Chapter-5
Heating Load Calculations

(RIT/YIT နောက်ဆုံးနှစ်(၁၉၉၅) Air Conditioning ဘာသာရပ် ပြဌာန်းစာအုပ်ဖြစ်သည့် Air Conditioning Principles and Systems an Energy Approach (4th Edition) by Edward G. Pita စာအုပ်မှ အခန်း(၃)ကို ဘာသာပြန်ဆိုသည်။)

Cooling load သို့မဟုတ် heating load တွက်ရန် အဆောက်အဦများ၌ အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ဖြစ်ပေါ်ပုံကို သေချာစွာ နားလည်သဘောပေါက်ရန် လိုအပ်သည်။ အပူခုခံမှု(resistance)ကောင်းလေ အပူလျှောက်ကူးနိုင်စွမ်း(conductivity) ညံ့ဖျင်းလေဖြစ်ပြီး အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) နည်းလေ ဖြစ်သည်။

မြန်မာနိုင်ငံရှိ အကြီးစားအဆောက်အဦများ အားလုံးနီးပါးတွင် အပူပေးသည့်စနစ်(heating system) တပ်ဆင်ထားသည်ကို တွေ့မြင်ရခဲသည်။ အများအားဖြင့် air conditioning system သာ တပ်ဆင်ကြသည်။ Cooling load တွက်ရန် လိုအပ်သည့် အခြေခံသဘောတရားများကို သေချာစွာ အသေးစိတ်နားလည် သဘောပေါက်စေရန် အတွက် heating load အခန်းကို ဘာသာပြန်ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။ တချို့သော အချက်များကို cooling load calculation အခန်း(chapter-6)တွင် ရှင်းမပြထားပါ။

ဤအခန်းသည် အအေးပိုင်းဒေသများတွင် တည်ဆောက်ထားသည့် အဆောက်အဦများအတွက် လိုအပ်သည့် heating system အတွက် heating load တွက်နည်းများ၊ ၄င်းတို့နှင့် သက်ဆိုင်သည့် သဘောတရားများ၊ အပူစီးကူးမှုအခြေခံများကို ဖော်ပြထားသည်။ မြန်မာ၊ စင်ကာပူ၊ မလေးရှား၊ ထိုင်း စသည့်နိုင်ငံများရှိ အဆောက်အဦများတွင် heating system တပ်ဆင်လေ့မရှိသောကြောင့် တိုက်ရိုက်မသက်ဆိုင်သော်လည်း air con system cooling load တွက်ရာတွင် ဤအခန်းသည် များစွာ အထောက်အကူပြုနိုင်သောကြောင့် ထည့်သွင်းဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

ဤအခန်းကို လေ့လာပြီးနောက် အောက်ပါ သဘောတရားများကို နားလည်သဘောပေါက်နိုင်သည်။

(၁) အဆောက်အဦဆောက်လုပ်ထားသည့် အစိတ်အပိုင်း(building component)များ၏ R တန်ဖိုး(R-value)နှင့် U တန်ဖိုး (U-value)များ ရှာဖွေတတ်ရန်

(၂) မိမိတွက်မည့် အဆောက်အဦ တည်ရှိရာဒေသနှင့် ကိုက်ညီသည့်အခန်းအတွင်းနှင့် အခန်းပြင်ပ ဒီဇိုင်း အပူချိန်များ (indoor and outdoor design conditions)ကို ရွေးချယ်တတ်ရန်

(၃) အခန်း(room)နှင့် အဆောက်အဦ(building)တို့တွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် heat transfer loss များကို တွက်တတ်ရန်

(၄) အခန်း(room)နှင့် အဆောက်အဦ(building)ထဲသို့ စိမ့်ဝင်မည့် ပြင်ပလေနှင့် ထည့်ပေးရမည့် ပြင်ပလေ (infiltration and ventilation)များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်မည့် heat transfer loss များကို တွက်တတ်ရန် နှင့်

(၅) အခန်း(room)နှင့် အဆောက်အဦ(building)တို့အတွက် heating load တွက်တတ်ရန်တို့ ဖြစ်သည်။

ဆောင်းရာသီ သို့မဟုတ် အဆောက်အဦပြင်ပ အပူချိန်နိမ့်သည့်အခြေအနေများတွင် အခန်းများ၊ အဆောက်အဦအတွင်း၌ သက်သောင့်သက်သာဖြစ်စေမည့် အပူချိန်ကို ထိန်းထားရန်အတွက် heating system တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။ ဤအခန်းတွင် အတိကျဆုံးနှင့် energy efficient အဖြစ်ဆုံး heat load calculation နည်းကို ဖော်ပြထားသည်။ မြန်မာနိုင်ငံရှိ အဆောက်အဦများတွင် heating system တပ်ဆင်ရန် မလိုသော်လည်း cooling load တွက်နည်းကို ကျွမ်းကျင်စွာ နားလည်သဘောပေါက်ရန်၊ အဆောက်အဦ အတွင်းမှအပြင်သို့ သို့မဟုတ် အပြင်မှ အတွင်းသို့ အပူများစီးကူးပုံကို နားလည်သဘောပေါက်ရန်အတွက် heating load တွက်ချက်နည်းများကို မဖြစ်မနေ လေ့လာရန် လိုအပ်သည်။ Heating load တွက်နည်းကို နားလည်သဘောပေါက်မှသာ cooling load တွက်နည်းနှင့် heating load တွက်နည်းတို့၏ ကွာခြားချက်ကို ဆက်လက်လေ့လာနိုင်လိမ့်မည်။

၅.၁ Heating Load

ပြင်ပအပူချိန် အလွန်နိမ့်သည့်အခါ အခန်းအတွင်းအပူချိန်(indoor air temperature)ကို အလိုရှိသည့် အပူချိန်တွင် ထိန်းထားရန်အတွက် heating system ကို စတင်လည်ပတ်ရန် လိုအပ်သည်။ ပြင်ပအပူချိန် အလွန်နိမ့်သည့်အခါ အခန်းအတွင်း အပူချိန် ကျဆင်းသွားရသည့် အခြေခံအကြောင်းနှစ်မျိုးမှာ -

(၁) အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer)ကြောင့် ဖြစ်သည်။

(၂) အခန်းအတွင်းမှ နွေးနေသည့်လေများ(warm inside air)သည် နံရံများ(walls)၊ ပြတင်းပေါက်များ (windows)နှင့် တခြားနေရာများ(other parts of the building envelope)ကို ဖြတ်၍ အေးနေသည့် ပြင်ပ (cold out side)သို့ အပူများစီးကူးသွားသည်။ အဆောက်အဦရှိ လေမလုံသည့် အပေါက်များ(openings) မှတစ်ဆင့် ပြင်ပလေအေးများ ယိုစိမ့်မှု(leakage of cold air)ကြောင့် အခန်းအတွင်းသို့ လေအေးများ ဝင်ရောက်(building infiltration)လာကာ အပူဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။

ထိုကဲ့သို့ အပူဆုံးရှုံးမှုများ(heat losses)ကို တုံ့ပြန်ရန်အတွက် ဆုံးရှုံးသည့်အပူနှင့် ပမာဏတူညီသည့် အပူများကို အခန်းအတွင်းသို့ အဆက်မပြတ် ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

အပူစွမ်းအင် ညီမျှနေခြင်းကို energy equation ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ အခန်း(room) သို့မဟုတ် အဆောက်အဦ (building)အတွင်းရှိ လေကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ အခန်းထဲသို့ ထည့်ပေးရမည့် စွမ်းအင်(energy added to the room air (E_{in})) သည် heating system မှ ထုတ်ပေးရမည့်အပူပမာဏ(heat supplied)နှင့် တူညီရမည်။ ထွက်သွားသည့်အပူပမာဏ(heat removed - Eout)သည် အခန်းအတွင်းမှ ဆုံးရှုံးသည့် အပူပမာဏ(heat loss - Qout) ဖြစ်သည်။ သိမ်းဆည်းထားသည့် စွမ်းအင်(stored energy) ပြောင်းလဲမှု(E_{ch})သည် အခန်းတွင်းရှိလေ(room air)၏ enthalpy(H_{ch}) ပြောင်းလဲမှု(change) ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{E_{ch} = E_{in} - E_{out}}$$

we obtain

$$\boldsymbol{H_{ch} = Q_{in} - Q_{out}} \qquad (5.1)$$

where

H_{ch} = change in room air enthalpy

Q_{in} = heat supplied by heating system

Q_{out} = heat losses from room air to outside

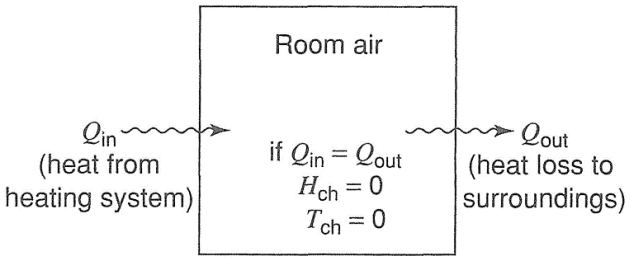
အခန်းတွင်းရှိ လေအပူချိန်(room air temperature)သည် enthalpy အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Air enthalpy ကျဆင်း(decrease)လျှင် အခန်းအတွင်းရှိ လေအပူချိန်(temperature) ကျဆင်း(decrease)သည်။ အခန်းအတွင်းရှိ လေအပူချိန်(room air temperature)ကို အလိုရှိသည့် temperature တွင် ထိန်းထားရန်အတွက် enthalpy တန်ဖိုးကို မပြောင်းလဲအောင်(constant)ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။ အခန်းအပူချိန် မပြောင်းလဲစေလိုလျှင်

ဆုံးရှုံးသွားသည့် အပူပမာဏနှင့် ပြန်ထည့်ပေးရမည့် အပူပမာဏ တူညီရမည်။ Energy equation ကို အသုံးပြု၍ အောက်ပါအတိုင်း ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$\mathbf{0} = \boldsymbol{Q_{in}} - \boldsymbol{Q_{out}}$$

$$\boldsymbol{Q_{in}} = \boldsymbol{Q_{out}} \qquad (\mathbf{5.2})$$

Where
H_{ch} = change in room air enthalpy
Q_{in} = heat supplied by heating system
Q_{out} = heat losses from room air to outside



ပုံ ၅-၁ Heat exchanges between room air and surroundings. If heat furnished to room (Q_{in}) equals heat lost from room (Q_{out}), room air temperature remains constant (T_{ch} = 0).

ပုံ (၅-၁)တွင် အခန်းအတွင်းသို့ အပူစီးဝင်ပုံနှင့် အပူများ ထွက်သွားပုံ(heat flow into and out of a room)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Equation 5.2 အရ room air enthalpy (တစ်နည်းအားဖြင့် temperature)ကို အလိုရှိသည့်တန်ဖိုး(desired value)တွင် မပြောင်းလဲအောင်(constant) ထိန်းထားရန်အတွက် heating system မှ ထုတ်ပေးသည့် အပူ(heat supply)သည် အခန်းမှ ဆုံးရှုံးသွားသည့်အပူ(heat losses)နှင့် ညီမျှရမည်။

ဤအချက်သည် heating load တွက်ချက်ခြင်းနှင့် cooling load တွက်ချက်ရာတွင် အခြေခံကျသည့် အဓိကအချက် ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦ(building) တစ်ခုအတွင်းမှ ဆုံးရှုံးသွားသည့်အပူများ(heat losses)ကို အလွယ်တကူ တွက်ယူနိုင်သည်။ ထိုမှတစ်ဆင့် heating equipment များ၏ capacity ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

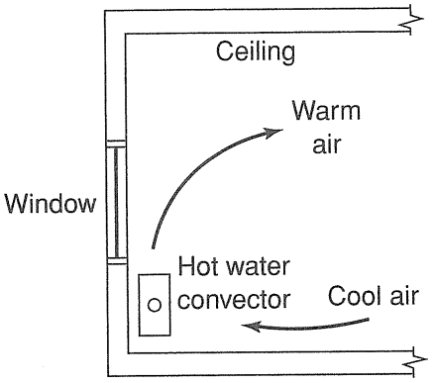
> အဆောက်ဦ သို့မဟုတ် အခန်းကို အလိုရှိသည့် အပူချိန်တွင် ထိန်းထားနိုင်ရန်အတွက် ထည့်ပေးရမည့် အပူပမာဏကို "**heating load**" ဟု ခေါ်သည်။ (The amount of heat that must be supplied to keep the building or room air at the desired temperature is called the heating load.)

Heating equipment ၊ piping အရွယ်အစား နှင့် duct အရွယ်အစား(sizing) ရွေးချယ်ရန်အတွက် heating load တန်ဖိုးကို တိတိကျကျတွက်ရန် လိုအပ်သည်။ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy utilization)များကို လေ့လာရန်အတွက် heating load တွက်ခြင်းသည် အခြေခံအဆင့်(fundamental step) ဖြစ်သည်။ လွန်ခဲ့သည့် အချိန်က heating system ဒီဇိုင်းလုပ်ရန်အတွက် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) တွက်ချက်ရာတွင် တိကျမှုနည်းသောကြောင့် ပြဿနာများစွာ ဖြစ်ပေါ်ခဲ့သည်။

ကျေနပ်ဖွယ်ကောင်းသည့် အခန်းအပူချိန်မရခြင်း(unsatisfactory indoor air conditions)နှင့် စွမ်းအင် အတွက် ကုန်ကျစရိတ်(energy costs)များခြင်း စသည့်ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် နိုင်ငံများ၊ အဖွဲ့အစည်းများက heating and cooling load calculation method များကို အတိအကျသတ်မှတ်ပြီး လိုက်နာရမည့် စည်းမျဉ်းစည်းကမ်းများ(code)ကို ပြဋ္ဌာန်းခဲ့ကြသည်။ (Cooling load calculation methods will be discussed in Chapter 6.)

Heating load သည် အဆောက်အဦများ(buildings)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) (၂)မျိုး ကြောင့် ဖြစ်သည်။ (၁) heat transfer losses နှင့် (၂) infiltration/ventilation losses တို့ဖြစ်သည်။

အောက်တွင် ဥပမာဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ အခန်းအတွင်းရှိ လေ(room air)နှင့် ဘေးပတ်ဝန်းကျင် (surroundings)တို့တွင် အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat exchange) ဖြစ်ပေါ်သည်။ အခန်းအတွင်းသို့ ထည့်ပေးသည့် အပူ(heat furnished to room (Q_{in}))သည် အခန်းမှ ဆုံးရှုံးသွားသည့် အပူပမာဏ(heat lost from room (Q_{out}))နှင့် တူညီနေလျှင် အခန်းအပူချိန် မပြောင်းလဲဘဲ တည်ငြိမ်(room air temperature remains constant (T_{ch} = 0)) နေလိမ့်မည်။



ပုံ ၅-၂ Heat transfer by natural convection from a terminal unit (hot water convector) to room air.

၅.၂ Heat Transfer

အဆောက်အအုံမှ ဆုံးရှုံးသွားသည့်(ထွက်သွားသည့်) အပူများ(building heat losses)သည် အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer)ကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အပူကူးပြောင်းပုံ(basic features of heat transfer process)ကို နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။

အတွင်းနှင့်အပြင် နေရာ(၂)ခုအကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperature difference) ကြောင့် အပူများစီးကူးသွားခြင်း(heat is transferred)ဖြစ်သည်။ အပူချိန်မြင့်သည့်နေရာ(higher temperature)မှ အပူချိန်နိမ့်သည့်နေရာ(lower temperature)သို့သာ အပူများ အလိုအလျောက် စီးကူးနိုင်သည်။ အပူကူးပြောင်းမှု (heat transfer) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် နည်း(၃)နည်း(three different ways) ရှိသည်။ Conduction ၊ convection နှင့် radiation တို့ ဖြစ်သည်။

Conduction

> Conduction သည် အရာဝတ္ထုတစ်ခု(body)၏ အတွင်း၌ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ပုံစံ တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ ထိုသို့ အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ဖြစ်ပေါ်စေရန်အတွက် အရာဝတ္ထု(body) တစ်ခုသည် ရွှေ့လျားနေရန် မလိုအပ်ပေ။ အတွင်းရှိ မော်လီကျူးလေးများ၊ electron များက အပူကို အဆင့်ဆင့် လက်ဆင့်ကမ်း ကူးပြောင်း သယ်ဆောင်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။
>
> (Conduction is the form of heat transfer through a body that occurs without any movement of the body; it is a result of molecular or electron action.)

Conduction နည်းသည် နားလည်လွယ်သည့် အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer)ဖြစ်စဉ် ဖြစ်သည်။ အစိုင်အခဲများ(solids)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည်။ ဥပမာ - ရေနွေးအိုးတည်သည့်အခါ မီးသည်ရေနွေးအိုးကို ဖြတ်၍ လက်ကိုင်ဆီသို့ ရောက်ကာ လက်ဖြင့်စမ်းလျှင် ပူသည်ဟု ခံစားရသည်။ နောက်ဥပမာတစ်ခုမှာ အဆောက်အဦး၏ နံရံ(building wall)၊ ခေါင်မိုး(roof) စသည်တို့မှတစ်ဆင့် conduction heat transfer ဖြစ်ပေါ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ အရည်များ(liquids)နှင့် အငွေ့များ(gases) များ၌လည်း ဖြစ်ပေါ်သည်။

Convection

Fluid များတွင် အများဆုံးဖြစ်ပေါ်သည့် heat transfer အမျိုးအစားမှာ convection ဖြစ်သည်။

> အရည် သို့မဟုတ် အငွေ့များ ရွှေ့လျားခြင်းမှ ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)သည် convection ဖြစ်သည်။ (Convection is the form of heat transfer that results from gross movement of liquids or gases.)

ဥပမာ- အခန်းအတွင်းရှိ လေ(room air)ကို hot water convector ဖြင့် အပူပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ ပူနေသည့် သတ္တုမျက်နှာပြင်အနီးရှိ လေ(air adjacent to the metal surface) အပူများစီးကူးခြင်းကြောင့် အခန်းအတွင်းရှိ လေအပူချိန်(temperature) တိုးလာသည်။

ပူနွေးသည့်လေများသည် သိပ်သည်းဆနည်း(less dense)သောကြောင့်အနီးရှိလေအေးများ(surrounding cooler air)ထက် ပေါ့ပါး(lighter)ကာ အထက်သို့တက်(moves vertically upward)သည်။ ထိုသို့ပူ၍ ပေါ့ပါးသည့် လေများသည် space အတွင်း ဆက်လက် ရွှေ့လျားနေ(continually moves throughout the space)သည်။ ဤကဲ့သို့ convection ဖြစ်ခြင်းကို "**natural convection**" ဟု ခေါ်သည်။ သဘာဝအတိုင်း ကမ္ဘာမြေ ဆွဲအား(natural gravity forces)ကြောင့် ရွှေ့လျားခြင်း(fluid moves)ဖြစ်သည်။

အပူချိန် ကွာခြားခြင်းကြောင့် သိပ်သည်းဆခြားနားချက်(density differences) ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ သိပ်သည်းမှုနည်းသည့် fluid များသည် အပေါ်သို့ မြင့်တက်(less dense part of the fluid rises)ပြီး သိပ်သည်းမှု များပြီး လေးလံသည့် fluid များသည် အောက်သို့ နိမ့်ဆင်း(heavier fluid drops)သည်။

Natural convection effect ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် ရွှေ့လျားနှုန်း(rate of fluid motion) အလွန်နှေးသည်။ ထို့ကြောင့် အပူ ကူးပြောင်းနှုန်း(rate of heat transfer) အလွန်နည်းသည်။ အပူစီးနှုန်း(rate of heat transfer) ပိုကောင်းစေရန် အတွက် fluid များ ရွှေ့လျားနှုန်း(rate of fluid motion) ပိုမြန်ရမည်။ Fluid များ ရွှေ့လျားနှုန်း(rate of fluid motion) ပိုမြန်စေရန် အငွေ့များအတွက် ပန်ကာ၊ အရည်များအတွက် ပန့်ကို အသုံးပြု(fan for gases or a pump for liquids)ကြသည်။ ထိုကဲ့သို့ စက်တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် အပူစီးကူးမှု ပိုများအောင် ပြုလုပ်ခြင်းကို "**force convection**" ဟု ခေါ်သည်။

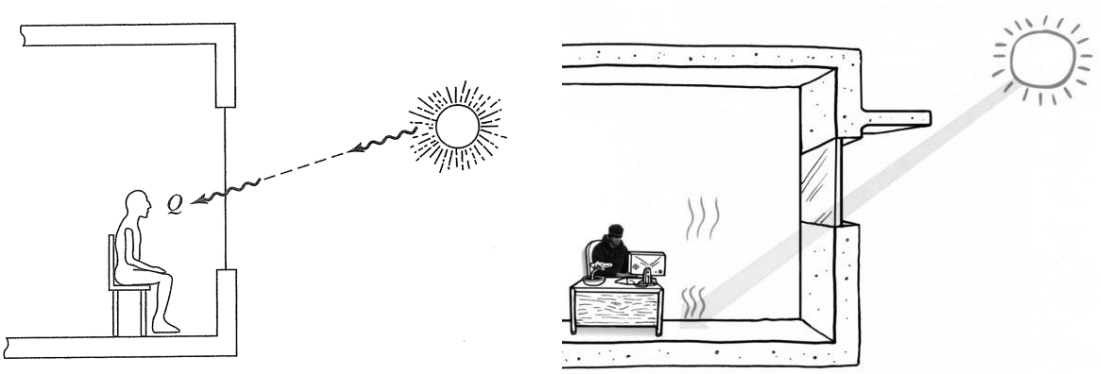
> Thermal radiation သည် သီးခြားလွတ်လပ်စွာ တည်ရှိနေသည့် အရာဝတ္ထုတစ်ခုများ(separated bodies)တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြား electromagnetic radiation(wave motion)ထုတ်လွှတ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ပုံစံ တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။
>
> Thermal radiation is the form of heat transfer that occurs between two separated bodies as a result of a means called electromagnetic radiation, sometimes called wave motion.)

Thermal radiation နည်းဖြင့် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ဖြစ်ပေါ်ရန်အတွက် အရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူချိန်သည် တခြားအရာဝတ္ထုတစ်ခု၏ အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်ရမည်။ အပူချိန်မတူညီသည့် မည်သည့်အရာဝတ္ထုနှစ်ခု (two bodies)အကြားတွင်မဆို Thermal radiation နည်းဖြင့် အပူစီးကူးမှု(heat transfer) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ အရာဝတ္ထုနှစ်ခုအကြားတွင် လေဟာနယ်(vacuum, an absence of all matter) ဖြစ်ပေါ်နေလျှင်တောင် အပူစီးကူးမှု (radiation heat transfer) ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။ အရာဝတ္ထုများအကြားရှိ ဓာတ်ငွေ့(gas between the bodies)တွင် heat transfer ဖြစ်နိုင်သော်လည်း radiation နည်းဖြင့် စီးကူးနှုန်း အလွန်နှေးသည်။ အရာဝတ္ထု နှစ်ခုအကြားတွင် အစိုင်အခဲ(opaque solid object)များ တည်ရှိနေခြင်းကြောင့် ပိတ်ဆို့မှုဖြစ်ပေါ်ကာ radiation မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။

ဥပမာ- မီးပုံနားတွင် ရပ်နေသည့်အခါ ပူသည့်ခံစားမှု ရရှိခြင်းသည် မီးပုံမှ အပူများ ခန္ဓာကိုယ်သို့ radiation နည်းဖြင့် ရောက်ရှိလာသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ နေမှ အပူများ ခန္ဓာကိုယ်သို့ ရောက်ရှိလာခြင်းသည် radiation နည်းကြောင့် ဖြစ်သည်။

သတ္တုကဲ့သို့ မာသည့်မျက်နှာပြင်များပေါ်သို့ radiation နည်းဖြင့် အပူများရောက်ရှိလာသည့်အခါ ထိုအရာ ဝတ္ထုမှ အပူတချို့ကို စုပ်ယူ(absorb)ထားသည်။ ကျန်အပူတချို့သည် ထိုအရာဝတ္ထုများ၏ မျက်နှာပြင်ကို ထိရိုက်၍ reflection ဖြစ်ကာ ပြန်ထွက်သွားသည်။ စုပ်ယူလိုက်သည့် အပူပမာဏသည် အရောင်(color)နှင့် မျက်နှာပြင် ကြမ်းမှု

(roughness of the surface)တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အမည်းရောင်၊ ကြမ်းသည့် မျက်နှာပြင်များ(dark and rough surfaces)သည် အရောင်နုပြီး ချောမွတ်သည့် မျက်နှာပြင်များ(lighter-colored smooth surfaces)ထက် radiant heat ကို ပိုစုပ်ယူနိုင်သည်။



ပုံ ၅-၃ Heat transfer by radiation from the sun to objects in a room.

မှန်(glass)ကဲ့သို့ ကြည်လင်သည့် အရာဝတ္ထုများကို ဖြတ်ကျော်၍ radiation ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။ Color tinted glass များသည် solar radiation မဖြစ်ပေါ်အောင် ကာကွယ်တားဆီး(prevent the transmission) ထားနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် အရောင်သွင်းထားသည့်မှန်(color tinted glass)များကို heat absorbing glass ဟု ခေါ်သည်။

၅.၃ အပူကူးပြောင်းမှုနှုန်း(Rate of Heat Transfer)

မည်သည့် အရာဝတ္ထုများကို မဆိုဖြတ်ကျော်၍ အပူလျှောက်ကူးခြင်း(heat conduction) ဖြစ်နိုင်သည်။ အရာဝတ္ထုများကို ဖြတ်၍ အပူစီးကူးသွားသည့်နှုန်း(rate at which heat is conducted through any material)သည် အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့် အချက်(၃)ချက် အပေါ်တွင်မူတည်(depends on three factors)သည်။

(၁)အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာ၏ အပူချိန် ခြားနားချက်(temperature difference across which the heat flows)

(၂)အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်သည့် မျက်နှာပြင် ဧရိယာ(area of the surface through which heat is flowing) နှင့်

(၃)အရာဝတ္ထုများ၏ အပူစီးကူးမှုကို ဟန့်တား ခုခံနိုင်စွမ်း(thermal resistance (R) of the material to heat transfer) တို့ ဖြစ်ပေါ်လာသည်။

အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$Q = \frac{1}{R} \times A \times \Delta T \qquad (5.3)$$

$$\Delta T = t_H - t_L$$

Q= heat transfer rate (BTU/hr)

R= thermal resistance of material (hr-ft^2-°F/BTU)

A = surface area through which heat flows (ft^2)

ΔT = Temperature difference across which heat flows, from higher temperature t_H to lower temperature t_L(°F)

၅.၄ Thermal Resistance (အပူခုခံနိုင်စွမ်း)

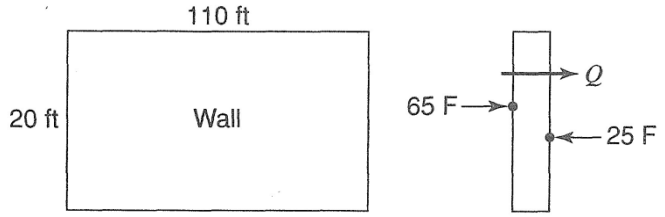
Thermal resistance(R) ဆိုသည်မှာ အရာဝတ္ထု(material)များ၏ အပူစီးကူးခြင်း၊ စီးဆင်းခြင်းကို ဟန့်တား ခုခံနိုင်စွမ်း ဖြစ်သည်။ Equation 5.3 ၌ Q ပမာဏသည် thermal resistance (R) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

> အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် အပူပမာဏ သို့မဟုတ် ထွက်သွားသည့် ပမာဏ(building heat energy losses or gains) နည်းခြင်း၊ များခြင်းသည် R တန်ဖိုး ပေါ်တွင်မူတည်သည်။ R သည် ပိုင်းခြေ (denominator) တွင် ရှိသောကြောင့် R-value များလေ အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer (Q)) နည်းလေ ဖြစ်သည်။ R-value နည်းလေ အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)ပမာဏ ပိုများလေ ဖြစ်သည်။

R-value မြင့်သည့် အရာဝတ္ထု(material)များ၏ အပူကူးပြောင်းမှုနှုန်း(rate of heat transfer) နှေးသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် R တန်ဖိုးများလေ အပူခုခံနိုင်မှု(thermal insulators) ပိုကောင်းလေဖြစ်သည်။ Air con အတွက် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်းစေရန်အတွက် R-value များသည့် ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်းများ(building construction materials)များကို အသုံးပြုသင့်သည်။

R-value နိမ့်သည့် အရာဝတ္ထု(material)များ ဖြစ်သည့်သတ္တုများသည် အပူကူးပြောင်းမှုနှုန်း(rate of heat transfer) ပိုကောင်းစေသောကြောင့် ဘွိုင်လာ(boiler) ၊ chiller များ၊ heat exchanger များတွင် အသုံးပြုသင့်သည်။

ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်း(building materials) အမျိုးမျိုးတို့၏ thermal resistance များကို table A.4 တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Resistance များကို သင်္ကေတ(symbol)များဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ ဥပမာ- "R-6"ဆိုသည်မှာ ခုခံမှုတန်ဖိုးသည် (၆) ဖြစ်သည်(R = 6)ဟု ဆိုလိုသည်။



ပုံ ၅-၄ ဥပမာ(၅-၁) အတွက် ပုံကြမ်း(Sketch for Example 5.1.)

ဥပမာ ၅-၁

ပေ(၂၀)မြင့်ပြီး ပေ(၁၁၀)ရှည်သည့်(20ft x 110 ft) နံရံကို လေးလက်မထူသည့် သာမန်အုတ်(4 in. common brick) ဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ နံရံ၏ အခန်းအတွင်းအပူချိန်(temperature on the inside surface of the wall)သည် 65°F ဖြစ်သည်။ နံရံ၏ ပြင်ပအပူချိန်(outside surface the temperature)သည် 25°F ဖြစ်သည်။ အပူကူးပြောင်းနှုန်း(rate of heat transfer)ကို ရှာပါ။ နံရံကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူစီးကူးနှုန်းကို ရှာပါ။

အဖြေ

ပုံ (၅-၄)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Chapter-14 Appedix ရှိ table A.4 မှ R-value ကို ဖတ်ယူပါ။

R= 0.20 hr-ft^2-°F/BTU per in. x 4 in.

= 0.80 hr- ft^2 -°F/BTU

နံရံဧရိယာကို တွက်ပါ။ Area of wall(A)= 110 ft x 20 ft = 2200 ft^2

$$\Delta \mathbf{T} = \mathbf{t_H} - \mathbf{t_L} = \mathbf{65 - 25 = 40^\circ F}$$

ညီမျှခြင်း 5-3 ကို အသုံးပြု၍ တွက်သော် (Using equation 5.3)

$$\mathbf{Q} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R}} \times \mathbf{A} \times \Delta \mathbf{T} \qquad (Equation\ 5.3)$$

= 1/0.80 hr-ft^2-°F/BTU x 2200 ft^2 x 40°F

= 110,000 BTU/hr

အခန်းအတွင်းမှ အပူများသည် နံရံကို ဖြတ်၍ တစ်နာရီလျှင် 110,000 BTU နှုန်းဖြင့် ပြင်ပသို့ အပူဆုံးရှုံး နေသည်ဟု ဆိုလိုသည်။

၅.၄.၁ Thermal Resistance of Surface Air Films

တွက်ချက်မှုများ တိကျစေရန်အတွက် နံရံများ၊ ခေါင်မိုးများ၏ မျက်နှာပြင်ဘေးတွင် ရှိနေသည့် လေအလွှာ တစ်ခုကို ထည့်သွင်းတွက်ချက်ရန် လိုအပ်သည်။ ထူထဲသည့် နံရံ(wall) သို့မဟုတ် ခေါင်မိုး(roof) စသည့် ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်း(solid building element)များ၏ မျက်နှာပြင်ဘေးတွင် လေအလွှာတစ်ခု(thin film of still air) ရှိသည်။ မာသည့်အရာများ(solid materials)ကဲ့သို့ပင် လေအလွှာ(film)၌ အပူခုခံမှု(thermal resistance)

ရှိသည်။ လေအလွှာ၏ အပူခုခံမှု(resistance of an air film)သည် ဒေါင်လိုက်(vertical)၊ အလျားလိုက်(horizontal) စသည့် မျက်နှာပြင်အနေအထား(spatial orientation of the surface)နှင့် မျက်နှာပြင်နားရှိ လေအလျင်(air velocity near the surface) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Table A.5 တွင် heating load အတွက် လေအလွှာ(air film)၏ အပူခုခံမှု တန်ဖိုး(thermal resistance) များကို ဖော်ပြထားသည်။ ဆောင်းရာသီ(winter conditions)တွင် လေတိုက်နှုန်း(air velocity at outdoors)သည် 15 MPH ဖြစ်သည်။ နံရံ၊ ပြတင်းပေါက်(building element)များ၏ အတွင်းမျက်နှာပြင်(indoor surface)နှင့် ထိနေသည့် နေရာ၌ရှိသည့် လေသည် လှုပ်ရှားမှုမရှိ(still air)ဟု ယူဆထား(assumed)သည်။ ဥပမာ(၅-၂)တွင် table A.5 ကို အသုံးပြုပုံကို ရှင်းပြ(illustrate)ထားသည်။

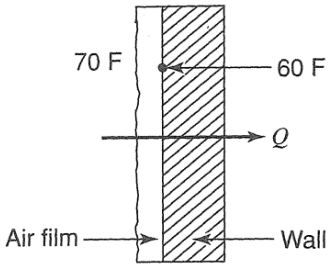
ဥပမာ(၅-၂)

Supermarket တစ်ခု၏ နံရံသည် 80 ft ကျယ်၍ 18 ft မြင့်သည်။ စတိုးဆိုင် အတွင်းရှိ လေအပူချိန် (temperature of the air in the store)သည် 70°F ဖြစ်သည်။ ဆိုင်အတွင်း နံရံအပူချိန်(inside surface of the wall)သည် 60°F ဖြစ်သည်။ နံရံကို ဖြတ်၍ ဆုံးရှုံးသည့် အပူပမာဏ(heat loss through the wall)ကို ရှာပါ။

အဖြေ

ပုံ(၅-၅)တွင် ဒေါင်လိုက်မျက်နှာပြင်(vertical surface)ဘေးတွင် တည်ရှိသည့် လေအလွှာ(air film)၏ အပူခုခံမှု တန်ဖိုး(thermal resistance) ဖော်ပြထားသည်။ Table A.5 မှ ဖတ်ယူ၍ ရသည့် R တန်ဖိုးသည် R = 0.68 ဖြစ်သည်။

A = 80 x 18= 1440 ft^2 ΔT = 70 — 60 = 10°F



$$Q = \frac{1}{R} \times A \times \Delta T \qquad (Equation\ 5.3)$$

= 1/0.68 x 1440 x 10

= 21,200 BTU/hr

ပုံ ၅-၅ ဥပမာ(၅-၂) အတွက် ပုံကြမ်း (Sketch for Example 5.2)

၅.၄.၂ Conductance and Conductivity

Thermal resistance အပြင် conductance နှင့် conductivity တို့သည် သတ္တုများမှ အပူကူးပြောင်းသွားနိုင်စွမ်း(material's ability to transfer heat)ကို ဖော်ပြသည့် နည်းပညာဝေါဟာရ ဖြစ်သည်။ Thermal conductance(C)သည် အရာဝတ္ထု အပူခုခံမှု(material resistance)၏ ပြောင်းပြန်(reciprocal) ဖြစ်သည်။

$$C = \frac{1}{R} \qquad (Equation\ 5.4)$$

Thermal conductance(C)တန်ဖိုးကို BTU/hr-ft^2-°F ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ Thermal conductance သည် အရာဝတ္ထုများ၏ အပူလျောက်ကူးနိုင်စွမ်း(ability of a material to transfer heat) ဖြစ်သည်။ အပူခုခံနိုင်စွမ်း၏ ဆန့်ကျင်ဘက် အဓိပ္ပာယ်(opposite meaning of resistance) ဖြစ်သည်။

မျက်နှာပြင်အနီးရှိ လေလွှာ(air film adjacent to a surface)၏ thermal conductance ကို "film coefficient" ဟု ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။ Thermal conductivity (k)သည် အရာဝတ္ထု(material) တစ်မျိုး၏ တစ်ယူနစ် အထူတွင်ရှိသည့် အပူလျောက်ကူးမှု(conductance per unit of thickness)ဖြစ်သည်။ Conductivity ကို ဖော်ပြသည့် ယူနစ်(unit)မှာ BTU/hr - ft^2 - °F per inch of thickness ဖြစ်သည်။ တစ်နာရီအတွင်း မျက်နှာပြင်ဧရိယာ တစ်စတုရန်းပေတွင် အပူချိန် 1°F ကွာခြားချက်အတွက် ကူးပြောင်းသွားသည့် အပူပမာဏ ဖြစ်သည်။

$$C = \frac{k}{L} \quad (Equation\ 5.5)$$

C = conductance (BTU/hr-ft^2-°F)
k = conductivity (BTU/hr-ft^2-°F per in. of thickness
L = thickness of material, inch)

ဥပမာ (၅-၃)

Glass fiber insulation ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် (၄)လက်မအထူရှိ ခေါင်မိုး(roof)၏ thermal conductivity တန်ဖိုးသည် k = 0.24 BTU/hr- ft^2-°F per in. thickness ဖြစ်သည်။ Insulation ၏ thermal resistance ကို ရှာပါ။

အဖြေ

Equation 5.5 မှ conductance သည်

$$C = \frac{k}{L} = \frac{0.24}{4} = 0.06\ \frac{BTU}{hr - ft^2 - °F}$$

Equation 5.4 မှ R တန်ဖိုးကို တွက်ယူလျှင်

$$C = \frac{1}{R} = \frac{1}{0.06} = \quad 16.7\frac{BTU}{hr - ft^2 - °F}$$

Thermal resistance ၏ သဘောတရား(concept)ကို ရှင်းလင်းစွာ နားလည်သဘောပေါက်ရန် လိုသည်။ နိုင်ငံတိုင်းတွင် အဆောက်အဦ အသစ်ဆောက်သည့်အခါ လိုက်နာရမည့် စံချိန်၊ စံညွှန်း(new building standards and codes)များ ရှိသည်။ အသုံးပြုမည့် အရာဝတ္ထု(material)များ အားလုံးသည် standard များနှင့် code များကို လိုက်နာရန် လိုအပ်သည်။ အပူခုခံမှု(thermal resistance)များသည့် အရာဝတ္ထု(material)များ၏ အပူစီးကူးမှု(heat transfer) နှေးသည်။ အပူခုခံမှု(thermal resistance)နည်းသည့် အရာဝတ္ထု(material)များ၏ အပူစီးကူးမှု(heat transfer)မြန်သည်။

ဥပမာ (၅-၄)

(၈)လက်မ ကွန်ကရစ်ဘလောက်(8 in. thick, three oval core concrete block (with sand and gravel aggregate))အတွက် thermal resistance (R) နှင့် (၁)လက်မထူသည့် glass fiber (1 inch thick insulating board made of glass fiber) တို့၏ thermal resistance (R)ကို နှိုင်းယှဉ်ပါ။

အဖြေ

Table A.4 မှ R-value နှစ်မျိုးစလုံးကို ဖတ်ယူပါ။
(၈)လက်မ ကွန်ကရစ်ဘလောက်(concrete block)အတွက် R-value သည် 1.11 ဖြစ်သည်။ (R = 1.11)
Insulating board အတွက် R-value သည် 4.0 ဖြစ်သည်။ (R = 4.0)

(၈)လက်မ ကွန်ကရစ်ဘလောက်နှင့် (၁)လက်မထူသည့် glass fiber တို့၏ thermal resistance သည် လေးဆ ကွာခြားသည်။ တစ်လက်မချင်းနှိုင်းယှဉ်လျှင် glass fiber ၏ thermal resistance သည် ကွန်ကရစ်ဘလောက်ထက် (၃၂)ဆ(32 times) ပိုကောင်းသည်။

၅.၅ Overall Thermal Resistance

အဆောက်အဦး၏ နံရံများ(walls) ၊ ခေါင်မိုး(roof)၊ ကြမ်းခင်း(floor)နှင့် တခြားသော element များ၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer)သာမက ဘေးတစ်ဘက်စီတွင်ရှိနေသည့် လေလွှာ(air film)ကို ထည့်တွက်သည်။ အပူသည် လေလွှာမှတစ်ဆင့် အစိုင်အခဲ(solid material)များကို ဖြတ်သန်းပြီးနောက် အခြားမျက်နှာပြင်တစ်ဘက်ရှိ လေလွှာ(air film)ကို ဖြတ်သန်းရသည်။

ဥပမာ- နံရံတစ်ခု၏ thermal resistance ကို တွက်ရန်အတွက် ဘေးတစ်ဖက်တစ်ချက်စီတွင် ရှိနေသည့် လေအလွှာ၏ အပူခုခံမှု(air film thermal resistance)ကိုပါ ထည့်တွက်ရန် လိုအပ်သည်။

အဆောက်အအုံတွင် အသုံးပြုထားသည့် အရာများ(elements)ကို အမျိုးအစား မတူညီသည့် အရာဝတ္ထုများဖြင့် အလွှာလိုက် ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။ Overall (total) thermal resistance ကို တစ်ခုချင်းစီ၏ thermal

resistances ကို ပေါင်း၍ အောက်တွင် ပြထားသည့် ပုံသေနည်းအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။ (The overall (total) thermal resistance of the combination can be found very simply by adding the individual thermal resistances as follows;)

$$\boldsymbol{R_0 = R_1 + R_2 + R_3 + etc...} \qquad (Equation\ 5.6)$$

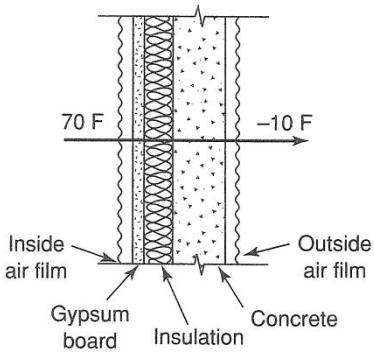
Ro = overall (total) thermal resistance

R 1, R2, R3 etc. = individual thermal resistance of each component, including air films

Overall resistance(Ro) တန်ဖိုးကို သိရှိပြီးနောက် အောက်တွင် ပြထားသည့် equation 3 ကို အသုံးပြု၍ heat transfer ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏကို တွက်ယူနိုင်သည်။ ဥပမာ(၅-၅)တွင် လေ့လာနိုင်သည်။

$$\boldsymbol{Q = \frac{1}{R_0} \times A \times \Delta T} \qquad (Equation\ 5.3)$$

ဥပမာ (၅-၅)



ပုံ ၅-၆ ဥပမာ(၅-၅)အတွက် ပုံကြမ်း

အဆောက်အဦ(building)တစ်ခု၏ ပြင်ပနံရံ(exterior wall)ကို (၈)လက်မ ထူသည့် ကွန်ကရစ်(8 in. sand and gravel aggregate concrete)ဖြင့် ဆောက်လုပ်ထားသည်။ မီးမဖုတ်ထားသည့် ဘလောက်တုံး(not oven dried)ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ R-5 insulation နှင့် 1/2 in. gypsum board တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ နံရံ(wall)သည် 72 ft ရှည်လျားပြီး 16 ft မြင့်သည်။ အခန်းအတွင်း(indoor)နှင့် အခန်းပြင်ပအပူချိန်သည်(outdoor temperatures)သည် 70°F နှင့် –10°F တို့ ဖြစ်သည်။ နံရံကို ဖြတ်၍ ကူးပြောင်းသွားသည့် အပူပမာဏ(heat transfer through the wall) ကို ရှာပါ။

ပုံ(၅-၆)တွင် နံရံကို section ဖြတ်ထားသည့်ပုံ(section through the wall)ကို ဖော်ပြထားသည်။ အပူခုခံမှု (resistances)တန်ဖိုးများကို table A.4 နှင့် A.5 တို့တွင် ရနိုင်သည်။ အတွင်းဘက်(inside)နှင့် အပြင်ဘက် မျက်နှာပြင် (outside surfaces)တို့၌ ရှိနေသည့် air film ၏ thermal resistances ကို ထည့်တွက်ရမည်။

Overall thermal resistance(Ro) တန်ဖိုးရရန်အတွက် တစ်ခုချင်းစီ၏ အပူခုခံမှု တန်ဖိုးအားလုံးကို ပေါင်း (adding the individual resistances)ရမည်။ (see equation 5.6)။

Wall Item (နံရံကို တည်ဆောက်ထားသည့်ပစ္စည်းများ)	R-Value (R တန်ဖိုး)
Inside air film	0.68
Gypsum board	0.45
Insulation	5.0
Concrete (R = 0.08/in. x 8 in.)	0.64
Outside air film	0.17
Overall thermal resistance (Ro) =	**6.94**

နံရံဧရိယာအကျယ်(wall area)သည် (၁၁၅၂) စတုရန်းမီတာ ဖြစ်သည်။

$$A = 72\ ft \times 16\ ft = 1{,}152\ ft^2$$

အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperature difference)သည် $\Delta T = 70 - (-10) = 80°F$

Equation 5.3 ကို အသုံးပြု၍ overall resistance Ro ကို တွက်ယူနိုင်သည်။ Heat transfer loss သည်

$$\boldsymbol{Q = \frac{1}{R_0} \times A \times \Delta T} \qquad (Equation\ 5.3)$$

$$Q = \frac{1}{6.94} \times 1152 \times 80 = 13,280\ BTU/hr$$

၅.၆ Overall Heat Transfer Coefficient (U)

ဒီဇိုင်နာများသည် အဆောက်အဦတွင် ရှိနေသည့် နံရံ၊ ခေါင်မိုး၊ စသည့် building structure များကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်မည့် အပူစီးကူးမှုများ(heat flows)ကို တွက်ချက် ဖော်ပြရမည်။ ပစ္စည်းအမျိုးမျိုးကို အသုံးပြု၍ တည်ဆောက်ထားသောကြောင့် နည်းအမျိုးမျိုး တွက်ချက်နိုင်သော်လည်း နည်းတစ်မျိုးတည်းကိုသာ စံအဖြစ်ပြဋ္ဌာန်းပြီး တွက်ချက်ကြရန် နိုင်ငံများ၊ အဖွဲ့အစည်းများက စည်းမျဉ်းစည်းကမ်းများ ရေးဆွဲထားသည်။ ပစ္စည်းထုတ်လုပ်သူများက thermal resistance တန်ဖိုးများကို ကက်တလောက်(catalogue)တွင် ဖော်ပြပေးသည်။ Overall resistance တန်ဖိုးများ၊ overall conductance တန်ဖိုးများ သို့မဟုတ် overall heat transfer coefficient(U) BTU/hr-ft^2-°F များကို ဖော်ပြထားသည်။ Ro နှင့် U တို့၏ ဆက်သွယ်ချက်(relationship)မှာ -

$$U = \frac{1}{R_0} \qquad \text{(Equation 5.7)}$$

Heat transfer equation ကို U တန်ဖိုးဖြင့် ဖော်ပြရလျှင် -

$$Q = U \times A \times \Delta T \qquad \text{(Equation 5.8)}$$

Where
Q = heat transfer rate (BTU/hr)
U = overall heat transfer coefficient (BTU/hr-ft^2-°F)
A = surface area through which heat flows (ft^2)
ΔT = temperature difference (°F)

ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်းများ(combinations of building components)၏ Overall U-value များကို Table A.6 ၊ A.7 နှင့် A.8 တို့တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ဇယားကို မှန်ကန်စွာ ဖတ်ရှုတတ်ရန်အတွက် အချက်တချို့ကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Table A.6 နှင့် A.7 တို့တွင် နံရံများ(walls)၊ ခေါင်မိုး(roof)၊ ကြမ်းခင်းများ(floors)၊ အတွင်းနံရံများ(partitions) နှင့် တံခါးများ(doors)အတွက် U တန်ဖိုးများ(U-values)ကို ဖော်ပြထားသည်။ ဇယားနှစ်ခုအနက် ကြိုက်နှစ်သက်သည့် ဇယားကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ အဆောက်အဦတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် ပစ္စည်းများနှင့် ပို၍ကိုက်ညီသည့် ဇယားကို အသုံးပြုရမည်။

(၂) Table A.6 တွင် section ဖြတ်ထားသည့်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ အဆောက်အဦတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် ဆောက်လုပ်ရေးပစ္စည်း(building component)များ၏ တည်ဆောက်ထားပုံ(construction assembly)များ အကြောင်းကို လေ့လာသင့်သည်။ Table A.6 တွင် ဖော်ပြထားသည့် assembly များသည် energy codes အရ အသုံးပြုသင့်ရန် သင့်လျော်သည့် assembly များဖြစ်ကြသည်။ Table A.6 မှ energy codes နှင့် ကိုက်ညီသည့် assembly များကို ရွေးချယ်၍ U တန်ဖိုးနှင့် Ro တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူနိုင်သည်။

(၃) Table A.8 တွင် ဖော်ပြထားသည့် U-value များသည် မှန်ပြတင်းပေါက်(glass windows) နှင့် မှန်တံခါး(glass doors)များအတွက် ဖြစ်သည်။ U-value အနည်းငယ် ကွာခြားသည်ကို သတိပြုပါ။ Air film coefficient သည် ဆောင်းရာသီ(winter)တွင် လေတိုက်နှုန်း တစ်နာရီလျှင်(၁၅)မိုင်နှုန်း(15 MPH wind in winter)နှင့် နွေရာသီ(summer)တွင် တစ်နာရီလျှင် (၇.၅)မိုင်နှုန်း(7.5 MPH wind in summer)အပေါ်တွင် အခြေခံထားသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် R-value များသည် အသုံးပြုထားသည့် outside air film coefficient အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ U-value တွက်ရာတွင် window effect သို့မဟုတ် door frame တို့၏ ပါဝင်သည်။

U-value table တွင် မိမိတွက်လိုသည့် အဆောက်အဦ၏ ပစ္စည်းများ မပါရှိပါက အထက်တွင် တွက်ပြခဲ့သည့် နည်းအတိုင်း ပစ္စည်းတစ်ခုချင်းစီ၏ အပူခုခံမှုတန်ဖိုး(individual resistances)ကို ပေါင်း၍ တွက်ယူနိုင်သည်။

၅.၆.၁ U-values and Energy Standards

အမေရိကန်နိုင်ငံ၌ ပြဌာန်းထားသည့် စွမ်းအင်နှင့်သက်ဆိုင်သည့် စည်းမျဉ်းစည်းကမ်းနှင့် စံချိန်စံညွှန်းများ (State energy codes and standards)အရ အသုံးပြုမည့် စွမ်းအင်ပမာဏ(amount of energy)ကို ကန့်သတ်ထားသည်။ HVAC system များအတွက် ကန့်သတ်ထားသည့် နည်းတစ်မျိုးမှာ အများဆုံးခွင့်ပြုသည့် U တန်ဖိုး (maximum allowable U-values)နှင့် အနိမ့်ဆုံး Ro တန်ဖိုး(minimum Ro value)ကို သတ်မှတ်ပေးထားခြင်းဖြစ်သည်။ Table 5-1 တွင် ရိုးရှင်းသည့် ဥပမာတစ်ခုဖြင့် energy code ၌ ပါရှိသည့် regulation တစ်ခုကို သရုပ်ပြထားသည်။

Table 5-1 Energy conserving Ro and U-value

Component	Min.Ro (ft^2-hr-°F/BTU)	Max U (BTU/hr-ft^2-°F)
Wall	18	0.06
Roof	20	0.05
Glass	1.7	0.60

Table 5-1 တွင် ပါရှိသည့် တန်ဖိုးများသည် ဆောင်းရာသီ(cold winter climate) Degree Day (DD) တန်ဖိုး 4000-6000 ထက် ပိုများသည့် ပြည်နယ်အချို့(some states)အတွက် ဖြစ်သည်။

"Degree day" ဆိုသည်မှာ heating season ဖြစ်ပေါ်နေသည့် အချိန်ကာလကို ဖော်ပြသည့်တန်ဖိုး (a number that reflects the length and severity of a heating season) တစ်ခုဖြစ်သည်။ Degree day တန်ဖိုး table A.9 တွင် ဖော်ပြထားသည်။ လက်တွေ့တွက်ချက်မှုများ ပြုလုပ်သည့်အခါ ဒီဖိုင်နာများသည် သက်ဆိုင်ရာ code များ standard များကို လိုက်နာ တွက်ချက်ကြသည်။

ဥပမာ(၅-၆)၊ ဥပမာ(၅-၇)နှင့် ဥပမာ(၅-၈) တို့တွင် equation 5.8 ကို မည်ကဲ့သို့ အသုံးပြုရမည်ကို ဖော်ပြထားသည်။ Building component များကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်မည့် heat transfer ကို တွက်ရန်လိုအပ်သည့် U-value table များ ဖြစ်သည်။

ဥပမာ (၅-၆)

ဥပမာ (၅-၈)တွင် ဖော်ပြခဲ့ပြီးသည့် နံရံ(wall) အတွက် table A.7 ကို အသုံးပြု၍ U-value ရှာပါ။ ဥပမာ (၅-၅)တွင် တွက်၍ရသည့် တန်ဖိုးများနှင့် နှိုင်းယှဉ်ပါ။ Equations 5.6 နှင့် 5.7 ကို သုံး၍ တွက်ပါ။

အဖြေ

Table A.7 မှ U တန်ဖိုး ဖတ်ပါ။ (U = 0.14)။ ဥပမာ (၅-၅)မှ Ro တန်ဖိုးသည် 6.94 ဖြစ်သည်။ (Ro = 6.94)
Equation 5.7 ကို သုံး၍ တွက်လျှင်

$$U = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{6.94} = 0.14$$

အဖြေနှစ်ခု တူညီကြသည်။(results agree)

ဥပမာ (၅-၇)

အဆောက်အဦ(building) တစ်ခု၌ 120 ft ရှည်ပြီး 40 ft ကျယ်သည့် ခေါင်မိုးပြား(flat roof)ကို (၈)လက်မထူသည့် ကွန်ကရစ်အပေါ့စား(8 in. lightweight aggregate concrete) ဖြင့် တည်ဆောက်ပြီး မျက်နှာကြက် တပ်ဆင်ထားသည်။ အတွင်းအပူချိန်(inside temperature)သည် 65°F ဖြစ်ပြီး ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)သည် 5°F ဖြစ်သည်။ ခေါင်မိုးကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်လာမည့် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat transfer loss)ကို ရှာပါ။ အဖြေ - table A.7 မှ U = 0.09 BTU/hr-ft^2-°F. Equation 5.8 ကို အသုံးပြု၍ -

$$Q = U \times A \times \Delta T \qquad (Equation\ 5.8)$$

$$Q = 0.09\ \frac{BTU}{hr - ft^2 - °F} \times 4800\ ft^2 \times 60°F$$

= 25,900 BTU/hr

ဥပမာ (၅-၈)

အိမ်တစ်အိမ်ရှိ အိပ်ခန်းနံရံ၏(wall of the bedroom of a house) အချက်အလက်များမှာ အောက်ပါ အတိုင်း ဖြစ်သည်။

နံရံ(wall) : နံရံကိုသစ်သားဖြင့် ပြုလုပ်ထား(wood siding)သည်။ 12 ft x 8 ft ကျယ်သည်။ R-7 value ရှိသည့် (၂)လက်မအင်ဆူလေးရှင်း(wood sheathing (2 in. of insulation))ကို အတွင်းဘက်၌(inside finish) ထည့်ထားသည်။

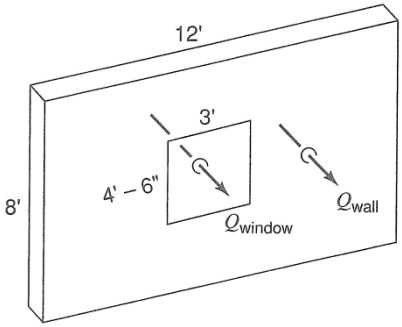
ပြတင်းပေါက်(Window) : 3 ft x 4 ft 6 in. ကျယ်သည်။ မှန်(၁)လွှာ(single glass) အလျူမီနီယံဘောင်(aluminum frame)ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။

အခန်းအပူချိန်(room temperature)သည် 68°F ဖြစ်ပြီး ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)သည် 2°F ဖြစ်သည်။ နံရံ(wall)နှင့် ပြတင်းပေါက်(window)တို့ကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်မည့် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat transfer loss)ကို ရှာပါ။

အဖြေ

ပုံ(၅-၇)တွင် နံရံ(wall)ကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်မည့် heat transfer loss ကို တွက်ပြီး ဖြစ်သည်။ နံရံပေါ်ရှိ အလင်းဝင်ရောက်နိုင်သည့်နေရာများ(opaque part of the wall)နှင့် ပြတင်းပေါက်(window)ကို ဖြတ်၍ heat transfer ဖြစ်ပေါ်သည်။

U-value များနှင့် ဇရိယာတို့မှာ table A.7 နှင့် A.8 တို့မှ



Window U = 1.10 BTU/hr-ft^2-°F

A = 3 x 4.5 = 13.5 ft^2

Wall U = 0.09 BTU/hr-ft^2-°F

Wall Gross A = 12 x 8 = 96 ft^2

Wall Net A = 96 — 13.5 = 82.5 ft^2

ပုံ ၅-၇ ဥပမာ(၅-၈) အတွက် ပုံကြမ်း(sketch)

နံရံ(wall) ၏ heat transfer နှင့် ပြတင်းပေါက်(window)၏ heat transfer ကို တွက်ယူ၍ ပေါင်းလျှင် နံရံ (wall) ကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် heat transfer ပမာဏ ရသည်။

$$Q_{Wall} = 0.09 \times 82.5 \times 66 = 490 \text{ BTU/hr}$$

ပြတင်းပေါက်(window)ကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် heat transfer ပမာဏ

$$\boldsymbol{Q_{Window}} = 11.0 \times 13.5 \times 66 = 980 \text{ BTU/hr}$$

$$\boldsymbol{Q_{Total}} = \boldsymbol{Q_{Wall}} + \boldsymbol{Q_{Window}} = 1470 \text{ BTU/hr}$$

နံရံနှင့် ပြတင်းပေါက်တို့ကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် heat transfer ပမာဏသည် 1470 BTU/hr ဖြစ်သည်။

၅.၆.၂ Heat Transfer Losses: Basement Walls and Floors

နံရံ(basement walls) နှင့် ကြမ်းခင်းများ(floors)မှ ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူဆုံးရှုံးမှုများ(heat losses)ကို တွက်ရန် Equation 5.8 ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ မြေအောက်ထပ်ကြမ်းခင်း(basement floor below grade)နှင့် နံရံ၏ တချို့နေရာ သို့မဟုတ် နံရံတစ်ခုလုံး(part or all of the wall is underground)သည် မြေအောက်ထဲတွင် ရှိနေသောကြောင့် ညီမျှခြင်းကို သုံး၍ တွက်ချက်ရန် ခက်ခဲရှုပ်ထွေး(complicates the use of the equation) လိမ့်မည်။

Basement ၏ အချို့သော နေရာများသည် မြေပြင်၏အထက်တွင်(above ground)ဖြစ်လျှင် table A.6 သို့မဟုတ် table A.7 တို့မှ U-value များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

အခန်းတွင်း(inside) နှင့်ပြင်ပဒီဇိုင်းအပူချိန်(outside design air temperatures)တို့၏ အပူချိန်ခြားနားချက်(temperatures difference)ကို တွက်ယူနိုင်သည်။ ကြမ်းခင်း၊ နံရံ၏တချို့နေရာ(part of the structure) မြေထဲတွင် တည်ရှိ(below grade)နေလျှင် equation 5.8 တွင် အသုံးပြုသည့်အခါ U-value နှင့် အပူချိန်ခြားနားချက်(temperatures difference) ကွဲပြားလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အနီးရှိမြေ၏ အပူခုခံမှု(effect of the surrounding ground on the thermal resistance)နှင့် အပူစီးဆင်းမှုလမ်းကြောင်း(heat flow path) တို့ကြောင့် ဖြစ်သည်။

Table 5.2 တွင် မြေအောက်ရှိနံရံများ(basement walls)နှင့် မြေအောက်ရှိ ကြမ်းခင်းများ(floors)အတွက် recommended U-value များကို ဖော်ပြထားသည်။ အပူချိန်ခြားနားချက်(temperatures difference)ကို ရှာရန်အတွက် မြေအောက်ရှိနံရံ(below grade wall) သို့မဟုတ် မြေအောက်ရှိကြမ်းခင်း(below grade floor)အတွက် ဆောင်းရာသီ ပြင်ပဒီဇိုင်းအပူချိန်(outside winter design temperature)ကို မြေအောက် အပူချိန်(deep ground temperature value)အဖြစ် ယူဆသည်။

Table 5-2 overall heat transfer coefficient u for basement walls and floors, below grade BTU/hr-ft^2-°F

Component	Overall heat transfer coefficient (U)
Wall, uninsulated	0.16
Wall, R-4 insulation	0.08
Floor	0.04

မှတ်ရန်(note) - တန်ဖိုးများ(values)သည် (၇)ပေအနက်သည့် မြေအောက်ထပ်(7 ft high below grade basement)အတွက် ဖြစ်သည်။ အေးသည့်ဒေသ(cold climate)များအတွက် uninsulated wall ကို အသုံးပြုရန်မသင့်လျော်ပါ။ နံရံတစ်ခုလုံးကို insulation လုပ်ထား(insulation is full depth of wall)ကြသည်။

ဥပမာ(၅-၉)တွင် မြေအောက်ထပ်(below grade basement)မှ ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat losses) ပမာဏ တွက်ယူပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

ဥပမာ (၅-၉)

မြေအောက်ထဲရှိ နားနေခန်း(recreation room of a basement)၏ ကြမ်းခင်း ဧရိယာ(floor area)သည် 220 ft^2 ဖြစ်သည်။ မြေအောက်ရှိ insulate လုပ်ထားသည့် နံရံ(insulated wall below ground) ဧရိယာသည် 400 ft^2 ဖြစ်သည်။ အခန်းအပူချိန်(room temperature)သည် 70°F ဖြစ်ပြီး မြေအပူချိန်(ground temperature)သည် 50°F ဖြစ်သည်။ အခန်းမှ ဆုံးရှုံး သွားမည့် အပူပမာဏ(heat loss)ကို ရှာပါ။

အဖြေ

Table 5.2 မှ recommended U-value များကို အသုံးပြု၍ တွက်ယူသည်။

$$Q_{Floor} = 0.04 \times 220 \times 20 = 180 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_{Wall} = 0.08 \times 400 \times 20 = 640 \text{ BTU/hr}$$

$$\boldsymbol{Q_{Total}} = \boldsymbol{Q}_{Floor} + \boldsymbol{Q_{Wall}} = 820 \text{ BTU/hr}$$

Basement wall ၏ အချို့နေရာများသည် မြေပေါ်တွင်ရှိနေမည်(above ground) ဖြစ်ပြီး၊ ကျန်သည့် နံရံ(basement wall)သည် မြေကြီးထဲတွင် ရှိနေသည်။ သင့်လျော်သည့် U တန်ဖိုး၊ ဧရိယာ(A) နှင့် TD value ကို အသုံးပြု၍ မြေပေါ်တွင်ရှိနေသည့်အပိုင်း(above ground)နှင့် မြေအောက်တွင်ရှိနေသည့်အပိုင်း(below ground) နှစ်မျိုး၏ heat transfer loss များကို သီးခြား(separate)ခွဲ၍ တွက်ယူရသည်။ Heat loss နှစ်မျိုးကို တွက်၍ ပေါင်းခြင်းဖြင့် နံရံအတွက် အပူဆုံးရှုံးမှု စုစုပေါင်း(wall total heat loss)ကို ရနိုင်သည်။

၅.၆.၃ Basement Inside Temperature

မြေအောက်(basement) ရှိအခန်းများတွက် ဖြစ်နိုင်သည့် အခြေအနေများ(possible conditions)

(၁) အကယ်၍ terminal unit များကို အသုံးပြု၍ အပူပေးထားသည့် basement ဖြစ်လျှင်

မြေအောက်အခန်း၏ ဒီဇိုင်းအပူချိန်(basement inside design temperature)ကို အသုံးပြု၍ basement heat loss များကို တွက်ယူရမည်။ Basement ကို အကန့်များ ကန့်၍ အခန်းဖွဲ့ထားလျှင်(separate calculation) နေရာ(အခန်း) တစ်ခုချင်းစီကို သီးသန့် တွက်ယူရမည်။

(၂) အပူဓာတ်မပေးထားသည့် မြေအောက်ခန်း(unheated basement)ဖြစ်လျှင်

Unheated basement (with no heat sources)၏ အပူချိန်သည် design inside temperature နှင့် design outside temperature တို့ နှစ်ခုအကြားတွင် ဖြစ်သည်။ ထို basement မျိုး အတွက် heat loss calculation လုပ်ရန် မလိုအပ်ပါ။

(၃) Heat source equipment များဖြင့် အပူပေးထားသည့် basement ဖြစ်လျှင်

Furnace and ducts သို့မဟုတ် boiler and piping စသည်တို့သည် basement အတွင်း၌ တည်ရှိလျှင် အောက်ပါ guideline များကို လိုက်နာသင့်သည်။

(က) Heat source ရှိသည့်နေရာ(area)များ သို့မဟုတ် hot duct များ သို့မဟုတ် ရေပူပိုက်များ ဖြတ်သွားသည့် နေရာများ၏ အခန်းအတွင်း အပူချိန်သည်(inside temperature) အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ ကျန်နေရာများ(rest of the building)၏ အပူချိန်နှင့် တူညီသည်ဟု ယူဆ၍ အပူဆုံးရှုံးမှု(heat transfer loss)ကို တွက်ပါ။

(ခ) တခြားသော အတွင်းနံရံ(partition)ဖြင့် ကာရံထားသော ဧရိယာများ(areas)ကို unheated basement အဖြစ် သတ်မှတ်ရမည်။ အထက်တွင်ဖော်ပြထားသည့် အမှတ်(၂)(as in item 2) အတိုင်း သတ်မှတ်ရန်။

အမှတ်စဉ်(၂)နှင့် (၃က)တို့တွင် ကြမ်းပြင်မှ အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss from the floor) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထိုပမာဏကို အခန်း(room)၏ heat loss တွင် ထည့်ပေါင်းရသည်။ အကယ်၍ basement အတွက် တိကျသည့် အခြေအနေများကို မသိနိုင်လျှင်(if the specific basement conditions are not known) unheated basement အဖြစ်သတ်မှတ်၍ အပူချိန်(temperature) 50°F ဟုယူဆ၍ တွက်ပါ။ 50°F ထက် ပိုနိမ့်သည့် အပူချိန်ကို လက်ခံရန် မဖြစ်နိုင်ပါ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် ပိုက်အတွင်းမှ ရေများခဲသွားနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ (A temperature below this should not be permitted anyway, because of the possibility of freezing water in piping.)

၅.၇ Heat Transfer Losses: Floor on Ground and Floor Over Crawl Space

မြေပေါ်ကွန်ကရစ်ကြမ်းခင်း(concrete floor slab ongrade)ကို ဖြတ်၍ crawl space အောက်အကြား တို့၌ ဖြစ်ပေါ်မည့် heat transfer ကို တွက်ရသည်။

၅.၇.၁ Floor Over Crawl Space

ကြမ်းပြင်၏ အထက်တွင် တွားသွားနိုင်သည့် နေရာ(crawl space) ချန်ထားလေ့ရှိသည်။ ထိုနေရာ(crawl space)သည် အပူဓာတ်ပေးရမည့် ရာသီများ(heating season)တွင် ရေခိုးရေငွေ့များကြောင့် ရေသီးခြင်းမှ ကာကွယ်ရန်အတွက် vent လုပ်ထားသည်။ Crawl space အတွင်းရှိ လေအပူချိန်(air temperature)သည် ပြင်ပအပူချိန်(outside air design temperature)နှင့် တူညီသည်။ ကြမ်းခင်းကို ဖြတ်၍ စီးဝင်လာမည့် အပူပမာဏ(heat loss)ကို Equation 5.8 ကို အသုံးပြု၍ တွက်ယူနိုင်သည်။

အေးသည့် အရပ်ဒေသတွင် တည်ဆောက်ထားသည့် အဆောက်အအုံများ၏ ကြမ်းခင်းကို insulate လုပ်သင့်သည်။ United State energy codes အရ overall R-20 value ရှိသည့် ပစ္စည်းများကို အသုံးပြုရမည်။ Crawl space ကို လေနွေးများ(warm air) သယ်ဆောင်မည့် heating ductwork အဖြစ် အသုံးပြုလျှင် heat loss

calculation တွက်ရာတွင် ပို၍ ခက်ခဲရှုပ်ထွေးသည်။ ASHRAE Handbook သို့မဟုတ် local energy code များကို ကိုးကားနိုင်သည်။

၅.၇.၂ Floor Slab on Grade

မြေညီထပ်တွင် ရှိနေသည့် ကြမ်းခင်းဖြစ်လျှင်(floor is on the ground) အပြင်ဘက်စွန်းနေရာ(outside edges (perimeter))တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat loss အလွန်များလိမ့်မည်။ အဆောက်အဦပတ်ပတ်လည် အရှည် (length of these edges)နှင့် တိုက်ရိုက်အချိုးကျသည်။ ပုံ(၅-၈)တွင် ကြမ်းခင်းဧရိယာ(area of the floor)နှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် equation 5.8 ကို အသုံးပြု၍ heat transfer ကို တွက်ယူ၍ မရနိုင်ပေ။ အောက်ပါ ညီမျှခြင်း(equation)ကို အသုံးပြု၍ တွက်ယူသည်။

$$\boldsymbol{Q} = \boldsymbol{E} \times \boldsymbol{L} \times \Delta\mathbf{T} \qquad \text{(Equation 5.9)}$$

where

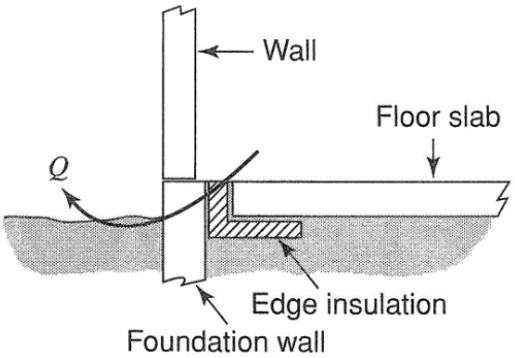
Q = heat transfer loss through floor on grade (BTU/hr)

E = edge heat loss coefficient (BTU/hr-°F per ft of edge length)

L = total length of outside (exposed) edges of floor (ft)

ΔT = design temperature difference between inside and outside air (°F)

Table 5-3 တွင် E တန်ဖိုးအမျိုးမျိုးကို ဖော်ပြထားသည်။ နံရံတည်ဆောက်ပုံ(wall constructions) အမျိုးမျိုး တို့အတွက် အစွန်းပါသည်ဖြစ်စေ၊ မပါသည်ဖြစ်စေ(with and without edge) insulation နှစ်မျိုးစလုံးကို ဖော်ပြ ထားသည်။ Energy codes အရ insulation မပါမဖြစ် တပ်ဆင်ရမည်။



ပုံ ၅-၈ Heat loss through floor of building without basement.
(Actual insulation arrangement may differ.)

Table 5-3 Edge heat loss coefficient, E, for-floor slab on grade (BTU/hr-°F per ft of edge)

Wall Construction	Edge Insulation	Degree Days		
		3000	5400	7400
8 in. block with face brick	None	0.62	0.68	0.72
	R-5	0.48	0.5	0.56
4 in. block with face brick	None	0.8	0.84	0.93
	R-5	0.47	0.49	0.54
Metal stud with stucco	None	1.15	1.2	1.34
	R-5	0.51	0.53	0.58
Poured concrete, heated floor	None	1.84	2.12	2.73
	R-5	0.64	0.72	0.9

Adapted from ASHRAE 1997 Handbook-Fundamentals.

ဥပမာ(၅-၁၀)

ကားဂိုဒေါင်(garage)တစ်ခုသည် 60 ft x 30 ft ကျယ်၍ ကွန်ကရစ်ကြမ်းခင်း(concrete floor slab)ဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ မြေပေါ်ရှိ အခန်းတွင်းအပူချိန်ကို 65°F တွင် ထိန်းထား(on grade is maintained)ရန် လိုသည်။ ပြင်ပအပူချိန်(outdoor air temperature)သည် 4°F ဖြစ်သည်။ Degree days သည် 5400 ဖြစ်သည်။ Floor edge သည် R-5 insulation ဖြစ်သည်။ နံရံများ(walls)ကို (၈)လက်မ ဘလောက်တုံးများ(8 in. block with face brick)ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ ကြမ်းပြင်(floor)ကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်မည့် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss)ကို ရှာပါ။

အဖြေ- ΔT ၊ E နှင့် L တို့ကို ပထမဦးဆုံး ရှာဖွေပါ။

$$\Delta T = 65 - 4 = 61\,°F$$

Table 5-3 မှ E = 0.50 for 5400 degree days

Edge length L= 2(60 + 20) = 160 ft

Using Equation 5.9,

$$Q = E \times L \times TD$$

= 0.50 x 160 x 61 = 4880 BTU/hr

ကြမ်းခင်းဧရိယာ အနည်းငယ်သာရှိသည့် အဆောက်အဦများ(buildings with small floor slab areas) အတွက်၊ Edge loss method (Equation 5.9)ကို အသုံးပြုရန် တိုက်တွန်းလိုသည်။

ကြမ်းခင်းဧရိယာ များစွာရှိသည့် အဆောက်အဦများ(buildings with large floor slab areas)တွင် edge loss method သည် အပြင်ဘက်ဆုံး အခန်းများ(perimeter rooms) အတွက်သာ အသုံးပြုသင့်သည်။ အတွင်းပိုင်း နေရာများ(interior areas)အတွက် basement ၏ U တန်ဖိုးနှင့် ΔT value တို့နှင့် တွဲဖက်၍ equation 5.8 ကို အသုံးပြုသင့်သည်။

၅.၈ Infiltration and Ventilation Heat Loss

အဆောက်အဦနံရံများ၊ အမိုးများမှ အပူဓာတ်များ ဆုံးရှုံးသွားနိုင်သလို၊ ပြင်ပမှ လေအေး(cold out door air) ဝင်ရောက်ခြင်းကြောင့်လည်း အပူဓာတ်များ ဆုံးရှုံးသွားနိုင်သည်။ ဆောင်းရာသီတွင် infiltration နှင့် ventilation တို့ကြောင့် ပြင်ပမှ လေအေးများ အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်နိုင်သည်။

> Infiltration ဆိုသည်မှာ ပြင်ပအပူချိန် နိမ့်နေချိန်တွင် အဆောက်အဦအတွင်းသို့ ပြင်ပမှ လေအေးများ ယိုစိမ့်ဝင်ရောက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Ventilation ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦအတွင်းသို့ လေကောင်းလေသန့် (ပြင်ပလေ)ထည့်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ ပြင်ပအပူချိန် မြင့်နေချိန်တွင် ပြင်ပမှ လေပူများအခန်းအတွင်းသို့ စိမ့်ဝင်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။
>
> ထိုလေများကြောင့် ဆုံးရှုံးသွားသည့်အပူပမာဏ(amounts of heat)ကို infiltration heating load နှင့် ventilation heating load ဟု ခေါ်သည်။

၅.၈.၁ Sensible Heat Loss Effect of Infiltration Air

အဆောက်အဦရှိ အပေါက်များ(building openings)မှ အတွင်းသို့ ပြင်ပလေ(outdoor air)များ ဝင်ရောက်ခြင်းကြောင့် infiltration ဖြစ်ပေါ်သည်။ တိုက်လေ၏ဖိအား(wind pressure)ကြောင့် အပေါက်များ(openings)မှ လေအေးများ ဝင်ရောက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ တံခါးပေါက်၊ ပြတင်းပေါက်ဘောင်ရှိ အက်ကြောင်းများ၊ ဟ,နေသည့် နေရာများ (cracks around window sashes)၊ တံခါးစွန်း(door edges)၊ တံခါးပွင့်နေသည့် နေရာများ(open doors) စသည်တို့ မှ infiltration ဖြစ်ပေါ်၍ လေများ ဝင်ရောက်လာနိုင်သည်။

ဆောင်းရာသီတွင် အခန်း သို့မဟုတ် အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာမည့် လေအပူချိန်(entering air temperature)သည် အခန်းအတွင်းရှိ လေအပူချိန်(room air temperature)ထက် ပိုနိမ့်သည်။ ထိုလေအေး များကြောင့် ဆုံးရှုံးသွားသည့် အပူများအတွက် အပူဓာတ် ပိုထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

Infiltrating air ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် sensible heat loss ပမာဏကို အောက်ပါ ပုံသေနည်းဖြင့် တွက်ယူနိုင်သည်။ Sensible heat equation ကို အသုံးပြု၍ တွက်ယူနိုင်သည်။

$$Q_s = m \times c \times \Delta T$$

Where Q_s = heat required to warm cold outdoor air to room temperature (BTU/hr)
m = weight flow rate of outdoor air infiltration (lb/hr)
c = specific heat of air (BTU/lb -°F)
ΔT = temperature change between indoor and out-door air (°F)

အထက်ပါညီမျှခြင်း(equation)တွင် ဖော်ပြထားသည့် lb/hr လေသည် အလေးချိန်စီးနှုန်း(mass flow rate of air (m)) ဖြစ်သည်။ သို့သော် HVAC လုပ်ငန်း များတွင် လေစီးနှုန်း(air flow rate)ကို CFM ဖြင့်သာ တိုင်းတာ ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ ယူနစ်ပြောင်း၍ sensible heat equation ကို ဖော်ပြလျှင်

$$Q_s = 1.1 \times CFM \times \Delta T \qquad (5.10)$$

Where Qs= sensible heat loss from infiltration or ventilation air (BTU/hr)
CFM = air infiltration (or ventilation) flow rate (ft^3/min)
ΔT= temperature change between indoor and outdoor air (°F)

၅.၈.၂ Latent Heat Loss Effect of Infiltration Air

ဆောင်းအခါ ပြင်ပမှဝင်ရောက်လာသည့်လေ(infiltration air)၏ စိုထိုင်းဆသည် အခန်းအတွင်းရှိလေ(room air)၏ စိုထိုင်းဆထက် ပိုနည်းသောကြောင့် အခန်းအတွင်းရှိ လေစိုထိုင်းဆ(room air humidity)သည် လက်မခံနိုင်သည့်အဆင့်(unacceptable level)အထိ ကျဆင်းသွားနိုင်သည်။ အခန်းအတွင်းရှိ လေ၏စိုထိုင်းဆ(room air humidity)ကို ထိန်းထားနိုင်ရန်အတွက် အခန်းအတွင်းရှိ လေထဲသို့ ရေခိုးရေငွေ့(water vapor)များ ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထိုသို့ ရေခိုးရေငွေ့များ ထည့်ပေးခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာမည့် အပူဆုံးရှုံးမှုကို "latent heat of vaporization of water" ဟု ခေါ်သည်။ အောက်ပါ ညီမျှခြင်း(equation)ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$Q_L = 0.68 \times CFM \times (W_i' - W_o') \qquad (Equation\ 5.11)$$

Where Q_L= latent heat required for infiltration or ventilation air (BTU/hr)
CFM = air infiltration or ventilation rate (ft3/min)
W_i'= higher (indoor) humidity ratio in grains water/lb dry air (gr w/lb d.a.)
W_o'= lower (outdoor) humidity ratio in grains water/lb dry air (gr w/lb d.a.)

Equation 5.10 နှင့် 5.11 တို့သည် အခန်းထဲရှိလေ(room air)၏ sensible နှင့် latent heat loss တို့ကို တွက်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ Infiltration air ၏ sensible heat loss ကို မဖြစ်မနေ တွက်ရန် လိုအပ်သည်။ အကယ်၍ infiltration ကြောင့် အခန်းထဲရှိ လေစိုထိုင်းဆ(room air humidity)သည် လက်ခံနိုင်သည့် အဆင့် ဖြစ်လျှင် latent heat loss ကို လျစ်လျူရှုနိုင်သည်။ ထည့်တွက်ရန် မလိုအပ်ပေ။

Equation 5.11 တွင် ထည့်တွက်ရမည့် humidity ratios (W)ကို psychometric chart မှ ဖတ်ယူနိုင်သည်။

၅.၈.၃ Infiltration Rate တွက်နည်း

Infiltration air ၏ စီးနှုန်း(CFM)ကို crack method တွက်နည်း(methods)နှင့် air change method တွက်နည်း(methods)ဟူ၍ နည်း(၂)မျိုးဖြင့် တွက်နိုင်သည်။

"Crack Method" တွက်နည်း

"Crack Method" တွက်နည်းသည် အက်ကြောင်းများ၊ ဟ,နေသည့် နေရာများ၏ အရှည်ကို တိုင်းယူ၍ စိမ့်ဝင်နှုန်း(rate of air infiltration per foot of crack opening)နှင့်မြောက်ကာ လေ(air)ပမာဏကို တွက်ယူသည့် နည်းဖြစ်သည်။ Energy codes တွင် maximum permissible infiltration rate များကို သတ်မှတ်ပေးထားသည်။ Table 5-4 တွင် အဆောက်အဦအသစ်(new construction) သို့မဟုတ် renovation upgrading တို့အတွက် typical allowable infiltration rate များကို ဖော်ပြပေးထားသည်။ လေတိုက်နှုန်းတစ်နာရီလျှင် (၂၅)မိုင်(25 MPH wind)ကို အခြေခံ၍ တွက်ထားသည့် တန်ဖိုးများ ဖြစ်သည်။ ပြင်ပတွင် လေတိုက်နှုန်း များလျှင် infiltration rate ပိုများလိမ့်မည်။

Table 5-4 typical allowable design air infiltration rates through exterior windows and doors

Component	Infiltration Rate
Windows	0.37 CFM per ft of sash crack
Residential doors	0.5 CFM per ft^2 of door area
Nonresidential doors	1.00 CFM per ft^2 of door area
Component Infiltration Rate	

Note: This table is adapted from various state energy standards.

အက်ကြောင်းအရှည်(crack lengths)နှင့် ဧရိယာ(areas)ကို တွက်ရန် သို့မဟုတ် တိုင်းရန် လိုအပ်သည့် အချက်အလက်များကို ဗိသုကာပုံများ(architectural plans) သို့မဟုတ် လက်တွေ့တိုင်းတာမှု(field measurement) များမှ ရနိုင်သည်။ ဥပမာ(၅-၁၁)တွင် crack method တွက်နည်းကို အသုံးပြုထားသည်။

ဥပမာ (၅-၁၁)

အဆောက်အဦတစ်ခု၏ ပြတင်းပေါက်ကို ဒေသဆိုင်ရာစွမ်းအင်စံချိန်စံညွှန်း(local infiltration energy standards)နှင့် ကိုက်ညီအောင် တပ်ဆင်ရန်၊ ပြုပြင်ရန် လိုအပ်သည်။ ပြတင်းပေါက်များ(windows)သည် 3 ft (W) x 4 ft (H) ဖြစ်ပြီး double hung type ဖြစ်သည်။ အခန်းတွင်းနှင့် ပြင်ပ ဒီဇိုင်းအပူချိန်(indoor နှင့် outdoor design temperatures) တို့သည် 70°F နှင့် 10°F ဖြစ်သည်။ Infiltration ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် sensible heat loss ကို ရှာပါ။

အဖြေ

(၁) Table 5.4 မှ သတ်မှတ်ပေးထားသည့် ခွင့်ပြုထားသည့်(allowed) infiltration rate သည် အက်ကြောင်း (၁)ပေ လျှင် 0.37 CFM နှုန်း(0.37 CFM per ft of sash crack) ဖြစ်သည်။

(၂) Total crack length L = 3(3) + 2(4) = 17 ft. (Note the allowance for the crack at the middle rail of a double-hung window)။ ပုံ(၅-၉)တွင် ပြတင်းပေါက်ကို ရေးဆွဲ ဖော်ပြထားသည်။

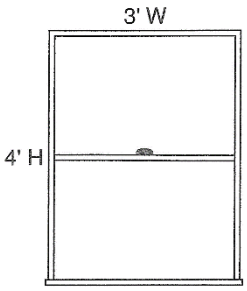
(၃) ပြတင်းပေါက်မှ စိမ့်ဝင်လာသည့် နှုန်း(total infiltration rate for the window)သည် 6.3 CFM ဖြစ်သည်။

CFM = 0.37 CFM/ft x 17 ft = 6.3 CFM

(၄) Equation 5.10 ကို အသုံးပြု၍ infiltration ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် sensible heat loss မှာ

$$Q_S = 1.1 \times CFM \times \Delta T$$

= 1.1 x 6.3 x (70 — 10) = 415 BTU/hr



Crack ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် infiltration ဆိုးဝါးစွာ မဖြစ်ပေါ်စေရန် အရည်အသွေးကောင်းသည့် တပ်ဆင်မှုများ(quality of installation) နှင့် ပြတင်းပေါက်များ (windows)၊ တံခါးများ(doors)ကို ကောင်းစွာ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ထားရန် အရေးကြီးသည်။ ပြတင်းပေါက်များကို သေချာစွာ မတပ်ဆင်ထားခြင်း(poorly fitted windows) ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် infiltration သည် ပုံမှန်ထက် (၅)ဆ(five times)ခန့် ပိုများနိုင်သည်။ Sash leakage များကို table 5-4 တွင် ဖော်ပြထားသည်။

ပုံ ၅-၉ ဥပမာ(၅-၁၁)အတွက် ပုံကြမ်း

အခန်းတစ်ခုတွင် နံရံနှစ်ဘက်စလုံးသည် ပြင်ပနှင့် ထိတွေ့နေလျှင်(room with two adjacent exposed walls) ထောင့်ခန်း(corner room)ဟု သတ်မှတ်သည်။ ထိုနံရံ (၂)ဘက်စလုံးတွင် ပြတင်းပေါက်များ တံခါးများ(door or window openings on both sides) ရှိနေလိမ့်မည်။

> တံခါးများ ပြတင်းပေါက်များသည် နံရံ(၂)ဘက်စလုံးတွင် ရှိနေသော်လည်း ထောင့်ခန်း("Corner Room") များ၏ infiltration rate ကို တွက်သည့်အခါ တစ်ဘက်အတွက်(နံရံ)သာ ထည့်တွက်ရမည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် မည်သည့် အချိန်တွင်မဆို(at any given time) လေသည် နံရံတစ်ဘက်ကိုသာ ဦးတည်၍ တိုက်ခတ်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ လေတိုက်နေသည့်လမ်းကြောင်း ပြောင်းလဲနိုင်သော်လည်း infiltration effect ပိုမများနိုင်ပါ။

Infiltration သည် ပြင်ပ၌ တိုက်ခတ်နေသည့် လေတိုက်နှုန်းပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ထို့အပြင် အခန်းတည် ရှိရာ နေရာတွင်လည်း မူတည်သည်။ အခန်းတစ်ခန်းတွင် အဆောက်အဦပြင်ပနှင့် ထိစပ်နေသည့် နံရံတစ်ဘက် သို့မဟုတ် နှစ်ဘက်ဖြစ်နိုင်သည်။ ထောင့်ခန်းများ၌ နှစ်ဘက်ရှိနိုင်သည်။ လေသည် အခန်းထောင့်ကို ဦးတည်၍ တိုက်လျှင်(wind comes obliquely) နံရံတစ်ခုချင်းစီ၏ projected crack length လျော့နည်းသွားသောကြောင့် နံရံ တစ်ဘက်ကိုသာ လေတိုက်သည့် သဘောမျိုးဖြစ်သည်။ တစ်ခန်းလုံးအတွက် ခြုံတွက်လျှင် overall effect တူညီလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် လေသည် မည်သည့်ဘက်က တိုက်သည်ဖြစ်စေ infiltration ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat loss မကွာခြားပေ။

နံရံများ၊ ပြတင်းပေါက်များ၌ ရှိနေသည့်အက်ကြောင်း၊ ကြားလွတ်နေရာ၊ ဟ,နေသည့် နေရာများသည် အရွယ်အစား အမျိုးမျိုးဖြစ်နိုင်သောကြောင့် အများဆုံးဖြစ်နိုင်သည့် အကျယ်ကို အခြေခံ၍ တွက်သင့်သည်။ တစ်ခန်း ချင်းစီ၊ နံရံတစ်ဖက်ချင်းစီတို့၏ infiltration ကို တွက်၍ ပေါင်း၍ အဆောက်အဦတစ်ခုလုံး(total building infiltration rate) အတွက် တွက်ယူနိုင်သည်။ တံခါးများဖွင့်ခြင်း(door usage)ကြောင့်လည်း infiltration ဖြစ်နိုင်သည်။

စတိုးဆိုင်(department stores)၊ ရုံးခန်း စသည့် နေရာများတွင် အဝင်အထွက်များ(frequent door usage) သောကြောင့် infiltration ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရမည်။ ပထမဦးစွာ တံခါးဖွင့်နှုန်း(rate of door usage, number of people per minute)ကို သတ်မှတ်ရမည်။ ဗိသုကာ(architect) သို့မဟုတ် ပိုင်ရှင်(owner)ထံမှ infiltration အတွက် အကြံဉာဏ် ရယူနိုင်သည်။ ပျမ်းမျှနှုန်း(average infiltration rates for frequent door usage)များကို table 5-5 တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Table 5-5 infiltration rates for frequent door usage

တံခါး အမျိုးအစား (Door Type)	**လူတစ်ယောက်အတွက် လေထုထည် (ft^3 per Person)**
Swinging door, no vestibule	900
Swinging door, vestibule	550
Revolving door	60

အမြဲတမ်း ဖွင့်နေသည့် တံခါးများ(ဖွင့်ထားမည့်တံခါးများ)၊ အပေါက်များ ရှိကောင်း ရှိနိုင်သည်။ ထိုတံခါးများ အတွက် infiltration rate ကို ထည့်တွက်ရမည်။ Infiltration rate လျော့နည်းစေရန် လေလိုက်ကာ(air curtains) များကို အသုံးပြုကြသည်။ တံခါးပေါက်အပေါ်မှ လေများကို အရှိန်ပြင်းပြင်း(vertical warm air barrier across the opening)ဖြင့် ထုတ်လွှတ်နေသောကြောင့် infiltration rate လျော့နည်းသွားသည်။

အလွန်သေးငယ်သည့် အပေါက်များပါရှိသည့်နံရံ(porous wall)များကြောင့်လည်း air infiltration ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။ အကယ်၍ နံရံများ(walls)၌ ပေါက်များ ရှိနေပါက significant porosity ၊ sealant coatings သို့မဟုတ် တခြားပိတ်ဆို့နည်းများ(other coverings)ကို အသုံးပြု၍ ကာကွယ်နိုင်သည်။

အထပ်မြင့်သည့် အဆောက်အအုံများတွင် အက်ကြောင်းများကြောင့် သာမက thermal stack effect ကြောင့်လည်း infiltration ဖြစ်ခြင်းကို ပိုဆိုးရွားစေသည်။ အဆောက်အအုံအတွင်း၌ ပူနွေးပြီး၊ အပြင်၌ အေးနေလျှင်

thermal stack effect ဖြစ်ပေါ်သည်။ နွေးနေသည့် လေများသည် အဆောက်အအုံအပေါ်ပိုင်းသို့ ရောက်ရှိသွားပြီး အပေါက်များ၊ အက်ကြောင်းများမှ တစ်ဆင့် အပြင်သို့ ထွက်သွားသည်။ ထိုထွက်သွားသည့် လေများအစား ပြင်ပမှ အေးနေသည့် လေများသည် အနိမ့်ပိုင်းနေရာရှိ အက်ကြောင်းများမှ တစ်ဆင့် ဝင်ရောက်လာသည်။ Thermal stack effect အကြောင်းကို အသေးစိတ် အချက်အလက်များရရန် ASHRAE Handbook များကို မှီငြမ်း နိုင်သည်။ Stack effect အကြောင်းကို ACMV volume one, Chapter-7 စာမျက်နှာ 7-4 တွင် အသေးစိတ် ဖတ်ရှုနိုင်သည်။

Infiltration ဖြစ်ခြင်း လျော့ချရန်(reducing) အတွက်

(၁) အဆောက်အဦဟောင်းများ(existing buildings)တွင် ရာသီဥတုဒဏ်ကာကွယ်ပေးမည့် လိုက်ကာများ(weather stripping) တပ်ဆင်ခြင်း၊ ဘောင်အနီးရှိ အက်ကြောင်းများ၊ sill plates ၊ wall penetration များနှင့် တခြား အပေါက်များ(other openings)ကို ပိတ်ဆို့ခြင်း(sealing of cracks around frames) ပြုလုပ်နိုင်သည်။

(၂) "Air Change Method" infiltration rate သည် infiltration ဖြစ်ပေါ်သည့် အခန်း၏ number of air changes per hour (ACH) အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ တွက်ခြင်းဖြစ်သည်။ One air change ဆိုသည်မှာ တစ်နာရီအတွင်း အခန်းထုထည်(room air volume)နှင့် ညီမျှသည့် လေပမာဏစီးဆင်းစေခြင်း၊ circulate လုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

ACH ခန့်မှန်းသည့်အလုပ်(expected number of air changes)သည် အတွေ့အကြုံ(experience)နှင့် စမ်းသပ်ချက်(testing)များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေအရမ်းလုံသည့် အဆောက်အဦများအတွက် 0.5 ACH ဖြစ်သည်။ လေမလုံသည့် အဆောက်အဦအတွက် 1.5 ACH ဖြစ်သည်။(0.5 ACH to 1.5 ACH for buildings ranging from "tight" to "loose" construction)။ ထို့ကြောင့် လေအရမ်းလုံသည့် အဆောက်အဦဖြစ်လျှင် 0.5 ACH နှုန်းဖြင့် တွက်သည်။ လေမလုံသည့် အဆောက်အဦဟု ယူဆလျှင် 1.5 ACH နှုန်းဖြင့် တွက်သည်။

Air change နည်းအရ equation 5.12 ကို အသုံးပြု၍ air infiltration rate (CFM)ကို ရှာနိုင်သည်။

$$\boldsymbol{CFM = ACH \times \frac{V}{60}} \qquad (\mathbf{5.12})$$

Where CFM = air infiltration rate to room (CFM)

ACH = number of air changes per hour for room

V = room volume (ft^3)

ACH အဓိပ္ပာယ်(meaning)နှင့် တွက်နည်းအသုံးပြုပုံ(use of the air change method)ကို ဥပမာ(၅-၁၂) တွင် ဖော်ပြထားသည်။

ဥပမာ (၅-၁၂)

အိမ်တစ်အိမ်မှ အခန်းတစ်ခန်း၏ အတိုင်းအတာသည် 20 ft x 10 ft x 8 ft high ဖြစ်သည်။ Infiltration rate သည် 0.7 air changes per hour ဖြစ်သည်။ ACH နည်းကို အသုံးပြု၍ infiltration rate ကို CFM ဖြင့် ရှာပါ။

အဖြေ

အခန်းထုထည်(room volume) ကို တွက်ရန်

Volume = 20 x 10 x 8 = 1600 ft^3

Equation 5.12 မှ

$$CFM = ACH \times \frac{V}{60} = 0.7 \times \frac{1600}{60} = 18.7\ CFM$$

ထိုအခန်း၏ infiltration rate သည် 18.7 CFM ဖြစ်သည်။

၅.၈.၄ Crack Method versus Air Change Method

မည်သည့်အခြေအနေ၊ မည်သည့်လုပ်ငန်းတွင် မည်သည့်နည်းကို အသုံးပြုရမည်ဟု တိကျသည့် သတ်မှတ်ချက်များ မရှိသော်လည်း အောက်ပါအချက်များကို အခြေခံ၍ ဆုံးဖြတ်သင့်သည်။

(၁) Air change method တွက်နည်း

ယေဘုယျအားဖြင့်လူနေအိမ်၊ အဆောက်အဦ(residential construction)များအတွက် air change method

ကို အသုံးပြုသည်။ လူနေအိမ်၊ အဆောက်အဦ(residential construction)များအတွက် heating load ခန့်မှန်းရာတွင် ယုံကြည်စိတ်ချရသည့် ဒေတာများ ရရှိနိုင်ပါက crack method ကိုလည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။

(၂) Crack method တွက်နည်း

လူနေအဆောက်အဦ မဟုတ်သည့် စက်ရုံ(non residential construction)များအတွက် crack method ကို အသုံးပြုသည်။ ပြတင်းပေါက် ထုတ်လုပ်သူများ(window manufacturers)ထံမှ ယုံကြည်စိတ်ချရသည့် ဒေတာများ(reliable data) ရရှိနိုင်လျင်သော်လည်းကောင်း တပ်ဆင်မှု ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု အရည်အသွေးကောင်းအောင် ထိန်းချုပ်(quality control of installation and maintenance)နိုင်လျှင်လည်းကောင်း crack method သည် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ တိကျသည့် ရလဒ်များ ရရှိနိုင်သည်။ အဆောက်အဦ အဟောင်းများ(older buildings)အတွက် လေယိုစိမ့်သည့်နှုန်း(leakage rates)ကို တွက်ရန် ခက်ခဲသည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် ပြတင်းပေါက်များ၏ အခြေအနေကို အတိအကျ မသိနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

၅.၉ Ventilation (Outside Air) Load

လေအရည်အသွေး(indoor air quality)ကို ထိန်းထားရန်အတွက် အဆောက်အဦများအတွင်းသို့ mechanical ventilation equipment သို့မဟုတ် air handling unit များမှတစ်ဆင့် ပြင်ပလေ(outside air) ထည့်ပေးရန် လိုအပ်သည်။ Outside ventilation air ထည့်ပေးခြင်းကြောင့် building heating load ပိုများစေသည်။ ဝင်လာသည့်(entering air)လေ၏ အပူချိန်နှင့် စိုထိုင်းဆသည် ပြင်ပလေအပူချိန်(outdoor temperature)နှင့် စိုထိုင်းဆ(humidity)တို့နှင့် တူညီသည်။

Ventilation ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်မည့် heating load တွက်ရန်အတွက် equations 5.10 နှင့် 5.11 တို့ကို အသုံးပြုသည်။ Ventilation air ကို အခန်းအတွင်းသို့ မထည့်ပေးခင် air conditioning equipment များဖြင့် အပူပေးခြင်းနှင့် ရေခိုးရေငွေ့(humidity) ထည့်ပေးခြင်းတို့ ပြုလုပ်သည်။ Ventilation heating load သည် total building heating load ၏ တစ်စိတ်တစ်ဒေသ ဖြစ်သည်။ သင့်လျော်သည့် ပြင်ပလေ(outside ventilation air) ပမာဏ တွက်နည်းများကို အခန်း(၈)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

ကြီးမားသည့် အဆောက်အဦများတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် mechanical ventilation system မှ fan များဖြင့် အဆောက်အဦအတွင်း၌ လေဖိအားအနည်းငယ်ပိုမြင့်(positive air pressure)အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်၍ မောင်းလေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် infiltration ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်နိုင်သည်။ အဆောက်အဦ(building)ကို လေလုံအောင်ပြုလုပ်၍ ဖိအားအနည်းငယ် မြင့်တက်အောင် ပြုလုပ်ထားလျှင်(relatively tight and pressurized) သို့မဟုတ် ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားခြင်းကြောင့် infiltration load ထည့်တွက်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Outside air ventilation load ကိုသာ ထည့်တွက်ရန် လိုအပ်သည်။

အဆောက်အဦအတွင်း ဖိအားအနည်းငယ်မြင့်တက်အောင် ပြုလုပ်သည့်အခါ အလွန်အကျွံမဖြစ်အောင် သတိထားသင့်သည်။ လိုအပ်သည်ထက် ပိုများပါက တံခါး ဖွင့်ရန် ခက်ခဲလိမ့်မည်။

> တချို့သော non-residential building များတွင် ဖွင့်၍ ပိတ်၍ မရနိုင်သည့် ပြတင်းပေါက်(fixed windows no openable part)များ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။ ထိုပြတင်းပေါက်အသေများ အတွက် crack infiltration ကို ထည့်တွက်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Exterior door များ အတွက်သာ တွက်ရမည်။

လူနေအိမ်များ၏ air distributing system တွင် fan ဖြင့် လေကို ပြန်လည်အသုံးပြု၍ လည်ပတ်ခြင်း(recirculation) ပြုလုပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ventilation load တွက်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Infiltration ဖြစ်ခြင်းကြောင့် လေကောင်းလေသန့်(fresh air)များ အခန်းအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည်။

ခေတ်မီလူနေအဆောက်အဦ(residences)များတွင် လေလုံ(tight)သောကြောင့် infiltration ဖြစ်ပေါ်မှုနည်းသည့်အခါ လေမလုံလောက်ခြင်း(inadequate natural infiltration) ဖြစ်နိုင်သည်။ ပြင်ပလေ မလုံလောက်သည့်

အခါ အညစ်အကြေး(indoor air pollutant)များကြောင့် ရေရှည်တွင် ကျန်းမာရေးထိခိုက်(long term health problems) နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ပြင်ပလေထည့် ပေးရန်(outside ventilation) လိုအပ်သည်။ ဥပမာ(၅-၁၃)တွင် ventilation load တွက်နည်းကို ဖော်ပြထားသည်။

ဥပမာ (၅-၁၃)

ပြတင်းပေါက်များကို လေလုံအောင်ပြုလုပ်ထားသည့် အဆောက်အဦ(building with sealed windows) တစ်ခုအတွင်း၌ အပူချိန်ကို 72°F တွင် ထိန်းထားသည်။ ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)သည် -5°F ဖြစ်သည်။ Mechanical ventilation system မှ ပြင်ပလေ(outside air) 5000 CFM ထည့်ပေးသည်။ Ventilation ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် sensible heating ပမာဏကို ရှာပါ။

အဖြေ

အခန်းအတွင်း စိုထိုင်းဆ(inside humidity conditions) လိုအပ်ချက်ကို သတ်မှတ်မထားသောကြောင့် sensible heat ကိုသာ တွက်ရန် လိုသည်။ Ventilation air ၏ equation 5.10 ကို အသုံးပြု၍ တွက်သည်။

$$Q_S = 1.1 \times CFM \times \Delta T$$
$$= 1.1 \text{ x } 5000 \text{ x } 77 = 423{,}500 \text{ BTU/hr}$$

၅.၁၀ Design Conditions

Heating and cooling load တွက်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည့် အခန်းအတွင်း(indoor)အပူချိန်၊ စိုထိုင်းဆနှင့် ပြင်ပအပူချိန်(outdoor air temperature)၊ စိုထိုင်းဆ(humidity)တို့ကို "design conditions" ဟု ခေါ်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် အခန်းအတွင်း ဒီဇိုင်းအခြေအနေများ(indoor design conditions)ကို comfort zone ဧရိယာ (area)အတွင်း၌ ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။ Comfort zone အကြောင်းနှင့် indoor design condition အကြောင်းကို အခန်း(၃)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

Table 5-6 တွင် indoor design condition များကို ဖော်ပြထားသည်။ Design condition ကို ရွေးချယ်သည့်အခါ သက်သောင့်သက်သာဖြစ်စေမှု(comfort) တစ်ခုတည်းကိုသာ ဦးစားမပေးဘဲ energy conservation ကောင်းစေရန် တာဝန်ယူ(responsible) ရမည်။ အခန်းတွင်း ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(inside design condition)ကို ရွေးချယ်သည့်အခါ energy code ကို လိုက်နာရန် လိုအပ်သည်။

ဆောင်းရာသီပြင်ပဒီဇိုင်းအပူချိန်(outside winter heating design temperature)များကို table A.9 တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Table A.9 သည် မိုးလေဝသ မှတ်တမ်းများ(weather records)ကို အခြေခံထားသည်။ United States နှင့် တခြားသော နိုင်ငံများ၏ နေရာ တစ်ခုချင်းစီ၏ ဆောင်းရာသီ outdoor air heating design temperature ကို heating dry bulb column တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ထိုအချက်အလက်(value)များသည် နှစ်ပေါင်းများစွာ စုစည်းထားသည့် ရာသီဥတု မှတ်တမ်းများ(weather records) ဖြစ်ကြသည်။

ဇယားတွင် ဖော်ပြထားသည့် တန်ဖိုးများထက် နိမ့်သည့် outdoor air temperature သည် ပျမ်းမျှ တစ်နှစ်အတွင်း နာရီပေါင်း(၃၅)နာရီကြာ(35 hours each year) ဖြစ်ပေါ်ခဲ့သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် တစ်နှစ်အတွင်း နာရီပေါင်း (၃၅)နာရီကြာ ဖြစ်ပေါ်မည့် အလွန်နိမ့်သည့် အပူချိန်များကို မဖော်ပြထားပါ။

တစ်ခါတစ်ရံမှသာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် ရာသီဥတုမျိုးကို design temperature အဖြစ် အသုံးမပြုသင့်ပေ။ အသုံးပြုမိလျှင် လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးအောင် အရွယ်အစားရွေးချယ်ထားသည့်(oversized) heating equipment ဖြစ်စေသည်။ သင့်လျော်သည့်(reasonable) design temperature ကို သတ်မှတ်သင့်သည်။ ကြိုတင်မျှော်လင့်ထားသည့် ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)သည် အနည်းငယ်နိမ့်ကျခဲ့လျှင်သော်လည်း heating system ၏ operation သည် comfortable indoor conditions ပေးနိုင်သင့်သည်။

အမေရိကတွင် မဖြစ်မနေ လိုက်နာရမည်ဟု သတ်မှတ်ထားသည့် US energy standards သို့မဟုတ် local energy standard များတွင် ဖော်ပြထားသည့် ဒီဇိုင်းအခြေအနေများနှင့် အနည်းငယ် ကွဲလွဲနိုင်သည်။

ဤစာအုပ်တွင် ဖော်ပြထားသည့် ဒီဇိုင်းအခြေအနေများသည် heating လုပ်နေစဉ် အဆောက်အဦ (building) အတွင်းသို့ ရေရိုးရေငွေ့ထည့်ပေးရန်(humidification လုပ်ပေးရန်) လိုအပ်လျှင် latent heat energy ကို တွက်၍ ထည့်ပေးရမည်။ Outdoor air humidity design level ကို zero အဖြစ် ယူဆပါ။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပြင်ပလေထဲတွင် ရေရိုးရေငွေ့များ မရှိဟု ယူဆသည်။

Table A.9 တွင် summer cooling အတွက် outdoor design data ကို ဖော်ပြထားသည်။ Latitude ကော်လံသည် တည်ရှိရာအရပ်ဒေသ၏ ဒီဂရီလတ္တီတွဒ် (number of degrees of latitude from the equator for the location)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Degree Days ကော်လံသည် အပူပေးရမည့် ရာသီ၏ ပမာဏ(expresses the severity of the heating season)ကို ဖော်ပြထားသည်။

ဥပမာ (၅-၁၄)

Chicago, Illinois အရပ်ဒေသတွင် တည်ဆောက်ထားမည့် စတိုးဆိုင်(Big Bargain department store) အတွက် heating system ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် မည်သည့် outdoor indoor winter temperature အသုံးပြုရမည်ကို ဆုံးဖြတ်ပါ။

Table 5-6 recommended energy conserving indoor air design conditions for human comfort

	Air Temperature (DB) °F	Relative Humidity (RH) %	Maximum Air Velocity* (FPM)	Clothing Insulation (clo)
Winter	68-72	25-30	30	0.9
Summer	76-78	50-55	50	0.5

*At occupant level.

အဖြေ

Table A.9 မှ Chicago အတွက် သင့်လျော်သည့် outdoor heating design temperature သည် 6°F ဖြစ်သည်။ Table 5-6 မှ indoor air design condition ကို 68°F အဖြစ် ရွေးချယ်သည်။ ဈေးဝယ်သူများသည် ဆောင်းရာသီ အနွေးထည်များကို ဝတ်ဆင်ထားကြမည်ဟု ယူဆသောကြောင့်(a justification for this is that people generally keep their winter coats on while shopping) နိမ့်သည့်တန်ဖိုး(low end of the recommended value)ကို ရွေးချယ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

၅.၁၀.၁ Unheated Space Temperature

အနွေးဓာတ်ပေးထားသည့် အခန်း(heated room)နှင့် အပြင်နံရံအကြားတွင် အနွေးဓာတ် မပေးထားသည့် အခန်း(unheated rooms or spaces) တည်ရှိနိုင်သည်။ ထိုအခန်းအပူချိန်(temperature)သည် heated room ထက် ပိုနိမ့်သည်။ အနွေးဓာတ်ပေးထားသည့် အခန်း(heated room)မှ အပူများသည် အတွင်းနံရံ(separating partition) ကို ဖြတ်၍ unheated room ဆီသို့ ကူးပြောင်းသွားနိုင်သောကြောင့် heat loss ပမာဏကို တွက်ရန် လိုအပ်သည်။

> အပူဓာတ်မပေးထားသည့်နေရာ အပူချိန်(unheated space temperature)သည် အခန်းအပူချိန် (indoor conditions)နှင့် ပြင်ပဒီဇိုင်း အပူချိန်(outdoor design conditions)တို့ အကြားတွင် ဖြစ်သည်ဟု ဒီဇိုင်နာများက ယူဆကြသည်။ အပူဓာတ်မပေးထားသည့်နေရာ(unheated space)၏ မှန်မျက်နှာပြင် ဧရိယာ (exposed glass area) အလွန်များနေလျှင် ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)နှင့် တူညီသည့်ဟု ယူဆ နိုင်သည်။ Unheated space ကို heated space များက ဝိုင်းရံထားလျှင် untreated room အပူချိန်ကို indoor design condition အဖြစ် ယူဆ၍ heat transfer ဖြစ်ပေါ်မှုကို ထည့်တွက်ရန် မလိုအပ်ပေ။
>
> အပူဓာတ်မပေးထားသည့်နေရာ(unheated space)များ၏ တည်ရှိရာနေရာကို လိုက်၍ တွက်ရသည့် နည်းနှင့် သတ်မှတ်ယူရသည့် အပူချိန်ကွဲပြားမှု ရှိသည်။

၅.၁၁ Room heat loss and room heating load

Room heat loss ဆိုသည်မှာ အခန်းတစ်ခန်းချင်းစီ၏ အပူဆုံးရှုံးမှုစုစုပေါင်း(sum of each of the room heat transfer losses) နှင့် infiltration heat loss တို့ ပေါင်းထားခြင်း ဖြစ်သည်။

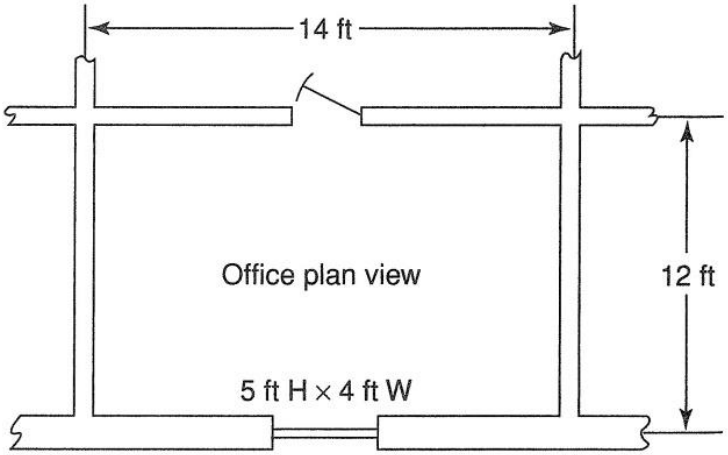
> Room heating load သည် အခန်းအတွင်းသို့ ထည့်ပေးရမည့် အပူပမာဏ(amount of heat) ဖြစ်သည်။ အခန်းအပူချိန်ကို သတ်မှတ်ထားသည့် အပူချိန်(indoor design temperature)တွင် ထိန်းထားရန်အတွက် room heating load သည် room heat loss နှင့် ညီမျှသည်။

ဥပမာ (၅-၁၅)တွင် room heating load တွက်နည်း(procedure)ကို ဖော်ပြထားသည်။

ဥပမာ (၅-၁၅)

ပုံ(၅-၁၀)တွင် ရုံးခန်း(office room)တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။ တစ်ထပ် အဆောက်အဦ(one-story building) ဖြစ်ပြီး Des Moines, Iowa ဒေသတွင် တည်ရှိသည်။ အဆောက်အဦထဲတွင် အပူပေးထားသည့် မြေအောက်ခန်း(heated basement) ပါရှိသည်။ Design room heating load ကို တွက်ပါ။

တည်ဆောက်ထားပုံ(construction)မှာ အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ဖြစ်သည်။ နံရံ(wall) အမျိုးအစားသည် 6 in. concrete (120 #/cu. ft), R-8 insulation, 1/2 in. gypsum board finish ဖြစ်သည်။ ပြတင်းပေါက်(window) အရွယ်အစားသည် 5 ft(H) x 4 ft (W) ဖြစ်သည်။ ပြတင်းပေါက် အမျိုးအစားသည် pivoted type, double glass, aluminum frame ဖြစ်သည်။ Infiltration rate သည် 0.50 CFM/ft ဖြစ်သည်။ ခေါင်မိုး(roof) အမျိုးအစားသည် flat roof metal deck, R-8 insulation ဖြစ်သည်။ မျက်နှာကြက် အမျိုးအစားသည် suspended ceiling ဖြစ်သည်။ မျက်နှာကြက်(ceiling) အမြင့်(height)သည် 9 ft ဖြစ်သည်။



ပုံ ၅-၁၀ Floor plan for Example 5-15.

အဖြေ

(၁) ဇယားဖြင့် အချက်အလက်များကို စနစ်တကျ ထည့်၍တွက်သည့် အလေ့အကျင့်ကောင်းကို မွေးမြူပါ။

(၂) Design temperature ကို table 1.10 နှင့် A.9 တို့မှ ရွေးချယ်ပါ။ အခန်းအတွင်းအပူချိန်(indoor temperature) သည် 71°F ဖြစ်သည်။ ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature)သည် - 9°F ဖြစ်သည်။

(၃) Table A.6 နှင့် A.8 တို့မှ U value များကို ဖတ်ယူပါ။

(၄) Equation 5.8 ကို အသုံးပြု၍ heat transfer loss များကို တွက်ယူနိုင်သည်။

(၅) Equation 5.10 ကို အသုံးပြု၍ infiltration heat loss ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

(၆) Room heating load သည် အပူဆုံးရှုံးမှု စုစုပေါင်း(sum of all the losses)နှင့် ညီမျှသည်။

	U (BTU/hr-ft^2-°F)	x	A(ft^2)	x	TD(°F)	=	Q(BTU/hr)
Wall	0.10	x	106	x	82	=	870
Window	0.60	x	20	x	82	=	980
Roof	0.08	x	168	x	82	=	1100
					Total heat transfer loos	=	2950
					Infiltration heat loss1.1 x 0.50 CFM/ft x 18 ft x 82	=	810
					Room heating load	**=**	**3760**

ထိုအပူဆုံးရှုံးမှုများ အားလုံး၏ စုစုပေါင်း ဖြစ်သည်။

Design heat loss များကို တွက်သည့်အခါ မည်သည့် heat gain ကိုမျှ မထည့်သင့်ပါ။ Solar heat gain ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော်လည်း အမြဲတမ်း မရနိုင်သောကြောင့် စိတ်ချရအောင် ထည့်မတွက်သင့်ပါ။ Steady internal gain ရှိသည့် အဆောက်အဦများတွင် net heat losses ကို ထည့်သွင်း တွက်ချက်ရမည်။ အမြဲတမ်း ပုံမှန်ဖြစ်ပေါ်နေသည့် heat gain များရှိလျှင် ထည့်တွက်နိုင်ပါသည်။

၅.၁၂ Building Net Heating Load

အခန်းတစ်ခန်းချင်း(individual room)စီ၏ heating load အပြင် အဆောက်အဦ(building) တစ်ခုလုံး၏ heating load ကို တွက်ရန် လိုအပ်သည်။ Building net heating load ဆိုသည်မှာ ပြင်ပဒီဇိုင်းအခြေအနေ(outdoor design conditions)တွင် အဆောက်အဦ(building)တစ်ခုလုံးတွက် လိုအပ်သည့် အပူပမာဏ(amount of heat) ဖြစ်သည်။ Building net heating load တွင် building heat transfer loss များ ၊ infiltration heat loss များ နှင့် ventilation load များ ပါဝင်သည်။ ထို heating load များ အားလုံး၏ စုစုပေါင်း ပမာဏဖြစ်သည်။

၅.၁၂.၁ Building Heat Transfer Loss

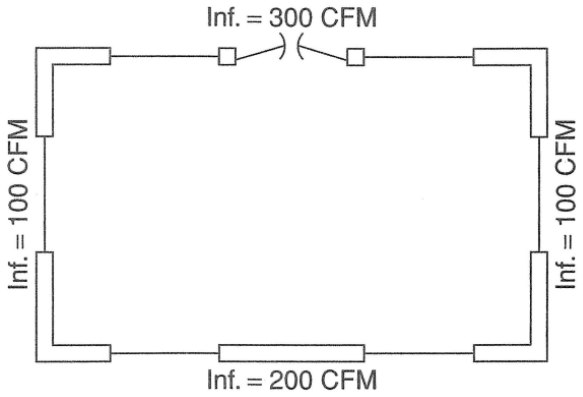
Building heat transfer loss သည် heat transfer loss များ ပေါင်းထားခြင်း(sum) ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦ၏ နံရံ၊ ပြတင်းပေါက်၊ တံခါး၊ ကြမ်းခင်း စသည်တို့ မှတစ်ဆင့် ပြင်ပသို့ ထွက်သွားသည့်(ဆုံးရှုံးသွားသည့်) အပူများ (outdoors through the exposed walls, windows, doors, floor, and roof of the building)ပေါင်းထားခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဆုံးရှုံးသွားသည့် အပူစုစုပေါင်း(sum of the room heat transfer losses) ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦ၏ နံရံ၊ ပြတင်းပေါက်၊ တံခါး၊ ကြမ်းခင်းစသည့် ဧရိယာစုစုပေါင်း(total building area)ကို တိုင်းယူ (measure)၍ ထိုမှတစ်ဆင့် တိုက်ရိုက် တွက်ယူ(calculate directly) သင့်သည်။

၅.၁၂.၂ Building Infiltration Loss

အဆောက်အဦ(building)တွင် တစ်ခုထက် ပိုများသည့် အပေါက်များ ရှိနေလျှင်(more than one side with openings) infiltration air သည် ရှိသမျှ အပေါက်များ အားလုံးမှတစ်ဆင့် တစ်ပြိုင်နက် ဝင်ရောက်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လေသည် အမြဲတမ်း ဦးတည်ရာ တစ်ဖက်ဖက်ကိုသာ တိုက်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေတိုက်သည့် မျက်နှာစာရှိ အပေါက်များတွင်သာ infiltration ဖြစ်ပေါ်သည်။ အခန်းအတွင်း အခြေအနေများ၊ အတွင်းနံရံ(partition)ကြောင့် အတိအကျ တွက်ချက်ရန် ခက်ခဲသည်။ Mechanical ventilation system ကြောင့် infiltration ဖြစ်ခြင်း လျော့နည်းသွားနိုင်သည်။ အဆောက်အဦ(building)များတွင် infiltration မဖြစ်အောင် ကာကွယ်နိုင်သည်။

> အဆောက်အဦ၏ infiltration ဖြစ်နှုန်း(CFM)သည် နံရံတစ်ခုချင်းစီတွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် infiltration နှုန်း (CFM) စုစုပေါင်းတန်ဖိုး၏ တစ်ဝက်ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အဆောက်အဦ၏ infiltration rate သည် နံရံများ အားလုံးတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် infiltration ၏ တစ်ဝက် ဖြစ်သည်။
>
> (The building air infiltration CFM is equal to one-half the sum of the infiltration CFM of every opening on all sides of the building.)

အောက်တွင် building infiltration heat loss နှင့် building net heating load တွက်နည်း(procedure)ကို ဥပမာဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၅-၁၁ ဥပမာ(၅-၁၆)အတွက် ပုံကြမ်း (Sketch for Example 5-16)

ဥပမာ (၅-၁၆)

ပုံ(၅-၁၁)တွင် ဖော်ပြထားသည့် အဆောက်အဦ၏ အခန်းအတွင်းအပူချိန်(indoor temperature)သည် 70°F ဖြစ်ပြီး ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature) သည် 10°F ဖြစ်သည်။ Building heat transfer loss သည် 170,000 BTU/hr ဖြစ်သည်။ Infiltration rate ကို ဖော်ပြထားသည်။ Infiltration heat loss နှင့် net heating load ကို ရှာပါ။

အဖြေ

(၁) အဆောက်အဦ၏ နံရံများအားလုံးတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် infiltration rate ကို ရှာပါ။ ထို့နောက် တစ်ဝက်(one-half) ဝက်ပါ။ (Find one-half the infiltration rates for all sides of the building)

$$\text{Building infiltration CFM} = \frac{300 + 100 + 200 + 100}{2} = 350 \text{ CFM}$$

(၂) Equation 5.10 ကို အသုံးပြု၍ infiltration heat loss ကို ရှာသည်။

$$Q = 1.1 \times \text{CFM} \times \Delta T$$
$$= 1.1 \times 350 \times (70 - 10) = 23{,}100 \text{ BTU/hr}$$

(၃) Building net heating load ကို တွက်သည်။

Heat transfer loss = 170,000 BTU/hr
Infiltration heat loss = 23,100 BTU/hr
Building net heating load = 193,100 BTU/hr

၅.၁၃ System Heat Losses

Direct room နှင့် building heat losses(heat transfer and infiltration/ventilation) တို့အပြင် duct များ နှင့် ပိုက်များ(piping)၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် heat loss များကြောင့်လည်း system heat loss ပိုများလာနိုင်သည်။

၅.၁၃.၁ Duct Heat Transfer Loss

Warm air heating system တွင် duct များသည် unheated space များ(attics, basements, shafts, crawl spades စသည့်နေရာများ)ကို ဖြတ်သွားသည့်အခါ အပူကူးပြောင်းမှု(heat transfer) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Duct အတွင်းမှ ပူနွေးသည့်လေများသည် အေးနေသည့် ဘေးဘက်ရှိနေရာများ(cooler surrounding spaces)ဆီသို့ ထွက်သွားလိမ့်မည်။

Building sensible heat loss ၏ 2% မှ 5% ခန့်ကို duct heat loss အနေဖြင့် ထည့်ပေါင်းရန် hand book များတွင် ဖော်ပြထားသည်။ ထည့်ပေါင်းရမည့် ရာခိုင်နှုန်း(range of value)သည် duct အရှည်(length of duct-work) ၊ insulation နှင့် အနီးပတ်ဝန်းကျင်အပူချိန်(surrounding temperature)တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Ductwork များတွက် အနိမ့်ဆုံး R-4 အဆင့် insulation ကို အသုံးပြုသင့်သည်။

၅.၁၃.၂ Duct Leakage (Duct များမှ လေယိုစိမ့်မှု ဖြစ်ပေါ်ခြင်း)

Supply duct ရှိ အဆက်များ(seams) တချို့နေရာများတွင် လေယိုစိမ့်မှု(air leakage) ဖြစ်ပေါ်သည်။ အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) ဖြစ်သည်။ အိမ်များ(private residences)များတွင် unconditioned space နေရာများသို့ လေယိုစိမ့်ခြင်း(air leak)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat transfer ပမာဏသည် 5% မှ 10% အတွင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ကြီးမားသည့် အဆောက်အဦများ(larger buildings)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် လေယိုစိမ့်မှုသည် တပ်ဆင်မှု(sheet metal installation)များ၏ အရည်အသွေးပေါ်တွင် မူတည်သည်။

၅.၁၃.၃ Piping Losses

Hot water သို့မဟုတ် steam heating system များမှ အပူဆုံးရှုံးမှု(heat lost) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော်လည်း ပူနေသည့်ပိုက်(hot piping)များသည် သေးငယ်ပြီး insulate လုပ်ထားသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် heat loss ပမာဏ အလွန်နည်းသည်။ ထို့ကြောင့် ထည့်တွက်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Heating system များအတွက် ရာခိုင်နှုန်းအနည်းငယ် အပိုဆောင်း(allowance) ထားသည်။

၅.၁၃.၄ Pickup Factor or Allowance

System များကို စတင်မောင်း(start-up)သည့်အခါ ပေါင်းထည့်ရမည့် တန်ဖိုးကို "pickup factor" ဟု ခေါ်သည်။ အဆောက်အဦ၏ heating system ကို (၂၄)နာရီပတ်လုံး မောင်းမထားသည့်အခါ(intermittently heated building ဖြစ်သည့်အခါ) သို့မဟုတ် regular night time temperature setback နည်းကို အသုံးပြုသည့်အခါနှင့် equipment capacity သည် building load နှင့် တူညီရုံမျှသာဖြစ်လျှင် heating equipment သည် အခန်းများ (rooms) အပူချိန်ကို design temperature သို့ ရောက်အောင် အချိန်အနည်းငယ်အတွင်း၌ ပြုလုပ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထိုကဲ့သို့ အခြေအနေမျိုး မဖြစ်ပေါ်စေရန်အတွက် central heating equipment များ၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်သည့် အခါ pickup loss allowance ထည့်သွင်းထားသင့်သည်။

တချို့သော ဒီဇိုင်နာများသည် (၁၀)ရာခိုင်နှုန်းခန့် အပိုဆောင်း(extra 10% loss)ထားသည်။ 10°F night setback ပြုလုပ်သည့် Intermittently heated building များအတွက် 40% အထိ အပိုဆောင်းထားကြသည်။ Residential equipment များအတွက် ထိုသို့ အပိုဆောင်းထားခြင်းကြောင့် equipment အရွယ်အစားကြီးမားလာပြီး ကုန်ကျစရိတ် ပိုများနိုင်သည်။

ကြီးမားသည့် အဆောက်အဦ(large building)များတွင် equipment sizing allowance ထားခြင်းသည် setback အတွက် ထုံးစံ(standard practice) မဟုတ်ပေ။ တခြားသောနည်း(strategies)များ ရှိသည်။ အခန်းအပူချိန် (space temperature)ကို design temperature သို့ လုံလောက်သည့်အချိန်(sufficient time)အတွင်း ရောက်စေရန် system ကို အချိန် အနည်းငယ်စောၗ မောင်းနိုင်(start earlier)သည်။

ကြီးမားသည့် အဆောက်အဦ(large building)များတွင် ဘွိုင်လာများ(multiple boiler)နှင့် excess standby capacity ထားရှိကြသည်။ ဘွိုင်လာထုတ်လုပ်သူများ၊လုပ်ငန်းလုပ်ကိုင်သူများ(boiler industry)က piping နှင့် pickup factor(allowance)ကို ဘွိုင်လာအရွယ်အစား ရွေးချယ်မှု ပြုလုပ်သူများအတွက် မဖြစ်မနေ ဖော်ပြပေးရန် လိုသည်။ Standard piping နှင့် pickup factor သည် 15% မှ 25% အတွင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ဘွိုင်လာအမျိုးအစား(boiler type) နှင့် အရွယ်အစား(size)ပေါ်တွင် မူတည်ၗ လက်တွေ့အခြေအနေတွင် piping နှင့် pickup losses များ ပြောင်းလဲနိုင်သည်။

၅.၁၃.၅ Net and Gross Heating Load

Net heating load သည် အပူပမာဏ(amount of heat) ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦအတွင်းရှိ အခန်းများ အားလုံး(building rooms) လိုအပ်သည့် system heating loss (ducts, piping, pickup) များသည် room load တွင် မပါဝင်ပေ။ မသက်ဆိုင်ပေ။ ထို load များသည် boiler သို့မဟုတ် furnace အတွက်ဖြစ်သည်။ Net load နှင့် ပေါင်း၍ စုစုပေါင်းတန်ဖိုးကို "gross heating load" ဟု ခေါ်သည်။ Heating equipment များ ထုတ်ပေးရမည့် အပူပမာဏ(heat output) ဖြစ်သည်။

ဥပမာ (၅-၁၇)

အဆောက်အဦတစ်ခု၏ building net heating load သည် 350,000 BTU/hr ဖြစ်သည်။ လေယိုစိမ့်မှု(leakage)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် duct heat transfer loss နှင့် heat loss နှစ်ခုပေါင်းသည် 10% ဖြစ်သည်။ အခန်းအပူချိန်(space temperature)ကို ညအချိန်တွင် 10°F set back ပြုလုပ်သည်။ Building gross heating load (the required furnace capacity)ကို ရှာပါ။

အဖြေ

System loss များကို ပေါင်း၍ net load တန်ဖိုးရရှိသည်။

Net heating load = 350,000 BTU/hr
Duct losses = 0.10 x 350,000 = 35,000
Pickup allowance = 0.40 x 350,000 = 140,000
Furnace capacity (gross load) = 525,000 BTU/hr

ညအချိန်တွင် 10°F set back ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် pickup allowance 40% ထည့်တွက်သည်။

Service (Domestic) Hot Water Heating

တစ်ခါတစ်ရံ boiler မှ heat output ကို space heating အတွက်သာမက hot water service (kitchens, baths စသည့်တို့) အတွက်ပါ အသုံးပြုသည်။ Hot water system အတွက် load တွက်နည်းကို ASHRAE Handbook များမှ လေ့လာနိုင်သည်။ ဤစာအုပ်တွင် hot water service အကြောင်း မပါဝင်ပါ။

၅.၁၄ Summary of Heating Load Calculation Procedures

Heating load တွက်နည်း အဆင့်ဆင့်(step-by-step instruction)ကို ဖော်ပြထားသည်။ တစ်ခန်းချင်းစီ၏ ဒေတာ(individual room data)နှင့် ရလဒ်များ(results)ကို room heating load calculations form ကို ပုံ(၅-၁၂) တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ပုံ(၅-၁၃)သည် building heating load calculations form ဖြစ်သည်။ ထို form များ သည် residential နှင့် commercial အဆောက်အဦ(၂)မျိုးစလုံးအတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။

၅.၁၄.၁ Room Heating Load Calculations

Room Heating Load တွက်နည်း

(၁) သင့်လျော်သည့် အခန်းအတွင်း ဒီဇိုင်းအပူချိန်(indoor design temperature)နှင့် အခန်းပြင်ပ ဒီဇိုင်းအပူချိန် (outdoor design temperature)များကို table 1.1 နှင့် A.9 မှ ရွေးချယ်ပါ။

(၂) အတိုင်းအတာ-အကျယ်-အမြင့်-အရှည်(dimensions)များကို ဗိသုကာပုံ(architecture plans)မှ ရယူပါ။ အခန်း တိုင်း(each room)အတွက် heat transfer ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် ပြင်ပနံရံများ၏ဧရိယာ၊ ပြတင်းပေါက်များ၏ ဧရိယာ (areas of exposed windows, walls, and so forth) တို့ကို တွက်ယူပါ။

(၃) သင့်လျော်သည့် overall heat transfer coefficients (U-value) ကို tables 3.1 ، A.6 — A.8 မှ ရွေးချယ်ပါ။ ، သို့မဟုတ် table A.4 and A.5 တို့မှ R-value များကို ဖတ်ယူ၍ တွက်ချက်ပါ။

Room Heating Load Calculations

P. _____ of _____ PP.

Project _____ Location _____ Indoor DB _____ F

Engrs. _____ Calc. by _____ Chk. by _____ Outdoor DB _____ F

Room																								
Plan Size																								
Heat Transfer	*U* ×	*A* ×	TD =	BTU/hr	*U* ×	*A* ×	TD =	BTU/hr	*U* ×	*A* ×	TD =	BTU/hr												
Walls																								
Windows																								
Doors																								
Roof/ceiling																								
Floor																								
Partition																								
Heat Transfer Loss																								
Infiltration	(CFM) 1.1 × *A* × *B* × TC =					(CFM) 1.1 × *A* × *B* × TC =						(CFM) 1.1 × *A* × *B* × TC =												
Window	1.1					1.1						1.1												
Door	1.1					1.1						1.1												
Infiltration Heat Loss																								
Room Heating Load																								

Room																								
Plan Size																								
Heat Transfer	*U* ×	*A* ×	TD =	BTU/hr	*U* ×	*A* ×	TD =	BTU/hr	*U* ×	*A* ×	TD =	BTU/hr												
Walls																								
Windows																								
Doors																								
Roof/ceiling																								
Floor																								
Partition																								
Heat Transfer Loss																								
Infiltration	(CFM) 1.1 × *A* × *B* × TC =					(CFM) 1.1 × *A* × *B* × TC =						(CFM) 1.1 × *A* × *B* × TC =												
Window	1.1					1.1						1.1												
Door	1.1					1.1						1.1												
Infiltration Heat Loss																								
Room Heating Load																								

Infiltration CFM	Column A	Column B
Windows	CFM per ft	Crack length, ft
Doors	CFM per ft^2	Area, ft^2

ပုံ ၅-၁၂ Room heating load calculations form.

(၄) အခန်း(room)၏ အပြင်ဘက် မျက်နှာပြင်(exposed surfaces) အားလုံးအတွက် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat transfer loss)ကို တွက်ပါ။ (equation 5.8) room heat transfer loss အားလုံးကို ပေါင်းပါ။

(က) မြေအောက်ရှိ ကြမ်းခင်း(basement floor) နှင့်နံရံ(wall) တို့၏ U-value များကို table 3.2 နှင့် outdoor ground temperature တို့မှ ဖတ်ယူနိုင်သည်။

(ခ) မြေပြင်အထက်ရှိ floor slab များအတွက်နှင့် အပြင်ဘက်အခန်းများ(exterior rooms)အတွက် edge loss ကို (equation 5.9 and table 5.3) တို့မှ ရနိုင်သည်။

(၅) Room infiltration heat loss ကို တွက်ပါ။ Crack method ကို အသုံးပြု၍ တွက်ပါ။

(က) ပြတင်းပေါက်အက်ကြောင်းအရှည်(window crack lengths)နှင့် တံခါးဧရိယာ(door areas)ကို ဗိသုကာပုံများ(architectural plans) မှ ရရှိနိုင်သည်။ ထောင့်ခန်းများ(corner rooms)အတွက် နံရံ(wall) တစ်ဖက်ကိုသာ ထည့်တွက်ရမည်။

(ခ) Table 5.4 သို့မဟုတ် အလားတူဇယား(equivalent)မှ infiltration rate ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

(ဂ) Equation 5.10 ကို အသုံးပြု၍ infiltration heat loss ကို တွက်ယူနိုင်သည်။ အဆောက်အဦးသည် mechanical ventilation system ကို အသုံးပြု၍ ဖိအားမြင့်တက်အောင်(pressurized) ပြုလုပ်ထားပါက infiltration loss များကို လျစ်လျူရှုနိုင်(considered negligible)သည်။ ထည့်တွက်ရန် မလိုအပ်ပါ။

(၆) Room heating load ကိုရှာပါ။

$$\textbf{Room heating load} = \textbf{room heat transfer loss} + \textbf{room infiltration loss}$$

၅.၁၅ Building Heating Load

ပုံ (၅-၁၃)သည် Building heating load calculations form ဖြစ်သည်။ Building heating load တွက်ရန် အဆင့်များကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) အပြင်ဘက်နံရံများ(exposed surfaces)ကို ဖြတ်၍ ဖြစ်ပေါ်မည့် heat transfer losses ကို တွက်ပါ။ (total exterior areas of the walls, roof, and so forth စသည်တို့၏) ပြင်ပမျက်နှာပြင် ဧရိယာကို အသုံးပြု၍ တွက်ပါ။ အခန်း တစ်ခန်းစီ၏ မျက်နှာပြင်တို့မှ တွက်ယူလျှင် အမှားပိုများနိုင်သည်။

(၂) အဆောက်အဦးအတွင်း(interior)၌ ဖိအားများအောင်(pressurize) မပြုလုပ်ထားလျှင် သော်လည်းကောင်း mechanical ventilation မတပ်ဆင်ထားလျှင်သော်လည်းကောင်း infiltration ဖြစ်ခြင်းကြောင့် heat loss ဖြစ်ပေါ်သည်။

Infiltration ပမာဏကို ရှာရန်

(က) အဆောက်အဦ(building)အတွင်းရှိ အပေါက်များ အားလုံး(all opening)၏ ဖြစ်ပေါ်သည့် infiltration (CFM) ကို ရှာရန် crack method အသုံးပြုနိုင်သည်။

(ခ) Infiltration CFM နှင့် equation 5.10 ကို အသုံးပြု၍ building infiltration heat loss ကို တွက်ယူပါ။

(၃) Building တွင် mechanical ventilation တပ်ဆင်ထားလျှင် အတွင်း(interior)၌ လုံလောက်သည့် ဖိအား (pressures) ရှိလျှင် ventilation heat load ကို တွက်ပါ။ Infiltration heat loss ကို တွက်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Ventilation load ကို အောက်ပါအတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

(က) Table 6.17 မှ outside ventilation air (CFM)ကို ရွေးချယ်ပါ။

(ခ) Equation 5.10 ကို အသုံးပြု၍ ventilation sensible heat load ကို တွက်ပါ။

(ဂ) Building ကို humidified လုပ်ရန် လိုလျှင် equation 5.11 ဖြင့် ventilation latent heat load ကို တွက်ပါ။

(၄) Building net heating load ကို တွက်ပါ။

$$\textbf{Building net heating load} = \textbf{building heat transfer loss} + \textbf{infiltration loss}$$

(၅) Duct loss နှင့် piping and pickup allowance စသည့် system loss များကို ရှာပါ။ (Section ၅.၁၁).

(၆) ဘွိုင်လာ(boiler)ကို အသုံးပြုထားလျှင် service hot water load ကို တွက်ပါ။

(၇) Building Gross Heating Load(BGHL)ကို တွက်ပါ။ BGHL ကို အခြေခံ၍ furnace/boiler အရွယ်အစား (capacity)ကို ရွေးချယ်ကြသည်။

$$\textbf{Gross heating load} = \textbf{Net load} + \textbf{Ventilation loads} + \textbf{System losses} + \textbf{hot water service load}$$

An example of heating load calculations for a building may be found in Example Project I in Chapter 17. The student is advised to read Sections 17.1 and 17.2 at this point for an account of some practical problems encountered in doing an actual estimate.

The following Web sites provide heating load calculation software:

(၁) www.hvac-calc.com (၄) www.elitesoft.corn

(၂) www.wrightsoft.com (၅) www.carmelsoft.com

(၃) www.hvacsoft.com

Building Heating Load Calculations

Project _____

Location _____ Calc. by _____

Engineers _____ Chk. by _____

	DB, F	W', gr/lb
Intdoor		
Outdoor		
Diff.		

Heat Transfer	Q =	U	×	A	×	TD	=	BTU/hr
Roof								
Walls								
Windows								
Doors								
Floor								

Heat Transfer Subtotal	
Infiltration $Q_s = 1.1 \times$ _____ CFM × _____ TC =	
Building Net Load	
Ventilation $Q_s = 1.1 \times$ _____ CFM × _____ TC =	
$Q_L = 0.68 \times$ _____ CFM × _____ gr/lb =	
Duct Heat Loss _____ %	
Duct Heat Leakage _____ %	
Piping and Pickup Allowance _____ %	
Service HW Load	
Boiler or Furnace Gross Load	

ပုံ ၅-၁၃ Building heating load calculations form.

၅.၁၆ Energy Conversation

Building heating load ကို လျှော့ချနိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျှော့ချနိုင်သည်။ အောက်တွင် building heating load လျှော့ချနိုင်သည့်နည်းများကို ဖော်ပြထားသည်။ (major opportunity for energy conservation)

(၁) အဆောက်အဦတစ်ခုလုံး(building construction)တွင် insulation ကောင်းအောင်၊ထူအောင်လုပ်ပါ။ လွန်ခဲ့သည့် အချိန်က တည်ဆောက်ခဲ့သည့် အဆောက်အဦများတွင် insulation မလုံလောက်(inadequate)သောကြောင့် စွမ်းအင်ဖြုန်းတီးရာ(wasteful of energy)ရောက်သည်။ အအေးပိုင်းဇုန်(colder climates)တွင် ရှိသည့် လူနေအဆောက်အအုံများ(residential buildings)၌ overall roof-ceiling resistance အတွက် R-20 မှ R-30 အဆင့်ကို အသုံးပြုသင့်သည်။

(၂) အဆောက်အဦအတွင်း လူများမရှိချိန်(unoccupied periods)တွင် setback(lowering of temperature) ကို အသုံးပြု(practice)သင့်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လူများရှိနေချိန်တွင် heating system ၏ အပူချိန် set point ကို အနည်းငယ် လျော့ချထားသင့်သည်။

(၃) ဆောင်းရာသီတွင် အလွန်မြင့်သည့် အပူချိန်ကို မချိန်(set)ဘဲ သက်သောင့်သက်သာဖြစ်ရုံ အပူချိန်ကိုသာ ချိန်ထားသင့်သည်။ (Use inside winter design temperatures that provide comfort but not excessive temperature.)။ မလိုအပ်ဘဲ အလွန်မြင့်သည့် အပူချိန် မထားသင့်ပါ။ အခန်းအပူချိန် 75°F ကို မလိုအပ်ဘဲ မချိန်(set point)သင့်ပါ။ အခန်း အပူချိန်ကို 68°F မှ 72°F အတွင်း သင့်ရုံထိန်ထားသင့်သည်။

(၄) ပြတင်းပေါက်များနှင့် တံခါးများအားလုံးတွင်(all windows and doors) weather-stripped များ တပ်ဆင်ထားပါ။ Mild climate မှလွဲ၍ အအေးပိုင်းဇုန်တွင် ရှိသည့် အဆောက်အဦများအတွက် double glass သို့မဟုတ် storm windows များကို အသုံးပြုပါ။

(၅) မှန်ကန်သည့် တွက်နည်း(correct procedures)ကို အသုံးပြု၍ အပူဆုံးရှုံးမှု(heat losses)ကို တွက်ပါ။

(၆) စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့နည်း(reducing energy consumption)စေရန်အတွက် အဆောက်အဦ၏ ဗိသုကာဒီဇိုင်း မျက်နှာမူရာဘက်၊ အသုံးပြုသည့် မှန်အမျိုးအစားနှင့် မှန်မျက်နှာပြင် ဧရိယာ စသည်တို့ (orientation, use of glass, type of materials, and so forth)ကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားပါ။

(၇) သင့်လျော်သည့်၊ လိုက်လျောညီထွေဖြစ်သည့် energy conservation construction standard များကို လိုက်နာပါ။

၅.၁၇ Review Questions

1. What is the heating load and what items make it up?
2. What is the infiltration loss?
3. What is the ventilation load?
4. Define resistance and conductance. What is their relationship?
5. What are the two methods for estimating infiltration?
6. How is the infiltration for a corner room found when using the air change method?
7. What is meant by the term setback?
8. What outside temperature is used to find the heat transfer from below grade surfaces?
9. Through what part of a-building is the heat transfer loss proportional to the perimeter?

၅.၁၈ Problems

3.1 A homeowner asks an energy consultant to find the heat loss from his home. On one wall, measuring 15 ft by 9 ft (without windows), the consultant measures a temperature of 66°F on the inside surface of the wall and 18°F on the outside surface. The wall has a thermal resistance of 0.35 ft^2-°F-hr/BTU. What is the rate of heat loss through the wall?

5.2 An insulating material has a thermal conductivity of k = 0.23 BTU/hr-ft2-°F per inch. How many inches of the material should the contractor install if energy conservation specifications call for insulation with an R-12 value?

5.3 Find the overall R value and U factor in winter for the wall with construction as shown in Figure 5.14.

5.4 The wall in Problem 5.3 is 30 ft long by 12 ft high. The indoor temperature is 70°F. What is the heat transfer loss through the wall on a day when the outdoor temperature is —5°F?

5.5 A state energy code requires a certain wall to have an overall R-15 value. What must be the R-value of insulation added to the wall in Problem 5.3?

5.6 A roof is constructed of built-up roofing on top of a metal deck, R-5.5 insulation, with a suspended V2 in. acoustical tile ceiling. Calculate the R-value of the roof in winter. Com-pare the result with the value from table A.6.

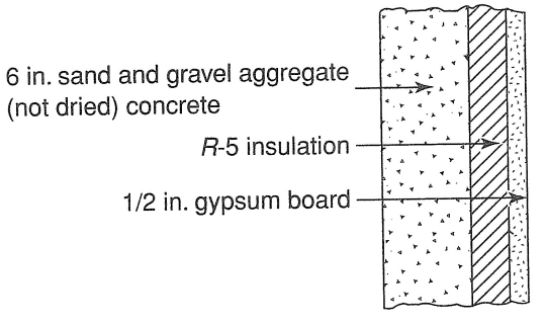
5.7 Find the R-value of the roof in Problem 5.6 if 2 in. more of glass fiber insulating board is added.

5.8 Calculate the heat transfer loss through a 4 ft 6 in. wide by 3 ft high wood sash window with indoor and outdoor temperatures of 68°F and 3°F, respectively.

5.9 Calculate the heat transfer loss through a 25 ft by 30 ft roof-ceiling of a house with pitched asphalt shingle roof, vented attic, R-8 insulation, and 1/2 in. acoustical tile on furring ceiling. Inside and outside temperatures are 72°F and —2°F.

5.10 What is the heat transfer loss through a 40 ft by 20 ft basement floor when the room is at 65°F and the ground temperature is 50°F?

5.11 A warehouse in Cleveland, Ohio. built on grade, is 100 ft by 40 ft in plan. The wall construction is 4 in. block with brick facing. R-5 insulation is used around the edge. The inside temperature is 68°F. What is the heat loss through the floor?



ပုံ ၅-၁၄ Sketch for Problem 5.3.

5.12 Find the sensible heat loss from infiltration through a casement window with a 3 ft wide by 4 ft high operable section if the infiltration rate is 0.8 CFM/ft. The room temperature is 69°F and the outdoor temperature is —8°F.

5.13 A room 15 ft by 20 ft by 10 ft has an air infiltration rate of 1.5 air changes per hour. The room is at 72°F and the outdoor temperature is 1°F. What is the heat loss from infiltration?

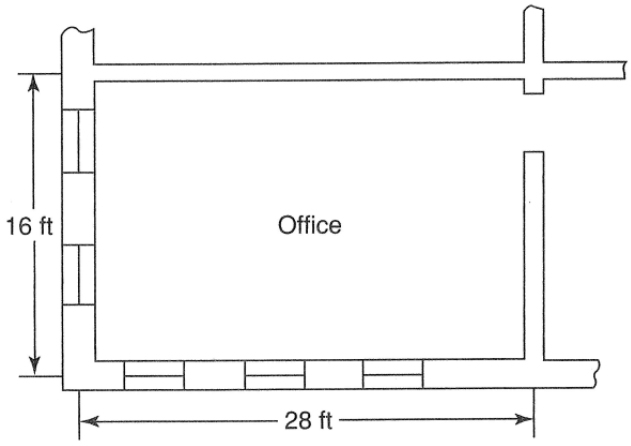
5.14 A building in Milwaukee, Wisconsin, has 2000 ft^2 of single-glazed vinyl frame windows. The inside temperature is 72°F. Using the recommended outdoor winter design temperature, calculate the design heat transfer loss through the windows.

5.15 To save energy, it has been decided to install double glass windows on the building in Problem 5.14. What is the reduction in the design heat transfer loss?

5.16 Find the total heat loss from heat transfer and infiltration through a single-glazed 5 ft wide

by 4 ft high double-hung vinyl frame window in a building in Springfield, Illinois, maintained at 71°F. The infiltration rate is 0.6 CFM/ft.

5.17 A corner room in a building in Pittsburgh, Pennsylvania, has two 3 ft wide by 4 ft high casement windows on one side with an infiltration rate of 0.7 CFM/ft, and a 7 ft by 3 ft door on the other side with an infiltration rate of 1.2 CFM/ft. The room is at 68°F. Find the design infiltration heat loss from the room.



ပုံ ၅-၁၅ Sketch for Problem 5.3.

5.18 Find the total heat loss through the exterior wall and windows of a room at 72 F, as described:

Wall:	8 in. concrete. R-5 insulation, 0 in. gypsum wallboard. 30ft long by 15ft high
Windows:	(5) 4 ft wide by 4 ft high double glass, aluminum frame. casement type.
Infiltration rate	0.5 CFM/ft
Location:	Salt Lake City, Utah

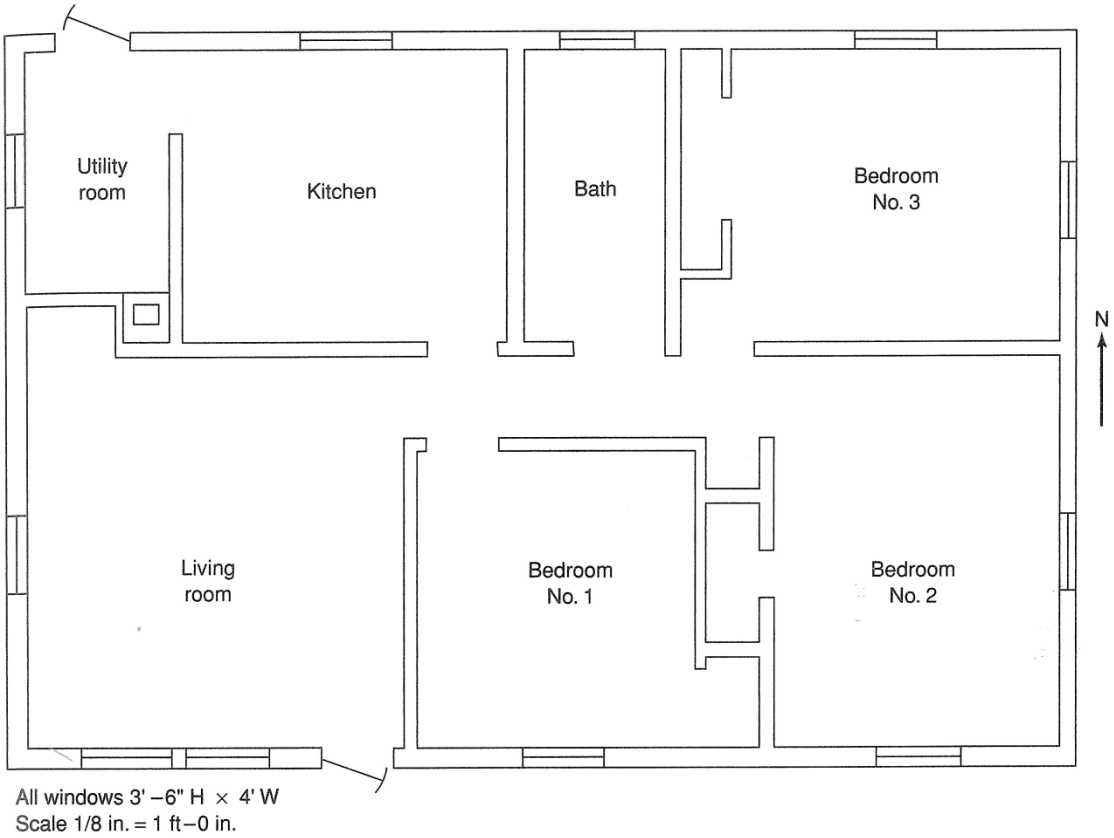
5.19 Find the design heat loss from the room shown in Figure 5.15 on an intermediate floor in an office building in Toronto, Ontario. Use recommended energy conservation design values suggested in this chapter.

Wall:	4 in. face brick. 8 in. cinder block. 1/2 in. furred gypsum wallboard
Windows:	4 ft wide by 5 ft high, double glass. double-hung. vinyl frame
Ceiling height:	9ft

5.20 Calculate the individual room heating loads and building heating load for the house shown in Figure 5.16. Use recommended energy conservation design values.

Location:	Hartford, Connecticut
Walls:	wood siding. building paper, wood sheathing. R-4 insulation. 3;8 in. gyp SU/11 board interior
Windows:	double-hung. wood sash, single glass
Roof:	pitched. asphalt shingles. Building paper, wood sheathing, R-8 insulation. gypsum board ceiling. attic
Doors:	10 in. wood. 7ft high
Ceiling height:	9ft. No basement

5.21 Calculate the heating load for the building shown in Figure 5.17. The building is constructed on grade.



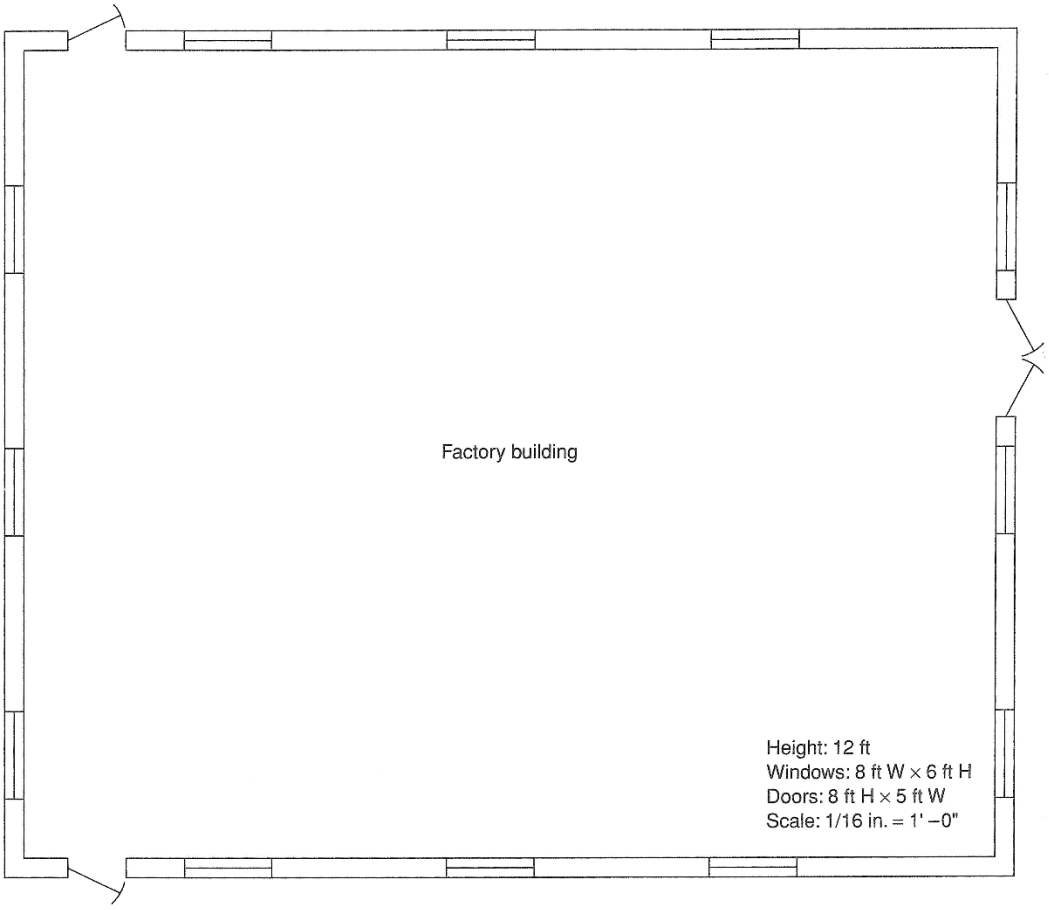
ပုံ ၅-၁၆ Building plan for Problem 5.20.

Location:	Topeka, Kansas. Factory
Walls:	8 in. concrete block, Furred gypsum board
Windows:	double· glazed, aluminum frame
Mechanical ventilation:	2500 CFM
Doors:	1 in. wood
Roof:	4 in. lightweight concrete, finished ceiling

Computer Solution Problems

5.22 Solve Problems 5.19, 5.20, and 5.21 using heating load calculation software available from one of the following Web sites:

www.carmelsoft.com
www.elitesoft.com



ပုံ ၅-၁၇ Building plan for Problem 5.21.

-End-