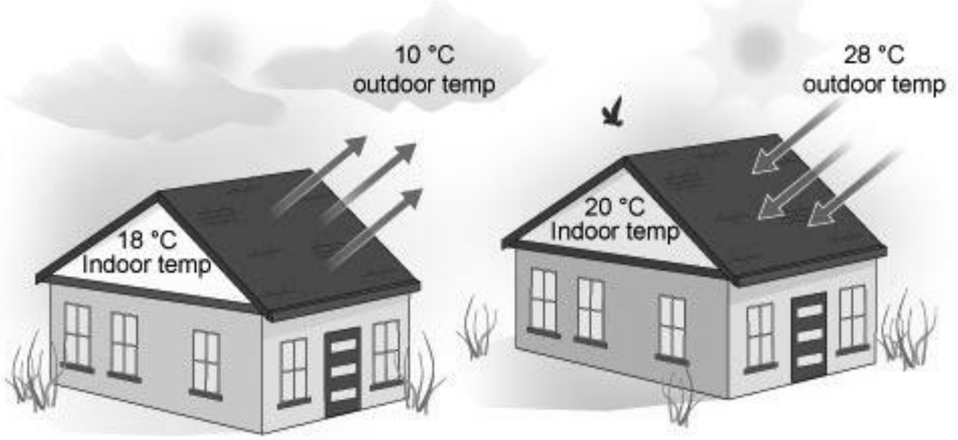
# Chapter-2
# Basic Heat Transfer

ဤအခန်းသည် cooling load တွက်နည်းကို လေ့လာခါစသူများအတွက် ရည်ရွယ်ပါသည်။ Processional cooling load တွက်နေသူများအတွက် နားလည်ပြီးသား အကြောင်းအရာများ ဖြစ်ကောင်းဖြစ်နိုင်သည်။




ပုံ ၂-၁ ပြင်ပ အပူချိန်နိမ့်သည့်အခါ အဆောက်အဦအတွင်းမှ အပူများ ထွက်သွားပုံ(heat loss)နှင့် ပြင်ပ အပူချိန်မြင့်သည့် အခါ အဆောက်အဦအတွင်းသို့ အပူများဝင်ရောက်လာပုံ(heat gain)ကို ဖော်ပြထားသည်။

Heating ၊ cooling နှင့် ventilation တွက်ချက်မှုများ(calculations) ပြုလုပ်ရန် conduction ၊ convection နှင့် radiation အပူကူးပြောင်းနည်း(heat transfer)(၃)မျိုးကို ကျွမ်းကျင်စွာ နားလည်သဘောပေါက်ထားရန် လိုသည်။ အပူကူးပြောင်းနည်း (modes of heat transfer)၏ အဓိပ္ပာယ် ဖွင့်ဆိုချက်များကို ရှင်းလင်းစွာ နားလည်ရန် လိုသည်။

## ၂.၁ Conduction, Convention and Radiation

### ၂.၁.၁ Conduction

Conduction နည်းသည် အစိုင်အခဲများ(solid)များတွင် ဖြစ်ပါသည့် အပူကူးပြောင်းမှု ဖြစ်စဉ်(process of transferring heat)ဖြစ်သည်။ Heat conduction သည် အစိုင်အခဲ(solid)များတွင် မော်လီကျူးများ ရွေ့လျားခြင်း (molecular motion)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည်။

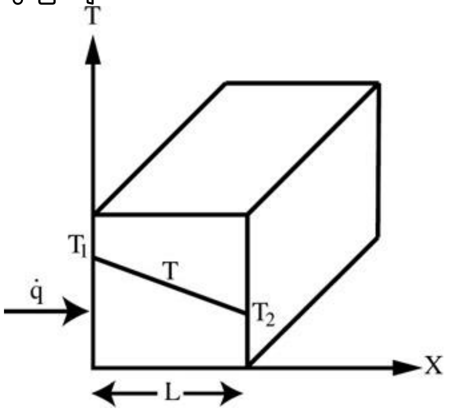
မော်လီကျူးများ တုန်ခါ၍ ရွေ့လျားခြင်း(vibrational motion of the molecules in the lattice) နှင့် အီလက်ထရွန်များ စီးဆင်း(flow of electrons)နေခြင်းကြောင့် heat conduction ဖြစ်ပေါ်သည်။ အပူချိန်မြင့်သည့် မော်လီကျူး(higher temperature of molecules)သည် မော်လီကျူလာစွမ်းအင်(molecular energy) ပိုမြင့်လာသည်။ အပူချိန်မြင့်လာလေ မော်လီကျူလာစွမ်းအင် ပိုမြင့်လာလေ ဖြစ်သည်။ မည်သည့် medium တွင် ဖြစ်စေ conductionကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှုနှုန်း(heat transfer rate)သည် အောက်ပါ အချက်များအပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(၁) အစိုင်အခဲ၏ ပုံသဏ္ဌာန်(geometry of the medium)

(၂) အထူ(thickness of the medium)

(၃) အမျိုးအစား(type of the medium) နှင့်

(၄) ဘေးနှစ်ဘက်၏ အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperature gradient across the medium)တို့ ဖြစ်သည်။




ပုံ ၂-၂ One-dimensional heat transfer by conduction

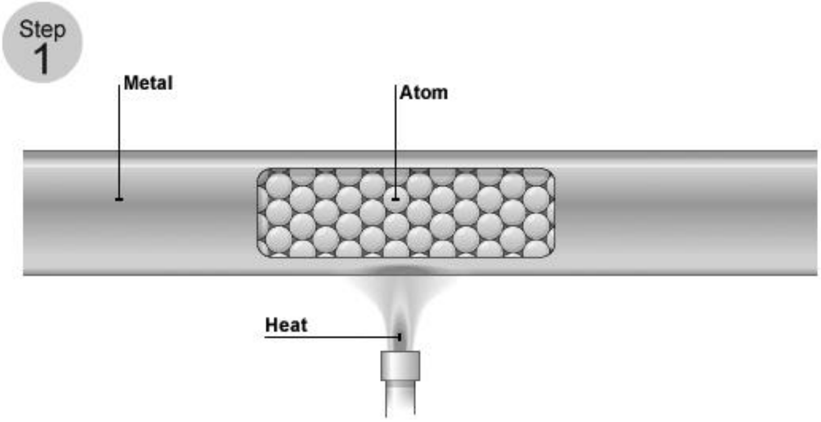
ပုံ(၂-၂)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း one-dimensional plane ၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှုနှုန်း(conduction heat transfer rate)ကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\dot{q} = -KA\frac{dT}{dX}$$

q is the rate of heat transfer, Btu/hr in the X direction

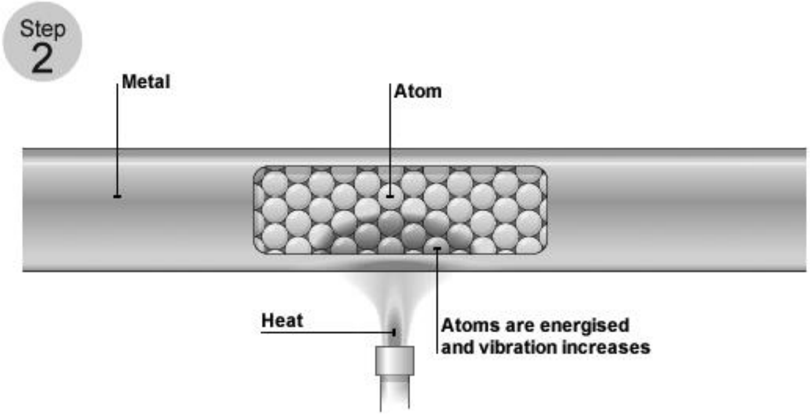
K (Btu/ hr-ft- R) is the thermal conductivity of the medium.

အထက်ပါညီမျှခြင်း(equation)ကို Fourier's law of heat conduction ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ အနုတ်လက္ခဏာသည် အပူချိန်မြင့်ရာမှ အပူချိန်နိမ့်ရာသို့ စီးဆင်းနေသည့် ဦးတည်ရာကို ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ (The minus sign indicates heat transfer in the direction of decreasing temperature.)

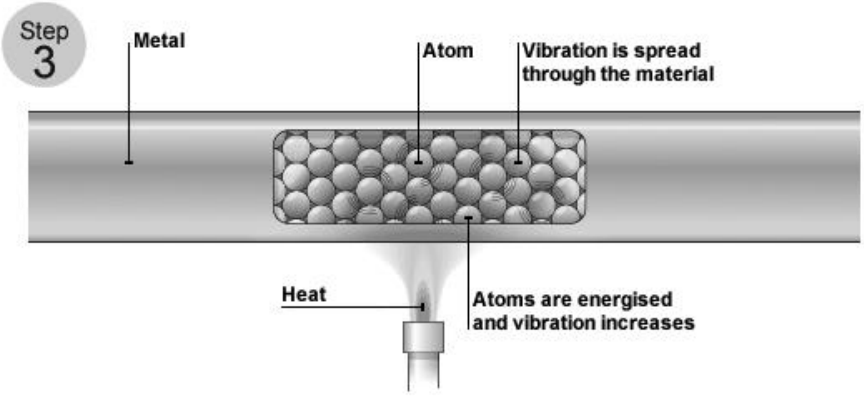



ပုံ ၂-၃(က) Energy transfer by conduction

Thermal conductivity ဆိုသည်မှာ အရာဝတ္ထုများ၏ ဂုဏ်သတ္တိ (property of the substance) ဖြစ်သည်။ Thermal conductivity တန်ဖိုးသည် အပူချိန်အပေါ်တွင်မူတည်(function of temperature)သည်။ Thermal conductivity တန်ဖိုးများကို ဇယားများမှ ဖတ်ယူနိုင်သည်။ Conduction နည်းဖြင့် အပူစွမ်းအင်(heat energy)များ ကူးပြောင်းခြင်းသည် အစိုင်အခဲ(solid)များတွင်သာ များသောအားဖြင့် ဖြစ်ပေါ်သည်။




ပုံ ၂-၃(ခ) Energy transfer by conduction




ပုံ ၂-၃(ဂ) Energy transfer by conduction

**Energy Transfer by Conduction**

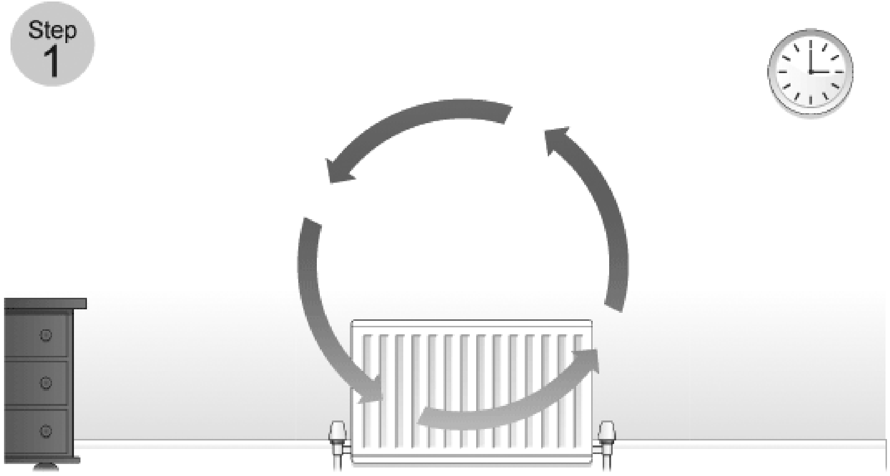
အပူထွက်သည့်နေရာ(heat from the source)မှ အပူစွမ်းအင်(heat energy)သည် အစိုင်အခဲ၏ အက်တမ်များကို တုန်ခါစေပြီး(causing the atoms of the solid to vibrate) စွမ်းအင်အချို့ကို ပိုင်ဆိုင်သွားစေ(gain kinetic energy)သည်။ တုန်ခါမှုမြင့်ပြီး kinetic energy ပိုင်ဆိုင်သည့် အက်တမ်များ(atoms)သည် အနီးရှိ kinetic energy နိမ့်သည့်အက်တမ်များ(neighbouring atoms)ဆီသို့ တုန်ခါမှုများနှင့် kinetic energyကို လက်ဆင့်ကမ်းပေးသည်။

အက်တမ်တစ်ခုမှ အခြားအက်တမ် တစ်ခုစီသို့ Kinetic Energy(KE)များ ကူးပြောင်းသွားသည်။ ဤနည်းဖြင့် အစိုင်အခဲအတွင်း၌ အပူများသည် တစ်နေရာမှ တခြားတစ်နေရာသို့ ကူးပြောင်းသွားသည်။ အက်တမ်များ၌ Kinetic Energy(KE) ပိုင်ဆိုင်မှုများလာသည့်အခါ အက်တမ်များ၏ အပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။(As the atoms of the solid gain kinetic energy the temperature of the solid increases.)

## ၂.၁.၂ Convention

Convection နည်းသည် အရည် သို့မဟုတ် လေများ ရွေ့လျားခြင်းကြောင့်(result of the movement of a fluid)ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှု ဖြစ်သည်။ အပူချိန်ကွာခြားမှု(temperature differences)ကြောင့် သိပ်သည်းဆ (density differences) ကွာခြားမှု ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ထို သိပ်သည်းဆ(density) မတူညီသည့် လေများ သဘာဝ

အတိုင်းရွေ့လျား(natural movement of air)သွားသောကြောင့် convection heat transfer ဖြစ်ပေါ်သည်။ Convection နည်းဖြင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် လေရွေ့လျားမှု(air movement) ကို convection current ဟုခေါ်သည်။




ပုံ ၂-၄ Convention

Convention နည်းဖြင့် အပူကူးပြောင်းခြင်းသည် အငွေ့နှင့်အရည်များ(gases and liquids)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည်။ အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)သည် net energy transfer ဖြစ်သည်။ အရည်များနှင့် အငွေ့များ(liquids and gases)ကို fluid များဟု ခေါ်သည်။ Fluid များ၌ အပူစွမ်းအင်(heat energy)သည် convection နည်းဖြင့်သာ ကူးပြောင်းကြသည်။

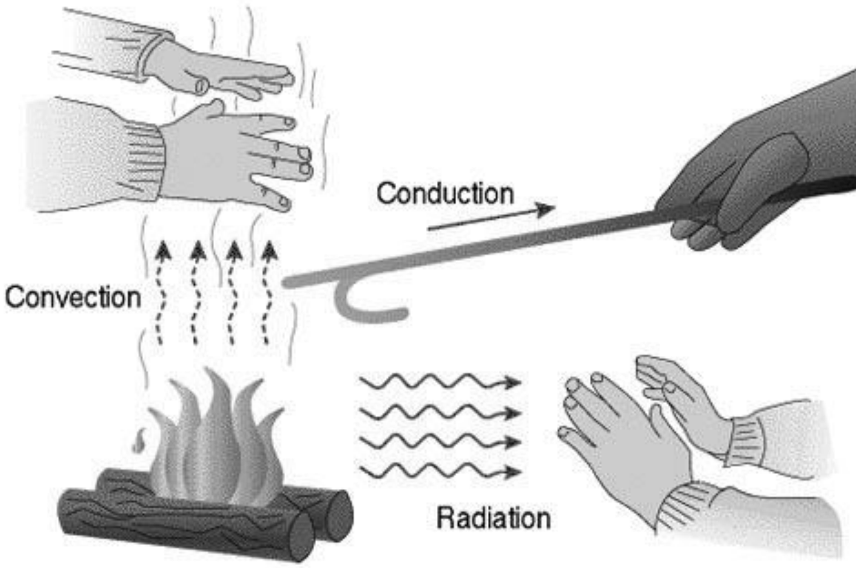
အပူ(heat source)သည် အနီးရှိ fluid ကို ကျယ်ပြန့်စေပြီး အထက်သို့ တက်(expand and rise upwards) စေသည်။ Hot fluid မှ အပူများသည် အနီးရှိ အေးနေသည့် အစိတ်အပိုင်း(cooler parts of the fluid)ဆီသို့ ကူးပြောင်းသွားသည်။ ပူနွေးသည့်လေစီးကြောင်း(warm fluid convection current) ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Heat source နှင့် အနီးဆုံးနေရာမှ fluid များသည် ပူ၍ အထက်သို့ တက်သည်။ ထိုနေရာသို့ အေးသည့် fluid များ အစားထိုး ဝင်ရောက်လာသည်။

ပုံ ၂-၅ Radiation

## ၂.၁.၃ Radiation

Radiation သည် အပူချိန်မတူညီသည့် အရာဝတ္ထုနှစ်ခုအကြားတွင် electromagnetic wave များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှု ဖြစ်စဉ်(process of transferring heat)ဖြစ်သည်။ ထူးခြားချက်တစ်ခုမှာ အပူချိန် မတူညီသည့် အရာဝတ္ထုနှစ်ခုအကြားတွင် ရှိနေသည့် လေ၏အပူချိန်မြင့်တက်ခြင်းမရှိဘဲ အပူကူးပြောင်းမှုဖြစ်ပေါ်သည်။

ပူသည့်အရာဝတ္ထု(hot object)များမှ အင်ဖာရက်များလှိုင်း(infrared wave) ထုတ်လွှတ်သည်။ Infrared wave များသည် အလင်းအလျှင်ဖြင့် radiate လုပ်သည်။ (Infrared waves are radiated from the hot object at the speed of light.)




ပုံ ၂-၆ အပူစီးကူးပုံ နည်းသုံးမျိုး

အပူချိန်နိမ့်သည့် အရာဝတ္ထု(cooler body)များသည် infrared radiation များကို စုပ်ယူ(absorbed) သောကြောင့် အပူချိန်မြင့် တက်လာသည်။ အပူချိန်နိမ့်သည့်အရာဝတ္ထု၏ အပူချိန်မြင့်တက်(temperature of the cooler body to increase)လာသည်။ ဥပမာ- နေရောင်ခြည်မှ အပူစွမ်းအင်များသည် ကျွန်ုပ်တို့၏ ခန္ဓာကိုယ်ပေါ်သို့ infrared radiation နည်းဖြင့် ရောက်ရှိလာသည်။(Infrared radiation is the means by which heat energy reaches us from the Sun.)

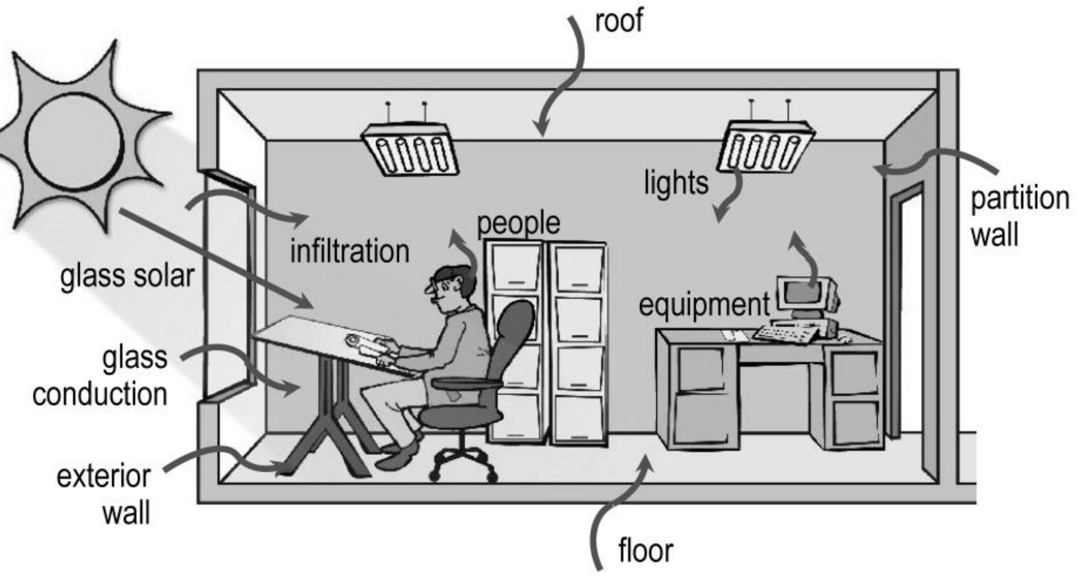
Cooling load နှင့် heating load ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ အခန်း သို့မဟုတ် အဆောက်အဦအတွင်းသို့ အပူများ ဝင်ရောက်လာသည့်အခါ အပူချိန် မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ အခန်းကို သက်သောင့်သက်သာဖြစ်မည့် အပူချိန်တွင် ထိန်းထားရန်အတွက် ဝင်ရောက်လာသည့် အပူများ(heat gains)ကို အဆက်မပြတ် ဖယ်ထုတ်ပေးရန်လိုသည်။ ထိုဖယ်ထုတ်ပေးရမည့် အပူပမာဏကို cooling load ဟု ခေါ်သည်။

Cooling load calculation သည် HVAC and Refrigeration engineer များ ပထမဦးစွာ ဆောင်ရွက်ရသည့် အဆင့်ဖြစ်သည်။ Air conditioning equipment အရွယ်အစား(size) ရွေးချယ်ရန်အတွက်နှင့် အဆောက်အဦများတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat loss သို့မဟုတ် heat gain ပမာဏကို ခန့်မှန်းရန်အတွက် cooling load သို့မဟုတ် heating load တွက်ချက်ခြင်းများ ပြုလုပ်ကြရသည်။

Cooling load တွက်ရာတွင် အပြင်ဘက်မှ ဝင်လာသည့် အပူများ(external load)နှင့် အတွင်းပိုင်းမှ ထွက်လာသည့် အပူများ(internal load) ဟူ၍ အပိုင်းနှစ်ပိုင်း ခွဲခြားလေ့ရှိသည်။ External load တွင် ခေါင်မိုးများ (roofs)၊ နံရံများ(walls)၊ skylight များ နှင့် ပြတင်းပေါက်များ(windows)ကို ဖြတ်၍ conduction နည်း နှင့် radiation နည်းတို့ဖြင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် heat gain အပြင် အဆောက်အဦအတွင်းသို့ infiltration ကြောင့် ဝင်ရောက်လာသည့် ပြင်ပလေ(outside air)များနှင့် ventilation requirement ကြောင့် ထည့်ပေးရမည့် ပြင်ပလေ (outside air)များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် heat gain များ ပါဝင်ကြသည်။

Internal load တွင် အခန်းအတွင်းရှိလူများ(people)မှ latent heat နှင့် sensible heat နှစ်မျိုးလုံးမှ ထွက်ပေါ်လာသည့် heat load များ၊ မီးလုံးမီးချောင်းများ(lighting)နှင့် computers ၊ televisions ၊ motors စသည့်

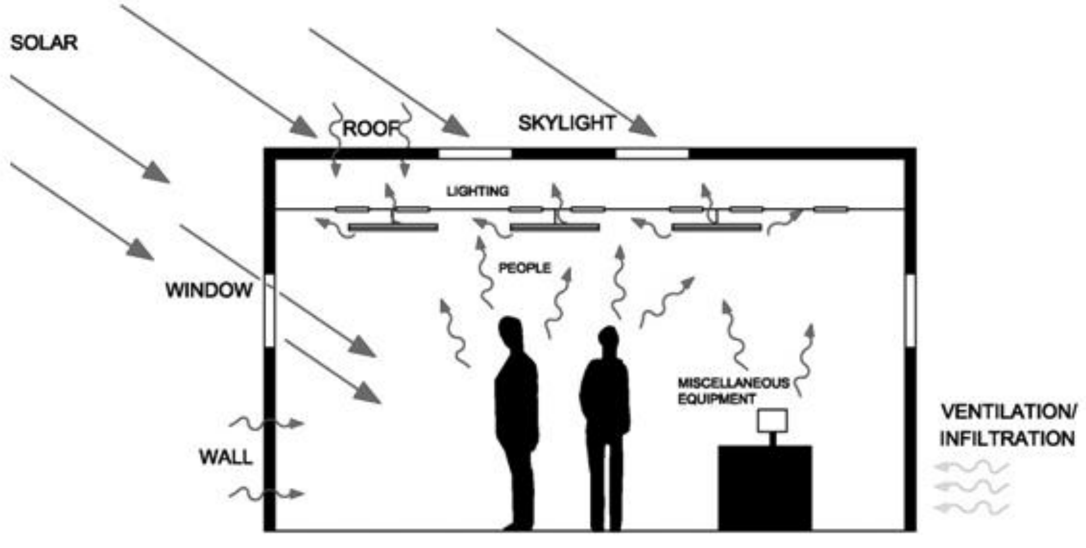
equipment များမှ ထွက်လာသည့် အပူ(heat load)များ ပါဝင်သည်။ Heat gain များကို sensible heat နှင့် latent heat gain ဟူ၍လည်း နှစ်မျိုး ခွဲခြားထားသည်။




ပုံ ၂-၇ Room heat gain

## ၂.၁.၄ မသေချာမှု(Uncertainty) များ

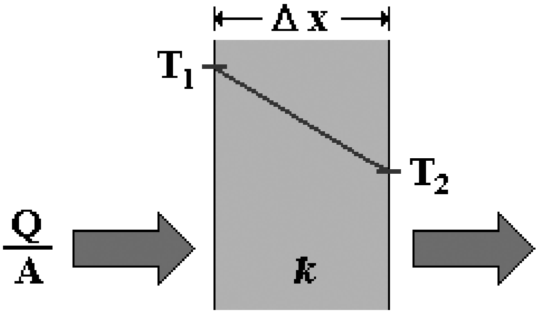
Heat gain သို့မဟုတ် cooling load တွက်ရာတွင် မသေချာမှု(uncertainty)များစွာ ပါဝင်လေ့ရှိသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် တိကျသည့်တန်ဖိုးများရရှိရန် မဖြစ်နိုင်သည့်အခါများတွင် ယူဆချက်(assumptions) များစွာကို သတ်မှတ်ရသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ အခန်းတွင်းရှိနေမည့်သူ အရေအတွက်(occupant load)၊ တည်ရှိရာ ဒေသ၏ ရာသီဥတုအခြေအနေ(outdoor weather conditions) ၊ equipment မောင်းချိန်၊ ရပ်နားချိန်(schedules) နှင့် တခြား heat gain စသည့် အချက်အလက်များကို cooling load တွက်ချက်မှုပြုလုပ်နေစဉ် အတိအကျ မရရှိနိုင်သော ခန့်မှန်းမှုများစွာ ပြုလုပ်ကြရသည်။




ပုံ ၂-၈ အခန်းအတွင်းသို့ အပူများ ဝင်ရောက်ပုံနှင့် အခန်းအတွင်းရှိ အရာများမှ အပူများ ထွက်လာပုံ

Cooling load တွက်နည်းများ အမျိုးမျိုးကွဲပြားသည်။ Radiant Time Series ၊ Total Equivalent Time Difference နှင့် CLTD/SCL/CLF နည်းများ(methods)အနက် CLTD/SCL/CLF method သည် လက်တွေ့ အကျဆုံးနည်း(practical method)ဖြစ်ပြီး ကွန်ပျူတာကို အသုံးမပြုဘဲ ဂဏန်းပေါင်းစက် သို့မဟုတ် excel ဖိုင်ဖြင့် (၄)နာရီမှ (၆) နာရီအတွင်း ပြီးအောင် တွက်ချက်နိုင်သည်။

| **External** | **Internal** |
|---|---|
| Roofs/Walls – Conduction | Lights |
| Roofs/Walls – Radiation | People |
| Skylights/Windows – Conduction | Miscellaneous Equipment |
| Skylights/Windows – Radiation | |
| Ventilation/Infiltration | |




ပုံ ၂-၉ နံရံတစ်ခုအတွင်း၌ အပူစီးကူးပုံ(Heat Conduction Through Walls)

**(၁) Heat Conduction Through Opaque Walls**

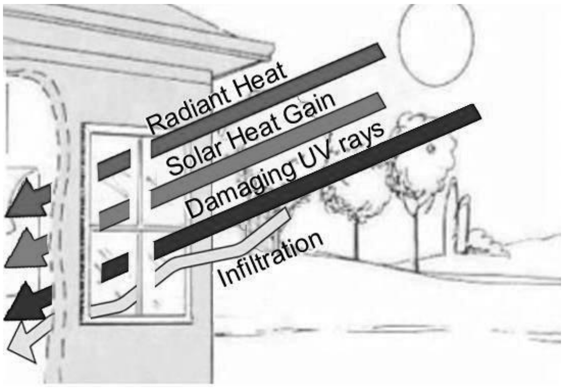
အဆောက်အဦအတွင်းနှင့် အပြင်တွင် အပူချိန်ကွာခြားသည့်အခါ မြင့်သည့်အပူချိန် T1 မှ နိမ့်သည့် အပူချိန် T2 သို့ နံရံများကို ဖြတ်၍ အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ဥပမာ-စင်ကာပူနိုင်ငံ၌ ပြင်ပအပူချိန် 35°C မှအဆောက် အဦအတွင်း အပူချိန် 22°C သို့ conduction အပူစီးကူးမှုဖြစ်ပေါ်သည်။ မြန်မာနိုင်ငံတွင် ပူပြင်းသည့် နွေရာသီ အညာဒေသ၌ ပြင်ပအပူချိန် 40°C မှ အဆောက်အဦအတွင်း အပူချိန် 22°C သို့ conduction အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ အပူချိန်ကွာခြားချက်များလျှင် နံရံကိုဖြတ်၍ စီးဝင်လာသည့် အပူပမာဏ များလိမ့်မည်။

**(၂) Heat Conduction Through Glass Windows**

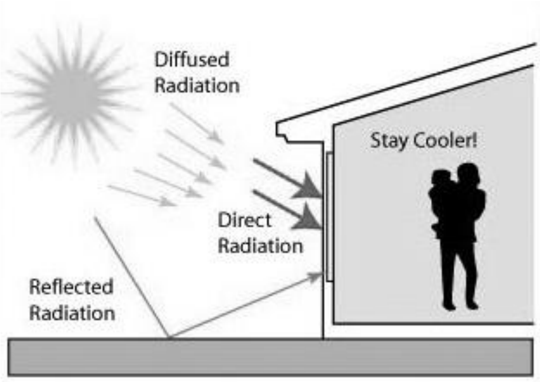
အဆောက်အဦတိုင်းလိုလိုတွင် ပြတင်းပေါက်များ ရှိကြသည်။ ထိုပြတင်းပေါက်များမှတစ်ဆင့် conduction အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပြတင်းပေါက်များ(windows)ကို ခွဲ၍ တွက်ရခြင်းမှာ နံရံများ(walls)နှင့် ပြတင်း ပေါက်များ(windows)တွင် အသုံးပြုထားသည့် ပစ္စည်းအမျိုးအစား မတူညီသောကြောင့် အပူစီးကူးသည့် ဂုဏ်သတ္တိများ၊ R တန်ဖိုးများ၊ U တန်ဖိုးများ မတူညီသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

**(၃) Solar Radiation Though Glass Windows**

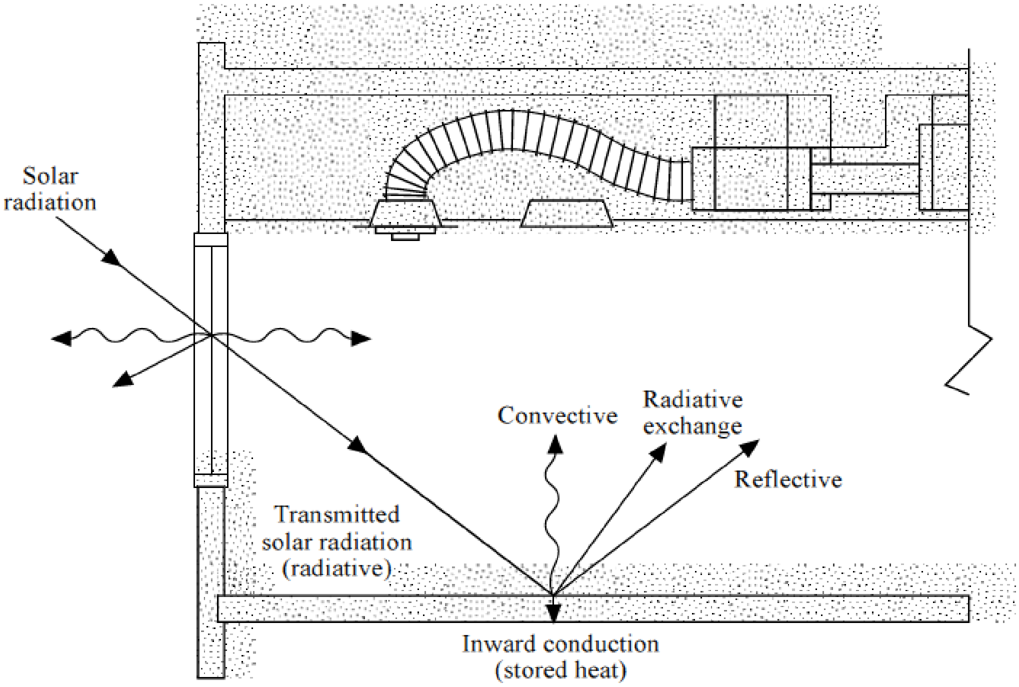
နေရောင်ခြည်ဖြာထွက်မှု(solar radiation)များသည် မှန်ပြတင်းပေါက်များ(glass windows)ကို ဖြတ်၍ အဆောက်အဦအတွင်းသို့ဝင်ရောက်သည်။ နေရောင်ခြည်ဖြာထွက်မှု(solar radiation)တွင် direct radiation နှင့် diffuse radiation ဟူ၍ နှစ်မျိုး ရှိသည်။ နေရောင်ခြည်သည် မှန်ပေါ်သို့ တိုက်ရိုက်ကျရောက် နေသည့် အခါ direct radiation ဖြစ်ပေါ်သည်။ နေရောင်ခြည်သည် မှန်ပေါ်သို့ တိုက်ရိုက်မကျရောက်ဘဲ မိုးတိမ်များ၊ အနီးရှိ အဆောက်အဦများမှတစ်ဆင့် မှန်ပေါ်သို့ ကျရောက်သည့်အခါ diffuse radiation ဖြစ်ပေါ်သည်။




ပုံ ၂-၁၀ Solar radiation




ပုံ ၂-၁၁ Diffuse radiation and direct radiation




ပုံ ၂-၁၂ Solar heat gain from window

Air conditioning အခန်းတစ်ခု၏ heat load သည် အချက်များစွာပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အခန်းအပြင်မှ အပူ(heat)များ ဝင်ရောက်လာမှုနှင့် အခန်းအတွင်းမှ အပူ(heat)များ ထုတ်လွှတ်မှုတို့သည် ထိုအခန်း၏ heat load ပင် ဖြစ်သည်။

## ၂.၂ Conduction Calculation

အပူချိန်ကွာခြားမှုကြောင့် ထိစပ်နေသည့် အရာဝတ္ထုများ၊ medium နှင့် အမျိုးမျိုးသော medium များ အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူစီးကူးခြင်းသည် conduction ဖြစ်သည်။

$$Q = \frac{K \times A\,(T_{hot} - T_{cold})}{t}$$

Q = Quantity of heat transfer (Btu/hr)

K = Thermal conductivity of material (Btu/hr ft ˚F)

Tcold – T hot = Temperature difference between indoors and outdoors(˚F)

t = Thickness of material (ft)

A = Area of heat transfer ($ft^2$)

$$Q = h_{rad} \times A \times \Delta T$$

$h_{rad}$ = radiation heat transfer coefficient (Btu /hr $ft^2$ °F)

A = area of heat transfer ($ft^2$)

$\Delta T$ = temperature difference between hot and cold areas of heat transfer (°F)

(၁) ပထမဆုံး အပူစီးကူးသည့်နည်းသည် ပြင်ပလေမှ အပူများ ကွန်ကရစ်နံရံသို့ convection နည်းဖြင့် အပူစီးကူးခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပြင်ပလေသည် နံရံမျက်နှာပြင်ကို ပူအောင် ပြုလုပ်သည်။ ကွန်ကရစ်နံရံ မျက်နှာပြင် ပေါ်သို့ နေရောင်တိုက်ရိုက် ထိုးသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် radiation load လည်း ရှိနိုင်သည်။

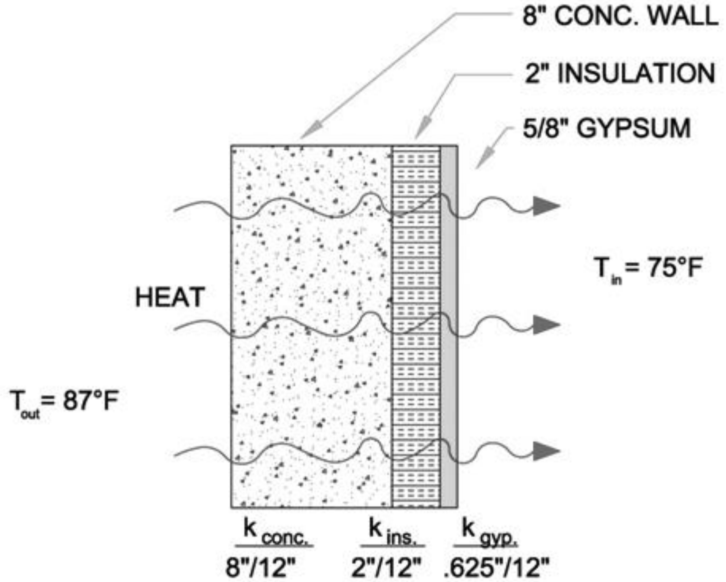
(၂) ထို့နောက် နံရံမျက်နှာပြင်မှ ဝင်လာသည့် အပူများသည် နံရံတစ်လျှောက်ကို ဖြတ်၍ စီးဆင်းကာ အတွင်း မျက်နှာပြင်(inner surface)သို့ ရောက်ရှိသည်။ ကွန်ကရစ်အတွင်း မျက်နှာပြင်မှ insulation အလွှာ၏ အပြင် ဘက်မျက်နှာပြင်သို့ ရောက်ရှိသည်။ ထို့နောက် insulation အလွှာကို ဖြတ်စီး၍ gypsum board အပြင် မျက်နှာပြင်သို့ ရောက်ရှိသည်။ ထို့နောက် gypsum board အတွင်း၌ ဖြတ်သန်း၍ gypsum board၏ အပြင်ဘက် ဆုံး မျက်နှာပြင်သို့ ရောက်ရှိသည်။ ထို့နောက် gypsum board ၏ အပြင်ဘက်ဆုံး မျက်နှာပြင်မှ အခန်းအတွင်းရှိ လေသို့ convection နည်းဖြင့် အပူစီးကူးသည်။ Radiation နည်းဖြင့်လည်း အပူစီးကူးသည်။ အပူစီးကူးမှု တစ်ခုချင်းစီကို တွက်လျှင် အချိန်ကြာ၍ ခက်ခဲသောကြောင့် အပူခုခံမှုများကို ပေါင်း၍ overall heat transfer coefficient ဖြင့် တွက်ကြ သည်။ Overall heat transfer coefficient ကို တွက်ရန် resistance များ အားလုံးကို ပေါင်းရသည်။ လွယ်ကူစွာ တွက်ချက်ရန် equivalent R-Value ကို အသုံးပြုသည်။

R – Values in series

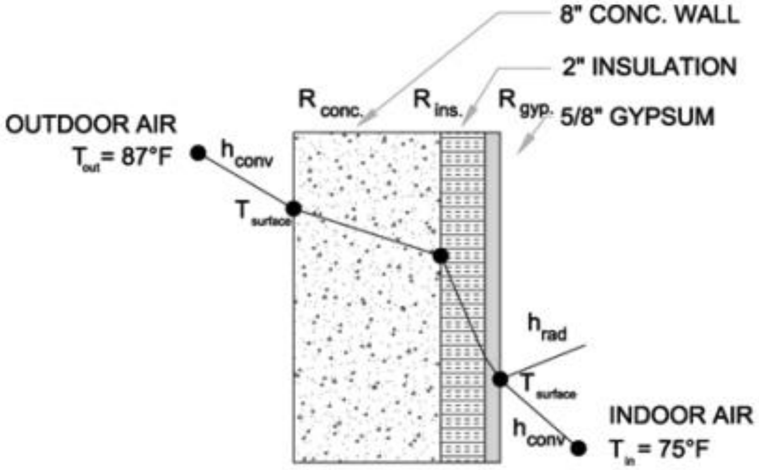
$$R_{series} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

R – Values in parallel

$$\frac{1}{R_{parallel}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$




ပုံ ၂-၁၃ ပြင်ပမှ အပူများ နံရံတစ်ခု ကို ဖြတ်၍ အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာပုံ



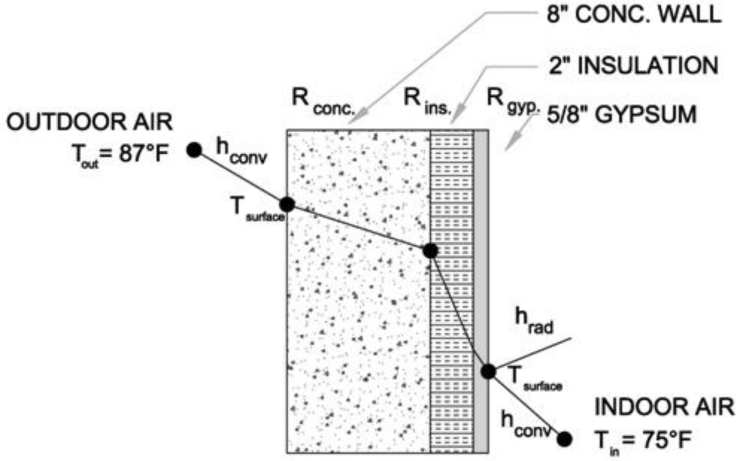

ပုံ ၂-၁၄ ကွန်ကရစ်နံရံကို ဖြတ်၍ အပူများ စီးဝင်ပုံ

### ၂.၂.၁ U-Factor/R-Value

U-Factor ဆိုသည်မှာ overall heat transfer coefficient ဖြစ်သည်။ အပူစီးကူးနိုင်စွမ်း ဖြစ်သည်။ Thermal conductance နှင့် ဆင်တူသည်။ U factor တန်ဖိုးပိုများလေ အပူစီးကူးနိုင်စွမ်း ပိုကောင်းလေဖြစ်သည်။ (U-factor is related to thermal conductance.)

အပူချိန်ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် U တန်ဖိုးမပြောင်းလဲဟု ယူဆတွက်ချက်သည်။ R-Value သည် အပူခုခံနိုင်စွမ်း(thermal resistance) ဖြစ်သည်။ R တန်ဖိုးသည် U တန်ဖိုး၏ ပြောင်းပြန် ဖြစ်သည်။ R-Value နှင့် U-Factor တို့၏ ဆက်စပ် ပုံကို အောက်တွင် ပုံသေနည်းဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

> ညီမျှခြင်း(equation)တွင် R-Value(thermal resistance)သည် အပူချိန်ကို လိုက်၍ မပြောင်းလဲဟု ယူဆထားသည်။




$$R_{total} = \frac{1}{h_{conv}} + R_{conc.} + R_{ins.} + R_{gyp} + \frac{h_{conv} * h_{rad}}{h_{conv} + h_{rad}}$$

$$U_{overall} = \frac{1}{R_{total}}$$

ပုံ ၂-၁၅ R-value နှင့် U-value တို့၏ ပုံသေနည်းများ

HVAC and Refrigeration လုပ်ငန်းများတွင် ဖော်ပြသည့် R တန်ဖိုး(R-Value)သည် ဆောက်လုပ်ရေး ပစ္စည်း(building materials)နှင့် insulation တို့၏ အပူခုခံမှုတန်ဖိုးကို ဆိုလိုသည်။ Insulation ပစ္စည်းထုတ်လုပ်သူ (manufacturer)များက ပစ္စည်းများ၏ ဒေတာများကို ဖော်ပြပေးသည်။ Insulation နှင့် သက်ဆိုင်သည့် R-Value များသည် တစ်ယူနစ် အထူ(thicknesses)အတွက် ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- တစ်လက်မအထူ(1" of insulation)၏ R-Value သည် 5 ဖြစ်လျှင် တစ်လက်မအထူ၏ R-Value တန်ဖိုးကိုသိသောကြောင့် insulation အထူ(လက်မ)နှင့် မြှောက်လျှင် insulation တစ်ခုလုံး၏ R-Value ကို ရသည်။ ACMV အင်ဂျင်နီယာများအနေဖြင့် နံရံ၊ ခေါင်းမိုး၊ duct နှင့် ပိုက် တို့၏ U factor/U value တန်ဖိုးများကို တွက်ယူတတ်ရမည်။

နံရံ(wall) တစ်ခု၏ overall heat transfer coefficient တွက်နည်းကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။

ပုံ(၂-၁၅)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း အပြင်ဘက်မှ အပူများအတွင်းဘက်သို့ အပူစီးကူးသွားပုံ(flow of heat from the beginning to the end)ကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) ပထမဆုံး ဖြစ်ပေါ်လာသည့် heat transfer သည် convection ဖြစ်သည်။ အပူချိန်မြင့်သည့်ပြင်ပလေ(warm outdoor air)သည် ကွန်ကရစ်နံရံ၏ အပြင်ဘက်မျက်နှာပြင်(outer surface of the concrete wall) နှင့် ထိတွေ့နေသောကြောင့် နံရံ၏ အပြင်ဘက်မျက်နှာပြင်(outer surface of the wall)၏ အပူချိန်မြင့် တက်လာ(heat up)သည်။ အပြင်မျက်နှာပြင်(outer surface of the wall)အပေါ်တွင် နေရောက်ကျရောက်သောကြောင့် radiation load ဖြစ်ပေါ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံ တွက်ချက်မှု လွယ်ကူစေရန် radiation ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော load ကို ထည့်၍ မတွက်ကြပေ။ (simplicity it is assumed that there are no radiation loads)

(၂) အပြင်မျက်နှာပြင်(outer surface)မှ ကွန်ကရစ်နံရံကို ဖြတ်ကျော်၍ အတွင်းမျက်နှာပြင်(concrete wall to the inside surface)အထိ အပူများ ဖြတ်သန်း(heat travels) သွားသည်။

(၃) အင်ဆူလေးရှင်း အပြင်မျက်နှာပြင်ရှိ(outer surface of the insulation)အလွှာကို ဖြတ်ကျော်ပြီး Gypsum board ၏ အပြင်မျက်နှာပြင်သို့ ရောက်ရှိသည်။

(၄) Gypsum board ၏ အပြင်မျက်နှာပြင်(outer surface) မှ board အတွင်း၌ ဖြတ်သန်း၍ Gypsum board ၏ အတွင်းမျက်နှာပြင်(inner surface) သို့ ရောက်ရှိသည်။

(၅) Gypsum board ၏ အတွင်းမျက်နှာပြင်(inner surface)မှ တစ်ဆင့် အခန်းအတွင်းရှိလေ(indoor air)ထဲသို့ convective နည်း၊ radiation နည်းဖြင့် အပူများကို ထုတ်လွှတ်(transmits)သည်။ Overall heat transfer coefficient ကို တွက်ယူရန်အတွက် အပူခုခံမှု(resistances)အားလုံးကို ပေါင်းရမည်။ Equivalent အဖြစ် ပြောင်းယူသည်။

### ၂.၂.၂ Thermal Conductivity

အမျိုးမျိုးသော ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်းများ၏ thermal conductivity တန်ဖိုးများကို ASHRAE Handbook–Fundamentals တွင် ဖတ်ယူနိုင်သည်။ Thermal conductivity ဆိုသည်မှာ အပူများ စီးဆင်းကူးပြောင်းသွားနိုင်သည့် စွမ်းရည် ဖြစ်သည်။ သတ္တုများ၏ အပူစီးကူးနိုင်စွမ်းသည် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။

Aluminum ၏ thermal conductivity သည် 128 Btu/(hr ft °F) ဖြစ်သည်။ Iron ၏ conductivity သည် 30 Btu/(hr ft °F) ခန့် ဖြစ်သည်။ သစ်သားသည် အပူလျှောက်ကူးနိုင်စွမ်း ညံ့ဖျင်းသည့် အရာဝတ္ထုဖြစ်သည်။ မှန် (cellular glass) ၏ thermal conductivity သည် 0.0275 Btu/(hr ft °F) ဖြစ်သည်။ Glass fiber ၏ thermal conductivity သည် 0.0221Btu/(hr ft °F) ဖြစ်သည်။ Thermal conductivity ၏ ယူနစ်သည် Btu/(hr ft °F) ဖြစ်သည်။ တစ်လက်မအတွက် thermal conductivity တန်ဖိုး(thermal conductivity value per inch thickness of materials)ကို ဖော်ပြထားသည်။

Insulation ၊ masonry ၊ plastering နှင့် wood materials တို့၏ thermal conductivity တန်ဖိုးကို တစ်လက်မအတွက်(per inch of materials) ဖော်ပြသည်။ ဥပမာ- cellular glass တစ်လက်မအထူ၏ thermal conductivity သည် 0.33 Btu/(hr ft °F) ဖြစ်သည်။

Thermal conductivity အပြင် R-Value နှင့် U-Factor တန်ဖိုးများကို လိုက်၍ ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်း(building materials)များကို အုပ်စုခွဲခြားထားသည်။

## ၂.၂.၃ U-Factor/R-Value

U-Factor ဆိုသည်မှာ overall heat transfer coefficient ဖြစ်သည်။ ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်း(building materials)၏ အပူလျှောက်ကူးနိုင်စွမ်း(ability to conduct heat) ဖြစ်သည်။ Thermal conductance နှင့် အဓိပ္ပာယ်တူသည်။

U-factor value တန်ဖိုးများလေ အပူလျှောက်ကူးနိုင်စွမ်း(ability to conduct and transfer heat) ပိုကောင်းလေ ဖြစ်သည်။ U-factor သည် thermal conductance နှင့် အောက်ပါ ပုံသေနည်း(formula)အတိုင်း ဆက်သွယ်မှု ရှိသည်။

$$\boldsymbol{U} = \frac{\boldsymbol{k}}{\boldsymbol{t}} \qquad \left[\frac{\text{Btu}}{\text{hr} \times \text{ft}^2 \times {}^\circ\text{F}}\right]$$

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{U} \times \boldsymbol{A} \times (\boldsymbol{T}_{hot} - \boldsymbol{T}_{cold})$$

အထက်ပါ ညီမျှခြင်း(equation)တွင် U တန်ဖိုးသည် အပူချိန်(temperature)ကို လိုက်၍ မပြောင်းလဲဟု ယူဆကြသည်။ တွက်ချက်မှု လွယ်ကူစေရန်နှင့် သင်ကြားမှုများအတွက် ပြုလုပ်ထားသည့် စိတ်ချရသည့် ယူဆချက်(safe assumption) ဖြစ်သည်။

R-Value ဆိုသည်မှာ ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်း(building materials)များ၏ အပူခုခံမှု(thermal resistance) ဖြစ်သည်။ အရာဝတ္ထုများ၏ အပူစီးဆင်းမှုကို ခုခံနိုင်စွမ်း(material's ability to resist heat)ဖြစ်သည်။ U-Factor နှင့် thermal conductance ၏ ပြောင်းပြန်ဖြစ်သည်။ R-Value ၊ U-Factor နှင့် thermal conductance တို့၏ ဆက်သွယ်ချက်ကို အောက်ပါပုံသေနည်း(formula)ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

$$\boldsymbol{R} = \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{U}} = \frac{\boldsymbol{k}}{\boldsymbol{t}} \qquad \left[\frac{hr \times ft^2 \times {}^\circ\text{F}}{Btu}\right]$$

$$\boldsymbol{Q} = \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{R}} \times \boldsymbol{A} \times (\boldsymbol{T}_{hot} - \boldsymbol{T}_{cold})$$

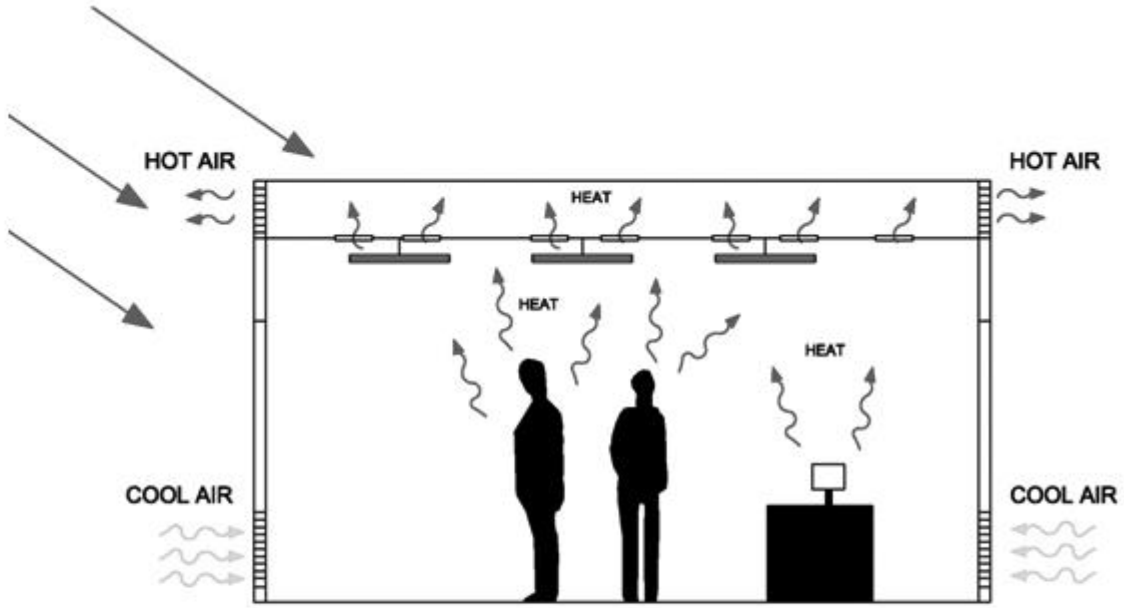
HVAC နှင့် Refrigeration လုပ်ငန်းခွင်များတွင် အဆောက်အအုံ၏ အပူခုခံနိုင်စွမ်း(building insulation and materials)ကို ဖော်ပြရန်အတွက် R-value များကို အသုံးပြုသည်။

ဥပမာ-ထုတ်လုပ်သူများ(insulation manufacturers)က သူတို့ထုတ်ကုန်၏ အချက်အလက်(product data)များတွင် R-Value တန်ဖိုးကို အထု(thicknesses) အပေါ်မူတည်၍ ဖော်ပြထားသည်။ အင်ဆူလေးရှင်း အထုပိုများလေ R တန်ဖိုး ပိုများလေ ဖြစ်သည်။

| Thickness | R-Value |
|---|---|
| 1" | 5 |
| 1.5" | 7,5 |
| 2" | 10 |
| 2.5" | 12.5 |

တစ်လက်မ အထု၏ R-Value သည် (၅) ဖြစ်သည်။ မိမိအသုံးပြုမည့်အထုကို လိုက်၍ R တန်ဖိုးကို တွက်ယူနိုင်သည်။

အင်ဂျင်နီယာများသည် ခေါင်မိုးများ(roofs) ၊ နံရံများ(walls)၊ ခေါင်မိုးတွင် တပ်ဆင်ထားသည့်မှန်(skylights)၊ ပြတင်းပေါက်များ(windows)နှင့် duct သို့မဟုတ် pipe တို့၏ overall heat transfer coefficient (U-factor)ကို ကျွမ်းကျင်စွာ တွက်ချက်နိုင်ရမည်။ Cooling load တွက်ရန် လိုအပ်သည့်တန်ဖိုးများကို အလွယ်တကူ ရှာဖွေနိုင်ရမည်။




ပုံ ၂-၁၆ အခန်းအတွင်းသို့ အပူများဝင်ရောက်လာပုံနှင့် အခန်းအတွင်းမှ အပူများထွက်ပေါ်လာပုံ

## ၂.၃ Convection Calculation

ဒုတိယအမျိုးအစား(second mode) အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer)သည် convection ဖြစ်သည်။ Fluid များ ရွေ့လျားနေခြင်း(transfer of heat through the movement of fluids)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှု ဖြစ်သည်။ Heating and air conditioning system များတွင် convective နည်းဖြင့် အပူကူးပြောင်းခြင်း (heat transfer)ကို နေရာများစွာတွင် တွေ့မြင်နိုင်သည်။ အပူချိန် မတူညီသည့်အခါ fluid များ မျက်နှာပြင်တစ်ခုပေါ်တွင် ဖြတ်သန်းခြင်း သို့မဟုတ် စီးဆင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည့်အခါ convection heat transfer ဖြစ်ပေါ်သည်။

Convection နည်းတစ်မျိုးမှာ natural convection ဖြစ်သည်။ Natural convection ဆိုသည်မှာ စက်အား မပါဝင်ဘဲ(non-mechanically) သဘာဝအတိုင်းအလိုအလျောက် convective နည်းဖြင့် အပူကူးပြောင်းခြင်း ဖြစ်သည်။

အဲယားကွန်းပေးထားသည့် အဆောက်အဦ(air conditioned building)အတွင်းရှိ လူများကြောင့် သော်လည်းကောင်း၊ ထွန်းထားသည့် မီးများကြောင့် သော်လည်းကောင်း၊ အဆောက်အအုံ နံရံပေါ်သို့ နေရောင်ကျရောက်သည့်အခါတွင် သော်လည်းကောင်း အခန်းအတွင်းရှိ လေများ၏ အပူချိန် မြင့်တက်လာလိမ့်မည်။ ပူသည့်လေသည် သိပ်သည်းဆနည်းသောကြောင့် အနီးရှိ အေးသည့်လေများထက် ပို၍ပေါ့ပါးကာ အထက်သို့ တက်သည်။ ထိုအခါ လွတ်သွားသည့် လေပူများ၏ နေရာတွင် လေအေးများ အစားထိုး ဝင်ရောက်လာသည်။ အပူချိန် ကွာခြားမှုရှိနေသမျှ ကာလပတ်လုံး ထိုသို့ထပ်ခါထပ်ခါ အဆက်မပြတ် ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ ထိုကဲ့သို့ လေများရွေ့လျားခြင်း (movement of air)ကြောင့် convective heat transfer ဖြစ်ပေါ်နေခြင်းကို convection ဟုခေါ်သည်။ မည်သည့် စက်ကိရိယာမျှ ပါဝင်ခြင်း မရှိသောကြောင့် သဘာဝအတိုင်းဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှု(natural convention)ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

Convective heat transfer ညီမျှခြင်းနှင့် conductive heat transfer ညီမျှခြင်းတို့ ခပ်ဆင်ဆင် တူညီကြသည်။ U-Factor သို့မဟုတ် R-Value နေရာတွင် convective heat transfer coefficient ကို ပြောင်းလဲ၍ သုံးခြင်းသာ ကွာခြားသည်။ Convective heat transfer coefficient တွင် ရွေ့လျားနေသည့် အငွေ့ သို့မဟုတ် အရည် (moving fluid)၏ စေးပျစ်မှု(viscosity) ၊ အပူလျောက်ကူးမှု(thermal conductance) ၊ အပူချိန်(temperature) ၊

လေအလျင်(velocity)နှင့် ရွေ့လျားနေသည့် fluid များနှင့် ထိနေသည့် မျက်နှာပြင်(surface that the fluid is moving upon) စသည့်အချက်များကို ထည့်သွင်း တွက်ချက်ထားသည်။

## ၂.၄ Radiation Calculation

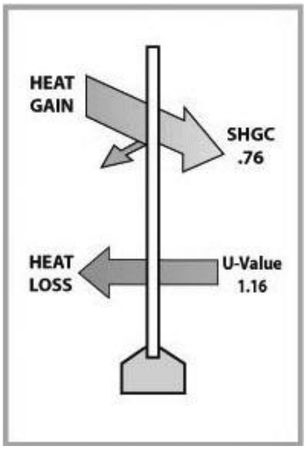
တတိယနည်းသည် radiation ဖြစ်သည်။ Radiation တွက်နည်းသည် ရှုပ်ထွေးခက်ခဲသည့်နည်းဖြစ်သည်။ Radiation heat gain ပမာဏကို တွက်ရန် Trane Trace 700 ၊ Carrier HAP စသည့် ကွန်ပျူတာ ပရိုဂရမ်များ လိုအပ်သည်။ Radiation heat gain ကို ဂဏန်းပေါင်းစက်ဖြင့် တွက်သည့်အခါ ရှင်းလင်းလွယ်ကူအောင် ပြုလုပ် တွက်ချက် ကြသည်။

$$\boldsymbol{Q = h_{rad} \times A \times \Delta T}$$

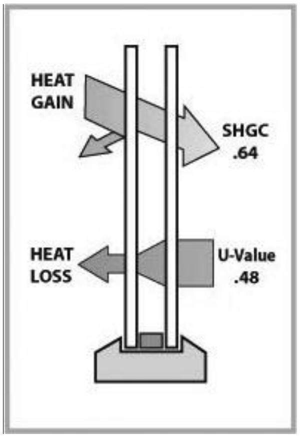
$$h_{rad} = radiation\ heat\ transfer\ coefficient\ \left[\frac{Btu}{hr \times ft^2 \times °\mathrm{F}}\right]$$
$$A = area\ of\ heat\ transfer\ [ft^2]$$
$$\Delta T = temperature\ difference\ between\ hot\ and\ cold\ areas\ of\ heat\ transfer\ [°\mathrm{F}]$$

Radiation သည် အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer)ဖြစ်သည့် တတိယအမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ အပူကူး ပြောင်းရန်(transmit heat)အတွက် မည်သည့်ကြားခံ(media)မျှ မလိုပါ။ အပူချိန်သုည(absolute zero)ထက် ပိုမြင့်သည့် အရာဝတ္ထုများအားလုံး၏ မျက်နှာပြင်မှအပူထုတ်လွှတ်(radiate or project heat from its surface) နိုင်သည်။ HVAC and Refrigeration လုပ်ငန်းများတွင် အများဆုံးဖြစ်ပေါ်သည့် radiation သည် solar radiation ဖြစ်သည်။ နေ(sun)မှ အပူသည် အဆောက်အအုံ၏ အပြင်ဘက်နံရံပေါ်သို့ လည်းကောင်း၊ ပြတင်းပေါက် မှန်များ ပေါ်သို့ လည်းကောင်း radiate လုပ်နိုင်သည်။

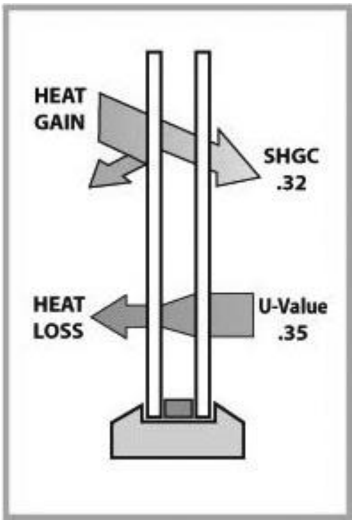
ပုံ ၂-၁၇ ခေါင်မိုးတွင်တပ်ဆင်ထားသည့်မှန်(skylight)တစ်ခုကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားပုံ



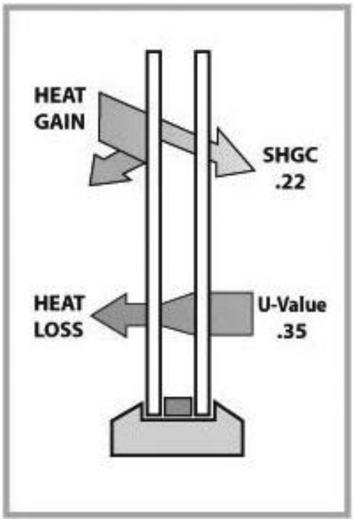

ပုံ ၂-၁၈(က) Aluminum frame, single pane, clear glass အတွင်းသို့ အများ ဝင်ရောက်လာပုံ



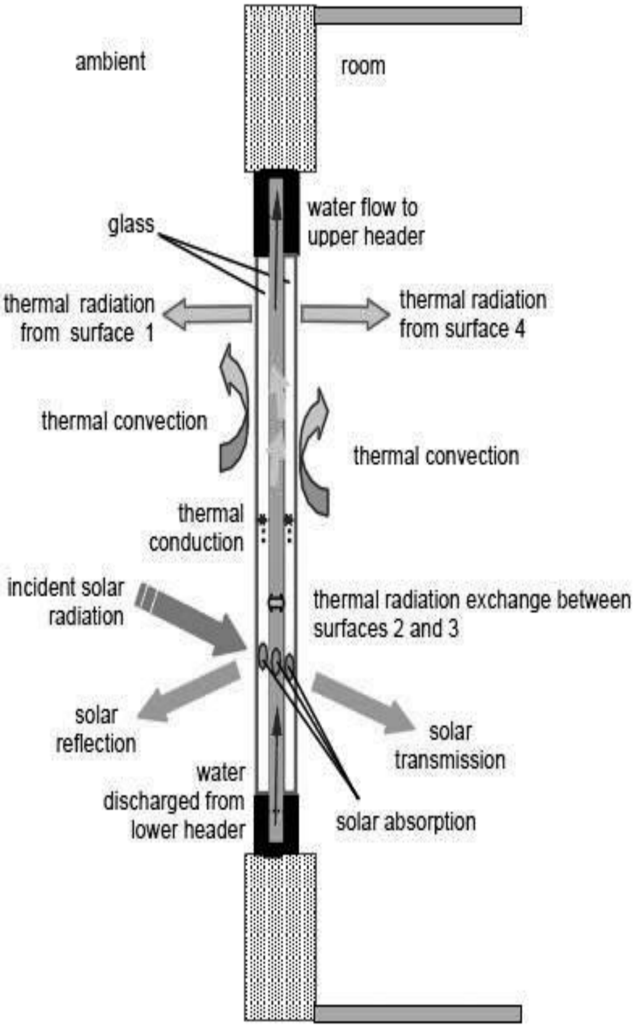

ပုံ ၂-၁၈(ခ) Vinyl frame, dual pane, clear/ clear glass အတွင်းသို့ အများ ဝင်ရောက်လာပုံ




ပုံ ၂-၁၈(ဂ) Vinyl frame, dual pane, standard LOW-E glass အတွင်းသို့ အပူး ဝင်ရောက်လာပုံ




ပုံ ၂-၁၈(ဃ) Vinyl frame, dual pane, maximum LOW-E glass အတွင်းသို့ အပူး ဝင်ရောက်လာပုံ




ပုံ ၂-၁၉ Energy flow paths at water-flow double-pane window

### ၂.၄.၁ Cooling Load - Window/Skylight

အလင်းရောင်ရရန် ခေါင်မိုးများတွင် မှန်များထည့်ထားသည့် skylight များနှင့် ပြတင်းပေါက်များ(windows) ပေါ်သို့ ရောက်ရှိလာမည့် heat load များကို conductive load နှင့် radiation load ဟူ၍ နှစ်မျိုးခွဲခြားနိုင်သည်။ Skylight များ၊ ခေါင်မိုးများ(roofs)နှင့် ပြတင်းပေါက်များ(windows) အပေါ်သို့ ကျရောက်သည့် conductive heat load တွက်သည့် ပုံသေနည်း တူညီ(same formula)သည်။

## ၂.၅ Conductive loads

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

Radiation load သို့မဟုတ် solar transmission အပူပမာဏကို ပြတင်းပေါက်များ(windows) သို့မဟုတ် skylight ၏ ဧရိယာနှင့် shading coefficient နှင့် solar cooling load factor တို့ မြှောက်ခြင်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$Q = A \times SC \times CLTD$$

$$SC = \frac{Solar\ heat\ gain\ of\ any\ glass\ and\ shading\ combination}{Solar\ heat\ gain\ through\ a\ 3\ mm\ unshaded\ clear\ glass}$$

SC = Shading coefficient

SCL = Solar Cooling Factor

Shading coefficient သည် ပြတင်းပေါက်များ(windows) သို့မဟုတ် skylight ပေါ်သို့ ကျရောက်သည့် solar transmission (3mm or 1/8" clear glass ၏)အချိုး ဖြစ်သည်။ Shading coefficient တန်ဖိုးများကို မှန်ထုတ်လုပ်သူ(glass manufacturer)များ၏ ကက်တလောက်များမှ ရရှိနိုင်သည်။ Solar cooling load factor တန်ဖိုးများကို ASHRAE 1997 Fundamentals တွင် ရနိုင်သည်။ CLTD နည်းသည် heat gain တွက်ရန် အရိုးရှင်းဆုံးနည်းဖြစ်သည်။ SCL သည် skylight/ window ၊ မျက်နှာမူရာအရပ်(orientation)၊ လ(month) ၊ latitude and hour တို့အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ CLTD အကြောင်းကို အခန်း(၆)တွင် အသေးစိတ် ရှင်းပြထားသည်။

Window/skylight ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များက Shading Coefficient (SC) အစား Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) ဆိုသည့် ဝေါဟာရကို အသုံးပြုကြသည်။ Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) တန်ဖိုးသည် SC ကို 1.15 ဖြင့် စားထားသည့် တန်ဖိုးဖြစ်သည်။

> Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) သို့မဟုတ် Shading Coefficient(SC) တန်ဖိုးနည်းလေ မှန်၏ solar gain နည်းလေ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် မှန်ကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူပမာဏ ပိုနည်းလေ ဖြစ်သည်။ SHGC သို့မဟုတ် SC တန်ဖိုးများလေ solor gain ပိုများလေ ဖြစ်သည်။

National Fenestration Rating Council (NFRC)မှ မှန်(glass)များကို စမ်းသပ်စစ်ဆေး၍ SHGC နှင့် U-Factor တန်ဖိုးများ မှန်ကန်ကြောင်း ထောက်ခံစာ ထုတ်ပေးသည်။ Visible transmittance၊ air leakage နှင့် condensation resistance စသည်တို့နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များ မှန်ကန်ကြောင်း ထောက်ခံပေးသည်။

### ၂.၅.၁ Sensible Loads

$$Q = N \times SHG \times CLF$$

N = number of people

SHG = sensible heat gain, activity dependent (Btu/hr)

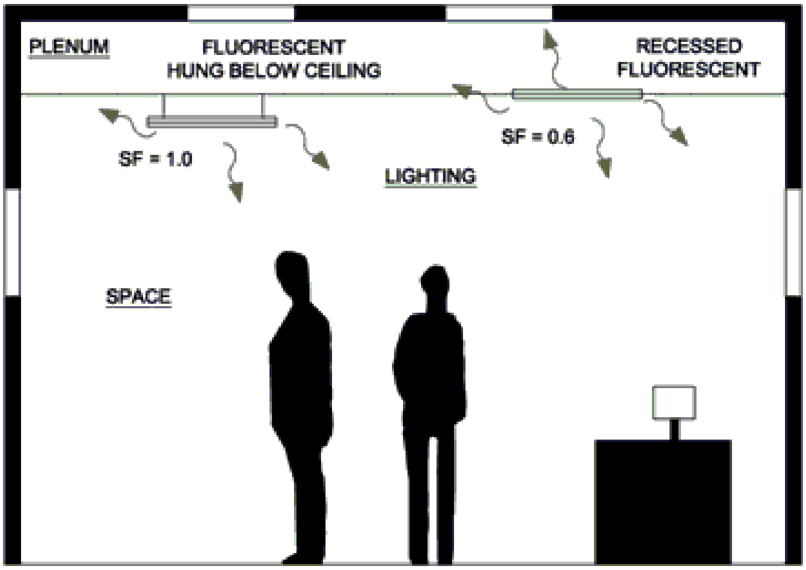
CLF = cooling load factor

CLF မပေးထားလျှင် 1.0 ဟု ယူဆ၍ တွက်ပါ။

## ၂.၆ Cooling Load - Lighting

အဆောက်အအုံအတွင်း၌ အလင်းရောင်ရရန် ထွန်းထားသည့် မီးများ(lighting in a building) ကြောင့် ဖြစ်ပေါ် လာသည့် heat load ကို တွက်ရန်အတွက် မီးလုံးမီးချောင်း တစ်ခုချင်းစီ၏ wattage ကိုပေါင်း၍ Btu/hr

ပြောင်းဖွဲ့ပါ။ ထို့နောက် usage factor နှင့် special allowance factor တို့ဖြင့် မြှောက်ရသည်။




ပုံ ၂-၂၀ မီးလုံး၊ မီးချောင်းများမှ ထွက်လာသည့် အပူများ

$$Q = N \times watt \times 3.412 \frac{Btu/hr}{watts} \times UF \times SAF \times SF$$

N = number of lights

CLF = cooling load factor

UF = usage factor

SAF = special allowance factor

SF = space fractoin

မီးလုံး၊ မီးချောင်းများ၏ ဝပ်အား(wattage of the light)ကို ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များက ဖော်ပြပေးသည်။ Lamp နှင့် lighting fixture တို့၏ ဝပ်အားကိုသာ ထည့်တွက်သည်။ Lighting use factor ဆိုသည်မှာ မီးလုံး၊မီးချောင်းများ ထွန်းထားသည့်အချိန် သို့မဟုတ် အသုံးပြုနေသည့်အချိန်(time the lights will be in use)ကို ဆိုလိုသည်။

ရုံးခန်းများ(offices)၊ စာသင်ခန်းများ(classrooms)၊ စတိုခန်းများ(stores)၊ ဆေးရုံများ(hospitals) စသည့် နေရာများအတွက် Use Factor(UF) တန်ဖိုးသည် 1.0 ဖြစ်သည်။ ရုပ်ရှင်ရုံ(movie theater) သို့မဟုတ် အမြဲတမ်း အသုံးမပြုသည့် နေရာများ(inactive storage space)အတွက် Use Factor(UF)တန်ဖိုး ကွာခြားနိုင်သည်။

Ballast မှ ထွက်သည့်အပူများ(heat)အတွက် အနည်းငယ်အပိုဆောင်း(special allowance) ပေးနိုင်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် fluorescent light အတွက် SAF မှာ (၁.၂)ဖြစ်သည်။ Incandescent light များတွင် ballast များ မပါရှိ သောကြောင့် incandescent light များအတွက် SAF မှာ (၁.၀)ဖြစ်သည်။

အခန်းထဲသို့ ရောက်ရှိသွားမည့် မီးလုံး၊ မီးချောင်းများမှ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏကို ဆန်းစစ်ရန် လိုအပ်သည်။ မျက်နှာကြက်တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် မီးသီး၊ မီးချောင်းများမှ အပူများသည် မျက်နှာကြက်ထဲသို့ ဝင်ရောက်သွား(transmitted into the plenum)ပြီး space အတွင်းသို့ မရောက်ရှိပေ။

မျက်နှာကြက်(ceiling)ကို return air duct အဖြစ် အသုံးပြုထားသည့် air conditioning system ဖြစ်လျှင် မီးလုံး၊ မီးချောင်းမှ အပူများသည် အခန်းအတွင်းသို့ ထုတ်လွှတ်သည်။ အကယ်၍ air conditioning system သည် မျက်နှာကြက်(ceiling)ကို return air duct အဖြစ် အသုံးပြုထားလျှင် မီးလုံး၊ မီးချောင်းမှ ထွက်လာသည့် အပူ၏ ၆၀%

ကို အခန်းအတွင်းသို့ ထုတ်လွှတ်၍ ကျန် ၅၀%ကို မျက်နှာကြက် အတွင်းသို့(transmitted to the plenum) ထုတ်လွှတ်သည်။ Plenum ကို return duct ကဲ့သို့ အသုံးပြုထားလျှင် air conditioning အတွင်းသို့ မီးလုံး၊ မီးချောင်းများ(lighting)မှ ထွက်လာသည့် အပူများအားလုံး(total heat) ဝင်ရောက် သွားလိမ့်မည်။

အခန်းတွင်း၌ တွဲလောင်းချိတ်ဆွဲထားသည့် မီးချောင်းမျိုး(hung fluorescent light, non-ceiling) ဖြစ်လျှင် space ထဲသို့ ဝင်ရောက်သွားသည့် အစိတ်အပိုင်း(fraction)သည် 1.0 ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် မီးလုံး၊ မီးချောင်း(light)တစ်ခုလုံးသည် space အတွင်း၌ ရှိသောကြောင့်ဖြစ်သည်။ Ceiling recessed light ၏ space fraction သည် 0.5 ဖြစ်သည်။ ထုတ်လွှတ်သည့်အပူ(transmitted heat)၏ ၅၀%သည် plenum အတွင်းသို့ ရောက်သွားပြီး ကျန် ၅၀% သည် space ထဲသို့ ရောက်ရှိသွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

## ၂.၇ Cooling Load - Misc. Equipment

အောက်တွင် အမျိုးမျိုးသောလျှပ်စစ်ပစ္စည်းများမှ ထုတ်လွှတ်သည့်အပူပမာဏကို တွက်ယူနိုင်သည့် ညီမျှခြင်း ကို ဖော်ပြထားသည်။

ပထမ ညီမျှခြင်းသည် မော်တာများမှ ထွက်သည့်အပူကို တွက်သည့် ညီမျှခြင်းဖြစ်သည်။ Power သည် မော်တာ၏ မြင်းကောင်ရေ(horsepower of the motor) သို့မဟုတ် မော်တာ၏ nominal horsepower ဖြစ်သည်။

> မော်တာ၏ efficiency မကောင်းလေ မော်တာမှ ထုတ်လွှတ်သည့် အပူပမာဏ ပိုများလေ ဖြစ်သည်။ Air con ပေးထားသည့် အခန်းအတွင်း၌ efficiency မကောင်းသည့်မော်တာများ မောင်းထားခြင်းကြောင့် cooling load ပိုများလာနိုင်သည်။

မော်တာကို အဆက်မပြတ် အသုံးပြုနေလျှင် သို့မဟုတ် အဆက်မပြတ် မောင်းနေလျှင် usage factor သည် 1.0 ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ မဟုတ်လျှင် usage factor တန်ဖိုးကို တွက်ယူရသည်။ Usage factor ရရန် မော်တာ အသုံးပြုသည့် နာရီပေါင်းကို အခန်းအတွက် air con ပေးထားသည့် နာရီပေါင်း(total time the space is occupied) နှင့် စားရသည်။ ဥပမာ - တစ်ကောင်အားမော်တာ(1HP motor)၏ load factor သည် 0.75 ဖြစ်လျှင် ထိုမော်တာမှ ထွက်သည့် အပူပမာဏကို 0.75 hp (Q =0.75 HP)ဟု တွက်သည်။

$$Q = 2545 \frac{Btu/hr}{HP} \times \frac{P}{\varepsilon_{motor}} \times F_U \times F_L$$

$$P = horsepower\ of\ motor$$

$$\varepsilon_{motor} = efficiency\ of\ motor$$

$$F_U = usage\ factor\ of\ motor$$

$$F_L = load\ factor\ of\ motor$$

မိုက်ခရိုဝေ့မီးဖိုများ(microwaves) ၊ ပေါင်မုန့်မီးကင်စက်များ(toasters) ၊ ranges ၊ မီးဖိုများ(ovens)နှင့် ကွန်ပျူတာများ၊ ဆာဗာများ စသည်တို့မှ ထွက်သည့်အပူ(heat gain)ပမာဏကို တွက်သည့် ညီမျှခြင်းကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ASHRAE Fundamentals မှ typical usage factor တန်ဖိုးများ နှင့် radiated heat fractions (typical equipment) တန်ဖိုးများကို ရနိုင်သည်။

> ASHRAE Fundamentals မှ equipment များ၏ sensible heat gain တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူနိုင်လျှင် အောက်ပါ ညီမျှခြင်းကို အသုံးပြု၍ တွက်ရန် မလိုအပ်ပေ။

$$Q = q_{equipment} \times F_U \times F_R$$

$q_{equipment}$ = input (Btu/hr) to the equipment

$F_U$= usage factor

$F_R$ = fraction of the total heat that is radiated to the space

## ၂.၈ Cooling Load - Infiltration

Infiltration ဆိုသည်မှာ ပြင်ပလေများ(outside air) အဆောက်အဦအတွင်းသို့ စိမ့်ဝင်ခြင်း ဖြစ်သည်။ နည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် အဆောက်အဦအတွင်းသို့ စိမ့်ဝင်နိုင်သည်။ ပြတင်းပေါက်များ၊ ပြတင်းပေါက်ဘောင်များ၊ တံခါးနှင့် တံခါးဘောင်များအကြားမှ စိမ့်ဝင်နိုင်သည်။ Infiltration ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် total heat gain ညီမျှခြင်းသည် enthalpy ကို အခြေခံ၍ တွက်သည့်ညီမျှခြင်း ဖြစ်သည်။ လေထုထည်စီးနှုန်း(volumetric flow rate)ကို သိရန် လိုအပ်သည်။ Infiltration air သို့မဟုတ် ventilation air ၏ outdoor air condition enthalpy နှင့် indoor air conditions enthalpy တို့၏ ခြားနားချက်မှ တွက်ယူသည်။

$$Q = 60\,\frac{min}{hr} \times 0.075\,\frac{lb}{ft^3} \times CFM \times \Delta h\,[\frac{Btu}{lb}]$$

$$Q_{total} = 4.5 \times CFM \times \Delta h\,[\frac{Btu}{lb}]$$

Total heat gain ညီမျှခြင်းမှ sensible နှင့် latent heat load အဖြစ် ခွဲ၍ တွက်ယူသည်။

Sensible heat gain ပမာဏကို တွက်ရန်အတွက် စိမ့်ဝင်သည့်လေ(infiltrated air) စီးဝင်နှုန်း(CFM)နှင့် အခန်းအတွင်း အပူချိန်နှင့် ပြင်ပအပူချိန်တို့၏ ခြားနားချက်(difference in the temperatures of the indoor and outdoor air)ကို မြှောက်ယူသည်။

$$Q_{sensible} = 60\frac{min}{hr} \times 0.075\,\frac{lb}{ft^3} \times CFM \times 0.24 \left[\frac{\frac{Btu}{hr}}{lb.°F}\right] \times (T_{outdoor} - T_{indoor})$$

$$Q_{sensible} = 1.08 \times CFM \times (T_{outdoor} - T_{indoor})$$

Latent heat gain ကို တွက်ရန် infiltrated air စီးဝင်နှုန်း(CFM)နှင့် အခန်းအတွင်းရှိ လေထုစိုထိုင်းဆအချိုးနှင့် အခန်းပြင်ပရှိ လေစိုထိုင်းဆအချိုးတို့ ကွာခြားချက်(difference in the humidity ratio of the indoor air and the outdoor air)တို့ကို သိရန် လိုအပ်သည်။

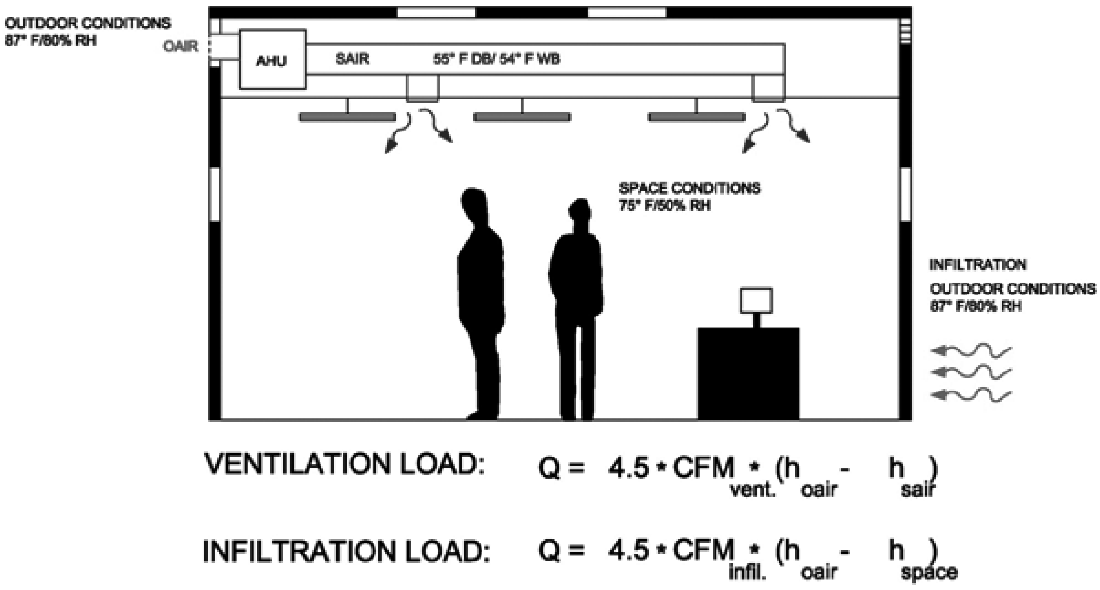
$$Q_{latent} = 4{,}840 \times CFM \times (W_{outdoor} - W_{indoor})$$

$$W = humidity\ ratio\ [\ lbm_{wet} / \ lbm_{dry}]$$

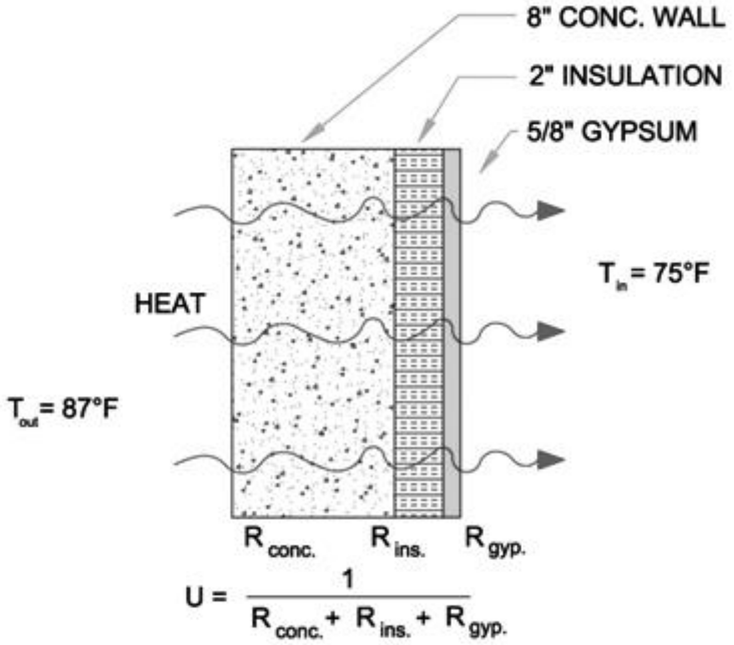
Load များအားလုံးသည် cooling coil ပေါ်သို့ တိုက်ရိုက်သက်ရောက်သည့် load များ မဟုတ်ကြပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် cooling coil နှင့် တိုက်ရိုက် မသက်ဆိုင်သည့်(indirect loads)များလည်း ရှိနိုင်သည်။ Air conditioned space load နှင့် ventilation air load တို့သည် coil နှင့် တိုက်ရိုက်(directly)သက်ဆိုင်သည်။

Load ဖြစ်ပေါ်စေမည့် heat gain တစ်ခုချင်းစီကို အောက်ပါအတိုင်း အမျိုးအစား ခွဲခြားနိုင်သည်။

| **Sensible** | **Latent** |
|---|---|
| Roofs/Walls – Conduction | Moisture from Ventilation/] Infiltration |
| Roofs/Walls – Radiation | Moisture from People |
| Skylights/Windows – Conduction | Moisture from Miscellaneous Equipment |
| Skylights/Windows – Radiation | |
| Ventilation/Infiltration | |
| Lights | |
| People | |
| Miscellaneous Equipment | |




ပုံ ၂-၂၁ Infiltration load နှင့် ventilation load




ပုံ ၂-၂၂ ခေါင်မိုး သို့မဟုတ် နံရံ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည် အပူများကို ရိုးရှင်းသည့်နည်းဖြင့် ဖော်ထားပုံ (Simplified heat gain through roof or wall)

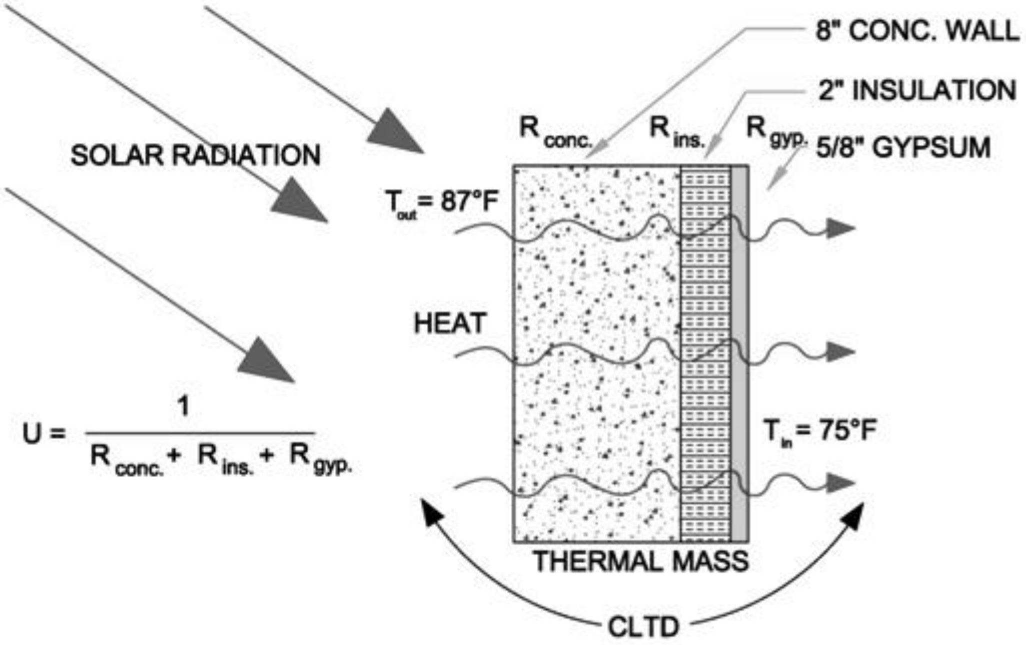
ခေါင်မိုးများ(roofs)နှင့် နံရံများ(walls)မှ ဖြစ်ပေါ်မည့် conductive load များကို တွက်ရန်

$$Q = U \times A \times ( T_{Outdoor} - T_{indoor} )$$

ခေါင်မိုးများ(roofs) နှင့် နံရံ(wall)များတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှုတွက်ချက်မှုသည် ရိုးရှင်းသည့် ကိစ္စမဟုတ်ပေ။ တွက်နေသည့်အချိန်တွင် အဆောက်အဦပေါ်သို့ ကြရောက်နေသည့် နေရောင်(radiation from the sun onto the building)နှင့် အပူဖြတ်စီးသွားသည့် ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်းအမျိုးအစား(transmit through the materials) တို့ကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားတွက်ချက်ရမည်။ Cooling Load Temperature Difference (CLTD) နည်းတွင်

အခန်းအတွင်းနှင့် အခန်းအပြင် အပူချိန်ခြားနားချက်၏ အကျိုးသက်ရောက်မှု အားလုံး(total effect of difference between the indoor and outdoor temperature)ကို ထည့်သွင်းထားပြီး တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ခေါင်မိုးများ (roofs)နှင့် နံရံ(wall)များ အပေါ်သို့ ကြရောက်နေသည့် solar radiation ၏ အကျိုးသက်ရောက်မှု(effect)နှင့် ခေါင်းမိုးနှင့် နံရံများ အပူသိုလှောင်ထားခြင်းကြောင့် အချိန်နောက်မှု(time factor due to the heat storage of the roof/wall material)ကို ထည့်တွက်ရမည်။ နောက်ပိုင်းအခန်းများတွင် အသေးစိတ်ဖော်ပြထားသည်။

ASHRAE Fundamentals book 1997 edition နှင့် ၄င်းထက်စောသည့် ASHRAE စာအုပ်များတွင် Cooling Load Temperature Difference (CLTD) တွက်ရန်လိုအပ်သည့် တန်ဖိုး(value)များကို ဇယားများ(tables)ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ ဇယားများ(tables)ကို လတ္တီတွဒ်(latitude)၊ ခေါင်မိုးနှင့် နံရံ အမျိုးအစား(roof or wall type)၊ လ(month) နှင့် နံရံများ မျက်နှာမူရာဘက်(wall facing orientation direction) တို့ဖြင့် ခွဲခြားဖော်ပြထားသည်။ CLTD အတွက် တန်ဖိုးများကို နာရီအလိုက်(hour of the day) ဖော်ပြထားသည်။




ပုံ ၂-၂၃ CLTD Wall

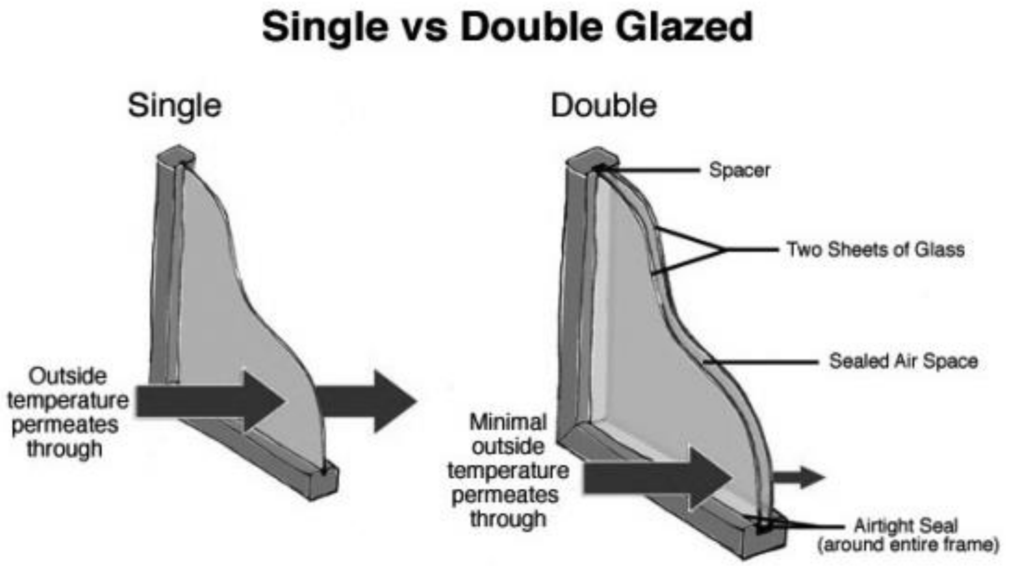
CLTD နည်းဖြင့် တွက်ရန်အတွက် CLTD သဘောတရားကို နည်းလည်သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်ပြီး၊ လက်တွေ့တွက်ရန် လိုအပ်သည့် တန်ဖိုးများကို ရှာဖွေ စုဆောင်းထားရမည်။

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

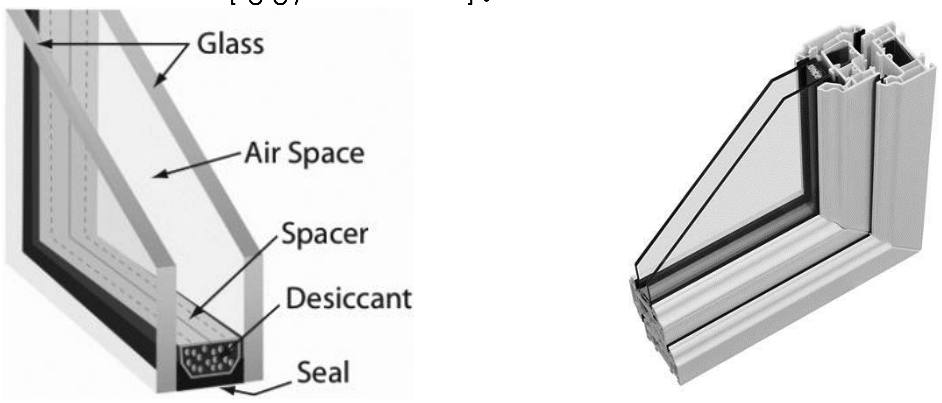
CLTD နည်းသည် ခေါင်မိုးများ(roofs) နှင့် နံရံ(wall)များ၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် heat load ကို လွယ်ကူစွာ တွက်ချက်နိုင်စေရန် ရိုးရှင်းအောင်ပြုလုပ်ထားသည့်နည်း(simplified approach)ဖြစ်သည်ကို ဦးစွာသဘောပေါက်ထားရန် အရေးကြီးသည်။ လက်တွေ့အခြေအနေတွင် ခေါင်မိုးများ(roofs)နှင့် နံရံ(wall)များ၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် heat load သည် အခန်းအတွင်း အခြေအနေ(indoor conditions)နှင့် ခေါင်မိုးများ၊ နံရံများက အခန်းအတွင်းသို့ အပူထုတ်လွှတ်မှု (heat radiated from the inner wall/roof to the indoor space)စသည့် အချက်များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

အပြင်မှ အလျားလိုက် ချိတ်ဆွဲတပ်ဆင်ထားသည့် အမိုးငယ်(exterior fixed horizontal overhang)သည် အများဆုံး အသုံးပြုလေ့ရှိသည့် ပုံစံမျိုး(most common form of shade) ဖြစ်သည်။ နေသွားလမ်းကြောင်းကို မျက်နှာမူထားသည့် အဆောက်အဦ(building facing the sun's path)များတွင် ထိုကဲ့သို့ sun shade ကို

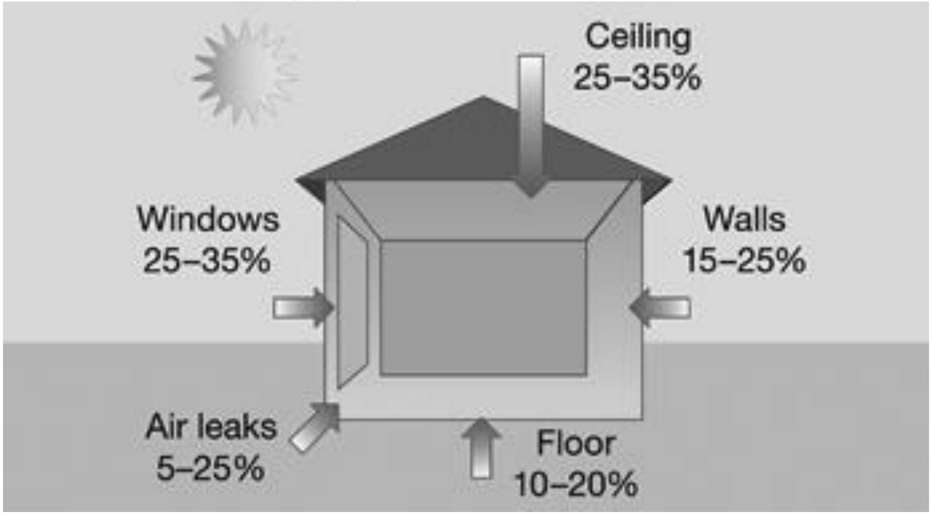
အသုံးပြုကြသည်။ နေသွားလမ်းကြောင်းကို မျက်နှာမူထားသည့် အဆောက်အဦ(building facing the sun's path) များသည် အရှေ့နှင့် အနောက်ကို မျက်နှာမူထားသည့် အဆောက်အဦများကို ဆိုလိုသည်။



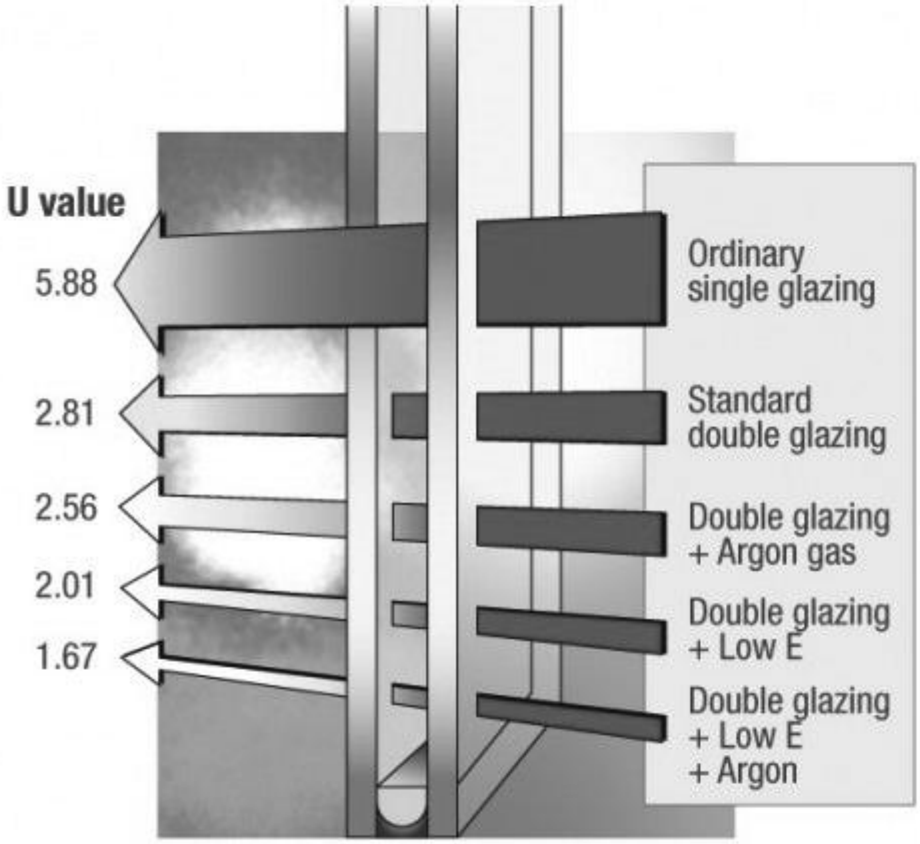

ပုံ ၂-၂၄ single glazed နှင့် Double-glazed windows



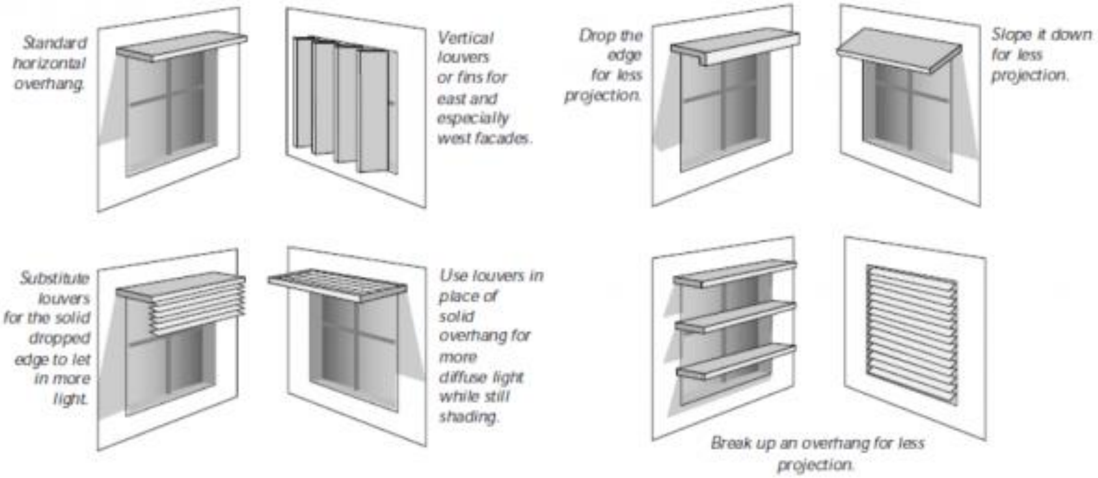

ပုံ ၂-၂၅ Double-glazed windows




ပုံ ၂-၂၆ Heat gain in summer no insulation2



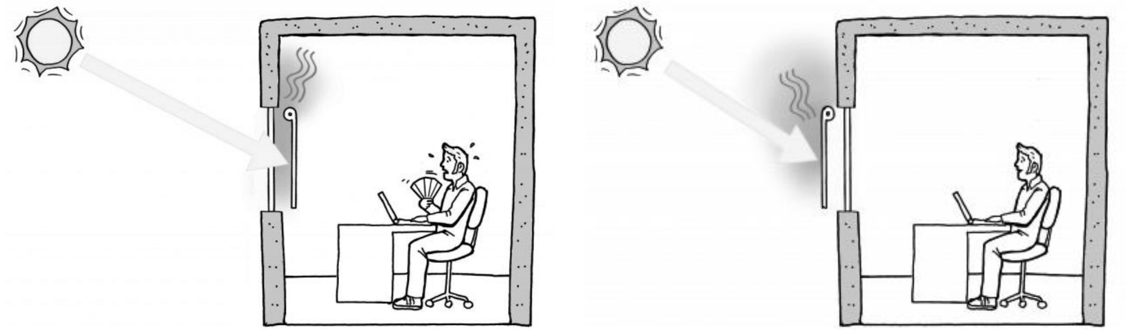

ပုံ ၂-၂၇ ပြတင်းပေါက်မှန်အမျိုးအစားကို လိုက်၍ U value ကွာခြားပုံ




ပုံ ၂-၂၈ Common shading strategies for windows

အရှေ့နှင့် အနောက်ကို မျက်နှာမူထားသည့် အဆောက်အဦများတွင် ကျနေထိုးခြင်းမှ ကာကွယ်ရန် နေရောင်ကာသည့် ဒေါင်လိုက် sun shade များ လိုအပ်သည်။ (east and west faces buildings often have more need of vertical fins to avoid low-angled sun)။ တောင်နှင့်မြောက်ကို မျက်နှာမူထားသည့် အဆောက် အဦများ အတွက် အမြဲတမ်း နေရောင်ထိုးခြင်း မခံရပါ။ အချိန်နာရီ အနည်းငယ်ခန့်သာ အဆောက်အဦအပေါ် နေရောင် ကျရောက်ခြင်း ခံရသည်။

အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ နေရောင်များ တိုက်ရိုက်ဝင်ရောက်ခြင်း၊ diffuse light များ ဝင်ရောက်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်အတွက် shade များ တပ်ဆင်ကြသည်။ External shade နှင့် internal shade ဟူ၍ နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။ အသေတပ်ဆင်ထားသည့် shade များကို fixed shade များဟု၍ လည်းကောင်း၊ လိုသလို ရွှေ့ပြောင်း၍ ရနိုင်သည့် shade များကို moveable shade များဟု၍ လည်းကောင်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။

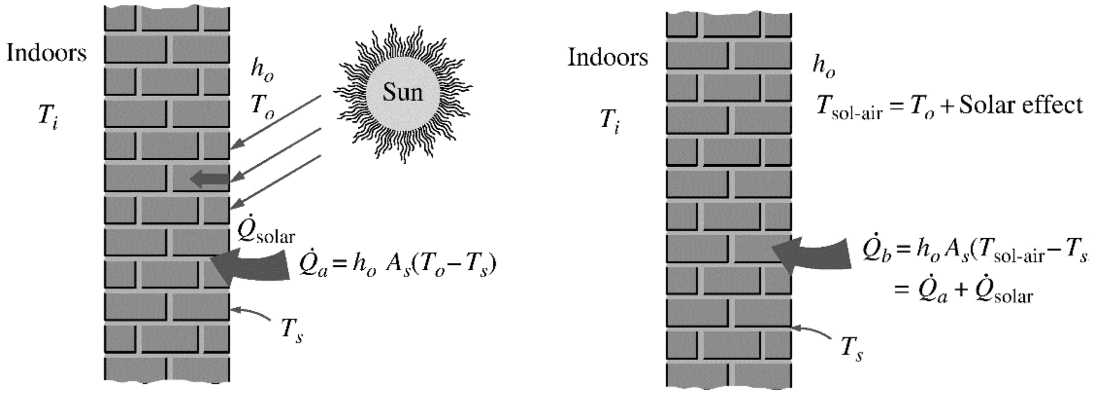


ပုံ ၂-၂၉(က) Internal shades block some heat, but much heat is still trapped inside

ပုံ ၂-၂၉(ခ) External shades and shutters block heat more completely than internal ones

## ၂.၉ Sol-Air Temperature

နေသည် ကမ္ဘာကြီးအတွက် အပူထုတ်ပေးနိုင်သည့် အဓိကသဘာဝအရင်းအမြစ်(main heat source of the earth) ဖြစ်သည်။ နေမရှိပါက ကမ္ဘာအပူချိန်(environment temperature)သည် -270°C (deep space temperature of -270°C)ထက် ပိုနိမ့်(အေး)လိမ့်မည်။




(a) Actual case (b) Idealized case (no sun)

ပုံ ၂-၃၀ The sol-air temperature represents the equivalent outdoor air temperature that gives the same rate of heat flow to a surface as would the combination of incident solar radiation and convection/radiation with the environment.

နေမှလာသည့် အပူစွမ်းအင်(solar energy)ကို လေထု(atmospheric air)၊ မြေကြီး(ground) ၊ အဆောက်အဦများ(structures such as buildings)စသည်တို့က နေ့အချိန်(during the day)တွင် သိမ်းဆည်းထားပြီး၊ ညအချိန်တွင် တဖြည်းဖြည်း ပြန်ထုတ်ပေး(slowly released at night)သည်။ ထို့ကြောင့် ပြင်ပအပူချိန်ပြောင်းလဲမှုသည် နေရောင်အထိုးခံရမှု(solar radiation) နှင့် thermal inertia တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ (variation of the outdoor temperature is governed by the incident solar radiation and the thermal inertia of the earth)

Cooling system များအတွက် နေရောင်ခြည်မှ ရရှိသည့်အပူများ(heat gain from the sun)သည် အဓိကအကြောင်း(primary reason) ဖြစ်သည်။ Solar radiation ၏ အကျိုးသက်ရောက်မှုသည် အများဆုံး(major effect) ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦ၏ peak cooling load သို့မဟုတ် design cooling load သည် မွန်းလွဲပိုင်းနှင့် ညနေပိုင်း

တို့တွင် ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် မွန်းလွဲပိုင်း ကျနေထိုးခြင်းကြောင့် အဆောက်အဦအတွင်းသို့ ပြတင်းပေါက်မှန်များမှ တစ်ဆင့် အပူများဝင်ရောက်လာသည်။ ထိုအပူကို နံရံများက စုပ်ယူထားပြီးနောက် နောင်တစ်ချိန်တွင် ပြန်ထုတ်ပေးသည်။

Sol-air temperature ဆိုသည်မှာ နေရောင်တိုက်ရိုက်ထိုးခြင်း၊ ပတ်ဝန်းကျင်များမှ အပူများ convection နည်းနှင့် radiation နည်း တို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူစီးကူးမှုများ အားလုံးကို ပေါင်းစပ်ထည့်သွင်း တွက်ချက်ထားသည့်(combination of incident solar radiation and convection/radiation with the environment)၊ မျက်နှာပြင်တစ်ခုဆီသို့ တူညီသည့် အပူပမာဏစီးဆင်းသည့်နှုန်း(same rate of heat flow to a surface)ကို ကိုယ်စားပြုသည့်၊ ညီမျှသည့်ပြင်ပအပူချိန်(equivalent outdoor air temperature) ဖြစ်သည်။

နံရံများ၊ ခေါင်မိုးများ စသည့် အလင်းဖြတ်နိုင်သည့် မျက်နှာပြင်များ(opaque surfaces) အပေါ်သို့လည်းကောင်း၊ ပြတင်းပေါက် မှန်များပေါ်သို့ နေရောင်တိုက်ရိုက်ထိုးခြင်း(effect of solar radiation for glazing such as windows)ကြောင့် Solar Heat Gain ဖြစ်ပေါ်သည်။ Solar Heat Gain Factor (SHGF)ဖြင့် ဖော်ပြသည်။ တစ်နည်း အားဖြင့် နေရောင်တိုက်ရိုက်ထိုးခြင်း၏ အကျိုးသက်ရောက်မှု(effect of solar radiation)ကို လွယ်ကူစေသည့်နည်းဖြင့် ထည့်သွင်းတွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ပြင်ပအပူချိန်မြင့် တက်နေမှုကိုလည်း ထည့်သွင်းတွက်ချက်ထားပြီး ဖြစ်သည်။ (outside temperature to be higher by an amount equivalent to the effect of solar radiation)။

ပြင်ပလေအပူချိန်ကို ထည့်သွင်းတွက်ချက်ခြင်း(replacing the ambient temperature) ဖြစ်သည်။ Sol-air temperature သည် နေရောင်ကြောင့် နံရံခေါင်မိုးများကို ဖြတ်၍(through the walls and the roof) ဝင်ရောက်လာမည့် အပူ(heat transfer relation)များ ဝင်ရောက်လာခြင်းနှင့် စပ်ဆက်နေပုံကို ဖော်ပြရန် ဖြစ်သည်။ Sol-air temperature ဆိုသည်မှာ မျက်နှာပြင်တစ်ခု(surface)အတွက် အကြောင်းသုံးမျိုးတို့ပေါင်း(combination)၍ ဖြစ်ပေါ်မည့် ပမာဏတူညီသည့် အပူကူးပြောင်းမှုနှုန်း(same heat transfer rate)ကို ပေးနိုင်သည့် equivalent outdoor air temperature ဖြစ်သည်။

(၁)Incident solar radiation၊
(၂)Convection with the ambient air နှင့်
(၃)Radiation exchange with the sky and the surrounding surfaces စသည့် အထက်ပါကြောင်း(၃)မျိုး ပေါင်းစပ်၍ ဖြစ်ပေါ်သည့် တူညီသည့် အပူစီးကူးမှု ပမာဏကို ဖြစ်စေနိုင်သည့် equivalent outside temperature ဖြစ်သည်။ (ပုံ ၂-၃၁)

> Sol-air temperature, which is defined as the equivalent outdoor air temperature that gives the same rate of heat transfer to a surface as would the combination of incident solar radiation, convection with the ambient air, and radiation exchange with the sky and the surrounding surfaces.

Solar radiation ကြောင့် အဆောက်အဦ၏ ပြင်ပနံရံများကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူစီးဝင်မှုကို (heat flow into an exterior surface of a building subjected to solar radiation) ညီမျှခြင်း(2–1)ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\dot{Q}_{surface} = \dot{Q}_{Conv+rad} + \dot{Q}_{solar} - \dot{Q}_{radiation\ correction}$$

$$\dot{Q}_{surface} = h_o\, A_s \left(T_{ambient} - T_{surface}\right) + \alpha_s\, A_s\, \dot{q}_{solar} - \varepsilon\, A_s \sigma ({T^4}_{ambient} - {T^4}_{surr})$$

$$\dot{Q}_{surface} = h_o\, A_s \left(T_{sol-air} - T_{surface}\right) \qquad (2-1)$$

$\alpha_s$ သည် solar absorptivity ဖြစ်သည်။

$\varepsilon$ သည် emissivity of the surface ဖြစ်သည်။

$h_o$ သည် combined convection and radiation heat transfer coefficient ဖြစ်သည်။

$\dot{q}_{solar}$သည် so-lar radiation incident on the surface (in W/m$^2$ or Btu/h · ft$^2$) ဖြစ်ပြီး sol-air temperature ဟုခေါ်ဆိုသည်။

$$\boldsymbol{T_{sol-air} = T_{ambient} + \frac{\alpha_s\,\dot{q}_{solar}}{h_o} - \frac{\varepsilon\,\sigma(T^4{}_{ambient} - T^4{}_{surr})}{h_o}} \qquad \textbf{(2-2)}$$

Equation 2–2 မှ ပထမကိန်း(first term)သည် average surrounding surface နှင့် sky temperature တို့သည် ambient air temperature နှင့် တူညီသည့်အခါ(Tsurr = Tambient)တွင် မျက်နှာပြင်(surface)၌ ဖြစ်ပေါ်မည့် convection နှင့် radiation heat transfer ပမာဏကို ဖော်ပြ(represent) နေသည်။

ပုံသေနည်းမှာ နောက်ဆုံးကိန်း(last term)သည် average surrounding surface နှင့် sky temperature တို့သည် ambient air temperature နှင့် မတူညီသည့်အခါသည့်အခါ(Tsurr ≠ Tambient)တွင် radiation heat transfer ကို correction လုပ်ရန်အတွက် ထည့်သွင်းတွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။

Sol-air temperature relation မှ နောက်ဆုံးကိန်း(last term)သည် ambient temperature ပြောင်းလဲမှု နှင့် တူညီသည့်တန်ဖိုး(equivalent change in the ambient temperature) ဖြစ်သည်။ Radiation correction effect and ranges နှင့် သက်ဆိုင်(corresponding)သည်။

> ဒေါင်လိုက် မျက်နှာပြင်များ(vertical wall surfaces)အတွက် ထို radiation correction effect နှင့် ranges သည် သုည(zero) ဖြစ်သည်။

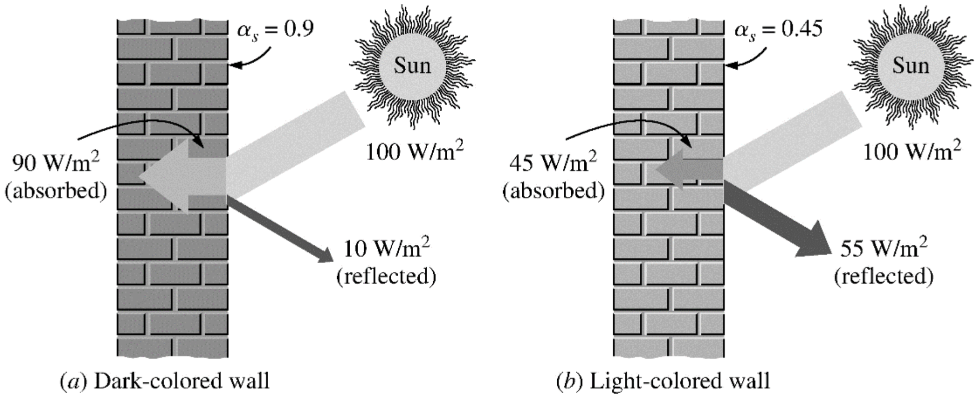
ကောင်းကင်ကို မျက်နှာမူထားသည့် ခေါင်မိုးပြားများ နှင့် ခေါင်မိုးစောင်းများ အတွက်(for horizontal or inclined roof surfaces facing the sky)အတွက် radiation correction effect နှင့် ranges သည် 4°C (7°F) ဖြစ်သည်။ ဤခြားနားချက်သည် effective sky temperature နိမ့်သော(low)ကြောင့် ဖြစ်သည်။

မျက်နှာပြင်တစ်ခုအတွက် sol-air temperature သည် ကျရောက်သည့် မျက်နှာပြင်(surface)မှ solar radiation များကို စုပ်ယူနိုင်မှုစွမ်းအား(absorptivity)အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ပြင်ပ မျက်နှာပြင်များ(common exterior surfaces)အတွက် sol-air temperature တန်ဖိုးကို ဖော်ပြထားသည့် ဇယားများကို အင်တာနက်မှ ရနိုင်သည်။ အများနည်း၏ စိတ်ချရ စေရန်(being conservative)အတွက် ho တန်ဖိုးကို SI ယူနစ်အတွက် 17 W/m$^2$ · °C နှင့် IP ယူနစ်အတွက် 3.0 Btu/h · ft$^2$ · °F တန်ဖိုးများဖြင့် တွက်ထားသည်။ အရောင်ဖျော့ဖျော့နှင့် အရောင်ရင့်ရင့် နံရံများအတွက် $\left(\frac{\alpha_s}{h_o}\right)_{light}$ နှင့် $\left(\frac{\alpha_s}{h_o}\right)_{dark}$ များကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

ပုံ(၂-၃၂)

$$\left(\frac{\alpha_s}{h_o}\right)_{light} = \frac{0.45}{17\,W/m^2\ ^\circ\mathrm{C}} = 0.026\,m^2\,^\circ\mathrm{C}/W = 0.15h\,ft^2\,^\circ\mathrm{F}/Btu$$

$$\left(\frac{\alpha_s}{h_o}\right)_{dark} = \frac{0.90}{17\,W/m^2\ ^\circ\mathrm{C}} = 0.052\,m^2\,^\circ\mathrm{C}/W = 0.30h\,ft^2\,^\circ\mathrm{F}/Btu$$




ပုံ ၂-၃၁ အနက်ရောင်နံရံများသည် အရောင်နုနံရံများထက် ထိုးသည့်နေရောင်မှ အပူများကို ပို၍ စုပ်ယူသည်။
(Dark-colored buildings absorb most of the incident solar radiation whereas light colored ones reflect most of it.)

အရောင်နုသည့်(light)မျက်နှာပြင်အတွက် solar absorptivities သည် 0.45 ဖြစ်သည်။ အရောင်ရင့်သည့် မျက်နှာပြင်များ(dark-colored surfaces)အတွက် 0.9 ဖြစ်သည်။ 0.45 နှင့် 0.90 တို့သည် စိတ်ချရအောင် ယူဆထားသည့် တန်ဖိုး(conservative values)များ ဖြစ်သည်။

အရောင်နုနှင့် အရောင်ရင့်ရင့် မျက်နှာပြင်များ(light- and dark-colored surfaces)အတွက် Table 2–1 (Sol-air temperatures for July 21 at 40 latitude)တွင် sol-air temperatures များကို ဖော်ပြထားသည်။ လတ္တီတွဒ် 40° N အရပ်ဒေသ၊ ဇူလိုင်လ (၂၁)ရက်နေ့ (July 21 at 40° N latitude versus solar time)ကို အခြေခံ၍ ပြုစုထားသည့် ဇယားဖြစ်သည်။

တခြားသောနေ့များနှင့် လတ္တီတွဒ်များ(dates and latitudes)အတွက် sol-air temperature ကို equation 2–2 မှ တွက်ယူနိုင်သည်။ သင့်လျော်သည့်အပူချိန်(appropriate temperature)နှင့် incident solar radiation data များကို အသုံးပြု၍ sol-air temperature တန်ဖိုးကို ရရှိပြီးနောက် နံရံ သို့မဟုတ် ခေါင်မိုးကိုဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာမည့် အပူများ(heat transfer through a wall or similarly through a roof)ကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\dot{Q}_{wall} = U \times A_s \times (T_{sol-air} - T_{inside}) \qquad (2-3)$$

As = wall area and

U = overall heat transfer coefficient of the wall.

Solar radiation ကြောင့် equivalent outdoor temperature မြင့်တက်လေ နံရံကိုဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်လာမည့် အပူကူးပြောင်းမှုနှုန်း(rate of heat transfer through the wall)သည် ပိုများလာလေ ဖြစ်လိမ့်မည်။ Solar radiation ကြောင့် မြင့်တက်လာသည့် အပူချိန်(temperature rise due to solar radiation)အတွက် နံရံကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် အပိုအပူကူးပြောင်းမှုနှုန်း(rate of additional heat gain through the wall)ကို အောက်ပါ အတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\Delta T_{solar} = \frac{\alpha_s \, \dot{q}_{solar}}{h_o} \qquad (2-4)$$

နံရံတစ်ခုလုံး(entire wall)အပေါ်သို့ ကျရောက်(incident on)မည့် total solar radiation (Q) သည်

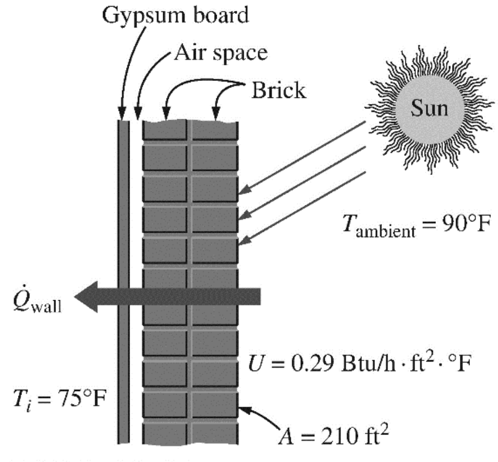
$$\dot{Q}_{wall,\ solar} = U\, A_s\, \Delta T_{solar} = U\, A_s\, \frac{\alpha_s \, \dot{q}_{solar}}{h_o} \qquad (2-5)$$

ထို့ကြောင့် အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် incident solar heat သို့မဟုတ် solar fraction transferred ပမာဏကို အောက်ပါ အတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

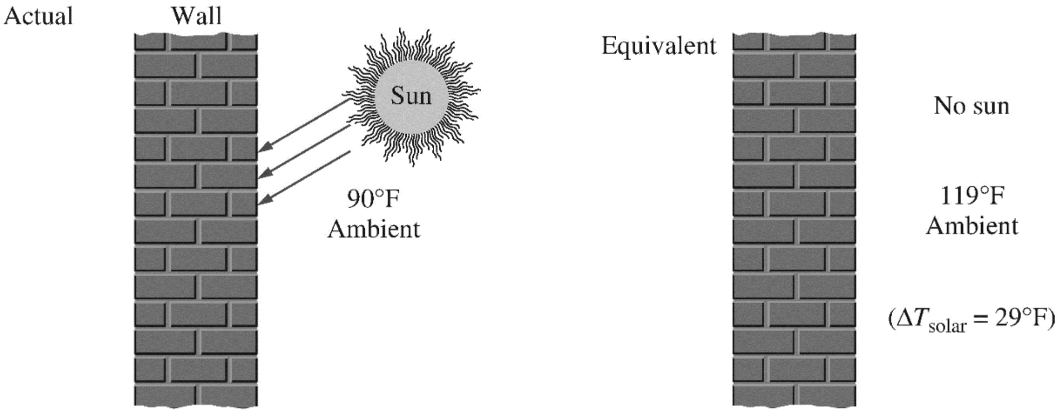
$$Solar\ fraction\ transferred = \frac{\dot{Q}_{wall,\ solar}}{\dot{Q}_{\ solar}} = \frac{\dot{Q}_{wall,\ solar}}{A_s\ \dot{q}_{solar}} = U\ \frac{\alpha_s}{h_o} \qquad (2-6)$$

ဥပမာ- Effect of Solar Heated Walls on Design Heat Load

အိမ်တစ်အိမ်၏ အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူထားသည့် နံရံ(west masonry wall of a house)ကို 4-in thick red face brick ၊ 4-inthick common brick ၊ -in-thick air space and -in thick gypsum board တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ Overall heat transfer coefficient သည် 0.29 Btu/h · ft$^2$ · °F ဖြစ်သည်။ Effects of convection on both the interior and exterior surfaces တို့ ပါဝင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 0.29 တွင် effects of convection on both the interior and exterior surfaces တို့ ပါဝင်ပြီးဖြစ်သည်။




ပုံ ၂-၃၂ Schematic for Example




ပုံ ၂-၃၃(a) Actual ပုံ ၂-၃၃ (b) Equivalent

ပုံ ၂-၃၃(a) Actual တွင် နေရောင် ကျရောက်နေပြီး လေထုအပူချိန် 90°F အမှန်တကယ်ရှိ သည့် လက်တွေ့အခြေအနေကို ဖော်ပြထားသည်။ ပုံ ၂-၃၃ (b) ထိုအခြေအနေတွင် နေရောင်ကျရောက်နေမှုအတွက် ညီမျှသည့်အပူချိန်($\Delta T_{solar}$)သည် 29°F ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် တူညီသည်(equivalent ambient air temperature)လေထုအပူချိန်သည် 119°F ဖြစ်သည်။ (The difference between the sol-air temperature and the ambient air temperature represents the equivalent temperature rise of ambient air due to solar heating.)

ဇူလိုင်လ(၂၁)ရက်နေ့နှင့် လတ္တီတွဒ်(၄၀)ဒီဂရီ(July 21 at 40 latitude) ဒေသအတွက် Sol-air temperature ကို ASHRAE Handbook of Fundamentals, Chap. 26, Table 1 မှ ဖတ်ယူသည်။

Cooling system ဒီဇိုင်းလုပ်မည့် အိမ်သည် 40°N latitude အရပ်တွင် တည်ရှိ(located)သည်။ လတ္တီတွဒ်(၄၀)ဒီဂရီ၊ ဇူလိုင်လ(၂၁)ရက်နေ့ ညနေ(၃) 15:00 hour (3 PM) solar time on July 21)တွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် heat gain ကို အခြေခံ၍ cooling system အရွယ်အစားကို တွက်မည်။

အခန်းအတွင်း အပူချိန်သည် 75°F (interior of the house is to be maintained at 75°F) ဖြစ်သည်။ နံရံ၏ exposed မျက်နှာပြင်အကျယ်သည် 210 $ft^2$ ဖြစ်သည်။ ထိုအချိန် design ambient air temperature သည် 90°F ဖြစ်လျှင် အောက်ပါတို့ကို ရှာပါ။

(က)နံရံကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူပမာဏ(design heat gain through the wall)
(ခ) ထိုပမာဏမှ solar heating ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အစိတ်အပိုင်း(fraction of this heat gain due to solar heating) နှင့်
(ဂ) Incident solar radiation ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည် heat gain အစိတ်အပိုင်း(fraction)
(transferred into the house through the wall.)

**အဖြေ**

အနောက်ဘက်ကို မျက်နှာမူထားသည့် နံရံ(west wall of a house)၌ solar radiation ဖြစ်ပေါ်သည်။ Summer design condition တွင် design heat gain နှင့် fraction of heat gain due to solar heating ၊ fraction of solar radiation that is transferred to the house တို့ကို တွက်ရန်

ယူဆချက်များ(assumptions)

(၁) Steady condition အတွက်သာ တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။
(၂) နံရံ၏ thermal properties နှင့် heat transfer coefficient တို့ မပြောင်းလဲ(constant)ဟု ယူဆသည်။ နံရံ၏ overall heat transfer coefficient ကို ပုစ္ဆာတွင် ပေးထားသည်။ 0.29 Btu/h · $ft^2$ · °F ဖြစ်သည်။

**Analysis**

(က) တွက်မည့် အဆောက်အဦသည် 40°N latitude အရပ်တွင် တည်ရှိသောကြောင့် sol- air temperature data များကို table 16–7 မှ တိုက်ရိုက်(directly)ဖတ်ယူနိုင်သည်။ ဇယားမှ ညနေ(၃)နာရီ(15:00)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် air temperature သည် 95°F ဖြစ်သည်။ ပုစ္ဆာတွင် ပေးထားသည့် လေထုအပူချိန်(air temperature given in the problem)ထက် 5°F ပိုမြင့်သည်။ သို့သော် ဇယားမှရသည့် ဒေတာမှ 5°F ကို နုတ်ယူ၍ (subtract 5°F from all temperatures) တွက်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် west wall ၏ sol-air temperature သည် 124 - 5 = 119°F ဖြစ်သည်။ နံရံကိုဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူပမာဏ(heat gain through the wall)ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်နိုင်သည်။

$$Q_{wall} = U A_s (T_{sol-air} - T_{inside})$$

$$= (0.29 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot {}^\circ\text{F}) \times (210 \text{ ft}^2) \times (119 - 75)^\circ\text{F}$$

$$= 2680 \text{ Btu/h}$$

(ခ) အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ပမာဏသည် အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperature difference)နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုး(proportional) ကြသည်။ Overall temperature difference သည် 119 - 75 = 44°F ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 44°F သည် sol-air temperature နှင့် ပြင်ပလေအပူချိန် ကွာခြားချက်(difference between the sol-air temperature and the ambient air temperature)ဖြစ်သည်။

$$T_{solar} = T_{sol-air} - T_{ambient}$$

$$= (119 - 90)^\circ\text{F} = 29^\circ\text{F}$$

Sol-Air Temperature 29°F သည် solar heating ကြောင့် လေထု(ambient air)၏ အပူချိန်မြင့်မှုနှင့် ညီမျှသည့် အပူချိန်(equivalent temperature rise) ဖြစ်သည်။

Solar heating ကြောင့် ဖြစ်သည့် heat gain မှ တချို့တစ်ဝက်(fraction)သည် solar temperature difference နှင့် overall temperature difference တို့၏ အချိုး(ratio)ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အနောက်ဘက်နံရံ(west wall)ကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်လာသည့် heat gain ၏ သုံးပုံနှစ်ပုံနီးပါးခန့်သည် solar heating ဖြစ်သည်။

အပြင်ဘက်ဆုံးအလွှာ(outer layer of the wall)ကို အုတ်နီခဲဖြင့် ပြုလုပ်(made of red brick)ထားသည်။ ထို့ကြောင့် အနက်ရောင် သို့မဟုတ် အရောင်ရင့်(dark colored)ဟု ယူဆသည်။ ho သည် 0.30 h · $ft^2$ · °F/Btu ဖြစ်သည်။ အိမ်အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားသည့် အစိတ်အပိုင်း(fraction of incident solar energy transferred to the interior of the house)ကို အောက်ပါညီမျှခြင်းမှ တိုက်ရိုက်(directly) တွက်ယူနိုင်သည်။

Solar fraction transferred

$$U = (0.29\ Btu/h \cdot ft^2 \cdot °F)(0.30\ h \cdot ft^2 \cdot °F/Btu)$$

$$Ho = 0.087$$

အိမ်အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားသည့် အပူပမာဏသည် ၁၀% ထက် ပိုနည်းသည်။ (less than 10 percent of the solar energy incident on the surface will be transferred to the house)

သတိပြုရန် အချက်မှာ နံရံများတွင် မှန်တပ်ထားလျှင်(glass wall ဖြစ်လျှင်) အိမ်အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်သွားမည့် အပူသည် အထက်တွင် တွက်ခဲ့သည့် အပူပမာဏထက် (၁၀)ဆခန့် ပိုများလိမ့်မည်။ (Note that a glass wall would transmit about 10 times more energy into the house.)

## ၂.၉.၁. Minor factors influencing solar gains

Solar radiation ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်မည့် instantaneous heat transmission ပမာဏကို တွက်ယူသည့်အခါ minor factor (၅)မျိုးကို ထည့်သွင်း စဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

(၁) Atmospheric haze
(၂) The type of window frame
(၃) The height of the place above sea level
(၄) Variation of the dew point
(၅) The hemisphere

## ၂.၉.၂ Air conditioning load due to solar gain through glass

ပြတင်းပေါက်မှန်များကို ဖြတ်၍ ဝင်ရောက်(passes through a window glazing does)လာသည့် solar radiation အပူများသည် air conditioning system အတွက် cooling load အဖြစ်သို့ ချက်ချင်း မပြောင်းလဲသွားပေ။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော်

(၁) Radiation ဖြစ်ခြင်း အတွက် လေများကို ကောင်းစွာ ဖြတ်သန်းသွား(transparent)သွားနိုင်ခြင်း

(၂) Air conditioning system တွင် cooling load များ လာခြင်းကို အခန်းအတွင်း အပူချိန်မြင့်တက်လာခြင်း တို့ကြောင့် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် solar radiation ကြောင့် အခန်းအတွင်းရှိ လေအပူချိန်ချက်ချင်း မြင့်တက်လာခြင်း မဖြစ်ပေါ်ပေ။

Table 2–1 Sol-air temperatures for July 21 at 40 latitude

Sol-air temperatures for July 21 at 40° latitude (from ASHRAE *Handbook of Fundamentals*, Chap. 26, Table 1)

(*a*) *SI units*

| Solar time | Air temp., °C | Light-colored surface, $\alpha/h_o = 0.026\ m^2 \cdot °C/W$ N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | Horiz. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 24.0 | 24.1 | 24.2 | 24.2 | 24.1 | 24.0 | 24.0 | 24.0 | 24.0 | 20.1 |
| 6 | 24.2 | 27.2 | 34.5 | 35.5 | 29.8 | 25.1 | 25.1 | 25.1 | 25.1 | 22.9 |
| 7 | 24.8 | 27.3 | 38.1 | 41.5 | 35.2 | 26.5 | 26.4 | 26.4 | 26.4 | 28.1 |
| 8 | 25.8 | 28.1 | 38.0 | 43.5 | 38.9 | 28.2 | 28.0 | 28.0 | 28.0 | 33.8 |
| 9 | 27.2 | 29.9 | 35.9 | 43.1 | 41.2 | 31.5 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 39.2 |
| 10 | 28.8 | 31.7 | 33.4 | 40.8 | 41.8 | 35.4 | 31.8 | 31.7 | 31.7 | 43.9 |
| 11 | 30.7 | 33.7 | 34.0 | 37.4 | 41.1 | 39.0 | 34.2 | 33.7 | 33.7 | 47.7 |
| 12 | 32.5 | 35.6 | 35.6 | 35.9 | 39.1 | 41.4 | 39.1 | 35.9 | 35.6 | 50.1 |
| 13 | 33.8 | 36.8 | 36.8 | 36.8 | 37.3 | 42.1 | 44.2 | 40.5 | 37.1 | 50.8 |
| 14 | 34.7 | 37.6 | 37.6 | 37.6 | 37.7 | 41.3 | 47.7 | 46.7 | 39.3 | 49.8 |
| 15 | 35.0 | 37.7 | 37.6 | 37.6 | 37.6 | 39.3 | 49.0 | 50.9 | 43.7 | 47.0 |
| 16 | 34.7 | 37.0 | 36.9 | 36.9 | 36.9 | 37.1 | 47.8 | 52.4 | 46.9 | 42.7 |
| 17 | 33.9 | 36.4 | 35.5 | 35.5 | 35.5 | 35.6 | 44.3 | 50.6 | 47.2 | 37.2 |
| 18 | 32.7 | 35.7 | 33.6 | 33.6 | 33.6 | 33.6 | 38.3 | 44.0 | 43.0 | 31.4 |
| 19 | 31.3 | 31.4 | 31.3 | 31.3 | 31.3 | 31.3 | 31.4 | 31.5 | 31.5 | 27.4 |
| 20 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 25.9 |
| **Avg.** | **29.0** | **30.0** | **32.0** | **33.0** | **32.0** | **31.0** | **32.0** | **33.0** | **32.0** | **32.0** |

| Solar time | Air temp., °C | Dark-colored surface, $\alpha/h_o = 0.052\ m^2 \cdot °C/W$ N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | Horiz. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 24.0 | 24.2 | 24.4 | 24.3 | 24.1 | 24.0 | 24.0 | 24.0 | 24.0 | 20.2 |
| 6 | 24.2 | 30.2 | 44.7 | 46.7 | 35.4 | 26.0 | 26.0 | 26.0 | 26.0 | 25.5 |
| 7 | 24.8 | 29.7 | 51.5 | 58.2 | 45.6 | 28.2 | 28.0 | 28.0 | 28.0 | 35.4 |
| 8 | 25.8 | 30.5 | 50.1 | 61.2 | 52.1 | 30.7 | 30.1 | 30.1 | 30.1 | 45.8 |
| 9 | 27.2 | 32.5 | 44.5 | 58.9 | 55.1 | 35.8 | 32.3 | 32.3 | 32.3 | 55.1 |
| 10 | 28.8 | 345 | 38.0 | 52.8 | 54.9 | 42.0 | 34.7 | 34.5 | 34.5 | 62.8 |
| 11 | 30.7 | 36.8 | 37.2 | 44.0 | 51.5 | 47.4 | 37.7 | 36.8 | 36.8 | 68.5 |
| 12 | 32.5 | 38.7 | 38.7 | 39.3 | 45.7 | 50.4 | 45.7 | 39.3 | 38.7 | 71.6 |
| 13 | 33.8 | 39.9 | 39.9 | 39.9 | 40.8 | 50.5 | 54.6 | 47.1 | 40.3 | 71.6 |
| 14 | 34.7 | 40.4 | 40.4 | 40.4 | 40.6 | 47.9 | 60.8 | 58.7 | 43.9 | 68.7 |
| 15 | 35.0 | 40.3 | 40.1 | 40.1 | 40.1 | 43.6 | 62.9 | 66.7 | 52.3 | 62.9 |
| 16 | 34.7 | 39.4 | 39.0 | 39.0 | 39.0 | 39.6 | 61.0 | 70.1 | 59.0 | 54.7 |
| 17 | 33.9 | 38.8 | 37.1 | 37.1 | 37.1 | 37.3 | 54.7 | 67.3 | 60.6 | 44.5 |
| 18 | 32.7 | 38.7 | 34.5 | 34.5 | 34.5 | 34.5 | 43.9 | 55.2 | 53.2 | 34.0 |
| 19 | 31.3 | 31.5 | 31.3 | 31.3 | 31.3 | 31.3 | 31.4 | 31.6 | 31.7 | 27.5 |
| 20 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 29.8 | 25.9 |
| **Avg.** | **29.0** | **32.0** | **35.0** | **37.0** | **37.0** | **34.0** | **37.0** | **37.0** | **35.0** | **40.0** |

(*b*) *English units*

| Solar time | Air temp., °F | Light-colored surface, $\alpha/h_o = 0.15\ h \cdot ft \cdot °F/Btu$ N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | Horiz. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 | 67 |
| 6 | 74 | 80 | 93 | 95 | 84 | 76 | 76 | 76 | 76 | 72 |
| 7 | 75 | 80 | 99 | 106 | 94 | 78 | 78 | 78 | 78 | 81 |
| 8 | 77 | 81 | 99 | 109 | 101 | 82 | 81 | 81 | 81 | 92 |
| 9 | 80 | 85 | 96 | 109 | 106 | 88 | 85 | 85 | 85 | 102 |
| 10 | 83 | 88 | 91 | 105 | 107 | 95 | 88 | 88 | 88 | 111 |
| 11 | 87 | 93 | 93 | 99 | 106 | 102 | 93 | 93 | 93 | 118 |
| 12 | 90 | 96 | 96 | 96 | 102 | 106 | 102 | 96 | 96 | 122 |
| 13 | 93 | 99 | 99 | 99 | 99 | 108 | 112 | 105 | 99 | 124 |
| 14 | 94 | 99 | 99 | 99 | 99 | 106 | 118 | 116 | 102 | 122 |
| 15 | 95 | 100 | 100 | 100 | 100 | 103 | 121 | 124 | 111 | 117 |
| 16 | 94 | 98 | 98 | 98 | 98 | 99 | 118 | 126 | 116 | 109 |
| 17 | 93 | 98 | 96 | 96 | 96 | 96 | 112 | 124 | 117 | 99 |
| 18 | 91 | 97 | 93 | 93 | 93 | 93 | 101 | 112 | 110 | 89 |
| 19 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 80 |
| 20 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 78 |
| **Avg.** | **83** | **86** | **88** | **90** | **90** | **87** | **90** | **90** | **88** | **90** |

| Solar time | Air temp., °F | Dark-colored surface, $\alpha/h_o = 0.30\ h \cdot ft^2 \cdot °F/Btu$ N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | Horiz. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 74 | 74 | 75 | 75 | 74 | 74 | 74 | 74 | 74 | 67 |
| 6 | 74 | 85 | 112 | 115 | 94 | 77 | 77 | 77 | 77 | 77 |
| 7 | 75 | 84 | 124 | 136 | 113 | 81 | 81 | 81 | 81 | 94 |
| 8 | 77 | 85 | 121 | 142 | 125 | 86 | 85 | 85 | 85 | 114 |
| 9 | 80 | 90 | 112 | 138 | 131 | 96 | 89 | 89 | 89 | 131 |
| 10 | 83 | 94 | 100 | 127 | 131 | 107 | 94 | 94 | 94 | 145 |
| 11 | 87 | 98 | 99 | 111 | 125 | 118 | 100 | 98 | 98 | 156 |
| 12 | 90 | 101 | 101 | 102 | 114 | 123 | 114 | 102 | 101 | 162 |
| 13 | 93 | 104 | 104 | 104 | 106 | 124 | 131 | 117 | 105 | 162 |
| 14 | 94 | 105 | 105 | 105 | 105 | 118 | 142 | 138 | 111 | 156 |
| 15 | 95 | 105 | 104 | 104 | 104 | 111 | 146 | 153 | 127 | 146 |
| 16 | 94 | 102 | 102 | 102 | 102 | 103 | 142 | 159 | 138 | 131 |
| 17 | 93 | 102 | 99 | 99 | 99 | 99 | 131 | 154 | 142 | 112 |
| 18 | 91 | 102 | 94 | 94 | 94 | 94 | 111 | 132 | 129 | 94 |
| 19 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 87 | 88 | 88 | 80 |
| 20 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 85 | 78 |
| **Avg.** | **83** | **89** | **94** | **99** | **97** | **93** | **97** | **99** | **94** | **104** |

Note: Sol-air temperatures are calculated based on a radiation correction of 7°F (3.9°C) for horizontal surfaces and 0°F (0°C) for vertical surfaces.

| **Sensible heat gains** | **Convective (%)** | **Radiative (%)** |
|---|---|---|
| Solar radiation with internal shading | 42 | 58 |
| Fluorescent lights | 50 | 50 |
| Occupants | 67 | 33 |
| External wall, inner surface | 40 | 60 |

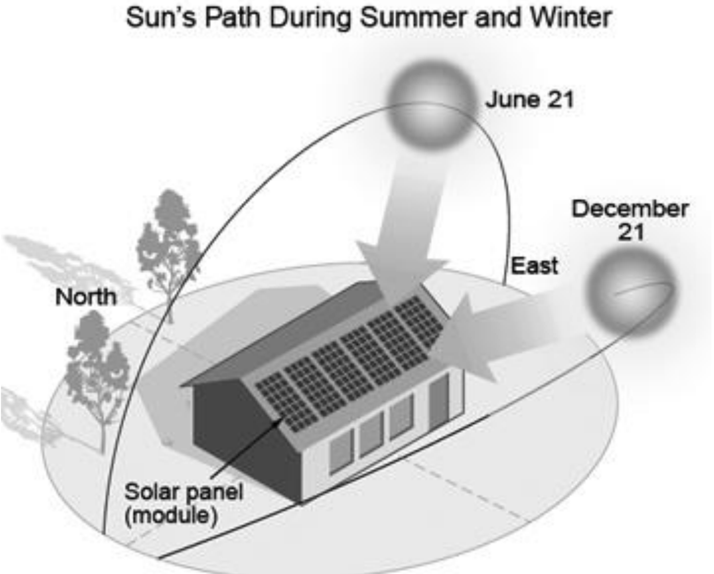
(Source: Wang, S. K., 2001. Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, 2nd ed.)

Cooling load တွက်နည်းပေါင်းများစွာ ရှိသည်။ အခြေခံအကျဆုံးနည်းနှင့် အလွယ်ကူဆုံးနည်းသည် Rule of Thumb နည်း ဖြစ်သည်။

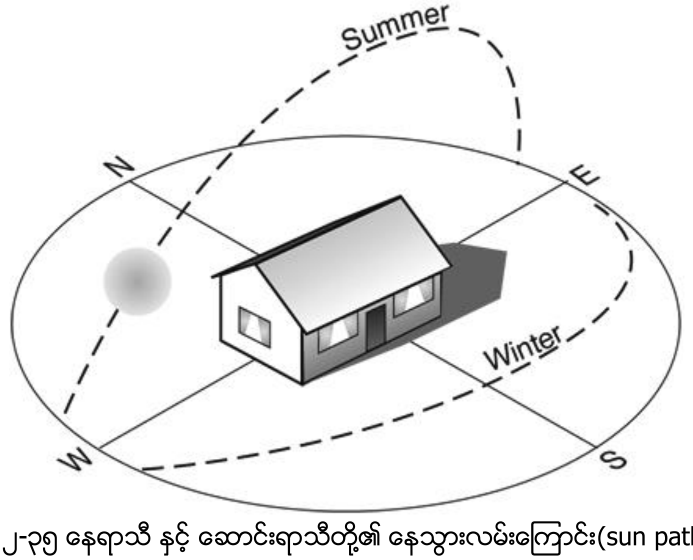
## ၂.၁၀ Sun Path

Air conditioning system ၏ cooling load တွက်သည့်အခါ တိကျမှုရှိစေရန်အတွက် နေသွားလမ်းကြောင်း(sun path)များအကြောင်းကို သိနားလည်ထားရန် လိုအပ်သည်။ မိမိတွက်မည့် အဆောက်အဦ၏ နေသွားလမ်းကြောင်း(sun path)ကို သိထားမှသာ နံရံများနှင့် ပြတင်းပေါက်များအပေါ်သို့ နေရောင်ကျရောက်မည့် အချိန်နှင့် ပမာဏ သိနိုင်လိမ့်မည်။

မြန်မာနိုင်ငံသည် Northern Hemisphere တွင် တည်ရှိသည်။ ဇွန်လ(၂၁)ရက်နေ့၏ နေသွားလမ်းကြောင်းသည် အရှည်ဆုံး ဖြစ်သည်။ ဒီဇင်ဘာလ(၂၁)ရက်နေ့၏ နေသွားလမ်းကြောင်းသည် အတိုဆုံး ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် နေဝင်ချိန်စော၍ နေထွက်ချိန်နောက်ကျသည်။




ပုံ ၂-၃၄ Sun's path during summer and winter




ပုံ ၂-၃၅ နေရာသီ နှင့် ဆောင်းရာသီတို့၏ နေသွားလမ်းကြောင်း(sun path)

နွေရာသီတွင် ရာသီဥတုပူပြင်း၍ အပူချိန်မြင့်မားရသည့်အကြောင်းမှာ နေသည် မိုးရာသီနှင့် ဆောင်းရာသီတို့ထက် ပိုမြင့်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

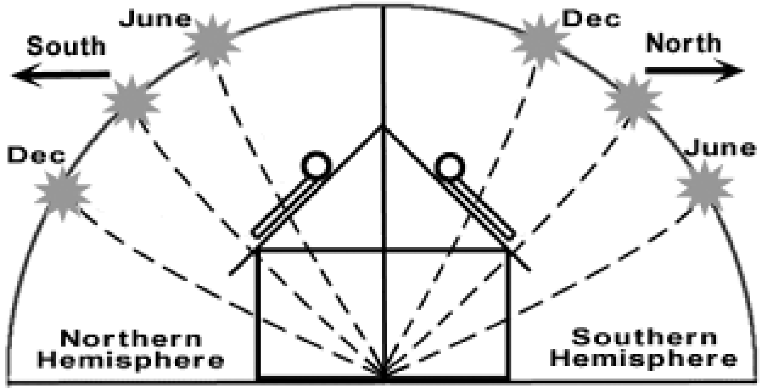
(က) နေသွားလမ်းကြောင်းရှည်လျားခြင်းကြောင့် နေ့တာရှည်သည်။ နေထွက်ချိန်စော၍ နေဝင်ချိန် နောက်ကျသည်။

(ခ) နေရောင် စူးရှသည်။ (summer sun light is more intense)။ နေသည် ဦးခေါင်းပေါ် ရောက်နေသည့် အချိန်၌ နေရောင်ပြင်းအား အများဆုံးဖြစ်သည်။

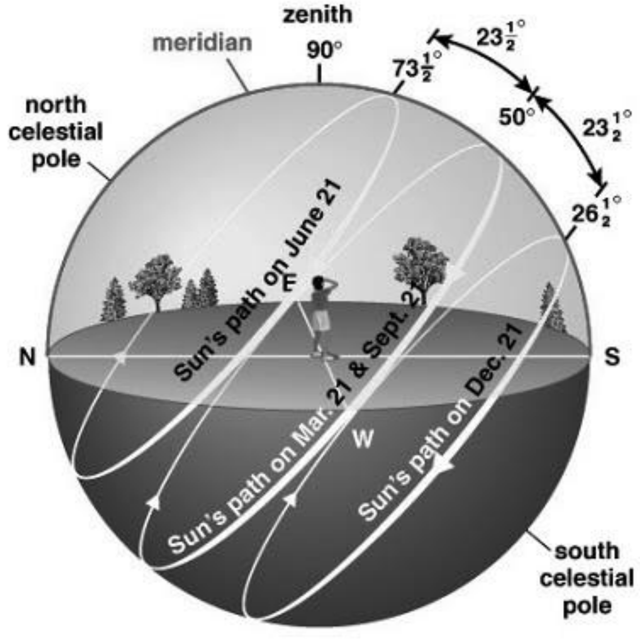
ဇွန်လ(၂၁)ရက်နေ့တွင် head load တွက်ချက်ခြင်းများ ပြုလုပ်ကြသည်။ နံနက်နှင့် ညနေတို့တွင် နေရောင် ထိုးသည့်ထောင့်သည် စောင်းလာနေသောကြောင့် နေ၏ပြင်းအား(intensity) လျော့နည်းသည်။

နွေရာသီတွင် နေ့တာရှည်ချိန်သည် (၁၂)နာရီထက် ပိုများသည်။ ဆောင်းရာသီတွင် နေ့တာ ရှည်ချိန်သည် (၁၂)နာရီထက် ပိုနည်းသည်။ အဆောက်အဦ တည်ရှိရာနေရာကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။ နေထွက်ချိန်(sunrise) နှင့် နေဝင်ချိန်(sunset)သည် အချိန်ရာသီ(time of the year)နှင့် တည်ရှိရာနေရာ(location on earth)ကိုလိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။

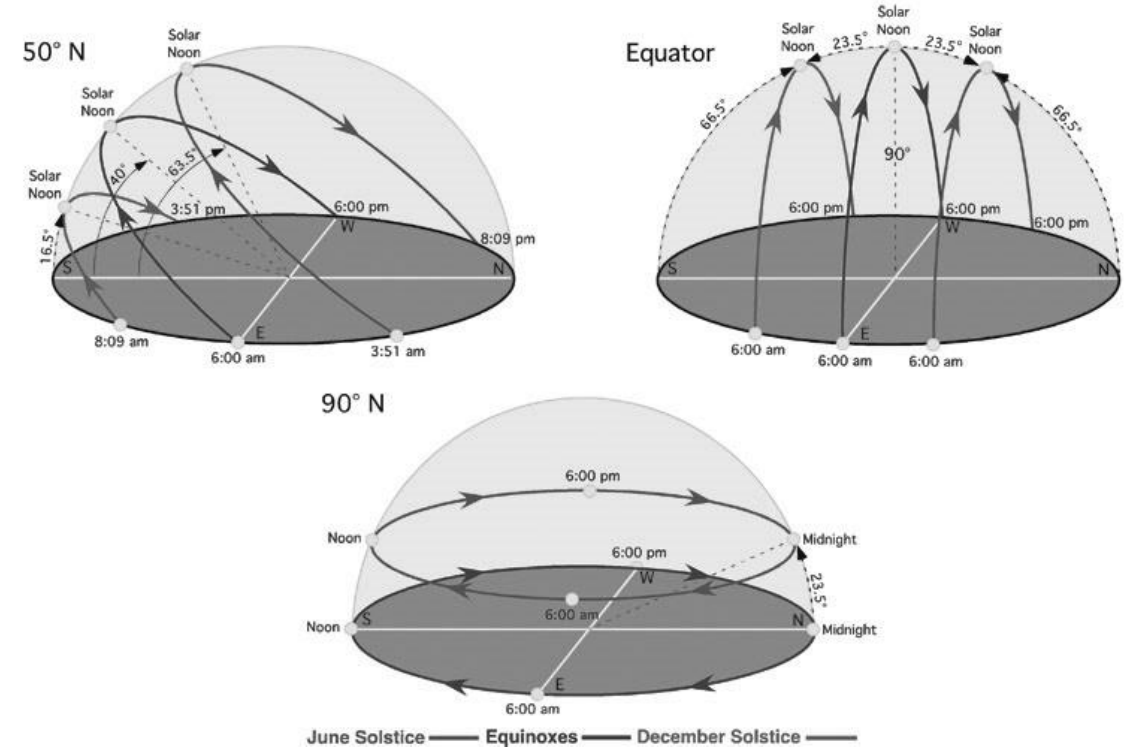
ဇွန်လ(၂၁)ရက်နေ့တွင် နေသည် အရှေ့တည့်တည့်မှမထွက်ဘဲ အရှေ့မြောက် စောင်းစောင်းမှ ထွက်သည်။ နေဝင်သည့်အရပ်သည် အနောက်မြောက်ဘက်စောင်းစောင်း ဖြစ်သည်။ ဒီဇင်ဘာ(၂၁)ရက်နေ့တွင် နေသည် အရှေ့တောင်ဘက် စောင်းစောင်းမှထွက်၍ အနောက်တောင်ဘက် စောင်းစောင်းတွင် ဝင်သည်။



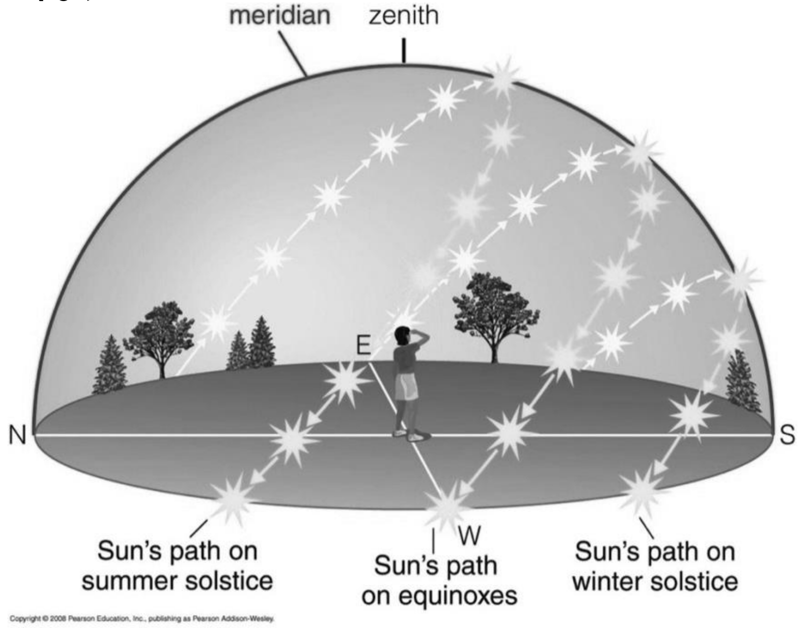

ပုံ ၂-၃၆ Sun path on northern hemisphere and southern hemisphere




ပုံ ၂-၃၇ Sun path




ပုံ ၂-၃၈ Sun path June Solstice , Equinoxes and December Solstice




ပုံ ၂-၃၉ Sun’s path on summer, equinoxes and winter solstice

## ၂.၁၁ Envelope Thermal Transfer Value (ETTV)

ETTV သည် Envelope Thermal Transfer Value ဖြစ်သည်။ ETTV ဆိုသည်မှာ ဗိသုကာပညာရှင်တို့ ဒီဇိုင်းဆွဲပြီး မြို့ပြအင်ဂျင်နီယာများတည်ဆောက်မည့် အဆောက်အုံတစ်ခု၏ နံရံများမှ စုစုပေါင်းအပူမည့်မျှစီးကူးမည်ကို ဖော်ပြသည့် တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ Envelope Thermal Transfer Value (ETTV) ၏ SI ယူနစ်မှာ Watt per meter square($W/m^2$)ဖြစ်သည်။ ETTV တန်ဖိုး၏ အဓိပ္ပာယ်မှာ နံရံဧရိယာတစ်စတုရန်းမီတာ၏ ပျမ်းမျှ(average weighted) အပူစီးကူးမှုနှုန်း(thermal transfer)ဖြစ်သည်။

စင်ကာပူနိုင်ငံရှိ အဆောက်အဦများတွက် Building & Construction Authority (BCA)မှ ခွင့်ပြုထားသော ETTV တန်ဖိုးမှာ 50 Watt per sq meter ဖြစ်သည်။ စင်ကာပူသည် အီကွေတာဒေသတွင် တည်ရှိသောကြောင့် ကြီးမားသည့် အဆောက်အဦများအားလုံးတွင် air conditioning system တပ်ဆင်ကြသည်။ ETTV တန်ဖိုးမှာ 50 watt per sq meter ဖြစ်သောကြောင့် နံရံဧရိယာတစ်စတုရန်းမီတာအတွင် ပြင်ပမှ အပူပမာဏ 50 watt အဆောက်အဦအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည် ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ ထိုခွင့်ပြုသည့် 50 watt ပိုများပါက အရွယ်အစား(capacity) ပိုကြီးမားသည့် air conditioning equipment များ တပ်ဆင်ရမည်ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အဆောက်အဦ ပုံသဏ္ဍာန် လှပနစ်လိုဖွယ် ဖြစ်နိုင်သော်လည်း မလိုအပ်ပဲ စွမ်းအင်(energy) ဖြုန်းတီးရာ ရောက်သည်။

| |
|---|
| ETTV တန်ဖိုးများလေ air conditioning system အရွယ်အစား(capacity) ပိုကြီးလေ ဖြစ်သည်။ အအေးပိုင်း နိုင်ငံများအတွက် ETTV တန်ဖိုး များလေ heating system အရွယ်အစား(capacity) ပိုကြီးလေ ဖြစ်သည်။ |

ETTV တန်ဖိုးသည် ဗိသုကာပညာရှင်များ၏ စိတ်ကူးဆန်းများကြောင့်ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦ တစ်ခုလုံးကို မှန်များဖြင့် တည်ဆောက်သည့်အခါ မှန်များကြောင့် ပြင်ပမှအပူများ အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာခြင်း ဖြစ်သည်။ ပြူတင်းပေါက် များပြားစွာ တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် လည်း ETTV တန်ဖိုးများခြင်း ဖြစ်သည်။

ETTV သည် အောက်ပါ အချက်အလက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။
အဆောက်အဦ၏ ပြင်ပနံရံ(external wall) ဧရိယာ မည်မျှရှိသည်။
မည်သည့်ဘက်သို့ လှည့်သည့် ပြင်ပနံရံ(external wall orientation)သည် ဧရိယာမည်မျှ ကျယ်ဝန်းသည်။
မည့်ကဲ့သို့သော ပစ္စည်းအမျိုးအစား(material)များဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။
တံခါးပေါက် မည်မျှရှိသည်။ မည်သည့် မှန်အမျိုးစားတို့ဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည် စသည်တို့ပေါ်တွင် မူတည်သည်။

| |
|---|
| ETTV သည် air conditioning နေရာနှင့်ထိစပ်နေသော ပြင်ပနံရံများအတွက်သာ တွက်ရန် လိုအပ်သည်။ ခေါင်မိုးအတွက် တွက်ရန် မလိုပါ။ Air con နေရာနှင့် မထိစပ်သည့် ပြင်ပနံရံများအတွက်လည်း တွက်ရန် မလိုပါ။<br>Envelope Thermal Transfer Value (ETTV)တန်ဖိုး တွက်ချက်ရန် အဆောက်အဦအတွင်းသို့ heat များ မည့်သို့ ဝင်ရောက်နိုင်သည်ကို သိရှိရန် လိုအပ်သည်။ |

| |
|---|
| ETTV တန်ဖိုးသည် အပြင်မှ အပူ(heat)များ ဝင်ရောက်လာမှုနှင့်သာ သက်ဆိုင်သည်။ ပြင်ပ နံရံများမှ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူ(heat)နှင့်သာ သက်ဆိုင်သည်။ ခေါင်မိုးများ(roofs)၊ ခန်းဆီး(partition) ၊ ကြမ်းခင်း (floor) စသည် တို့မှ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူ(heat)များနှင့် မသက်ဆိုင်ပါ။ |

ETTV တန်ဖိုး တွက်ချက်မှုများကို စက်မှုအင်ဂျင်နီယာများက ပြုလုပ်ရသည်။ သို့သော် ဗိသုကာ(architect)၏ အတည်ပြု(endorsement) ပေးရသည်။ ဖြစ်သင့်သော ဒီဇိုင်းလုပ်ငန်း(process)မှာ စက်မှုအင်ဂျင်နီယာများက တွက်ချက်ထားသော ETTV တန်ဖိုးကို ဗိသုကာ(architect) သုံးသပ်ရန်နှင့် ခွင့်ပြုထားသော 50 watt per sq meter လိုအပ်သည့် ဒီဇိုင်းပြန်လည်ပြင်ဆင်မှုများ ပြုလုပ်ရန်ဖြစ်သည်။ သို့သော် တကယ့်လက်တွေ့တွင် စက်မှုအင်ဂျင်နီယာများ ETTV တန်ဖိုး တွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည့်အချက်အလက်များ(window schedule, building orientation စသည်တို့) ဗိသုကာ(architect)များထံမှ ရရှိသည့်အချိန်တွင် အဆောက်အဦတစ်ခုလုံး၏ ဒီဇိုင်း အချောသတ်အဆင့်(design finalization stage)ကို ကျော်လွန်နေပြီ ဖြစ်ပြီး မည့်သည့်အပြောင်းအလဲကိုမျှ လက်မခံနိုင်သည့် အခြေအနေ ဖြစ်နေသည်။ ထိုအခါ ခွင့်ပြုထားသော 50 watt per sq meter ရရန် စက်မှုအင်ဂျင်နီယာများ ကိန်းဂဏန်းများဖြင့် ဆော့ကစားရတော့သည်။

ETTV တန်ဖိုးကို တွက်ချက်ရခြင်းမှာ အဆောက်အဦတစ်ခုနှင့်တစ်ခု နိုင်းယှဉ်နိုင်ရန်အတွက် စနစ်တကျ တွက်ချက်နည်းကို သုတေသနပြုကာ လက်ခံထားသည့်အတွက် အများစု လက်ခံထားသည့်နည်းဖြင့်သာ တွက်ချက်ရမည် ဖြစ်သည်။

အဆောက်အဦ၏ ပြင်ပနံရံများ ဒီဇိုင်းများဆန်းပြားလာလေ ETTV တန်ဖိုး တွက်ချက်များ ပိုမို ခက်ခဲလာလေ ဖြစ်သည်။ ETTV Value တွက်နည်း

ပထမဆုံးအချက်နေဖြင့် ETTV Formula သည် နိုင်ငံကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။
ဒုတိယအချက်နေဖြင့် ယူဆချက်(assumption)များ ပြုလုပ်ထားသည်။
ETTV Value တွက်နည်း တွင် အောက်ပါတို့ကို ယူဆချက်(assumption) လုပ်ထားသည်။

(က) အဆောက်အဦတစ်ခုလုံးသည် နံရံများဖြင့် လွတ်သည့်နေရာ မရှိအောင် ကာရံထားသည်ဟု ယူဆထားသည်။ (Building Envelope is fully enclosed.)

(ခ) Convention Heat Trasfer through building Enveloped opening portion is ignored.

အဆောက်အဦ၏ တံခါးများ၊ ဝင်ပေါက်၊ ထွက်ပေါက်များမှ convention နည်းဖြင့် အပူများစီးဝင်ခြင်း(Air Conditioningအတွက်)နှင့် အပူများစီးထွက်ခြင်း(heating System အတွက်)ကို ထည့်သွင်းတွက်ချက်ခြင်း မပြုလုပ်ပါ။

## ၂.၁၁.၁ ETTV ပုံသေနည်း (စင်ကာပူနိုင်ငံအတွက်သာ)

$$ETTV = 12(1-WWR)Uw + 3.4(WWR)Uf + 211\,(WWR)(CF)(SC)$$

ETTV = Envelope Thermal Transfer Value ($W/m^2$)

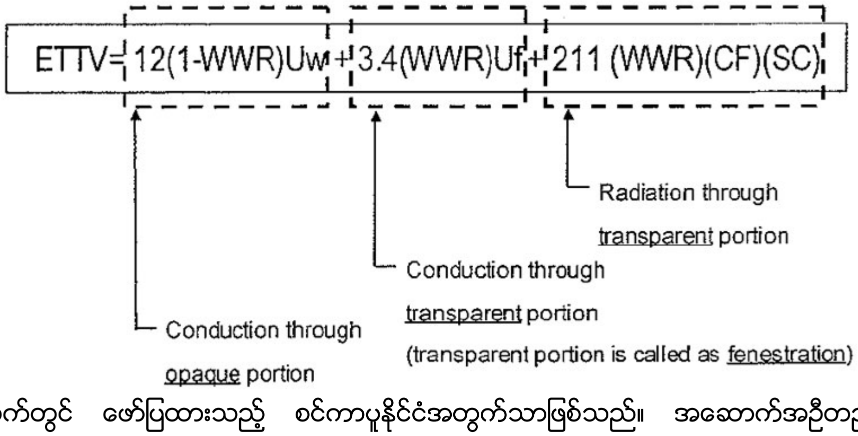
WWR = window-to-*wall* ratio

Uw = thermal transmittance of opaque wall ($W/m^2 K$)

Uf = thermal transmittance of fenestration ($W/m^2 K$)

SC = Shading Coefficient of fenestration

CF = solar Correction Factor of building envelope orientation




အထက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် စင်ကာပူနိုင်ငံအတွက်သာဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦတည်ရှိရာဒေသကို လိုက်၍ ကိန်းသေတန်ဖိုးများ(constant value) ပြောင်းလဲသည်။ ETTV တန်ဖိုးတွင် အပိုင်း(၃)ခု ပါဝင်သည်။

## ၂.၁၁.၂ Heat conduction Through Opaque Walls အပိုင်း

$$\textit{Heat conduction through Opaque Walls} = \mathbf{12(1-WWR)} \times \mathbf{Uw}$$

Constant number 12 သည် အပြင်အပူချိန် (35°C - 23°C = 12°C) ဖြစ်သည်။

အဆောက်အဦ အတွင်းနှင့် အပြင်တွင် အပူချိန်ကွာခြားသည့်အခါ မြင့်သည့်အပူချိန် T1 မှ နိမ့်သည်အပူချိန် T2 သို့ နံရံများကို ဖြစ်၍ အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ဥပမာ- ပြင်ပအပူချိန် 35°C မှ အဆောက်အဦ အတွင်း အပူချိန် 23C သို့ conduction အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။

WWR(window to wall ratio)သည် ပြတင်းပေါက်ဧရိယာနှင့် နံရံ ဧရိယာတို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။ ETTV တွက်ချက်ခြင်းတွင် ပြတင်ပေါက်တစ်ခုချင်း၊ နံရံတစ်ချပ်ခြင်းထက် ဧရိယာအားလုံးကို အချိုးယူ၍ ကိန်းတစ်ခုဖြစ်အောင် ပြုလုပ်၍ တွက်သည်။ နံရံတစ်ဘက်၏ ဧရိယာတစ်ခုလုံးကို ကိန်းပြည့်ဂဏန်း (၁)အဖြစ်ယူပြီး WWR သည် နံရံ တစ်ခုလုံးတွင် Window ဧရိယာ ရာခိုင်နှုန်း မည်မျှဖြစ်သည်ကို ဆိုလိုသည်။

WWR = 0.6 ဆိုသည်မှာ နံရံတစ်ဘက်တွင် ဧရိယာတစ်ခုလုံး၏ ၆၀% သည် ပြတင်းပေါက်(window) များ ဖြစ်ကြသည် ဟုဆိုလိုသည်။ ကျန်၄၀ ရာခိုင်နှုန်းမှာ fenesate နံရံများဖြစ်သည်။

Uw သည် နံရံအမျိုးအစားနှင့်သက်ဆိုင်သော U တန်ဖိုးဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Heat\ (Q) = U \times Area \times Dfferential\,Temperature}$$

မှ simplified လုပ်ထားသည် Formula ဖြစ်သည်။

ဥပမာ - အဆောက်အဦတစ်ခု၏ အရှေ့ဘက်သို့ မျက်နှာမူသော နံရံတစ်တစ်ခု၏ ဧရိယာသည် စတုရန်းမီတာ (၁၀၀) ဖြစ်ပြီး ဧရိယာ၏ ၅၀%သည် ပြုတင်းပေါက်များဖြစ်လျှင် ထိုနံရံ၏ ဖြစ်ပေါ်သော Heat Conduction ကို ရှာပါ။ အောက်တွင် ပြထားသော U တန်ဖိုး 0.3 $W/m^2$ K ဖြစ်သည်။

အထက်တွင်ဖော်ပြထားသော ETTV ၏ စင်ကာပူတွင် အသုံးပြုရန်အတွက် သတ်မှတ်ထားသော ပုံသေနည်း အရ အတွင်းနှင့်အပြင် အပူချိန်ခြားနားချက်သည် 12°C ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Heat\,Conduction\,Through\,Opaque\,Walls\ =\ 12\ (1 - WWR)\ \times Uw}$$

= 12 (1-0.5) x 0.3 = 1.8 W per Sq meter

ဖြစ်သည်။

အဓိပ္ပာယ်မှာ အရှေ့ဘက်သို့ မျက်နှာမူသောနံရံ၏ (၁)စတုရန်းမီတာတိုင်းမှ အပူပမာဏ 1.8 Watt စီးကူး ဝင်ရောက် လာမည်ဟု ဆိုလိုသည်။ U တန်ဘိုးကို ASHRE Hand Book များ။ Singapore BCA ၏ Data များ နှင့် ထုပ်လုပ်သူများထံမှ ရရှိနိုင်သည်။ U တန်ဘိုး အနည်းအများသည် အောက်ပါအချက်အလက်များပေါ်တွင်မူတည်သည်။

Envelope Layers of Materials

Thickness of Material

Thermal Conductivity of Materials (K Value or R Value)

Air Resistance

## Thermal conductivity (K value) – some examples

| Material | Density (kg/m3) | K-value (W/m K) |
|---|---|---|
| concrete | 2400 | 1.442 |
| cement | 1568 | 0.533 |
| granite | 2640 | 2.927 |
| Wood (chipboard) | 800 | 0.144 |
| aluminium | 2672 | 211 |
| rockwool | 32 | 0.035 |
| glass | 2512 | 1.053 |

## ၂.၁၁.၃ Thermal Conductivity (K Value)

K တန်ဖိုးသည်နံရံ အမျိုးအစားကို လိုက်၍ အဆောက်အဦတွင်းသို့ အပူစီးကူးနိုင်စွမ်း(ability of a material to trasmit heat)ကို ဆိုလိုသည်။

အတွင်းနံရံနှင့် အပြင်နံရံအကြားတွင် ကွာခြားချက်(temperature difference)ဖြစ်ပေါ်နေသည့်အခြေအနေ (steady-state condition)တွင် ဧရိယာတစ်ယူနစ်နေရာမှ အထူတစ်ယူနစ်(unit area of the material of unit thickness)အတွက် ထုတ်လွှတ်လိုက်(transmit)သည့် အပူ(heat)ပမာဏသည် K တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ (Quantity of heat transmitted under steady-state conditions through unit area of the material of unit thickness in unit time when unit temperature difference exists between its opposite surface (W/m K))

ကွန်ကရစ်နံရံ၏ K တန်ဖိုးသည် 1.44 watt ဖြစ်သည်။ အဓိပ္ပာယ်မှာ (၁)မီတာအထူ ကွန်ကရစ်နံရံမှ 1 K အပူချိန်ကွာခြားမှုကြောင့် ကူးပြောင်း(transmit) သွားသည့်အပူ(heat) ပမာဏသည် 1.44 watt ဖြစ်သည်။

| K တန်ဖိုးသည် နည်းလေ အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ အပူစီးကူးမှု နည်းလေဖြစ်သည်။ |
|---|

## ၂.၁၁.၄ Heat conduction Through Glass Windows အပိုင်း

$$Heat\ Conduction\ Through\ Glass\ Windows\ =\ 3.4\ (WWR)\ \times Uf$$

Heat (Q) = U x Area x Differential Temperature ပုံသေနည်းကို ရိုးရှင်းလွယ်ကူအောင်ပြုလုပ်ထား(simplify) ခြင်း ဖြစ်သည်။ Differential Temperature မှာ 3.4 C ဖြစ်သည်။ Area မှာ ပြတင်းပေါက်(window)များအားလုံး၏ စုစုပေါင်းဧရိယာ ဖြစ်သည်။ Window schedule ကို ဗိသုကာ (architect)များထံမှ ရရှိနိုင်သည်။

ပုံ ၂-၄၀ Solar radiation

## ၂.၁၁.၅ Solar Radiation Though Glass Windows အပိုင်း

$$Solar\ Radiation\ Though\ Glass\ Windows\ =\ 211\ (WWR)\ (CF)\ (SC)$$

Mean Solar Radiation = 112 Watt per Sq meter

Solar Radiation ဆိုသည်မှာ နေသည် ကမ္ဘာမြေမှ မိုင်းပေါင်းများစွာ ကွာဝေးသောကြောင့် နေရောင်ခြည်သည် ကမ္ဘာမြေပေါ်သို့ ရောက်ရှိချိန်တွင် နေရောင်ခြည်သည် ပြိုင်လင်းတန်း(paralley Sun's says)များဖြစ်သို့ ရောက်ရှိသွားသည်။ နေရောင်ခြည် အပူစွမ်းအင်(heat energy)နှင့် အလင်းစွမ်းအင်(light energy)ကို လူသားတို့ အတွက် သယ်ဆောင် လာသည်။ အထူးသဖြင့် နေရောင်ခြည်မှ သယ်ဆောင်လာသော အပူစွမ်းအင်(heat e nergy)သည် အပူစွမ်းအင် (heat energy) solar radiation အနေဖြင့် ရောက်ရှိသည်။

မိမိအဆောက်အဦ တည်ရှိရာနေရာ(Latitude and Longitude)ကိုလိုက်၍ solar radiation ပမာဏ ကွာခြားမှုရှိသည်။ လ(month)ကို လိုက်၍လည်း solar radiation ပမာဏကွာခြားမှု ရှိသည်။ မျက်နှာမူရာဘက် (orientation)ကို လိုက်၍လည်း solar radiation ပမာဏ ကွာခြားမှုရှိသည်။ စင်ကာပူအတွက် တစ်နှစ်တာ ပျမ်းမျ solar radiation မှာ 211 Watt per sq meter ဖြစ်သည်။ အဓိပ္ပာယ်မှာ နေရောင်ခြည်မှ တစ်စတုရန်းမီတာပေါ်တွင် တစ်နှစ်တာပျမ်းမျ Solar Radiation အပူပမာဏမှာ 211 Watt per sq meter ဖြစ်သည်။ (The solar factor has

been derived from the annual average of solar radiation transmitted through a 3mm clear glass window.)

$$SC = \frac{Solar\ heat\ gain\ of\ any\ glass\ and\ shading\ combination}{Solar\ heat\ gain\ through\ a\ 3\ mm\ unshaded\ clear\ glass}$$

$$\boldsymbol{SC = SC1 \times SC2}$$

where

SC : Shading coefficient of the fenestration system

SC1 : shading coefficient of glass or effective shading coefficient of glass with solar control film where a solar control film is used on the glass

SC2 : effective shading coefficient of external shading devices

အောက်ပါဇယားသည် Solar Correction Factor (CF) for Wall ဖြစ်သည်။

| Pitch Angle | Orientation | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| 70° | 1.17 | 1.33 | 1.47 | 1.35 | 1.21 | 1.41 | 1.56 | 1.38 |
| 75° | 1.07 | 1.23 | 1.37 | 1.25 | 1.11 | 1.32 | 1.47 | 1.28 |
| 80° | 0.98 | 1.14 | 1.30 | 1.16 | 1.01 | 1.23 | 1.39 | 1.20 |
| 85° | 0.89 | 1.05 | 1.21 | 1.07 | 0.92 | 1.14 | 1.31 | 1.11 |
| 90° | 0.80 | 0.97 | 1.13 | 0.98 | 0.83 | 1.06 | 1.23 | 1.03 |
| 95° | 0.73 | 0.90 | 1.05 | 0.91 | 0.76 | 0.99 | 1.15 | 0.96 |
| 100° | 0.67 | 0.83 | 0.97 | 0.84 | 0.70 | 0.92 | 1.08 | 0.89 |
| 105° | 0.62 | 0.77 | 0.90 | 0.78 | 0.65 | 0.86 | 1.01 | 0.83 |
| 110° | 0.59 | 0.72 | 0.83 | 0.72 | 0.61 | 0.80 | 0.94 | 0.78 |
| 115° | 0.57 | 0.67 | 0.77 | 0.67 | 0.58 | 0.75 | 0.87 | 0.73 |
| 120° | 0.55 | 0.63 | 0.72 | 0.63 | 0.56 | 0.71 | 0.81 | 0.69 |

တခြားသော အဆောက်အဦမျက်နှာမူရာဘက်(orientation) နှင့် တခြားသော pitch angle များအတွက် correction factor ကို interpolation နည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်ပါသည်။ Pitch Angle ကို အောက်တွင်ဖော်ပြထားသည့် အဆောက်အဦမှ လေ့လာနိုင်သည်။

Wheelock Place building Pitch Angles is below 90 Degree

Most of building Pitch Angles are 90 Degree

Concourse building Pitch Angles is above 90 Degree

ပုံ ၂-၄၁ Pitch Angle အမျိုးမျိုးဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည့် အဆောက်အဦများ

-End-