บทที่ 2

ทฤษฎี และแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 การศึกษาวิเคราะห์อาคาร

การศึกษาและวิเคราะห์อาคารเพื่อการปรับปรุงในด้านใดๆ ประการแรกที่ต้องทำความเข้าใจก็คือ จะต้องวิเคราะห์ได้ว่าอาคารนั้นมี ข้อดี / ข้อเสีย อย่างไร James A. Powell , Ian Cooper และ Sabastian Lera (1984) เสนอว่า ในการศึกษาวิเคราะห์ข้อดี/ ข้อเสียของอาคาร นั้น มีตัวแปรที่ควรนำมาพิจารณา ดังนี้

1. การกระจายเสียงในอาคาร (aural) ได้แก่ คุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างอาคารที่มีผลต่อการดูดกลืน หรือ สะท้อนเสียง ที่มีผลต่อผู้ใช้อาคาร
2. การมองเห็น (visual) ได้แก่ ปริมาณและคุณภาพของแสงภายในอาคาร ที่มีผลต่อผู้ใช้อาคาร
3. ปริมาณความร้อน (thermal) ได้แก่ ลักษณะอุณหภูมิภายในอาคารที่มีผลต่อความสบายของผู้ใช้อาคาร
4. ลักษณะการใช้งาน (function used) ได้แก่ การใช้งานอาคารที่มีความสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับประเภทอาคาร
5. สุขลักษณะภายในอาคาร (health and well being) ได้แก่ สภาพภายใน ภายนอกอาคารที่มีผลต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร
6. การหมุนเวียนอากาศภายในอาคาร (air) ได้แก่ ปริมาณอากาศที่ไหลเวียนถ่ายเทภายในอาคาร ที่มีผลต่อผู้ใช้อาคารทั้งในด้านความสบายและสุขลักษณะ
7. ลักษณะเปลือกอาคาร (building enclosure) ได้แก่ ลักษณะเปลือกอาคารและรูปทรงอาคาร
8. ระบบประกอบอาคาร (building service) ได้แก่ ประสิทธิภาพของระบบต่างๆที่ใช้ภายในอาคารทั้งระบบปรับอากาศ ระบบสุขาภิบาล ระบบเครื่องกล ระบบการให้แสงสว่างภายในอาคาร

ตัวแปรเหล่านี้มีผลทำให้แต่ละอาคารมีข้อจำกัดที่ไม่เหมือนกันในการพิจารณาเพื่อปรับปรุงอาคาร สำหรับการศึกษาวิเคราะห์อาคารกรณีศึกษาจะทำการพิจารณาเฉพาะตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเท่านั้น ซึ่งอธิบายละเอียดในหัวข้อการศึกษาการใช้พลังงานในอาคารต่อไป

2.2 แนวทางในการศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร (energy audit)

2.2.1 การศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร

Asian Development Bank (1997) กล่าวว่า การศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร คือ การศึกษาเบื้องต้นถึงการใช้พลังงานที่จำแนกตามระบบและประเภทของการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา เพื่อเป็นการยืนยันว่าอาคารนั้นๆ มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และเพื่อหาแนวทางในการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญดังนี้

1. ระบุหรือกำหนดได้ว่า อาคารที่ต้องการศึกษา มีการใช้พลังงานที่ส่วนใด ใช้ ณ ช่วงเวลาใด และใช้พลังงานอย่างไร
2. สามารถกำหนดแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา
3. ทราบประสิทธิผลของการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา
4. ทราบลักษณะการจัดการในด้านพลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา

มีวิธีศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคารแยกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ของอาคารที่มีการเก็บบันทึกไว้

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลอาคารที่มีการเก็บบันทึกไว้ในด้านการใช้พลังงาน โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลที่มีการเก็บย้อนหลังไปอย่างน้อย 1 ปี โดยทำการวิเคราะห์ เพื่อกำหนดแนวโน้มของรูปแบบการใช้พลังงานในอาคารที่ต้องการศึกษา เพื่อประเมินค่าการใช้พลังงานต่อตารางเมตร(evaluate energy use indices) เพื่อให้ทราบว่าระบบประกอบอาคารส่วนใดที่ด้อยประสิทธิภาพในการใช้พลังงานทั้งในตัวระบบที่เลือกใช้และ วิธีการในการดำเนินงานของระบบนั้นๆ และ เพื่อจำแนกการใช้พลังงานในอาคารตามชนิดของพลังงานที่ใช้ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า พลังงานจากก๊าซ หรือพลังงานที่ได้จากน้ำมัน สำหรับประเทศไทยจะมีแต่พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

ข้อมูลที่ต้องการเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นที่ 1

1. ข้อมูลค่าไฟฟ้าย้อนหลัง หรือ ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า ย้อนหลัง
2. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (weather data) ณ ช่วงเวลาที่พิจารณา
3. ข้อมูลการใช้งานอาคาร และจำนวนผู้ใช้อาคาร

แนวทางในการวิเคราะห์ในขั้นที่ 1

1. ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานแต่ละชนิด กับค่าใช้จ่ายแยกตามชนิดของพลังงานที่ใช้ในอาคาร
2. หากมีข้อมูลที่เพียงพอควรนำข้อมูลการใช้พลังงานรายปีแต่ละปีมาเปรียบเทียบเพื่อประมาณการแนวโน้มในการใช้พลังงานในแต่ละปีว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร
3. ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะสภาพภูมิอากาศมีความสัมพันธ์ต่อการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการพิจารณาอย่างไร และวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ลักษณะการใช้พลังงานในอาคารเป็นเช่นนั้น
4. ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานกับจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงเวลาว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่
5. วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคารที่พิจารณา (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อ ตารางเมตร)

ขั้นที่ 2 การสำรวจอาคาร เพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงที่เป็นไปได้

เป็นขั้นตอนที่ควรกระทำก่อนที่จะใช้เวลา และเงินลงทุนไปเพื่อการทดสอบแนวทางในการใช้พลังงานในด้านใดด้านหนึ่งโดยเฉพาะ ในขั้นตอนที่ 2 นี้ จะเป็นการเข้าไปสำรวจอาคารเพื่อพิจารณาหาอัตราส่วนในการใช้พลังงานในอาคารว่ามีการใช้พลังงานมากที่สุดในกิจกรรมหรือกระบวนการใด พิจารณาว่าการใช้พลังงานในส่วนใดที่มีการใช้อย่างสิ้นเปลืองและด้อยประสิทธิภาพ และ จัดลำดับความสำคัญของพื้นที่และการจัดระบบภายในอาคาร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาโดยละเอียดต่อไป

ข้อมูลที่ต้องการเพื่อการทำงานในขั้นที่ 2

1. รูปแบบอาคารที่ทำการออกแบบและงานระบบที่ใช้ในอาคารทุกระบบ
2. อุปกรณ์และเครื่องกลที่ใช้งานในอาคาร
3. การพิจารณาประสิทธิภาพของงานระบบที่ใช้ในอาคาร เพื่อศึกษาความสัมพันธ์กับลักษณะอาคารที่มีการออกแบบเดิมไว้หรือไม่อย่างไร

แนวทางในการวิเคราะห์ในขั้นที่ 2

1. ทำการวิเคราะห์จำแนกข้อมูลการใช้พลังงานตามประเภทการใช้งาน(energy use and cost break down) โดยพิจารณาเป็นอัตราส่วนการใช้งาน
2. วิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพของเครื่องกลและงานระบบที่ใช้งาน พิจารณาข้อดี/ข้อเสียของงานระบบ และเปรียบเทียบผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงงานระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยส่วนใหญ่จะใช้วิธีการคำนวณเปรียบเทียบด้านอัตราการใช้พลังงาน ความคุ้มทุน เป็นหลัก

ขั้นที่ 3 การศึกษาโดยละเอียด ประเมินแนวทางและความเป็นไปได้ในการปรับปรุงในด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

เป็นการศึกษาเพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ซึ่งจะต้องอาศัยข้อมูลละเอียดประกอบการพิจารณา

ข้อมูลที่ต้องการในการทำงานขั้นที่ 3

1. ปริมาณพลังงาน โดยละเอียดที่ใช้ในอุปกรณ์แต่ละชนิด งานระบบ ภายในอาคาร และสภาพภายในอาคารตามความเป็นจริง ซึ่งได้มาจากการเข้าไปทำการวัดการใช้พลังงานจริง เช่น การติดมิเตอร์วัด การวัดอุณหภูมิ การวัดความเร็วลมที่เกิดขึ้นภายในอาคาร
2. ข้อมูลด้านการลงทุนและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ณ ปัจจุบัน และ ค่าใช้จ่ายในกรณีที่มีการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารในแต่ละแนวทาง
3. ค่าใช้จ่ายที่ลดลงอันได้จากการปรับปรุงอาคาร ในกรณีนี้ข้อมูลนี้จะได้มาจากการคำนวณ หรือ ที่จำลองสภาพการใช้งานอาคารด้วยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ อาทิ DOE , BLAST ,ENERWIN เป็นต้น

แนวทางในการวิเคราะห์ในการทำงานขั้นที่ 3

1. ประมาณค่าใช้จ่ายที่เป็นไปได้เมื่อมีการปรับปรุงอาคารในแต่ละแนวทางเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน
2. เปรียบเทียบการใช้พลังงานในแนวทางการปรับปรุงอาคารแต่ละแนวทางกับการใช้พลังงานในอาคารเดิมก่อนทำการปรับปรุง โดยพิจารณาจากอัตราการคืนทุนเบื้องต้น และวงจรต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุง

2.2.2 แนวทางในการสำรวจอาคารเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากหนังสือ Retrofitting of Buildings For Energy Conservation (1984) เสนอแนวทางในการสำรวจอาคารดังนี้

1. การสำรวจเก็บข้อมูลของระบบเปลือกอาคาร ได้แก่การเก็บข้อมูลด้าน
   1.1 การสำรวจลักษณะทางกายภาพของตัวอาคาร
      - ประเภทของโครงสร้างอาคาร
      - ขนาดของอาคาร
      - ทิศทางและแนวแกนของอาคาร
      - วัสดุก่อสร้างอาคาร
      - ขนาดและพื้นที่ช่องแสงในอาคาร
      - ลักษณะการกันแดดให้ตัวอาคาร
   1.2 พื้นที่ใช้สอยในอาคาร
   1.3 การกำหนดตำแหน่งของห้องต่างๆในอาคาร
2. การสำรวจเก็บข้อมูลงานระบบในอาคาร ได้แก่การรวมรวมข้อมูล
   2.1 ประเภทของระบบเครื่องกลที่ใช้ในอาคาร
   2.2 ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในเครื่องกลแต่ละชนิด ได้จากการศึกษาแบบติดตั้งเครื่องกล หรือเก็บข้อมูลจากตัวเครื่อง
   2.3 ระบบแสงสว่าง
      - กำหนดตำแหน่งดวงโคม ชนิด และขนาดของดวงโคมที่ใช้ในอาคาร
      - เก็บข้อมูลวงจรในการเปิด/ปิดด้วงโคมและตำแหน่งสวิชไฟฟ้าในอาคาร
      - เก็บข้อมูลระดับความส่องสว่างในอาคาร
      - พิจารณาลักษณะการใช้งานในแต่ละพื้นที่ที่มีการติดตั้งดวงโคม
      - เก็บข้อมูลตารางการใช้งานระบบแสงสว่างในแต่ละห้อง
3. การสำรวจเก็บข้อมูลลักษณะการใช้งานของผู้ใช้อาคาร
   3.1 เก็บข้อมูลตารางการทำงานของผู้ใช้อาคาร
   3.2 พิจารณาจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงเวลา

4. การสำรวจเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคาร
   4.1 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารแยกแต่ละกิจกรรม
   4.2 เก็บข้อมูลตารางการเปิด/ปิด หรือตารางการทำงาน ของ ระบบปรับอากาศ วิธีการปรับอากาศในแต่ละช่วงของปี ตารางและวิธีการดูแลรักษาเครื่อง
5. การสำรวจเก็บข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในอาคาร
6. การสำรวจเก็บข้อมูล Utility ได้แก่ ข้อมูลการใช้พลังงานที่ผ่านมาทั้งปริมาณ ค่าใช้จ่าย และความต้องการใช้พลังงานในอาคาร ข้อมูลประเภทของพลังงานที่มีการใช้งานในอาคาร(สำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานไฟฟ้า)
7. การสำรวจเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

2.2.3 ข้อจำกัดในการศึกษาทดสอบการใช้พลังงานในอาคาร ด้วยการจำลองสภาพในโปรแกรมคอมพิวเตอร์(computer simulation programe)

จากหนังสือ Retrofitting of Buildings For Energy Conservation (1984,p 158-160) สรุปข้อจำกัดได้ ดังนี้

1. ในพิจารณาผลกระทบในระยะยาวของ การปรับปรุงตัวอาคารหรือวิธีการจัดการที่ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงมาก ค่าที่ได้จากการประเมินอาจไม่ตรงตามค่าที่เกิดขึ้นจริง
2. ข้อมูลที่นำมาใส่ในโปรแกรมอาจจะได้มาจากข้อมูลที่ไม่ตรงตามความเป็นจริง ทั้งข้อมูลตัวอาคารเช่นการใช้ข้อมูลที่ได้จากคู่มือวัสดุอาจมีค่าที่สูงหรือต่ำกว่าความเป็นจริงเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จ ข้อมูลอุณหภูมิ และข้อมูลด้านสภาพแวดล้อมของอาคาร โดยทั่วไปมักจะเกิดความคลาดเคลื่อนจากอาคารจริงประมาณ 10 – 15 % สำหรับการใช้โปรแกรม DOE , BLAST , TRACE
3. การพิจารณาวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงอาคารหลายวิธีร่วมกันอาจไม่ได้รับผลได้อย่างเต็มที่ เช่น หากผู้ออกแบบเลือกวิธีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร 2 วิธีที่ประเมินเบื้องต้นว่าแต่ละวิธีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้วิธีละ 10% แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกันอาจ เพิ่มประสิทธิภาพได้ไม่ถึง 20% ก็ได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ประเมินได้ยาก

2.3 อิทธิพลที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

เนื่องจากอิทธิพลต่างๆที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารจริงมาจากหลายองค์ประกอบ สินีรัตน์ ภัทรธรรมกุล(2537) ได้รวบรวมอิทธิพลต่างไว้ดังนี้

- **ความจุความร้อนของผนัง (thermal heat capacity)** ผนังที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนที่ไหลผ่านผนังเป็นไปในอัตราที่ช้าลง
- **การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนังกับสภาพแวดล้อม (long wave radiation heat exchange)** เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังกับผิววัสดุอื่นๆ ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น โดยเฉพาะในรูปการแผ่รังสี

- **การถ่ายเทความร้อนของผนังให้กับอากาศโดยตรง โดยการพาความร้อน** (surface convection) การถ่ายเทความร้อนของผนังด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านผิวและลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของ surface convection ที่มีต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังจะมีค่าน้อยมากในกรณีที่ ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น
- **ความสามารถในการดูดกลืนและกระจายพลังงานความร้อนในของเปลือกอาคาร** (surface absorption และ surface emission) โดยปกติ หากเป็นสีของผนังธรรมดาทั่วไปตามธรรมชาติจะมีค่า surface emission ที่ค่อนข้างสูง คือประมาณ 0.8-0.9 เป็นส่วนใหญ่ นอกจากว่าจะเป็นสีเคลือบผิวที่พิเศษ (selective coating) อาจจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนต่ำแต่มีค่าสัมประสิทธิการกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิววัตถุเย็นกว่าปกติ ค่าการดูดกลืนความร้อนจะแปรตามความเข้มของสีผิว คือ เข้มมากจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนสูง
- **การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนัง** (time lag) วัตถุที่มีมวลสารมากจะมีค่าหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัตถุที่มีมวลสารน้อยกว่า แต่ในสภาพการใช้งานจริง การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัตถุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ Kwang-Woo Kim (1984) และที่สำคัญคือปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (fill up heat capacity) ก่อนที่จะถ่ายเทไปในชั้นต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงพบว่าในผนังก่ออิฐฉาบปูนเหมือนกัน แต่ใส่ฉนวนไว้ในตำแหน่งที่ต่างกัน คือ ภายนอกและภายใน ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายนอกจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่า ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายใน ทั้งนี้เพราะการที่มีฉนวนอยู่ภายนอกทำให้ความร้อนผ่านฉนวนเข้ามาได้ยากทำให้การ fill up heat capacity ของผนังเป็นไปได้ช้า ทำให้ Time Lag ของผนังมีค่านานขึ้น
- **สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ** (overall coefficient of heat transmission,U) โดยปกติการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในมักใช้ค่า U เป็นหลักในการคำนวณ

2.4 การศึกษาด้านสภาวะน่าสบายของมนุษย์

จาก Mechanical and Electrical Equipment for building (1992) ได้สรุปตัวแปรด้านสภาวะน่าสบายของมนุษย์ว่าขึ้นกับตัวแปรต่างๆดังนี้

Mean Radiant Temperature (MRT) เป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทุกพื้นผิวโดยรอบอันเกิดจากการแผ่รังสีความร้อนคูณด้วยมุมกระทำ (solid angle) ของขอบพื้นที่ผิวนั้นๆ ณ จุดที่ทำการวัด ซึ่งค่า MRT นี้จะมีความสัมพันธ์กับ Operative Temperature หรือ Globe Temperature และความเร็วลม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$MRT = T_G + K_G \sqrt{V}\,(T_G - T_A)$$

โดยที่

MRT	=	Mean Radiant Temperature
V	=	ความเร็วลม FpM
K_G	=	convection coeffient of Globe
T_G	=	Globe Temperature ($^{\circ}F$)
T_A	=	Air Dry Bulb Temperature ($^{\circ}F$)

Relative Humidity หรือความชื้นสัมพัทธ์ คืออัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำในอากาศชื้น ต่อปริมาณไอน้ำในอากาศอิ่มตัว ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการระเหยของเหงื่อที่ผิวหนังของมนุษย์ หากค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงร่างกายจำไม่สามารถถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการระเหยที่ผิวหนังได้ลงผลให้เกิดความรู้สึกไม่สบาย

Indoor Air Velocity หรือ Wind Speed ความเร็วลมภายในอาคารก็มีผลต่อความรู้สึกสบายของมนุษย์ โดยสามารถสรุปได้ดังตาราง 2.3 ที่ได้จากการศึกษาของ Victor Olgyay

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความสบายของมนุษย์

ความเร็วลม	ผลต่อความรู้สึกถึงอุณหภูมิที่ลดลง	ผลต่อความรู้สึก
ไม่เกิน 50 fpm (0.25 m/s)	ไม่มีผลต่อความรู้สึกแตกต่างของอุณหภูมิ	ไม่มีผลต่อความรู้สึก
50 - 100 fpm (0.25 - 0.51 m/s)	รู้สึกว่าอุณหภูมิลดลงประมาณ 2-3 $^{\circ}F$ (1.1 - 1.7 $^{\circ}C$)	รู้สึกสบายไม่ถูกรบกวน
100 - 200 fpm (0.51 - 1.02 m/s)	รู้สึกว่าอุณหภูมิลดลงประมาณ 4-5 $^{\circ}F$ (2.2 - 2.8 $^{\circ}C$)	รู้สึกสบายแต่รับรู้ว่ามีลมพัด
200 - 300 fpm (1.02 - 1.52 m/s)	รู้สึกว่าอุณหภูมิลดลงประมาณ 5-7 $^{\circ}F$ (2.8 - 3.9 $^{\circ}C$)	เริ่มรู้สึกว่าถูกรบกวนโดยลมพัด
มากกว่า 300 fpm (1.52 m/s)	รู้สึกว่าอุณหภูมิลดลงมากกว่า 5-7 $^{\circ}F$ (2.8 - 3.9 $^{\circ}C$)	รู้สึกว่าถูกรบกวนโดยลมและต้องการการแก้ไข

ตารางที่ 2.1เปรียบเทียบความเร็วลมภายในอาคารกับความสบายของมนุษย์

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for building ,1992, p 41

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการปรับอากาศ

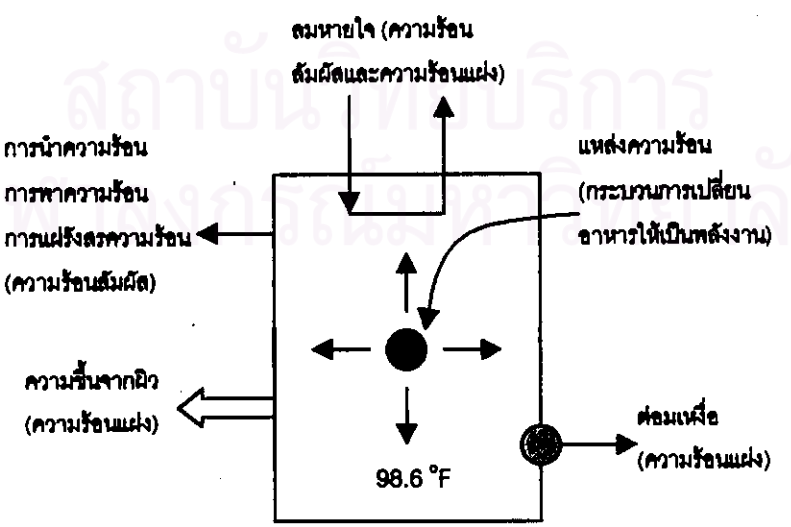
ผศ .สุรพล พฤกษานิช(2529) ให้นิยามของการปรับอากาศว่า คือการสร้างให้มีขึ้นและคงไว้ซึ่งภาวะอุณหภูมิ ความชื้น การไหลเวียนและความบริสุทธิ์ของอากาศ เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยเกิดความสบายหรือให้เหมาะกับวัสดุหรือกระบวนการภายในสถานที่ใดที่หนึ่ง สามารถแบ่งการปรับอากาศในปัจจุบันออกได้เป็น

1. การปรับอากาศเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นการปรับอากาศเพื่อให้เหมาะกับกระบวนการผลิต เพื่อให้ดำเนินการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือเพื่อรักษาวัสดุให้มีอายุการใช้งานหรือระยะเวลาในการเก็บรักษายาวขึ้น
2. การปรับอากาศเพื่อความสบาย เป็นการปรับอากาศเพื่อให้มนุษย์สามารถระบายความร้อนออกจากร่างกายได้ในปริมาณที่เหมาะกับกระบวนการภายในร่างกาย ให้ร่างกายสามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ได้โดยง่าย ซึ่งจะนำไปสู่ความสบายในที่สุด

สามารถแบ่งการทำความเย็นได้เป็น 2 ประเภทคือ การทำความเย็น (refrigeration)หมายถึงการทำให้อุณหภูมิลดไม่เกิน –240 °F และการทำความเย็นอุณหภูมิต่ำมาก (cryogenic) หมายถึงการทำให้อุณหภูมิลดต่ำกว่า –240 °F จนถึงศูนย์องศาสัมบูรณ์

2.5.1 การตอบสนองของร่างกายต่อสภาวะแวดล้อม

กำหนดให้ทรงกระบอกขนาด 10 นิ้ว x 5 ฟุต ซึ่งมีพื้นที่ผิวคงที่แทนร่างกายของมนุษย์ ดังรูป 2.5 ร่างกายคนคล้ายกับเครื่องจักรที่มีการกำเนิดพลังงานความร้อนโดยการบวนการเปลี่ยนอาหารให้เป็นพลังงาน(metabolism)ตลอดเวลา ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้างตามสภาพกิจกรรม โดยที่ร่างการต้องมีการคายความร้อนออกตลอดเวลาในอัตราที่เท่ากับอัตราการกำเนิดความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ ร่างกายสามารถระบายความร้อนออกได้ 2 ทางคือ ทางผิวหนัง และลมหายใจ ความร้อนที่ระบายออกเป็นในรูปความร้อนสัมผัส(sensible heat) ด้วยกระบวนการถ่ายเทความร้อน ทั้ง 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสี และความร้อนแฝง (latent heat) ด้วยกระบวนการระเหยของความชื้นที่ผิวหนังและความชื้นที่สูญเสียไปกับลมหายใจ



รูปที่ 2.1 การกำเนิดพลังงานและการระบายความร้อนของร่างกาย

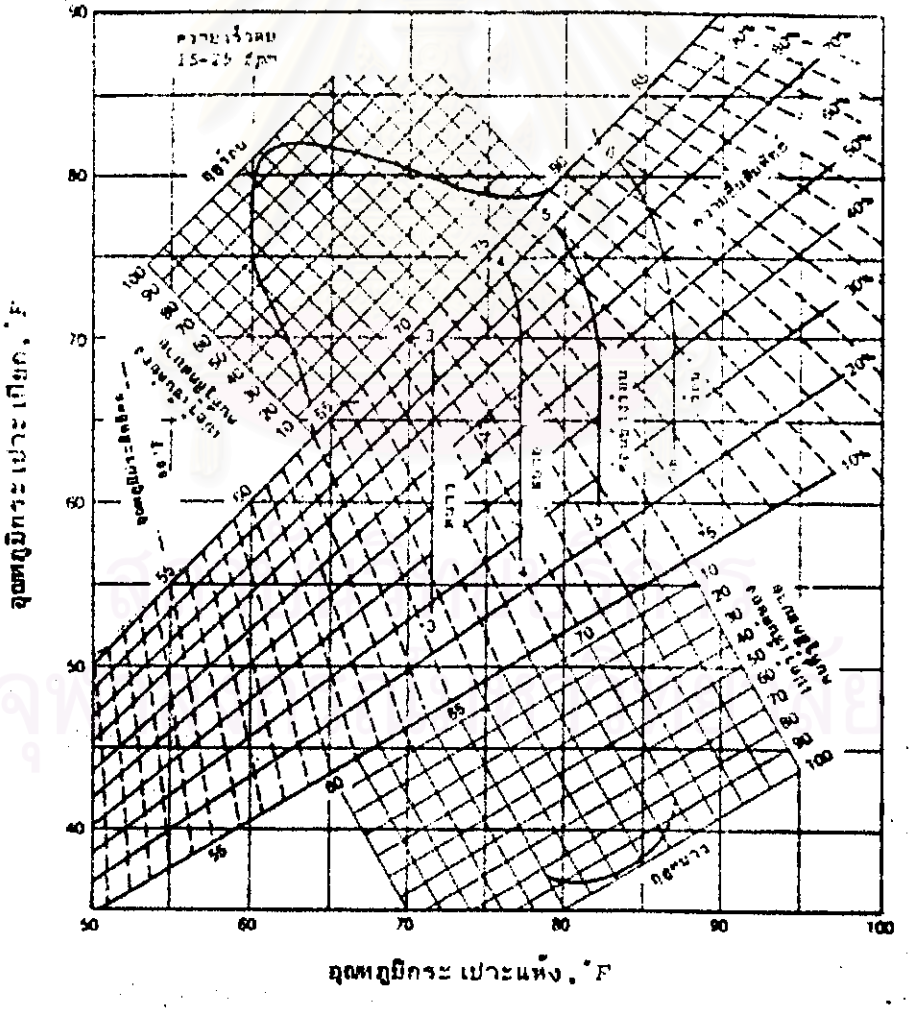
ที่มา : ผศ.สุรพล พฤกษานิช,การปรับอากาศหลักการและระบบ, 2529 หน้า 68

โดยปกติร่างกายจะระบายความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อนและการระเหยจากผิวหนังเป็นหลัก ดังนั้น อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วอากาศจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการระบายความร้อนออกจากร่างกาย

2.5.2 แผนภูมิความสบาย

ความรู้สึกร้อน-หนาวของคน ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย 3 ประการคือ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วอากาศ ดังนั้นจึงมีการกำหนดดัชนีขึ้นมาเพื่อวัดความรู้สึกร้อน-หนาวของคน เรียกว่า อุณหภูมิประสิทธิผล (effective temperature,E.T.) ซึ่งเป็นดัชนีที่แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วอากาศ และการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อร่างกาย สเกลอุณหภูมิประสิทธิผล คือ สเกลอุณหภูมิอิ่มตัวของอากาศในช่วงที่ลมสงบ หรือในช่วงที่ความเร็วลมประมาณ 15 – 25 ฟุต ต่อ นาที ที่อุณหภูมิประสิทธิผลหนึ่งคนจะรู้สึกร้อนหรือหนาวเหมือนกัน แม้ว่า ณ ช่วงเวลาที่พิจารณาอุณหภูมิอากาศอาจมีภาวะต่างกัน

จากการวิจัยของ ASHRAE ได้นำผลการวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยดังกล่าวข้างต้นมาสร้างเป็นแผนภูมิในช่วงความเร็วอากาศ 15 – 25 ฟุต ต่อ นาที ดังรูปที่ 2.6 เรียกว่าแผนภูมิความสบาย



รูปที่ 2.2 แผนภูมิความสบายของ ASHRAE สำหรับความเร็วอากาศ 15 – 25 ฟุต ต่อ นาที(ลมสงบ)

ที่มา : ผศ.สุรพล พฤกษานิช,การปรับอากาศหลักการและระบบ, 2529 หน้า 72

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าคนส่วนใหญ่จะรู้สึกสบายที่อุณหภูมิประสิทธิผลประมาณ 71 °F ET. (อุณหภูมิประสิทธิผลแสดงบนเส้นความชื้นสัมพัทธ์ที่ 10 และ 100%) ต่อมาพบว่าอุณหภูมิประสิทธิผลเน้นอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธิที่มีต่อความสบายของคนมากเกินไป และจากการศึกษาวิจัยต่อมาพบว่า เส้นความสบายสมมูล(equivalent comfort line) ได้แก่ เส้นที่ 3,4,5 และ 6 ให้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า นั่นคือสภาวะอากาศที่ตกอยู่บนเส้นความสบายสมมูล จะให้ความรู้สึกสบายของคนเหมือนกัน ปัจจุบันได้ใช้ภาวะการออกแบบภายในเพื่อการปรับอากาศที่ 78 – 80 °F ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % ที่ความเร็วอากาศ 25 – 70 ฟุต ต่อ นาที

2.5.3 ปริมาณและคุณภาพอากาศที่ใช้ในการปรับอากาศ

เป็นการกำหนดขีดความบริสุทธิ์ของอากาศภายในห้องปรับอากาศโดยอาศัยการนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกเข้ามาแทนที่อากาศภายในห้องที่อาจจะปนเปื้อนด้วยฝุ่นละออง ควัน กลิ่น และก๊าซที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างต่อเนื่อง เพื่อเจือจางสิ่งปนเปื้อน ในกรณีที่ภายในห้องไม่มีการสูบบุหรี่ควรจะป้อนอากาศบริสุทธิจากภายนอกเข้าภายในห้องประมาณ 5-30 cfm ต่อคน แต่ถ้าหากสูบบุหรี่ ควรจะป้อนอากาศบริสุทธิจากภายนอกเข้าภายในห้องประมาณ 15-50 cfm ต่อคน

2.6 การคำนวณภาระปรับอากาศ (cooling load)

การคำนวณการใช้พลังงานในอาคารที่เป็นที่ยอมรับกันอยู่ในปัจจุบัน มีแนวทางในการคำนวณภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ดังนี้

2.6.1 การคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธี Transfer Function Method (TFM)

การคำนวณภาระการทำความเย็น (cooling load) โดยใช้วิธี Transfer Function Method เป็นวิธีการคำนวณซึ่งตั้งอยู่บน 2 แนวคิด คือ Conduction Transfer Function (CTF) และ Weighting Factor (WF) โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1. คำนวณการถ่ายเทความร้อน(heat gain) เข้าสู่อาคารในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้วิธี CTF เป็นหลักในการหาค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนทึบแสง เพื่อหาการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่เข้าสู่อาคารในช่วงเวลานึ่งๆ
2. พิจารณาคุณสมบัติของกรอบอาคารส่วนทึบแสงที่พิจารณา เพื่อหาค่า CTF สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
3. ใช้ค่า Sol-air Temperature ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนทึบแสง
4. ใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคารในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง
5. ใช้ค่า Solar Heat Gain Factor ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง โดยแยกการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน คือ Transmitted Solar Heat Gain (TSHG) และ Absorbed Solar Heat Gain (ASHG)

6. เมื่อคำนวณการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลา แล้วใช้วิธี Weighting Factor เพื่อแปลงค่าการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดให้เป็นภาระการทำความเย็นในแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเนื่องจากมวลขององค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมต่างๆ ภายในอาคาร

2.6.2 การคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธี Total Equivalent Temperature Difference/Time Averaging (TETD/TA)

การคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยวิธี TETD/TA เป็นวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นจากการคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยวิธี TETD และใช้วิธีการคำนวณแบบ Time Averaging ในการเปลี่ยนจากการถ่ายเทความร้อนไปเป็นภาระการทำความเย็นอีกครั้งหนึ่ง การคำนวณมีขั้นตอนดังนี้

1. ให้ค่า Sol-air Temperature ในแต่ละช่วงเวลาประกอบกับคุณสมบัติของกรอบอาคาร เพื่อคำนวณหาค่า TETD สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณการถ่านเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนทึบแสง
2. ใช้ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง
3. ใช้ค่า Solar Heat Gain Factor (SHGF) ในการคำนวณการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีผ่านกรอบอาคารโปร่งแสง แต่ไม่ได้คำนวณแยกเป็น 2 ส่วน คือ การส่องผ่าน (transmitted) และการดูดกลืน (absorbed) ความร้อน เช่นเดียวกับวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธี Transfer Function Method
4. ใช้วิธี Time Average ในการแปลงค่าการถ่ายเทความร้อนในช่วงเวลาต่างๆเป็น ภาระการทำความเย็น โดยคำนึงถึงการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเนื่องจากมวลขององค์ประกอบต่างๆทางสถาปัตย์ภายในอาคาร

2.6.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นโดยวิธี Cooling Load Temperature Difference/Solar Cooling Load/Cooling Load Factor (CLTD/SCL/CLF)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจาก วิธี Transfer Function Method โดยพัฒนาให้มีขั้นตอนในการคำนวณที่ง่ายขึ้น โดยข้ามขั้นตอนของการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ไปเป็นการคำนวณภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยตรง มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1. พิจารณาอาคารส่วนทึบแสง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร (U) พื้นที่ผิว และค่าความแตกต่างอุณหภูมิภาระการทำความเย็น (cooling load temperature difference) เพื่อใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นโดยการนำความร้อนผ่านกรอบอาคารส่วนทึบแสง

2. พิจารณากรอบอาคารส่วนโปร่งแสง เพื่อหาค่า U และพื้นผิวของกรอบอาคารในส่วนที่พิจารณา และใช้ร่วมกับค่า CLTD ที่กำหนดให้ เพื่อนำไปใช้คำนวณภาระการทำความเย็นผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง
3. พิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ทางสถาปัตย์ภายในอาคาร เพื่อนำไปหาค่า Solar Cooling Load (SCL) และค่า Cooling Load Factor (CLF) สำหรับนำไปใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นโดยการแผ่รังสีผ่านกรอบอาคารส่วนโปร่งแสง และการคำนวณภาระการทำความเย็นจากแหล่งความร้อนต่างๆ ภายในอาคาร โดยคำนึงถึงการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเนื่องจากมวลขององค์ประกอบต่างๆของสถาปัตย์ภายในอาคาร

จาก ASHRAE Fundamental hand book (SI) (1997) การคำนวณภาระปรับอากาศ (cooling load)โดยวิธี CLTD/SCL/CLF แบ่ง เป็น External Cooling Load , Internal Cooling Load และVentilation and Infiltration มีรายละเอียดดังนี้

External Cooling Load

<u>การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากการนำความร้อนผ่าน ผนัง หลังคา และ กระจกช่องแสง</u>

สมการในการคำนวณ $q = UA(CLTD)$

โดยที่ q = ภาระปรับอากาศ (W)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัตถุ (W/m^2-K)

A = พื้นที่ผิวที่พิจารณา (m^2)

CLTD = cooling load temperature diference (^oC)

ค่า cooling load temperature diference(CLTD) จะแปรไปตาม ละติจูดและช่วงเวลาในการใช้งานในอาคารมีค่าดังตารางที่ 2.2 เป็นการคำนวณที่ ละติจูดที่ 40 องศาเหนือ ซึ่งในกรณีของประเทศไทยจะต้องมีการพิจารณาปรับค่าแก้ไขรายละเอียดดังตารางที่ 4.1 หรือ พิจารณาตามคู่มืออนุรักษ์พลังงานในอาคารจะใช้ค่าอุณหภูมิ TDeq แทน

Roof No.	Hour 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0	−1	−2	−3	−3	−3	0	7	16	25	33	41	46	49	49	46	41	33	24	14	8	5	3	1
2	1	0	−1	−2	−3	−3	−2	2	9	18	27	34	41	46	48	47	44	39	31	22	14	8	5	3
3	7	4	3	1	0	−1	0	3	7	13	19	26	32	37	40	41	41	37	33	27	21	17	13	9
4	9	6	4	2	1	−1	−2	−2	0	4	9	16	23	30	36	41	43	43	41	37	31	25	19	15
5	12	9	7	4	3	2	1	1	3	7	12	17	23	28	33	37	38	38	36	33	28	23	19	15
8	16	13	12	9	8	7	6	6	7	9	12	16	19	23	27	29	31	32	31	29	27	24	21	18
9	18	14	12	9	7	5	3	2	2	4	7	11	15	20	25	29	33	35	36	35	32	29	25	22
10	21	18	15	13	11	8	7	6	5	6	7	9	13	17	21	24	28	31	32	32	31	29	26	23
13	19	17	16	14	12	11	10	9	9	9	11	13	16	18	21	23	26	27	27	27	26	24	22	20
14	19	18	17	15	14	13	12	11	11	11	12	13	16	18	20	22	23	24	25	25	24	23	22	21

Note: 1. Direct application of data
- Dark surface.
- Indoor temperature of 25.5°C
- Outdoor maximum temperature of 35°C with mean temperature of 29.5°C and daily range of 11.6°C.
- Solar radiation typical of clear day on 21st day of month
- Outside surface film resistance of 0.059 $m^2 \cdot K/W$
- With or without suspended ceiling but no ceiling plenum air return systems
- Inside surface resistance of 0.121 $m^2 \cdot K/W$

Note: 2. Adjustments to table data
- Design temperatures : Corr. CLTD = CLTD + (25.5 − t_i) + (t_m − 29.4)

where

t_i = inside temperature and t_m = mean outdoor temperature

t_m = maximum outdoor temperature − (daily range)/2

- No adjustment recommended for color
- No adjustment recommended for ventilation of air space above a ceiling

รูปที่ 2.3 แสดงค่า cooling load Temperature diference(CLTD) ที่ 40 องศาเหนือ

ที่มา : ASHRAE Fundamental Handbook , 1997 p 28.42

การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดความร้อนเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านกระจกช่องแสง

สมการในการคำนวณ $q = A(SC)(SCL\text{หรือ } SF)$

โดยที่ q = ภาระปรับอากาศ (W)

SC = shading coefficient ของวัสดุตัวกลาง

SCL = solar cooling factor หาจากตารางในภาคผนวก ก.

SF = solar heat gain factor หาจากตารางในภาคผนวก ก.

ค่า solar cooling factor (SCL) จะแปรไปตาม ละติจูดและช่วงเวลาในการใช้งานในอาคารซึ่งในกรณีของประเทศไทยจะต้องมีการพิจารณาปรับค่าแก้ตามคู่มืออนุรักษ์พลังงานในอาคารจะใช้ค่าSF แทน

การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดความร้อนเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากความต่างอุณหภูมิระหว่างฉากกั้นห้อง ใต้ฝ้าเพดาน และพื้น

สมการในการคำนวณ $q = UA(t_b - t_{rc})$

โดยที่ q = ภาระปรับอากาศ (W)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัตถุ (W/m^2-K)

A = พื้นที่ผิวที่พิจารณา (m^2)

t_b = อุณหภูมิในส่วนที่ต่อเนื่องกับพื้นที่ปรับอากาศ (°C)

t_{rc} = อุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศ (°C)

Internal Cooling Load

การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร

สมการในการคำนวณ $q_{sensible} = N(\text{Sensible heat gain})CLF$

$q_{latent} = N(\text{Latent heat gain})CLF$

โดยที่ q = ภาระปรับอากาศ (W)

N = จำนวนผู้ใช้

CLF = cooling load factor มีค่า เป็น 1 เมื่อมีการใช้งาน 24 ชั่วโมง หรือมีความหนาแน่นมาก

การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ในอาคาร

สมการในการคำนวณ $q_{el} = W(F_{ul})(F_{sa})CLF$

โดยที่ q = ภาระปรับอากาศ (W)

W = watt input ของอุปกรณ์ หรือระบบแสงสว่าง

F_{ul} = lighting use factor ของระบบแสงสว่าง

F_{sa} = spacial allowence factor ของอุปกรณ์ หรือระบบแสงสว่าง

หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ใช้ค่าประมาณ 1.2

หลอดไฟฟ้าอินแคนเดสเซนต์ใช้ค่าประมาณ 1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CLF = cooling load factor มีค่า เป็น 1 เมื่อมีการใช้ไฟฟ้าแสงประดิษฐ์ตลอด 24 ชั่วโมง และหรือมีการเปิดเครื่องปรับอากาศไม่ถึง 24 ชั่วโมง

Ventilation and Infiltration

ในการคำนวณจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

สมการในการคำนวณ

$$q_{sensible} = 1.23\ V\ (t_o - t_i) \quad \text{_____1}$$

$$q_{latent} = 3010\ V\ (w_o - w_i) \quad \text{_____2}$$

$$q_{total} = 1.20\ V\ (h_o - h_i) \quad \text{_____3}$$

โดยที่

q = ภาระปรับอากาศ (W)

V = ความเร็วลม L/S

t_o, t_i = อุณหภูมิอากาศภายนอก /ภายใน ตามลำดับ (^oC)

w_o, w_i = humidity ภายนอก /ภายใน ตามลำดับ kg(water)/kg(dry air)

h_o, h_i = enthalpyภายนอก /ภายใน ตามลำดับ kj/kg(dry air)

2.6.4 อิทธิพลจากการรั่วไหลอากาศภายนอกเข้าสู่ห้องและอากาศที่ระบายจากห้อง ต่อความร้อนที่เกิดภายในอาคาร (INFILTRATIION & VENTILATION)

การรั่วไหลอากาศหรือ Infiltration หมายถึง อากาศจากภายนอกอาคารที่ไหลผ่านช่องว่างระหว่างกรอบและบานหน้าต่าง-ประตู เข้ามาในห้องที่ต้องการปรับอากาศ

อากาศที่ระบาย หรือ Ventilation หมายถึงอากาศจากภายนอกที่นำเข้ามาภายในห้องปรับอากาศด้วยความตั้งใจโดยผ่านการปรับภาวะที่อุปกรณ์จ่ายลมเย็น (air handling equipment)

สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้นเนื่องจากอากาศภายนอกห้องเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่าอากาศในห้องปรับอากาศ เมื่อมีลมพัดเข้ามาปะทะอาคารความดันภายนอกอาคารด้านลมปะทะจะสูงกว่าความดันภายในห้อง ดังนั้นอากาศนอกห้องจึงถูกดันผ่านช่องเปิดหรือรอยแตกต่างๆเข้าสู่ภายในอาคาร ปริมาณอากาศที่รั่วเข้าห้องจะขึ้นอยู่กับความเร็วอากาศ หรือความเร็วลมนอกห้อง

อากาศที่รั่วไหลเข้ามาในห้องจะพาความร้อนทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงเข้ามาในห้องซึ่งจะเป็นการเพิ่มภาระปรับอากาศภายใน คำนวณความร้อนทั้ง 2 ประเภท ได้ดังสมการ 1 , 2 และ 3 ในเรื่อง Infiltration และ Ventilation

ดังนั้น ยิ่งอาคารมีรอยร้าวหรือขัดราส่วนประตู-หน้าต่างอาคารมากมีรอยรั่วมาก ก็มีโอกาสเกิดการ Infiltration ได้สูงทำให้ภาระการทำความเย็นในอาคารปรับอากาศเพิ่มขึ้นได้

การคำนวณปริมาณอากาศที่รั่วเข้าอาคารสามารถคำนวณอย่างง่ายได้จากวิธี Crack Method ที่คำนวณด้วยการประมาณความกว้างรอยรั่วที่เกิดขึ้นกับลักษณะของอาคารหรือช่องเปิดว่ามากน้อยเท่าไร ซึ่งสามารถวัดได้จากอาคารจริงหรือการประมาณค่าจากแบบอาคารแล้วนำมาคำนวณหาค่าอัตราการอากาศรั่วที่ไหลเข้าอาคาร ดังตัวอย่างการพิจารณาในตารางที่ 4.2

รายละเอียด	อากาศที่รั่วเข้าห้อง
หน้าต่าง	0.5 cfm/ft sash crack
ประตูบานเลื่อน (บ้านพักอาศัย)	0.5 cfm/ft^2 door area
ประตูบานสวิง (บ้านพักอาศัย)	1.0 cfm/ft^2 door area

หมายเหตุ : คำนวณที่ความเร็วลมภายนอกอาคาร 25 mph

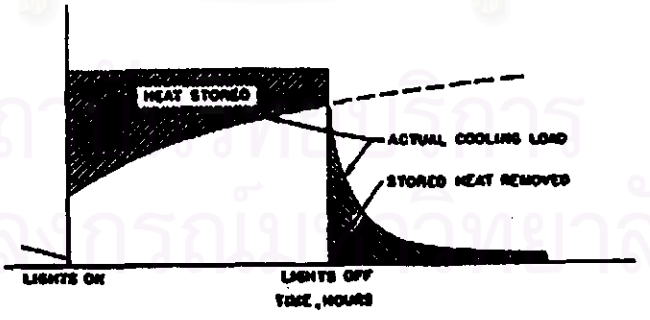
ตารางที่ 2.2 อัตราอากาศรั่วเข้าห้องผ่านหน้าต่างหรือประตูเพื่อใช้ในการออกแบบ

ที่มา : ผศ.สุรพล พฤกษพานิช,การปรับอากาศหลักการและระบบ, 2529 หน้า 124

2.6.5 ความร้อนอันเนื่องมาจากดวงไฟแสงสว่าง

เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในอาคารอีกส่วนที่สำคัญก็คือ ระบบการให้แสงสว่างในอาคาร แต่วิธีที่จะคำนวณค่าปริมาณความร้อนอันเนื่องจากระบบแสงสว่างนั้นจะต้องมีวิธีพิจารณาที่ต่างจากการใช้พลังงานในระบบอื่น ASHRAE Fundamental hand book (SI) (1997) ระบุว่า

ภาระการทำความเย็นเนื่องจากระบบแสงสว่างบางส่วนจะเกิดจากการพาความร้อน ซึ่งเป็นความร้อนที่เครื่องปรับอากาศจะสามารถจับหรือทำความเย็นได้ทันที แต่ในส่วนที่เหลือจะเกิดขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อนที่จะส่งผลต่อพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศก็ต่อเมื่อ พื้นผิวของบริเวณที่ปรับอากาศได้แก่ พื้น ผนัง ฝ้าเพดาน และองค์ประกอบทางสถาปัตย์ภายในมีการสะสมความร้อนจากการแผ่รังสี (absorbed) และแผ่รังสีให้แก่สภาพแวดล้อม ซึ่งจะถ่ายเทความร้อนให้แก่พื้นที่ในเวลาที่มากหรือน้อยต่างกันเนื่องจากลักษณะการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag) ของวัสดุ ซึ่งทำให้บางส่วนของพลังงานความร้อนเนื่องจากระบบแสงสว่างยังเกิดการแผ่รังสีขึ้นอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าจะปิดไฟฟ้าแสงสว่างแล้วก็ตาม ลักษณะดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.4 ลักษณะของ Thermal Storage Effect in Cooling Load From Lights

ที่มา : 1997 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI) , p 28.7

รายละเอียดและสมการในการคำนวณได้กล่าวถึงแล้วในเรื่องการคำนวณ Internal Load

2.7 การวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น (COP และ EER)

ผศ.สุรพล พฤกษพานิช (2529) เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศจะต่างจากเครื่องยนต์ชนิดอื่นคือ แทนที่จะผลิตกำลังงานแต่กลับใช้กำลังงาน ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจึงเป็นการเปรียบเทียบระหว่างความสามารถในการทำความเย็นที่ใช้ประโยชน์ได้ กับกำลังงานที่ป้อนเข้าไปในเครื่อง สามารถพิจารณาได้ 3 แบบ คือ Coefficient of Performance(COP) Energy Input Ratio (EER) และ Energy Efficiency Ratio(EER) มีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 Coefficient of Performance (COP)

เป็นอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่เครื่องปรับอากาศสามารถดึงออกไปได้ต่อปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อการดึงความร้อนดังกล่าวโดยมีหน่วยของพลังงานเป็นหน่วยเดียวกัน

$$COP = \frac{\text{พลังงานความร้อนที่สามารถดึงออก(watt)}}{\text{พลังงานที่ต้องการเพื่อการดึงความร้อนออก (watt)}}$$

2.7.2 Energy Input Ratio (EIR)

เป็นส่วนกลับของ COP

$$EIR = \frac{\text{พลังงานที่ต้องการเพื่อดึงความร้อนออก(watt)}}{\text{พลังงานความร้อนที่เครื่องสามารถดึงออก (watt)}}$$

2.7.3 Energy Efficiency Ratio (EER)

เป็นอัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อการทำความเย็นดังกล่าวโดยมีหน่วยในการเปรียบเทียบที่ต่างกัน

$$EER = \frac{\text{ความสามารถในการทำความเย็น (Btu/h)}}{\text{พลังงานที่ใช้ (watt)}}$$

เพื่อให้ผู้บริโภคทั่วไปเข้าใจง่ายขึ้นจึงมีการกำหนดลักษณะการจำแนกประสิทธิภาพการทำความเย็นเป็นเครื่องปรับอากาศเบอร์ต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับค่า EER ดังตารางที่ 4.3

เบอร์	EER
1	6.6-7.6
2	7.6-8.6
3	8.6-9.6
4	9.6-10.6
5	10.6 ขึ้นไป

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่า EER กับเครื่องปรับอากาศเบอร์ต่างๆ

2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับการให้แสงสว่าง

2.8.1 การออกแบบแสงสว่างภายในอาคาร

1. การให้แสงสว่างภายในโดยใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง

สามารถคำนวณหาค่าระดับความส่องสว่างภายในได้ 2 วิธี คือ การคำนวณแบบจุดต่อจุด และการคำนวณโดยใช้ปริมาณแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิด หรือ การคำนวณแบบลูเมน

นอกจากนี้ยังมีวิธีการคำนวณแบบคร่าวๆเพื่อไม่ให้อาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างเกินจำเป็น โดยใช้จำนวนวัตต์ของหลอดไฟที่ใช้ต่อตารางเมตร ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์การใช้พลังงานในปี 2535 และพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม ปี 2538 โดยอาคารประเภท สำนักงานต้องให้กำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดไม่เกิน 16 วัตต์ต่อตารางเมตร

2. การควบคุมและประสานการใช้แสงธรรมชาติและไฟฟ้าแสงสว่าง

เราสามารถควบคุมแสงสว่างจากธรรมชาติที่ผ่านช่องแสงหรือหน้าต่างอาคาร เพื่อช่วยลดการใช้แสงไฟฟ้าได้ ด้วยการเตรียมการประสานแสงธรรมชาติในช่วงเวลากลางวัน ที่แปรเปลี่ยนไปตลอดทั้งวันภายนอกอาคาร เพื่อนำมาใช้ช่วยในการสร้างความรู้สึกกระตุ้นทางสายตา และสร้างสภาพแวดล้อมให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกกระตือรือร้นในการทำงาน (Productive Environment)

การออกแบบแสงธรรมชาติที่เหมาะสมจะต้องคำนึงถึง เรื่องของการสร้างสมดุลของปริมาณความร้อนที่รับเพิ่มขึ้น (heat gain) หรือที่สูญเสียไป (heat loss) การควบคุมแสงจ้า (glare) และการแปรเปลี่ยนของแสงธรรมชาติตลอดทั้งวันอีกด้วย และการออกแบบแสงธรรมชาติที่ประสบความสำเร็จนั้น จะต้องให้ความสำคัญในการพิจารณาถึงการใช้อุปกรณ์การกันแดด เพื่อช่วยลดแสงจ้า (glare) และความเปรียบต่าง (contrast) ที่สูงจนเกินไปในพื้นที่ใช้งานนั้น ๆ นอกจากนี้ขนาดหน้าต่าง ระยะห่าง การเลือกชนิดของกระจก ค่าการสะท้อนแสงของผิววัสดุตกแต่งภายในอาคาร และการจัดวางตำแหน่งของผนังกั้นห้องก็ควรจะนำมาพิจารณาด้วย

การประสานความงามและประโยชน์ใช้สอยของแสงธรรมชาติไม่ใช่เพียงแต่ให้แสงสว่างที่พอเพียงแก่ผู้ใช้อาคารเท่านั้น แต่สิ่งสำคัญก็คือ การออกแบบที่สามารถลดปัญหาอันอาจจะเกิดจากแสงธรรมชาติให้ได้ด้วย โดยอาศัยพื้นฐานเกี่ยวกับแสงสว่างและการมองเห็น

2.8.2 มาตรฐานระดับการส่องสว่าง

ในการกำหนดระดับการส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่างๆกันนั้น มีการกำหนดโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES (USA) IES (BS) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอย และสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกัน ส่วนมาตรฐานที่กำหนดเป็นมาตรฐานสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่งได้แก่ CIE (International Commission on Illumination) CIE กำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่าโดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย ส่วนอีก 2 ค่าใช้ในกรณีอื่นๆ คือ อาจใช้ค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยหรือน้อยกว่าค่าเฉลี่ยขึ้นอยู่กับสภาพต่างๆ เช่น

- ถ้าการสะท้อนแสงของพื้นผิว หรือความเปรียบต่างต่ำกว่าปกติให้ใช้ความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าความผิดพลาดเนื่องจากการมองอาจทำให้เกิดปัญหาร้ายแรง หรือเสียหายมากก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างในตารางมากขึ้น
- ถ้าการมองวัตถุใช้เวลาสั้นมาก ก็ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าบริเวณพื้นที่ที่กำลังพิจารณาไม่มีหน้าต่าง ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น
- ถ้าผู้ที่ใช้งานบริเวณที่กำลังพิจารณาเป็นผู้สูงอายุ ให้ใช้ค่าความส่องสว่างมากขึ้น

พื้นที่ใช้งาน (ก)	CIE (lx)	IES (lx)	พื้นที่ใช้งาน (ข)
ทางเดิน,พื้นที่ทำงานภายนอก	20 - 30 - 50	20 - 30 - 50 (a)	Public spaces with dark Surrounding
ทางเดินภายในและการนะผ่านระยะสั้น	50 - 75 - 100	50 - 75 - 100 (a)	Simple orientation for shot temporary visits
ห้องที่ไม่ได้ใช้งานแบบต่อเนื่องเป็นเวลานาน	100 - 150 - 200	100 - 150 - 200 (a)	Working space where visual tasks are only occasionally performed
งานที่ใช้สายตาไม่มาก เช่นโรงงาน งานชิ้นใหญ่	200 - 300 - 500	200 - 300 - 500 (b)	Performance of visual tasks of high contrast or Large size
งานที่ใช้สายตาปานกลาง เช่น สำนักงาน	300 - 500 - 750		
งานที่ใช้สายตามาก เช่นการเรียนแบบ	500 - 750 - 1000	500 - 750 - 1000 (b)	Performance of visual tasks of medium contrast or Small size
งานที่ใช้สายตามากๆเช่นการประกอบชิ้นส่วน	750 - 1000 - 1500		
งานที่ใช้สายตามากเป็นพิเศษ	1000 - 1500 - 2000	1000-1500-2000 (b)	Performance of visual tasks of low contrast or Very small size
งานที่ใช้สายตาพิถีพิถัน เช่นการฝ่าตัด	มากกว่า 2000	2000-3000-5000 (x)	Performance of visual tasks of low contrast and very small size ,Prolonged period
		5000-7500-10000 (x)	Performance of very prolonged and exacting visual tasks
		10000 up (x)	Performance of very special visual tasks of extremly low contrast and small size

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) ตามประเภทการใช้งาน

ที่มา: (ก) ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ,เทคนิคการส่องสว่าง,หน้า 1-6

(ข) IES. Illuminating Engineering Society : Reference Volume,1983,ppA3

นอกเหนือจากการกำหนดระดับการส่องสว่างเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล แล้ว การกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตรฐานเป็นค่า Daylight Factor โดยกำหนดเป็นเปอร์เซนต์ (%) ดังตารางที่ 4.5.

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน CIE (ก)	ค่าการส่องสว่าง (lx) ตามมาตรฐาน IES (ข)	ค่า Daylight Factor (%),(ค)		
อาคารทั่วไป			เฉลี่ย	ต่ำ	จุดที่วัด
ทางเดิน	50 - 100 - 150	50 - 75 - 100	2	0.6	พื้น
บันได - บันไดเลื่อน	100 - 150 - 200	100 - 150 - 200	2	0.6	ลูกนอน
ที่เก็บของ , ห้องเก็บของ	100 - 150 - 200	100 - 150 - 200	1.5	0.5	work plane
ห้องน้ำ	100 - 150 - 200	100 - 150 - 200	1.5	0.5	work plane
สำนักงาน					
พื้นที่ทั่วไป , พิมพ์ดีด , คอมพิวเตอร์	300 - 500 - 750	500 - 750 - 1000	5	2.5	work plane
เขียนแบบ	500 - 750 - 1000	500 - 750 - 1000	5	2.5	work plane
ห้องประชุม	300 - 500 - 750	200 - 300 - 500			
โถงทางเข้า		100 - 150 - 200	2	0.6	work plane
ห้องสมุด					
ชั้นหนังสือ	150 - 200 - 300	200 - 300 - 500	5	1.5	vertical
โต๊ะอ่านหนังสือ	300 - 500 - 750	200 - 300 - 500	5	1.5	work plane
เคาน์เตอร์	200 - 300 - 500	200 - 300 - 500	5	2	work plane
ห้องประชุม					
เอนกประสงค์	150 - 200 - 300	200 - 300 - 500	5	2.5	work plane

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบมาตรฐานการส่องสว่างระหว่าง CIE และ IES(USA) และมาตรฐานการกำหนดค่า DAYLIGHT FACTOR ตามประเภทการใช้งาน (บางส่วน)

ที่มา : (ก) ดร.ชำนาญ หอเกียรติ,เทคนิคการส่องสว่าง,หน้า 1-6

(ข) IES. Illuminating Engineering Society : Reference Volume,1983

(ค) BSI Draft for Development p 73,อ้างถึงใน Applications Manual window Design หน้า31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.9 การศึกษาในด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

วิธีการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นเพื่อศึกษาความคุ้มค่าของการลงทุนใดๆ ได้แก่การศึกษาระยะเวลาคืนทุน(discount payback period) และการพิจารณามูลค่าสะสมของอาคาร โดยมีสมการในการคำนวณต่างๆดังนี้

การศึกษาระยะเวลาคืนทุน(discount payback period)

เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลงทุนเพื่อทำการปรับปรุงอาคารใดๆ เปรียบเทียบกับผลในการลดค่าการใช้จ่ายรายปี ในแต่ละปีว่าจะสามารถคุ้มค่าการลงทุนในปีที่เท่าไรหลังจากเริ่มลงทุนในปีแรก โดยทั้งนี้จะพิจารณาถึงค่าอัตราดอกเบี้ยและอัตราเงินเฟ้อที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปีต่อๆไป มีสมการในการคำนวณคือ

$$\text{discounted payback period (year)} = \frac{\ln\left[\frac{(r-d)*c}{A}+1\right]}{\ln\left(\frac{1+r}{1+d}\right)}$$

เมื่อ A คือ ค่าใช่จ่ายที่ลดลงรายปี

c คือ ค่าเงินที่ลงทุน

d คือ อัตราดอกเบี้ยที่ใช้พิจารณา

r คือ อัตราเงินเฟ้อ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย