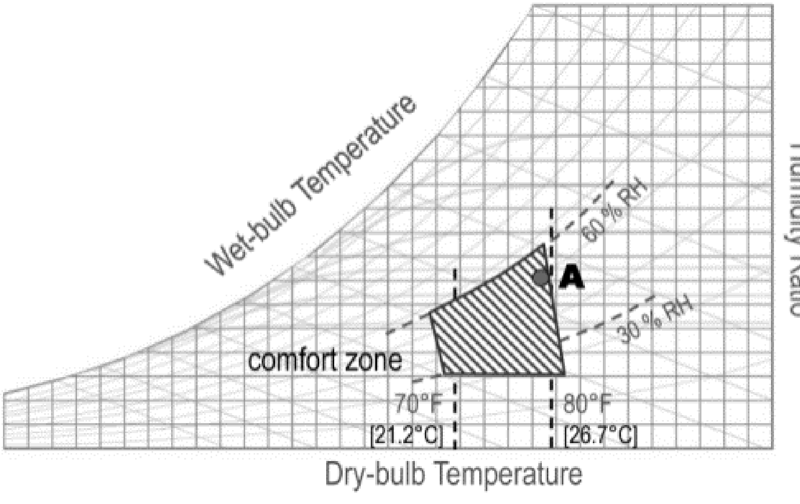
Chapter-11
Cooling Load Estimation Example

(ဤအခန်းသည် Trane Air Conditioning Clinic series မှ **cooling and heating load estimation** အခန်းကို ကိုးကား၍ ရေးသားသည်။ လွယ်ကူစွာနားလည် သဘောပေါက်စေရန်အတွက် ဆီလျော်အောင် ဖြည့်စွက် ဘာသာပြန် ဆိုထားသည်။)

အခန်းတစ်ခန်း၏ cooling load တွက်နည်း များစွာရှိသည့်အနက် မည်သည့်နည်းဖြင့် တွက်သည်ဖြစ်စေ အပူစီးကူးမှု(heat transfer) အခြေခံသဘောတရားများ တွက်နည်းများ၊ ဖတ်ရှုရမည့်ဇယားများကို နားလည် သဘောပေါက်ထားသင့်သည်။ ဒီဇိုင်းသဘောတရားများ၊ ရာသီဥတုနှင့် နေသွားလမ်းကြောင်းများ၊ ဒေတာဇယားများတွင် မပါရှိသည့် ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်းများ၏ R တန်ဖိုး နှင့် U တန်ဖိုး ခန့်မှန်းပုံ၊ လူဝင် လူထွက်ပုံစံ(pattern) စသည်တို့ကို လေ့လာထားသင့်သည်။

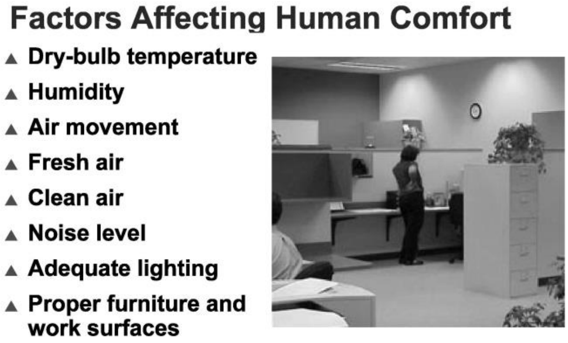


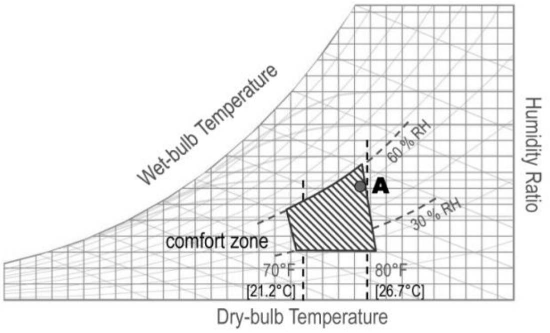
ပုံ ၁၁-၁ Indoor design conditions

ASHRAE မှ တီထွင်ထားသည့် Cooling Load Temperature Difference/Solar Cooling Load/ Cooling Load Factor (CLTD/SCL/CLF) စသည့် load estimation method ကို အသုံးပြု၍ ယူနစ်နှစ်မျိုးဖြင့် ဥပမာကို တွက်ပြထားသည်။ လေးထောင့်ကွင်းများ(square brackets)အတွင်းရှိ တန်ဖိုးများ(values)၊ပုံသေနည်းများ(formulae)သည်

SI ယူနစ်အတွက် ဖြစ်သည်။ Cooling load တွက်ရာတွင် ရိုးရှင်းပြီး အသုံးများသည့် CLTD/SCL/CLF တွက်နည်းကို အသုံးပြု၍ တွက်ပြထားသည်။

Human Comfort

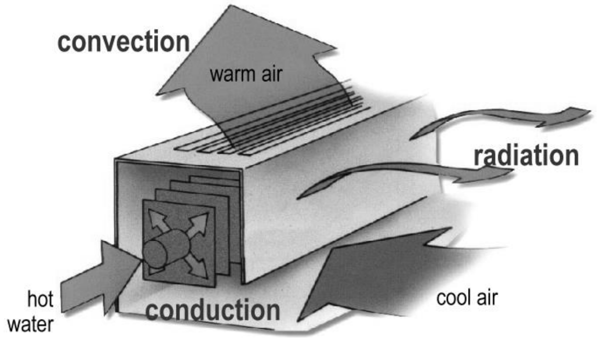




ပုံ ၁၁-၂ Factor affecting human comfort ပုံ ၁၁-၃ Indoor air design condition

အခန်းအတွင်း ရှိနေသူများ၏ ၈၀% က လက်ခံနိုင်သည့် thermal comfort အခြေအနေ(range of conditions) ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးရန်(delivering acceptable thermal comfort to 80% of the people in a space) လိုအပ်သည်။ "Comfort zone" နှင့်ပတ်သက်သည့် ယူဆချက်များ(associated assumptions)ကို ASHRAE Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy တွင် ဖော်ပြထားသည်။ အခန်း(၁)နှင့်(၃)တွင် အသေးစိတ် ဖတ်ရှုနိုင်သည်။

ဤဥပမာအတွက် cooling load နှင့် heating load တွက်ရန် ပထမဆုံးအဆင့်သည် space အတွင်းရှိ လိုလားသည့်၊ ရလိုသည့်အခြေအနေ(desired condition)ကို သတ်မှတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အခန်း အပူချိန်နှင့် စိုထိုင်းဆကို သတ်မှတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ဤဥပမာတွင် 78°F [25.6°C] Dry-Bulb temperature နှင့် 50% relative humidity ကို space ၏ desired indoor condition အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။



Desired condition နှင့် ပတ်သက်သည့် အချက်အလက်များကို ရရှိရန် နိုင်ငံအလိုက် ပြဌာန်းထားသည့် code များကို မှီငြမ်းနိုင်ပါသည်။ ဥပမာ- စင်ကာပူနိုင်ငံအတွက် Code of Practice for Air-Conditioning and Mechanical Ventilation in Buildings (SS 553 : 2016)ကို မှီငြမ်းရသည်။ မြန်မာနိုင်ငံအတွက် ACMV code မပြဌာန်းသေးပါ။

ပုံ ၁၁-၄ အပူကူးပြောင်းနည်းများ (methods of heat transfer)

၁၁.၁ အပူကူးပြောင်းနည်းများ(Heat Transfer Methods)

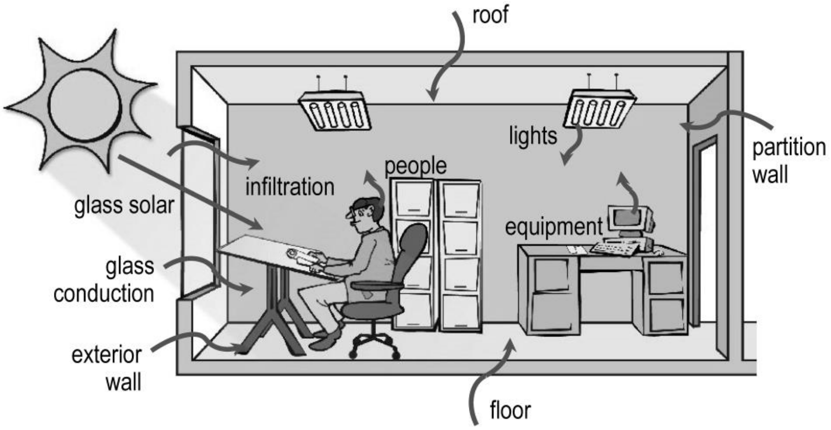
အပူစွမ်းအင်များကို ဖျက်စီး၍ မရနိုင်ပါ။ အပူစွမ်းအင်သည် အပူချိန်မြင့်သည့် အရာဝတ္ထုမှ အပူချိန်နိမ့်သည့် အရာဝတ္ထုသို့သာ ကူးပြောင်းသွားနိုင်သည်။ (Heat energy cannot be destroyed; it can only be transferred to another substance.)။ အပူချိန်မြင့်သည့် အရာဝတ္ထုများမှ အပူသည် အပူချိန်နိမ့်သည့် အရာဝတ္ထုများဆီသို့ အလိုအလျောက် စီးဆင်းသည်။ (Heat always flows from a higher temperature substance to a lower temperature substance.)

အပူကူးပြောင်းနည်း (၃)မျိုး(three basic principles of heat transfer) မှာ

(၁) အအေးဓာတ်ရရန်အတွက် အပူများကို ဖယ်ရှားပစ်ရမည်။ တခြားအရာဝတ္ထုဆီသို့ အပူများ ကူးပြောင်းသွားအောင် ပြုလုပ်ရမည်။ စွမ်းအင်များ မပျောက်ပျက်ဘဲ တစ်နေရာမှ တခြားနေရာသို့ ကူးပြောင်းသွားခြင်းကို "conservation

of energy" ဟုခေါ်သည်။

(၂) အပူစွမ်းအင်(heat energy)များသည် သဘာဝအတိုင်း အပူချိန်မြင့်သည့်နေရာ သို့မဟုတ် အရာဝတ္ထု(higher-temperature substance)မှ အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာ၊ အရာဝတ္ထု(lower-temperature substance) ဆီသို့ ကူးပြောင်းသွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပူသည့်နေရာမှ အပူများ အေးသည့် နေရာသို့ ကူးပြောင်းသွားသည်။ အပူစွမ်းအင်(heat energy)များသည် conduction ၊ convection ၊ radiation စသည့် အပူများ ကူးပြောင်းနိုင်သည့် အခြေခံနည်း(၃)မျိုး(three basic heat transfer processes)အနက်မှ အနည်းဆုံး နည်းတစ်မျိုးမျိုးဖြင့် ကူးပြောင်းကြသည်။ အရာဝတ္ထုများ၏ အပူချိန်ကွာခြားချက်ကို လိုက်၍ နည်း(၂)နည်း သို့မဟုတ် (၃)နည်း တစ်ပြိုင်နက် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁၁-၅ Cooling load components

Desired condition တွင် ထိန်းထားရန်(maintain)အတွက် space မှ အပူဖယ်ထုတ်ပစ်ရမည့်နှုန်း(heat removal rate)သည် space cooling load ဖြစ်သည်။ Desired space condition ဆိုသည်မှာ ယေဘုယျအားဖြင့် အလိုရှိသည် အခန်းအပူချိန်(dry-bulb temperature)နှင့် စိုထိုင်းဆ(relative humidity)ကို ဆိုလိုသည်။ Space ၏ cooling load တွင် အောက်ပါ component များစွာ ပါဝင်သည်။

(၁) ခေါင်မိုး(roof)၊ ပြင်ပနံရံများ(exterior walls) ၊ အလင်းရောင်ရရန် ခေါင်းမိုးတွင် တပ်ထားသည့်မှန်များ (skylights)နှင့် ပြတင်းပေါက်များ(windows)ကို ဖြတ်ကျော်၍ conduction နည်းဖြင့် ဝင်ရောက်(through) လာသည့် ပြင်ပမှ အပူများ(conduction heat gain)

(၂) အလင်းရောင်ရရန် ခေါင်းမိုးတွင် တပ်ထားသည့်မှန်များ(skylights)နှင့် ပြတင်းပေါက်များ(windows)မှ ဖြတ်သန်း ဝင်ရောက်လာသည့် နေရောင်ခြည်မှ အပူများ(solar radiation heat gain)

(၃) မျက်နှာကြက်(ceiling)၊ အတွင်းနံရံများ(interior partition walls)နှင့် ကြမ်းခင်း(floor)များကို ဖြတ်ကျော်၍ conduction နည်းဖြင့် ဝင်ရောက်လာမည့်ဘေးအခန်း(adjoining spaces)မှ အပူများ(conduction heat gain)

(၄) Space အတွင်းရှိ လူများ(people)၊ မီးလုံးမီးချောင်းများ(lights)၊ appliances နှင့် equipment တို့မှ ထွက်ပေါ်လာသည့် အပူများ(internal heat gains)

(၅) တံခါးများ(doors)၊ ပြတင်းပေါက်များ(windows) နှင့် building envelope ၏ အက်နေသည့်နေရာ၊ ဟနေသည့်နေရာများ(small cracks)မှ space အတွင်းသို့ စိမ့်ဝင်လာသည့် ပြင်ပမှ ပူနွေးသည့် လေများ(hot, humid infiltrating air)မှ အပူ(heat gain)

ထို့အပြင် တခြားသော system heat gain များကိုလည်း ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။ Total building cooling load အပေါ်မူတည်၍ building HVAC system မှ အရွယ်အစား ရွေးချယ်သတ်မှတ်ရသည်။ Total building cooling load တွင် အောက်ပါ cooling load များ ပါဝင်သည်။

(၁) Ventilation အတွက် အဆောက်အဦ(building)အတွင်းသို့ ထည့်ပေးသည့် ပြင်ပလေ(outdoor air)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာမည့် အပူများ(heat gain)

(၂) System တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် fan များမှ ထွက်ပေါ်လာသည့် အပူများ(generated heat)နှင့် တခြားသော system မှ ထွက်ပေါ်လာသည့် အပူများ(heat gain)

ဤဥပမာ တွက်ရာတွင် space အတွင်း၌ ခေါင်မိုး(roof) နှင့် မျက်နှာကြက်(ceiling)အကြားတွင် plenum မရှိဟု ယူဆသတ်မှတ်(assume လုပ်)ထားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ခေါင်မိုး(roof) နှင့် မျက်နှာကြက် (ceiling) အကြားနေရာကို plenum အဖြစ် အသုံးပြုမထားခြင်းသော်လည်းကောင်း၊ မျက်နှာကြက်(ceiling) မတပ်ဆင်ထားခြင်း သော်လည်းကောင်းဖြစ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ခေါင်မိုး(roof)နှင့် မီးလုံးမီးချောင်း(lighting)များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat gain အားလုံးသည် space အတွင်းသို့ တိုက်ရိုက်(directly) ရောက်ရှိသွားသည်။

Cooling load component များကို sensible load ၊ latent load ၊ space load ၊ coil load စသည်ဖြင့် အုပ်စုရာ၊ မျိုးတူရာတို့ကို အောက်တွင် ဇယားဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Table 11-1 Cooling load components

cooling load components	Sensible Load	latent load	space load	coil load
Conduction through roof, walls, windows, and skylights	✓		✓	✓
Solar radiation through windows, skylights	✓		✓	✓
Conduction through ceiling, interior partition walls, and floor	✓		✓	✓
People	✓	✓	✓	✓
Lights	✓		✓	✓
Equipment/ Appliances	✓	✓	✓	✓
Infiltration	✓	✓	✓	✓
Ventilation	✓	✓		✓
System Heat Gains	✓			✓

Cooling load အမျိုးအစားများကို ပမာဏနှင့်တကွ သိနားလည်ရန် လိုအပ်သည်။ ၎င်းတို့အနက် မည်သည့် အမျိုးအစားက အများဆုံး ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ မည်သည့်အမျိုးအစားက အနည်းဆုံး ဖြစ်ပေါ်နိုင်ကို သိထားရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ လျစ်လျူရှုမည် သို့မဟုတ် မဖြစ်မနေ ထည့်တွက်ရမည်ကို ဆုံးဖြတ်နိုင်လိမ့်မည်။

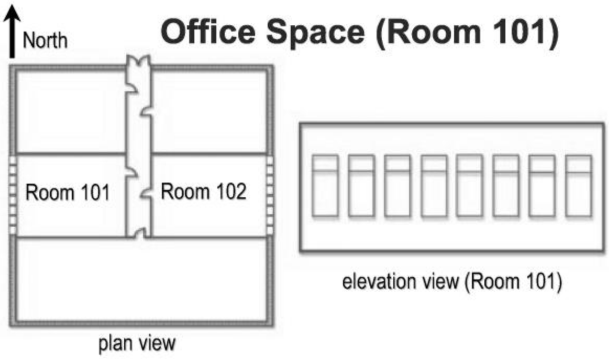
Cooling load calculation ပြုလုပ်သည့်အခါ အလွန်မြင့်သည့် ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)ကို အခြေခံ၍ တွက်လျှင် HVAC system များ၏ အရွယ်အစားသည် လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီး(oversized) သွားလိမ့်မည်။ ပြင်ပ ဒီဇိုင်းအပူချိန်(outdoor design temperature)ရွေးချယ်မှုသည် ဖြစ်ပေါ်သည့်ကြိမ်နှုန်း(frequency of occurrence)ကို အခြေခံထားသင့်သည်။ မိမိ တွက်လိုသည့် နေရာဒေသ၏(locations) design outdoor condition များကို ရရှိရန် ASHRAE Handbook—Fundamentals စာအုပ်ကို မှီငြမ်းနိုင်သည်။ ရန်ကုန်မြို့၏ ရာသီဥတုဒေတာ (weather data)ကို အခန်း(၁၄)(Chapter-14 Appendix)၌ ဖော်ပြထားသည်။

၁၁.၂ အဆောက်အဦတည်ရှိရာနေရာ(Location)

၁၁.၃ လိုအပ်သည့်အချက်အလက်များ

Room 101 ကို cooling load တွက်မည့် space အဖြစ်သတ်မှတ်၍ ဥပမာတစ်ခုအဖြစ် တွက်ပြထားသည်။ ပြတင်းပေါက်သည် အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူ(windows face west)ထားသည်။ ပြတင်းပေါက်များ(windows)ကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် solar heat gain သည် နေ့လယ်ခင်းနောက်ပိုင်း(late afternoon)တွင် အများဆုံး(peak) ဖြစ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် နေ(sun)သည် ပြတင်းပေါက်ပေါ်သို့ တိုက်ရိုက်ကျရောက်နေ(setting and shining directly

into the windows)သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ဤဉပမာတွင် maximum cooling load ဖြစ်ပေါ်သည့် အချိန်သည် ညနေ(၄)နာရီ(4 p.m)အဖြစ် ယူဆသတ်မှတ်(assume)သည်။



ပုံ ၁၁-၆ Office space (Room 101)

Space cooling နှင့် heating load ကို တွက်ချက်(estimate)ရန်အတွက် အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် အချက်များ(criteria)ကို အခြေခံထားသည်။ ဤအဆင့်သည် တွက်ချက်မှုများ မပြုလုပ်ခင် ဒေတာများ စုဆောင်းခြင်း နှင့် သင့်လျော်သည့် ယူဆချက်များကို ချမှတ်ခြင်းတို့ကို မဖြစ်မနေ ပြုလုပ်ရသည့်အဆင့် ဖြစ်သည်။ ဤအဆင့်တွင် အချက်အလက်များ စုဆောင်းပုံကို လေ့လာနိုင်သည်။

(၁) Open office space ဆိုသည်မှာ အခန်းများ မဖွဲ့ထားသည့် ဟင်းလင်းပြင်အခန်းမျိုး ဖြစ်သည်။ တစ်ထပ်ရုံးခန်း အဆောက်အဦ(single-story office building) ဖြစ်သည်။ St. Louis, Missouri အရပ်တွင် တည်ရှိသည်။

(၂) ကြမ်းခင်းဧရိယာသည် (၂၇၀၀) စတုရန်းပေ သို့မဟုတ် (၂၅၀.၇) စတုရန်းမီတာ ဖြစ်သည်။ (Floor area = 45 ft x 60 ft [13.7 m x 18.3 m])။

(၃) Space အတွင်း၌ plenum မရှိပါ။ (no plenum between the space and roof)။ ကြမ်းခင်းမှ မျက်နှာကြက် အထိ အမြင့်သည် (၁၂)ပေ သို့မဟုတ် (၃.၇)မီတာ ဖြစ်သည်။ (Floor-to-ceiling height = 12 ft [3.7 m])

(၄) Cooling season အတွက် desired indoor condition သည် 78°F[25.6°C] dry-bulb temperatureနှင့် 50% relative humidity ဖြစ်သည်။ Heating season အတွက် 72°F [22.2°C] dry-bulb temperature ဖြစ်သည်။

(၅) အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူထားသည့်နံရံ(west-facing wall)၏ အတိုင်းအတာသည် 12 ft high x 45 ft long [3.7 m x 13.7 m] ဖြစ်သည်။ 8 in. [203.2 mm] lightweight concrete block with aluminum siding on the outside, 3.5 in. [88.9 mm] of insulation, and 1/2 in. [12.7 mm] gypsum board on the inside ဖြင့် တည်ဆောက်(constructed)ထားသည်။

(၆) ပြတင်းပေါက်(၈)ခုရှိသည်။ ပြတင်းပေါက်များ(windows)တွင် မှန်အကြည်ပါရှိပြီး(clear, double-pane (1/4 in. [6.4 mm]) အလျူမီနီယံဘောင် (aluminum frames)ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ ပြတင်းပေါက်(window)တိုင်း၏ အတိုင်းအတာမှာ 4 ft wide x 5 ft high [1.2 m x 1.5 m] ဖြစ်သည်။

(၇) ခေါင်မိုးသည် အပြား(flat)ဖြစ်ပြီး 45 ft x 60 ft [13.7 m x 18.3 m] ကျယ်သည်။ ခေါင်မိုး(roof)ကို 4 in. [100 mm] concrete with 3.5 in. [90 mm] insulation and steel decking တို့ဖြင့် တည်ဆောက်(constructed) ထားသည်။

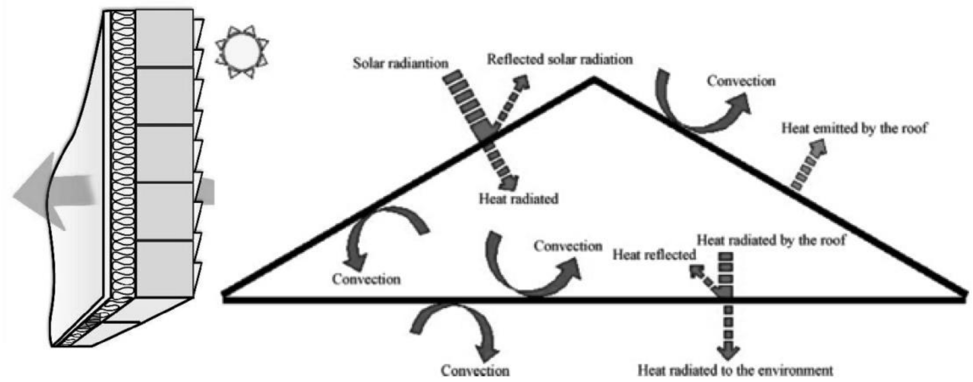
(၈) ရုံးခန်းဖြစ်သောကြောင့် နံနက်(၈)နာရီမှ ညနေ(၅)နာရီအထိသာ အခန်းကို အသုံးပြုသည်။ (Space is occupied from 8:00 a.m. until 5:00 p.m) လူ(၁၈)ယောက်အလုပ်လုပ်နေသည့် ရုံးခန်း ဖြစ်သည်။ (18 people doing moderately active work)

(၉) မီးချောင်းများကို အသုံးပြုထားသည်။ တစ်စတုရန်းပေလျှင် 2 W သို့မဟုတ် တစ်စတုရန်းမီတာလျှင် 21.5 W နှုန်း ဖြစ်သည်။ (Fluorescent lighting in space = 2 W/ft2 [21.5 W/m2])

(၁၀) Space အတွင်းရှိ ကွန်ပျူတာနှင့် ကိရိယာများအတွက် တစ်စတုရန်းပေလျှင် 0.5W သို့မဟုတ် တစ်စတုရန်းမီတာလျှင် 5.4 W နှုန်း ဖြစ်သည်။ ကော်ဖီဖျော်စက် ရှိသည်။

(Computers and office equipment in space = 0.5 W/ft2 [5.4 W/m2], plus one coffee maker.)

(၁၁) Room 101 ၌ West-facing exterior wall မှလွဲ၍ ကျန်နံရံများ အားလုံး၏ ဘေး၌ air con အခန်းများ ရှိသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူချိန်တူညီသည့် air con အခန်းများက ဝန်းရံထားသည်။ (surrounded by spaces that are air conditioned to the same temperature as this space)။ အပူချိန်တူညီသည့် air con အခန်းများက ဝန်းရံထားသောကြောင့် တွက်ချက်မှု လွယ်ကူသည်။ ဝန်းရံထားသည့်အခန်းများ၏ အပူချိန်မတူညီပါ ဖြစ်ပေါ်မည့် heat transfer ကို သီးခြား ထည့်တွက်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၁၁-၈ Conduction through Surfaces

၁၁.၄ Outdoor Design Conditions

	0.4%		1%		2%	
	DB	WB	DB	WB	DB	WB
St. Louis, Missouri	95°F [35°C]	76°F [25°C]	93°F [34°C]	75°F [24°C]	90°F [32°C]	74°F [23°C]

ပုံ ၁၁-၇ Outdoor design conditions

ပုံ(၁၁-၇)သည် St. Louis, Missouri ဒေသ၏ outdoor design condition ဖြစ်သည်။ ကော်လံ(columns) (၃)ခု ပါဝင်သည်။ ပထမကော်လံ(first column heading)သည် တစ်နှစ်ပတ်လုံး အပူဆုံးအချိန် 0.4% ၏ အပူချိန်၊ ဒုတိယကော်လံသည် အပူဆုံးအချိန် 1.0% ၏ အပူချိန် နှင့် တတိယ ကော်လံသည် 2.0% အတွက် ဖော်ပြထားသည်။

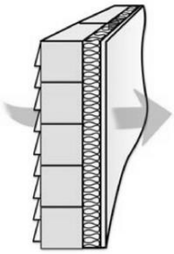
Dry Bulb temperatures and corresponding wet-bulb temperature များဖြစ်သည်။ 0.4% ဆိုသည်မှာ Dry Bulb temperature St. Louis ဒေသတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူဆုံးအပူချိန် ၄% သည် 95°F[35°C] ဖြစ်သည်။ (0.4% of all of the hours in an average year (or 35 hours))။ Dry Bulb temperature 95°F [35°C] ဖြစ်နေချိန်တွင် တွဲလျက် အများဆုံး ဖြစ်ပေါ် သည့်(most frequently) wet-bulb temperature သည် 76°F [25°C] ဖြစ်သည်။ ၁% သို့မဟုတ် နာရီပေါင်း (၈၇.၆)နာရီ ကျော်သည့် အပူချိန်သည် 95°F [35°C] ဖြစ်သည်။

ဒုတိယ column(second column heading)သည် အမြင့်ဆုံးအပူချိန် 1% ဖြစ်သည်။ 1% ဆိုသည်မှာ 93°F [34°C] ထက် ပိုမြင့်သည့်(အချိန်ကာလအားဖြင့် နာရီပေါင်း ၈၇.၆ နာရီ) အပူချိန် ၁% ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ (only 1% of all of the hours in an average year (or 87.6 hours))။ ထို Dry Bulb temperature 93°F [34°C] ဖြစ်နေသည့်အချိန်တွင် အများဆုံး ဖြစ်ပေါ်သည့် (occurs most frequently) wet-bulb temperature

သည် 75˚F [24˚C] ဖြစ်သည်။ ဤဉပမာအတွက် 95˚F [35˚C] dry bulb နှင့် 76˚F [25˚C] wet bulb ကို outdoor design condition အဖြစ် အသုံးပြု၍ တွက်ချက်မည်။ Outdoor design condition အကြောင်းကို အခန်း(၃)တွင် အသေးစိတ် ဖတ်ရှုနိုင်သည်။

တစ်နှစ်လုံး၏ ၁% သည် (၈၇.၆)နာရီ ဖြစ်သည်။ အပူချိန် DB 93˚F [34˚C]ထက် ပိုပူသည့် အချိန်ကာလသည် တစ်နှစ်လုံးတွင် (၈၇.၆)နာရီ ဖြစ်သည်။ DB 93˚F[34˚C] တွင် အများဆုံးတွဲလျက်ဖြစ်ပေါ်သည့် wet bulb သည် 75˚F [24˚C] ဖြစ်သည်။

၁၁.၅ U value သို့မဟုတ် U factor တန်ဖိုးတွက်ပုံ



Overall heat transfer coefficient ကို U-value သို့မဟုတ် U-factor ဟု ခေါ်သည်။ U-factor ဆိုသည်မှာ နံရံ၊ ခေါင်မိုး စသည့် အဆောက်အဦ၏ structure များကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူစီးကူးမှုနှုန်း ဖြစ်သည်။ နံရံ၊ ခေါင်မိုးများကို ပစ္စည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် အလွှာလိုက်ပြု လုပ်ထားကြသည်။ (Walls and roofs are typically made up of layers of several materials.)

ပုံ ၁၁-၉ Heat conduction through Surfaces

Shaded exterior surface ကို ဖြတ်၍(through) ဝင်ရောက်လာသည့် အပူပမာဏ(amount of heat transferred)သည် မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(area of the surface)၊ overall heat transfer coefficient (U တန်ဖိုး) နှင့် အပူချိန် ခြားနားချက်(dry-bulb temperature difference from one side of the surface to the other)ပေါ်တွင် မူတည်(depends)သည်။ Conduction ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat gain ကို တွက်ရန် အောက်ပါ ညီမျှခြင်း (equation)ကို အသုံးပြုသည်။

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{U} \times \boldsymbol{A} \times \Delta \boldsymbol{T}$$

Where Q = heat gain by conduction, Btu/hr [W]

U = overall heat-transfer coefficient of the surface, Btu/hr • ft^2 • °F [W/m^2 • K]

A = area of the surface ft^2 [m^2]

$\Delta \boldsymbol{T}$ = dry-bulb temperature difference across the surface ˚F [°C]

အပူချိန်ခြားနားချက်(temperature difference)ကို တွက်ရန် design outdoor dry-bulb temperature မှ desired indoor dry-bulb temperature (Ti)ကို နှုတ်ယူ ရသည်။

Overall heat transfer coefficient ကို U-factor ဟုခေါ်သည်။ U-factor ဆိုသည်မှာ အရာဝတ္ထုများကို အပူများ ဝင်ရောက်ဖြတ်သန်းသွားသည့်နှုန်း(rate at which heat will be transferred through the structure) ဖြစ်သည်။ တစ်ယူနစ် ဧရိယာတွင် အပူချိန် (၁)ဒီဂရီ စင်ဂရိတ် သို့မဟုတ် (၁)ဖာရင်ဟိုက် ကွာခြားမှုရှိပါက ဖြတ်သန်းဝင်ရောက်သွားမည့် အပူကူးပြောင်းနှုန်း ဖြစ်သည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် နံရံများ(walls)နှင့် ခေါင်မိုးများ(roofs)ကို ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်းများဖြင့် အလွှာလိုက်ပြုလုပ်(typically made up of layers of several materials)ထားသည်။ U-factor တန်ဖိုးကို တွက်ရန် နံရံများ (walls)နှင့် ခေါင်မိုးများ(roofs)တို့၏ အလွှာ တစ်ခုချင်းစီ၏ R တန်ဖိုး(thermal resistances (R-values) of each of these layers)ကို ပေါင်း၍ ပြောင်းပြန်လှန်ခြင်း(taking the inverse) ဖြစ်သည်။

ASHRAE Handbook—Fundamentals တွင် နံရံများ(walls)၊ ခေါင်မိုးများ(roofs)၊ မျက်နှာကြက်များ (ceilings) နှင့် ကြမ်းခင်းများ(floors) တည်ဆောက်ရာတွင် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည့်ပစ္စည်းများ(common materials)၏ R တန်ဖိုး(thermal resistance)ကို ဇယားများဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

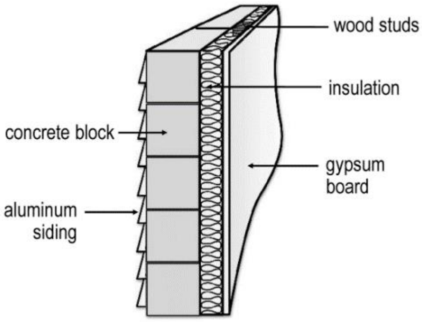
ယခုတွက်နေသည့် ဥပမာတွင် နံရံ(wall)ကို အောက်ပါပစ္စည်းများဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ ပစ္စည်းများ၏ R-value များကို ဇယားမှ ဖတ်ယူရသည်။

- Aluminum siding (R = 0.61 ft^2 • hr • °F/Btu [0.11 • m^2 . °K/W])
- 8 in. [200 mm] lightweight concrete block (R = 2.0 [0.35])
- 3.5 in. [90 mm] of fiberglass insulation (R = 13.0 [2.29])
- 1/2 in. [12.7 mm] gypsum board (R = 0.45 [0.08])

နံရံ၏ အပြင်ဘက်မျက်နှာပြင်(outside surface of the wall)တွင် လေအလွှာ(film of air)တစ်ခု တည်ရှိသည်။ နံရံ အပြင်ဘက်မျက်နှာပြင် လေအလွှာ၏ R တန်ဖိုး(film of air on the outside surface of the wall)သည် R = 0.25 [0.044] ဖြစ်သည်။ နွေရာသီ(summer)တွင် လေသည် တစ်နာရီလျှင် (၇.၅)မိုင်နှုန်း(air moving at 7.5 mph [12 km/hr])ဖြင့် တိုက်နေသည်ဟု ယူဆသတ်မှတ်သည်။ နံရံ၏ အတွင်းဘက်မျက်နှာပြင်တွင် နောက်ထပ် လေအလွှာ(၁)ခု (another film of air on the inside surface of the wall)ရှိသည်။ အတွင်းဘက် လေအလွှာ(film of air)၏ R တန်ဖိုး(R = 0.68 [0.12]) ဖြစ်သည်။ အခန်းအတွင်း၌ လေငြိမ်သည်ဟု ယူဆ (assuming still air) ထားသည်။

ထို့ကြောင့် U-factor နံရံ(wall) သို့မဟုတ် ခေါင်မိုး(roof) တစ်ခုချင်း(တစ်လွှာချင်း)စီ၏ အပူခုခံနိုင်စွမ်း (thermal resistances (R-values))ကို ပေါင်း၍ ပြောင်းပြန်လှန်ခြင်းဖြင့် ရနိုင်သည်။

ဇယားဖြင့် U-factor တွက်ယူပုံ



thermal resistance (R)

$R_{outdoor\text{-}air\ film}$	0.25	[0.04]
R_{siding}	0.61	[0.11]
$R_{concrete\ block}$	2.00	[0.35]
$R_{insulation}$	13.00	[2.29]
$R_{gypsum\ board}$	0.45	[0.08]
$R_{indoor\text{-}air\ film}$	0.68	[0.12]
R_{total}	16.99	[2.99]

$$U = \frac{1}{R_{total}}$$

$$U = 0.06\ Btu/hr \cdot ft^2 \cdot °F$$

$$[\ U = 0.33\ W/m^2 \cdot °K\ ]$$

ပုံ ၁၁-၁၀ U value သို့မဟုတ် U factor တန်ဖိုးတွက်ပုံ

ပုံသေနည်း ဖြင့် U-factor တွက်ယူပုံ

$$U = \frac{1}{R_{\substack{outdoor\\air\ film}} + R_{siding} + R_{\substack{concrete\\block}} + R_{insulation} + R_{\substack{gypsum\\board}} + R_{\substack{indoor\\air\ film}}}$$

$$U = \frac{1}{0.25 + 0.61 + 2.0 + 13 + 0.45 + 0.68} = \frac{1}{16.99} = 0.06\ Btu/hr \bullet ft^2 \bullet °F$$

$$\left[U = \frac{1}{0.04 + 0.11 + 0.35 + 2.29 + 0.08 + 0.12} = \frac{1}{2.99} = 0.33\ W/m^2 \bullet °K\right]$$

ဤဥပမာကို ယူနစ်(၂)မျိုးဖြင့် တွက်ချက်ဖော်ပြထားသည်။

ASHRAE Handbook—Fundamentals တွင် အပူခုခံမှု(thermal resistance) တန်ဖိုးများကို ဇယား(table) များဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ အသုံးများသည့် ဆောက်လုပ်ရေး ပစ္စည်းများ(commonly used constructing materials) နှင့် တည်ဆောက်ထားသည့် နံရံများ(walls)၊ ခေါင်မိုးများ(roofs)၊ မျက်နှာကြက်များ(ceilings)နှင့် ကြမ်းခင်းများ (floors) စသည် တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။

$$U = \frac{1}{\underset{\text{air film}}{R_{outdoor}} + \underset{\text{roofing}}{R_{built\ up}} + R_{insulation} + \underset{\text{concrete}}{R_{lightweight}} + \underset{\text{decking}}{R_{metal}} + \underset{\text{air film}}{R_{indoor}}}$$

$$U = \frac{1}{0.25 + 0.33 + 13 + 3.12 + 0 + 0.92} = \frac{1}{17.62} = 0.057\ \text{Btu/hr} \bullet \text{ft}^2 \bullet {}^\circ\text{F}$$

$$\left[U = \frac{1}{0.04 + 0.06 + 2.29 + 0.54 + 0 + 0.16} = \frac{1}{3.09} = 0.323\ \text{W/m}^2 \bullet {}^\circ\text{K}\right]$$

1997 ASHRAE Handbook–Fundamentals, Chapter 24, Table 4 ကို ကိုးကား(reference) ထားသည်။ အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူသည့်နံရံ(west-facing wall)သည် အချိန်ပြည့် အရိပ်ကျနေသည်(completely shaded at all times)ဟု ယူဆသည်။ နံရံ(wall)၏ conduction heat gain သည် 388 Btu/hr [133 W] ဖြစ်သည်။

၁၁.၆ Conduction Heat Gain Through Shaded Wall

Conduction heat gain through the west-facing wall (assume shaded at all times)ကို တွက်ရန်

ဤဥပမာတွင် west-facing wall သည် အချိန်တိုင်း အမြဲအရိပ်ကျရောက်(assume shaded at all times) နေသည်။

U-factor = 0.06 Btu/hr•ft^2•°F [0.33 W/m^2 • K]

နံရံနှင့် ပြတင်းပေါက်တို့၏ ဧရိယာသည်

Total area of wall + windows = 12 ft x 45 ft = 540 ft^2 [3.7 m x 13.7 m = 50.7 m^2]

ပြတင်းပေါက်(၈)ပေါက် ဧရိယာ(Area of windows)

Area of windows= 8 windows x (4 ft x 5 ft) = 160 ft^2 [8 x (1.2 m x 1.5 m) = 14.4 m^2]

နံရံ၏ ဧရိယာ နံရံနှင့် ပြတင်းပေါက်များ၏ စုစုပေါင်းဧရိယာမှ ပြတင်းပေါက် (၈)ပေါက်၏ ဧရိယာကို နုတ်လျှင် နံရံဧရိယာကို ရသည်။

Net area of wall = 540 – 160 = 380 ft^2 [50.7 – 14.4 = 36.3 m2]

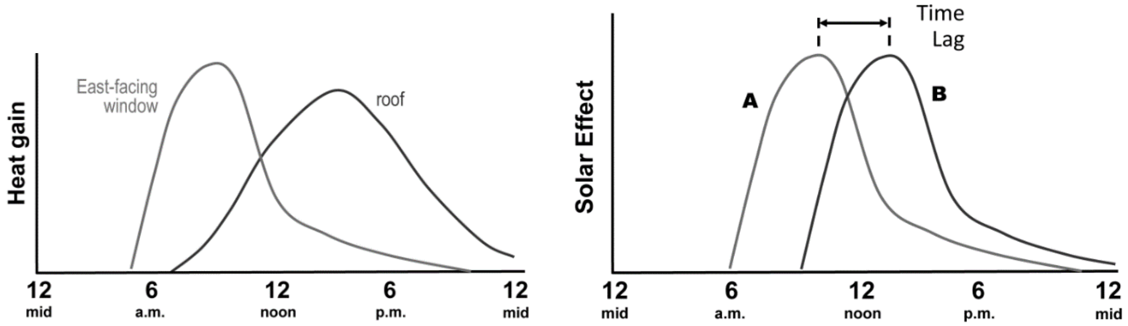
ΔT = outdoor temperature (95˚F [35˚C]) – indoor temperature (78˚F [25.6°C])

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

Q = 0.06 x 380 x (95 – 78) = 388 Btu/hr

[Q = 0.33 x 36.3 x (35 – 25.6) = 113 W]

၁၁.၇ နေရောင်ထိုးခြင်းခံရသည့် မျက်နှာပြင်များ(Sunlit Surfaces)



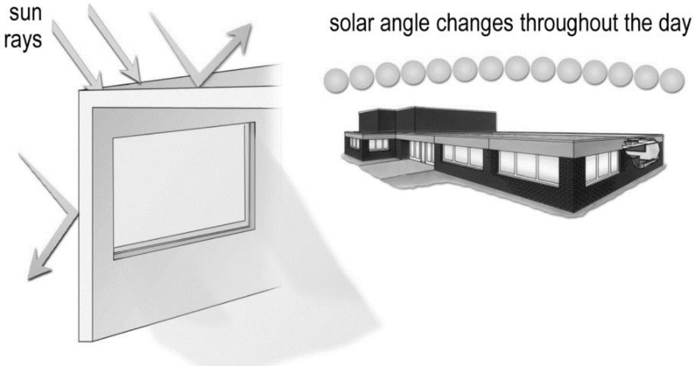
ပုံ ၁၁-၁၁ Time of peak cooling load

ဥပမာ- နံနက်ခင်းနေရောင်သည် နံရံ၏ အပြင်ဘက်မျက်နှာပြင်ပေါ်သို့ ကျရောက်(sunlight that fell on the outer surface of the wall)သောကြောင့် sunlit wall ကို ဖြတ်၍ အပူများ space အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည်။

Curve A သည် အပြင်ဘက်နံရံ(exterior wall)ပေါ်သို့ ကျရောက်သည့် solar effect ၏ ပမာဏ (magnitude of the solar effect) ဖြစ်သည်။

Curve B သည် နံရံကို ဖြတ်၍(through the wall) space အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူများ(heat transferred) ဖြစ်သည်။ အပူတိုးလာမှု နောက်ကျခြင်း(delay in the heat gain to the space)သည် time lag ကြောင့် ဖြစ်သည်။ Time lag ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏ(magnitude of this time lag)သည် နံရံ(wall) သို့မဟုတ် ခေါင်မိုး(roof) စသည်တို့ကို ဆောက်လုပ်ထားသည့် ပစ္စည်းများ(materials used to construct) ၏ အပူကို စုပ်ယူ သိုလှောင်နိုင်စွမ်း(capacity to store heat)နှင့် ထုထည် အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

အဆောက်အဦ၏ ပြင်ပနံရံများ၊ ပြတင်းပေါက်များပေါ်သို့ အချိန်နာရီအနည်းငယ်ခန့် နေရောင်တိုက်ရိုက် ကျရောက်ခြင်း ခံရသည်။ (most exterior surfaces of a building, however, are exposed to direct sunlight during some portion of the day)။ Radiant heat ဖြာထွက်မှုသည် အလင်းရောင်(light) ဖြာထွက်မှုနှင့် တူညီသည်။ မျဉ်းဖြောင့်(straight line)အတိုင်း ဖြာထွက်သည်။ တောက်ပသည့် မျက်နှာပြင်(bright surface)နှင့် ထိတွေ့သည့်အခါ အရောင်ပြန်(reflect ဖြစ်)သည်။ အလင်း(light)နှင့် radiant heat နှစ်မျိုးလုံးသည် မှန်ကဲ့သို့ ကြည်လင်သည့် မျက်နှာပြင်(transparent surface)များကို ဖြတ်သန်းသွားနိုင်သည်။



ပုံ ၁၁-၁၂ နေရောင်ထိုးခြင်းခံရသည့် မျက်နှာပြင်များ(Sunlit Surfaces)

Opaque surface များသည် မှန်ကဲ့သို့လည်းကြည်လင်ခြင်း မရှိ၊ သစ်သား၊ ကွန်ကရစ် ကဲ့သို့ အလင်းရောင်ကို ပိတ်ဆို့နိုင်စွမ်း မရှိသည့် တစ်ဝက်တစ်ပျက် အလင်းရောင် ဖောက်သွား(ဖြတ်သန်း)နိုင်သည့် မျက်နှာပြင် ဖြစ်သည်။

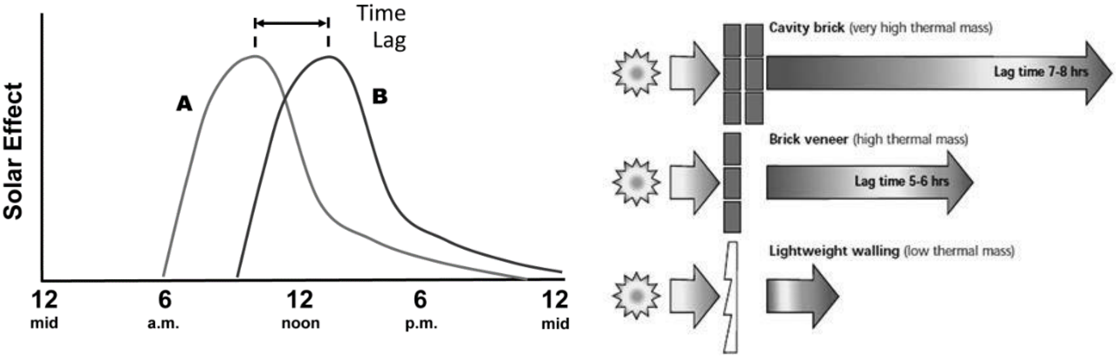
နေရောင်ခြည်များ(sun's rays)သည် တစ်ဝက်တစ်ပျက် အလင်းရောင်ဖောက်သွားနိုင်သည့် မျက်နှာပြင် (opaque surface) များပေါ်သို့ ကျရောက်သည့်အခါ အပူစွမ်းအင် ပမာဏ(certain amount of radiant heat energy) တချို့သည် ထိုမျက်နှာပြင်(surface)ကို ဖြတ်၍ အတွင်းဘက်သို့ ကူးပြောင်းသွားကာ မျက်နှာပြင်အပူချိန် (surface temperature) ပိုများလာသည်။

ကူးပြောင်းသွားသည့် အပူပမာဏ(amount of heat transferred)သည် အရောင်(color)နှင့် မျက်နှာပြင် ချောမွေ့မှု(smoothness of the surface)၊ မျက်နှာပြင်ပေါ်သို့ နေရောင်ကျ ရောက်သည့်ထောင့်(angle at which the sun's rays strike the surface) စသည်တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

နေရောင်ခြည်တန်းများ(sun's rays)သည် မျက်နှာပြင်ပေါ်သို့ တိုက်ရိုက်(၉၀)ဒီဂရီထောင့်(90° angle)ဖြင့် ကျ ရောက်လျှင် ထိုမျက်နှာပြင်(surface)ပေါ်သို့ radiant heat energy အများဆုံး ကျရောက်သည်။ (၉၀) ဒီဂရီထက် ပိုနည်းလေ မျက်နှာပြင်ပေါ်သို့ကျရောက်သည့် အပူပမာဏ(radiant heat energy) ပိုနည်းလေ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် (၉၀)ဒီဂရီထောင့်(90° angle)သည် မျက်နှာပြင်ပေါ်တည့်တည့်တွင်မှ နေရောင်ထိုးသကဲ့သို့ ဖြစ်နေသောကြောင့် မျက်နှာပြင်(surface)ပေါ်သို့ radiant heat energy အများဆုံး ကျရောက်ခြင်း ဖြစ်သည်။

မျက်နှာပြင်(surface) ပေါ်သို့ နေရောင်ခြည်ကျရောက်သည့်ထောင့်(angle at which the sun's rays)သည် လတ္တီတွဒ်(latitude)၊ ကျရောက်သည့်အချိန်(time of day)နှင့် ကျရောက်သည့်လ(month of the year) စသည်တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ကမ္ဘာသည် နေကို လည်ပတ်နေသောကြောင့် နေရောင်ခြည် ကျရောက်သည့် ထောင့်သည် အမြဲတမ်း ပြောင်းလဲနေသည်။ နေသွားလမ်းကြောင်း(sun path) ပြောင်းလဲနေသောကြောင့် နေရောင်ခြည်စူးရှမှု ပြင်းအား(intensity of the solar radiation) ပြောင်းလဲနေသည်။ အဆောက်အဦပြင်ပ မျက်နှာပြင်(exterior surface of a building)အပေါ် သို့ကျရောက်သည့် solar heat သည် ထိုမျက်နှာပြင်(surface) ထဲသို့ ဝင်ရောက်သွားကာ မျက်နှာပြင် အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။

မျက်နှာပြင်ပေါ်သို့ နေရောင်လုံးဝကျရောက်ခြင်းမရှိ(surface is completely shaded)လျှင် radiation heat gain မဖြစ်ပေါ်ပေ။ အဆောက်အဦများအားလုံးနီးပါးတွင်(solar heat) နေရောင်ခြည်ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အပူသည် total cooling load တွင် အရေးကြီးသည့် အစိတ်အပိုင်း ဖြစ်သည်။(Solar heat is an important part of the total cooling load of most buildings.)



ပုံ ၁၁-၁၃ Time Lag ဖြစ်ပေါ်ပုံ

ဥပမာ အပူ(heat)သည် sunlit wall ကို ဖြတ်သန်း၍ space အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည်။ ဝင်လာသည့် နေရောင်(sunlight)သည် နံနက်ပိုင်းအချိန်(earlier in the day)တွင် နံရံ၏ ပြင်ပမျက်နှာပြင်(outer surface of the wall) ပေါ်သို့ကျရောက်သည်။

Curve A သည် solar effect ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏ(magnitude)ဖြစ်သည်။ ပြင်ပနံရံ(exterior wall)ပေါ်သို့ နေရောင် ထိုးခြင်းကြောင့်(solar effect ကြောင့်)ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏ(magnitude) ဖြစ်သည်။ Curve B သည် space အတွင်းသို့ နံရံကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် ပမာဏ(resulting heat that is transferred through the wall) ဖြစ်သည်။ Space အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူများ(heat gain to the space)သည် အချိန် အနည်းငယ် နောက်ကျ(delay)သည်။ ထိုကဲ့သို့ အချိန် နောက်ကျပြီးမှ ဝင်လာသည့်အပူများ heat gain အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားခြင်းကို "time lag" ဟုခေါ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ အချိန်နောက်ပြီး ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အပူပမာဏ (magnitude of this time lag)သည် ဆောက်လုပ်ထားသည့် ပစ္စည်း အမျိုးအစား(materials used to construct the)အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ နံရံ(wall) သို့မဟုတ် ခေါင်မိုး(roofs)တို့ တည်ဆောက် ထားသည့် ပစ္စည်းများ၏ အပူကို စုပ်ယူသိုလှောင် နိုင်စွမ်း(capacity to store heat)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

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
CLTD (°F)	35	30	25	21	17	14	11	8	7	6	6	7	8	10	12	16	22	30	37	44	48	48	45	41
CLTD (°C)	19	17	14	12	9	8	6	4	4	3	3	4	4	6	7	9	12	17	21	24	27	27	25	23

ပုံ ၁၁-၁၄ CLTD table

၁၁.၇.၁ Conduction Heat Gain Through Sunlit Surface

$$\mathbf{Q} = \mathbf{U} \times \mathbf{A} \times \mathbf{CLTD}$$

CLTD သည် နည်းပညာဝေါဟာရ ဖြစ်သည်။ ပြင်ပနံရံများ(exterior walls)၊ ခေါင်မိုးများ(roofs)၊ ပြတင်းပေါက်များ(windows) စသည် မျက်နှာပြင်များပေါ်သို့ နေရောင်ကျ ရောက်သည့်အခါ အပူကူးပြောင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအပူများကို နံရံနှင့် ခေါင်မိုးတို့က သိမ်းဆည်း သိုလှောင်ထားခြင်းကြောင့် time lag ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအချက်နှစ်ချက်ကို ထည့်သွင်းစဉ်းစား တွက်ချက်လိုသောကြောင့် Cooling Load Temperature Difference (CLTD) factor ကို အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။ ∆T နေရာတွင် CLTD ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။

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

CLTD Factor For West Facing Wall

ညီမျှခြင်းတွင် ပါရှိသည့် အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperature difference)သည် capacity နှင့် time lag ကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားထားခြင်း မရှိပေ။

အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူသည့်နံရံ(west-facing wall)အတွက် ဇယားတွင် ဖော်ပြထားသည့် CLTD factor တန်ဖိုးတွင် အောက်ပါ အချက်များကို assume လုပ်ထားသည်။

- 78°F [25.6°C] indoor air
- 95°F [35°C] maximum outdoor air
- Average outdoor daily temperature range of 21°F [11.7°C]
- 21st day of July
- 40° north latitude
- Dark-colored surface

Cooling load တွက်ရန် လိုအပ်သည့် အချက်အလက်များကို ဖတ်ရှုရမည့်ဇယားများကို 1997 ASHRAE Handbook — Fundamentals and ASHRAE's Cooling and Heating Load Calculation Principles manual တွင် ရရှိနိုင်သည်။ Table 11-1 သည် IP ယူနစ် ဒီဂရီ ဖာရင်ဟိုက်အတွက်ဖြစ်သည်။ Table 11-2 သည် SI ယူနစ် ဒီဂရီ စင်တီဂရိတ်အတွက် ဖြစ်သည်။ မိမိတွက်နေသည့် ယူနစ်နှင့်ကိုက်ညီသည့် ဇယားကို ရွေးချယ်ဖတ်ရှုရမည်။ ယူနစ် မတူလျှင် ဖတ်ရှုရမည့် ဇယားများကွဲပြားပုံကို သတိပြုသင့်သည်။

Table 11-1 CLTDs for Sunlit Walls (40° North Latitude, July 21) (°F)

	Wall Type 9																							
	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
N	17	15	13	11	9	7	5	4	4	4	5	7	8	10	12	15	17	19	21	22	23	23	22	20
NE	18	15	13	11	9	7	5	5	6	10	16	20	23	25	26	27	27	28	28	27	26	25	23	20
E	20	17	14	12	10	8	6	5	7	12	19	26	32	36	37	37	37	36	34	33	31	29	26	23
SE	20	17	15	12	10	8	6	5	6	9	13	19	25	31	34	36	37	36	35	34	32	29	26	23
S	21	18	15	12	10	8	6	5	4	3	4	6	10	14	20	25	29	33	34	34	32	30	27	24
SW	31	26	22	18	15	12	9	7	6	5	5	6	8	10	14	19	26	33	39	43	45	44	40	36
W	35	30	25	21	17	14	11	8	7	6	6	7	8	10	12	16	22	30	37	44	48	48	45	41
NW	29	25	21	17	14	11	9	7	5	5	5	6	7	9	11	14	18	22	28	34	37	38	36	33

မြောက်အရပ်ကိုမျက်နှာမူထားသည့် နံရံနှင့် ခေါင်မိုး(west-facing wall and the roof)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် conduction heat gain ကို တွက်ရန် ∆T နေရာတွင် CLTD ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ (Using CLTD instead of ∆T to calculate conduction heat gain)။ U-factor တန်ဖိုးတွက်ခြင်းကို ရှေ့တွင် ဖော်ပြပြီး ဖြစ်သည်။

Conduction heat gain through the west-facing sunlit wall:

- U-factor = 0.06 Btu/hr • ft^2 • °F [0.33 W/m^2 • K]
- Net area of wall = 380 ft^2 [36.3 m2]

- CLTD$_{hour=17}$ = 22˚F [12°C]

Q = 0.06 x 380 x 22 = 502 Btu/hr [Q = 0.33 x 36.3 x 12 = 144 W]

Table 11-2 CLTDs for Sunlit Walls (40° North Latitude, July 21) (°C)

	Wall Type 9																							
	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
N	9	8	7	6	5	4	3	2	2	2	3	4	4	6	7	8	9	11	12	12	13	13	12	11
NE	10	8	7	6	5	4	3	3	3	6	9	11	13	14	14	15	15	16	16	15	14	14	13	11
E	11	9	8	7	6	4	3	3	4	7	11	14	18	20	21	21	21	20	19	18	17	16	14	13
SE	11	9	8	7	6	4	3	3	3	5	7	11	14	17	19	20	21	20	19	19	18	16	14	13
S	12	10	8	7	6	4	3	3	2	2	2	3	6	8	11	14	16	18	19	19	18	17	15	13
SW	17	14	12	10	8	7	5	4	3	3	3	3	4	6	8	11	14	18	22	24	25	24	22	20
W	19	17	14	12	9	8	6	4	4	3	3	4	4	6	7	9	12	17	21	24	27	27	25	23
NW	16	14	12	9	8	6	5	4	3	3	3	3	4	5	6	8	10	12	16	19	21	21	20	18

Source: *1997 ASHRAE Handbook—Fundamentals*, Chapter 28, Table 32

၁၁.၇.၂ Conduction Heat Gain Through the Roof

Table 11-3 [Table 11-4] တွင် ခေါင်မိုးအမျိုးမျိုး(several types of roofs) တို့၏ CLTD factor ကို ဖော်ပြထားသည်။ ယခုတွက်နေသည့် ဥပမာမှ ခေါင်မိုး(roof)သည် Roof Type 2 အမျိုးအစားဖြစ်သည်ဟု သတ်မှတ်(classified)သည်။ Table 3 [Table 4]မှ ဒေတာများသည် CLTD table for walls table မှ ယူဆချက်များနှင့် တူညီ(similar assumptions)သည်။ Hour 17 အချိန်တွင် ခေါင်မိုးပြန့်(flat roof type)၏ အပူချိန် 80˚F [44°C] အတွက် CLTD တန်ဖိုးကို ဖတ်ယူသည်။ ဇယားမှ 17hr တွင် ခေါင်မိုးပြန့်၏ CLTD အပူချိန်ကို ဖတ်ယူလျှင် 80˚F ရသည်။ 17hr ကော်လံနှင့် Roof type 2 အတန်းတို့ ဆုံသည့်နေရာမှ ဖတ်ယူပါ။

Conduction heat gain through the roof:

- U-factor = 0.057 Btu/hr • ft^2 • °F [0.323 W/m^2 • K]
- Area of roof = 45 ft x 60 ft = 2,700 ft^2 [13.7 m x 18.3 m = 250.7 m^2]
- CLTDhour=17 = 80˚F [44°C]

Q = 0.057 x 2,700 x 80 = 12,312 Btu/hr

[Q = 0.323 x 250.7 x 44 = 3,563 W]

Table 11-3 CLTDs for Flat Roofs (40° North Latitude, July 21), °F

	Hour																							
Roof Type	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	-2	-4	-5	-6	-6	0	13	29	45	60	73	83	88	88	83	73	60	43	26	15	9	5	2
2	2	0	-2	-4	-5	-6	-4	4	17	32	48	62	74	82	86	85	80	70	56	39	25	15	9	5
3	12	8	5	2	0	-2	0	5	13	24	35	47	57	66	72	74	73	67	59	48	38	30	23	17
4	17	11	7	3	1	-1	-3	-3	0	7	17	29	42	54	65	73	77	78	74	67	56	45	34	24
5	21	16	12	8	5	3	1	2	6	12	21	31	41	51	60	66	69	69	65	59	51	42	34	27

Table 11-4 CLTDs for Flat Roofs (40° North Latitude, July 21), (°C)

	Hour																							
Roof Type	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	13
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

ဥပမာတွင် ဖော်ပြထားသည့် နံရံအမျိုးအစား(wall type)သည် 9 ဖြစ်သည်။ 4 p.m. ကို ဇယားတွင် ဖတ်ယူသည့် အခါ Hour 17 ကော်လံ(Hour 17 in this table)တွင် ဖတ်ယူရသည်။ အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူသည့် နံရံ(west-facing wall)၏ CLTD သည် 22°F [12°C] ဖြစ်သည်။ သို့သော် အမှန်တကယ်အပူချိန်ကွာခြားချက်(actual Dry Bulb temperature difference)သည် 17°F (95°F – 78°F) [9.4°C (35°C – 25.6°C)]သာ ဖြစ်သည်။ နေရောင်ခြည်သည် အပြင်မျက်နှာပြင် နေရာသို့ ကျရောက်နေသောကြောင့်(sun shining on the outer surface of this wall increases the "effective temperature difference") 22°F [12°C] အဖြစ် တွက်ယူရသည်။

မွန်းလွဲပိုင်း(later in the day)တွင် CLTD တန်ဖိုး ပိုများ(increases)လာသည်။ ညနေပိုင်း(evening)တွင် CLTD တန်ဖိုး လျော့နည်း(decrease)သွားသည်။ နံရံများ(walls)အတွင်း၌ သိမ်းဆည်းထားသည့် အပူများ(stored heat) space အတွင်းသို့ ထုတ်လွှတ်လိုက်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

CLTD တန်ဖိုးများသည် နေ့လယ်ပိုင်းအချိန်များတွင် ပိုများလာပြီး ညနေခင်းအချိန်များတွင် လျော့နည်းသွားသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ညနေခင်းတွင် သိမ်းဆည်းထားသည့်အပူ(stored heat)များသည် နံရံအတွင်းမှ အခန်းထဲသို့ လုံးဝ ဝင်ရောက်သွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

၁၀.၇.၃ Conduction heat gain through the west-facing west-facing windows

$$Q_{Window} = U \times A \times CLTD$$

$$Q_{Window} = 0.63 \times 160 \times 13 = 1310\ Btu/hr\ [\ Q_{Window} = 3.56 \times 14.4 \times 7 = 359\ W\ ]$$

U-factor ကို အသုံးပြု၍ conduction ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော heat gain ပမာဏကို တွက်သည်။ အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူနေသော ပြတင်းပေါက်(၈)ခု (eight west-facing windows)မှ Table 5 [Table 6] ကို 1997 ASHRAE Handbook—Fundamentals and includes CLTD factors for glass မှ ထုတ်ယူထားသည်။ အလားတူ ယူဆချက်များ(similar assumptions)ကို အခြေခံထားသည်။ CLTD table မှ နံရံနှင့် ခေါင်မိုး(walls and roofs) ညနေ(၅)နာရီတွင် ဖြစ်ပေါ်သော(Hour 17) မှန်ပြတင်းပေါက်(glass window)များအတွက် CLTD တန်ဖိုးသည် 13°F [7°C] ဖြစ်သည်။

U Factor for Window

fixed frames, vertical installation	aluminum without thermal break	aluminum with thermal break	wood/vinyl
single glazing			
1/8 in. [3.2 mm] glass	1.13 [6.42]	1.07 [6.07]	0.98 [5.55]
double glazing			
1/4 in. [6.4 mm] air space	0.69 [3.94]	0.63 [3.56]	0.56 [3.17]
1/2 in. [12.8 mm] air space	0.64 [3.61]	0.57 [3.22]	0.50 [2.84]
1/4 in. [6.4 mm] argon space	0.66 [3.75]	0.59 [3.37]	0.52 [2.98]
1/2 in. [12.8 mm] argon space	0.61 [3.47]	0.54 [3.08]	0.48 [2.70]
triple glazing			
1/4 in. [6.4 mm] air spaces	0.55 [3.10]	0.48 [2.73]	0.41 [2.33]
1/2 in. [12.8 mm] air spaces	0.49 [2.76]	0.42 [2.39]	0.35 [2.01]
1/4 in. [6.4 mm] argon spaces	0.51 [2.90]	0.45 [2.54]	0.38 [2.15]
1/2 in. [12.8 mm] argon spaces	0.47 [2.66]	0.40 [2.30]	0.34 [1.91]

မှန်များကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသော solar radiation ကြောင့်(solar radiation through glass) ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူပမာဏ(heat transferred through glass windows)ကို တွက်ခဲ့ပြီး ဖြစ်သည်။ ပြတင်းပေါက်(window)ကို ဖြတ်၍ conduction ကြောင့် ဝင်ရောက်လာသည့် heat gain ကို တွက်သည့် တွက်နည်းသည် နံရံများ(walls)နှင့် ခေါင်မိုးများ(roofs)ကို တွက်သည့်နည်းနှင့် တူညီသည်။

ယခုတွက်နေသည့် ဥပမာမှ ပြတင်းပေါက်များ(windows)သည် double-pane window များဖြစ်ကြပြီး မှန်(၂)ချပ်အကြားတွင် 1/4-inch [6.4 mm] air space ရှိသည်။ ပြတင်းပေါက်များ(windows)သည် ဖွင့်၍ ပိတ်၍ မရသည့် အသေ(fixed or not operable) တပ်ထားသည့် အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ အလူမီနီယံဘောင်(aluminum frames)နှင့် thermal break ပါရှိသည်။ U-factor သည် 0.63 Btu/hr • ft^2 • °F [3.56 W/m^2• K] ဖြစ်သည်။ 1997 ASHRAE Handbook— Fundamentals မှ အသုံးများသည့် ပြတင်းပေါက်များ(common window assemblies)၏ U-factor တန်ဖိုးများကို အသုံးပြုထားသည်။

အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူနေသော ပြတင်းပေါက်(west-facing window) (၈)ပေါက်၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် conduction heat gain ပမာဏ(conduction, through the eight west-facing windows ရရန်အတွက်)ကို တွက်ရန်အတွက် U-factor ကို အသုံးပြု၍ heat gain ကို တွက်သည်။

shading coefficient at normal incidence

	aluminum frame		other frames	
	operable	fixed	operable	fixed
uncoated single glazing				
1/4 in. [6.4 mm] clear	0.82	0.85	0.69	0.82
1/4 in. [6.4 mm] green	0.59	0.61	0.49	0.59
reflective single glazing				
1/4 in. [6.4 mm] SS on clear	0.26	0.28	0.22	0.25
1/4 in. [6.4 mm] SS on green	0.26	0.28	0.22	0.25
uncoated double glazing				
1/4 in. [6.4 mm] clear - clear	0.70	0.74	0.60	0.70
1/4 in. [6.4 mm] green - clear	0.48	0.49	0.40	0.47
reflective double glazing				
1/4 in. [6.4 mm] SS on clear - clear	0.20	0.18	0.15	0.17
1/4 in. [6.4 mm] SS on green - clear	0.18	0.18	0.15	0.16

SS = stainless-steel reflective coating

Table 11-5 [Table 11-6] 1997 ASHRAE Handbook—Fundamentals မှ ကောက်နုတ် ဖော်ပြထားသည့် ဇယားဖြစ် သည်။ မှန်(glass)အတွက် CLTD factor ပါဝင်သည်။ အလားတူယူဆချက်များ(similar assumptions)ကို အခြေခံထားသည့် CLTD table များ ဖြစ်ကြသည်။

Table မှ ညနေ(၅)နာရီ(Hour 17)တွင် ပြတင်းပေါက်မှန်(glass window)အတွက် CLTD တန်ဖိုး (CLTD for a glass window is 13°F [7°C])ကို ဖတ်လျှင် CLTD သည် 13°F ဖြစ်သည်။

အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူနေသော ပြတင်းပေါက်များ(west-facing windows) ၏ conduction heat gain ပမာဏကို တွက်ရန် အတွက် (Conduction heat gain through the west-facing windows)

- U-factor = 0.63 Btu/hr • ft^2 • °F [3.56 W/m^2 • K]
- Total area of glass = 8 windows x (4 ft x 5 ft) = 160 ft^2 [8 x (1.2m x 1.5 m) = 14.4 m^2]

- $CLTD_{hour=17}$ = 13°F [7°C]

  Q = 0.63 x 160 x 13 = 1,310 Btu/hr **[Q = 3.56 x 14.4 x 7 = 359 W]**

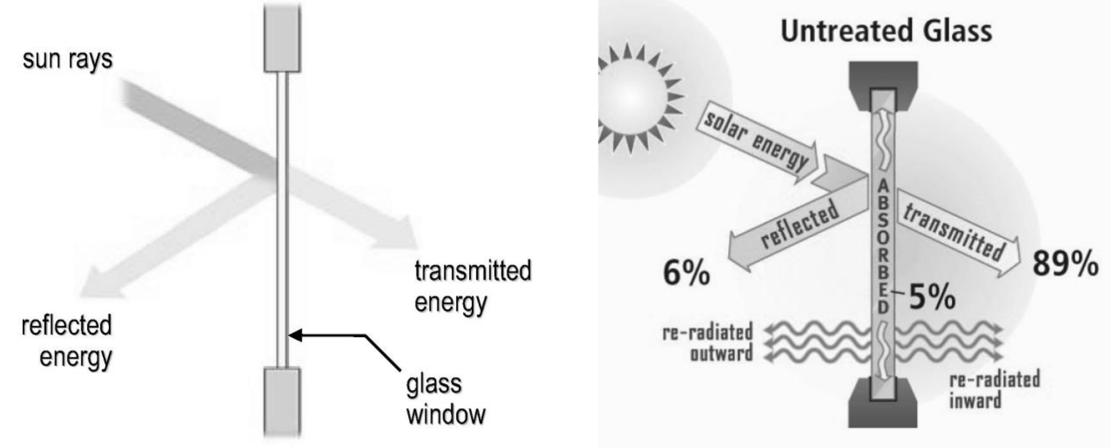
Table 11-5. CLTDs for Glass, (°F)

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	-2	-2	-2	0	2	4	7	9	12	13	14	14	13	12	10	8	6	4	3	2

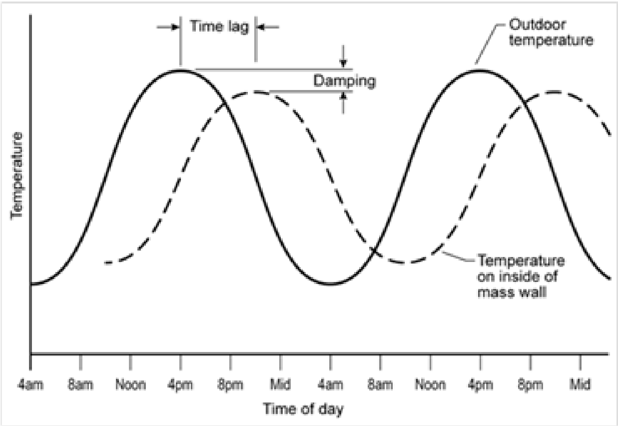
Table 11-6. CLTDs for Glass (°C)

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	-1	-1	-1	-1	0	1	2	4	5	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	1

Source: *1997 ASHRAE Handbook—Fundamentals*, Chapter 28, Table 34



ပုံ ၁၁-၁၅ Solar radiation through glass



ပုံ ၁၁-၁၆ Time Lag

၁၁.၈ Solar Radiation through Glass

ပြတင်းပေါက်(window) သို့မဟုတ် skylight ပေါ်သို့ ကျရောက်သည့် နေရောင်(radiated through the glass and transmitted directly into the space)ကြောင့် conduction ဖြစ်ပေါ်ကာ solar heat energy အများစုသည် မှန်ကိုဖြတ်၍ space အတွင်းသို့ တိုက်ရိုက်ဝင်ရောက်သည်။ မှန်ကိုနေရောင်ထိုး၍ ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူပမာဏ(amount of solar heat radiated through the glass)သည် မှန်အမျိုးအစား(reflective characteristics of the glass)နှင့် နေရောင်ထိုးသည့်ထောင့်(angle at which the sun's rays strike the surface of the glass) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

မှန်(၂)ထပ်၊ (၃)ထပ် ပြုလုပ်ထားလျှင်(glass windows of double- pane or triple-pane construction) conduction ကြောင့် ဖြစ်သော အပူစီးကူးမှု(heat transfer by conduction)ကို ကောင်းစွာ လျှော့ချနိုင်သည်။ အခန်းအတွင်းသို့ တိုက်ရိုက်ဝင်ရောက်လာသည့် solar heat (amount of solar directly into a space)ကိုတော့ လျှော့ချနိုင်စွမ်းမရှိပေ။ အခန်းအတွင်းသို့ တိုက်ရိုက်ဝင်ရောက်လာသည့် ပမာဏ(amount of solar directly into a space)ကို ထိန်းချုပ်ရန်၊ လျှော့ချရန်အတွက် heat-absorbing glass များ ၊ reflective glass များ သို့မဟုတ် အရိပ်ကျအောင် လုပ်ပေးနိုင်သည့် ကိရိယာများ(internal or external shading devices) စသည်တို့ကို အသုံးပြုရမည်။

1997 ASHRAE Handbook — Fundamentals တွင် မှန်များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် solar heat gain ကို ခန့်မှန်းသည့် တွက်နည်းသစ်(new, more advanced methods of estimating solar heat gain through glass) များပါဝင်သည်။

မှန်ကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် solar (solar heat gain through glass)ကို တွက်သည့်ညီမျှခြင်းမှာ

$$Q = A \times SC \times SCL$$

where,
Q = heat gain by solar radiation through glass, Btu/hr [W]
A = total surface area of the glass, ft^2 [m^2]
SC = shading coefficient of the window, dimensionless
SCL = solar cooling load factor, Btu/hr. ft^2 [W/m^2]

Solar Cooling Load Factor(SCL) သည် အောက်ပါအချက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

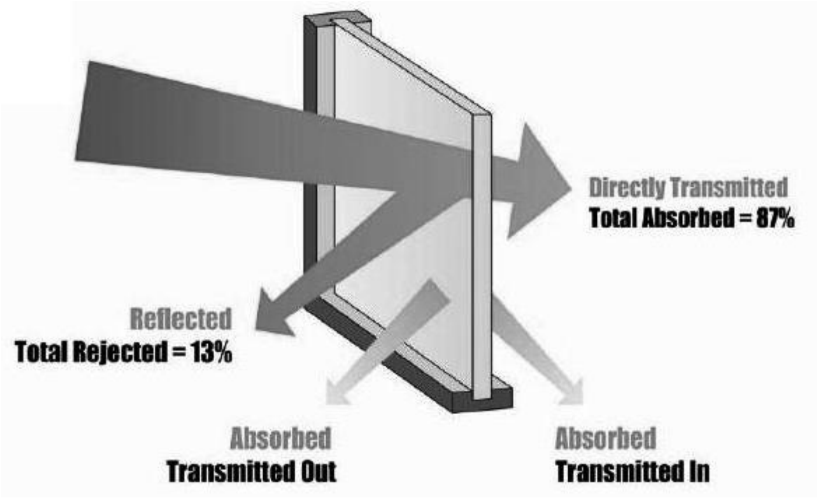
- Direction that the window faces
- Time of day
- Month
- Latitude
- Construction of interior partition walls
- Type of floor covering
- Existence of internal shading devices

Space အတွင်းသို့ တိုက်ရိုက် radiate လုပ်သည့် solar energy သည် အခန်းအတွင်းရှိ မျက်နှာပြင်များနှင့် ပရိဘောဂများကို ပူစေ(heats up the surfaces and furnishings)သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူချိန်မြင့်တက်စေသည်။ အပူချိန်မြင့်တက်လာပြီးနောက် sensible heat အဖြစ်ထုတ်လွှတ်(later released to the space as a sensible heat gain)သည်။ ထို့နောက် **Solar Cooling Load(SCL) factor** သည် CLTD ကဲ့သို့ပင် SCL factor တွင် အပူစုပ်ယူသိုလှောင်နိုင်စွမ်း(capacity of the space to absorb and store heat)ကို ထည့်သွင်းထားပြီးသား ဖြစ်သည်။

SCL သည် အချက်အလက်များစွာ(several variables) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ပြတင်းပေါက် မျက်နှာမူသည့် အရပ်(direction that the window is facing)၊ အချိန် ၊ လ၊ လတ္တီတွဒ်(time of day, month, and latitude)တို့ ပါဝင်သည်။ ထိုအချက်လေးမျိုး(four variables)သည် ပြတင်းပေါက် မျက်နှာပြင်ပေါ်သို့ နေရောင်ထိုးသည့်ထောင့်(angle at which the sun's rays strike the surface of the window)ကို သတ်မှတ်ပေးသည်။ ဖြစ်စေသည်။

တခြား(၂)ခုမှာ အခန်းအတွင်း နံရံများ တည်ဆောက်ထားပုံ(construction of the interior partition walls) နှင့် ကြမ်းခင်း သို့မဟုတ် ကြမ်းပြင်ကို ကာရံထားသည့် ကော်ဇော အမျိုးအစား(type of floor covering) တို့၏ အပူကို သိုလှောင်ထားနိုင်စွမ်း(capacity of the space to store heat) ဖြစ်သည်။ ၎င်းတို့ကြောင့် Time lag ဖြစ်ပေါ်သည်။

Time lag ဖြစ်ပေါ်သည့် အချိန်ကြာမြင့်မှုသည် solar radiation ဖြစ်ပေါ်ချိန်မှ space အတွင်းရှိ အရာများ (furnishings)ကို ပူနွေးစေရန် ကြာမည့် အချိန်နှင့် ထိုအပူများ အခန်းအတွင်းသို့ ထုတ်လွှတ်ရန် ကြာမည့် အချိန်(time that the heat is released into the space)တို့ ဖြစ်သည်။ နေရောင်မထိုးစေရန် ကာကွယ်နိုင်သည့် ကိရိယာများ (internal shading devices) တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် မှန်ကိုဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာမည့် solar heat energy ပမာဏ ကွဲပြားသည်။



ပုံ ၁၁-၁၇ Solar Radiation through Windows

Table 11-7 SCL for Sunlit Glass (40° North Latitude, July 21), Btu/hr • ft^2

	Space Type A																							
	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
N	0	0	0	0	1	25	27	28	32	35	38	40	40	39	36	31	31	36	12	6	3	1	1	0
NE	0	0	0	0	2	85	129	134	112	75	55	48	44	40	37	32	26	18	7	3	2	1	0	0
E	0	0	0	0	2	93	157	185	183	154	106	67	53	45	39	33	26	18	7	3	2	1	0	0
SE	0	0	0	0	1	47	95	131	150	150	131	97	63	49	41	34	27	18	7	3	2	1	0	0
S	0	0	0	0	0	9	17	25	41	64	85	97	96	84	63	42	31	20	8	4	2	1	0	0
SW	0	0	0	0	0	9	17	24	30	35	39	64	101	133	151	152	133	93	35	17	8	4	2	1
W	1	0	0	0	0	9	17	24	30	35	38	40	65	114	158	187	192	156	57	27	13	6	3	2
NW	1	0	0	0	0	9	17	24	30	35	38	40	40	50	84	121	143	130	46	22	11	5	3	1
HOR	0	0	0	0	0	24	69	120	169	211	241	257	259	245	217	176	125	70	29	14	7	3	2	1

Table 11-8 SCL for Sunlit Glass (40° North Latitude, July 21), W/m2

	Space Type A																							
	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
N	0	0	0	0	3	79	85	88	101	110	120	126	126	123	113	98	98	113	38	19	9	3	3	0
NE	0	0	0	0	6	268	406	422	353	236	173	151	139	126	117	101	82	57	22	9	6	3	0	0
E	0	0	0	0	6	293	495	583	576	485	334	211	167	142	123	104	82	57	22	9	6	3	0	0
SE	0	0	0	0	3	148	299	413	473	473	413	306	198	154	129	107	85	57	22	9	6	3	0	0
S	0	0	0	0	0	28	54	79	129	202	268	306	302	265	198	132	98	63	25	13	6	3	0	0
SW	0	0	0	0	0	28	54	76	95	110	123	202	318	419	476	479	419	293	110	54	25	13	6	3
W	3	0	0	0	0	28	54	76	95	110	120	126	205	359	498	589	605	491	180	85	41	19	9	6
NW	3	0	0	0	0	28	54	76	95	110	120	126	126	158	265	381	450	410	145	69	35	16	9	3
HOR	0	0	0	0	0	76	217	378	532	665	759	810	816	772	684	554	394	221	91	44	22	9	6	3

Source: *1997 ASHRAE Handbook—Fundamentals*, Chapter 28, Table 36

1997 ASHRAE Handbook—Fundamentals တွင် SCL တန်ဖိုး(value)များ ဖော်ပြထားသည်။ SCL ကို အကျိုးသက်ရောက်နိုင်သည့် အရာများအားလုံး(combinations of these variables)ကို အထက်တွင် ဖော်ပြခဲ့ပြီး

ဖြစ်သည်။ Table 7 [Table 8] ကို handbook မှ ကောက်နုတ်ဖော်ပြထားသည်။ ယခုတွက်နေသည့် ဥပမာ၏ space သည် Space Type A အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ ဇယား(table) ဒေတာများမှာ (၄၀)ဒီဂရီလတ္တီတွဒ်အရပ်အတွက်နှင့် ဇူလိုင်လ(၂၁)ရက်နေ့ (21st day of July and 40° north latitude)အတွက် ဖြစ်သည်။ မြောက်အရပ်ကို မျက်နှာမူသည့် ပြတင်းပေါက်များ(west-facing windows)အတွက် Hour 17 အချိန်၌ SCL တန်ဖိုးသည် 192 Btu/hr • ft^2 [605 W/m^2] ဖြစ်သည်။

shading coefficient at normal incidence

	aluminum frame		other frames	
	operable	fixed	operable	fixed
uncoated single glazing				
1/4 in. [6.4 mm] clear	0.82	0.85	0.69	0.82
1/4 in. [6.4 mm] green	0.59	0.61	0.49	0.59
reflective single glazing				
1/4 in. [6.4 mm] SS on clear	0.26	0.28	0.22	0.25
1/4 in. [6.4 mm] SS on green	0.26	0.28	0.22	0.25
uncoated double glazing				
1/4 in. [6.4 mm] clear - clear	0.70	0.74	0.60	0.70
1/4 in. [6.4 mm] green - clear	0.48	0.49	0.40	0.47
reflective double glazing				
1/4 in. [6.4 mm] SS on clear - clear	0.20	0.18	0.15	0.17
1/4 in. [6.4 mm] SS on green - clear	0.18	0.18	0.15	0.16

SS = stainless-steel reflective coating

ပုံ ၁၁-၁၈ Shading Coefficient (SC)

၁၁.၈.၁ Shading Coefficient (SC)

Shading Coefficient (SC) ဆိုသည်မှာ နေရောင်ခြည်တန်းများသည် ပြတင်းပေါက် အပြင်ဘက် မျက်နှာပြင် (outer surface of the window)ကို ရိုက်ခတ်ပြီး သို့မဟုတ် ထိရိုက်ပြီး(strike) ပြတင်းပေါက်ကို ဖြတ်၍ space အတွင်းသို့ radiant solar energy ပမာဏ မည်မျှဝင်ရောက်သွားသည်ကို ဖော်ပြသည့်ကိန်း ဖြစ်သည်။

Shading coefficient သည် စံ(standard reference)အဖြစ်သတ်မှတ်ပြီး ၄င်းနှင့် မိမိတွက်လိုသည့် ပြတင်းပေါက်(particular window)တို့၏ reflection property နှိုင်းယှဉ်ချက်(comparing its reflective properties to a standard reference window) ဖြစ်သည်။ တပ်ဆင်လေ့ရှိသည့် ပြတင်းပေါက် အမျိုးအစားများ(common window systems)၏ Shading Coefficient(SC)များကို ဇယားမှ ဖတ်ယူနိုင်သည်။

Shading coefficient တန်ဖိုးနည်းလေ(more of the sun's rays are reflected by the outer surface of the glass) မှန်၏ အပြင်မျက်နှာပြင်သို့ ထိရိုက်ပြီး ပြန်ထွက်သွားသည့် နေရောင်ခြည်ပမာဏ ပိုများလေဖြစ်သည်။

ဤဥပမာတွင် တွက်နေသည့် ပြတင်းပေါက်သည် two panes of ¼-inch [6.4 mm]ဖြစ်ပြီး မှန်အကြည် (clear glass)ဖြစ်သည်။ မှန်နှစ်ချပ်အကြားတွင် ကြားခံလေ(an air space between the panes)ရှိသည်။ မှန်ကို အလျူမီနီယံ ဘောင်ထဲတွင် ထည့်ထား(glass is mounted in an aluminum frame)သည်။ အသေတပ်ထားသည့် ပြတင်းပေါက် windows are fixed (not operable) ဖြစ်သည်။ ဖွင့်၍၊ ပိတ်၍ မရနိုင်သည့် ပြတင်းပေါက် အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ ထိုပြတင်းပေါက်၏ SC တန်ဖိုးသည် 0.74 ဖြစ်သည်။ ပြတင်းပေါက်တည်ဆောက်ထားပုံ အမျိုးအစားများနှင့် သက်ဆိုင်သည့် shading coefficient များကို ပုံ(၁၁-၁၈)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

တွက်နေသည့် ဤဥပမာတွင် solar radiation ကြောင့် အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူထားသည့် ပြတင်းပေါက်ကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူပမာဏ(heat gain by solar radiation through the windows on the west-facing wall)ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

Solar radiation heat gain through the windows on the west-facing wall:

- Total area of glass = 8 windows x (4 ft x 5 ft) = 160 ft^2 [8 x (1.2 m x 1.5 m) = 14.4 m^2]
- SC = 0.74
- $SCL_{hour=17}$ = 192 Btu/hr • ft^2 [605 W/m^2]

$$\mathbf{Q = 160 \times 0.74 \times 192 = 22,733\ Btu/hr}\ [\mathbf{Q = 14.4 \times 0.74 \times 605 = 6,447\ W}]$$

ပုံ ၁၁-၁၉ Shading device

ပုံ ၁၁-၂၀ Internal heat gains

၁၁.၉ အခန်းအတွင်းမှ ဖြစ်ပေါ်သည့်အပူများ(Internal Heat Gains)

၁၁.၉.၁ လူခန္ဓာကိုယ်မှထွက်လာသည့် အပူများ (Heat Generated by People)

လူခန္ဓာကိုယ်မှ ထွက်လာသည့် အပူ၏ ၆၀% သည် heat convection နှင့် radiation နည်းဖြင့် ဘေးပတ်ဝန်းကျင်(surrounding environment)ဆီသို့ ရောက်သွားသည်။ ကျန် ၄၀% သည် perspiration နှင့် respiration တို့ကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထိုင်၍ အလုပ်လုပ်နေသည့် ပျမ်းမျှ လူရွယ်တစ်ယောက်(average adult, seated and working)သည် အပူ 450 Btu/hr [132 W] နှုန်းဖြင့် ထုတ်လွှတ်သည်။

လှုပ်ရှားမှု ပိုများလေ အပူစွန့်ထုတ်မှု(heat rejection) ပိုများလေ ဖြစ်သည်။ အလုပ်ကြမ်းသမား(heavy labor) တစ်ဦးမှ အပူပမာဏ 1,450 Btu/hr [425 W] ခန့် ထုတ်လွှတ်သည်။ လူမှ ထွက်လာသည့်အပူ(heat rejection)သည် အခန်း၏ heat gain ဖြစ်သည်။

လူများ(occupant)အတွက် CFL တန်ဖိုးကို ရှာရန်အတွက် ထိုလူတစ်ယောက်သည် အခန်းအတွင်း မည်သည့် အချိန်က ဝင်ရောက်ခဲ့သည်၊ မည်မျှကြာအောင်ရှိနေမည်ဆိုသည့်အချက်ကို သိရန်လိုအပ်သည်။

Table 11-9 CLF Factors for People

Total hours in space	Hours after people enter space											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	0.65	0.74	0.16	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01
4	0.65	0.75	0.81	0.85	0.24	0.17	0.13	0.10	0.07	0.06	0.04	0.03
6	0.65	0.75	0.81	0.85	0.89	0.91	0.29	0.20	0.15	0.12	0.09	0.07
8	0.65	0.75	0.81	0.85	0.89	0.91	0.93	0.95	0.31	0.22	0.17	0.13
10	0.65	0.75	0.81	0.85	0.89	0.91	0.93	0.95	0.96	0.97	0.33	0.24

Conduction heat gain အတွက် CLTD နှင့် solar heat gain အတွက် SCL တို့ကဲ့သို့ပင် လူများ (occupant)အတွက် **Cooling Load Factor (CLF)**ကို အသုံးပြုသည်။ Space မှ အပူများ သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားသည့်(capacity of the space to absorb and store heat) အတွက် Solar Cooling Load (SCL) factor ကို အသုံးပြုသည်။ ထို့အတူ space မှ အပူများ သိုလှောင်သိမ်းဆည်းထားသည့်(capacity of the space to absorb and store heat) အတွက် **Cooling Load Factor (CLF)**ကို အသုံးပြုသည်။

လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှ ထုတ်လွှတ်သည့် အပူ(sensible heat)များကို နံရံ(walls)၊ ကြမ်းခင်း(floor)၊ မျက်နှာကြက်(ceiling)နှင့် ပရိဘောဂ(furnishings of the space) စသည်တို့မှ စုပ်ယူသိမ်းဆည်းထားပြီး(absorbed and stored) နောင်တစ်ချိန်တွင် ပြန်လည်ထုတ် ပေးသည်။ ပြင်ပနံရံတွင် conduction နည်းဖြင့် အပူစီးကူးမှု(heat transfer by conduction through an external wall)ဖြစ်ပေါ်သကဲ့သို့ပင် time lag ဖြစ်ပေါ်သည်။ Space cooling load တွက်ရာတွင် အပူစတင်ထွက်ပေါ်လာသည့် အချိန်နှင့် space အတွင်းသို့ ရောက်ရှိချိန်အကြားတွင် အချိန်အနည်းငယ် ကွဲလွဲခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

လူများ(people) မှထွက်လာသည့် heat gain အတွက် CLF တန်ဖိုးသည်

(၁) အတွင်းနံရံ(interior partition)၊ နံရံများ(walls) စသည်တို့တည်ဆောက်ထားပုံ(space construction)

(၂) ကြမ်းခင်းကို ဖုံးအုပ်ထားသည့် ကော်ဇော၊ ဖယောင်းပုဆိုး၊ အမျိုးအစား(type of floor covering)

(၃) အခန်းကို အသုံးပြုသည့် နာရီစုစုပေါင်း(total number of hours that the space is occupied) နှင့်

(၄) Space အတွင်း၌ လူများရှိနေသည့် နာရီပေါင်း(number of hours since the people entered the space)စသည်တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Table 11-9 တွင် air con အခန်းအတွင်းရှိ လူများ(people)မှ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏကို တွက်ရန် အတွက် လိုအပ်သည့် CLF Factor များကို ဖော်ပြထားသည်။ ထိုဇယားမှ CLF Factor များကို 1997 ASHRAE Handbook—Fundamentals မှ ကောက်နုတ် ဖော်ပြထားသည်။

Space အတွင်းသို့ လူတစ်ယောက် ဝင်ရောက်ပြီးနောက် 65% သည် space တွင် actual cooling load ချက်ချင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ အချိန်(၁)နာရီအကြာတွင် ထိုသူ၏ sensible heat gain ၃၅%(1 – 0.65) ပမာဏသည် space အတွင်းရှိ မျက်နှာပြင်များနှင့် ပရိဘောဂများ(surfaces and furnishings)၏ စုပ်ယူခြင်းခံရသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ထို sensible heat gain ၃၅% သည် cooling load အဖြစ် ချက်ချင်း မပြောင်းလဲပေ။

လူများ space အတွင်း ရှိနေသည့်အချိန် ကြာမြင့်လာသည့်အခါ(people are in the space for a longer period of time) space အတွင်းရှိ မျက်နှာပြင်များနှင့် ပရိဘောဂများ(surfaces and furnishings)က အပူများကို စုပ်ယူနိုင်စွမ်း မရှိတော့ပါ။ ထိုအခါ အပူများကို ပြန်စွန့်ထုတ်(release the heat that was absorbed earlier in the day)သည်။

ဥပမာ- လူတစ်ယောက်သည် နံနက်(၈)နာရီ အချိန်တွင် အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ပြီး မွန်းလွဲ(၂)နာရီအထိ နေခဲ့သည်။ Space အတွင်း၌ (၆) နာရီနေခဲ့သည်။ ဇယားတွင် လူမှထွက်လာသည့် sensible heat gain ၏ ၉၁% သည် space ၏ cooling load ဖြစ်သည်။ Space အတွင်းရှိ မျက်နှာပြင်များနှင့် ပရိဘောဂများက ကျန် ၉% ကိုသာ စုပ်ယူထားသည်။ (91% of the sensible heat gain from the people is seen as a cooling load in the space. Only 9% is absorbed by the surfaces and furnishings of the space.)

Space ကို (၂၄)နာရီပတ်လုံး အပူချိန် တစ်သမတ်တည်း(constant temperature)တွင် ထိန်းမထားနိုင်လျှင် CLF တန်ဖိုးသည် (၁.၀)ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူချိန်အတက်အကျဖြစ်နေလျှင် CLF တန်ဖိုးကို ၁.၀ ဟု ယူဆ၍ တွက်ရမည်။ ရုံး၊ ရှော့ပင်းမော စသည့်အဆောက်အဦများ(non-residential buildings)တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် air-conditioning system အများစုသည် ညအချိန်တွင် ပိတ်ထားလေ့ရှိသည် သို့မဟုတ် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းစေရန်အတွက်(reduce energy use) အပူချိန်ကို မြှင့်ထား(raise the temperature set point)လေ့

ရှိသည်။ ထိုကဲ့သို့ အခြေအနေမျိုးဖြစ်လျှင် CLF သည် (၁.၀)ဖြစ်သည်။ (1997 *ASHRAE Handbook–Fundamentals*, Chapter 28)

ဤဥပမာတွင် space အတွင်းရှိ လူများမှ ထွက်လာသည့် internal heat gain ကို တွက်ရန် Table 11-10 မှ ဖတ်ယူသည်။ ထိုင်၍ အလုပ်လုပ်နေသည့် လူတစ်ယောက်(moderately active office work) မှ အပူပမာဏ 250 Btu/hr [75 W] sensible heat နှင့် 200 Btu/hr [55 W] latent heat ကို ထုတ်လွှတ်သည်။

လူမှထွက်လာသည့် အပူပမာဏကို တွက်ခြင်း(Internal heat gain from people)

- Number of people = 18
- Sensible heat gain/person = 250 Btu/hr [75 W]
- Latent heat gain/person = 200 Btu/hr [55 W]
- CLF = 1.0 (because the space temperature set point is increased at night)

Q_S = No: of people x Sensible heat gain per person x CLF

Q_S = 18 people x 250 Btu/hr per person x 1.0 = 4,500 Btu/hr

[Q_S = 18 people x 75 W per person x 1.0 = 1,350 W]

Q_L = No: of people × Latent heat gain/ person

Q_L = 18 people x 200 Btu/hr per person = 3,600 Btu/hr

[Q_L = 18 people x 55 W per person = 990 W]

Table 11-10 Heat generated by the peoples

Level Of Activity	Sensible Heat Gain	Latent Heat Gain
Moderately active work (Office)	250 BTU/hr (75W)	200 BTU/hr (55W)
Standing, light work, walking (Store)	250 BTU/hr (75W)	200 BTU/hr (55W)
Light bench work (Factory)	275 BTU/hr (80W)	475BTU/hr (140W)
Heavy work (Factory)	580BTU/hr(170W)	870BTU/hr (255W)
Exercise (Gymnasium)	710BTU/hr (210W)	1090BTU/hr (315W)

၁၁.၉.၂ Heat Gain from Lighting (မီးလုံး၊ မီးချောင်းမှ ဖြစ်ပေါ်လာသည့်အပူများ)

မီးလုံး၊ မီးချောင်းများမှ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အပူပမာဏ(heat generated by lights)ကို တွက်ရန် အောက်ပါ ပုံသေနည်းကို အသုံးပြုသည်။

Q = Btu/hr × Ballast factor × CLF **[Q = watts × Ballast factor × CLF]**

Ballast factor = 1.2 for fluorescent lights

Ballast factor = 1.0 for incandescent lights

120-watt light မီးသီးမှ 410 Btu/hr [120 W] ပမာဏအပူ ထွက်ပေါ်လာသည်။ 120 W မီးသီး(၁)လုံးမှ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏသည် ရုံးထဲတွင် ထိုင်၍ အလုပ်လုပ်နေသူတစ်ယောက်မှ ထွက်ပေါ်လာသည့် ပမာဏ နီးပါးခန့် ဖြစ်သည်။

မီးလုံး၊ မီးချောင်းများ(fluorescent lights)မှ ထွက်လာသည့်အပူပမာဏ(heat gain generated)ကို ခန့်မှန်း သည့်အခါ ၂၀% အပိုထပ်ဆောင်း၍ lighting heat gain ထဲသို့ ပေါင်းထည့်ရမည်။ Ballast မှထွက်လာသည့် အပူများ (heat generated)ကြောင့် ဖြစ်သည်။ မီးလုံး၊ မီးချောင်းမှ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏ(heat gain from lighting)ကို တွက်ရန်၊ ခန့်မှန်း (estimate)ရန် ပုံသေနည်းမှာ

$$\mathbf{Q = watts \times 3.41 \times Ballast\,Factor \times CLF} \quad [\mathbf{Q = watts \times Ballast\,Factor \times CLF}]$$

where, Q = sensible heat gain from lighting, Btu/hr [W]

Watts = total energy input to lights, W

3.41 = conversion factor from W to Btu/hr (when using I–P units)

Ballast factor = 1.2 for fluorescent lights, 1.0 for incandescent lights

CLF = cooling load factor, dimensionless

မီးလုံးများတွင် ballast မပါရှိပါ။ မီးချောင်းများနှင့် မီးချောင်းကဲ့သို့ ထွန်းလင်းသည့် မီးများတွင် ballast ပါဝင်သောကြောင့် ballast မှ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏကို ထည့်တွက်ရန် လိုသည်။ Ballast တွင် သမာရိုးကျ (traditional) ballast နှင့် electric ballast ဟူ၍ (၂)မျိုး ရှိသည်။ ခွဲခြားတတ်ရန် လိုသည်။

လူများမှ ထွက်လာသည့် sensible အပူ(sensible heat gain from people)အတွက် cooling load factor (CLF)ကို အသုံးပြုသကဲ့သို့ မီးလုံးမီးချောင်းမှ ထွက်လာသည့် အပူများကို space မှ စုပ်ယူသိုလှောင်ထားသောကြောင့် CLF ကိုထည့်တွက်ရသည်။ (capacity of the space to absorb and store the heat generated by the lights.)။ အကယ်၍ မီးကို(၂၄)နာရီပတ်လုံး ဖွင့်ထားပြီး ညဘက်တွင် air-conditioning system ကို ရပ်နား(shut off) သော်လည်းကောင်း set back ပြုလုပ်လျှင်သော်လည်းကောင်း CLF တန်ဖိုးသည် (၁.၀) ဖြစ်သည်။

မီးလုံး၊ မီးချောင်း မှ ထွက်လာသည့် အပူများ(heat gain from lighting)ကို တွက်ရန်

$$Q_{lights} = 5400 \times 3.41 \times 1.2 \times 1.0 = 22097 \text{ Btu/hr}$$

$$[\ Q_{lights} = 5400 \times 1.2 \times 1.0 = 6480 \text{ W}\ ]$$

မီးလုံး၊ မီးချောင်းမှ ထွက်လာသည့် အပူများ(heat gain from lighting)ကို တွက်ခြင်း

- Amount of lighting in space = 2 W/ft^2 [21.5 W/m^2]
- Floor area = 45 ft x 60 ft = 2,700 ft^2 [13.7 m x 18.3 m = 250.7 m^2]
- Total lighting energy = 2 W/ft^2 x 2,700 ft^2 = 5,400 W [21.5 W/m^2 x 250.7 m^2 = 5,400 W]
- Ballast factor = 1.2 (fluorescent lights)
- CLF = 1.0 (because the space temperature set point is increased at night)

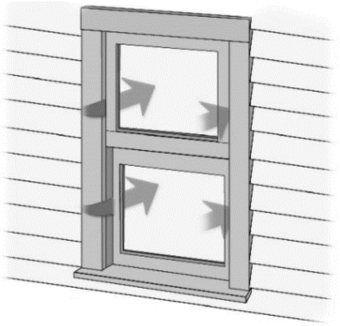
Q = 5,400 x 3.41 x 1.2 x 1.0 = 22,097 Btu/hr [Q = 5,400 x 1.2 x 1.0 = 6,480 W]

Table 11-11 စက်ကိရိယာများမှ ထွက်လာသည့် အပူများ(heat generated by equipment)

Equipment	Sensible Heat Gain	Latent Heat Gain
Coffee maker	3580 BTU/hr (1050 W)	1540 BTU/hr (450 W)
Printer	1000 BTU/hr (292 W)	
Typewriter	230 BTU/hr (67 W)	

ပရင်တာများ(printer) နှင့် ကွန်ပျူတာများအတွက် latent heat gain မရှိပါ။ တစ်နည်းအားဖြင့် printer နှင့် ကွန်ပျူတာများမှ latent heat မဖြစ်ပေါ်ပါ။

၁၁.၁၀ Infiltration



ပုံ ၁၁-၂၀ Infiltration

တံခါးပြတင်းပေါက်အကြားရှိ လွတ်နေသည့်နေရာမှ လေများ အဆောက်အဦအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာခြင်းကို **Infiltration** ဟုခေါ်သည်။ (Air leaking into a space is called infiltration.) Infiltration ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦအတွင်းမှ အပြင်သို့ လေများ ထွက်သွားခြင်း သို့မဟုတ် အပြင်မှ လေများ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာခြင်း ဖြစ်သည်။ တံခါးများ (doors)၊ ပြတင်းပေါက်များ(windows)၊ အက်နေသည့် နေရာများ(small cracks)မှ အဆောက်အဦအတွင်းသို့ လေများ ယိုစိမ့်ဝင်ရောက်လာခြင်းကို ဆိုလိုသည်။

ဆောင်းရာသီ(cooling season)တွင် ပြင်ပမှ အေးနေသည့်လေများ အခန်းတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာခြင်း(air leaks into a conditioned space) သို့မဟုတ် အခန်းအတွင်းမှ ပူနွေးနေသည့် လေများ အပြင်သို့ ထွက်သွားခြင်းကြောင့် ပို၍အပူပေးရန်(heating လုပ်ပေးရန်) လိုအပ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် heating load ပိုများ လာသည်။ အဘယ့်ကြောင့်ဆိုသော် လေပူများ(အပူစွမ်းအင်များ) ဆုံးရှုံးသွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) ဖြစ်ပေါ်သည်။

Infiltration ဖြစ်ပေါ်သည့်ပမာဏကို ခန့်မှန်း တွက်ချက်နိုင်သည့်နည်း (၃) မျိုးရှိသည်။

(က) Air change method
(ခ) Crack method နှင့်
(ဂ) Effective leakage-area method တို့ဖြစ်သည်။

ပထမဦးစွာ infiltration ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူပမာဏ(heat gain)ကို တွက်ရန်အတွက် ယိုစိမ့်သည့် လေပမာဏ(amount of air)ကို တွက်ရမည်။

Air change method သည် အလွယ်ကူဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ တိကျမှု အနည်းဆုံးနည်း(least accurate methods) ဖြစ်သည်။ ACH အရေအတွက်(number of air changes per hour)ကို ခန့်မှန်း၍ တွက်သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ ဆောက်လုပ်ထားသည့် အရည်အသွေး(construction quality) မှတစ်ဆင့် အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်လာမည့် လေပမာဏ(quantity of infiltration air)ကို အောက်ပါညီမျှခြင်းများဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\textbf{Infiltration airflow(CFM)} = (\textbf{Volume of space} \times \textbf{Air change rate}) \div \textbf{60}$$

$$\textbf{Infiltration airflow} = (\textbf{Volume of space} \times \textbf{Air change rate}) \div \textbf{3,600}]$$

where, Infiltration airflow = quantity of air infiltrating into the space, cfm [m^3/s]
Volume of space = length x width x height of space, ft^3 [m^3]
Air change rate = air changes per hour
60 = conversion from hours to minutes
3,600 = conversion from hours to seconds

၁၁.၁၀.၁ Crack method

အဆောက်အဦတိုင်းတွင် ပြတင်းပေါက်များ၊ တံခါးများအကြား၌ ဟ,နေသည့် အက်ကြောင်းများ၊ လွတ်နေသည့် နေရာများရှိသည်။ ထိုလွတ်နေသည့် နေရာဧရိယာမှ ဝင်လာသည့် လေပမာဏကို တွက်ယူသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ **Crack method** အနည်းငယ် ရှုပ်ထွေးသည့်(complex)တွက်နည်း ဖြစ်သည်။ ပြတင်းပေါက်များ(windows) နှင့် တံခါးများ(doors)၏ အက်ကြောင်းများ(cracks)မှ ဝင်လာသည့် ပျမ်းမျှလေပမာဏ(average quantity of air)ကို တွက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ လေတိုက်နှုန်း(wind velocity) မပြောင်းလဲ(constant)ဟု ယူဆသတ်မှတ်သည်။

Table 11-12 Estimates of Infiltration Airflow, Air Changes Per Hour

Neutral pressure, poor construction	1.0
Neutral pressure, average construction	0.6
Neutral pressure, tight construction	0.3
Pressurized, poor construction	0.5
Pressurized, average construction	0.3
Pressurized, tight construction	0.0

Reprinted with permission from Commercial Load Calculation, Manual N, copyright ACCA

Effective leakage-area method

Effective leakage-area method ဖြင့် infiltration လေပမာဏ ကို တွက်ရန် လေတိုက်နှုန်း(wind speed) နှင့် "stack effect" စသည့်အချက်များ အားလုံးကို အသေးစိတ် ထည့်သွင်းတွက်ချက်(detailed calculation) ရသည်။

နည်း(၃)နည်းအနက် မည်သည့်အဆောက်အဦတွင် မည်သည့်နည်းနှင့် တွက်ရမည်ကို ဆုံးဖြတ်နိုင်ရန် လေ့လာထားရန် လိုအပ်သည်။ မိမိ၏ အတွေ့အကြုံနှင့် ရရှိသည့် ဒေတာများ အပေါ်မူတည်၍ အသင့်လျော်ဆုံး သောနည်းကို ရွေးချယ်အသုံးပြုကြသည်။

၁၁.၁၀.၂ Infiltration Airflow

$$\text{Infiltration airflow} = \frac{32400 \times 0.3}{60} = 162 \text{ CFM}$$

$$\left[\text{Infiltration airflow} = \frac{927.6 \times 0.3}{3600} = 0.077 \text{ m}^3/\text{s}\right]$$

Infiltration

Air change method ကို အသုံးပြု၍ ဖြစ်ပေါ်မည့် infiltration လေပမာဏကို ခန့်မှန်းထားသည့် တန်ဖိုးများကို table 11-12 တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ဤဥပမာတွင် ဒီဇိုင်းလုပ်နေသည့် အဆောက်အဦသည် သာမန် အဆင့် (average construction) ဖြစ်သည်။ အခန်းတွင်းဖိအား(positive pressure relative to the outdoors)သည် အခန်း ပြင်ပဖိအားထက် အနည်းငယ် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် 0.3 air changes/hr infiltration နှုန်းဟု ခန့်မှန်း(estimates) ၍ တွက်ချက်သည်။

အခန်းထုထည်(volume of space) = 45 ft x 60 ft x 12 ft = 32,400 ft^3

[13.7 m x 18.3 m x 3.7 m = 927.6 m^3]

Infiltration ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat gain

$Q_{sensible} = 1.085 \times \text{air flow} \times \Delta T$　　[$Q_{sensible} = 1210 \times \text{air flow} \times \Delta T$]

$Q_{latent} = 0.7 \times \text{air flow} \times \Delta W$　　[$Q_{latent} = 3010 \times \text{air flow} \times \Delta W$]

ΔW = (Outdoor Humidity Ratio – Indoor Humidity Ratio)

Air Flow – Quantity of air infiltrating the place

ΔT = (Outdoor D.B.T – Indoor D.B.T)

Density x Specific Heat = 1.085 (1210) Btu•min/hr • ft^3 • °F [J/m^3 • K]

Latent Heat Factor = 0.7 (3010) Btu•min•lb/hr • ft^3 • gr [J • kg/m^3 • g]

၁၁.၁၀.၃ Sensible Heat Gain from Infiltration

$$Q_S = 1.085 \times \text{airflow} \times \Delta T$$

$$[Q_S = 1{,}210 \times \text{airflow} \times \Delta T]$$

where, Q_S = sensible heat gain from infiltration, Btu/hr [W]

1.085 [1,210] = product of density and specific heat, Btu • min/hr • ft^3 • °F [J/m^3 • K]

Airflow = quantity of air infiltrating the space, cfm [m^3/s]

ΔT =(design outdoor Dry Bulb temperature) – (desired indoor Dry Bulb temperature) °F [°C]

၁၁.၁၀.၄ Latent Heat Gain from Infiltration

$$Q_L = 0.7 \times \text{airflow} \times \Delta W$$

$$[Q_L = 3{,}010 \times \text{airflow} \times \Delta W]$$

where, Q_L = latent heat gain from infiltration, Btu/hr [W]

0.7 [3,010] = latent heat factor, Btu • min • lb/hr • ft^3 • gr [J • kg/m^3 • g]

Airflow = quantity of air infiltrating the space, cfm [m^3/s]

ΔW = design outdoor humidity ratio minus the desired indoor humidity ratio, grains of water/lb of dry air [grams of water/kg of dry air]

Outdoor နှင့် indoor conditions တို့၏ humidity ratio ရရန် psychrometric chart ကို အသုံးပြုသည်။

၁၁.၁၀.၅ Heat gain from infiltration

- Infiltration airflow = 162 cfm [0.077 m^3/s]
- Outdoor conditions: 95°F [35°C] dry bulb and 76°F [25°C] wet bulb results in W_o = 105 grains of water/lb dry air [15 grams of water/kg dry air]
- Indoor conditions: 78°F [25.6°C] dry bulb and 50% relative humidity results in W_i = 70 grains of water/lb dry air [10 grams of water/kg dry air]

Q_S = 1.085 x 162 x (95 – 78) = 2,988 Btu/hr
[Q_S = 1,210 x 0.077 x (35 – 25.6) = 876 W]

Q_L = 0.7 x 162 x (105 – 70) = 3,969 Btu/hr
[Q_L = 3,010 x 0.077 x (15 – 10) = 1,159 W]

space load components	**sensible load** Btu/hr [W]	**latent load** Btu/hr [W]
conduction through roof	12,312 [3,563]	
conduction through exterior wall	502 [144]	
conduction through windows	1,310 [359]	
solar radiation through windows	22,733 [6,447]	
people	4,500 [1,350]	3,600 [990]
lights	22,097 [6,480]	
equipment	8,184 [2,404]	1,540 [450]
infiltration	2,988 [876]	3,969 [1,159]
Total space cooling load	**74,626 [21,623]**	**9,109 [2,599]**

Summary of Space Cooling Loads

Space ၏ cooling load တွက်ရန်အတွက် ပထမဦးစွာ component များ အားလုံး၏ heat gain ခန့်မှန်းခြင်း (estimation) ပြုလုပ်ပြီး ဖြစ်ရမည်။

Space အတွက် လိုအပ်သော supply air လေပမာဏ နှင့် အပူချိန်(quantity and temperature of air)ကို တွက်ရန်အတွက် psychrometric analysis လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Psychrometric analysis လုပ်ရန်အတွက် total space cooling load ကို အသုံးပြုသည်။

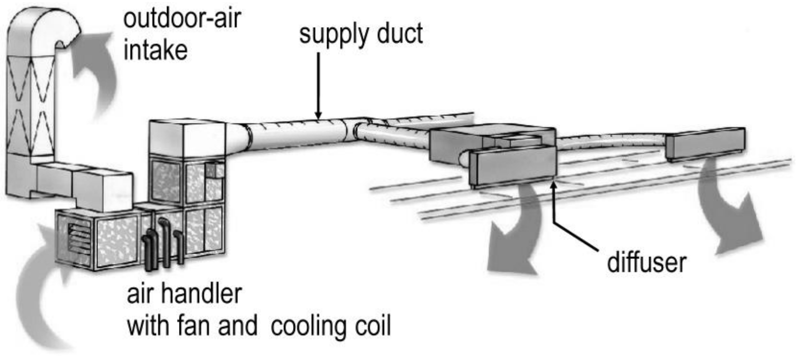
Plenum မပါဝင်သောကြောင့် ခေါင်မိုး(roof)နှင့် မီးလုံး၊ မီးချောင်း(lights)တို့မှ heat gain များ အားလုံးသည် space အတွင်းသို့ တိုက်ရိုက်(directly) ရောက်ရှိသည်။

အထက်တွင် တွက်ပြီးခဲ့သည့် space cooling load များအပြင် cooling coil နှင့်သက်ဆိုင်သည့်အခြား load များကိုလည်း တွက်ရန် လိုအပ်သည်။ Building HVAC system တွင် ပြင်ပလေ(outdoor air)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် load လည်း ပါဝင်သည်။ အဆောက်အဦအတွင်း လေကောင်းလေသန့်ရရှိရန် ရည်ရွယ်၍ တမင်သက်သက် ထည့်ပေးသည့် ပြင်ပလေ(deliberately brought into the building for ventilation purposes) ဖြစ်သည်။ Fan မှ ထွက်လာသည့် အပူများ(heat generated by the fans in the system)ကို ထည့်ပေါင်းရသည်။

အဆောက်အဦ(building)၏ total cooling load ကို ခန့်မှန်းရန်အတွက် ထို load များကို space load တွင် ထည့်ပေါင်းသည်။ Cooling coil အရွယ်အစားကို မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်ရန်(properly size)အတွက် additional component များ၏ heat gain ကို ခန့်မှန်း(estimate)ရန် လိုအပ်သည်။

Infiltration ကြောင့် ပြင်ပမှ untreated air များ ဝင်ရောက်လာသည်။ ထို့ကြောင့် heat gain ဖြစ်ပေါ်သည်။ IAQ လိုအပ်ချက်အရ ပြင်ပလေ(outdoor air) ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Space ကို အနည်းငယ် ဖိအားပိုများ (positive pressure ဖြစ်အောင်)အောင် ပြုလုပ်ထားခြင်းဖြင့် infiltration ပမာဏကို လျော့ချနိုင်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံ infiltration နှင့် ပြင်ပလေ(outdoor air) (၂)မျိုးလုံးကို ပေါင်းထည့်ခြင်းကြောင့် cooling coil အရွယ်အစားကို အနည်းငယ် လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးအောင် ပြုလုပ်မိတတ်သည်။

၁၁.၁၁ Ventilation



ပုံ ၁၁-၂၂ Ventilation

အခန်းအတွင်းရှိလေထဲမှ အညစ်အကြေး(contaminant)များ ဖယ်ရှားပစ်ရန် သို့မဟုတ် ပြင်းအား လျော့နည်းသွားစေရန် ရည်ရွယ်ချက်ဖြင့် ပြင်ပမှလေများ(outdoor air)ကို အခန်း(space) အတွင်းသို့ တမင်ထည့်ပေးခြင်း (intentional introduction)ကို **ventilation** ဟုခေါ်သည်။ ပြင်ပလေ(outdoor air)များကို မထည့်ပေးခင် ဦးစွာ အေးအောင်ပြုလုပ်၍ ရေငွေ့များ ဖယ်ရှားခြင်း(cooling and dehumidification)လုပ်ပေးရသည်။ ထို့ကြောင့် system heat gain ပိုများလာသည်။

Infiltration ကြောင့် အခန်းအတွင်းသို့ ပြင်ပမှလေများ ဝင်ရောက်လာသော်လည်း လေကောင်းလေသန့် လိုအပ်ချက်ကို ပြည့်မီ(satisfy the ventilation requirement of a space)လိမ့်မည်၊ လုံလောက်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ လေမတိုက်သည့်နေ့များတွင် infiltration ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Infiltration သည်လေတိုက်နှုန်း အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ပြင်ပလေ(outdoor air) ထည့်ပေးခြင်းကြောင့် HVAC system တွင် ventilation လိုအပ်ချက်များ ပြည့်စုံစေသည် သာမက ဖိအားအနည်းငယ် မြင့်တက်နေအောင် ထိန်းထားပေးခြင်း(maintain a positive pressure relative to the outdoors) ဖြစ်သည်။

အဆောက်အဦအတွင်း positive pressure ဖြစ်ပေါ်ခြင်းကြောင့် infiltration ဖြစ်ခြင်း လျော့နည်းစေသည်။ ပြင်ပလေ(Unconditioned air from outdoors) ဖိအားမြင့်တက်စေရန်(pressurize the building)ထည့်ပေးရမည့် လေပမာဏ(amount of outdoor air brought in for ventilation)သည် စုပ်ထုတ်သည့် လေပမာဏ(amount of air exhausted through central and local exhaust fans)ထက် ပိုများရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပြင်ပလေ ဝင်ရောက်လာသည့် ပမာဏသည် ထွက်သွားသည့် လေထက်ပိုများမှသာ အခန်းသို့မဟုတ် အဆောက်အဦ အတွင်း၌ ဖိအားအနည်းငယ် မြင့်တက်နေလိမ့်မည်။

အခန်းတစ်ခန်းအတွက် လိုအပ်သည့် ပြင်ပလေပမာဏ(amount of outdoor air required for a space) ကို local building code များ သို့မဟုတ် industry standard များတွင် ဖော်ပြထားလေ့ရှိသည်။ ASHRAE Standard 62, Ventilation for Acceptable Air Quality တွင် ဖော်ပြထားသည်။ နေရာအမျိုးမျိုးအတွက် လူတစ်ယောက်

သို့မဟုတ် (၁)ယူနစ်ဧရိယာ အတွက် ထည့်ပေးရမည့် ပြင်ပလေပမာဏကို(quantity of outdoor air required per person (or per unit area)) လုံလောက်သည့် လေကောင်းလေသန့်ရရန်(provide adequate ventilation for various types of spaces) Table 11-13 တွင် ဖော်ပြထားသည့် ဒေတာများကို စံချိန်စံညွှန်း(standard)မှ ကောက်နုတ် ဖော်ပြသည်။

ယခုတွက်နေသည့် ဥပမာတွင် လိုအပ်သည့် ပြင်ပလေပမာဏကိုတွက်ရန်(calculating the required quantity of outdoor air) space အတွင်းရှိ လူအရေအတွက်(number of people in the space)နှင့် 20 cfm [0.01 m3/s] outdoor air required per person ကို မြှောက်သည်။ 20 cfm [0.01 m3/s] outdoor air required per person သည် ရုံခန်းများတွက်(office space)ဖြစ်သည်။

ventilation airflow = 18 people × 20 cfm/person = 360 cfm

[ventilation airflow = 18 people × 0.01 m3/s/person = 0.18 m3/s]

Table 11-13 Outdoor air requirements

Type of Space	Outdoor Air/ person	Outdoor Air/ ft^2 (m2)
Auditorium	15 CFM (0.008 m^3/s)	
Class rooms	15 CFM (0.008 m^3/s)	
Locker rooms		0.5 CFM (0.0025 m^3/s)
Office space	20 CFM (0.01 m^3/s)	
Public restrooms	50 CFM (0.025 m^3/s)	
Smoking lounge	60 CFM (0.03 m^3/s)	

၁၁.၁၁.၁ Cooling Load Due to Ventilation

ထည့်ပေးသည့်ပြင်ပလေ(ventilation) နှင့် စိမ့်ဝင်လာသည့်လေ(infiltration) တို့ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် heat gain ကို တွက်သည့် ပုံသေနည်း တူညီသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် V နှင့် I နှစ်မျိုးလုံးအတွက် ပုံသေနည်း တစ်မျိုးတည်းသာ အသုံးပြုရသည်။

$Q_{Sensible}$ = 1.085 x airflow x ΔT or [$Q_{Sensible}$ = 1,210 x airflow x ΔT]

Q_{Latent} = 0.7 x airflow x ΔW or [Q_{Latent} = 3,010 x airflow x ΔW]

Ventilation air ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် cooling load

Ventilation airflow = 360 cfm [0.18 m^3/s]

Outdoor conditions: T_o = 95°F [35°C],

W_o = 105 grains of water/lb dry air [15 grams of water/kg dry air]

Indoor conditions: T_i = 78°F [25.6°C],

W_i = 70 grains of water/lb dry air [10 grams of water/kg dry air]

Q_S = 1.085 x 360 x (95 – 78) = 6,640 Btu/hr [Q_S = 1,210 x 0.18 x (35 – 25.6) = 2047 W]

Q_L = 0.7 x 360 x (105 – 70) = 8,820 Btu/hr [Q_L = 3,010 x 0.18 x (15 – 10) = 2,709 W]

၁၁.၁၂ System Heat Gains

HVAC system များတွင် ပုံမှန်ဖြစ်ပေါ်နေသည့် heat gain များအပြင် တခြားသော heat gain များစွာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ဥပမာ- fan ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော အပူ(heat gain)ဖြစ်သည်။ Conditioned air stream တွင် တည်ရှိသော လျှပ်စစ်မော်တာ(electric motor)ဖြင့် မောင်းသည့် supply fan မှထွက်လာသည့် အပူများသည် လေထဲသို့ ဝင်ရောက်သည်။ ထို heat gain သည် စွမ်းအင်ပြောင်းလဲခြင်းဖြစ်ပေါ်သည့်ဆုံးရှုံးမှု(energy conversion losses)

ဖြစ်သည်။ လျှပ်စစ်စွမ်းအင်မှ စက်မှုစွမ်းအင်သို့ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်အချို့ ဆုံးရှုံးသွားသည်။ ထိုဆုံးရှုံးသွားသည့် စွမ်းအင်များသည် အပူအဖြစ် ပြောင်းလဲသွားသည်။ လျှပ်စစ်စွမ်းအင်(electrical energy, input energy to the motor)မှ ဝင်ရိုးကို လည်စေမည့် စက်မှုစွမ်းအင်(mechanical energy (rotation of the motor shaft)သို့ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ဆုံးရှုံးသွားသည့် စွမ်းအင်များ(energy lost due to conversion) ဖြစ်သည်။ မော်တာ efficiency မကောင်းခြင်း(inefficiency of the motor)ကြောင့် မော်တာ(motor)မှ ထွက်သွားသည့် အပူ(dissipated as heat)ဖြစ်သည်။

ယခုဥပမာတွင် Fan မော်တာ(motor)မှ ထွက်လာသည့်အပူ(heat)များသည် လေထဲသို့ ရောက်သွားသည်။

$$\textbf{Fan motor heat gain} = \textbf{Power Input to Motor} \times (\textbf{1} - \textbf{Motor Efficiency})$$

ပုံ(၁၁-၂၃)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း fan motor သည် လေစီးကြောင်း(conditioned air stream) ထဲတွင် ရှိနေလျှင် (AHU cooling coil ၏ အောက်ဘက်တွင် တည်ရှိလျှင်) air stream ထဲသို့ instantaneous heat gain အဖြစ် ဝင်ရောက်လာသည်။ Conditioned air stream ၏ အပြင်ဘက်တွင် space heat gain အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။

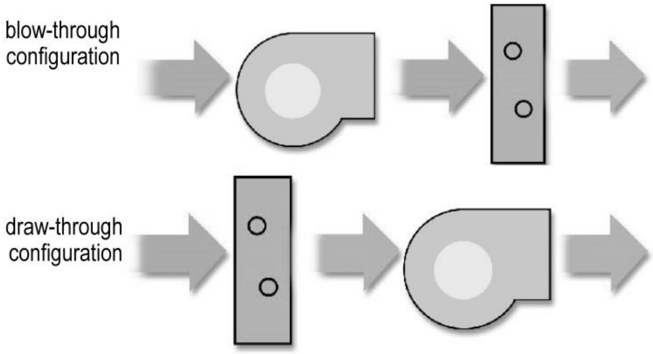
Fan ဒလက်(blade)များ heat gain ဖြစ်ပေါ်သည်။ စက်မှုစွမ်းအင်(mechanical energy)မှ kinetic energy (moving of the air) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့်ဆုံးရှုံးမှု(energy conversion losses) ဖြစ်သည်။ Fan ဒလက်(blade)များ၌ လေများပွတ်တိုက်မှုကြောင့် အပူ(dissipated heat)အဖြစ်ထွက်လာပြီး air stream ထဲသို့ instantaneous heat gain အဖြစ်ဝင်ရောက်သွားသည်။ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏသည် fan ၏ efficiency နှင့် သက်ဆိုင်သည်။

$$\textbf{Fan Blade Heat Gain} = \textbf{Power Input to Fan} \times (\textbf{1} - \textbf{Fan Efficiency})$$

နောက်ဆုံး၌ အသုံးပြုနိုင်သည့် စွမ်းအင်(remaining useful energy)သည် fan ထဲသို့ input အဖြစ် ရောက်ရှိ သွားသည်။ လေကို ဖိအားမြင့်တက်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည့် စွမ်းအင်(energy used to pressurize the supply air)ဖြစ်သည်။ Ductwork တစ်လျှောက်တွင် လေစီးဆင်းနေသမျှ ကာလပတ်လုံး (eventually converted to heat as the air travels through the ductwork) အပူအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲနေသည်။ ဒီဇိုင်နာများ၊ အင်ဂျင်နီယာများသည် fan ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat gain ကို တွက်ရန်အတွက် fan နှင့် မော်တာ တည်ရှိနေသည့် နေရာကိုလိုက်၍ ဆုံးဖြတ်ကြသည်။

$$\textbf{Duct Friction Heat Gain} = \textbf{Power Input to Fan} \times \textbf{Fan Efficiency}$$

(Reference: 1997 *ASHRAE Handbook*–Fundamentals, Chapter 28, page 28.16)

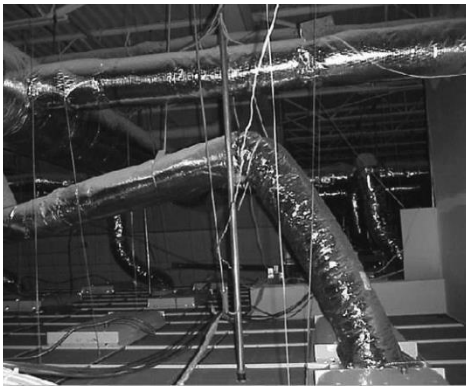


ပုံ ၁၁-၂၃ Components of fan heat

Fan heat gain ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာသည် cooling coil တည်ရှိရာနှင့် သက်ဆိုင်သည်။ အကယ်၍ fan သည် upstream တွင် တည်ရှိလျှင်(cooling coil မတိုင်ခင် တည်ရှိလျှင်) fan heat gain ကြောင့် return air (on coil temperature)၏ အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။ အကယ်၍ fan သည် cooling coil ပြီးနောက် downstream တွင် တည်ရှိလျှင် fan heat gain ကြောင့် supply air အပူချိန် မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ Cooling coil မှ ထွက်လာသည့်

အပူချိန်သည် off coil temperature ဖြစ်သည်။ Fan heat gain ကြောင့် off coil temperature အနည်းငယ် မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။

System အတွင်း၌ တပ်ဆင်ထားသည့် supply duct နှင့် return duct နံရံများတွင် heat transfer ဖြစ်ပေါ် ခြင်းကြောင့် heat gain ဖြစ်ပေါ်သည်။ Supply ductwork သည် unconditioned space များကို ဖြတ်သွားလျှင် ceiling plenum သို့မဟုတ် attic အနီးဝန်းကျင်မှ အပူများသည် duct ကို ဖြတ်၍ supply air ဆီသို့ စီးကူး သွားလိမ့်မည်။



ပုံ ၁၁-၂၄ Heat gain in ductwork

ထိုသို့ heat gain ဖြစ်ပေါ်ခြင်းမှ ကာကွယ်(prevent this heat gain)ရန် နှင့် supply air အပူချိန်(temperature) မြင့်တက် မလာစေရန်အတွက် ductwork များကို insulate လုပ်ထားရမည်။ Supply air အပူချိန်(temperature) မြင့်တက် လာခြင်းကြောင့် အလိုရှိသည့်အခန်းအပူချိန်၊ အခြေအနေ (desired space conditions)တွင် ထိန်းထားရန် အတွက် လေပမာဏ(amount of supply air) ပိုများများ လိုအပ်သည်။ Air flow rate များလာသောကြောင့် fan အတွက် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု(energy use) ပိုများ လာလိမ့်မည်။

Insulation မလုံလောက်လျှင် duct မျက်နှာပြင်(surface)ပေါ်တွင် condensation ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Return duct များကို ပါးသည့်(thin) insulation ဖုံးအုပ်ထားလေ့ရှိသည်။ အပူချိန်မြင့်သည့် အခန်း၊ နေရာကို ဖြတ်သန်း သွားလျှင် ပိုထူသည့် insulation လိုအပ်သည်။ Return air သို့ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူများသည် space cooling load ဖြစ်သည်။ အအေးဓာတ်များ အလဟဿ ဆုံးရှုံးသွားခြင် မဟုတ်ပေ။ (cooling load caused by this heat gain to the return air is not wasted.)

ယခုတွက်နေသည့် ဥပမာတွင် fan heat gain နှင့်တခြား system heat gain များကို လျစ်လျူရှု (negligible) ထားသည်။ အလွန်နည်းသောကြောင့် ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရန် မလိုဟု ယူဆသည်။

Summary of Cooling Loads

	sensible load Btu/hr [W]		latent load Btu/hr [W]	
conduction through roof	12,312	[3,563]		
conduction through exterior wall	502	[144]		
conduction through windows	1,310	[359]		
solar radiation through windows	22,733	[6,447]		
people	4,500	[1,350]	3,600	[990]
lights	22,097	[6,480]		
equipment	8,184	[2,404]	1,540	[450]
infiltration	2,988	[876]	3,969	[1,159]
total space cooling load	**74,626**	**[21,623]**	**9,109**	**[2,599]**
ventilation	6,640	[2,047]	8,820	[2,709]
total coil cooling load	**81,266**	**[23,670]**	**17,929**	**[5,308]**

အနှစ်ချုပ်အားဖြင့် ဤဥပမာမှ total cooling load တွင် အောက်ပါ component များ ပါဝင်သည်။

(က) ပြင်ပ(outdoors)မှ ခေါင်မိုး၊ အနောက်နံရံနှင့် ပြတင်းပေါက်(roof and west-facing exterior wall and windows)ကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် conduction heat gain များ

(ခ) အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူထားသည့် ပြတင်းပေါက်များ(west-facing windows)မှ ဝင်ရောက်လာသည့် Solar radiation heat gain များ

(ဂ) Space အတွင်းရှိ လူများ(people)၊ မီးလုံးမီးချောင်းများ(lights)၊ ရုံးသုံးစက်ကိရိယာများ(office equipment)နှင့် coffee maker မှ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် internal heat gain များ

(ဃ) ပြင်ပ(outdoor)မှ ပူ၍ စိုထိုင်းမှုများသည့် လေများ space အတွင်းသို့ စိမ့်ဝင်လာခြင်း(hot, humid air infiltrating)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat gain များ

ထို့အပြင် အဆောက်အဦတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် HVAC system များ၌ ventilation လုပ်ရန် ရည်ရွယ်ချက်ဖြင့် ထည့်ပေးသည့် ပြင်ပလေ(outdoor air)ကို cooling coil သည် အေးအောင်လုပ်ပေးရန် တာဝန်ရှိသည်။ Ventilation load ကို space heat gain တွက်သည့်အခါတွင် ထည့်တွက်လေ့ မရှိပေ။ Air conditioining system နှင့်သာ သက်ဆိုင်သောကြောင့် system load တွင် ထည့်ပေါင်းသည်။ တစ်ခန်းချင်း သို့မဟုတ် space တစ်ခုချင်း တွက်နေမည့်အစား အခန်းအားလုံး၊ space အားလုံးအတွက် ထည့်ပေါင်းခြင်းသည် ပို၍ လွယ်ကူသည်။

Psychrometric analysis ဆက်လက်လေ့လာကြမည်။

၁၁.၁၃ Psychometric Analysis

Cooling load calculation မှရသည့် ရလဒ်များကို အသုံးပြု၍ psychrometric analysis ပြုလုပ်သည်။

(၁) Space ၏ sensible heat ratio ကို တွက်ရန်

(၂) လိုအပ်သည့် space conditioning ရရှိရန်အတွက် supply airflow နှင့် temperature တွက်ရန် simplified psychrometric analysis ပြုလုပ်ရန် နှင့်

(၃) Cooling coil capacity တွက်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

ထို့နောက် multiple space များအတွက် design airflow ကို ဆက်တွက်ရန် supply fan နှင့် total building cooling load ကို ဆန်းစစ်(analyze လုပ်)သည်။ Space များကို တွက်ရာတွင် နေရာတစ်ခုတည်း(single space)အတွက်သာ တွက်ခြင်းနှင့် နေရာများ(multiple space) အတွက် cooling load တွက်ခြင်းဟူ၍ (၂)မျိုးရှိသည်။

Space Load versus Coil Load

	space load	coil load
conduction through roof, walls, windows, and skylights	✓	✓
solar radiation through windows, skylights	✓	✓
conduction through ceiling, interior partition walls, and floor	✓	✓
people	✓	✓
lights	✓	✓
equipment and appliances	✓	✓
infiltration	✓	✓
ventilation		✓
system heat gains		✓

၁၁.၁၃.၁ Single-Space Analysis

Psychrometric analysis ၏ ပထမဆုံးအဆင့်မှာ မည်သည့် component မှ cooling load သည် space load ကို ဖြစ်စေသည် သို့မဟုတ် မည်သည့် heat gain သည် coil load ဖြစ်စေသည်ကို ဆုံးဖြတ်တတ်ရန် လေ့လာသည့်အဆင့် ဖြစ်သည်။ Building အတွင်း၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် heat gain များ အားလုံးသည် total load ကို ဖြစ်စေ(contribute to the total load)သည်။ ထို heat gain များအားလုံးကို space အတွင်းရှိ supply cool air က ဖယ်ထုတ် ပေးရမည်။ Space ထဲသို့ထည့်ပေးမည့် space load များအားလုံးသည် coil load ဖြစ်သည်။ Cooling coil load ကိုသာ AHU သို့မဟုတ် FCU equipment အရွယ်အစား ရွေးချယ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

၁၁.၁၃.၂ Space Load versus Coil Load

အဆောက်အဦအများစုတွင် ventilation air ကို space အတွင်းသို့ မထည့်သွင်းခင် အေးအောင် ပြုလုပ်လေ့ ရှိသည်။ Condition လုပ်သည်၊ Pre cooled လုပ်သည်ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ ထိုသို့ pre cooled လုပ်သည့် air handling unit များကို pre cooled AHU ဟုခေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် ventilation load သည် total cooling coil load တွင် ထည့်ပေါင်းသည်။ သို့သော် space cooling load တွင် မထည့်သွင်းပေ။ HVAC system တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် fan heat gain နှင့် duct heat gain သည် coil load ဖြစ်သည်။ Space load မဖြစ်ပေ။

အခန်းအတွင်းသို့ ထည့်ပေးမည့်လေ(being supplied to cool the space)၏ အခြေအနေ(proper condition)ကို တွက်ချက် ခန့်မှန်းရန်အတွက် sensible နှင့် latent heat တို့၏ အချိုး(proportions) သိရန် လိုအပ်သည်။

Sensible Heat Ratio (SHR) သည် sensible heat gain ကို total (sensible plus latent) heat gain နှင့် စားထားသည့်အချိုး(ratio) ဖြစ်သည်။ အောက်တွင် ပုံသေနည်းဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

$$\text{SHR} = \frac{\text{Sensible heat gain}}{\text{Sensible heat gain} + \text{Latent heat gain}}$$

$$\text{SHR} = \frac{74{,}626}{74{,}626 + 9109} = 0.89$$

$$\left[\text{SHR} = \frac{21{,}623}{21{,}623 + 2599} = 0.89\right]$$

Sensible Heat Ratio (SHR)ကို သတ်မှတ်ပြီးနောက် space အတွက် psychrometric analysis စတင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ အခန်းအတွင်းသို့ ထည့်ပေးမည့် လေပမာဏ(quantity of air)ကို သတ်မှတ်နိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် ထည့်ပေးမည့် လေအပူချိန်(supply air temperature)နှင့် လေစီးနှုန်း(supply air flow rate)ကို တွက်ရမည်။

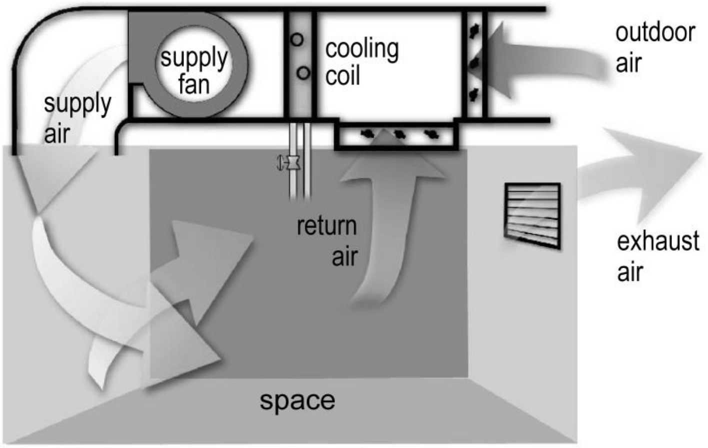
ဤဥပမာအတွက် analysis ပြုလုပ်ရန် ယူဆချက်(assumption)များ ပြုလုပ်ထားသည်။ တစ်ခန်းအတွက် သီးသန့် ကိုယ်ပိုင် air conditioning system (own dedicated air-conditioning system) တစ်ခုအဖြစ် ဒီဇိုင်း လုပ်မည် ဖြစ်ပြီး cooling coil နှင့် supply fan တို့ ပါဝင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အခန်းတစ်ခန်းအတွက် သီးသန့် FCU သို့မဟုတ် AHU တစ်လုံးစီ တပ်ဆင်ထားမည်။

၁၁.၁၄ Supply Airflow တွက်ခြင်း

Space sensible heat gain ကို ဖယ်ရှားပစ်ရန် ထည့်ပေးရမည့် လေပမာဏ(quantity of air required to offset)ကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် ပုံသေနည်း(following formula)ဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\text{Supply Air Flow (CFM)} = \frac{\text{Sensible heat gain}}{1.085 \times (\text{Room Air DB} - \text{Supply Air DB})}$$

$$\left[\text{Supply Air Flow (m}^3\text{/s)} = \frac{\text{Sensible heat gain}}{1{,}210 \times (\text{Room Air DB} - \text{Supply Air DB})}\right]$$



ပုံ ၁၁-၂၅ Single-Space Analysis

၁၁.၁၄.၁ Determine Supply Airflow တွက်ခြင်း

Supply air dry-bulb temperature ယူဆ(assume)၍ supply air စီးနှုန်း(flow)ကို တွက်ခြင်း သို့မဟုတ် supply airflow ကို ယူဆ(assume)၍ supply air temperature ကို တွက်ခြင်း ဖြစ်သည်။

ဤဥပမာတွင် အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် အပူများကို ဖယ်ရှား(to offset the sensible heat gain in this space)ရန်အတွက် ထည့်ပေးမည့် supply air အပူချိန်(dry-bulb temperature)ကို 55°[12.8°C] အဖြစ် ယူဆ(assumeလုပ်)၍ လေပမာဏကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူသည်။

$$\text{Supply Air Flow (CFM)} = \frac{74{,}626}{1.085\ \times (78\text{ F} - 55\text{ F})} = 2{,}990\ CFM$$

$$\left[\text{Supply Air Flow } (m^3/s) = \frac{21{,}623}{1{,}210\ \times (25.6 - 12.8)} = 1.4\ \ m^3/s\right]$$

လိုအပ်သည့်လေပမာဏ(quantity of air required)သည် 2,990 cfm [1.40 m^3/s] ဖြစ်သည်။

၁၁.၁၄.၂ Entering Coil Conditions တွက်ခြင်း

Cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် လေ၏အခြေအနေ(condition of the air)ကို တွက်ရန် လိုသည်။ Space မှ ပြန်လာသည့် Return Air (RA)နှင့် ပြင်ပလေ(outdoor air)တို့ ပေါင်းစပ်(mixture)ကာ cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ပြီး mixed air အခြေအနေ ဖြစ်ပေါ်သည်။ အခန်း(space)မှ လိုအပ်သည့် လေပမာဏ လုံလောက်အောင် ထည့်ပေးရန်အတွက် ပြင်ပလေ(outdoor air) 360 cfm [0.18 m^3/s]နှုန်း ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ပြင်ပလေ(outdoor air)နှင့် ရောထားသည့် လေရာခိုင်နှုန်း(percentage of the total supply airflow)ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်ပါသည်။

$$\%\ \text{OA} = \frac{\text{Ventilation Airflow}}{\text{Total Supply Airflow}}$$

$$\%\ \text{of Outdoor Air} = \frac{360\ \text{CFM}}{2990\ \text{CFM}} = 0.12$$

$$\left[\%\ \text{of Outdoor Air} = \frac{0.18\ \ m^3/s}{1.40\ \ m^3/s} = 0.12\right]$$

Space အတွင်းထည့်ပေးရမည့် လေအခြေအနေ(entering coil condition) တွက်ချက်ရန်အတွက် အခန်းအတွင်းမှ ပြန်လာသည့် လေ(return air) အခြေအနေသည် အခန်းအတွင်းရှိ လေအခြေအနေနှင့် တူညီသည်ဟု ယူဆထားသည်။(assuming that the air being recirculated from the space is the same condition as the space)။

Cooling coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် လေ၏ အခြေအနေ(condition of the air entering the cooling coil)ကို ခန့်မှန်းနိုင်သည်။ Air mixture အပူချိန်(dry-bulb temperature)ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

- Outdoor air conditions: 95˚F [35˚C] dry bulb, 76˚F [24.4˚C] wet bulb
- Recirculated air conditions: 78˚F [25.6˚C] dry bulb, 50% relative humidity

$$(95^\circ F \times 0.12) + (78^\circ F \times 0.88) = 80^\circ F$$

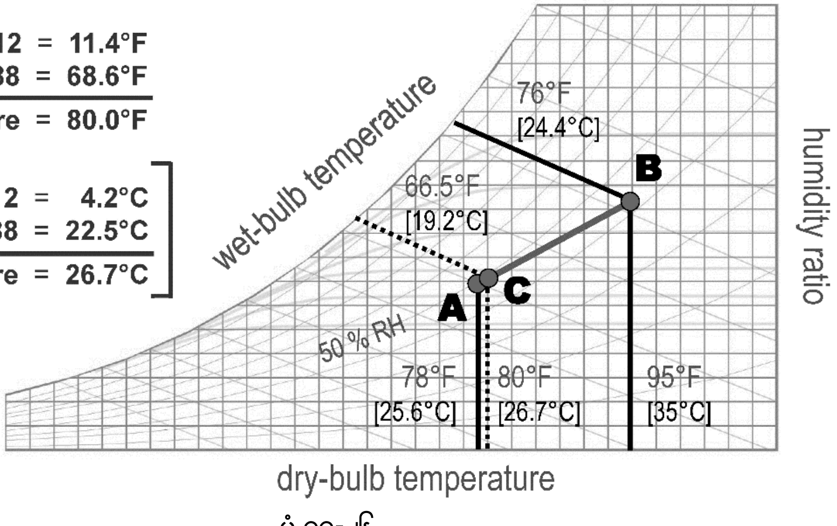
$$[(35^\circ C \times 0.12) + (25.6^\circ C \times 0.88) = 26.7^\circ C]$$

Psychrometric chart ကို အသုံးပြု၍ air mixture(C) ၏အခြေအနေ(condition)ကို recirculated air ၏ condition point(A) နှင့် outdoor air condition point(B)တို့ ဆက်ထားသည့် လိုင်းသည်(line connecting) အပေါ်တွင် ကျရောက်ရမည်။

Wet-bulb temperature အမှတ်(mark)ကို ဖြတ်(intersect)၍ connecting line နှင့် 80°F [26.7°C] dry-bulb temperature သည် ခန့်မှန်းခြေ(approximately) 66.5°F [19.2°C] ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် recirculated air တွင် ပါဝင်နေသည့် ၈၈% larger percentage (88%) of the mixture, mixed-air condition (C)သည် recirculated air condition (A)နှင့် ပို၍ နီးစပ်နေသည်။ Outdoor design condition (B) အခြေအနေ point ထက် ပို၍ နီးစပ်နေသည်။

95°F	× 0.12	=	11.4°F
78°F	× 0.88	=	68.6°F
	mixture	=	80.0°F

35°C	× 0.12	=	4.2°C
25.6°C	× 0.88	=	22.5°C
	mixture	=	26.7°C



ပုံ ၁၁-၂၆

၁၁.၁၄.၃ Supply Air Temperature သတ်မှတ်ခြင်း

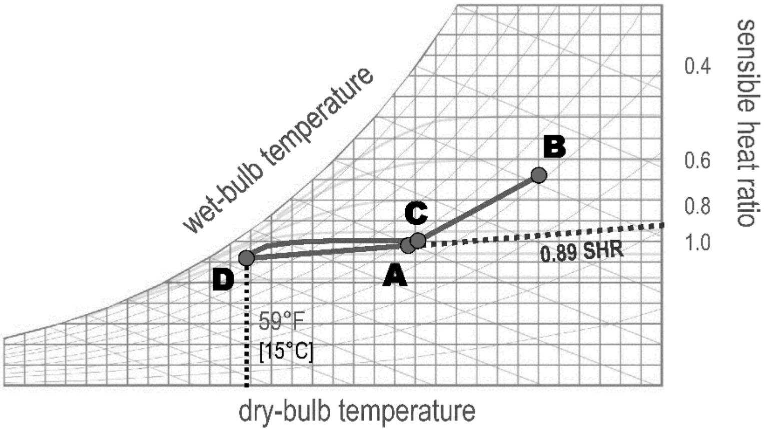
နောက်တစ်ဆင့်သည် အခန်းအတွင်းမှ sensible အပူများနှင့် latent အပူများ စုပ်ယူရန် အတွက်(absorb the sensible and latent heat in the space) သို့မဟုတ် စုပ်ယူနိုင်မည့် supply-air condition (dry-bulb and wet-bulb temperatures) အခြေအနေကို သတ်မှတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

SHR scale အပေါ်ရှိ 0.89 တန်ဖိုး(value) အမှတ်ကို ဆက်သွယ်ပေး(connecting)သည့် sensible-heat-ratio line ကို ရေးဆွဲနိုင်သည်။ Desired space condition point သည် "index point" ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် index point ကို desired space condition point အဖြစ် သတ်မှတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ဤဥပမာတွင် အမှတ် (A)သည် index point သို့မဟုတ် desired space condition point ဖြစ်သည်။

ထိုလိုင်းကို saturation curveသို့ ထိသည့်တိုင်အောင် ဆက်ဆွဲ(line is extended until it intersects the saturation curve) ရသည်။ အကယ်၍ desired space condition နှင့် မတူညီခဲ့လျှင် 0.89 SHR line နှင့်

အပြိုင်လိုင်းကို space condition ကို ဖြတ်၍ ရေးဆွဲရမည်။ Coil curve (၂)ခုကို guide အဖြစ်ထား၍ mixed air point (C)ကို SHR လိုင်းထိသည့်တိုင်အောင် ဆက်ဆွဲပါ။

အနီးစပ်ဆုံး coil curve (၂) ခုကို guide အဖြစ် အသုံးပြု၍ mixed-air condition (C)မှ SHR line ကို ဖြတ်သွား(intersect)သည့် အမှတ်တစ်ခုကို ရေးဆွဲပါ။ ဖြတ်မှတ်(point of intersection) (D)သည် supply-air condition ဖြစ်သည်။ Space ကို အလိုရှိသည့် အခြေအနေတွင် ထိန်းထားနိုင်ရန်(required to maintain the desired space condition) အတွက် space sensible and latent heat gain တို့ကို ဖယ်ထုတ်ပေးနိုင်သည့် supply-air condition ဖြစ်သည်။ Space sensible နှင့် latent heat gain တို့အတွက် မှန်ကန်သည့် အချိုး(correct proportion) ဖြစ်သည်။ Supply-air condition သည် 59°F dry bulb ၊ 57.4°F wet bulb [15°C dry bulb, 14.1°C wet bulb] ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁၁-၂၇ Psychrometric chart ပေါ်တွင် point များချ၍ ဆန်းစစ်(analysis) တွက်ချက်ပုံ

၁၁.၁၄.၄ Recalculate Supply Airflow

Supply air temperature သည် အရှေ့ပိုင်း၌ ယူဆတွက်ချက်ခဲ့သည့် 55˚F[12.8˚C]နှင့် မတူညီသောကြောင့် supply airflow ကို ပြန်တွက်(recalculated)ရန် လိုအပ်သည်။

ဒုတိယအကြိမ်တွက်ရန်(to complete another iteration of this analysis)

(၁)ပြင်ပလေရာခိုင်နှုန်း(new percentage of outdoor air)ကို တွက်ပါ။ 10% ဖြစ်သည်။

(၂)ဝင်ရောက်လာမည့် လေအခြေအနေအသစ်(new entering coil conditions) 79.7˚F dry bulb, 66.2˚F wet bulb [26.5˚C dry bulb, 19˚C wet bulb]) ကို သတ်မှတ်ပါ။

(၃)အသစ်ဖြစ်ပေါ်လာမည့် mixed-air condition မှ 0.89 SHR line နှင့် ဖြတ်သည့်အမှတ်(intersect point) curve ရေးဆွဲပါ။ ဒုတိယအကြိမ်တွက်သည့် ရလဒ်သည် ပထမအကြိမ်တွက်စဉ်က ရရှိသည့် supply air condition နှင့် တူညီသည်။ (This second iteration will likely result in the same supply air condition as the first iteration.)

Space ကို လိုအပ်သည့် အခန်းအခြေအနေတွင် ထိန်းထားရန်အတွက် လေ 3,620 cfm နှုန်းနှင့် အပူချိန် 59°F dry bulb ၊ 57.4°F wet bulb [1.69 m3/s of air at 15°C dry bulb, 14.1°C wet bulb] လိုအပ်သည်ဟု Psychrometric analysis မှ ဖော်ပြ(indicates)နေသည်။ Space ၏ sensible and latent heat gain ကို ဖယ်ရှားရန်အတွက် မှန်ကန်သည့်အချိုး(correct proportion) ဖြစ်သည်။

Psychrometric chart နှင့် psychrometric analysis အကြောင်းကို ACMV vol 1 မှ အခန်း(၂)တွင် အသေးစိတ် လေ့လာဖတ်ရှု နိုင်ပါသည်။

$$\text{Supply Air Flow (CFM)} = \frac{74{,}626}{1.085 \times (78\text{ F} - 59\text{ F})} = 3{,}620\ CFM$$

$$\left[\text{Supply Air Flow } (m^3/s) = \frac{21{,}623}{1{,}210 \times (25.6 - 15)} = 1.69\ \ m^3/s\right]$$

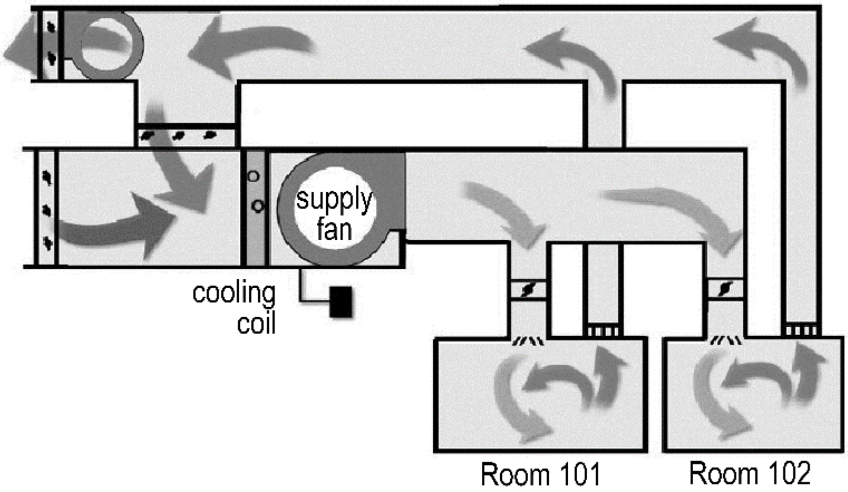
၁၁.၁၅ Total Cooling Load on Coil

	Room 101 Btu/hr [W]
total space sensible load	74,626 [21,623]
total space latent load	9,109 [2,599]
ventilation	15,460 [4,756]
total coil cooling load	**99,195 [28,978]**

Air conditioning system တွင် တပ်ဆင်ထားမည့် cooling coil သည် space ၌ ဖြစ်ပေါ်မည့် sensible and latent load ကို ကောင်းစွာ ဖယ်ထုတ်နိုင်ရမည်။ ထို့အပြင် cooling coil အပေါ်တွင် သက်ရောက်နိုင်သည့် additional load များကိုလည်း ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရမည်။ ဤဥပမာတွင် ventilation အတွက် ထည့်ပေးရသည့် ပြင်ပလေ(outdoor air)သည် cooling coil ၏ additional load ဖြစ်သည်။ Cooling coil ၏ total load သည် 99,195 Btu/hr (8.3 refrigeration tons) [28,978 W] ဖြစ်သည်။

ပြီးခဲ့သည့် ဥပမာသည် အခန်းတစ်ခန်း(room 101) အတွက်သာ ဖြစ်သည်။ သို့သော် လက်တွေ့အခြေအနေတွင် အခန်းတစ်ခန်းအတွက်သာ တွက်ရသည့် အခြေအနေမျိုးနှင့် ကြုံတွေ့ရန် အလွန်ရှားသည်။

Multiple-Space Analysis ဆိုသည်မှာ - အခန်းများစွာ၊ နေရာများစွာ၏ cooling load ကို တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ တွက်ချက်မှု နားလည်နိုင်ရန်၊ လွယ်ကူစေရန်အတွက် အခန်း(၂)ခန်း(room 101 and 102)ကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၁-၂၈ Multiple-Space Analysis

space sensible load components	8 a.m. Btu/hr	[W]	4 p.m. Btu/hr	[W]
conduction through roof	2,616	[740]	12,312	[3,563]
conduction through exterior wall	160	[48]	502	[144]
conduction through windows	202	[51]	1,310	[359]
solar radiation through windows	3,552	[1,012]	22,733	[6,447]
people	4,500	[1,350]	4,500	[1,350]
lights	22,097	[6,480]	22,097	[6,480]
equipment	8,184	[2,404]	8,184	[2,404]
infiltration	2,988	[876]	2,988	[876]
total space sensible load	**44,299**	**[12,961]**	**74,626**	**[21,623]**

Room 101 (Faces West)

space sensible load components	8 a.m. Btu/hr	[W]	4 p.m. Btu/hr	[W]
conduction through roof	2,616	[740]	12,312	[3,563]
conduction through exterior wall	160	[48]	844	[252]
conduction through windows	202	[51]	1,310	[359]
solar radiation through windows	21,667	[6,138]	3,078	[874]
people	4,500	[1,350]	4,500	[1,350]
lights	22,097	[6,480]	22,097	[6,480]
equipment	8,184	[2,404]	8,184	[2,404]
infiltration	2,988	[876]	2,988	[876]
total space sensible load	**62,414**	**[18,087]**	**55,313**	**[16,158]**

Room 102 (Faces East)

၁၁.၁၅.၁ "Sum-of-Peaks" versus "Block"

space sensible load	8 a.m. Btu/hr	[W]	4 p.m. Btu/hr	[W]
Room 101 (faces west)	44299	[12961]	**74626**	**[21623]**
Room 102 (faces east)	**62414**	**[18087]**	55313	[16158]

ဤဥပမာတွင် အခန်း(၂)ခန်း၏ peak space load သည် တစ်ချိန်တည်း၌ တစ်ပြိုင်နက် မဖြစ်ပေါ်ပေ။ System တစ်ခုအတွင်းရှိ အခန်းများအားလုံး၏ peak space load သည် တစ်ချိန်တည်း၌ တစ်ပြိုင်နက် မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Space အတွက် လိုအပ်သည့် supply airflow ကို room 101 အတွက် maximum sensible load 74,626 Btu/hr [21,623 W] နှင့် room 102 အတွက် 62,414 Btu/hr [18,087 W] ကို အခြေခံ၍ တွက်သည်။ Supply fan သည် မြန်နှုန်းပုံသေ(constant volume of air at all times)ဖြင့် မောင်း၍ လိုအပ်သည့် လေပမာဏ ထုတ်ပေးသည်။ အခန်း(၂)ခန်း၏ peak sensible load ကို ပေါင်း၍ ရသည့် 137,040 Btu/hr [39,710 W] ဖြင့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်သင့်သည်။ **Sum-of-peaks** load ဟုခေါ်သည်။

အခန်း(၁၀၁)နှင့် (၁၀၂)(rooms 101 and 102) တို့၏ peak load ဖြစ်ပေါ်သည့် အချိန်မတူညီ(peak at different times of the day)ကြပေ။ သို့သော် အချိန်တစ်ချိန်တွင် အခန်း(၂)ခန်းပေါင်း၏ အမြင့်ဆုံး peak load ဖြစ်ပေါ်(*sum* of these two space loads is highest)လိမ့်မည်။ ထိုload ကို **block** load ဟုခေါ်သည်။ ထို space နှစ်ခုအတွက် VAV system ကို အသုံးပြုထားလျှင် supply fan သည် အခန်းတစ်ခုချင်းစီအတွက် လိုအပ်သလောက်သာ မောင်းပေးအောင် control လုပ်နိုင်သည်။ Supply fan အရွယ်အစားကို space sensible load နှစ်ခုပေါင်း အများဆုံး ဖြစ်ချိန် 129,939 Btu/hr [37,781 W] ကို အခြေခံ၍ ရွေးချယ်နိုင်သည်။

Sum-of-peaks = 74626 + 62414 = 137040 Btu/hr
[21623 + 18087 = 39710 W]

Block = 74626 + 55313 = 129939 Btu/hr
[21623 + 16158 = 37781 W]

Psychrometric analysis လုပ်နေချိန်တွင် supply air အပူချိန် dry bulb သည် 59°F [15°C] ဖြစ်သည်ဟု ယူဆ၍ တွက်ခဲ့ပြီးဖြစ်သည်။ Sum-of-peaks နှင့် block airflows ကို supply fan အရွယ်အစားရွေးချယ်(sizing)ရန် ထိုအခြေအနေနှစ်မျိုး(these two cases)ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

- **Sum-of-peaks**
  supply airflow = 6,648 CFM [3.10 m^3/s]
- **Block**
  supply airflow = 6,303 CFM [2.95 m^3/s]

၁၁.၁၅.၂ Block Cooling Load

loads at 4 p.m.	**Room 101** Btu/hr [W]	**Room 102** Btu/hr [W]
total space sensible load	74626 [21623]	55313 [16158]
total space latent load	9109 [2599]	9109 [2599]
ventilation	15460 [4756]	15460 [4756]
Total coil cooling load	**99195 [28978]**	**79882 [23513]**

အခန်းတစ်ခန်းတည်းကို တွက်သည့် ဥပမာ(single-space example) ကဲ့သို့ပင် HVAC system ၏ cooling coil သည် spaces (၂) ခုအတွက် တပ်ဆင်မည့် cooling coil သည် space sensible နှင့် latent load ကို ဖယ်ထုတ်ပေးနိုင်စွမ်းရှိရမည်။ ထို့အပြင် ventilation အတွက်ထည့်ပေးမည့် outdoor air မှ ဖြစ်ပေါ်လာမည့် additional load ကိုလည်း cooling coil က ဖယ်ရှားပေးနိုင်ရမည်။

ယေဘုယျအားဖြင့် multiple space များအတွက် cooling coil အရွယ်အစား ရွေးချယ်ရာတွင် block cooling load ကို အခြေခံသည်။ ဤဥပမာတွင် block load သည် 4 p.m. အချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအချိန်တွင် 101 နှင့် 102 တို့၏ space load နှင့် ventilation load တို့ပေါင်းခြင်း အများဆုံး(highest) ဖြစ်သည်။

ဤဥပမာမှ multiple-space system အတွက် cooling coil အရွယ်အစားရွေးချယ်ရန် block load သည် 179,077 Btu/hr (14.9 refrigeration tons) [52,491 W] ဖြစ်သည်။

Block cooling load (4 p.m.) = 99195 + 79882 = 179077 Btu/hr
[28978 + 23513 = 52491 W]

-End-