาโดยวิเคราะห์ค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ที่จะไม่ทำให้เกิดความจ้าภายในอาคารมากเกินไป ซึ่งระดับความจ้าสูงสุดจะพิจารณาที่ดัชนีความจ้าเท่ากับ 26 ที่ตำแหน่งขอบเขตโซนแสงธรรมชาติปานกลาง การวิเคราะห์ข้างต้นทำได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นค้นหาค่าสัมประสิทธิ์การส่องสว่างในย่านที่มองเห็นได้ในช่วง 0 ถึง 1 ภายใต้มิติของกระจกค่าต่างๆ ที่รูปแบบรังสีดวงอาทิตย์แนวระดับค่าต่างๆ รูปทรง และการวางตัวของอาคาร ที่ใช้พิจารณาซึ่งจะพบว่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในย่านที่มองเห็นได้จะต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 เพื่อที่จะไม่ให้ดัชนีความจ้าสูงสุดเกิน 26 จากนั้นทำการพิจารณากระจกอาคารจำนวนมาก ที่มีสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วง 0 ถึง 0.5 พบว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนในย่านความยาวคลื่นมองเห็นได้จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.607 สัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความยาวคลื่นมองไม่เห็นอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และสัมประสิทธิ์การดูดกลืนในย่านความยาวคลื่นมองไม่เห็นอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.75 ดังนั้นขอบเขตของปัจจัยควบคุมได้ทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังนี้

$$
\begin{aligned}
&0.1L(DIR) \le L_g(DIR) \le 0.9L(DIR) \\
&0.1H(DIR) \le H_g(DIR) \le 0.9H(DIR) \\
&0 \le \tau_v(0) \le 0.5 \\
&0 \le \rho_v(0) \le 0.607 \\
&0 \le \tau_n(0) \le 1 \\
&0 \le \alpha_n(0) \le 0.75
\end{aligned}
\qquad 4.2
$$

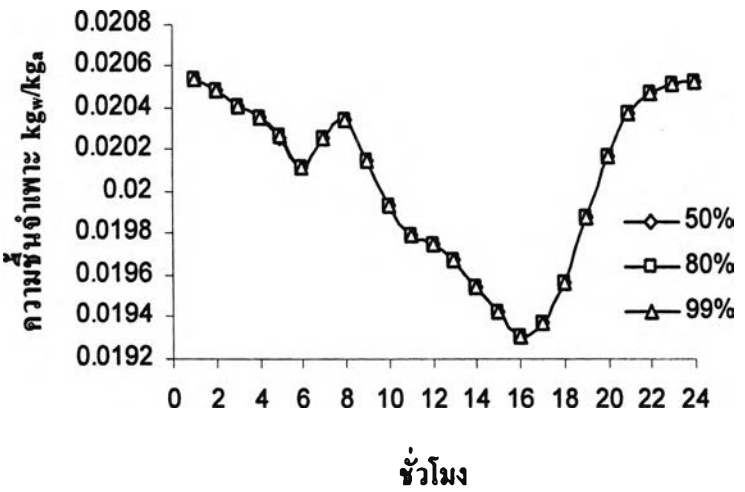
ปัจจัยควบคุมไม่ได้ที่พิจารณาจะเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงต่อการเกิดภาระการทำความเย็นและการส่องสว่างซึ่งประกอบด้วย รังสีดวงอาทิตย์แนวระดับ อุณหภูมิภายนอก และความชื้นจำเพาะ ปัจจัยเหล่านี้จะพิจารณาอยู่ในรูปความน่าจะเป็นของการแจกแจงรายชั่วโมงภายใต้ข้อมูลของสถานีตรวจวัดสภาวะภูมิอากาศ กรุงเทพมหานคร ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณารูปแบบของการแจกแจงรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิภายนอก และความชื้นจำเพาะที่ความน่าจะเป็น 99%, 80%, และ 50% ดังนั้นเซตปัจจัยควบคุมไม่ได้จะมีทั้งหมด 27 เซต สมการที่ 4.3 แสดงรูปแบบของเซตของปัจจัยควบคุมไม่ได้ และรูปที่ 4.3 แสดงการแจกแจงรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมง



รูปที่ 4.3 แสดงการแจกแจงรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมง ของวันที่ 21 เมษายน



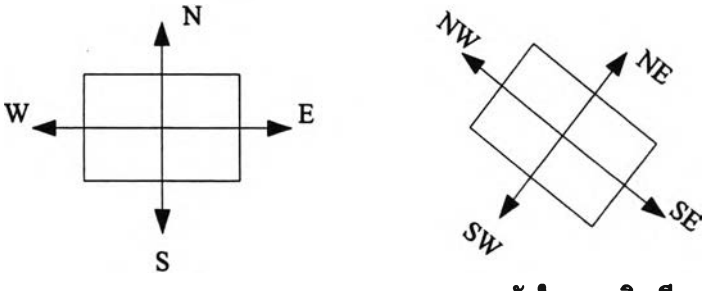
รูปที่ 4.4 แสดงการแจกแจงอุณหภูมิรายชั่วโมง ของวันที่ 21 เมษายน



รูปที่ 4.5 แสดงการแจกแจงความชื้นจำเพาะรายชั่วโมง ของวันที่ 21 เมษายน

รูปที่ 4.4 แสดงการแจกแจงอุณหภูมิรายชั่วโมง และ รูปที่ 4.5 แสดงการแจกแจงความชื้นจำเพาะรายชั่วโมง ของวันที่ 21 เมษายน

$$Y = \left[I_h(\%), T_o(\%), H_w(\%) \right]^T \qquad 4.3$$



การวางตัวในแนวทิศหลัก การวางตัวในแนวทิศเฉียง

รูปที่ 4.6 การวางตัวของอาคารในแนวทิศหลัก
และการวางตัวในแนวทิศเฉียง

การวางตัวและมิติของอาคารได้จัดว่าเป็นปัจจัยคงที่ ในการศึกษาวิจัยจะพิจารณาอาคารอ้างอิง 3 ขนาดคือ อาคารขนาดเล็กพื้นที่ใช้สอย 10,800 ตารางเมตร อาคารขนาดกลาง 30,000 ตารางเมตร และ อาคารขนาดใหญ่ 120,000 ตารางเมตร รวมไปถึงพิจารณาอิทธิพลของการวางตัวของอาคารและมิติของผนังในแต่ละด้านด้วย การพิจารณาการวางตัวของอาคารจะพิจารณาเป็น 2 ระบบ คือ การวางตัวในแนวทิศหลัก (Normal Orientation) และการวางตัวในแนวทิศเฉียง (Oblique Orientation) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.1 แสดงการพิจารณามิติของผนังสำหรับอาคารขนาดเล็ก ขนาดกลาง และ ขนาดใหญ่

ปัจจัยคงที่อื่นๆ ที่พิจารณาเป็นปัจจัยทั้งหมดที่มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานการทำความเย็นและการส่องสว่างที่นอกเหนือจากปัจจัยควบคุมได้ ปัจจัยควบคุมไม่ได้ และขนาดอาคาร มิติของผนัง และทิศทางการวางตัวของอาคาร ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่าปัจจัยคงที่ทั้งหมดนี้จะถือเป็นปัจจัยอ้างอิงสำหรับการพิจารณาพลังงานสูญเสียจากการทำความเย็นและส่องสว่าง รวมไปถึงการออพติไมเซชั่นด้วย ค่าของปัจจัยคงที่แต่ละตัวจะได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยหรือเป็นค่ามาตรฐานของสมาคมวิชาชีพที่ใช้กับอาคารสำนักงานโดยทั่วไปและนำมาปรับแต่งเพื่อใช้ในประเทศไทย ซึ่งสามารถกล่าวได้ตามลำดับดังนี้

1. สภาวะอากาศควบคุมภายใน กำหนดที่ 24.5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50% RH ซึ่งอยู่ภายในเขตความสุขสบายเชิงความร้อนของ ASHRAE และยังเป็นค่า

มาตรฐานการออกแบบสำหรับสภาวะภายใน ความส่องสว่างบนระนาบทำงานเฉลี่ย 500 ลักซ์ ซึ่งค่าความส่องสว่างเฉลี่ยตามมาตรฐาน CIE (1986) สำหรับอาคารสำนักงานจะอยู่ในย่าน 300 ถึง 750 ลักซ์ และ 500 ลักซ์เป็นค่าที่แนะนำ และพิจารณาระดับความจ้าสูงสุดดัชนีความจ้าเท่ากับ 26 ที่ตำแหน่งเส้นขอบเขตของโซนแสงธรรมชาติปานกลาง

2. โครงสร้างผนังอาคารเป็นชนิดก่ออิฐ ฉาบปูน โดยมีปูนฉาบหนา 0.02 เมตร อิฐมอญ 0.1 เมตร และปูนฉาบ 0.02 เมตร ผนังภายในและเพดานสีสว่าง พื้นสีเข้ม ความสูงอาคารแต่ละชั้น 3.25 เมตร ความสูงของพื้นถึงเพดาน 3 เมตร และใช้ความสูงจากพื้นถึงระนาบทำงานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยคือ 0.75 เมตร

3. ความหนาแน่นของผู้อาศัย 0.1 คนต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นค่าประมาณการสำหรับอาคารสำนักงานในเขตประชากรหนาแน่น เช่น กรุงเทพมหานคร อัตราการระบายอากาศ 10 cfm/คน ซึ่งได้ปรับแต่งจากค่ามาตรฐานของ ASHRAE เพื่อให้สอดคล้องต่อคุณลักษณะของอาคารสำนักงานส่วนใหญ่ในประเทศไทย และกิจกรรมการทำงานในสำนักงานคือกิจกรรมเฉลี่ยของผู้อาศัย

4. ไฟส่องสว่างเป็นหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ (Fluorescent) ชนิดแขวน ประสิทธิภาพของหลอดไฟ 70 ลูเมนต์ต่อวัตต์ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอดยาว ที่ใช้ในอาคารสำนักงานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน และสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์ (CU) เท่ากับ 0.88 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การใช้ประโยชน์โดยพิจารณาจากมิติของอาคารทั้งหมดในรูปสัดส่วนห้อง (RCR) และสีของผนังภายในที่กล่าวไว้ข้างต้น เทียบกับชนิดของโคมไฟสำนักงานชนิดแขวนจำนวนมาก สัดส่วนห้องของอาคารรูปทรงต่างๆที่ใช้พิจารณา ค่าสัดส่วนห้องและค่า CU สูงสุดและต่ำสุดแสดงในตารางที่ 4.2

5. สมรรถนะเครื่องทำความเย็นที่พิจารณาเป็นแบบ 200 ตัน ซึ่งเป็นขนาดที่ได้รับความนิยมสำหรับอาคารที่มีพื้นที่ใช้สอยอยู่ในช่วงที่พิจารณาคือ 10,800 ถึง 120,000 ตารางเมตร โดยเส้นสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นที่ใช้ได้จากสมรรถนะเฉลี่ย 0.6 kW/Ton ของเครื่องทำความเย็น Trane และ York จำนวน

มาก รูปที่ 4.7 แสดงเส้นแนวโน้มสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นขนาด 200ตัน ที่พิจารณา

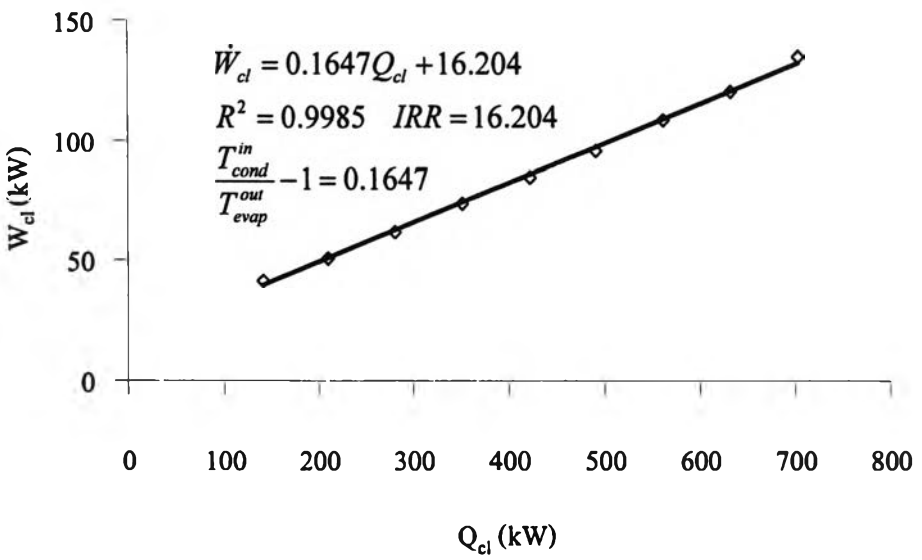
ตารางที่ 4.1 แสดงมิติของผนังอาคารในแต่ละทิศการวางตัวสำหรับอาคารขนาดต่างๆ ที่พิจารณา

ขนาดอาคาร	การวางตัว	L(S), เมตร	L(W), เมตร	L(N), เมตร	L(E), เมตร	H, เมตร
ขนาดกลาง	ทิศหลัก	50	50	50	50	40
	ทิศหลัก	100	25	100	25	40
	ทิศหลัก	25	100	25	100	40
	การวางตัว	L(SW), เมตร	L(NW), เมตร	L(NE) , เมตร	L(SE) , เมตร	H, เมตร
	ทิศเฉียง	50	50	50	50	40
	ทิศเฉียง	100	25	100	25	40
	ทิศเฉียง	25	100	25	100	40
ขนาดใหญ่	การวางตัว	L(S), เมตร	L(W), เมตร	L(N), เมตร	L(E), เมตร	H, เมตร
	ทิศหลัก	100	100	100	100	40
	ทิศหลัก	200	50	200	50	40
	ทิศหลัก	50	200	50	200	40
	การวางตัว	L(SW), เมตร	L(NW), เมตร	L(NE) , เมตร	L(SE) , เมตร	H, เมตร
	ทิศเฉียง	100	100	100	100	40
	ทิศเฉียง	200	50	200	50	40
	ทิศเฉียง	50	200	50	200	40
ขนาดเล็ก	การวางตัว	L(S), เมตร	L(W), เมตร	L(N), เมตร	L(E), เมตร	H, เมตร
	ทิศหลัก	30	30	30	30	40
	ทิศหลัก	60	15	60	15	40
	ทิศหลัก	15	60	15	60	40
	การวางตัว	L(SW), เมตร	L(NW), เมตร	L(NE) , เมตร	L(SE) , เมตร	H, เมตร
	ทิศเฉียง	30	30	30	30	40
	ทิศเฉียง	60	15	60	15	40
	ทิศเฉียง	15	60	15	60	40

สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 มิติของห้อง สัดส่วนห้อง และค่า CU สูงสุดและต่ำสุด

ขนาดอาคาร	ΔH	L	W	RCR	% CU	
					ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
กลาง	2.25	50	50	0.45	90.25	85.50
	2.25	100	25	0.56	93.44	85.13
	2.25	25	100	0.56	93.44	85.13
ใหญ่	2.25	100	100	0.23	99.18	84.45
	2.25	200	50	0.28	98.22	84.56
	2.25	50	200	0.28	98.22	84.56
เล็ก	2.25	30	30	0.75	90.25	85.50
	2.25	60	15	0.94	90.25	85.50
	2.25	15	60	0.94	90.25	85.50



รูปที่ 4.7 แสดงแนวโน้มสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นขนาด 200 ตัน

ดังนั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยควบคุมไม่ได้ทั้ง 3 ตัว ภายใต้การพิจารณา 3 รูปแบบ ขนาดอาคาร ขนาดใหญ่ ขนาดกลางและ ขนาดเล็ก ตลอดจนการวางตัวของอาคาร 2 ระบบคือแนวทิศหลักและแนวทิศเฉียง ทำให้จะต้องทำการออพติไมเซชั่นทั้งหมด 486 กรณี เพื่อทำการวิเคราะห์การสูญเสียโอกาสของการประหยัดพลังงานต่อไป ผลการวิเคราะห์และข้อสรุปภายใต้เงื่อนไขของกลุ่มปัจจัยที่กำหนดจะกล่าวถึงบทที่ 5.