บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 หลักการถ่ายเทความร้อน

ความร้อนสามารถเดินทางหรือถ่ายเทจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งได้ในลักษณะต่าง ๆ กัน โดยการนำความร้อน การพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน

การนำความร้อน (conduction) คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกัน ไม่ว่าจะเป็นโมเลกุลที่อยู่ในสสารเดียวกัน หรือ สสารสองชนิดที่สัมผัสกันโดยตรง เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่อุ่นกว่าถ่ายเทพลังงานของมันไปยังโมเลกุลที่เย็นกว่า โดยที่ตัวกลางไม่เคลื่อนที่

การพาความร้อน (convection) คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของก๊าซ หรือของเหลวที่มีอุณหภูมิหรือความหนาแน่นแตกต่างกัน ก๊าซ หรือของเหลวจะเป็นตัวกลางพาความร้อนให้เคลื่อนที่

การแผ่รังสีความร้อน (radiation) คือ การที่พลังงานความร้อนเคลื่อนที่โดยตรงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากผิวที่ร้อนกว่าผ่านตัวกลางโปร่งใสไปสู่ผิวที่เย็นกว่าโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง

2.1.1 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุนอกจากอิทธิพลจากภายนอกแล้วยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุด้วย คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

1. อัตราส่วนที่ความร้อนถ่ายเทของวัสดุ (conductivity , K) คือ อัตราส่วนของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชม. ที่ถ่ายเทวัสดุหนา 1 นิ้วในพื้นที่ 1 ตร.ฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1^0F หน่วยเป็น BTU/Hr. ft.^{2} F. (หน่วย SI. คือ w / m^2.k)

2. อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อน (conductance , C) คือ อัตราส่วนการถ่ายเทของพลังงานความร้อนในเวลา 1 ชม. ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุที่ความหนามาตรฐานในพื้นที่ 1 ตร.ฟุต เมื่ออุณหภูมิลดลง 1^0F หน่วยเป็น BTU / Hr. ft.^{2} F.(หน่วย SI. คือ w / m^2.k)

3. ค่าความต้านทานความร้อน (resistance , R) คือ ค่าการบอกประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุเป็นส่วนกลับของค่า Conductance หมายถึงจำนวนชั่วโมงสำหรับงานความร้อน 1 BTU. ถ่ายเทผ่านวัสดุหนาหนึ่ง, ในพื้นที่ 1 ตร.ฟุต เมื่อมีอุณหภูมิต่างกัน 1^0F หน่วยเป็น Hr. ft.^{2} F / BTU (หน่วย SI. คือ m^2.k / w)

4. ค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน (coefficient of heat transmission , U) ค่า U - Value ของผิวอาคาร แต่ละชนิดสามารถคำนวณจากการหาค่า R แต่ละชนิดของวัสดุ ชั้นฟิล์มอากาศ และช่องอากาศภายใน จากนั้นก็รวมค่า R และหาส่วนกลับ $U = 1 / \sum R$ หน่วยเป็น BTU / Hr. ft.^{2} F.

2.1.2. การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนผ่านเข้ามาทางเปลือกของอาคาร (conductive energy transfer) ซึ่งในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารนี้ จำเป็นจะต้องทราบปัจจัยต่างๆดังนี้

1. อัตราที่ความร้อนเคลื่อนผ่านเปลือกอาคาร (heat transfer rate)

2. พื้นที่ของแต่ละส่วนประกอบนั้นๆ (area)

3. ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกสำหรับชั่วโมงที่ถูกคำนวณ (temperature difference)

สูตรคำนวณ : $Q = U * A * \Delta T.$

Q = อัตราถ่ายเทความร้อน (BTU / Hr.)

U = สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน (BTU / Hr. $ft.^2$ F.)

A = พื้นที่ที่วัดเป็นตร. ฟุต ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทางเข้ามา ($ft.^2$)

ΔT = ความต่างอุณหภูมิระหว่างภายใน และภายนอก สำหรับสภาพเฉลี่ยใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (^{0} F)

2.1.3. **การถ่ายเทความร้อนผ่านการระบายอากาศ**

เป็นการถ่ายเทความร้อน ด้วยการพาโดยอากาศ (convection energy transfer) ผ่านเข้าออกจากอาคารเนื่องจากความดันที่ต่างกัน ซึ่งอากาศภายนอกที่ผ่านเข้ามาในอาคารนั้น มีอยู่ด้วยกันสองแบบ คือ การรั่วไหลของอากาศผ่านผิวอาคารเป็นการเข้ามาของอากาศภายนอกโดยไม่ได้ตั้งใจ และการระบายอากาศเป็นการนำอากาศภายนอกเข้ามาโดยการออกแบบ เราสามารถคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในห้องได้ โดยแบ่งการคำนวณออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ความร้อนที่รู้สึกได้ (sensible heat gain)

สูตร. $Q = 1.08 (V) \Delta T.$

Q = ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนที่รู้สึกได้ (BTU / Hr.)

V = ปริมาณอัตราการถ่ายเทอากาศภายนอกที่นำเข้ามาในห้อง (CFM.)

ΔT = ความต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก และภายใน (^{0} F)

1.08 = ค่าคงที่ (BTU.Min / $ft.^3$ F. Hr.)

ความร้อนจากความร้อนแฝง (latent heat gain)

สูตร. $Q = 4840 (V) \Delta W.$

Q = ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนแฝง (BTU / Hr.)

ΔW = ค่าความแตกต่างของความชื้นระหว่างภายใน และภายนอก

ความร้อนรวม (total heat gain)

สูตร $Q = 4.5 (V) \Delta H.$

Q = ปริมาณการแลกเปลี่ยนความร้อนรวมของ ความร้อนที่รู้สึกได้ และความร้อนแฝง (BTU / Hr.)

ΔH = ค่าความแตกต่างของ Enthalpy ระหว่างภายใน และภายนอก

สำหรับอากาศที่รั่วไหลเข้ามาในห้องนั้น เราสามารถคำนวณได้อย่างง่ายๆจากวิธี Crack Method ซึ่งคำนวณด้วยการประมาณความกว้างของรอยรั่วที่เกิดขึ้นกับลักษณะของช่องเปิดในอาคารว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยสามารถวัดได้ทั้งจากอาคารจริงหรือการประมาณค่าจากแบบก่อสร้าง แล้วนำมาคำนวณหาค่าอัตราการรั่วไหลเข้ามาในอาคาร ในกรณีที่มีการเปิดประตูเข้าออกจากห้องก็จะทำให้เกิดการรั่วไหลของอากาศได้ด้วย โดยพิจารณาได้จากตาราง ต่อไปนี้

รายละเอียด	อากาศที่รั่วจากรอยรั่ว	อากาศที่รั่วจากการเปิดประตู
หน้าต่าง	0.5 cfm/ft. sash crack	
ประตูกระจกบานเลื่อน (บ้านพักอาศัย)	0.5 cfm/ft^2. door area	
ประตูสวิงแบบมีซุ้มประตู	1.0 cfm/ft^2. door area	60 ft^3/person
ประตูบานเลื่อน ประตูหมุน	11 cfm/ft^2. door area	60 ft^3/person
ประตูสวิงแบบไม่มีซุ้มประตู		900 ft^3/person

หมายเหตุ: คำนวณที่ความเร็วลมภายนอกอาคาร 25 mph.

ตารางที่ 2.1 อัตราอากาศรั่วเข้าห้องผ่านหน้าต่างและประตูเพื่อใช้ในการออกแบบ

ที่มา : ผศ. สุรพล พฤกษพานิช. การปรับอากาศหลักการและระบบ.2529 หน้า125-126

2.1.4. การถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีผ่านกระจก

เป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี (radiant energy transfer) ผ่านเข้ามาทางผนังกระจกหรือหน้าต่างกระจก

สูตร $Q = A \times SC \times SF$

Q = อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เข้ามาในอาคาร (BTU / Hr.)

A = พื้นที่ของผนังกระจก ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทางเข้ามาในอาคาร($ft.^2$)

SC= ค่าสัมประสิทธิการบังแดดของช่องเปิดกระจกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกระจกและแผงบังแดดภายนอกของอาคาร

SF = ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบผ่านกระจก

2.2 ระบบเครื่องปรับอากาศ

การปรับอากาศหมายถึงการสร้างให้เกิดขึ้น และรักษาไว้ซึ่งภาวะทางอุณหภูมิ ความชื้น การไหลเวียนและความบริสุทธิ์ของอากาศ เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยเกิดความสบายหรือให้เหมาะกับวัสดุหรือการทำงานในที่ใดที่หนึ่ง

2.2.1. ชนิดของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เรียกชื่อต่างกันออกไปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ และการใช้งาน จากหนังสือ ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานระบบ(2539) ได้สรุปชนิดของเครื่องปรับอากาศไว้ดังนี้

1. เครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง(window type)คือเครื่องปรับอากาศที่มีอุปกรณ์หลักของ วง จร ทำความเย็นทุกอย่างครบชุดอยู่ในเครื่องเดียว และออกแบบให้เหมาะกับการติดตั้งที่หน้าต่าง โดยด้านทำความเย็นจะโผล่เข้ามาในห้องส่วนด้านที่ระบายความร้อนจะโผล่ไปนอกห้อง

2. เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) เป็นเครื่องที่แตกออกมาจากเครื่องแบบหน้าต่างโดยแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนที่อยู่นอกห้องเรียกว่า Outdoor Unit หรือ Condensing Unit. ส่วนที่อยู่ภายในห้องเรียกว่า Indoor Unit หรือ Evaporator Unit หรือในเชิงพาณิชย์เรียกว่า Fan Coil Unit (FCU) หรือในบางครั้งที่มีลักษณะเป็นตู้ขนาดใหญ่ก็จะเรียกว่า Air Handling Unit (AHU) เครื่องปรับอากาศเหล่านี้จะอาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศ มักจะเป็นเครื่องที่มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง (0.75 – 30 ตัน)

3. เครื่องปรับอากาศแบบสำเร็จครบชุดในตัว (packaged unit) เครื่องแบบนี้มีโครงสร้างเหมือนกับเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่าง แต่มีขนาดใหญ่กว่ามีทั้งชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศเรียกว่า Packaged Water – Cooled การที่ใช้น้ำในการระบายความร้อน จะทำให้เครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และมีการระบายความร้อนที่ดีกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศ

4. ระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น (water chiller) เครื่องทำน้ำเย็นนี้มีหน้าที่ทำน้ำให้เย็นก่อนแล้วจึงใช้น้ำเย็นนี้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความเย็นต่อไปให้กับ FCU. หรือ AHU. อีกทอดหนึ่ง โครงสร้างของเครื่องทำน้ำเย็นนี้เหมือนกับเครื่องปรับอากาศทุกชนิด คือ มีวงจรทำความเย็นเหมือนเดิมเพียงแต่แทนที่อีวาโปเรเตอร์ จะทำความเย็นให้อากาศโดยตรง ก็กลับไปทำความเย็นให้กับน้ำก่อน เมื่อน้ำเย็นแล้วจึงใช้น้ำเป็นตัวกลางถ่ายทอดความเย็นต่อไป แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

4.1 Air Cooled Water Chiller คือ เครื่องทำน้ำเย็นที่อาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศ ลักษณะของงานที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้จะเป็นลักษณะของงานที่มีความต้องการความเย็นไม่มากนัก (มักจะไม่เกิน 500 ตันความเย็น) ซึ่งต้องการความสะดวกในการติดตั้ง และต้องการลดภาระการดูแลรักษา หรือจะใช้ในโครงการที่ขาดน้ำ หรือไม่มีน้ำที่มีคุณภาพพอจะมาใช้ระบายความร้อนของเครื่องได้อย่างไรก็ตามเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยอากาศจะกินไฟมากกว่าเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ การทำงานของระบบนี้คือ น้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นจะถูกเครื่องสูบน้ำเย็น (chilled water pump) จ่ายเข้าสู่ระบบไปยัง FCU. และ AHU. โดยอุณหภูมิของน้ำเย็นนี้จะอยู่ที่ประมาณ 7 ^{0}C เมื่อใช้งานผ่าน FCU. หรือ AHU. แล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 12 ^{0}C ก็จะถูกส่งกลับมายังเครื่องทำน้ำเย็นอีกครั้งหนึ่ง ระบบส่งน้ำเย็นนี้อาศัยท่อน้ำเย็น (chilled water pipe) มีทั้งท่อส่งน้ำเย็น และท่อน้ำเย็นกลับ ซึ่งจะต้องหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันน้ำเกาะท่อ (condensation) เนื่องจากความเย็นของท่อจะทำให้ความชื้นที่อยู่ในอากาศมาเกาะเป็นหยดน้ำที่ท่อ คอมเพรสเซอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นคอมเพรสเซอร์ชนิดลูกสูบหากมีขนาดใหญ่หน่อยก็อาจจะมีชนิดที่เป็นสกรู ส่วนชนิดที่เป็นหอยโข่ง จะมีใช้เฉพาะเครื่องขนาดใหญ่จริง ๆ เท่านั้น

4.2 Water Cooled Water Chiller คือเครื่องทำน้ำเย็นที่อาศัยการระบายความร้อนด้วยน้ำ ลักษณะโครงสร้างของเครื่องคล้ายกับเครื่องแบบ Air Cooled ต่างกันแค่ระบายความร้อนด้วยน้ำแทนอากาศ

ชนิดเครื่องปรับอากาศ	ขนาด(ตันความเย็น)	กินไฟ(k.Watt/ton)	ลักษณะการใช้งาน
1. Window Type	0.5-0.3	1.3-1.5	-บ้านพักอาศัย -สำนักงาน
2. Split Type	0.75-3.0	1.3-1.5	-บ้านพักอาศัย -สำนักงาน
3. Packaged Air-Cooled	3.0-30.0	1.3-1.5	-คอนโดมิเนียม -สำนักงาน
4. Packaged Water-Cooled	1.0-50.0	1.2	-คอนโดมิเนียม -สำนักงาน
5. Air-Cooled Water Chiller	3.0-10.0	1.4-1.6	-บ้านพักขนาดใหญ่ -ศูนย์คอมพิวเตอร์
	10 – 500	1.4-1.6	-โรงแรมขนาดกลาง -โรงพยาบาลกลางๆ
6. Water-Cooled Water Chiller	500-1000	0.8-1.0	-โรงแรมขนาดใหญ่ -ศูนย์การค้าใหญ่ๆ -โรงพยาบาลใหญ่ๆ -สำนักงานใหญ่ๆ

ตารางที่ 2.2 สรุปลักษณะการใช้งานของเครื่องปรับอากาศแบบต่างๆ

ที่มา : เกชา ธีระโกเมนและคณะ,ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานระบบ,2539หน้า 21

2.2.2. **หลักการทำงานของระบบท่อน้ำเย็น** (chilled water piping)

ระบบท่อน้ำเย็นนี้เป็นระบบท่อที่นำน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นไปยัง FCU. และ AHU. เมื่อน้ำร้อนขึ้นก็นำกลับมาทำให้เย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นใหม่จัดเป็นระบบปิด (closed system) เพราะน้ำเย็นจะหมุนเวียนอยู่ภายในระบบท่อไปเรื่อยๆ เมื่อน้ำพร่องลง เนื่องจากการรั่วไหลหรือมีการระบายทิ้งบ้างจึงจะเติมน้ำเข้ามาชดเชย ซึ่งมักจะเติมกันที่ถังเรียกว่า Expansion tank. การหมุนเวียนของน้ำเย็นจะต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนจากเครื่องสูบน้ำเย็น (chilled water pump)

การควบคุมอุณหภูมิในระบบปรับอากาศในกรณีที่ใช้ระบบน้ำเย็นนี้ต้องอาศัย เทอร์โมสตัทเหมือนกัน โดยที่เทอร์โมสตัทจะวัดอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ แล้วไปสั่งการทำงานวาล์วควบคุมปริมาณน้ำเย็นอัตโนมัติ ซึ่งจะติดตั้งอยู่ที่ FCU. และ AHU แต่ละตัวถ้าห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้นเทอร์โมสตัทก็จะสั่งให้วาล์วเปิดให้น้ำเย็นไหลเข้าคอยล์เย็นมากขึ้น และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้วาล์วก็จะหรี่ให้น้ำเย็นไหลเข้าคอยล์เย็นน้อยลง คอยล์เย็นที่ทำงานตามปกติจะต้องเย็น และมีน้ำเกาะและหยดไหลอยู่ตลอดเวลา หากคอยล์เย็นแห้งเย็นชืดๆ แสดงว่าผิดปกติ จะต้องคอยเช็คให้คอยล์เย็นอยู่ในสภาพปกติ อย่างสม่ำเสมอ

2.2.3 ประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ

COP. (coefficient of performance) คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนพลังงานที่เครื่องสามารถทำความเย็น ต่อ จำนวนพลังงานที่ป้อนเข้าไปในเครื่อง

EER. (energy efficient ratio) คืออัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นสุทธิ (BTU / Hr.) ต่อจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป (WATT) หน่วยเป็น BTU / Hr. ต่อ WATT.

KW. / Ton. คือส่วนกลับของประสิทธิภาพ (EER) จำนวนพลังงานที่ต้องใช้เป็นกิโลวัตต์ ต่อความสามารถของเครื่องปรับอากาศที่ทำความเย็นได้ 1 ตันความเย็น

สูตร COP = EER / 3.4 = 3.5 / KW / TON.

การหาพลังงานที่ใช้จริงในการปรับอากาศ (BTU / Hr.) = Q / COP.

2.3. การคำนวณภาระปรับอากาศ

การคำนวณภาระปรับอากาศที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันวิธีหนึ่งคือการคำนวณด้วยวิธี Cooling Load Temperature Difference/Solar Cooling Load/ Cooling Load Factor(CLTD/SCL/CLF) จากหนังสือ ASHRAE Fundamental Hand Book(SI) (1997) ได้แบ่งการคำนวณภาระปรับอากาศด้วยวิธีนี้ออกเป็นรายละเอียดต่างๆดังนี้

2.3.1. External Cooling Load

1. การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากการนำความร้อนผ่านเข้ามาทางเปลือกอาคาร (ผนัง หลังคา และกระจกช่องแสง)

สูตรคำนวณ : $Q = U \times A \times CLTD$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

U = สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน ($W / m.^2 - k.$)

A = พื้นที่ที่พิจารณา ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทางเข้ามา ($m.^2$)

CLTD = Cooling Load Temperature Difference ($^0 C$)

ค่า CLTD นี้จะแปรตามละติจูดและช่วงเวลาในการใช้งานในอาคารซึ่งในกรณีของประเทศไทยได้มีการพิจารณาปรับใช้ค่าตามหนังสือคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารซึ่งจะใช้ค่า Tdeq แทน

2. การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากการนำความร้อนเนื่องจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกช่องแสงเข้ามาในอาคาร

สูตรคำนวณ : $Q = A \times SC \times SF$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

A = พื้นที่ที่พิจารณา ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทางเข้ามา ($m.^2$)

SC = shading coefficient ของวัสดุตัวกลาง

SF = solar heat gain factor

3. การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากความร้อนเนื่องจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างฉากกั้นห้อง ฝ้าเพดาน และพื้นห้อง

สูตรคำนวณ : $Q = U \times A \times [T1-T2]$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

U = สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อน ($W / m.^2 - k.$)

A = พื้นที่ที่พิจารณา ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทางเข้ามา ($m.^2$)

T1= อุณหภูมิในส่วนที่ต่อเนื่องกับพื้นที่ปรับอากาศ(^{0} C)

T2= อุณหภูมิในส่วนพื้นที่ปรับอากาศ(^{0} C)

2.3.2. Internal Cooling Load

1. การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากผู้ใช้อาคาร

สูตรคำนวณ : $Q_{sensible} = N \times 250 \times CLF$

$Q_{latent} = N \times 200 \times CLF$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

N = จำนวนผู้ใช้งานในอาคาร

CLF = cooling load factor มีค่าเท่ากับ 1

2. การคำนวณภาระปรับอากาศที่เกิดจากระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคาร

สูตรคำนวณ : $Q = W \times Ff \times Fs \times CLF$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

W= watt input ของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือ ของระบบแสงสว่าง

Ff = lighting use factor ของระบบแสงสว่าง

Fs = spacial allowence factor ของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือ ของระบบแสงสว่าง

CLF = cooling load factor มีค่าเท่ากับ 1

2.3.3. Ventilation and Infiltration

การคำนวณภาระปรับอากาศจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

สูตรคำนวณ : $Q_{sensible} = 1.08 (V) \Delta T.$

$Q_{latent} = 4840 (V) \Delta W.$

$Q_{total} = 4.5 (V) \Delta H.$

Q = ภาระการปรับอากาศ (W)

V = ปริมาณอัตราการถ่ายเทอากาศภายนอกที่นำเข้ามาในห้อง (CFM.)

ΔT = ความต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอก และภายใน (^{0} C)

ΔW = ค่าความแตกต่างของความชื้นระหว่างภายใน และภายนอก kg(water)/kg(dry air)

ΔH = ค่าความแตกต่างของ Enthalpy ระหว่างภายใน และภายนอก kj/kg(dry air)

2.4. ระดับสภาวะน่าสบายของมนุษย์

สภาวะน่าสบายคือสภาวะที่คนเราไม่รู้สึกว่าร้อนเกินไปหรือหนาวเกินไป (thermal comfort) โดยกำหนดช่วงหรือขอบเขตของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความรู้สึกสบายของคนเราไว้เป็นมาตรฐานเรียกว่า เขตสบาย (comfort zone) ระดับสภาวะน่าสบายของคนเรามีตัวแปร หรือปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลในการกำหนดความรู้สึกว่าร้อนหรือหนาวอยู่หลายตัวแปร จากหนังสือ Mechanical and Electrical Equipment for Building (1992) ได้แบ่งตัวแปรหลักๆไว้ ดังนี้

1. ตัวแปรด้านบุคคล (personal factor)
   - เสื้อผ้าที่สวมใส่ (clo – value)
   - อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (metabolism rate)
2. ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม (environmental factor)
   - อุณหภูมิอากาศ (ambient air temperature)
   - ความชื้นสัมพัทธ์ (RH.)
   - อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (MRT.)
   - ความเร็วลม (air velocity)

2.4.1. อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (MRT.)

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ(mean radiiant temperature)เป็นตัวแปรที่สำคัญที่จะทำให้คนรู้สึกว่าร้อนหนาวอยู่ในขณะนั้น มีผลต่อสภาวะน่าสบายมากกว่าอุณหภูมิของอากาศ 40 เปอร์เซ็นต์ จึงกล่าวได้ว่าสำหรับทุกๆ อุณหภูมิของอากาศที่ลดลง 1.4 ^{0}F เพียง 1 ^{0}F ของ MRT ที่ต้องเพิ่มขึ้นเพื่อคงรักษาระดับสภาวะน่าสบายให้คงที่เหมือนเดิม การคำนวณหาค่า MRT. มีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

สูตรคำนวณ : $Tmrt = TG + KG \sqrt{V} (TG - TA)$

Tmrt = อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย (^{0}F)

TA = อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (^{0}F)

TG = Globe temperature (^{0}F)

V = ความเร็วลม (FPM)

KG = Convection Coefficient of Globe temperature

มีค่าดังนี้

75 – 79 ^{0}F	= 0.17
80 – 85 ^{0}F	= 0.16
86 – 102 ^{0}F	= 0.15
103 – 119 ^{0}F	= 0.14
120 – 125 ^{0}F	= 0.13
126 – 140 ^{0}F	= 0.12

2.4.2. **ความเร็วลมภายในอาคาร** (indoor air velocity)

ความเร็วลมภายในอาคารมีอิทธิพลและส่งผลต่อความรู้สึกน่าสบายของมนุษย์ได้เป็นอย่างมาก ในหนังสือ Mechanical and Electrical Equipment for Building (1992) ได้ปรับปรุงทฤษฎี ของ Victor Olgyay และสรุปออกมาได้ดังตารางต่อไปนี้

ความเร็วลมภายในอาคาร	**ผลต่อความรู้สึกที่แสดงว่าอุณหภูมิลดลง**	**ความรู้สึกที่เกิดขึ้น**
ไม่เกิน 50 fpm (0.25 m/s)	ไม่มีผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ	ไม่มีผลต่อความรู้สึก
50-100 fpm (0.25-0.51 m/s)	รู้สึกว่าอุณหภูมิลดลงไป ประมาณ 1.1-1.7 องศาเซนเซียส	รู้สึกว่ากำลังสบาย
100-200 fpm (0.51-1.02 m/s)	รู้สึกว่าอุณหภูมิลดลงไป ประมาณ 2.2-2.8 องศาเซนเซียส	รู้สึกว่ากำลังสบาย และรับรู้ว่ามีลมพัด
200-300 fpm (1.02-1.52 m/s)	รู้สึกว่าอุณหภูมิลดลงไป ประมาณ 2.8-3.9 องศาเซนเซียส	เริ่มรู้สึกว่าถูกรบกวน จากแรงลมพัด
มากกว่า300 fpm (1.52 m/s)	รู้สึกว่าอุณหภูมิลดลงไปมากกว่า 2.8-3.9 องศาเซนเซียส	รู้สึกว่าถูกรบกวน จากลมที่พัดแรงไป

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความรู้สึกสบายของมนุษย์

ที่มา : Mechanical and Electrical Equipment for Building ,1992, หน้า 41

2.5. ทฤษฎีเกี่ยวกับแสง

แสงเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งเช่นเดียวกับพลังงานชนิดอื่น, เช่นพลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานไฟฟ้า แสงเป็นพลังงานที่เคลื่อนที่ได้แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติที่สำคัญที่สุด คือ ดวงอาทิตย์ เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ ส่องผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดการหักเหและสะท้อนแสงก่อนที่จะลงมายังผิวโลก และเมื่อกระทบกับผิววัตถุใดๆ จะเกิดคุณสมบัติ 3 ประการคือ การดูดกลืน การสะท้อน และการส่องผ่าน ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัตถุแต่ละชนิด

การดูดกลืน (absorption) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงถูกดูดกลืนหายเข้าไปในตัวกลางและเกิดการเปลี่ยนรูปของพลังงาน โดยทั่วไปจะเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานความร้อน

การสะท้อน (reflection) เป็นพฤติกรรมที่แสงตกกระทบบนตัวกลางแล้วสะท้อนออกโดยที่ความถี่ของคลื่นแสงนั้นไม่เปลี่ยนไปลักษณะการสะท้อน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การสะท้อนแบบเสมือนกระจกเงา (speculor refection) และการสะท้อนแบบกระจาย (diffuse refection)

การส่องผ่าน (transmission) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงตกกระทบด้านหนึ่งของตัวกลางแล้วทะลุผ่านไปยังอีกด้านหนึ่ง

2.5.1 ทฤษฎีการส่องสว่าง

เมื่อแสงออกจากแหล่งกำเนิดตกกระทบวัตถุใดเป็นผลให้แสงส่วนหนึ่งสะท้อนเข้าสู่ดวงตาทำให้เกิดการมองเห็น ปริมาณแสงที่ตกกระทบวัตถุนั้นๆ เรียกว่า การส่องสว่าง (illumination)

1. ปริมาณแสง (luminous flux) คือปริมาณแสงที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดแสงในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นการบอกค่าพลังงานของแหล่งกำเนิดแสงใดๆมีหน่วยเป็นลูเมน (lumen)

2. ความส่องสว่าง (illuminace) เมื่อมีปริมาณแสงตกกระทบบน 1 หน่วยพื้นที่ใดๆ ผลที่ได้คือ ความสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมน ต่อ 1 หน่วยพื้นที่ถ้าเราพิจารณาแหล่งกำเนิดแสงในทรงกลม ที่มีรัศมี 1 ฟุต ปริมาณแสง 1 ลูเมนที่พุ่งไปตกบนพื้นที่ 1 ตร.ฟุต ของผิวทรงกลม ปริมาณความส่องสว่างที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 1 ลูเมน ต่อ ตร.ฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล ในทำนองเดียวกันถ้ารัศมีของทรงกลมนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เมตร หรือ 1 ลักซ์ (lux)

2.5.2 คุณสมบัติที่สำคัญของแสง

1. ความจ้า (brightness) เมื่อแสงส่องกระทบวัตถุแล้วเกิดการสะท้อนหรือส่องผ่านของแสงจากวัตถุเข้าสู่ตา ทำให้เกิดการมองเห็นวัตถุนั้นแล้วสายตายังรับรู้ความสว่างหรือความจ้าของวัตถุนั้นด้วย ความจ้าของวัตถุที่สายตารับรู้ขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการสะท้อนหรือส่องผ่านวัตถุ และความสามารถในการปรับตัวของสายตา ความจ้าที่เกิดขึ้นของวัตถุใดๆมีหน่วยเป็น ฟุตแลมเบิร์ต (footlambert)

สูตร $FL = FC * \rho$

หรือ $FL = FC * t$

เมื่อ FL คือ ปริมาณความจ้า (ฟุตแลมเบิร์ต)

FC คือ ปริมาณการส่องสว่าง (ฟุตแคนเดิล)

ρ คือ ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ (%)

t คือ ค่าการส่องผ่านของวัตถุ (%)

2. ความเปรียบต่าง (contrast) เป็นความแตกต่างของจุดที่เราเพ่งมองกับสิ่งที่อยู่รอบข้าง ยิ่งมีความเปรียบต่างกันมากจะทำให้มองเห็นง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้ามีมากเกินไปจนสายตาเกิดการปรับตัวตามไม่ทันจนเกิดการระคายของสายตา นั้นคือการเกิด Glare

สูตร $Contrast = (LB - LT) / LT$

เมื่อ LB. คือ ความสว่างของสภาพแวดล้อม

LT. คือ ความสว่างของวัตถุ

2.5.3. ทฤษฎีแสงธรรมชาติ

1. สภาพท้องฟ้า (sky condition) ค่าความสว่างและความจ้าของท้องฟ้าอันเนื่องมาจากแสงธรรมชาติที่เปลี่ยนตลอดเวลาเป็นผลเกิดจากการเปลี่ยนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ปริมาณของเมฆ และอนุภาคในอากาศ ฝุ่น ควัน หรือไอน้ำ โดยทั่วไปเราแบ่งสภาพท้องฟ้าออกเป็น 3 ลักษณะคือ

Overcast Sky คือ สภาพท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆจนไม่สามารถมองเห็นแหล่งกำเนิดแสงหรือดวงอาทิตย์ได้

Clear Sky คือ สภาพท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆปกคลุม

Partly Cloudy Sky คือ สภาพท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม บางส่วนการหาค่าความสว่างของท้องฟ้าลักษณะนี้จะทำได้ยากเนื่องจากการแปรเปลี่ยนของเมฆที่มีตลอดเวลา

2. การให้ความสว่างแก่อาคาร ด้วยแสงธรรมชาติ วิธีการวิเคราะห์การให้แสงสว่างภายในอาคารที่เกิดจากแสงธรรมชาติโดยทั่วไปแยกได้เป็น 3 วิธีคือ Lumen Method , Daylight Factor Method , Flux Transfer Method , ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะกล่าวถึงเพียงวิธี Daylight Factor Method ที่จะนำมาใช้ในการวิจัยเท่านั้น

3. Daylight Factor Method เป็นการพิจารณาปริมาณความสว่างภายในอาคารที่ได้จากแสงธรรมชาติ เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ระดับแสงภายในจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเป็นหลัก องค์ประกอบที่สำคัญที่มีผลต่อ แสงสว่างธรรมชาติโดยทั่วไปมี 3 องค์ประกอบคือ

องค์ประกอบจากท้องฟ้า (sky component) ปริมาณความสว่างจากท้องฟ้านั้นขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าที่เกิดขึ้น เช่นท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ หรือท้องฟ้ามีเมฆมาก เมฆปกคลุมบางส่วน ย่อมมีผลต่อปริมาณความสว่างที่เกิดขึ้น

องค์ประกอบภายนอก (extemally reflected component) เป็นการพิจารณาแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารที่ตั้งอยู่ข้างเคียง เสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงอีกตัวหนึ่ง ปริมาณแสงขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อน หรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้น,

องค์ประกอบภายใน (internally reflected component) เป็นการพิจารแสงที่เกิดจากการสะท้อนของวัตถุ หรืออาคารที่ตั้งอยู่ภายในอาคาร โดยได้รับแสงจากองค์ประกอบท้องฟ้า และองค์ประกอบภายนอก ปริมาณแสงขึ้นอยู่กับทิศทางที่แสงสะท้อนหรือคุณสมบัติของพื้นผิวที่สะท้อนนั้นๆ

Daylight Factor (D.F.) คือการกำหนดค่าสัดส่วนของปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใดๆต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร ภายใต้สภาพท้องฟ้าที่ไม่มีสิ่งกีดขวางและไม่รวมแสงแดดโดยตรงจากดวงอาทิตย์ ค่าที่ได้เป็นค่าเปอร์เซ็นต์

สูตร $$D.F.(\%) = \frac{\text{ความสว่างภายใน}}{\text{ความสว่างภายนอก}} \times 100\ \%$$

2.5.4 **มาตรฐานระดับความส่องสว่าง**

การทำงานภายในอาคารนั้น ต้องใช้ปริมาณแสงในระดับต่าง ๆ กัน ตามสภาพงานที่ทำ การกำหนดระดับความส่องสว่างสำหรับการใช้งานต่าง ๆ นั้นมีการกำหนดโดยหน่วยงานแต่ละแห่ง เช่น IES (USA) IES (BS) เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้สอยและสภาพอากาศ ดังนั้นค่าที่กำหนดอาจมีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศส่วนมาตรฐานที่เป็นสากลไม่ขึ้นกับประเทศใดประเทศหนึ่ง ได้แก่ CIE (international commission on illumination)ซึ่งจะกำหนดความสว่างออกเป็น 3 ค่า โดยใช้ค่ากลางเป็นค่าเฉลี่ย กำหนดระดับการส่องสว่างเป็น ลักซ์ หรือ ฟุตเคนเดิล นอกจากนี้การกำหนดระดับการส่องสว่างยังสามารถกำหนดมาตรฐานเป็นค่า Daylight Factor โดยกำหนดให้เป็นเปอร์เซ็นต์ได้ ดังตารางต่อไปนี้

พื้นที่ใช้งาน	ค่าการส่องสว่าง (lux) มาตรฐาน CIE.(ก)	ค่าการส่องสว่าง (lx) มาตรฐาน IES.(ข)	ค่า D.F.(%) (ค)		
			ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	จุดที่วัด
อาคารโดยทั่วไป					
บริเวณทางเดิน	50-100-150	50-75-100	2	0.6	พื้น
บริเวณบันได	100-150-200	100-150-200	2	0.6	ลูกนอน
บริเวณเก็บของ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	work plane
บริเวณห้องน้ำ	100-150-200	100-150-200	1.5	0.5	work plane
อาคารสำนักงาน					
บริเวณคอมพิวเตอร์	300-500-750	500-750-1000	5	2.5	work plane
บริเวณเขียนแบบ	500-750-1000	500-750-1000	5	2.5	work plane
บริเวณประชุม	300-500-750	200-300-500			
บริเวณโถงทางเข้า		100-150-200	2	0.6	work plane
ห้องสมุด					
หิ้งหนังสือ	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 2.4 มาตรฐานการส่องสว่างของ CIEและIES และมาตรฐานการกำหนดค่า Daylight Factor

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

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

(ค) BSI Draft for Development p. 73อ้างถึงใน Applications Manual Window Design หน้า31

2.5.5 การประมาณอัตราการใช้พลังงานในอาคารจากดวงไฟแสงสว่าง

เกณฑ์ในการพิจารณาอัตราการใช้พลังงานในอาคาร แยกการพิจารณา ออกเป็น 2 แนวทาง คือ

1. การตรวจวัดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคาร ซึ่งเป็นการพิจารณาจากหน่วยพลังงานที่ใช้จริงในแต่ละเดือนของอาคาร วิธีนี้หากไม่มีการกำหนดการตรวจวัดหน่วยพลังงาน ที่ใช้ในแต่ละส่วน จะทำให้ไม่สามารถแยกได้ว่าในแต่ละส่วนของการใช้พลังงานในอาคารมีปริมาณเท่าใด

2. การคำนวณอัตราการใช้พลังงานโดยอาศัยการกำหนดช่วยเวลาการใช้งาน และอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละประเภท วิธีนี้ อัตราพลังงานที่คำนวณได้จะมีอัตราที่สูงกว่าการใช้งานจริงของอาคารเนื่องจากการกำหนดช่วงเวลาการใช้งานที่แน่นอน

2.5.6 การหาความร้อนที่เกิดจากดวงไฟแสงสว่าง

ดวงไฟจากไฟประดิษฐ์จัดเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนภายในอาคารที่สำคัญที่สุด ค่าความร้อนนี้ได้จากการคำนวณ

สูตร Q = W ✳ Use Factor ✳ Allowance Factor

Q = ปริมาณความร้อน (Watt)

W = จำนวนวัตต์ของดวงไฟทั้งหมดในพื้นที่

Use Factor = อัตราส่วนของจำนวนวัตต์ของดวงไฟที่ใช้งานจริงต่อจำนวนวัตต์ของดวงไฟที่ติดตั้งทั้งหมดในพื้นที่ โดยทั่วไป มีค่า = 1

Allowance Factor = ตัวคูณความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้งานคู่กับดวงไฟมีค่า = 1.20

2.6. ทฤษฎีด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

หลักการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น เป็นการศึกษาเพื่อหาความคุ้มค่าของการลงทุนใดๆ ได้แก่ การศึกษาระยะเวลาคืนทุน (discount payback period) เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลงทุนเพื่อทำการปรับปรุงอาคารใดๆเปรียบเทียบกับผลในการลดค่าการใช้จ่ายในแต่ละปีว่าจะสามารถคุ้มค่าการลงทุนในปีที่เท่าไร หลังจากเริ่มลงทุนในปีแรก ทั้งนี้จะพิจารณารวมถึงอัตราดอกเบี้ยและอัตราเงินเฟ้อที่คาดว่าจะเกิดขึ้นด้วย โดยมีสูตรในการคำนวณค่า ดังนี้

สูตรคำนวณ :

$$\text{Discount Payback Period(year)} = \ln\left[\frac{(r-d)*c}{A}+1\right] \Big/ \ln\frac{(1+r)}{(1+d)}$$

A = ค่าใช้จ่ายที่ลดลงรายปี

c = ค่าเงินที่ลงทุน

d = อัตราดอกเบี้ยที่ใช้พิจารณา

r = อัตราเงินเฟ้อ

หลักการทางเศรษฐศาสตร์ที่นำมาใช้พิจารณาในงานวิจัยครั้งนี้อีก 1 ทฤษฎีคือการศึกษามูลค่าสะสมของอาคาร (present worth model) ใช้คำนวณเพื่อเปรียบเทียบมูลค่าสะสมตลอดอายุการใช้งานของอาคาร โดยมีสูตรในการคำนวณค่าดังนี้

สูตรคำนวณ :

$$PWIF = \frac{1+r}{i-r}\left[1 - \frac{(1+r)^n}{(1+i)}\right]$$

n = อายุการใช้งานของอาคาร

i = อัตราดอกเบี้ยที่ใช้พิจารณา

r = อัตราเงินเฟ้อ