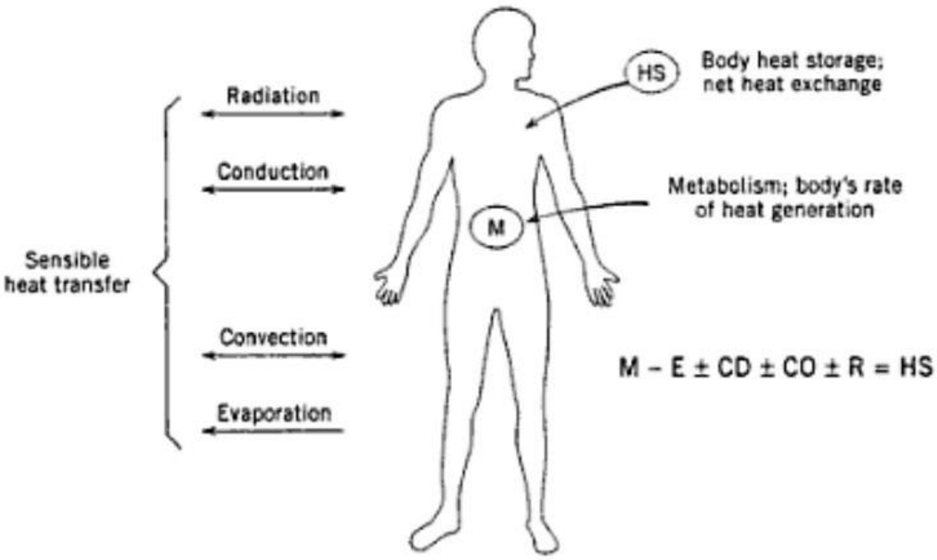
# Chapter-1
# Thermal Comfort

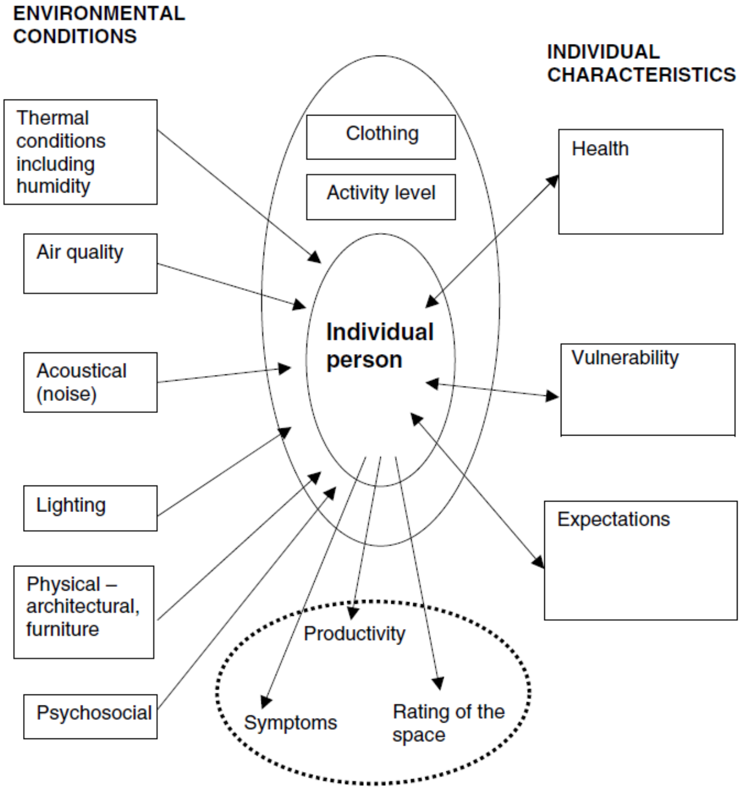
Cooling load တွက်နည်းများကို မလေ့လာခင် thermal comfort အကြောင်းကို အရင်ဦးစွာလေ့လာသဘောပေါက်ထားသင့်သည်။ Cooling load တွက်ချက်ရန် အချက်အလက်(data)ပေါင်းများစွာ လိုအပ်သည်။ ထိုအချက်အလက်များအနက် အခန်းအတွင်း ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(indoor design condition)နှင့် ပြင်ပအခြေအနေ (outdoor conditioning)တို့သည် အလွန်အဓိကကြသည့် data များ ဖြစ်ကြသည်။ Cooling load တွက်ချက်ခြင်းကို မလေ့လာခင် thermal comfort အကြောင်းကို အရင်ဦးစွာ ဗဟုသုတရစေရန် နှင့် thermal comfort ၏ အရေးပါပုံကို သိနားလည်စေရန်အတွက် ပထမဦးဆုံးအခန်းအဖြစ် ရေးသားဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။ Cooling load တွက်နည်းများ မည်မျှကျွမ်းကျင်နေပါစေ indoor design condition ကို နားမလည်ဘဲ လိုအပ်ချက်များကို ကောင်းစွာ မသတ်မှတ်နိုင်ပါက ပြဿနာများကို မလွဲမသွေ ရင်နိုင်ကြုံတွေ့ ရနိုင်သည်။




ပုံ ၁-၁ လူ့ခန္ဓာကိုယ်၏ အပူကူးပြောင်းပုံ

ဤအခန်းတွင် thermal comfort နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်များကို ဖော်ပြထားသည်။ Thermostat တွင် ဖော်ပြနေသည့် လေအပူချိန်သည် thermal comfort ကောင်းခြင်း၊ ဆိုးခြင်းကို ကိုယ်စားပြု ဖော်ပြနိုင်သည့် အကောင်းဆုံး ဖော်ပြချက်(best indicator)တစ်ခု မဟုတ်ကြောင်း သတိပြုသင့်သည်။

Thermal comfort နှင့်သက်ဆိုင်သည့် အခြေအနေများသည် (၁၅)မိနစ်ထက် ပိုကြာမြင့်စွာ နေထိုင်မည့်သူများ၊ နေရာများ အတွက်သာ အကျုံးဝင်သည်။ ဥပမာ- ဓာတ်လှေကားစောင့်သည့်နေရာ(lift lobby)၊ ကော်ရစ်ဒါ(corridor) စသည့် နေရာများ နှင့် မသက်ဆိုင်ဟု ယူဆနိုင်သည်။

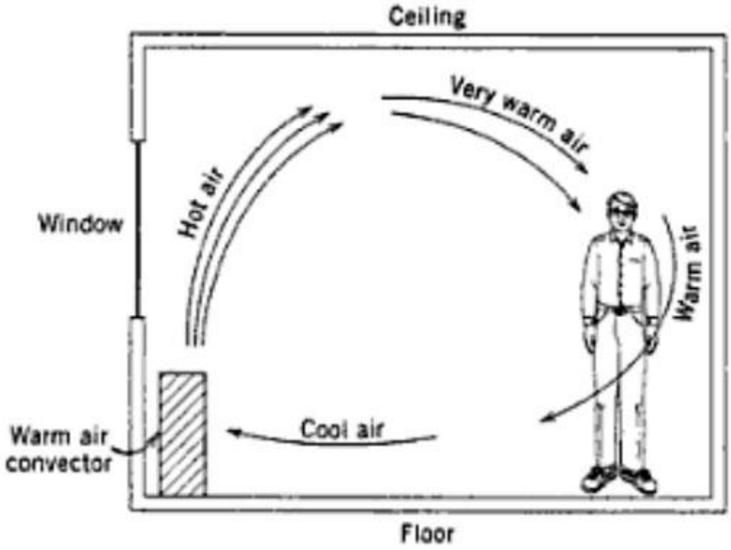



ပုံ ၁-၂ Personal Environment Model (adapted with permission from The construct of comfort: a framework for research, by W.S. Cains)

## ၁.၁ လူ့ခန္ဓာကိုယ်၏ အပူများ ကူးပြောင်းခြင်း (Heat Transfer of Human Body)

လူ့ခန္ဓာကိုယ်တစ်ခုအား အပူထုတ်ပေးသည့်အရာ(heat source)အဖြစ် သတ်မှတ်လိုက်သည့်အခါ heat source မှ အနီးဝန်းကျင် (environment)သို့ အပူများသည် conduction ၊ convection ၊ radiation နှင့် evaporation နည်းဖြင့် စီးဆင်းသွားသည်။ Conduction ၊ convection ၊ radiation စသည့်နည်းများဖြင့် လူ့ခန္ဓာကိုယ်ထဲသို့ အပူများ ဝင်ရောက်နိုင်သလို လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများ အပြင်သို့ထုတ်လွှတ်နိုင်သည်။ Conduction ၊ convection ၊ radiation စသည့် နည်းများသည် အပြန်အလှန်ဖြစ်စဉ်(2 way process) ဖြစ်သည်။ သို့သော် ရေငွေ့ပျံခြင်း သို့မဟုတ် ချွေးထွက်ခြင်း(evaporation)ကြောင့် လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများဆုံးရှုံးမှု(body heat loss)သာ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ချွေးထွက်ခြင်း(evaporation)ကြောင့် လူ့ခန္ဓာကိုယ်တွင် အပူတိုးလာခြင်း(body heat gain) မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။

အရာဝတ္ထုနှစ်ခုတို့၏ အပူချိန်ကွာခြားချက် ရှိနေသမျှကာလပတ်လုံး နည်းအမျိုးမျိုးတို့ဖြင့် အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ လူ့ခန္ဓာကိုယ်၏ အပူချိန်သည် အခန်းအတွင်းရှိ အရာဝတ္ထုများ၏ အပူချိန်နှင့် မည်သည့်အခါမျှ အမြဲတူညီလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထို့ကြောင့် လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများဆုံးရှုံးသွားခြင်း သို့မဟုတ် လူ့ခန္ဓာကိုယ် အတွင်းသို့ အပူများဝင်ရောက်လာခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။




ပုံ ၁-၃ လူ့ခန္ဓာကိုယ်၏ အပူကူးပြောင်းပုံ

လူ့ခန္ဓာကိုယ်အတွင်းမှ အပူများ ပြင်ပသို့လည်းကောင်း၊ ပြင်ပမှ အပူများ လူ့ခန္ဓာကိုယ်အတွင်းသို့လည်းကောင်း အောက်ပါ နည်းသုံးမျိုးတို့ဖြင့် အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat exchange) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

**(၁) Conduction**

အပူချိန်မြင့်သည့် လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများ အေးသည့်လေထဲသို့ conduction နည်းဖြင့် အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်စေရန်အတွက် ထိနေသည့်မျက်နှာပြင်(contact surface) ရှိနေရန် လိုအပ်သည်။ ခန္ဓာကိုယ်အတွင်း၌ ထိတွေ့ နေသည့်အရာများ အချင်းချင်း တစ်နေရာမှ အခြားတစ်နေရာသို့ အပူစီးကူးနိုင်သည်။ ထိတွေ့နေသည့် အရာဝတ္ထုနှစ်မျိုး၌ အပူစီးကူးမှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

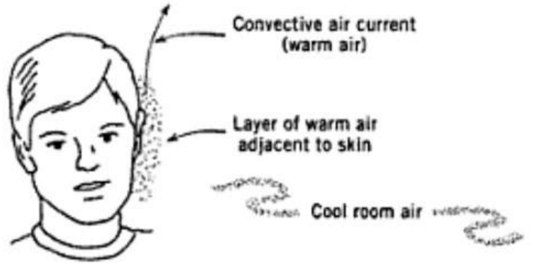
**(၂) Convention**

Convention ဖြစ်ပေါ်မှုသည် အပူချိန်(Dry Bulb temperature) ၊ လေအလျင်(air motion)၊ ဝတ်ဆင်ထားသည့် အဝတ်အစား အမျိုးအစားနှင့်အထူတို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အခန်းအတွင်းရှိ လူ့ခန္ဓာကိုယ်၌ အပူ စီးကူးခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူပမာဏမှာ သိပ်မများပေ။ အရာဝတ္ထုများအနီးရှိ အငွေ့(gas)နှင့် အရည်(liquid)များ ရွေ့လျားနေခြင်းကြောင့် convection နည်းဖြင့် အပူကူးပြောင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ အပူချိန် မတူညီခြင်းကြောင့် သိပ်သည်းဆ ကွဲပြားသည်။ သိပ်သည်းဆ ကွဲပြားသောကြောင့် အငွေ့(gas) နှင့် အရည်(liquid)တို့ ရွေ့လျားသည်။ ထိုသို့ ဖြစ်ခြင်းကို natural convection ဟု ခေါ်သည်။

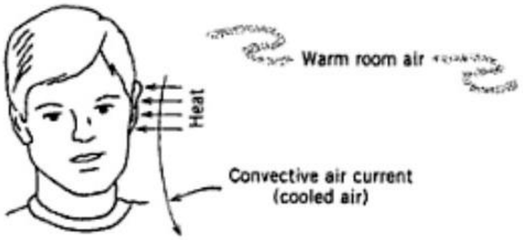
**(၃) Radiation**

Radiation ဆိုသည်မှာ space အတွင်း၌ ရွေ့လျားနေသည့် ဓာတ်ငွေ့(gas)နှင့် အရည်(liquid)တို့ တည်ရှိနေရန် မလိုအပ်ဘဲ(without the presence or movement of matter) အပူချိန် ကွာခြားချက် (temperature differences)ကြောင့် အပူစွမ်းအင်များ အီလက်ထရို မဂ္ဂနက်တစ်လှိုင်း(electromagnetic) များ(တစ်နည်းအားဖြင့် visible infrared) အဖြစ် space  အတွင်း၌ ဖောက်ထွင်း ဖြတ်သန်းသွားခြင်း (transmission)ကြောင့် အပူကူးပြောင်းသွားသည့် ဖြစ်စဉ် ဖြစ်သည်။ အပူများ ထွက်ပေါ်နိုင်သည့် နေရာနှစ်မျိုးရှိသည်။ Radiation နည်းဖြင့် အပူကူးပြောင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်ရန် အခန်း၏ Mean Radiant Temperature(MRT)၊ အခန်း မျက်နှာပြင် နှင့် လူ့ခန္ဓာကိုယ် တစ်ခုလုံး၏ အပူချိန်တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Radiation နည်းဖြင့် အပူကူးပြောင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်ရန် အပူချိန်(Dry Bulb temperature) ၊ စိုထိုင်းဆ(RH) ၊ လေအလျင် (air motion)နှင့် မဖုံးအုပ်ထားသည့်(ပေါ်နေသည့်) အရေပြားပမာဏတို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(၁) ခန္ဓာကိုယ်တွင်းမှ ဇီဝဖြစ်စဉ်များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အပူ(internally generated metabolic heat) နှင့်
(၂) ပြင်ပ ပတ်ဝန်းကျင်မှ သက်ရောက်သည့်အပူများ(externally imposed environmental heat) တို့ဖြစ်သည်။

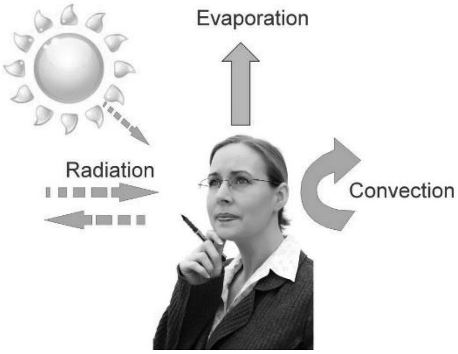



ပုံ ၁-၄ အရေပြားအပူချိန်သည် လေအပူချိန်ထက် ပိုမြင့်နေလျှင် ဖြစ်ပေါ်သည့် convective air current

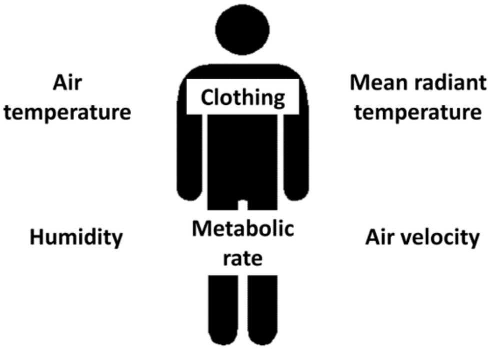



ပုံ ၁-၅ အရေပြားအပူချိန်သည် လေအပူချိန်ထက် ပိုနိမ့်နေလျှင် ဖြစ်ပေါ်သည့် convective air current

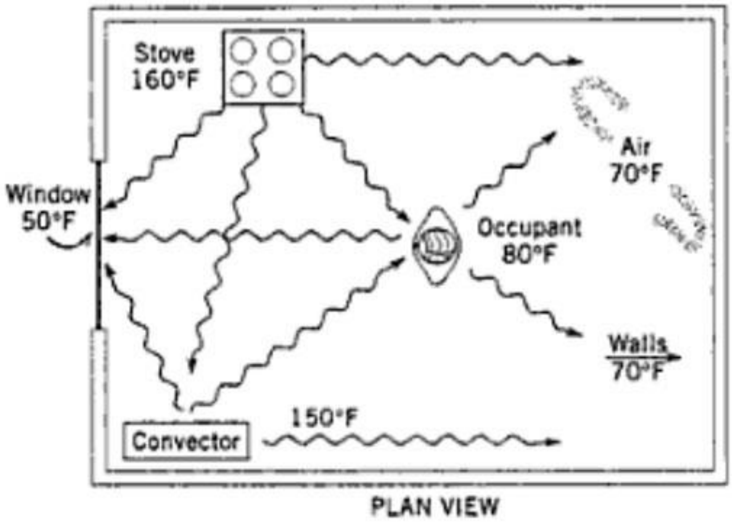
ပုံ (၁-၄)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် convective air current တွင် အရေပြား အနီးမှလေများသည် အပေါ်သို့ တက်သွားသည်။ ပုံ (၁-၅)တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် convective air current တွင် အရေပြား အနီးမှ လေများသည် အောက်သို့ ဆင်းသွားသည်။




ပုံ ၁-၆ Evaporation, Convection and Radiation




ပုံ ၁-၇ ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူကူးပြောင်းစေနိုင်သည့်အချက်များ




ပုံ ၁-၈ လူ့ခန္ဓာကိုယ်၏ အပူကူးပြောင်းပုံ

အထက်ပါပုံ(၁-၈)တွင် အခန်းတွင်း၌ radiantion နည်းဖြင့် အပူ(heat)စီးကူးသည့် ဦးတည်ရာကို မြားဦးခေါင်းဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ အပူချိန်မြင့် အရာဝတ္ထုများအားလုံးမှ အပူချိန်နိမ့်သည့် အရာဝတ္ထုများဆီသို့ radiant heat ထုတ်လွှတ်သည်။ ထို့ကြောင့် အရာဝတ္ထုများ အားလုံး၌ net radiant heat gain သို့မဟုတ် loss ဖြစ်ပေါ်သည်။

အကယ်၍ ခန္ဓာကိုယ် အပူချိန်သည် အခန်းအတွင်းရှိ အရာဝတ္ထုများ၏ အပူချိန်ထက် ပိုမြင့်နေပါက ခန္ဓာကိုယ်တွင် အပူဆုံးရှုံးမှု(net radiant heat loss) ဖြစ်ပေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အေးသည်ဟု ခံစားရလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် သက်သောင့်သက်သာဖြစ်စေရန်အတွက် အခန်းအပူချိန်ကို ခန္ဓာကိုယ်အပူချိန်ထက် အသင့်အတင့် ပိုနိမ့်သည့် အပူချိန် ဖြစ်အောင်ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ခန္ဓာကိုယ် အပူချိန်သည် အခန်းအတွင်းရှိ အရာဝတ္ထုများ၏ အပူချိန်ထက် ပိုနိမ့်နေပါက ခန္ဓာကိုယ်တွင် အပူတိုးလာမှု(net radiant heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပူအိုက်သည်ဟု ခံစားရလိမ့်မည်။

Table 1-2 တွင် အရွယ်ရောက်ပြီးသည့် ယောကျ်ားတစ်ယောက်မှ ထုတ်လွှတ်သည့် sensible အပူပမာဏ နှင့် latent အပူပမာဏကို ဖော်ပြထားသည်။ ထိုထွက်လာသည့် sensible heat နှင့် latent heat ကို တပ်ဆင်ထားသည့် air conditioning system မှ ဖယ်ထုတ်ပစ်ရမည်။ ထုတ်လွှတ်သည့် sensible အပူပမာဏ နှင့် latent အပူပမာဏသည် အခန်း၏ အပူချိန်ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အခန်းပူချိန်နိမ့်လျှင် ခန္ဓာကိုယ်မှ sensible အပူပမာဏ များများ ထုတ်လွှတ်လိမ့်မည်။

Table 1-1 Factors in human heat balance

| Factors | Affected by |
|---|---|
| Metabolism (heat production) | Physical activity |
| Conduction | Temperature and conductivity of contact surfaces (including air) |
| Convection | DB air temperature |
| | Air motion |
| | Amount and type of clothing |
| Radiation | Room MRT |
| | Finish of room surfaces |
| | Overall body temperature |
| Evaporation | DB temperature |
| | RH |
| | Air motion |
| | Amount of exposed skin surface |

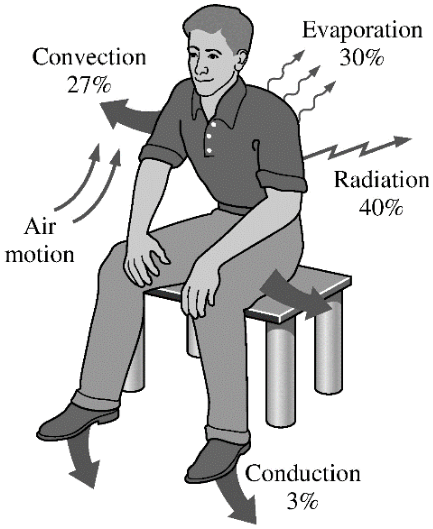



Table 1-1 တွင် အပူကူးပြောင်းနိုင်သည့်နည်းများနှင့် ၎င်းနည်းတို့အား ဖြစ်ပေါ်စေနိုင်သည့် အချက်များကို ဖော်ပြ ထားသည်။

## ၁.၂ Heat Balance on The Body

လူတစ်ဦးချင်း တစ်ယောက်ချင်းစီ၏ အပူချိန် ကြိုက်နှစ်သက်မှုသည် မတူညီကြပေ။ လူတချို့က (၂၀)ဒီဂရီစင်တီဂရိတ်မှ (၂၂)ဒီဂရီ စင်တီဂရိတ် အပူချိန်တွင် သက်သောင့်သက်သာ(comfortable) ဖြစ်သည်ဟု ထင်ကြသည်။ လူချို့က အပူချိန်(၂၂)ဒီဂရီ စင်တီဂရိတ်မှ (၂၄)ဒီဂရီ စင်တီဂရိတ် အတွင်း၌ သက်သောင့်သက်သာ(comfortable) ဖြစ်သည်ဟု ထင်ကြသည်။ သက်သောင့်သက်သာ(comfortable) ဖြစ်မှုသည် ထိုသူ၏ ခန္ဓာကိုယ်အတွင်းမှ အပူ ဆုံးရှုံးမှုနှုန်း အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

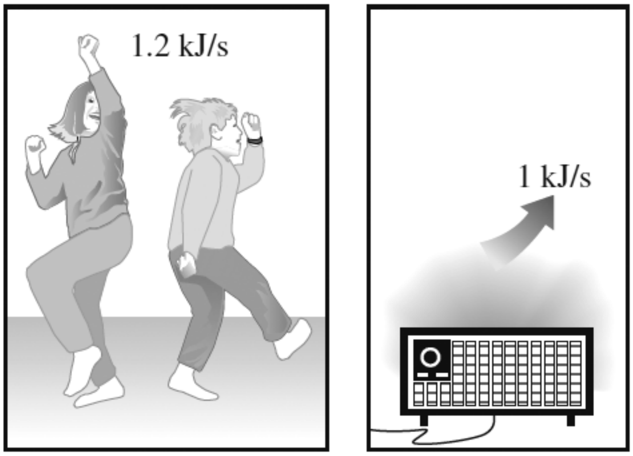
ပုံ ၁-၉ Heat loss from the human body and relative magnitudes for a resting person.

လူ့ခန္ဓာကိုယ်သည် အစားအစာများကို လောင်စာ(fuel)အဖြစ် လောင်မြိုက်နေသည့် မီးဖိုကြီးတစ်ခုသာ ဖြစ်သည်။ လူများ စားသောက်သည့် အစားအစာထဲတွင် ကာဗွန်(carbon)နှင့် ဟိုက်ဒရိုဂျင်(hydrogen)တို့ ပါဝင်သည်။ စားသောက်ပြီးသည့်နောက် အစားအစာများနှင့် ရှူသွင်းလိုက်သည့် လေထဲမှ အောက်စီဂျင်တို့ ဓာတ်ပြုကာ(oxidation ဖြစ်ကာ) ကာဗွန်ဒိုင်အောက်ဆိုဒ်(Carbon dioxide)နှင့် ရေငွေ့(water vapour)တို့ ထွက်လာသည်။ ထိုဖြစ်စဉ်ကို ဆရာဝန်နှင့် သိပ္ပံပညာရှင်များက ဇီဝဖြစ်စဉ်(metabolism)ဟုခေါ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဇီဝဖြစ်စဉ်(metabolism) ဆိုသည်မှာ လူတို့စားသုံးလိုက်သည့် ကာဗိုဟိုက်ဒရိတ်(carbohydrate) ၊ အဆီဓာတ်(fat) နှင့် ပရိုတင်း(protein) တို့ကို ခန္ဓာကိုယ်မှ ချေဖျက် လောင်ကျွမ်းစေပြီး လှုပ်ရှားရန်၊ အလုပ်လုပ်ရန် လိုအပ်သည့်စွမ်းအင် ရယူခြင်းဖြစ်သည်။

လူ့ခန္ဓာကိုယ်သည် အပူချိန်မပြောင်းလဲသည့် ကိရိယာတစ်မျိုး(body is a constant temperature device) ဖြစ်သည်။ လူ၏ ဇီဝဖြစ်စဉ်(metabolism) ကိစ္စများနှင့် ကျန်းမာရန်အတွက် လူ့ခန္ဓာကိုယ်အတွင်း၌ အပူချိန်သည် (၉၈.၆)ဒီဂရီဖာရင်ဟိုက် သို့မဟုတ် (၃၇)ဒီဂရီစင်တီဂရိတ် ခန့်တွင် ရှိနေရန် လိုအပ်သည်။ လူတို့ သွားလာ လှုပ်ရှားရန် အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင်(energy)ကို အစားအစာများမှ ရရှိသည်။ လူတစ်ယောက်၏ သက်သောင့်သက်သာ ထိုင်နေ၊ နားနေသည့်အချိန်ကို basal metabolic အခြေအနေဟု ခေါ်သည်။ ထိုအခြေအနေတွင် ခန္ဓာကိုယ်သည် မည်သည့် ကိုယ်လက်လှုပ်ရှားမှုကိုမျှ မပြုလုပ်ဘဲ အသက်ရှူခြင်း၊ သွေးများကို လည်ပတ်စေခြင်း စသည့် ခန္ဓာကိုယ် အတွင်းရှိ ဇီဝဖြစ်စဉ်များကိုသာ ဖြစ်ပေါ်နေသည်။ Metabolic rate သည် ခန္ဓာကိုယ်မှ စွမ်းအင် သုံးစွဲနှုန်း(energy consumption rate) ပင်ဖြစ်သည်။

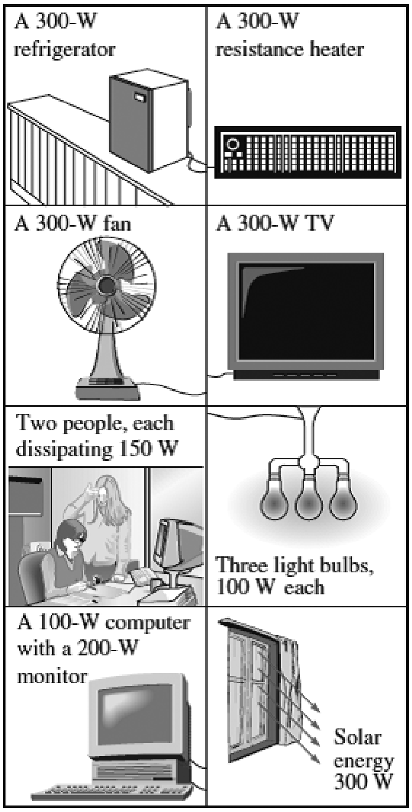
ခန္ဓာကိုယ်အလေးချိန် ကီလို(၇၀) ရှိပြီး၊ မျက်နှာပြင်(surface)ဧရိယာ (၁.၈)စတုရန်းမီတာ ရှိသော အသက် (၃၀)အရွယ်ရှိ ယောကျ်ားတစ်ယောက် နားနေသည့်အခါ၌ basal metabolic rate သည် 84 watt ဖြစ်သည်။ ခန္ဓာကိုယ်သည် တစ်စက္ကန့်လျှင် 84 J ပမာဏရှိသော စွမ်းအင်ကို အသုံးပြုနေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ခန္ဓာကိုယ်သည် တစ်စက္ကန့်လျှင် 84 watt (joules per second) အပူပမာဏကို ခန္ဓာကိုယ်ပြင်ပသို့ အဆက်မပြတ် စွန့်ထုတ်နေသည်။ စားသုံးလိုက်သည့် အစားအစာများက ဓာတုစွမ်းအင်(chemical energy)များကို ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူစွမ်းအင်(thermal energy) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပေးနေသည်။ အစာအိမ်ထဲတွင် ချေဖျက်စရာ အစားအစာ မရှိပါက ခန္ဓာကိုယ်မှ အဆီများကို လောင်ကျွမ်းစေသည်။

ပုံ ၁-၁၀ လူရွယ်တစ်ယောက် နားနေသည့် အခိုက် အပူပမာဏ 84 W စွန့်ထုတ် (dissipate) သည်။




ပုံ ၁-၁၁ အပြင်းအထန် ကခုန်နေသည့် (fast-dancing) လူနှစ်ယောက်မှ ထွက်သည့် အပူပမာဏသည် 1-kW electric resistance heater မှ ထွက်သည့် အပူပမာဏထက် ပိုများသည်။

Metabolic ဖြစ်နှုန်းသည် လူ၏လှုပ်ရှားမှုကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ လူ၏လှုပ်ရှားမှု ပိုများလေ metabolic ဖြစ်နှုန်း ပိုများလေ အပူစွန့်ထုတ်သည့် ပမာဏ ပိုများလေ ဖြစ်သည်။




ပုံ ၁-၁၂ 300 watt အပူပမာဏ

Table 1-2

Approximate energy consumption of a 68-kg adult during some activities (1 Calorie = 4.1868 kJ = 3.968 Btu)

| Activity | Calories/h |
|---|---|
| Basal metabolism | 72 |
| Basketball | 550 |
| Bicycling (21 km/h) | 639 |
| Cross-country skiing (13 km/h) | 936 |
| Driving a car | 180 |
| Eating | 99 |
| Fast dancing | 600 |
| Fast running (13 km/h) | 936 |
| Jogging (8 km/h) | 540 |
| Swimming (fast) | 860 |
| Swimming (slow) | 288 |
| Tennis (advanced) | 480 |
| Tennis (beginner) | 288 |
| Walking (7.2 km/h) | 432 |
| Watching TV | 72 |

ရုပ်မြင်သံကြားစက်ဖြင့် ဥပမာ ပြနိုင်သည်။ TV အထဲတွင် မည်သည့် circuit က မည်သည့်အလုပ်ကို လုပ်ပေးသည် ဖြစ်စေ ရုပ်မြင်သံကြားစက်(TV)မှ 300 watt လျှပ်စစ်စွမ်းအင်ကို အသုံးပြုလျှင် ထို TV မှ 300 watt ကို အပူစွမ်းအင်အဖြစ် စွန့်ထုတ်(reject) ရမည်။ ထိုသဘောတရားမှာ စွမ်းအင်တည်မြဲမှုနိယာမ(Law of Conservation of Energy )ပင် ဖြစ်သည်။

အပြင်းအထန် ကာယလေ့ကျင့်ခန်း ပြုလုပ်သူတစ်ဦး၏ metabolic ဖြစ်နှုန်းသည် သာမန် နားနေချိန်တွင် ဖြစ်သည့် basal metabolic ဖြစ်နှုန်းထက် (၁၀)ဆခန့် ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် အခန်းတစ်ခု အတွင်း၌ လူနစ်ယောက် ကာယလေ့ကျင့်ခန်း ပြုလုပ်နေစဉ် ထွက်လာသည့် အပူပမာဏသည် 1 kW လျှပ်စစ်အပူပေးစက်(heater)မှ ထွက်သည့် အပူပမာဏထက် ပိုများသည်။

လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှ ထွက်သည့် အပူ(heat)သည် total heat ကို ဆိုလိုသည်။ Total heat တွင် sensible heat နှင့် latent heat တို့ ပါဝင်သည်။ လေ့ကျင့်ခန်း အပြင်းအထန် လုပ်နေသည့် အချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် sensible heat ပမာဏမှာ (၄၀)ရာခိုင်နှုန်း ဖြစ်ပြီး latent heat ပမာဏမှာ (၆၀)ရာခိုင်နှုန်း ဖြစ်သည်။ သာမန်လှုပ်ရှားမှု ပြုလုပ်နေချိန်တွင် sensible heat မှာ (၇၀)ရာခိုင်နှုန်းဖြစ်ပြီး latent heat မှာ (၃၀)ရာခိုင်နှုန်း ဖြစ်သည်။ အပြင်းအထန် ကာယ လေ့ကျင့်ခန်း ပြုလုပ်နေစဉ် ခန္ဓာကိုယ်မှ ချွေးထွက်ခြင်း(perspiration)ကြောင့် latent heat ရာခိုင်နှုန်း ပိုများခြင်း ဖြစ်သည်။

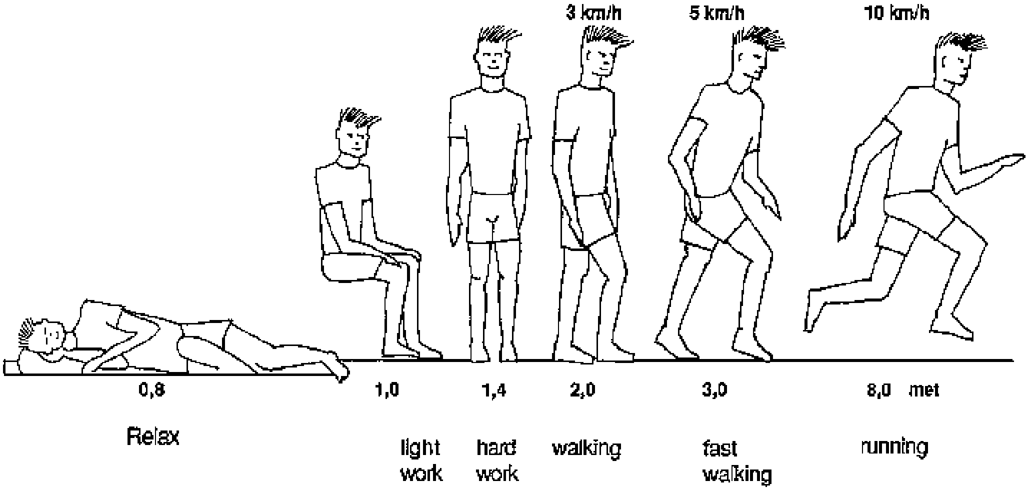
Metabolic rate သည် အသက်အရွယ်၊ ခန္ဓာကိုယ်အရွယ်အစား၊ ကျန်းမာရေး အခြေအနေနှင့် လိင် စသည်တို့အပေါ်တွင် မူတည်၍ ပြောင်းလဲမှုရှိသည်။ အသက်ကြီးလာလေ metabolic rate ကျဆင်းလာလေ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အသက်(၃၀)ကျော်လာလျှင် အစာစားသုံးမှု ပုံမှန်အတိုင်း ဖြစ်သော်ငြားလည်း ကိုယ်အလေးချိန် တိုးလာတတ် ကြသည်။ Metabolic activity သည် ဦးနှောက်(brain)နှင့် အသည်း(liver)တွင် (၅၀)ရာခိုင်နှုန်းခန့်

ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအင်္ဂါနစ်မျိုးသည် ခန္ဓာကိုယ်အလေးချိန်၏ (၄)ရာခိုင်နှုန်းမျှသာ ဖြစ်သည်။ ကလေးများတွင် basal metabolic activity ၏ တစ်ဝက်ကျော် (၅၀ရာခိုင်နှုန်း)သည် ဦးနှောက်တွင် ဖြစ်သည်။

ခန္ဓာကိုယ်ကို control volume အဖြစ် သတ်မှတ်လျှင် အစားအစာသည် အဝင်စွမ်းအင်(energy in) ဖြစ်ပြီး ခန္ဓာကိုယ်မှ ထွက်သည့်အပူ(body heat)သည် အထွက်စွမ်းအင်(energy out) ဖြစ်သည်။ ခန္ဓာကိုယ် အတွင်း၌ မည်သည့် ဖြစ်စဉ်များ မည်ကဲ့သို့ ဖြစ်နေပါစေ အဝင်စွမ်းအင်(energy in) နှင့် အထွက်စွမ်းအင်(energy out) တို့ တူညီရမည်။

သာမန်ယောကျ်ား တစ်ယောက်အတွက် (၂၄၀၀)ကယ်လိုရီ(Calories)မှ (၂၇၀၀)ကယ်လိုရီ(Calories) နေ့စဉ် လိုအပ်သည်။ သို့သော် သာမန် အမျိုးသမီးတစ်ယောက်အတွက်(၁၈၀၀)ကယ်လိုရီ မှ (၂၂၀၀)ကယ်လိုရီ နေ့စဉ် လိုအပ်သည်။

ပုံ ၁-၁၃ Metabolic Rate ( 1 Met = 58 W/m2)




ပုံ ၁-၁၄ Metabolic Rate ( 1 Met = 58 W/m2)

နေ့စဉ်လိုအပ်သည့် ကယ်လိုရီထက် ပိုမိုစားသုံးပါက ပိုသည့် ကယ်လိုရီများကို ခန္ဓာကိုယ်မှ အဆီ(body fat)အဖြစ် သိုလှောင် သိမ်းဆည်းထားသည်။ အကယ်၍ လိုအပ်သည့် ကယ်လိုရီ ပြည့်အောင် စားသုံးခြင်း မရှိသည့် အချိန်တွင် ခန္ဓာကိုယ်မှ အဆီများ(body fat) များကို ချေဖျက် ဖျော်ချပြီး ကယ်လိုရီအဖြစ် ပြောင်းလဲပေးသည်။

ခန္ဓာကိုယ်မှအဆီ(body fat) တစ်ကီလို အလေးချိန်သည် 33.1 MJ ပမာဏရှိသည့် metabolism energy ဖြစ်သည်။ အစားအစာ လုံးဝစားသုံးခြင်း မရှိသူတစ်ယောက်(starving person) သို့မဟုတ် zero energy intake person သည် နေ့စဉ် အသက်ရှင်ရန်အတွက် (၂၂၀၀) ကယ်လိုရီ (9211 KJ) လိုအပ်သည်။ ထို (၂၂၀၀)ကယ်လိုရီကို အဆီများမှ ရရှိသည်။ (9211/ 33100 = 0.28 kg)

လူတစ်ယောက်သည် တစ်နေ့ အစာမစားလျှင် ခန္ဓာကိုယ်မှ အဆီ(body fat) (၀.၂၈)ကီလိုကို ချေဖျက်ပြီး တစ်နေ့တာ လိုအပ်သော စွမ်းအင်ကို ဖြစ်စေသည်။ ထို့ကြောင့် လူတစ်ယောက်သည် အစာမစားဘဲ ရက်ပေါင်း

(၁၀၀)ကျော် အသက်ရှင်နေနိုင်သည်။ ခန္ဓာကိုယ်မှ ရေဓာတ်ဆုံးရှုံးခြင်း(dehydration)နှင့် ဆီးသွားခြင်း တို့ကြောင့် ရေသောက်ရန် လိုအပ်သည်။

လူ၏ energy consumption (metabolism rate)သည် ခန္ဓာကိုယ်၏ အလေးချိန်နှင့် အရွယ်အစားကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။

**ဥပမာ-** အလေးချိန် 68 kg ရှိသော စက်ဘီးနင်းသည့် လူတစ်ယောက်သည် အထက်ပါ ဇယား(table 1-2) အရ 639 ကယ်လိုရီ လိုအပ်လျှင် 50 kg အလေးချိန်ရှိသော စက်ဘီးသမား၏ metabolism rate ကို အောက်ပါ အတိုင်း တွက်ချက်နိုင်သည်။

$$(\mathbf{50\ kg}) \times \frac{\mathbf{639\ Calories/\ hr}}{\mathbf{68\ kg}} = \mathbf{470\ Calories/\ hr}$$

ထို့အတူ အလေးချိန် (၁၀၀)ကီလိုဂရမ်(100 kg) စက်ဘီးသမား တစ်ယောက်အတွက် 960 Calories/hr လိုအပ်မည်။

## ၁.၂.၁ Metabolic Rate

Metabolic rate ဆိုသည်မှာ air con ပညာရပ်အနေဖြင့် အပူစွန့်ထုတ်နိုင်စွမ်း(ability to generate heat) ဖြစ်သည်။ ကြွက်သားလှုပ်ရှားမှု(muscular activity)ကို လိုက်၍ ဖြစ်ပေါ်သည်။ လှုပ်ရှားမှုများလေ ခန္ဓာကိုယ်၏ အပူချိန်မြင့်တက်လေ ဖြစ်ပြီး ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူပမာဏများစွာ ထုတ်လွှတ်လေ ဖြစ်သည်။ Metabolic rate သည် အချက်များစွာ အပေါ်မူတည်သည်။

(၁) အရေပြား မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(Surface area of body)
(၂) အသက် (Age)
(၃) လိင် (Gender)
(၄) လှုပ်ရှားမှု အဆင့်(Level of activity)

အိပ်နေချိန်တွင် အပူပမာဏ 70 W ခန့် ထွက်သည်။ (Sleeping heat output 70 W)။ အလေးအပင် မ,နေချိန်တွင် အပူပမာဏ 440 W ခန့်ထွက်သည်။ (Lifting heat output 440 W.)

## ၁.၂.၂ Metabolic Rate and Sensible Heat Losses form Human body

### Metabolic Rate

Metabolic rate (M) ဆိုသည်မှာ အရေပြား တစ်ယူနစ်ဧရိယာမှ အပူစွမ်းအင် စွန့်ထုတ်နှုန်း(rate of energy release per unit area of skin surface) ဖြစ်သည်။ လူ့ခန္ဓာကိုယ်ရှိ သက်ရှိ ဆဲလ်များ(living cells)၏ oxidative ဖြစ်စဉ်(processes) ဖြစ်သည်။ Metabolic rate သည် လူ့ခန္ဓာကိုယ်လှုပ်ရှားမှု(intensity of the physical activities) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Metabolic rate ၏ ယူနစ်သည် met ဖြစ်သည်။ One met သည် 18.46 Btu/h • $ft^2$ (58.24 $W/m^2$) ဖြစ်သည်။ Table 1-3 ၊ 1-4 ၊ 1-5 နှင့် 1-6 တို့တွင် လှုပ်ရှားမှု အမျိုးမျိုး(various activities)တို့၏ metabolic rate များကို အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

### Mechanical Work

Oxidative process မှ ထုတ်လွှတ်သည့် အပူစွမ်းအင်တချို့တစ်ဝက်သည် လူ့ခန္ဓာကိုယ်(body core)မှ ကြွက်သားများ လှုပ်ရှားမှု(action of the muscles)ကြောင့် အလုပ်(external mechanical work)အဖြစ် ပြောင်းလဲ သွားသည်။ Mechanical work ကို metabolic rate ၏ အစိတ်အပိုင်း(fraction) အဖြစ် ဖော်ပြနိုင်သည်။ လှုပ်ရှားမှု အမျိုးမျိုးတို့၏ met နှုန်းကို Table 1-3 တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Table 1-3 Metabolic Rate for Various Activities

| | Metabolic rate | |
|---|---|---|
| **Activity level** | **Met** | **Btu/h ft$^2$** |
| **Resting** | | |
| Sleeping | 0.7 | 13 |
| Seated, quiet | 1 | 18 |
| **Office work** | | |
| Reading, seated | 1 | 18 |
| Typing | 1.1 | 20 |
| Teaching | 1.6 | 30 |
| **Domestic work** | | |
| Cooking | 1.6–2.0 | 29–37 |
| House cleaning | 2.0–3.4 | 37–63 |
| **Walking** | | |
| Speed 2 mph | 2 | 37 |
| Speed 4 mph | 3.8 | 70 |
| **Machine work** | | |
| Light | 2.0–2.4 | 37–44 |
| Heavy | 4 | 74 |
| Dancing, social | 2.4–4.4 | 44–81 |
| **Sports** | | |
| Tennis, singles | 3.6–4.0 | 66–74 |
| Basketball | 5.0–7.6 | 90–140 |
| Wrestling | 7.0–8.7 | 130–160 |

Adapted with permission from ASHRA Handbook 1989, Fundamentals.

**Met units**

စာသင်ခန်းအတွင်း၌ ထိုင်နေသော ကျွန်ုပ်တို့ ခန္ဓာကိုယ်မှ 1 met (1 unit of metabolic rate) အပူပမာဏ စွန့်ထုတ်နေသည်။ ပတ်ဝန်းကျင်(environment)နှင့် လူ့အရေပြား(skin)တို့၌ အပူဖလှယ်ခြင်း(heat exchange) ဖြစ်ပေါ်သည့် ပမာဏဖြစ်သည်။

1 met = 58.2 w/m$^2$ (SI units) = 18.4 Btu/h/ft$^2$ (i.e. 58.2 x 3.412/10.76 = 198.5784/10.76 = 18.4 )

1 watt = 3.423 Btu/h , 1 m$^2$ = 10.76 ft$^2$

One Calorie is equivalent to 1 Cal = 1 kcal = 4.1868 kJ.

**Work Rate သို့မဟုတ် Metabolic Heat**

လုပ်ရှားမှု(physical work)များလေ လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူစွန့်ထုတ်မှု များလေဖြစ်သည်။ အပူစွန့်ထုတ်မှု များလေ ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူဆုံးရှုံးမှု များလေ ဖြစ်သည်။ Metabolic rate နှင့် thermal comfort တို့ အပြန်အလှန် ဆက်စပ်နေသည်။

Metabolic rate သည် လူ့ခန္ဓာကိုယ်အရွယ်အစား(size) ၊ အလေးချိန်(weight) ၊ အသက်(age) ၊ ကြံ့ခိုင်မှု အဆင့်(fitness level)နှင့် လိင်(sex)တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ လေအပူချိန်(air temperature)၊ စိုထိုင်းဆ (humidity)နှင့် လေအလျင်(air velocity)စသည်တို့ တူညီသည့် အခြေအနေဖြစ်သော်လည်း တစ်ဦးနှင့်တစ်ဦး အပူချိန် (thermal comfort) ကြိုက်နှစ်သက်မှု မတူညီကြပေ။

Table 1-4 Metabolic rates for typical tasks

| လှုပ်ရှားမှု (Activity) | Metabolic rate |
|---|---|
| Reclining | 0.8 |
| Seated, quietly | 1.0 |
| Sedentary activity (office, dwelling, lab, school) | 1.2 |
| Standing, relaxed | 1.2 |
| Light activity, standing (shopping, lab, light industry) | 1.6 |
| Medium activity, standing (shop assistant, domestic work, machine work) | 2.0 |
| High activity (heavy machine work, garage work) | 3.0 |

©ASHRAE

(a) For whole-body average heat production in watts and Btu per hour (see course text) (b) One met = 58.2 W/m2 = 18.4 Btu/h $ft^2$ In this room with 40-50 bodies, waste body heat alone is equivalent to a 4-5 kW fire burning! In most buildings the problem is one of cooling, not heating, for much of the year.

Table 1-5 Metabolic rates for typical tasks

| Activity | met* |
|---|---|
| Sleeping | 0.7 |
| Reading or writing, seated in office | 1 |
| Filing, standing in office | 1.4 |
| Walking about in office | 1.7 |
| Walking 2 mph | 2 |
| House cleaning | 2.0 to 3.4 |
| Dancing, social | 2.4 to 4.4 |
| Heavy machine work | 4 |

Typical Metabolic Heat Generation for Various Activities (Standard 55, Normative Appendix A, Extracted data) [*1met = 50 kcal/(h · $m^2$)]

### အရေပြားမျက်နှာပြင်ဧရိယာ (Surface Area of Body)

၁၉၁၆ ခုနှစ်တွင် D. DuBois ဖော်ထုတ်ခဲ့သည့် အဝတ်မပါသည့် ခန္ဓာကိုယ်၏ မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(surface area of a nude body)တွက်ရန် ပုံသေနည်းကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

$$A_S = 0.202\, m^{0.425}\, h^{0.725} \qquad (m^2)$$

where m is the mass of the body in kg and h is the height in m.

အရွယ်ရောက်ပြီးသည့် လူတစ်ယောက်၏ ပျမ်းမျှ အရေပြား မျက်နှာပြင်ဧရိယာသည် 1.8 $m^2$ ဖြစ်သည်။ အရွယ်ရောက်ပြီးသည့် လူတစ်ယောက်မှ ပျမ်းမျှ စုစုပေါင်း အပူထွက်နှုန်း(total heat production rate)သည် တစ်နာရီလျှင် 105 watts သို့မဟုတ် 356 Btu/h ဖြစ်သည်။ 58.2 x 1.8 = 104.76 = 105 watts (18.4 x 19.368 = 356.37 = 356 Btu per hour) ဖြစ်သည်။

D. DuBois အရ အရေပြား မျက်နှာပြင်ဧရိယာ(area)သည် 1.3 $m^2$ (14 $ft^2$) မှ 2.2 $m^2$ (23.7 $ft^2$) အတွင်း ကွာခြားနိုင်သောကြောင့် ထုတ်လွှတ်သည့် အပူပမာဏသည် 75.66 watts (271 Btu's) for 1.3 $m^2$ မှ 128 watts (459 Btu's) for 2.2 $m^2$ အတွင်း ကွာခြားနိုင်သည်။

Table 1-6 တွင် ဖော်ပြထားသည့် တန်ဖိုးများမှာ တိကျသည့် တန်ဖိုးများ ဖြစ်သည်။ အလွန်တိကျသည့် တန်ဖိုးများ(more accurate values)ရရန်အတွက် လူ၏အသက်ရှူနှုန်း၊ အောက်စီဂျင်သုံးစွဲနှုန်းကို တိုင်းယူ (measuring the rate of respiratory oxygen consumption)ရသည်။ နားနေသည့်လူ တစ်ယောက်(average resting man)အတွက် ပျမ်းမျှအသက်ရှူနှုန်းသည် 0.25 L/min ဖြစ်သည်။ အပြင်းအထန် အလုပ် လုပ်နေစဉ်(during extremely heavy work)တွင် လူ၏အသက်ရှူနှုန်း၊ အောက်စီဂျင်သုံးစွဲနှုန်းသည် 2 L/min ခန့် ဖြစ်သည်။

Metabolism ဖြစ်စဉ်မှ ထွက်လာသည့် စွမ်းအင်အားလုံး(entire energy released)သည် အပူအဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသည်ဟု ယူဆသည်။ ခန္ဓာကိုယ်မှ ထွက်လာသည့် အပူများသည် sensible heat နှင့် latent heat နှစ်မျိုး စလုံး ဖြစ်နိုင်သည်။

## ၁.၃ Thermal Comfort ဆိုသည်မှာ

Thermal comfort ဆိုသည်မှာ ပတ်ဝန်းကျင် အခြေအနေ(thermal environment)သည် သက်သောင့် သက်သာဖြစ်သည်၊ ကျေနပ်နှစ်သက်ဖွယ် ကောင်းသည်(satisfaction)ဟု ခံစားရမှု(sensations) ဖြစ်သည်။ စိတ် ခံစားမှုအခြေအနေ(state of mind) ဖြစ်သည်။ Thermal comfort ဆိုသည်မှာ မပူလွန်း၊ မအေးလွန်းသော(neither too warm nor too cold) အခြေအနေဖြစ်သည်။ Thermal sensation ဖြစ်သည်။ ASHRAE က သတ်မှတ်ထားသည့် သတ်မှတ်ချက်များအရ seven-point thermal sensation scale ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

| | | |
|---|---|---|
| —3 = cold | 0 = neutral | +1 = slightly warm |
| —2 = cool | | +2 = warm |
| —1 = slightly cool | | +3 = hot |

**Thermal comfort**

Thermal comfort ဆိုသည်မှာ British Standard BS EN ISO 7730 တွင် ဖော်ပြထားသည့် အဓိပ္ပာယ် ဖွင့်ဆိုချက်(definition)အရ လူတစ်ဦးတစ်ယောက်၏ စိတ်တွင် သက်သောင့်သက်သာ(comfortable) ဖြစ်သည် ဟု ခံစားရသည့် ပူခြင်း၊ အေးခြင်းနှင့် သက်ဆိုင်သည့်အခြေအနေ(thermal environment)ကို ဆိုလိုသည်။ Thermal comfort သည် ခံစားမှုနှင့်သက်ဆိုင်သည့် စိတ်ပိုင်းဆိုင်ရာ ထင်မြင်ချက် သို့မဟုတ် ယူဆချက် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် လူများအားလုံးကို တစ်ပြိုင်နက် စိတ်ကျေနပ်မှု ပေးနိုင်သည့် အပူချိန်တစ်ခု မရှိနိုင်ပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် လူတိုင်းတွင် ကြိုက်နှစ်သက်သည့် အပူချိန်တစ်မျိုးစီ ရှိကြသည်။ လေ့လာချက်များအရ ၉၅% ကိုသာ စိတ်ကျေနပ်မှုရအောင် လုပ်နိုင်စွမ်းရှိသည်။ လက်တွေ့အခြေအနေများတွင် အခန်း သို့မဟုတ် နေရာ တစ်ခုအတွင်းရှိ လူများအားလုံး၏ ၈၀% ကိုသာ စိတ်ကျေနပ်မှုရအောင် လုပ်ပေးနိုင်သည်။

လက်ခံနိုင်သည့် thermal comfort ကောင်းစွာရရှိစေရန် HVAC system ဖြင့် control လုပ်သည်။ Heating, Ventilating and Air-Conditioning (HVAC) system တပ်ဆင်ထားသည့် အဆောက်အဦများတွင် thermal comfort နှင့် ပတ်သက်သည့် အချက်အလက်များ အတွက် ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy ကို ကိုးကားကြသည်။ ASHRAE Handbook—Fundamentals 2005, Chapter 8 တွင် အသေးစိတ် ဖတ်ရှုနိုင်သည်။

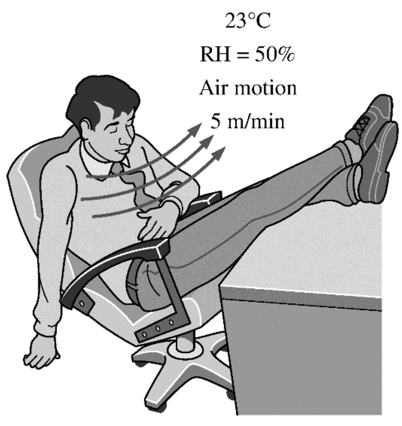
လူ့ခန္ဓာကိုယ်အနီး၌ အေးနေသည့် မျက်နှာပြင်များ ရှိနေခြင်းကြောင့် ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများသည် radiation နည်းဖြင့် အပူဆုံးရှုံးခြင်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် အေးနေသည့် ထိုမျက်နှာပြင်ရှိသည့်ဘက်တွင် discomfort ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်

Thermal comfort zone ကို သတ်မှတ်ရာတွင် ၉၀% လက်ခံသည့်အခြေအနေ (90 percent acceptance rate) အပေါ်တွင် အခြေခံသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အကယ်၍ ၁၀% က လက်မခံနိုင်(10 percent of the people are dissatisfied)ဟု ပြောဆိုခဲ့လျှင်သော်လည်း ထို environment သည် comfortable ဖြစ်သည့် အခြေအနေ ၊

လက်ခံနိုင်သည့် အခြေအနေဟု သတ်မှတ်နိုင်သည်။ အသက်ကြီး လာသည့်အခါ metabolism ဖြစ်နှုန်း ကျဆင်းသွားသည်။ သို့သော် comfort zone သည် လူကြီး၊ လူငယ် အရွယ်သုံးပါးလုံးအတွက် ဖြစ်သည်။ ။

Table 1-6 Metabolic rates during various activities (from ASHRAE Handbook of Fundamentals, Chap. 8, Table 4)

| Activity | Metabolic rate*, W/m2 |
|---|---|
| **Resting:** | |
| Sleeping | 40 |
| Reclining | 45 |
| Seated, quiet | 60 |
| Standing, relaxed | 70 |
| **Walking (on the level):** | |
| 2 mph (0.89 m/s) | 115 |
| 3 mph (1.34 m/s) | 150 |
| 4 mph (1.79 m/s) | 220 |
| **Office Activities:** | |
| Reading, seated | 55 |
| Writing | 60 |
| Typing | 65 |
| Filing, seated | 70 |
| Filing, standing | 80 |
| Walking about | 100 |
| Lifting/packing | 120 |
| **Driving/Flying:** | |
| Car | 60–115 |
| Aircraft, routine | 70 |
| Heavy vehicle | 185 |




သုတေသန တွေ့ရှိချက်များအရ လူကြီး၊ လူငယ်၊ လူအို အားလုံး၏ အပူချိန်ကြိုက်နှစ်သက်မှု တူညီကြသည်။ အမျိုးသမီးများ၏ ဇီဝဖြစ်နှုန်း (metabolism rate of women) နေးကွေးသည်။ အမျိုးသမီး၏ အရေပြား အပူချိန်(skin temperature) အနည်းငယ် နိမ့်သည်။ Evaporative loss နည်းသည်။ ထူးခြားစွာ ကွဲပြားသည့် ခြားနားချက်(significant variation) မရှိပါ။ ကမ္ဘာပေါ်ရှိ လူသားများအားလုံး အပူချိန်ကြိုက် နှစ်သက်မှု (comfort zone) တူညီကြသည်။ လက်ခံနိုင်သည့် အပူချိန် အခြေအနေ (thermal comfort conditions)သည် ကမ္ဘာပေါ်ရှိ နိုင်ငံတိုင်း၊ အချိန်တိုင်း အတွက် တူညီကြသည်။

ပုံ ၁-၁၅ A thermally comfortable environment.

အေးသည့်အခါ(cold environment) ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူဆုံးရှုံးသည့်နှုန်းသည် metabolic နှုန်းထက် ပိုများသည်။ (rate of heat loss from the body may exceed the rate of metabolic heat generation.)။

## ၁.၄ Seven Factors Influencing Thermal Comfort

**Personal**

1. Activity level
2. Clothing

**Individual Characteristics**

3. Expectation

**Environmental Conditions and Architectural Effects**

4. Air temperature
5. Radiant temperature
6. Humidity
7. Air speed.

### ၁.၄.၁ Activity Level (လှုပ်ရှားမှု)

ကျွန်ုပ်တို့၏ ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများ အဆက်မပြတ် ထုတ်လွှတ်နေသည်။ အိပ်နေချိန်တွင် အပူ ထုတ်လွှတ်မှု အနည်းဆုံး ဖြစ်သည်။ လှုပ်ရှားမှု(activity level)ကို တိုင်းသည့် ယူနစ်မှာ "met" ဖြစ်သည်။ One met ဆိုသည်မှာ လူအရေပြား တစ်ယူနစ်မှ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏ(heat output per unit area of skin)ဖြစ်သည်။ ထိုင်၍ နားနေသည့် လူတစ်ယောက်၏ အပူထုတ်လွှတ်သည့် ပမာဏသည် 1 met ဖြစ်သည်။

### ၁.၄.၂ Clothing (အဝတ်အစားများ)

Thermal comfort သည် ဝတ်ဆင်ထားသည့် အဝတ်အစားများ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အဝတ်အစားများသည် အပူ ကူးပြောင်းနိုင်စွမ်းကို လျော့နည်းစေသည်။ အဝတ်အစားများ(clothing)သည် insulation ကဲ့သို့ ဖြစ်နေသည်။ ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူဆုံးရှုံးမှုကို လျော့နည်း(slowing the heat loss from the body) စေသည်။ အဝတ်အစားများ၏ insulation valve ကို "CLO" ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။

Thermal comfort ကို ခန့်မှန်းရန်အတွက် သို့မဟုတ် အကောင်းဆုံး thermal comfort ဖြစ်စေရန် အတွက် အခန်းအတွင်း ရှိနေသူများ ဝတ်ဆင်ထားမည့် အဝတ်အစား အမျိုးအစားကို ခန့်မှန်းရန် လိုအပ်သည်။ အဝတ်အစားများ၏ ပစ္စည်းအမျိုးအစား(materials)၊ အလေးချိန်(weights)၊ ယက်လုပ်ထားသည့် အစိတ်အကျဲ(weave of fabrics) စသည်တို့ အမျိုးမျိုး ကွဲပြားနိုင်သောကြောင့် clothing(CLO) တန်ဖိုးများသည် အကြမ်းဖျဉ်း ခန့်မှန်းထားသည့် တန်ဖိုးများသာ ဖြစ်ကြသည်။

ဥပမာ-အင်္ကျီလက်ရှည်(long-sleeved sweat shirt)၏ clothing(CLO) တန်ဖိုးသည် 0.34 clo ဖြစ်သည်။ ပါးသည့် ဘောင်းဘီအရှည်(straight trousers thin)၏ clothing(CLO) တန်ဖိုးသည် 0.15 clo ဖြစ်သည်။ အတွင်းခံဘောင်းဘီ(light underwear)သည် 0.04 clo ဖြစ်သည်။ ခြေအိတ်(ankle-length athletic socks)သည် 0.02 clo ဖြစ်သည်။ Sandals သည် 0.02 clo ဖြစ်သည်။ လူတစ်ယောက်ကို ဖုံးအုပ်ထားသည့် အဝတ်အစားများ အားလုံး၏ စုစုပေါင်းတန်ဖိုး(overall clothing insulation value)ကို ရရှိရန်အတွက် တစ်ခုချင်း၏ clothing(CLO) တန်ဖိုးများကို ပေါင်းယူရသည်။ စုစုပေါင်း တန်ဖိုး(overall clothing insulation value)သည် 0.57 clo ဖြစ်သည်။

Table 1-7 တွင် အဝတ်အစား(clothing)များ၏ တန်ဖိုးများ(typical values)ကို ဖော်ပြထားသည်။ ဖိနပ်(shoes)၊ ခြေအိတ်(socks) နှင့် အတွင်းခံ(light underwear) အားလုံးတို့၏ တန်ဖိုးများကို ပေါင်းယူရသည်။

Table 1-7 typical insulation values for clothing

| Ensemble Description | clo* |
|---|---|
| Trouser, short sleeve shirt | 0.57 |
| Knee-length skirt, short-sleeve shirt (sandals) | 0.54 |
| Trousers, long-sleeved shirt, suit jacket | 0.96 |
| Knee-length skirt, long-sleeved shirt, half slip, panty hose, long-sleeved sweater | 1.1 |
| Long-sleeved coveralls, T-shirt | 0.72 |

## ၁.၄.၃ Expectation (မျှော်လင့်ထားမှု)

မျှော်လင့်ထားမှု(expectation) ဆိုသည်မှာ လူများ(occupant)က မျှော်လင့်ထားသည့် အပူချိန် ဖြစ်သည်။ အပြင်ဘက်တွင် မည်မျှပူအိုက်နေပါစေ(regardless of the outside temperature) အဆင့်မြင့် ဟိုတယ်(prestigious hotel) အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်လာသည့် လူတစ်ယောက်သည် အေးမြသည့် အပူချိန်ကို မျှော်လင့်တောင့်တ ထားလိမ့်မည်။

## ၁.၄.၄ လေအပူချိန်(Air temperature)

Air temperature ဆိုသည်မှာ လူများ(occupant) ရှိနေသည့် အခန်းအတွင်းရှိ လေအပူချိန်(air temperature)ကို ဆိုလိုသည်။ လေအပူချိန်(air temperature)သည် ခန္ဓာကိုယ် အနီးဝန်းကျင်ရှိ လေအပူချိန် (temperature of the air surrounding the body) ဖြစ်သည်။

## ၁.၄.၅ Radiant Temperature

Radiant heat ဆိုသည်မှာ ပူသည့်အရာဝတ္ထုမှ အေးသည့်အရာဝတ္ထုဆီသို့ ထုတ်လွှတ်သည့်အပူ (transmitted heat)များ ဖြစ်သည်။ ဥပမာ-နေရောင်ထိုးခြင်း ဖြစ်သည်။

Occupied space အတွင်း ကြမ်းခင်း(floor)၊ နံရံများ(walls)နှင့် မျက်နှာကြက်(ceiling)တို့၏ အပူချိန်သည် လေအပူချိန်(air temperature)နှင့် အတိအကျ မတူညီသော်လည်း အနည်းငယ်သာ ကွာခြားသည်။ Internal space များအတွင်း ကြမ်းခင်း(floor)၊ နံရံများ(walls)နှင့် မျက်နှာကြက်(ceiling) တို့၏ အပူချိန်သည် လေအပူချိန်(air temperature)နှင့် တူညီလုနီးပါး(almost the same) ဖြစ်သည်။

Radiant temperature သည် နေရာအားလုံး(all directions)တွင် တူညီ(constant)သည်။ လေအပူချိန် နှင့် တူညီသည်ဟု ယူဆ(virtually the same as the air temperature)နိုင်သည်။

ဆောင်းရာသီ အလွန်အေးသည့်အချိန်၌ ပြတင်းပေါက်အနီးတွင် ထိုင်နေသည့် လူတစ်ယောက် အတွက် radiant temperature သည် လေအပူချိန်(air temperature)ထက် သိသိသာသာ ပိုနိမ့်သည်။ ထို့အတူ နွေရာသီ ပူအိုက်သည့်အချိန်တွင် နေရောင်ထိုးသည့် ကြမ်းပြင် သို့မဟုတ် ပြတင်းပေါက်အနီး၌ radiant temperature သည် လေအပူချိန်(air temperature)ထက် သိသိသာသာ ပိုမြင့်သည်။

Thermal radiation ဆိုသည်မှာ အပူချိန်မြင့်သည့် အရာဝတ္ထုများမှ အပူဟပ်ခြင်း(radiation) ဖြစ်သည်။ အပူဟပ်သည် သို့မဟုတ် အပူရှိန်ဟပ်သည်ဟု ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ Radiant temperature သည် လေအပူချိန်(air temperature)ထက် အကျိုးသက်ရောက်မှု ပိုများနိုင်သည်။ လူအရေပြားသည် radiant heat များကို ကောင်းစွာစုပ်ယူနိုင်သည်။ ထိုသို့ radiant heat များ စုပ်ယူခြင်း သို့မဟုတ် အပူဟပ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန်အတွက် အရောင်ပြန်သည့် အဝတ်အစားများ ဝတ်ဆင်ထားနိုင်သည်။

Radiant heat ထွက်ပေါ်သည့်အရာ(source)များမှာ နေ(sun)၊ မီးတောက်(fire)၊ လျှပ်စစ်မီးတောက်များ (electric fires)၊ မီးဖိုများ (furnaces)၊ ရေနွေးငွေ့ရိုလာများ(steam rollers)၊ မီးဖိုများ(ovens)၊ ပေါင်းဖိုနံရံများ(walls

in kilns)၊ လျှပ်စစ် မီးဖိုများ(cooker)၊ အခြောက်ခံစက်များ(dryers)၊ ပူသည့်မျက်နှာပြင်များ(hot surfaces)နှင့် မောင်းနေသည့် စက်များ (machinery)၊ အရည်ပျော်နေသည့် သတ္တုများ(molten metals)စသည်တို့ ဖြစ်သည်။

## ၁.၄.၆ Humidity (စိုထိုင်းဆ)

### Low Humidity

စိုထိုင်းဆ(humidity)နိမ့်သည့်အခါ အရေပြားခြောက်ခြင်း(dry skin)၊ မျက်လုံးများခြောက်ခြင်း(dry eyes)နှင့် static electricity ဖြစ်ပေါ်ခြင်းစသည့် ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ သို့သော် စိုထိုင်းဆနိမ့်ခြင်း(low humidity) ကြောင့် thermal discomfort မဖြစ်ပေါ်ပေ။ စိုထိုင်းဆနိမ့်ခြင်းကြောင့် ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်ခြင်းသည် တစ်ဦး တစ်ယောက် နှင့်သာ သက်ဆိုင်သည်။ လူများအားလုံးအတွက် မဟုတ်ပေ။

### High Humidity

Standard 55 အရ သက်သောင့်သက်သာ(comfort) ဖြစ်စေရန်အတွက် အများဆုံး စိုထိုင်းဆ(maximum humidity ratio)သည် 0.012 kg/kg ဖြစ်သည်။ Humidity ratio 12 g/kg သည် အပူချိန် 17°C ၌ 100% relative humidity နှင့် ညီမျှသည့်(equivalent) အခြေအနေ ဖြစ်သည်။ အပူချိန် 17°C ၌ စိုထိုင်းဆ(၁၀၀)ရာခိုင်နှုန်း ဖြစ်နေသည်။ ထိုအခြေအနေတွင် အခန်းအတွင်း၌ မှိုများဖြစ်ပေါ်ခြင်း၊ ပေါက်ပွားခြင်း ပြဿနာများ (serious mold problems) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

အပူချိန်မြင့်သည့်အခါ ရေများသည် အငွေ့ပျံ(evaporate)ပြီး လေထဲသို့ ရေခိုးရေငွေ့များအဖြစ် ရောက်ရှိသွားသည့်အခါ စိုထိုင်းဆ(humidity) ပိုများလာသည်။ Relative humidity သည် လေထဲတွင်ရှိနေသည့် ရေခိုးရေငွေ့ ပမာဏ(actual amount of water vapour in the air)နှင့် လေက အများဆုံး သယ်ဆောင်ထားနိုင်သည့် ရေခိုးရေငွေ့ ပမာဏ (maximum amount of water vapour)တို့၏ အချိုး ဖြစ်သည်။

Relative humidity သည် 40% မှ 70% အတွင်း ဖြစ်လျှင် thermal comfort နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ပြဿနာများ မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပေ။ Air conditioning မပေးထားသည့် အခန်းများ၌ Relative Humidity(RH)သည် 70% ထက် ပိုများနိုင်သည်။

High humidity ဆိုသည်မှာ လေထဲတွင် ရေခိုးရေငွေ့(vapour in the air)ပမာဏများစွာ ရှိနေခြင်း ဖြစ်သည်။ စိုထိုင်းဆများခြင်းကြောင့် လူ့အရေပြားမှ ချွေးပြန်ခြင်း(evaporation of sweat from the skin) လျော့နည်းသည်။ စိုစွတ်ပူအိုက်သည့် နေရာများတွင် စိုထိုင်းဆ(humidity)သည် အလွန်အရေးကြီးသည်။ အထူးသဖြင့် humidity 80% ထက် ပိုများသည့် နေရာများတွင် ချွေးထွက်ခြင်း လျော့နည်းသည်။ ချွေးပြန်ခြင်း(evaporation of sweat)သည် ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများ ဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss in humans) ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ချွေးထွက်ခြင်း ကြောင့် ခန္ဓာကိုယ်အပူချိန် ကျဆင်းသွားသည်။

အဝတ်မပါသည့် ခန္ဓာကိုယ်(unclothed people)အတွက် 29°C မှ 31°C သည် လက်ခံနိုင်သည့် အခြေအနေ ဖြစ်သည်။ စိုထိုင်းဆ(relative humidity)သည် သက်သောင့်သက်သာဖြစ်မှု(comfort)အပေါ် ကောင်းစွာ အကျိုး သက်ရောက်(effect on comfort) နိုင်သည်။ စိုထိုင်းဆ(relative humidity)သည် လေထဲမှ ရေခိုးရေငွေ့ စုပ်နိုင်စွမ်းကို တိုင်းတာဖော်ပြမှု(measure of air's ability to absorb moisture) ဖြစ်သည်။

ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများသည် ရေငွေ့ပျံခြင်းဖြင့် ထွက်သွား(dissipate by evaporation)နိုင်သည်။ စိုထိုင်းဆ (relative humidity)များခြင်းကြောင့် အပူစွန့်ထုတ်နှုန်း လျော့နည်းနှေးကွေး(slows down heat rejection by evaporation)စေနိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် အပူချိန်မြင့်(high temperatures)သည့်အခါ စိုထိုင်းဆ(relative humidity) မြင့်သောကြောင့် အပူထွက်နှုန်း နည်းသွားသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် လေထဲတွင် ရေခိုးရေငွေ့များနေသည့်အခါ ချွေးများ ရေငွေ့ပျံရန် ခက်ခဲသောကြောင့် ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူထွက်နှုန်း နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ပူအိုက်သည်ဟု

ခံစားရခြင်း ဖြစ်သည်။ စိုထိုင်းဆများခြင်းကြောင့် ချွေးထွက်နှုန်းလျော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ ချွေးထွက်နှုန်းလျော့နည်းခြင်းကြောင့် လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှာ အပူစွန့်ထုတ်နှုန်းလျော့နည်းကာ ပူအိုက်သည်ဟု ခံစားရလိမ့်မည်။

သင့်လျော်သည့် စိုထိုင်းဆ(desirable level of relative humidity)သည် 30% မှ 70% အတွင်း ဖြစ်သည်။ 50% သည် အကောင်းဆုံးအခြေအနေ(most desirable level) ဖြစ်သည်။ လူအများစုသည် relative humidity 50% အခြေအနေတွင် ပူသည်၊ အေးသည်ဟု မခံစားရပေ။ ထိုအခြေအနေတွင် ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူချိန် ထိန်းရန်အတွက် မည်သည့်လုပ်ဆောင်မှုမျိုးမျှ မလိုအပ်ပေ။ (body does not need to activate any of the defense mechanisms to maintain the normal body temperature.)

အပူချိန်မြင့်သည့်အခြေအနေ၊ ပူအိုက်သည့်အခါ(hot environment)တွင် ချွေးထွက်ခြင်းကြောင့် ခန္ဓာကိုယ်မှ metabolic heat များစွာ ထွက်သွားနိုင်သည်။ ချွေးများသည် ရေငွေ့ပျံသည့်အခါ ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများကို စုပ်ယူသွားသည်။ (a body can dissipate a large amount of metabolic heat by sweating since the sweat absorbs the body heat and evaporates)

Table 1-8 Dry Air vs Humid Air

| Humid Air | Dry Air |
|---|---|
| Relative humidity too high | Relative humidity too low |
| Too much water vapour in air | Too little water vapour in air |
| Moisture condensation | Dry & chapping / fissure skin , Eye irritation |
| Mould or Fungal growth | Static electricity generation |
| | Wood shrinkage |

### ၁.၄.၇ Air Speed သို့မဟုတ် Air Velocity

အေးနေသည့်နေရာတွင် လေရွေ့လျားမှု(air speed)များလေ အအေးဓာတ်ပိုများလေ ဖြစ်သည်။ လေအလျင်(air velocity)သည် 0.2 meters per second (m/s)ထက် ပိုများလျှင်၊ အေးနေသည့်အခါ draft ဖြစ်ပေါ်သည်။ Draft ဖြစ်ပေါ်ခြင်းသည် အကာအကွယ်မဲ့သည့် ဦးခေါင်းပိုင်း၊ ခြေထောက်ပိုင်းတို့တွင် ပို၍ ထင်ရှားသည်။

Draft ဆိုသည်မှာ နှစ်သက်ဖွယ်မကောင်းသည့် အေးသည့် ရွေ့လျားနေသော လေများဖြစ်သည်။ (Draft is a current of unpleasantly cold air blowing through a room.)။ လေအလျင်(air velocity) သည် thermal comfort ဖြစ်စေရန် အတွက် အဓိကအချက်ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လူများ တိုက်ရိုက် ခံစားသိရှိနိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ရပ်နေသည့် လေ(still or stagnant air)ကြောင့် indoor environment တွင် လူများ မွန်းကျပ်(stuffy)သည်ဟု ခံစားရခြင်း၊ အနံ့မကောင်းခြင်း သို့မဟုတ် အနံ့ဆိုးများ ထွက်ပေါ် လာနိုင်သည်။

ပူအိုက်စိုစွတ်သည့်အခြေအနေ(warm or humid condition)တွင် လေအပူချိန် မပြောင်းလဲသော်လည်း ရွေ့လျားနေသော လေ(moving air)ကြောင့် convection ဖြစ်ပေါ်ပြီး အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) ပိုများနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပူအိုက် စိုစွတ်သည့်အခါများတွင် လေတိုက်နေခြင်းကြောင့် convection ဖြစ်ပေါ်ကာ ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) ပိုများလာနိုင်သည်။ လေရွေ့လျားမှု အနည်းငယ်(small air movement)ကြောင့် အေးသည့်နေရာ(cool or cold environments)တွင် draught ဟု ထင်မြင် ခံစားရလိမ့်မည်။

လေအပူချိန်(air temperature)သည် အရေပြားအပူချိန်(skin temperature)ထက် ပိုနိမ့်သည့် အခါတွင် convective heat transfer ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss) သိသိသာသာ ပိုများ(significantly increase) လာနိုင်သည်။

လှုပ်ရှားမှု(physical activity)များကြောင့် လေရွေ့လျားမှု(air movement) ပိုများလာနိုင်သည်။ လူ၏ လှုပ်ရှားမှု(person's level of physical activity)ကိုလိုက်၍ သင့်လျော်သည့် လေရွေ့လျားမှု(air velocity)ဖြစ်အောင်

လုပ်ထားပေးရမည်။ တစ်ခါတစ်ရံ လေရွေ့လျားမှု အသင့်အတင့် ဖြစ်သော်လည်း လှုပ်ရှားမှုများခြင်းကြောင့် လေရွေ့လျားမှု ပိုများလာနိုင်သည်။

| |
|---|
| ဆောင်းအခါတွင် သို့မဟုတ် heating လုပ်ရာတွင် လေအလျင်(air velocity)ကို 9 m/min (30 ft/min)ထက် ပိုများစေသင့်ပါ။ နွေအခါ သို့မဟုတ် cooling လုပ်ရာတွင် 15 m/min (50 ft/min) ထက် ပိုမများစေသင့်ပါ။ Draught ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သည့် သက်သောင့်သက်သာမဖြစ်မှုကို လျှော့ချရန်အတွက်(minimize discomfort by draft) လေရွေ့လျားမှု(air motion)ကို လျှော့ချထားခြင်းသည် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ |

လူ့ခန္ဓာကိုယ် အနီးအနားရှိ ပူနွေး၍ စိုထိုင်းဆများနေသည့် လေများ(removes the warm, moist air)ကို လေအေး လေသန့်များ (fresh air)ဖြင့် လဲလှယ်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် လေရွေ့လျားမှုရှိရုံ ထိန်းထားနိုင်လျှင် လုံလောက်သည်။ ထို့ကြောင့် လေရွေ့လျားမှု သည် ခန္ဓာကိုယ် အနီးမှ လေများကို တွန်း၍ ဖယ်ရှား နိုင်လောက်အောင် များလျှင် လုံလောက်သည်။

လေရွေ့လျားမှု(air motion)သည် အပူများနှင့် ရေငွေ့များကို ဖယ်ရှားနိုင်လောက်အောင်(to remove heat and moisture from the vicinity of the body) အားကောင်းရန်(strong enough) လိုအပ်သည်။ သို့သော် ညင်သာသည့် လေမျိုး(gentle enough) ဖြစ်စေရမည်။

လေရွေ့လျားမှုများခြင်းကြောင့် သက်သောင့်သက်သာ မဖြစ်မှု(discomfort) များစေနိုင်သည်။ ဉပမာ- 10°C (50°F) နှင့် 48 km/h winds အခြေအနေ(environment)သည် -7°C (20°F) နှင့် 3 km/h winds အခြေအနေ (environment)ကဲ့သို့ ခံစားမှု(feeling)မျိုးကို ပေးနိုင်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လေရွေ့လျားမှု (chilling effect of the air motion)ကြောင့် ဖြစ်သည်။ Wind-chill factor ဟုခေါ်သည်။

**လေအပူချိန် (Air Temperature)**

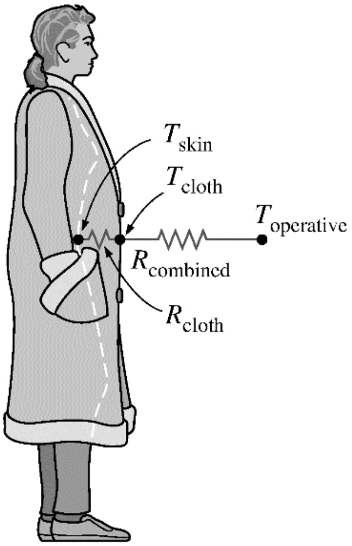
လွန်ခဲ့သည့်နှစ်ပေါင်းများစွာက သက်သောင့်သက်သာ ဖြစ်စေမည့် အချက်များကို စဉ်းစားရာတွင် လေအပူချိန်(air temperature)ကို အဓိက အချက်(index of thermal comfort)အဖြစ် သတ်မှတ်ခဲ့ကြသည်။ သို့သော် လေအပူချိန်(air temperature) တစ်ခုတည်းကိုသာ ကောင်းစွာ ထိန်းထားရုံဖြင့် လူများကို သက်သောင့်သက်သာ ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေး နိုင်စွမ်း မရှိကြောင်း တွေ့ရှိခဲ့ကြသည်။

**လေအပူချိန် နှင့် စိုထိုင်းဆ (Air Temperature and Humidity)**

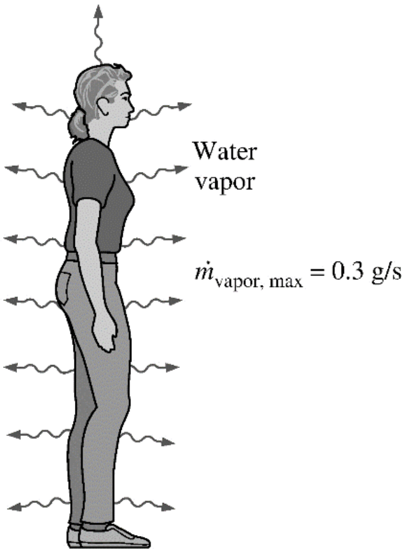
လေအပူချိန်(air temperature)နှင့် စိုထိုင်းဆ(humidity)ကို thermal comfort အဖြစ် သတ်မှတ်ခဲ့ကြသည်။ လေအပူချိန်(air temperature)၊ စိုထိုင်းဆ(humidity)နှင့် လေရွေ့လျားမှု(air movement) တို့ကို လေ၏ "cooling power" အဖြစ် သတ်မှတ် ခဲ့ကြသည်။ Bulgarian standards အရ ထိုအချက်(၃)ချက်အပြင် mean radiant heat ကိုပါ ထည့်၍ thermal comfort ကို ဆုံးဖြတ် သတ်မှတ်ကြသည်။

ပုံ ၁-၁၆ ပူအိုက်သည့်အခါ ခန္ဓာကိုယ်မှအပူများ ထွက်သွားသည်။ ချွေးထွက်ခြင်းကြောင့် ချွေးမှ အပူများကို စုပ်ယူပြီး ရေငွေ့ပျံ သွားသည်။ (In hot environments, a body can dissipate a large amount of metabolic heat by sweating since the sweat absorbs the body heat and evaporates.)

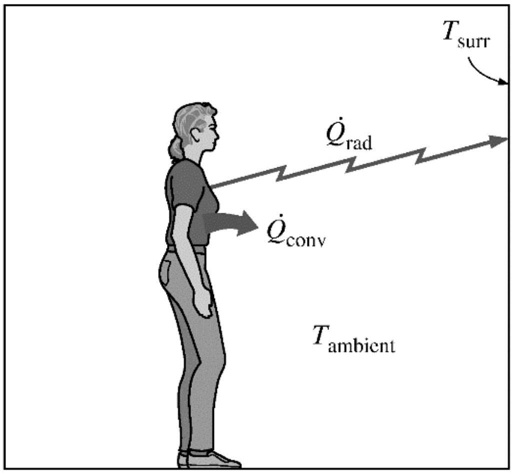
ပုံ ၁-၁၆ Evaporation



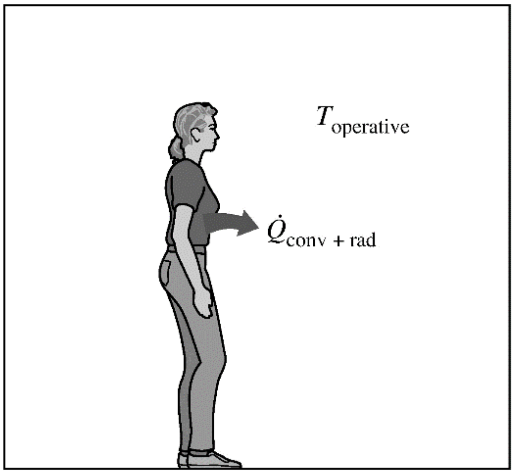

ပုံ ၁-၁၇ (a) Convection and radiation, separate




ပုံ ၁-၁၇ (b) Convection and radiation, combined




ပုံ ၁-၁၈ (a) Convection and radiation, separate




ပုံ ၁-၁၈ (b) Convection and radiation, combined

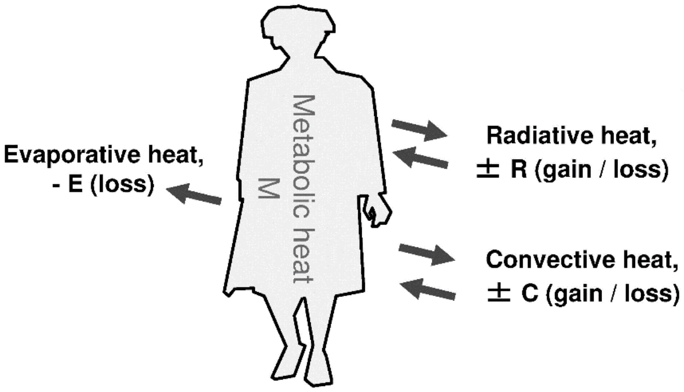
လူ့ခန္ဓာကိုယ်၌ convection နည်းနှင့် radiation နည်းကြောင့် ဖြစ်သည့် အပူဆုံးရှုံးမှု နှစ်မျိုးကို ပေါင်း၍ equivalent operative temperature အဖြစ် သတ်မှတ်ဖော်ပြသည်။ (Heat loss by convection and radiation from the body can be combined into a single term by defining an equivalent operative temperature.)

**Effective Temperature**

Effective temperature ဆိုသည်မှာ လူ့ခန္ဓာကိုယ်၌ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် ပူခြင်း၊ အေးခြင်းစသည့် ခံစားမှုကို လေအပူချိန်(air temperature)၊ စိုထိုင်းဆ(humidity)နှင့် လေရွေ့လျားမှု(air movement) သုံးမျိုးပေါင်း၍ ကိန်းတန်ဖိုး(arbitrary index) တစ်ခုဖြင့် သတ်မှတ်ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

Effective temperature ဆိုသည်မှာ အေးသည့်ခံစားမှု သို့မဟုတ် ပူသည့်ခံစားမှု(sensation of warmth or cold)ကို ပေးနိုင်သည့် အခြေအနေ(given conditions)တစ်ခုကို ဖော်ပြနိုင်သည့် လှုပ်ရှားမှု မရှိသည့်(still) saturated air ၏ အပူချိန်(temperature) ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- effective temperature 30°C ဆိုသည်မှာ လေလှုပ်ရှားမှု မရှိသည့်(no air movement) အပူချိန် 30°C တွင်(saturated atmosphere of 30°C) ခံစားမှု(sensation)ကို ပေးနိုင်သည့် အခြေအနေကို ဆိုလိုသည်။

Effective temperature တန်ဖိုးတွင် ဘေးပတ်ဝန်းကျင်ရှိ အရာများ(surrounding structures)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် radiation effect ကို လျစ်လျူ ရှုထားသည်။




**$S = M \pm R \pm C - E$**

**Ideally, $S = 0$ thermal equilibrium**

**$M = (\pm R \pm C + E)$**

ပုံ ၁-၁၉ လူ့ခန္ဓာကိုယ်နှင့် အနီးဝန်းကျင် တို့အကြား အပူကူးပြောင်းမှု ဖြစ်ပေါ်ပုံ

**Warm Environment**

$S > 0$ ; $M > (\pm R \pm C + E)$

- ✓ Air temperature high
- ✓ Body heat generated > heat loss
- ✓ Body heat storage positive
- ✓ Warmth sensation

**Cold Environment**

$S < 0$ ; $M < (\pm R \pm C + E)$

- ✓ Air temperature low
- ✓ Body heat loss > heat generated
- ✓ Body heat storage negative
- ✓ Cold sensation

**Corrected Effective Temperature**

Corrected effective temperature ဆိုသည်မှာ လေအပူချိန်(air temperature) ၊ စိုထိုင်းဆ(humidity) ၊ လေအလျင်(velocity) နှင့် mean radiant heat စသည့်အချက် (၄)ချက်(four factors)ကို ပေါင်း၍ ဖော်ပြသည့်အရာ ဖြစ်သည်။

Thermal comfort သည် အချက်ပေါင်း များစွာ(function of many variables) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ၎င်းတို့အပြင် တစ်နှစ်ပတ်လုံး ဖြစ်ပေါ်နေသည့် ရာသီဥတု(season of the year)၊ ယဉ်ကျေးမှု ဓလေ့ထုံးစံ (cultural practices)နှင့် အလေ့အကျင့်(habits)တို့ ပါဝင်သည်။ နိုင်ငံကို လိုက်၍ ကွဲပြားသည်။ Heating and air conditioning system များကို ကောင်းစွာ သင့်လျော်မှန်ကန်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ရန်အတွက် "comfort zone" သတ်မှတ်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

သက်သောင့်သက်သာဖြစ်စေမည့် အကောင်းဆုံးအခြေအနေ(optimal conditions for comfort)ကို ရွေးချယ်ရာတွင် သုံးစွဲရမည့် စွမ်းအင်ပမာဏကို အလေးပေး စဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။ လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှ ထုတ်လွှတ်မည့် အပူပမာဏကို အသေးစိတ် တွက်ချက်ခြင်းသည် ရိုးရှင်းလွယ်ကူသည့် ကိစ္စတစ်ခုမဟုတ်ပါ။

## ၁.၅ Heat Balance Equation

လူ့ခန္ဓာကိုယ်(person)နှင့် အနီးဝန်းကျင်(ambient environment)တို့အကြား အပူဖလှယ်ခြင်း(heat exchange) ဖြစ်ပေါ်မှုကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$H = M \pm R \pm C - E$$

Where: H = body heat storage load
M = metabolic heat gain
R = radiant or infrared heat load
C = convection heat load
E = evaporative heat loss

Metabolic heat gain တွင် basal metabolism သို့မဟုတ် resting metabolism ပါဝင်သည်။ ခန္ဓာကိုယ် တည်မြဲနေရန် နှင့် အသက်ရှင်နေရန်အတွက် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်ကို resting metabolism ဟု ခေါ်သည်။ အလုပ် တစ်ခု ပြီးမြောက်ရန် အားထုတ်ရသည့် လှုပ်ရှားမှုများအတွက် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်(energy necessary to keep working metabolism) ကို working metabolism ဟု ခေါ်သည်။

Metabolism သည် ခန္ဓာကို တည်မြဲအောင် ထည့်ပေးရသည့် စွမ်းအင်ဖြစ်သောကြောင့် metabolism သည် အမြဲတမ်း အပေါင်းတန်ဖိုး(+ve)သာ ဖြစ်သည်။

Radiant heat load သည် အရာဝတ္ထုများပေါ်သို့ ကျရောက်သည့် အပူလှိုင်းပုံစံ(form of wavelengths) ဖြစ်သည်။ အခန်းတွင်းရှိ အရာဝတ္ထုများ၏ အပူချိန်အပေါ်တွင် မူတည်၍ ခန္ဓာကိုယ်တွင် radiant heat load ဝင်ရောက်ခြင်း သို့မဟုတ် ထွက်သွားခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် radiant heat တန်ဖိုးသည် အပေါင်းတန်ဖိုး(+ve) သို့မဟုတ် အနုတ်တန်ဖိုး(-ve) ဖြစ်နိုင်သည်။

Convective heat load သည် အရေပြား(skin)နှင့် လေအကြားတွင် ကူးပြောင်းသွားသည့် အပူစွမ်းအင် ပမာဏ(amount of heat energy) ဖြစ်သည်။ လေအပူချိန်သည် အရေပြားအပူချိန်ထက် ပိုမြင့်နေပါက (ခန္ဓာကိုယ် အေးနေပါက) ခန္ဓာကိုယ်အတွင်းသို့ အပူများ ဝင်ရောက်လာလိမ့်မည်။ ပူသည်ဟု ခံစားရလိမ့်မည်။ လေအပူချိန်သည် အရေပြားအပူချိန်ထက် ပိုနိမ့် နေပါက(ခန္ဓာကိုယ် နွေးနေပါက) အပူများထွက်သွား(heat loss) လိမ့်မည်။ အေးသည်ဟု ခံစားရလိမ့်မည်။ ခန္ဓာကိုယ် အပူချိန် မြင့်မားနေပါက ချွေးထွက်ခြင်း(perspiration)ဖြင့် အပူချိန်လျော့နည်းစေသည်။ ချွေးထွက်ခြင်း(perspiration)ကြောင့် evaporation loss ဖြစ်ပေါ်သည်။ ပန်ကာလေကြောင့် evaporation loss ဖြစ်ပေါ် စေသည်။ ထို့ကြောင့် အေးသည်ဟု ခံစားရခြင်းဖြစ်သည်။

Radiant heat နှင့် converted heat တို့ကြောင့် ခန္ဓာကိုယ်အတွင်းသို့ အပူများဝင်ရောက်လာခြင်း(heat gain) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအပူများ တိုးခြင်း(heat gain)ကို ချွေးထွက်ခြင်း(heat loss by sweating evaporation)ဖြင့် အပူများထွက်သွားစေကာ ခန္ဓာကိုယ်အပူချိန် မျှတနေအောင် ထိန်းထားသည်။ အကယ်၍ ခန္ဓာကိုယ်မှ ချွေးထွက် ခြင်းဖြင့် အပူများ ဆုံးရှုံးအောင်(heat loss) သို့မဟုတ် အပူများထွက်သွားအောင် မပြုလုပ်နိုင်ပါက ခန္ဓာကိုယ် အပူချိန် မြင့်တက် လာနိုင်သည်။

လှုပ်ရှားမှု(activity level) သို့မဟုတ် လုပ်နေသည့်အလုပ်(work rate)ပေါ်တွင် မူတည်၍ လူ့ခန္ဓာကိုယ်မှ ထွက်လာသည့် အပူပမာဏ ကွာခြားသည်။ အနီးဝန်းကျင်၏ အပူချိန်ကို အခြေခံ၍ လူ့ခန္ဓာကိုယ်(body)တွင် အပူ တိုးလာခြင်း(heat gain) သို့မဟုတ် အပူဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss) ဖြစ်ပေါ်သည်။

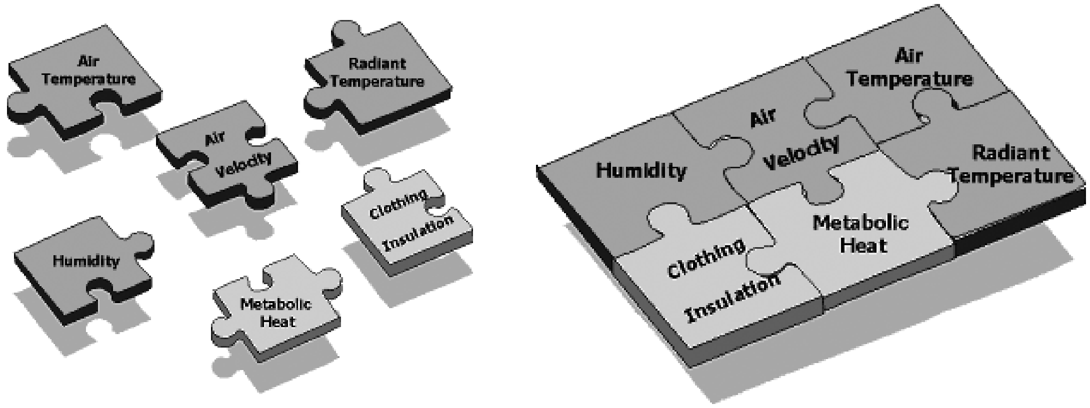
Convection သည် ခန္ဓာကိုယ်(body) နှင့် ပတ်ဝန်းကျင်(environment)တို့အကြားတွင် အပူဖလှယ်မှု(heat exchange) ဖြစ်ပေါ်သည်။ Convection ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူဖလှယ်မှု(heat exchange)ပမာဏ အများဆုံး ဖြစ်သည်။ အဓိကအကျဆုံး အပူကူးပြောင်းမှု ဖြစ်သည်။

Radiation ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူပမာဏ(radiant heat)သည် အရာဝတ္ထုမျက်နှာပြင် အပူချိန် (surface temperature)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ပြတင်းပေါက်များစွာရှိသည့် သို့မဟုတ် မှန်များဖြင့် ကာရံထားသည့် အဆောက် အဦတွင် solar radiation ကြောင့် အပူများစွာ ဝင်ရောက်လာမှု ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Evaporation သည် ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများ ဆုံးရှုံးမှု(heat loss) ဖြစ်စေနိုင်သည့် အဓိကအကြောင်း ဖြစ်သည်။

Radiant heat အပူကူးပြောင်းမှုသည် radiant temperature အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ကြမ်းခင်း(floor)၊ နံရံ(walls) မျက်နှာကြက်(ceiling)နှင့် တခြားအရာဝတ္ထု(objects)များအားလုံး၏ မျက်နှာပြင်အပူချိန်(surface temperature) များ၏ ပျမ်းမျှတန်ဖိုးသည် mean radiant temperature ဖြစ်သည်။

> Solar radiation ကြောင့် radiant heat exchange ဖြစ်ပေါ်သည်။ Evaporative cooling သည် လေအပူချိန်(air temperature) နှင့် စိုထိုင်းဆ(relative humidity) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။




ပုံ ၁-၂၀ Jigsaw style diagram showing the six different factors

## ၁.၆ အခြေခံအကြောင်း (၆)မျိုး (Six Basic Factors)

အောက်ပါအချက်များသည် ကျွန်ုပ်တို့၏ ခန္ဓာကိုယ် အပူညီမျှ(heat balance)အောင် ထိန်းပေးရာတွင် ပါဝင်သည့် အခြေခံအချက်များ ဖြစ်သည်။ ထို့အပြင် တခြားသော အချက်များလည်း ပါဝင်သည်။

Metabolic rate နှင့် clothing တို့သည် human factor ဖြစ်သည်။ အဝတ်အစား(clothing level) သည် အပူဖလှယ်(heat exchange)ရာတွင် အဓိကကျသည့် အချက်ဖြစ်သည်။ Convective နှင့် radiant heat exchange သာမက evaporative efficiency အပေါ်တွင် အကျိုးသက်ရောက်မှု ရှိနိုင်သည်။ ထူထပ်သည့် အဝတ်အစားများ ဝတ်ဆင်ထားသည့်အခါ metabolic rate အပေါ်၌လည်း အကျိုးသက်ရောက်မှု ရှိနိုင်သည်။

ထိုအချက်များသည် တစ်မျိုးနှင့်တစ်မျိုး အပြန်အလှန်ဆက်စပ်မှု မရှိသော်လည်း အချက်များအားလုံးသည် သက်သောင့်သက်သာဖြစ်မှု(thermal comfort) အပေါ် အကျိုးသက်ရောက်သည်။
Thermal comfort သည် အောက်ပါအချက်များပေါ်တွင် အခြေခံသည်။

**Environmental factors**

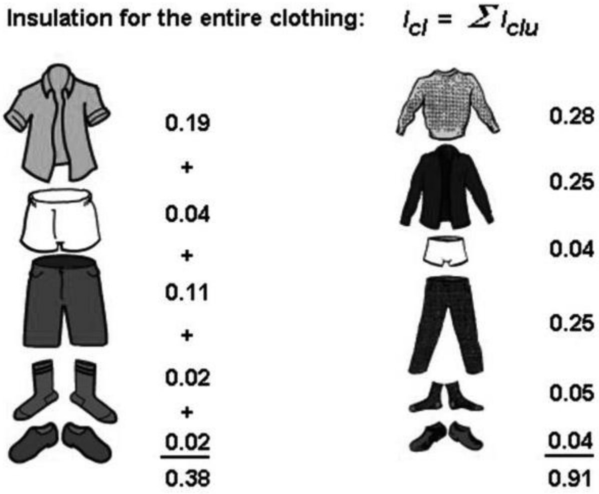
(၁) Air temperature
(၂) Radiant temperature
(၃) Air velocity
(၄) Humidity

**Personal factors**

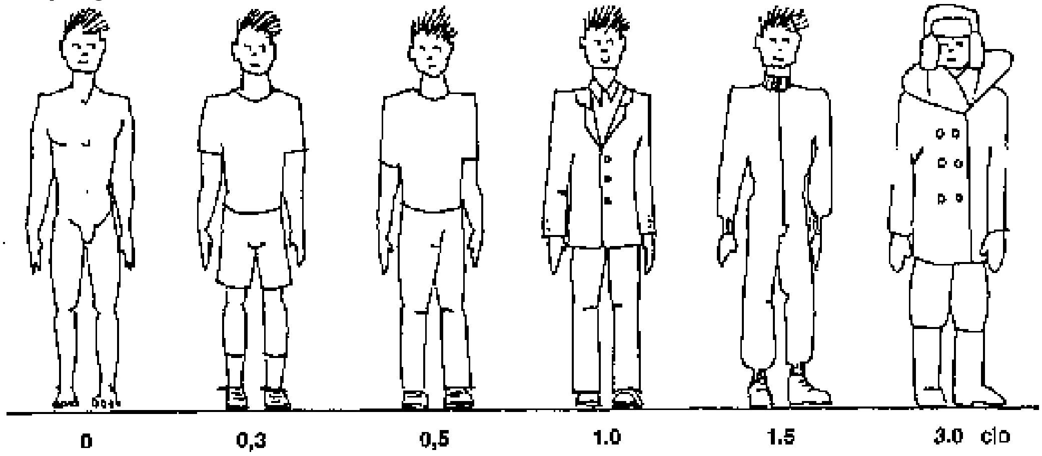
(၁) Clothing Insulation
(၂) Metabolic heat

## ၁.၇ Clothing Insulation

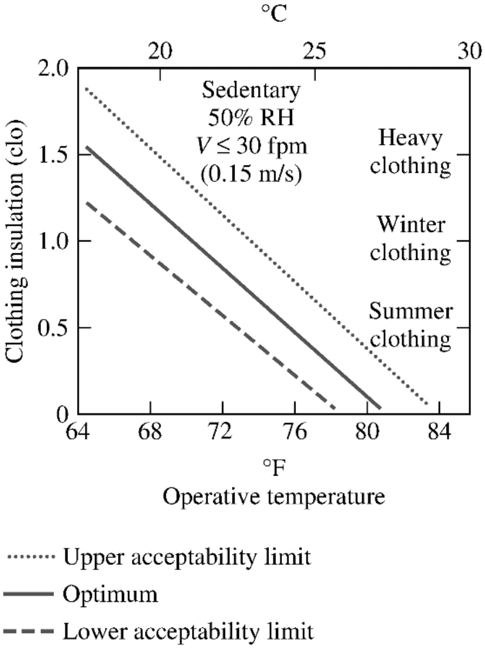
အဝတ်အစား(clothing)များသည် အပူကူးပြောင်းခြင်း(heat transfer) မဖြစ်ပေါ်အောင် ခုခံဟန့်တား နိုင်စွမ်း ရှိသည်။ Thermal comfort သည် အဝတ်အစားများ၏ အပူဟန့်တားနိုင်စွမ်း(insulating effect of clothing) အပေါ်တွင် များစွာမူတည်သည်။ အဝတ်အစား(clothing)များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် thermal comfort သို့မဟုတ် discomfort ကို ကောင်းစွာ နားလည်ရန် လိုသည်။ ရာသီဥတုအခြေအနေကို လိုက်၍ လူများသည် အဝတ်အစား (clothing)ကို ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။ အေးသည့်ချိန်တွင် ခန္ဓာကို ပူနွေးစေရန်အတွက် ထူထဲသည့်အဝတ်အစားများ ကို ရွေးချယ်ကြသည်။ ပူအိုက်သည့်အခါ ပါးလွှာသည့် အဝတ်အစားများကို ရွေးချယ်ကြသည်။




ပုံ ၁-၂၁ Insulation for the entire clothing (1 Clo = Insulation value of 0.155 $m^2$ °C/W)




ပုံ ၁-၂၂ Insulation for clothing (Clo)



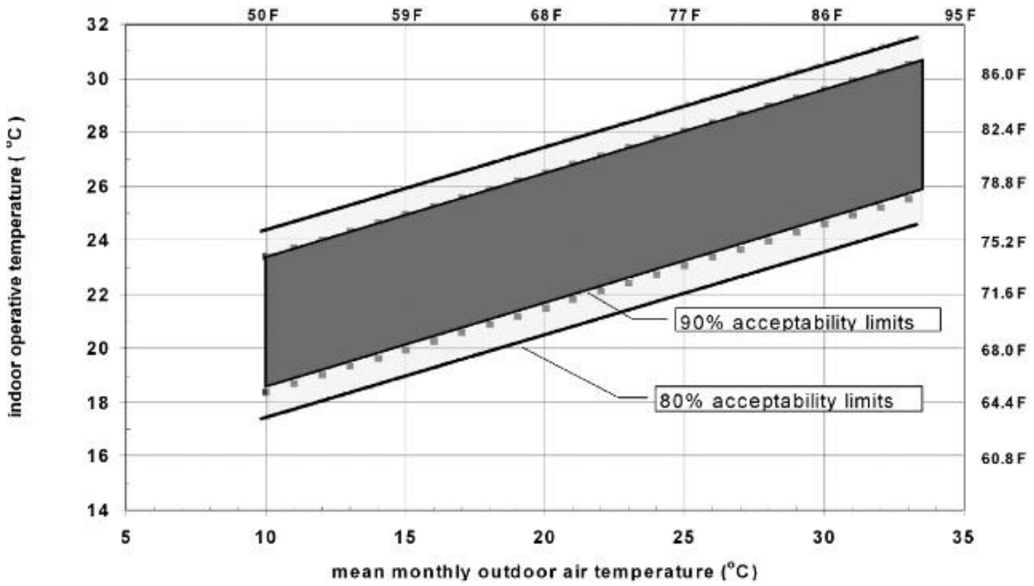

ပုံ ၁-၂၃

Standard table များကို ISO 7730 တွင် ဖော်ပြ ထားသည်။ Standard table ကို အသုံးပြု၍ metabolic rate ကဲ့သို့ပင် clothing level ကို ခန့်မှန်းနိုင်သည်။

1 Clo သည် အနောက်တိုင်းဝတ်စုံ(American business suit) ၏ insulation ပမာဏ ဖြစ်သည်။

Standard 55 သည် အဆောက်အဦအတွင်း သက်သောင့် သက်သာ(indoor thermal comfort)ဖြစ်စေမည့် normal living environment နှင့် office-type environment တို့နှင့်သာ သက်ဆိုင်သည်။ (၁၅)မိနစ်ခန့်သာ နေရမည့် နေရာများကို indoor living environment များအဖြစ် မသတ်မှတ်ကြပေ။

ပုံ ၁-၂၃ The effect of clothing on the environment temperature that feels comfortable (1 clo _ 0.155 $m^2$ · °C/W _ 0.880 $ft^2$ · °F · h/Btu).
(From ASHRAE Standard 55-1981.)




ပုံ ၁-၂၄ Acceptable Operative Temperature Ranges for Naturally Conditioned Spaces

ပုံ(၁-၂၄)တွင် "indoor operative temperatures" ၏ လက်ခံနိုင်သည့် အတိုင်းအတာ(acceptable range) ကို "mean monthly air temperature" ဖြင့် တွဲ၍ဖော်ပြ(plotted against) ထားသည်။

(၁) လှုပ်ရှားမှုအဆင့် (၁.၀) met မှ (၁.၃) met အတွင်း (activity levels of 1.0 to 1.3 met)

(၂) ခန္ဓာကိုယ်ပေါ်သို့ နေရောင်တိုက်ရိုက်ကျရောက်ခြင်း မရှိသည့်အခါ(person not in direct sunlight)

(၃) လေရွေ့လျားနှုန်းသည် (၂.၀) ထက် နည်းရမည်။ (air velocity below 0.2 m/s)

(၄) No specific clothing ensemble values

အထက်ပါ လက်ခံနိုင်သည့် အတိုင်းအတာ(acceptable range)ကို comfort envelope ဟူ၍လည်း ခေါ်သည်။

Indoor operative temperature သည် air temperature နှင့် radiant temperature တို့၏ ပျမ်းမျှ (average)တန်ဖိုးများ ဖြစ်ကြသည်။ Mean monthly outdoor temperature ဆိုသည်မှာ အချိန် တစ်နာရီတိုင်းတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူချိန်များ၏ ပျမ်းမျှတန်ဖိုး(average of the hourly temperatures) ဖြစ်သည်။ ထိုဒေတာများကို မိုးလေဝသဌာန (government environmental monitoring departments) မှ ရရှိနိုင်သည်။

ပုံ(၁-၂၄)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း range of comfortable operative temperatures သည် ၈၀% လက်ခံနိုင်သည့် အဆင့်(80% acceptability) ဖြစ်သည်။ ပုံမှန်အခြေအနေ(normal situation)တွင် comfort band ပိုကျဉ်း(narrower)စေနိုင်လျှင် လူ ၉၀% က လက်ခံနိုင်သည့်အဆင့်(higher standard of comfort, 90% acceptability)ဖြစ်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် comfort band ကို ကျဉ်းအောင် ပြုလုပ်လိုက်လျှင် လက်ခံနိုင်သည့် ရာခိုင်နှုန်း ပိုများလာလိမ့်မည်။ ဥပမာ- နွေရာသီအမြင့်ဆုံး ပျမ်းမျှ အပူချိန်(maximum summer mean-monthly temperature) 20°C နေရာတွင် ၈၀% လက်ခံနိုင်သည့်(80% acceptability) range သည် 20.5°C မှ 27.5°C အတွင်း ဖြစ်သည်။

သတိပြုရန်အချက်မှာ မည်သည့်အပူချိန်တွင်ဖြစ်စေ ကျန် ၂၀%သည် လက်ခံလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ အခန်းအပူချိန်ကို မည်မျှ အေးအောင်၊ ကောင်းအောင် ထိန်းထား နိုင်သည်ဖြစ်စေ၊ အခန်းတွင်းရှိ ၈၀% ကသာ လက်ခံသည့် အဆင့်သို့ ရောက်ရှိပြီး ကျန်လူ ၂၀%(20% of the occupants) သို့မဟုတ် လူ(၅)ယောက်လျှင် တစ်ယောက်(1 in 5)က လက်ခံကြလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

## ၁.၈ Three Comfort Classes

Mechanically conditioned space များကို အဆင့်(၃)မျိုး(three classes)ဖြင့် ခွဲခြားထားသည်။

Class A – high comfort

Class B – normal comfort

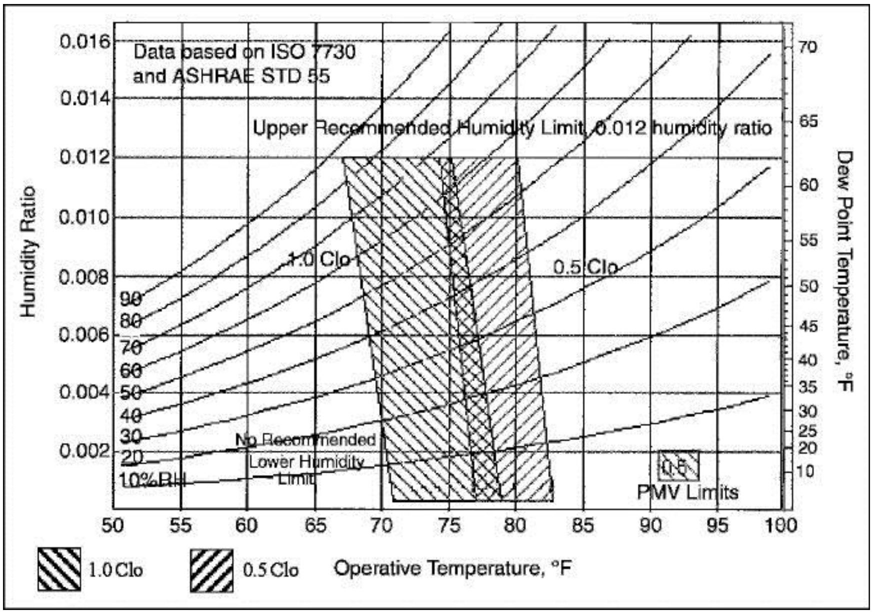
Class C – relaxed standard of comfort

ASHRAE Standard 55 တွင် Class B – normal comfort အတွက် chart ကိုသာ ဖော်ပြထားသည်။

Classes A နှင့် C တို့၏ comfort condition ကို တွက်ချက်ရန်အတွက် ဒီဇိုင်နာများသည် computer program ကို အသုံးပြုကြသည်။

(၁) ASHRAE. 2004. ASHRAE Standard 55–2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

(၂) ASHRAE. 2005. 2005 ASHRAE Handbook—Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.




ပုံ ၁-၂၅ Acceptable Range of Operative Temperature and Humidity for Spaces that Meet the Criteria Specified Above (Standard 55, Figure 5.2.1.1)

**Class B – normal comfort**

Class B thermal limit သည် ၈၀ % လက်ခံနိုင်မှု(80% acceptability) အပေါ်တွင် အခြေခံသည်။ Overall thermal condition ကို ၉၀% ကသာ လက်ခံလိမ့်မည်။ ၁၀%သည် သက်သောင့်သက်သာမဖြစ်(not comfortable) ဟု ထင်သောကြောင့် သော်လည်းကောင်း၊ ကျန်၁၀% သည် local thermal discomfort ကြောင့် သော်လည်းကောင်း လက်ခံကြလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Class B space ၏ လက်ခံနိုင်သည့်အခြေအနေများ(acceptable conditions criteria)မှာ

(က) Activity between 1.0 and 1.3 met

(ခ) Clothing 0.5 to 1.0 clo

(ဂ) The air speed is to be below 0.2 m/s နှင့်

(ဃ) The person must not be in direct sunlight တို့ဖြစ်သည်။

အဆောက်အဦအတွင်းရှိ အခန်းများတွင် နေထိုင်သည့် လူများ၏ အဝတ်အစား(clothing) CLO သည် နွေရာသီအတွက် 0.5 clo ဖြစ်သည်။ Design humidity သည် 40% မှ 50% အတွင်းဖြစ်သည်။ လက်ခံနိုင်သည့် အခြေအနေ

(acceptable conditions)ကို chart ပေါ်တွင် comfort envelope ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Occupant များ အားလုံးအတွက် ရာနှုန်းပြည့် လက်ခံနိုင်သည့် အခြေအနေ(thermally acceptable) ဖြစ်သော်လည်း လက်တွေ့အခြေအနေတွင် ၈၀%ကသာ လက်ခံနိုင်(80% acceptability) ကြလိမ့်မည်။

ဥပမာ- air-conditioning plant ၏ အရွယ်အစားကို လျှော့ချရန်အတွက် ဒီဇိုင်းအခြေအနေ(design condition)ကို 27°C at 50% Relative Humidity(RH)နှင့် 28°C at 40% RH တွင် ရွေးချယ်သည်။ Design condition ကို comfort temperature band ၏ အလယ်နေရာတွင် ရွေးချယ်လျှင် လူအများစုမှာ သက်သောင့်သက်သာ မဖြစ်ကြောင်း(uncomfortable) တွေ့ရှိသည်။

ဥပမာ - အလွန်အဆင့်မြင့်သည့် ရုံးခန်းများရှိသည့် အဆောက်အဦအတွင်းရှိ လူများ၏ အဝတ်အစားသည် light dress and full suits (full range 0.5 to 1.0 clo) ဖြစ်သည်။ Design relative humidity သည် 50% ဖြစ်လျှင် ထပ်နေသည့်ဧရိယာ(area of overlap)နှင့် 24.5°C ကို design temperature အဖြစ် ရွေးချယ်သင့်သည်။

## ၁.၉ Managing Under Less Than Ideal Conditions

Comfort chart များသည် ideal condition အတွက်ဖြစ်သည်။ နေရာတိုင်း၌ အမြဲတမ်း ideal condition ရရှိရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် ideal condition မဟုတ်သည့် အခြေအနေများအတွက်လည်း စီမံဆောင်ရွက်ရန် လိုအပ်သည်။

**(၁) လေရွေ့လျားမှု (Elevated Air Speed)**

လေရွေ့လျားမှု(air speed)ပိုများသဖြင့် အအေးဓာတ် ပိုရနိုင်သည်။ လေရွေ့လျားမှုသည် တစ်စက္ကန့်လျှင် (၀.၈)မီတာ(0.8 m/s)ထက် ပိုမများသင့်ပေ။ ဥပမာ- naturally ventilated space တွင် acceptable temperature range သည် 21°C မှ 26.5°C အတွင်း ဖြစ်သည်။ အခန်းအတွင်း၌ ပန်ကာ တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် acceptable temperature range သည် 21°C မှ 29.5°C အတွင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပန်ကာတပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် အနည်းငယ်ပိုမြင့်သည့် အပူချိန်တွင် သက်သောင့်သက်သာ ဖြစ်သည်ဟု ခံစားရလိမ့်မည်။

**(၂) Draft**

Draft ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် discomfort သည် လေအပူချိန်(air temperature)၊ velocity နှင့် turbulence တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် draft တည်ငြိမ်လေ discomfort ဖြစ်မှုနည်းလေဖြစ်သည်။ Draft ဆိုသည်မှာ အပူချိန် အလွန်မြင့်သည့်လေ သို့မဟုတ် အပူချိန် အလွန်နိမ့်သည့် လေများ အခံရခက်အောင် ခပ်ကြမ်းကြမ်း တိုက်ခတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်ချက်တစ်ချက် လေကြမ်းကြမ်း ဆောင့်၍ တိုက်ခတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ လူများသည် လေပူကြမ်းတိုက်ခြင်းကို လေအေးတိုက်ခြင်းထက် ပို၍ ခံနိုင်ရည်ရှိကြသည်။ Draught ကြောင့် local cooling ဖြစ်သည်။ Draught ဖြစ်ခြင်းကြောင့် သက်သောင့် သက်သာ မဖြစ်နိုင်ပေ။

**(၃) ဒေါင်လိုက် အပူချိန်ကွာခြားချက် (Vertical Temperature Difference)**

အပူပေးထားသည့် အဆောက်အဦ(heated building)များတွင် ပူသည့်လေသည် အထက်သို့ တက်သောကြောင့် ခြေထောက်(feet)နှင့် ဦးခေါင်း head တို့အကြား ဒေါင်လိုက် အပူချိန်ကွာခြားချက်(vertical temperature difference) ဖြစ်ပေါ်သည်။ အပူပိုင်းဒေသရှိ အဆောက်အဦများ၌ ကြမ်းခင်း နားတွင် အပူချိန် နိမ့်ကျသည်။ အပူသက်သာစေရန် မျက်နှာကြက်ကို insulation ကောင်းသည့် ပစ္စည်းများဖြင့် ပြုလုပ်သင့်သည်။ အအေးပိုင်း ဒေသရှိ အဆောက်အဦများ၏ ကြမ်းခင်းကို insulation ကောင်းသည့် ပစ္စည်းများဖြင့် ပြုလုပ်သင့်သည်။ ကြမ်းခင်းနားတွင် အပူချိန်ပိုနိမ့်သည်။ ဒေါင်လိုက်အပူချိန် ကွာခြားချက် (vertical temperature difference)သည် အဆောက်အဦတိုင်းတွင် ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသောကြောင့် 3°C ထက် ပိုမများသင့်ပေ။

Directional heat source နှင့် ပြတင်းပေါက်(window)မှ ဝင်ရောက်လာသည့် solar gain တို့ကြောင့် radiation asymmetry ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ပူသည့်လေသည် ပေါ့ပါး၍ အထက်သို့ တက်သည့်သဘော ရှိသောကြောင့် ကြမ်းခင်းထက် ပိုမြင့်လေ အပူချိန်ပိုများလေ ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ အမြင့်ကို လိုက်၍ အပူချိန် ကွာခြားခြင်းကို "temperature gradient" ဟု ရေးသားလေ့ရှိသည်။ Temperature gradient များလျှင် ဦးခေါင်းပိုင်း၌ ပူနွေးပြီး ခြေမျက်စိအနားတွင် အေးနေတတ်သည်။

**(၄) ကြမ်းခင်းမျက်နှာပြင် အပူချိန် (Floor Surface Temperatures)**

ဖိနပ်စီးသည့် အခန်း(ကြမ်းပြင်ပေါ်တွင် ဖင်ချထိုင်ခြင်း မပြုလုပ်သည့်အခန်း) များအတွက် လက်ခံနိုင်သည့် ကြမ်းခင်းမျက်နှာပြင် အပူချိန်(floor surface temperatures)သည် 19°C မှ 29°C အတွင်း ဖြစ်သည်။ အခန်းအပူချိန် မည်မျှကောင်းသည် (သင့်လျော်သည်) ဖြစ်ပါစေ အေးစက်နေသည့် ကြမ်းပြင်ကြောင့် လူများ သက်သောင့်သက်သာဖြစ်သည်ဟု ခံစားရလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

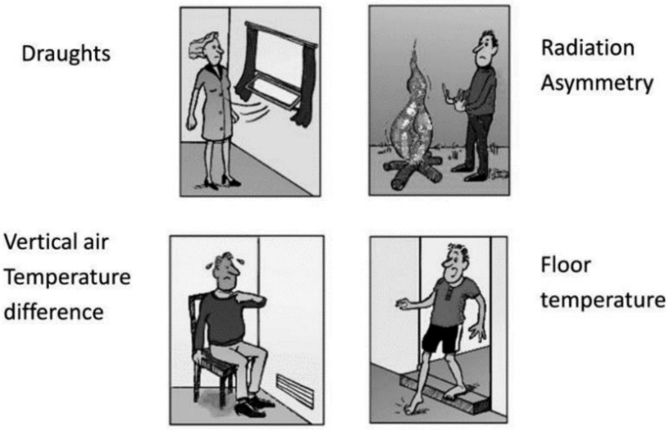
**(၅) အပူချိန် မတည်ငြိမ်ခြင်း (Cyclic Temperature Changes )**

On/off အမျိုးအစား thermostat ဖြင့် control လုပ်သည့် နေရာများတွင် အပူချိန် မတည်ငြိမ်ခြင်း (temperature change) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို့ကြောင့် အခန်းအတွင်း၌ ရှိနေသူများ thermal comfort မဖြစ်ဟု ခံစားရသည်။ အခန်းအတွင်း အပူချိန်အတက်အကျမြန်ခြင်း မဖြစ်ပေါ်စေသင့်ပေ။ လက်ခံနိုင်သည့် အခြေအနေမှာ (၁၅)မိနစ်အတွင်း အပူချိန်အတက်အကျ 1°C ထက် ပိုမများအောင် ထိန်းထားသင့်သည်။

**(၆) Radiant Temperature Variation**

Radiant temperature ပြောင်းလဲမှု(variation)ကို သတ်မှတ်ထားသည့် အတိုင်းအတာ တစ်ခု အတွင်း၌ လက်ခံနိုင်သည်။ လူများသည် အပူချိန်မြင့်သည့် နံရံ(ပူနွေးသည့်နံရံ)များကြောင့် thermal comfort ပြဿနာ မဖြစ်နိုင်ဟု လက်ခံကြသည်။ မျက်နှာကြက်အပူချိန်(ceiling radiant temperature) သည် အခန်းအပူချိန်ထက် 5°C ပိုမြင့်ပါက discomfort ဖြစ်နိုင်သည်။ အပူပိုင်းဒေသများ၌ နွေရာသီတွင် ကောင်းစွာ insulate မလုပ်ထားသည့် မျက်နှာကြက်မှ ဖြစ်ပေါ်သည့် radiant temperature ကြောင့် အပူဒဏ် ပိုခံကြရသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် မျက်နှာကြက်ကို insulation မလုပ်ထားခြင်း သို့မဟုတ် insulation မကောင်းခြင်းကြောင့် နွေရာသီတွင် အခန်းအပူချိန် ပိုမြင့်တက်လေ့ရှိသည်။

လေပြင်းပြင်းတိုက်ခြင်း(drafts) ၊ asymmetric thermal radiation ၊ ပူနွေးသည့် သို့မဟုတ် ပူနွေးသည့် ကြမ်းပြင်များ (hot or cold floors)နှင့် vertical temperature stratification စသည်တို့ ဖြစ်ခြင်းကို တစ်သမတ်တည်း မဖြစ်ခြင်း(non-uniformities)ဟု ခေါ်သည်။ တစ်သမတ်တည်း မဖြစ်ခြင်း(non-uniformities) သောကြောင့် discomfort ဖြစ်စေနိုင်သည်။ ဥပမာ- air con အခန်းအတွင်း၌ နေရောင် ပြင်းပြင်းထိုးသည် မှန်နံရံ အနီးထိုင်နေသူ ဖြစ်သည်။



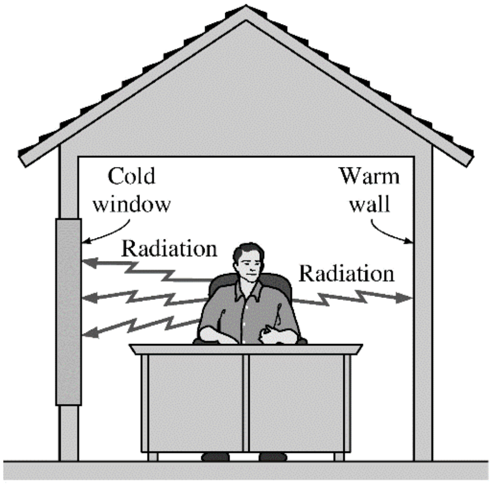

ပုံ ၁-၂၆ သက်သောင့်သက်သာ မဖြစ်စေသည့်အချက်များ (local thermal discomfort factors)

Asymmetric thermal radiation သည် ပြတင်းပေါက်အနီး ပူနွေးသည့်မျက်နှာပြင်များ(warm surfaces) ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Asymmetric radiation ဖြစ်ခြင်းကြောင့် discomfort ဖြစ်ပေါ်သည်။ ခန္ဓာကိုယ်၏ ဘေးတစ်ဖက်စီတွင် အပူချိန်မတူညီသည့်မျက်နှာပြင်၊ အရာဝတ္ထုများများ ရှိနေခြင်းကြောင့် ခန္ဓာကိုယ်၏ ဘေးတစ်ဖက်စီ၌ အပူဆုံးရှုံးမှု မတူညီခြင်းဖြစ်ပေါ်သည်။(exposing different sides of the body to surfaces at different temperatures and thus to different heat loss or gain by radiation)။

Thermal comfort ဖြစ်စေရန်အတွက် ဒေါင်လိုက်(vertical direction) အပူချိန်ကွာဟခြင်း(radiant temperature asymmetry)သည် 5°C ထက် ပိုမများသင့်ပါ။ အလျား လိုက်အတွက် 10°C ထက် ပိုမများသင့်ပါ။ (10°C in the horizontal direction)

ပူနေသည့် သို့မဟုတ် အေးစက်နေသည့်မျက်နှာပြင်ကို တိုက်ရိုက် ထိတွေ့နေခြင်း(direct contact with cold or hot floor surfaces)ကြောင့်လည်း localized discomfort ဖြစ်ပေါ်သည်။ အထူးသဖြင့် ခြေထောက်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည်။ ကြမ်းခင်းအပူချိန်(temperature of the floor) အေးနေခြင်း၊ ပူနေခြင်းကြောင့် discomfort ဖြစ်ပေါ်သည်။

ပုံ(၁-၂၇)တွင် အေးနေသည့် မျက်နှာပြင်များကြောင့် ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူများသည် radiation နည်းဖြင့် ဆုံးရှုံး သွားသောကြောင့် အေးနေသည့်ဘက်တွင် သက်သောင့် သက်သာ မဖြစ်နိုင်ပုံကို ပုံတွင်ဖော်ပြထားသည်။ (Cold surfaces cause excessive heat loss from the body by radiation, and thus discomfort on that side of the body.)




ပုံ ၁-၂၇

လူအများစုအတွက် ကြမ်းခင်းအပူချိန်(floor temperature) သည် 23°C မှ 25°C အတွင်း၌ သက်သောင့်သက်သာ (comfortable) ဖြစ်သည်။ ဖိနပ်(footwear)များကြောင့် localized discomfort ဖြစ်ခြင်း သက်သာနိုင်သည်။

Temperature stratification ဆိုသည်မှာ အခန်းအတွင်း၌ အပူချိန်အလွှာလိုက် ဖြစ်နေခြင်း ဖြစ်သည်။ ဦးခေါင်းနေရာ သည် ကြမ်းခင်း နေရာထက် အပူချိန် အနည်းငယ် ပိုမြင့် နေခြင်း ဖြစ်သည်။ အပူချိန် မတူညီသည့် လေများ အလွှာလိုက် ဖြစ်နေခြင်းသည် stratification ဖြစ်သည်။

Thermal comfort ဖြစ်စေရန် ဦးခေါင်းနေရာနှင့် ခြေထောက်နေရာ၏ အပူချိန်ကွာခြားချက်(temperature difference between the head and foot levels)သည် 3°C ထက်ပို မများသင့်ပေ။ ထိုသို့ဖြစ်ခြင်းသည် stratification ကြောင့် ဖြစ်သည်။ Stratification မဖြစ်စေရန် fan များ တပ်ဆင်နိုင်သည်။

လူ့ခန္ဓာကိုယ်၏ အပူသိုလှောင်နိုင်စွမ်း(average specific heat of the human body)သည် 3.49 kJ/kg°C ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် အလေးချိန်(၇၀)ကီလိုဂရမ် ရှိသည့် လူတစ်ယောက်အတွက် အပူချိန် 1°C နိမ့်ဆင်းတိုင်း (each 1°C drop in body temperature) အပူပမာဏ(၂၄၄) kJ ပိုဆုံးရှုံးသည်။ ပူချိန် 2.6°C ကျဆင်းလျှင် အလွန် သက်သောင့်သက်သာ မဖြစ်တော့ပေ။(causes extreme discomfort)။ အပူချိန် 0.5°C နိမ့်ကျသွားခြင်းကြောင့် သတိပြုမိနိုင်သော်လည်း သက်သောင့်သက်သာ မဖြစ်မှုသည် အလွန်မဆိုးဝါးသွားသောကြောင့် ခံနိုင်သည်။ (A drop of 0.5°C in mean body temperature causes noticeable but acceptable discomfort.)

ခန္ဓာကိုယ်အပူချိန်(body temperature)သည် 35°C ထက်နိမ့်သွားလျှင် ခန္ဓာကိုယ်၏ အပူချိန်ထိန်းချုပ်မှုကို ထိခိုက်နိုင်သည်။ ခန္ဓာကိုယ်အပူချိန်(body temperature)သည် ၂၈ဒီဂရီ စင်တီဂရိတ်အထိ နိမ့်ဆင်းသွားလျှင် သေဆုံးနိုင်သည်။ ထိုင်၍ အလုပ်လုပ်သူတစ်ယောက်သည် ပျမ်းမျှ အရေပြားအပူချိန်(mean skin temperature) 33.3°C တွင် သက်သောင့်သက်သာဖြစ်သည်ဟု ခံစားရသည်။ သို့သော် 31°C ဖြစ်လျှင် သက်သောင့်သက်သာ မဖြစ် (uncomfortably cold)တော့ပေ။ 30°C တွင် ခိုက်ခိုက်တုန်အောင်ချမ်းနေ(shivering cold)လိမ့်မည်။ 29°C တွင် မခံမရပ်နိုင်အောင်အလွန် ချမ်းအေးနေ(extremely cold)လိမ့်မည်။

အလုပ်ကြမ်းလုပ်နေသူ၊ လှုပ်ရှားမှုများနေသူများသည် ပတ်ဝန်းကျင်အပူချိန် နိမ့်ခြင်း(အေးခြင်း)ကို ပိုခံနိုင်ရည် ရှိသည်။ ပတ်ဝန်းကျင် အေးနေသည့်အခါ သက်သောင့်သက်သာဖြစ်သည်ဟု ခံစားရသည်။ (People doing heavy work reported to feel comfortable at much lower temperatures.)။

လူများ၏ စွမ်းဆောင်ရည်နှင့် သက်သောင့်သက်သာဖြစ်မှု(human performance and comfort)သည် လှုပ်ရှားမှုအဆင့်(activity level) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

အလွန်ပူပြင်းသည့်နေရာ(hot environment)တွင် ခန္ဓာကိုယ်မှ အပူဆုံးရှုံးမှုနှုန်း(rate of heat loss from the body) သည် metabolic heat generation rate နှုန်းထက် လျော့နည်းနိုင်သည်။ ထိုအခြေအနေမျိုးတွင် ခန္ဓာကိုယ်မှ ပြောင်းပြန်ပြုမူသည်။ (body activates the opposite mechanisms)။ ပထမဦးစွာ ခန္ဓာကိုယ်မှ သွေးလည်ပတ်နှုန်းမြန်(body increases the blood flow)လာသည်။ ထို့ကြောင့် အရေပြားဆီသို့ အပူများရောက်ရှိ (heat transport to the skin)သွားသည်။ အရေပြားအပူချိန် မြင့်တက်လာသည်။

အလွန့်အလွန်ပူသည့်အခါ(under extreme heat conditions) နှလုံးခုန်နှုန်း(heart rate)သည် တစ်မိနစ်လျှင်(၁၈၀)(180 beats per minut) ဖြစ်သည်။ ထိုအခြေအနေ ဦးနှောက်နှင့် အရေပြားဆီသို့ လုံလောက်သည့် သွေးပမာဏ ရောက်ရှိစေရန်(in order to maintain adequate blood supply to the brain and the skin) ခက်ခဲသည်။

နှလုံးခုန်နှုန်းများ(higher heart rates)လာလေ နှလုံးမှ တွန်းပို့နိုင်သည့် သွေးထုထည် efficiency လျော့နည်းလေ(volumetric efficiency of the heart drops) ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် နှလုံးခုန်နှုန်း မြန်လေ နှလုံးခုန်နှုန်း တစ်ချက်အတွက် သွေးများဝင်ရောက်ရန် အချိန်တိုတောင်းလေ ဖြစ်သည်။ ထိုအချိန် အခိုက်အတန့်၌ နှလုံးအတွင်းသို့ သွေးများဝင်ရောက်ရန် ခက်ခဲသောကြောင့်(because of the very short time between the beats to fill the heart with blood) ဖြစ်သည်။ အရေပြားဆီသို့ သွေးရောက်ရန်ထက် ဦးနှောက်ဆီသို့ရောက်ရန် ပိုအရေးကြီး(blood supply to the skin and more importantly to the brain drops)သည်။

အပူချိန် အလွန်မြင့်ခြင်းကြောင့် မေ့မြောသွား(faint as a result of heat exhaustion)နိုင်သည်။ ချွေးထွက်သည့် အခါ ရေဓာတ်များဆုံးရှုံးခြင်း(dehydration)ကြောင့် ပို၍ အခြေအနေဆိုးဝါးသွားနိုင်သည်။ အချိန် ကြာမြင့်စွာ မရပ်မနား အပြင်းအထန် အလုပ်လုပ်ခြင်း၊ လှုပ်ရှားနေပြီး ရုတ်တရက် ရပ်တန့်ခြင်းကြောင့်လည်း ထိုသို့ ဖြစ်နိုင်သည်။ (A similar thing happens when a person working very hard for a long time stops suddenly.)။

## ၁.၁၀ Requirements of Non-Standard Groups

Thermal comfort ကြိုက်နှစ်သက်ပုံ တစ်ဦးနှင့်တစ်ဦး အနည်းငယ်မတူညီကြပေ။ သက်ကြီးရွယ်အိုများသည် လှုပ်ရှားမှု နည်းသောကြောင့်လည်းကောင်း၊ metabolism ဖြစ်နှုန်းနှေး(lower met rate)သောကြောင့်လည်းကောင်း၊ အမျိုးသမီးများသည် ပါးလွှာပေါ့ပါးသည့် အဝတ်အထည်များ(insulation နိမ့်သည့်)ကို အရေးပြားပေါ်အောင် ဝတ်ဆင်ကြ(lower clo value clothes)သောကြောင့်လည်းကောင်း အနည်းငယ်ပိုမြင့်သည့် အပူချိန်ကို ကြိုက်နှစ်သက်ကြသည်။

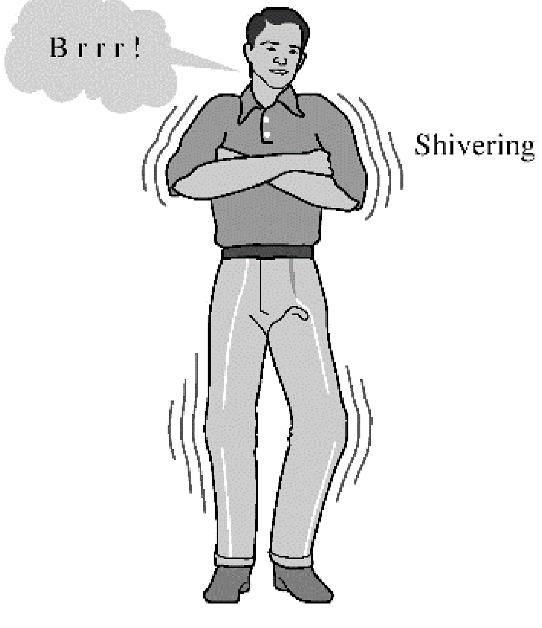
ယေဘုယျအားဖြင့် နွေရာသီတွင် ပိုနိမ့်သည့် အပူချိန်ကို ကြိုက်နှစ်သက်ကြ၍ ဆောင်းရာသီတွင် ပိုမြင့်သည့် အပူချိန်ကို ကြိုက်နှစ်သက်ကြသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် နွေရာသီတွင် အေးအေးချမ်းချမ်း နေချင်ကြပြီး ဆောင်းရာသီတွင် နွေးနွေးထွေးထွေး နေလိုကြသည်။ နွေရာသီတွင် နံရံများ၊ ခေါင်မိုးများသည် ပြင်ပမှ အပူများကို စုပ်ယူထားသောကြောင့် အခန်းအပူချိန် မြင့်တက်သည်။

ဥပမာ-နွေရာသီ၌ အပြင်ဘက်၌ အလွန်ပူသောကြောင့် တစ်ထပ်အိမ်တစ်အိမ်တွင် နံရံများ(walls)၊ ပြတင်းပေါက်များ(windows)နှင့် ခေါင်မိုး(roof)တို့ ပူနွေးနေသည်။ ထို့ကြောင့် radiant temperature ပိုမြင့်သောကြောင့် ပိုနိမ့်သည့် လေအပူချိန်(air temperature)ကို အလိုရှိကြသည်။ ထို့အတူ ဆောင်းရာသီတွင် နံရံများ (walls)၊ ပြတင်းပေါက်များ(windows)နှင့် မျက်နှာကြက်အပူချိန် နိမ့်သောကြောင့် ပိုမြင့်သည့် လေအပူချိန်ကို အလိုရှိသည်။

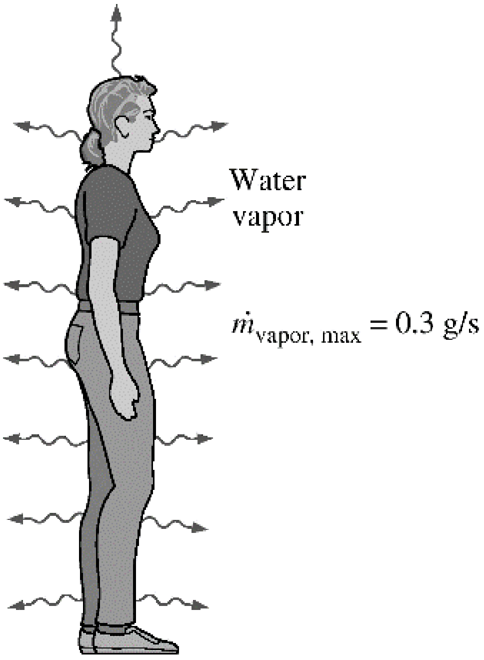
နားနေစဉ်အတွင်း ခန္ဓာကိုယ်အပူ၏ ၂၀% မှ ၃၀% ကို (20-30% body heat)သည် ကြွက်သား(muscles) များ မှ ထုတ်ပေးသည်။

**Factors Affecting Human Comfort**

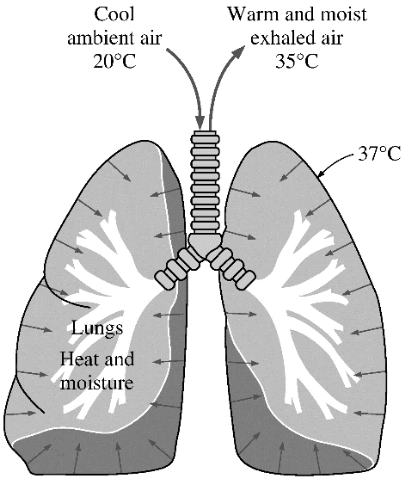
- Dry-bulb temperature
- Humidity
- Air movement
- Fresh air
- Clean air
- Noise level
- Adequate lighting
- Proper furniture and work surfaces

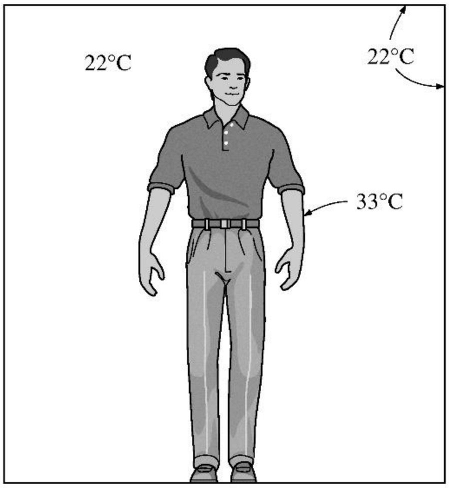



ပုံ ၁-၂၇ ဆောင်းရာသီ ခိုက်ခိုက်တုန်အောင် ချမ်းသည့် အချိန်၌ ခန္ဓာကိုယ်၏ metabolic rate သည် resting level metabolic rate ထက် (၆)ဆခန့် ပိုများ သွားသည်။ (The rate of metabolic heat generation may go up by 6 times the resting level during total body shivering in cold weather.)




ပုံ ၁-၂၈ A thermally comfortable environment.




ပုံ ၁-၂၉ Part of the metabolic heat generated in the body is rejected to the air from the lungs during respiration.

-End-