

IAQ (Indoor Air Quality), Confined Space Safety နှင့် Mechanical Ventilation

အကြောင်း

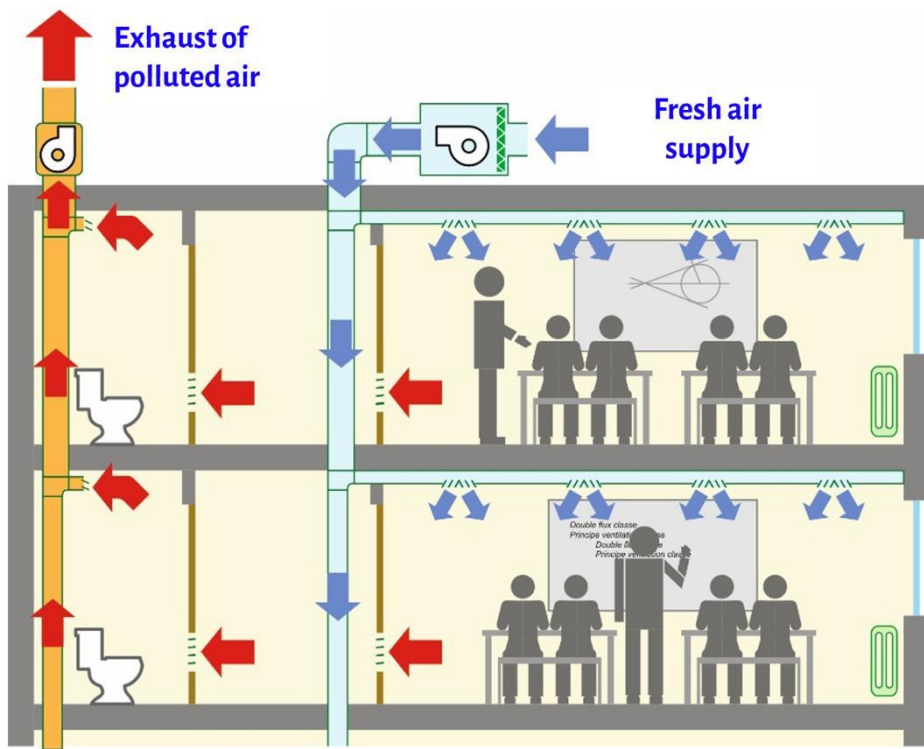


(SS553, SS554, BS Standards, ASHRAE Standards များကို အခြေခံ၍)

Presented by U Hteik Tinn Htutt (RSE-001)

Project and Technical Director

Royal Eagle Electronic Company



Indoor Air Quality (IAQ) ဆိုသည်မှာ အဆောက်အအုံအတွင်းရှိ လေထု၏ အရည်အသွေးကို ဆိုလိုပြီး၊ အလုပ်လုပ်သူများ၊ နေထိုင်သူများ၊ လူနာများ၊ ကျောင်းသားများ၏ ကျန်းမာရေး၊ သက်တောင့်သက်သာရှိမှု (Thermal Comfort) နှင့် လုပ်ငန်းစွမ်းဆောင်ရည် (Productivity) အပေါ် တိုက်ရိုက်သက်ရောက်ပါသည်။

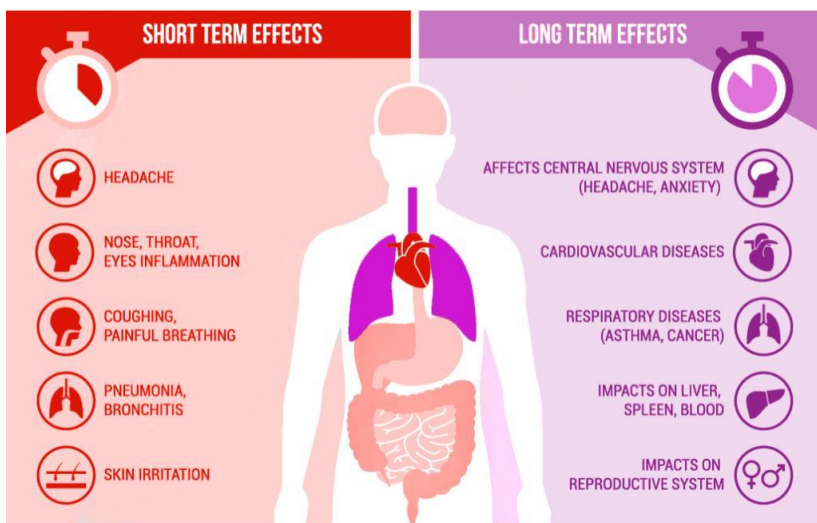
ယနေ့ခေတ် Data Center, Hospital, Pharmaceutical Factory, Office Building, Hotel, Shopping Mall နှင့် Residential Building များတွင် IAQ သည် HVAC Design ၏ အရေးကြီးဆုံးအချက်များထဲမှ တစ်ခုဖြစ်သည်။

၁။ IAQ (Indoor Air Quality) ဆိုသည်မှာ

Indoor Air Quality ကို အောက်ပါအချက်များဖြင့် သတ်မှတ်သည်။

- Temperature (°C)
- Relative Humidity (%RH)
- CO₂ Concentration (ppm)
- Carbon Monoxide (CO)
- PM_{2.5} / PM₁₀
- TVOC (Total Volatile Organic Compounds)
- Formaldehyde
- Air Velocity
- Air Change Rate (ACH)
- Fresh Air Rate
- Bacteria / Virus / Mold
- Odor Control

၂။ IAQ မကောင်းလျှင် ဖြစ်နိုင်သော ကျန်းမာရေးပြဿနာများ



အိမ်ထဲမှာနေတဲ့အချိန်မှာသာ ချောင်းဆိုး၊ ရင်ကြပ်၊ နှာစေး၊ မျက်စိယား၊ ခေါင်းကိုက်၊ မောပန်းပြီး အပြင်ထွက်လိုက်ရင် သက်သာသွားတတ်ရင် **Indoor Air Quality (IAQ) မကောင်းခြင်း** နဲ့ ဆက်နွှယ်နိုင်ပါတယ်။

လူအများက "In-house syndrome" လို့ခေါ်တတ်ပေမယ့် ဆေးပညာမှာ အများဆုံး အသုံးပြုတဲ့အမည်က Sick Building Syndrome ဖြစ်ပါတယ်။

Indoor Air Quality (IAQ) မကောင်းရတဲ့ အကြောင်းရင်းများ

- လေဝင်လေထွက် မကောင်းခြင်း (ပြတင်းပေါက်ပိတ်ထားတာ၊ လေမလည်တာ)
- ဖုန်မှုန့်နှင့် အိမ်ဖုန်ပိုး (dust mites)
- မှို (mold) တက်ခြင်း (စိုထိုင်းတဲ့နေရာတွေမှာ)
- အိမ်မွေးတိရစ္ဆာန် အမွှေးနှင့် အရေပြားအမှုန်များ
- ဆေးလိပ်ငွေ့
- မီးဖိုကထွက်တဲ့ carbon monoxide သို့မဟုတ် nitrogen dioxide
- သန့်ရှင်းရေးပစ္စည်း၊ အမွှေးနံ့၊ ဆေးသုတ်စတဲ့ ပစ္စည်းတွေက ထွက်တဲ့ volatile organic compounds (VOCs)

ဖြစ်နိုင်တဲ့ လက္ခဏာများ

- ချောင်းဆိုးခြင်း
- ရင်ကြပ်၊ အသက်ရှူရခက်ခြင်း
- နှာစေး၊ နှာချေခြင်း
- မျက်စိယား၊ မျက်ရည်ကျခြင်း
- လည်ချောင်းနာခြင်း
- ခေါင်းကိုက်ခြင်း
- မောပန်းနွမ်းနယ်ခြင်း
- အိမ်အပြင်ထွက်လိုက်ရင် သက်သာသွားတတ်ခြင်း

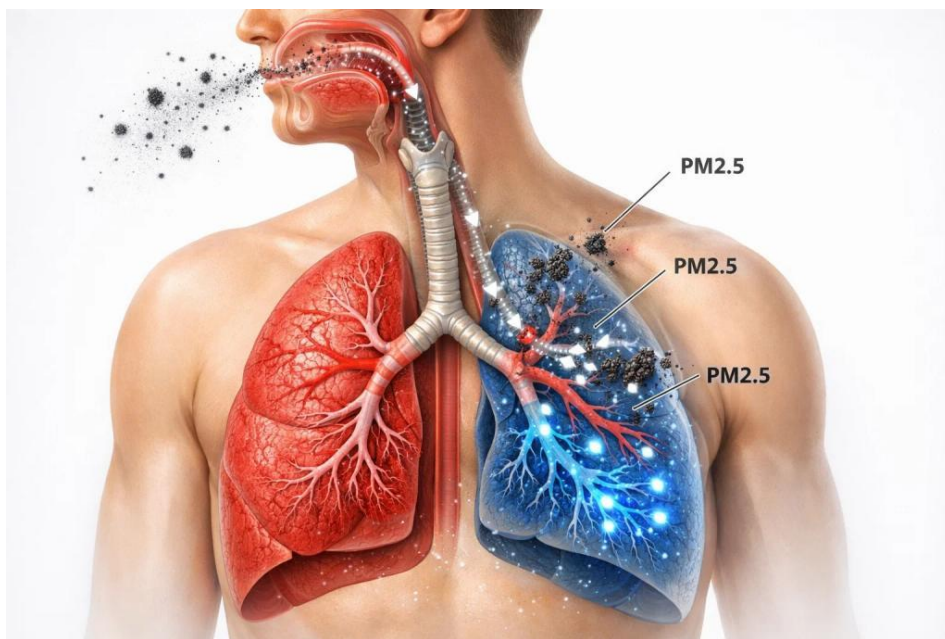
ဘယ်သူတွေ ပိုဖြစ်နိုင်သလဲ

- Asthma ရှိသူ

- ဓာတ်မတည့်တတ်သူ (allergy)
- ကလေးငယ်များ
- သက်ကြီးရွယ်အိုများ
- ကိုယ်ခံအားနည်းသူများ

အိမ်မှာ ဘာလုပ်သင့်လဲ

- နေ့စဉ် လေဝင်လေထွက်ကောင်းအောင် ပြတင်းပေါက်ဖွင့်ပါ။
- စိုထိုင်းမှုကို 30-50% ဝန်းကျင်မှာ ထိန်းထားပါ။
- မှိုတက်နေရာတွေကို သန့်ရှင်းရေးလုပ်ပြီး ရေယိုစိမ့်မှုရှိရင် ပြုပြင်ပါ။
- ဖုန်ကို စိုစွတ်တဲ့အဝတ်နဲ့ သုတ်ပြီး အိပ်ယာခင်း၊ ခေါင်းအုံးစွပ်တွေကို ပုံမှန်လျှော်ပါ



ချက်ချင်းဖြစ်နိုင်သော လက္ခဏာများ

- ခေါင်းကိုက်ခြင်း
- မူးဝေခြင်း
- မျက်လုံးယားယံခြင်း
- နှာခေါင်းယားခြင်း
- လည်ချောင်းနာခြင်း
- အိပ်ငိုက်ခြင်း
- အာရုံစူးစိုက်မှု လျော့နည်းခြင်း

ရေရှည်သက်ရောက်မှုများ

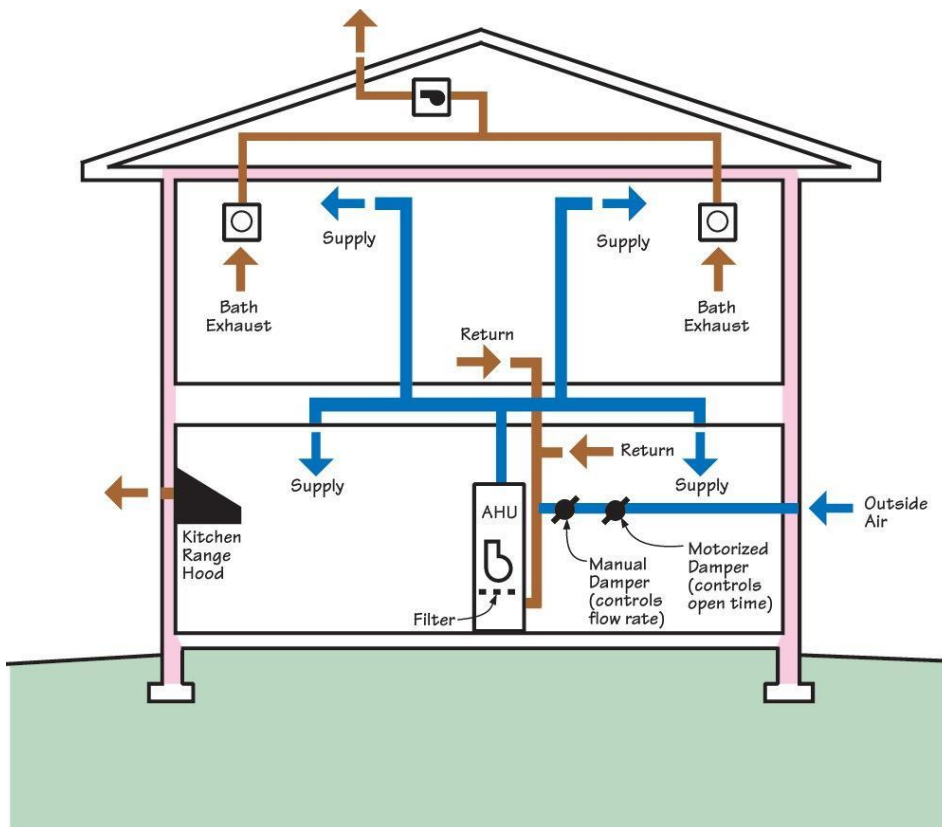
- Asthma
- COPD
- Lung Cancer (အချို့အဆိပ်ဓာတ်များနှင့် ရေရှည်ထိတွေ့မှု)
- Heart Disease
- Allergy
- Chronic Fatigue
- Sick Building Syndrome (SBS)

၃။ IAQ ကို သတ်မှတ်သော အရေးကြီး Parameter များ

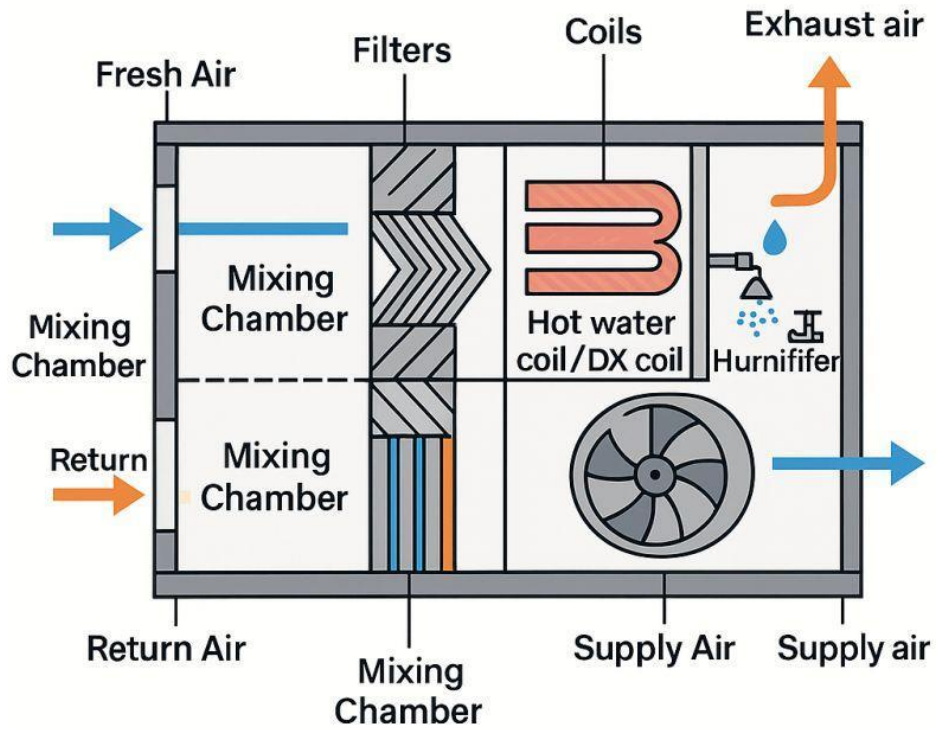
Parameter	Recommended Value
Temperature	22–26°C
Relative Humidity	40–60%
CO ₂	< 1000 ppm (ရုံးအဆောက်အဦများတွင် လက်ခံနိုင်သောအဆင့်)
CO	အလွန်နည်းရမည်
PM _{2.5}	နည်းနိုင်သမျှနည်းရမည်

Parameter	Recommended Value
Air Velocity	0.15–0.25 m/s
Outdoor Air	Occupancy အလိုက်တွက်ချက်

၄။ Mechanical Ventilation အရေးပါပုံ



AHU (Air Handling Unit)



Mechanical Ventilation ၏ အဓိကရည်ရွယ်ချက်များမှာ

- Fresh Air ပေးခြင်း
- CO₂ လျှော့ချခြင်း
- အနံ့ဖယ်ရှားခြင်း
- Heat ဖယ်ရှားခြင်း
- Humidity ထိန်းခြင်း

- Indoor Pollutants ဖယ်ရှားခြင်း
- Positive / Negative Pressure ထိန်းခြင်း
- Infection Control (Hospital)
- Cleanroom Pressure Cascade ထိန်းခြင်း

Ventilation System (လေဝင်လေထွက်စနစ်) ဆိုသည်မှာ ဘာလဲ?

Ventilation System ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦး သို့မဟုတ် စက်ရုံအတွင်းရှိ လေဟောင်း (Stale Air)၊ အပူ (Heat)၊ စိုထိုင်းဆ (Humidity)၊ ဖုန်မှုန့် (Dust)၊ အနံ့ (Odor)၊ အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့ (Toxic Gas) များကို ဖယ်ရှားပြီး လေသန့် (Fresh Air) ကို အစားထိုးပေးသော စနစ် ဖြစ်ပါသည်။

ASHRAE, CIBSE, SMACNA နှင့် ISO Standards များတွင် Ventilation သည် အောက်ပါရည်ရွယ်ချက်များအတွက် အရေးကြီးသည်။

- လူများအတွက် အသက်ရှူရန် လေသန့်ပေးခြင်း
- အပူဖယ်ရှားခြင်း
- စိုထိုင်းဆထိန်းချုပ်ခြင်း
- CO₂ လျှော့ချခြင်း
- Toxic Gas ဖယ်ရှားခြင်း
- Fire & Smoke Control

Ventilation System အမျိုးအစား

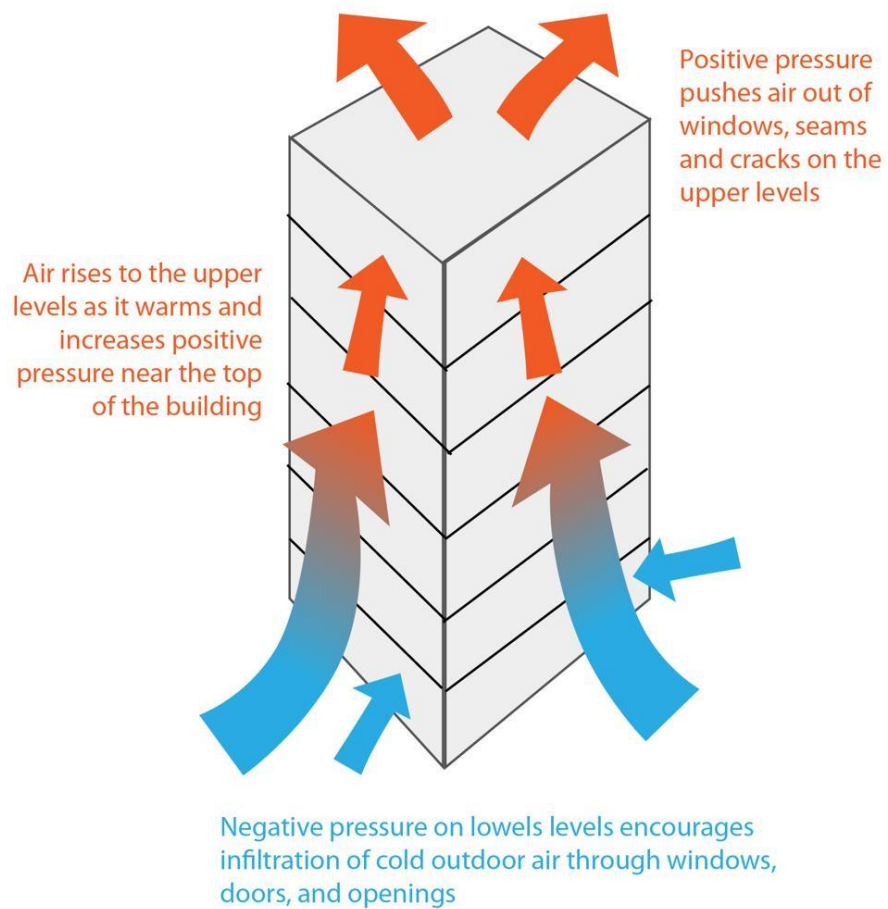
အဓိကအားဖြင့် (၃) မျိုး ရှိပါသည်။

1. Natural Ventilation
2. Mechanical Ventilation
3. Hybrid (Mixed-Mode) Ventilation



၁။ Natural Ventilation (သဘာဝလေဝင်လေထွက်)

HOW DOES STACK EFFECT WORK?

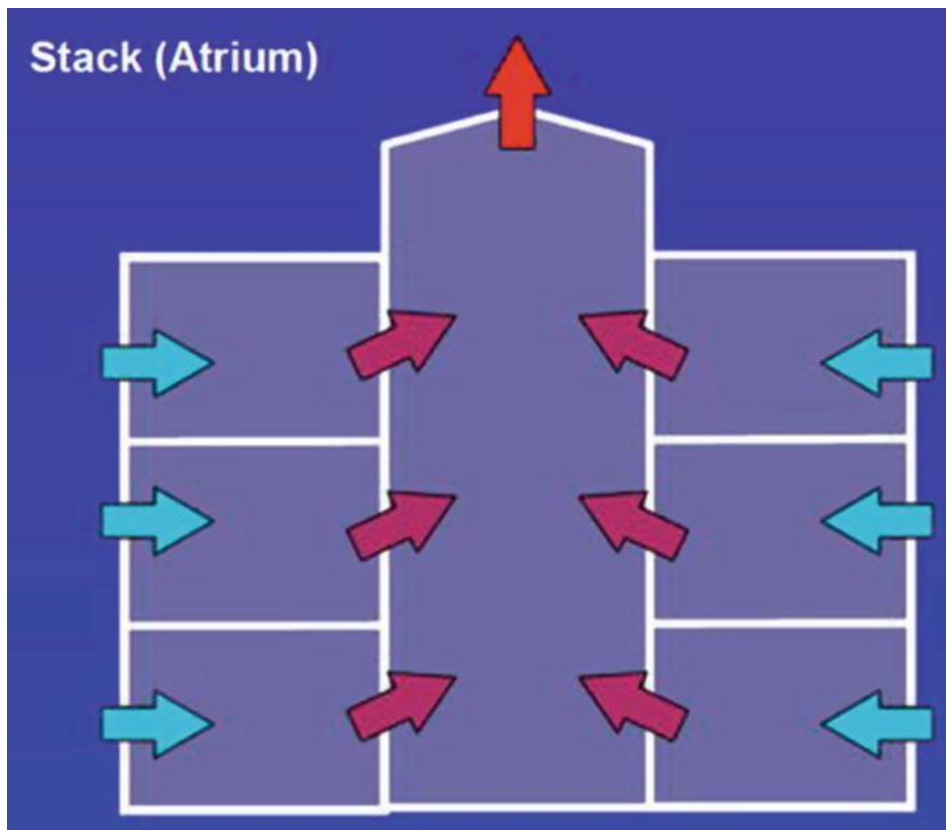




Stack Effect and Tall Building Fire Hazard



Building တွင် ဖြစ်ပေါ်သော Stack Effect ဆိုတာ ဘာလဲ?



Stack Effect (Chimney Effect) ဟုလည်း ခေါ်သည်။ ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦးအတွင်းနှင့် အပြင်ဘက်ရှိ လေအပူချိန်ကွာခြားမှုကြောင့် လေဖိအား (Pressure Difference) ဖြစ်ပေါ်ပြီး လေသည် အောက်မှဝင်၍ အပေါ်မှထွက်သွားသော သဘာဝလေစီးဆင်းမှု ဖြစ်ပါသည်။

၎င်းသည် Natural Ventilation ၏ အရေးကြီးဆုံး အခြေခံသဘောတရားတစ်ခု ဖြစ်ပြီး Physics တွင် Hot Air Rises (ပူသောလေသည် အပေါ်သို့တက်သည်) ဆိုသည့် နိယာမအပေါ် အခြေခံထားပါသည်။

Stack Effect ဘာကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သနည်း?

အကြောင်းရင်းမှာ လေ၏ သိပ်သည်းဆ (Air Density) ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ဖြစ်သည်။

- ပူသောလေ (Hot Air) → သိပ်သည်းဆနည်း → ပေါ့ပါး → အပေါ်သို့တက်သည်။
- အေးသောလေ (Cold Air) → သိပ်သည်းဆများ → လေး → အောက်သို့ဆင်းသည်။

ဥပမာ

Outside Air = 25°C

Inside Air = 38°C

အဆောက်အအုံအတွင်း လေသည် ပိုပူနေသောကြောင့် အပေါ်သို့ တက်သွားပြီး Roof Vent မှ ထွက်သွားသည်။ ထိုအချိန်တွင် အောက်ပိုင်းရှိ Louver သို့မဟုတ် ပြတင်းပေါက်မှ လေသန့်အသစ် ဝင်လာသည်။

Stack Effect အလုပ်လုပ်ပုံ

Roof Vent

↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑

Hot Air Out

↑

┌──────────┐

| Warm Air |

| |

| |

| |

└──────────┘

↓

Fresh Air In

(Louver)

အဆင့်လိုက်ဖြစ်စဉ်

1. အတွင်းလေ ပူလာသည်။
2. ပူသောလေသည် ပေါ့ပါးသဖြင့် အပေါ်သို့တက်သည်။
3. Roof Ventilator မှ ထွက်သွားသည်။
4. Pressure လျော့သွားသောကြောင့် အောက်မှ Fresh Air ဝင်လာသည်။
5. Continuous Air Circulation ဖြစ်ပေါ်သည်။

Stack Effect ကို ဖြစ်စေသော အချက်များ

Stack Effect အားကောင်းခြင်း၊ အားနည်းခြင်းသည် အောက်ပါအချက်များပေါ်မူတည်သည်။

၁။ Temperature Difference (ΔT)

အတွင်းနှင့် အပြင် အပူချိန်ကွာခြားမှု များလေလေ Stack Effect ကောင်းလေလေ။

ဥပမာ

- Inside = 40°C
- Outside = 25°C

$\Delta T = 15^{\circ}\text{C}$

၂။ Building Height (H)

အဆောက်အဦး မြင့်လေလေ Stack Effect ပိုအားကောင်းလေလေ။

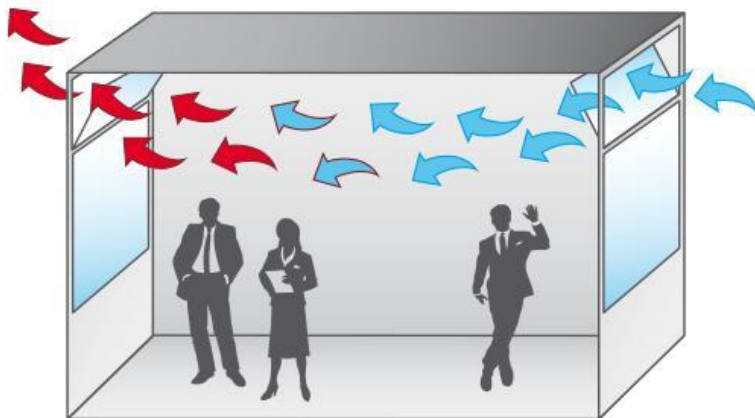
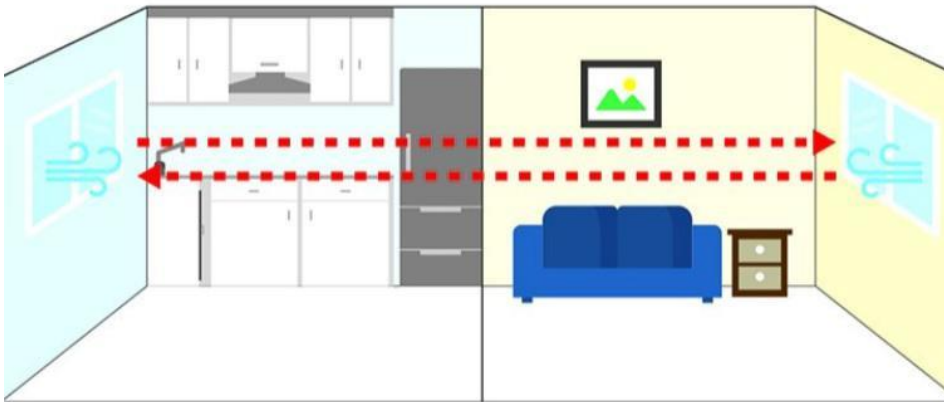
ဥပမာ

- 5 m Warehouse $\rightarrow$ အားနည်း
- 30 m Atrium $\rightarrow$ အားကောင်း
- 200 m High-rise Building $\rightarrow$ အလွန်အားကောင်း

၃။ Inlet နှင့် Outlet အမြင့်ကွာခြားမှု

Fresh Air Inlet နှင့် Roof Exhaust ကြား Vertical Distance များလေလေ Stack Effect ပိုကောင်းသည်။

Cross Ventilation ဆိုတာ ဘာလဲ?



Cross Ventilation (ဖြတ်သန်းလေဝင်လေထွက်) ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦ၏ တစ်ဖက်မှ Fresh Air ဝင်လာပြီး ဆန့်ကျင်ဘက်အခြမ်းမှ လေဟောင်း (Warm/Stale Air) ထွက်သွားစေရန် ပြုလုပ်ထားသော Natural Ventilation နည်းလမ်း ဖြစ်ပါသည်။

၎င်းသည် Wind Pressure (လေတိုက်အား) ကို အဓိကအသုံးပြုပြီး လေစီးဆင်းမှုကို ဖြစ်စေပါသည်။

လေတိုက်လာသောဘက် (Windward Side) တွင် Positive Pressure ဖြစ်ပြီး လေဝင်လာသည်။

ဆန့်ကျင်ဘက် (Leeward Side) တွင် Negative Pressure ဖြစ်သဖြင့် လေထွက်သွားသည်။ ဤ

Pressure Difference ကြောင့် အခန်းအတွင်း လေစီးဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်လာပါသည်။

Cross Ventilation ဘယ်လိုဖြစ်ပေါ်သလဲ?

Cross Ventilation ဖြစ်ရန် အဓိကလိုအပ်သောအချက် (၃) ချက်မှာ

(၁) Wind Pressure

လေတိုက်ရမည်။

(၂) Inlet Opening

Window

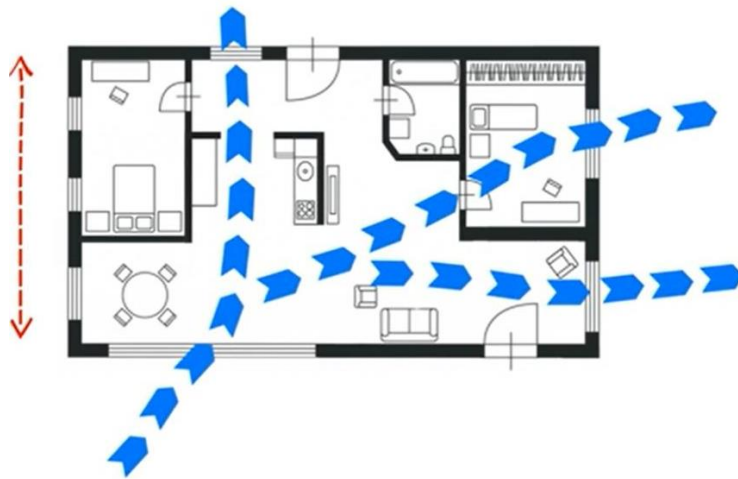
Louver

Door

Fresh Air Vent

ရှိရမည်။

၁။ နေအိမ်



Bedroom

Living Room

Kitchen

တို့တွင်

ပြတင်းပေါက်များကို ဆန့်ကျင်ဘက်ဘက်တွင်ထား၍ Cross Ventilation ရအောင် ဒီဇိုင်းဆွဲကြသည်။

၂။ Office

Open Office များတွင်

Fresh Air ပိုရစေရန်

အသုံးပြုသည်။

၃။ School

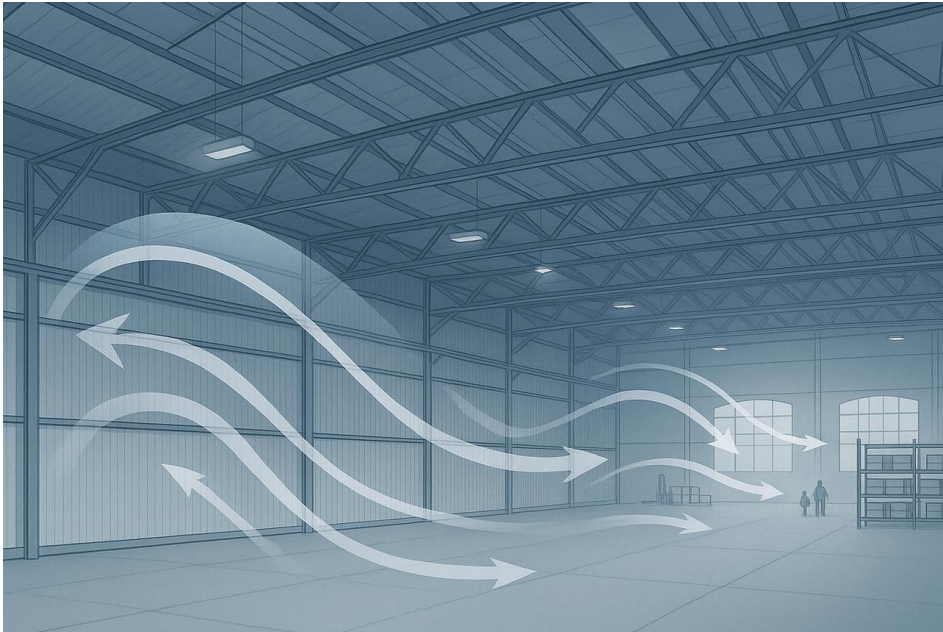
စာသင်ခန်းများတွင်

CO₂ လျော့စေရန်

အသုံးပြုသည်။

၄။ Warehouse





Warehouse များတွင်

Wall Louver

•

Roof Ventilator

တို့ကို အသုံးပြု၍

Heat Removal

လုပ်ကြသည်။

၅။ Factory

Heat

Dust

Fume

များမများသော Factory များတွင် အသုံးပြုနိုင်သည်။

၆။ Livestock Farm

Chicken Farm

Pig Farm

Dairy Farm

များတွင်

အလွန်အသုံးများသည်။

Active Ventilation နှင့် Passive Ventilation သည် အဆောက်အအုံအတွင်း လေဝင်လေထွက် (Ventilation) ပြုလုပ်သည့် နည်းလမ်းနှစ်မျိုးဖြစ်ပါသည်။ ကွာခြားချက်မှာ လျှပ်စစ်စွမ်းအင်နှင့် စက်ပစ္စည်း အသုံးပြုခြင်း ရှိ/မရှိ ဖြစ်သည်။

၁။ Passive Ventilation (သဘာဝလေဝင်လေထွက်)

Passive Ventilation ဆိုသည်မှာ Fan သို့မဟုတ် Motor မသုံးဘဲ သဘာဝလေတိုက်ခြင်း (Wind Pressure) နှင့် ပူသောလေတက်ခြင်း (Stack Effect) ကို အသုံးပြု၍ လေဝင်လေထွက် ဖြစ်စေသောစနစ် ဖြစ်သည်။

လေအေးသည် အောက်မှဝင်ပြီး ပူသောလေသည် အပေါ်သို့တက်ကာ Roof Vent မှ ထွက်သွားသည်။

Passive Ventilation ဥပမာ

- ပြတင်းပေါက် (Windows)
- Air Louvers
- Roof Ventilator
- Ridge Vent
- Solar Chimney
- Atrium Ventilation

- Ventilation Shaft

အားသာချက်

- ✓ လျှပ်စစ်မကုန်
- ✓ Maintenance နည်း
- ✓ တပ်ဆင်စရိတ် သက်သာ
- ✓ Eco-friendly

အားနည်းချက်

- X လေတိုက်နှုန်းအပေါ်မူတည်သည်။
- X Fresh Air ပမာဏကို တိတိကျကျ မထိန်းချုပ်နိုင်။
- X လူများသော အဆောက်အဦများတွင် မလုံလောက်နိုင်။

၂။ Active Ventilation (Mechanical Ventilation)

Active Ventilation ဆိုသည်မှာ Fan၊ AHU၊ FAHU၊ Exhaust Fan၊ ERV/HRV စသည့် စက်ပစ္စည်းများကို အသုံးပြု၍ လေဝင်လေထွက် ပြုလုပ်သောစနစ် ဖြစ်သည်။

အလုပ်လုပ်ပုံ

Outdoor Air



Fresh Air Fan



Supply Duct





▲
|
Return Air

|
Exhaust Fan

|
Outdoor

Fan များက Fresh Air ကို အခန်းအတွင်းသို့ ပို့ပြီး အသုံးပြုပြီးသော လေကို Exhaust Fan ဖြင့် အပြင်သို့ ထုတ်ပစ်သည်။

Active Ventilation ဥပမာ

- Fresh Air Fan
- Exhaust Fan
- AHU (Air Handling Unit)
- FAHU (Fresh Air Handling Unit)
- ERV / HRV
- Jet Fan
- Smoke Exhaust Fan
- Staircase Pressurization Fan

အားသာချက်

- ✓ Fresh Air ပမာဏကို တိတိကျကျ ထိန်းချုပ်နိုင်။
- ✓ CO₂၊ Humidity နှင့် Temperature ကို စီမံနိုင်။
- ✓ Indoor Air Quality (IAQ) ကောင်းမွန်စေသည်။

- ✓ လူများသော အဆောက်အအုံများအတွက် သင့်တော်သည်။

အားနည်းချက်

- X လျှပ်စစ်စွမ်းအင် သုံးစွဲရသည်။
- X Maintenance လိုအပ်သည်။
- X တပ်ဆင်စရိတ် ပိုများသည်။

Hybrid Ventilation (ပေါင်းစပ်စနစ်)

ယနေ့ခေတ် Green Building များတွင် Hybrid Ventilation ကို အသုံးများလာပါသည်။

Wind



Open Windows



Building Space



Fresh Air Fan

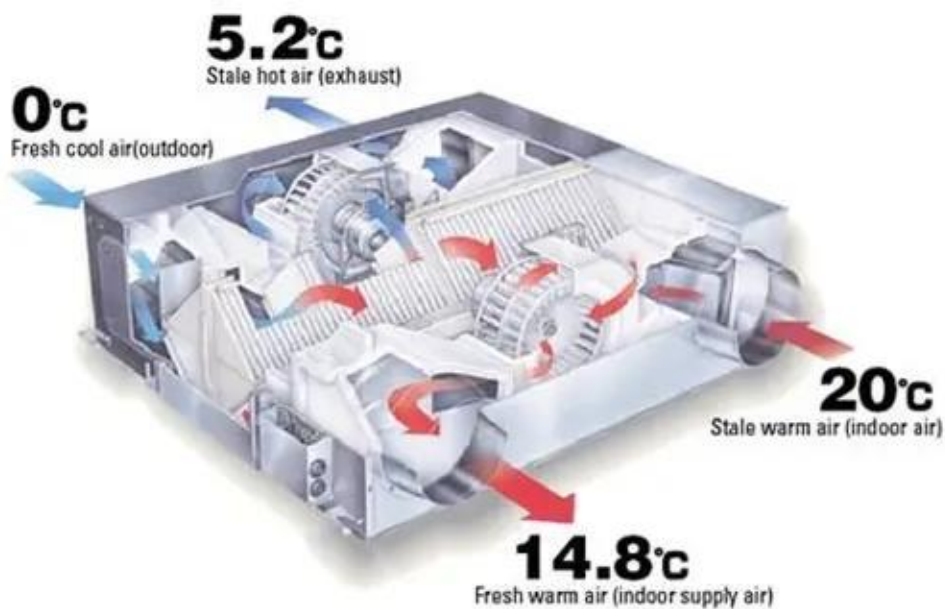


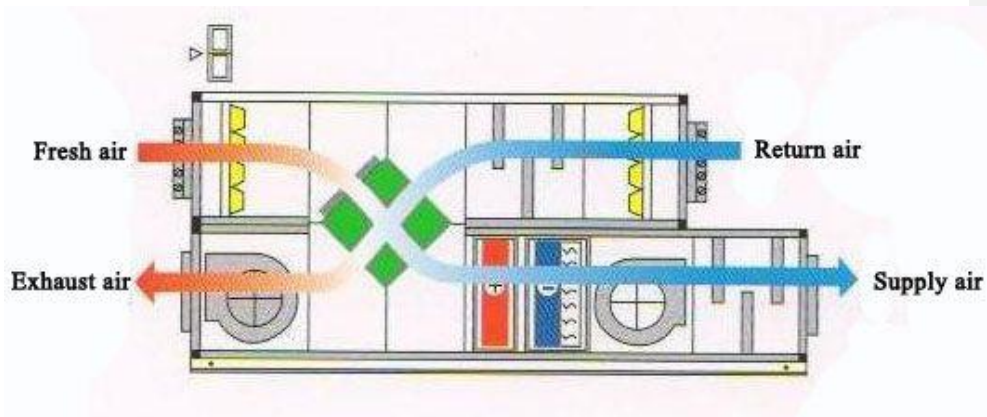
Exhaust Fan

ရာသီဥတုကောင်းသည့်အချိန်တွင် Passive Ventilation ကို အသုံးပြုပြီး၊ လူများလာခြင်း သို့မဟုတ် အပူချိန်/CO₂ မြင့်လာသည့်အခါ Mechanical Ventilation ကို အလိုအလျောက် ဖွင့်ပေးသောစနစ်ဖြစ်သည်။

HVAC Engineer အမြင်

- Passive Ventilation သည် သဘာဝလေကို အသုံးပြုသောကြောင့် စွမ်းအင်သက်သာသော်လည်း ထိန်းချုပ်နိုင်မှု နည်းပါးသည်။
- Active Ventilation သည် Fan နှင့် HVAC စနစ်များကို အသုံးပြု၍ လေဝင်လေထွက်ကို တိကျစွာ ထိန်းချုပ်နိုင်ပြီး လူအများအသုံးပြုသော အဆောက်အအုံများအတွက် မဖြစ်မနေ လိုအပ်သည်။
- Shopping Mall, Cinema, Hospital, Office Tower, Hotel, Restaurant ကဲ့သို့ Commercial Building များတွင် Active Ventilation သည် အဓိကစနစ်ဖြစ်ပြီး၊ Passive Ventilation ကို အထောက်အကူအဖြစ်သာ အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။
- Green Building များတွင် Passive နှင့် Active ကို ပေါင်းစပ်ထားသော Hybrid Ventilation သည် စွမ်းအင်ထိရောက်မှုနှင့် Indoor Air Quality ကို တစ်ပြိုင်နက်တည်း တိုးတက်စေသော နည်းလမ်းတစ်ခုဖြစ်သည်။





၇။ Green Building

LEED

Green Mark

Green Building

Design များတွင်

Cross Ventilation သည် Energy Saving အတွက် အရေးကြီးသည်။

Cross Ventilation မသင့်သောနေရာများ

အောက်ပါနေရာများတွင် Cross Ventilation တစ်ခုတည်း မလုံလောက်ပါ။

- Data Center
- Cleanroom
- Hospital Operating Theatre
- Pharmaceutical Factory
- Laboratory
- Chemical Storage Room (Hazard အလိုက် Mechanical Exhaust လိုအပ်နိုင်သည်)
- Battery Room

- Underground Basement Car Park

ဤနေရာများတွင် Mechanical Ventilation သို့မဟုတ် Controlled Ventilation ကို အသုံးပြုရသည်။

Cross Ventilation နှင့် Stack Effect ကွာခြားချက်

Cross Ventilation	Stack Effect
Wind Pressure ကို အဓိကအသုံးပြုသည်	Temperature Difference ကို အဓိကအသုံးပြုသည်
လေသည် အလျားလိုက် (Horizontal) စီးသည်	လေသည် ဒေါင်လိုက် (Vertical) စီးသည်
ပြတင်းပေါက်၊ Louver နှစ်ဖက်လိုအပ်သည်	အောက်ဘက် Inlet နှင့် အပေါ်ဘက် Outlet လိုအပ်သည်
Low-rise နှင့် Wide Building များတွင် ထိရောက်သည်	Atrium၊ Warehouse နှင့် High-space Building များတွင် ထိရောက်သည်

အကောင်းဆုံး Natural Ventilation

အကောင်းဆုံး Natural Ventilation Design သည် Cross Ventilation + Stack Effect ကို ပေါင်းစပ်အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ Warehouse တစ်ခုတွင်

- Wall Louver မှ Fresh Air ဝင်လာသည်။
- Roof Ventilator မှ ပူသောလေ ထွက်သွားသည်။

ထိုသို့ပြုလုပ်ပါက Cross Ventilation (Horizontal Airflow) နှင့် Stack Effect (Vertical Airflow) နှစ်မျိုးလုံးကို အသုံးပြုနိုင်ပြီး Fan အသုံးပြုချိန်ကို လျော့ချနိုင်သည်။

HVAC Engineering တွင် Cross Ventilation ကို စီမံရာ၌ Building Orientation, Local Wind Data (Wind Rose), Opening Area Ratio, Indoor Air Velocity (ပုံမှန် လူနေခန်းများတွင် 0.15–0.8 m/s ခန့်) နှင့် Occupant Comfort တို့ကို ပေါင်းစပ်စဉ်းစား၍ ဒီဇိုင်းရေးဆွဲကြပါသည်။

Energy Recovery Unit ဆိုတာ ဘာလဲ?

ဥပမာ—

- အခန်းထဲ = 24°C
- အပြင် = 38°C

Fresh Air ကို တိုက်ရိုက် AHU သို့ပို့လျှင် AHU က 38°C ကို 24°C အထိ အအေးခံရသဖြင့် Compressor အလုပ်ပိုလုပ်ရပြီး လျှပ်စစ်ကုန်ကျစရိတ် မြင့်တက်သည်။

ERV/HRV သည် အခန်းမှထွက်သော Exhaust Air ၏ အေးမြမှုကို Fresh Air သို့ လွှဲပြောင်းပေးသောကြောင့် Fresh Air သည် AHU မရောက်မီ အပူချိန် လျော့ကျပြီး Cooling Load လျော့နည်းစေသည်။

အဓိကအချက်

- လေနှစ်စီး (Fresh Air နှင့် Exhaust Air) သည် မရောနှောပါ။
- Heat Exchanger Core မှတစ်ဆင့်သာ အပူ (နှင့် ERV ဖြစ်ပါက စိုထိုင်းဆ) ကို လွှဲပြောင်းပေးသည်။
- Fresh Air သည် အပူချိန်လျော့ကျသဖြင့် AHU ၏ Cooling Coil အလုပ်လျော့သည်။

Ventilation System အတွက် အကျိုးကျေးဇူး

Stack Effect ကို Engineering Design တွင် အကျိုးရှိစွာ အသုံးပြုနိုင်သည်။

၁။ လျှပ်စစ်စွမ်းအင် လျော့ချနိုင်သည်။

Natural Ventilation ဖြင့် လေစီးဆင်းမှု ရရှိသောကြောင့် Exhaust Fan အလုပ်ချိန် လျော့နိုင်သည်။

၂။ အပူဖယ်ရှားနိုင်သည်။

Factory

Warehouse

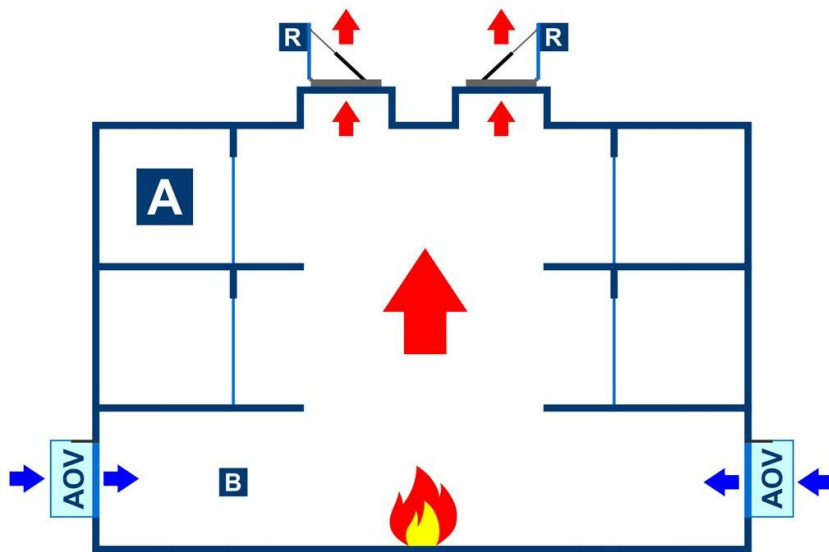
Atrium

Workshop

တို့တွင် Roof အနီးရှိ ပူသောလေကို သဘာဝအတိုင်း ဖယ်ရှားပေးနိုင်သည်။

၃။ Smoke Control





Fire ဖြစ်သောအခါ Smoke သည် အပေါ်သို့ တက်သည်။

ထို့ကြောင့် Smoke Ventilator များသည် Stack Effect ကို အသုံးပြုပြီး Smoke ကို Roof မှ ထုတ်ပေးသည်။

၄။ Indoor Air Quality ကောင်းမွန်စေသည်။

CO₂

Odor

Heat

Humidity

တို့ကို သဘာဝအတိုင်း လျော့ချပေးနိုင်သည်။

Stack Effect ကို အသုံးပြုသော အဆောက်အအုံများ

- Warehouse
- Factory
- Aircraft Hangar
- Sports Hall
- Church
- Atrium
- Green Building
- Airport Terminal

Stack Effect ၏ အားနည်းချက်များ

High-rise Building များတွင် Stack Effect အလွန်များလျှင်

- Lift Shaft တွင် လေတိုက်အား များလာခြင်း
- တံခါးဖွင့်ရခက်ခြင်း
- မီးလောင်ချိန် Smoke ပြန့်နှံ့နိုင်ခြင်း

တို့ဖြစ်နိုင်သောကြောင့် Stair Pressurization၊ Smoke Control Fan နှင့် Automatic Dampers များဖြင့် ထိန်းချုပ်ရသည်။

Stack Effect Pressure (Engineering)

Stack Effect ကြောင့် ဖြစ်သော Pressure Difference ကို အကြမ်းဖျင်း အောက်ပါပုံစံဖြင့် ခန့်မှန်းတွက်ချက်နိုင်သည်။

$$\Delta P \approx 3465 \times H \times \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right)$$

အကြောင်းအရာများ

- ΔP = Pressure Difference (Pa)
- H = Vertical Height (m)
- T_o = Outside Absolute Temperature (K)
- T_i = Inside Absolute Temperature (K)

ဤ Equation ကို High-rise Building၊ Atrium နှင့် Smoke Control Design များတွင် အသုံးပြုကြသည်။

၂။ Mechanical Ventilation

1. Fan Power (Fan ၏ စွမ်းအင်လိုအပ်ချက်)

Fan Power ဆိုသည်မှာ Fan Motor က အသုံးပြုရသော လျှပ်စစ်စွမ်းအား (kW) ဖြစ်သည်။

အခြေခံ Formula

Power (kW) = (Air Flow × Total Pressure) / (102 × Efficiency)

- Air Flow = m³/s
- Pressure = Pa
- Efficiency = Decimal (ဥပမာ 0.75)

ဥပမာ

Air Flow = 3 m³/s

Pressure = 900 Pa

Efficiency = 75%

Power

≈ 3 × 900 / (102 × 0.75)

≈ 35 kW

Fan Power Diagram

Motor



Air Flow
(m³/s)

Electrical Power



Mechanical Power



Air Power

2. Fan Curve

Fan Curve သည် Fan Performance ကို ဖော်ပြသော Graph ဖြစ်သည်။

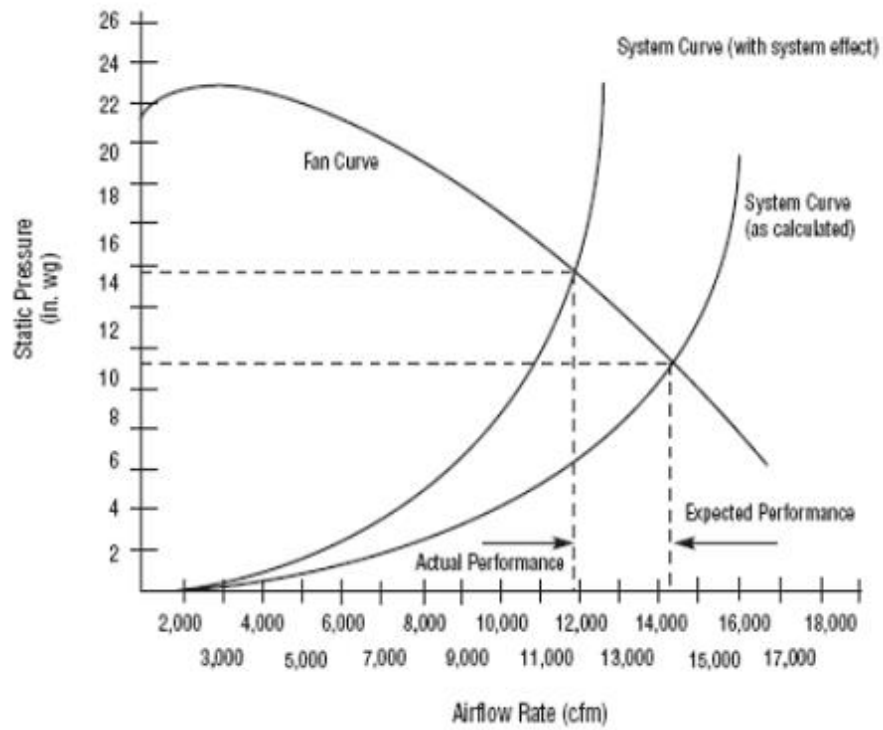
Vertical Axis

→ Static Pressure (Pa)

Horizontal Axis

→ Air Flow (CFM or m^3/h)

Pressure



Air Flow

အဓိပ္ပါယ်

- Air Flow များလာသည်နှင့် Pressure လျော့သည်။
- Fan တစ်လုံးစီတွင် Fan Curve မတူပါ။
- Fan Selection ပြုလုပ်ရာတွင် Fan Curve နှင့် System Curve ကို တွဲကြည့်ရသည်။

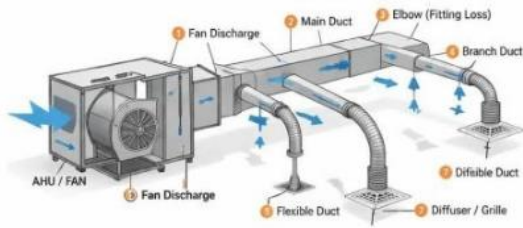
Fan Curve + System Curve

Pressure

DUCT STATIC PRESSURE CALCULATION + FAN SELECTION

STEP-BY-STEP PROCESS (REAL PROJECT EXAMPLE)

TYPICAL HVAC AIR DISTRIBUTION SYSTEM



TOTAL STATIC PRESSURE (TSP) BREAKDOWN

Straight Duct Friction Loss	180 Pa
Fitting Loss (Elbows, Tees, Transitions)	120 Pa
Filters (Clean + Dirty Allowance)	220 Pa
Cooling Coil	160 Pa
VAV Box / Terminal Unit	90 Pa
Diffuser / Grille	35 Pa
Fire Damper + Misc.	20 Pa
Safety & Design Margin	25 Pa

TOTAL STATIC PRESSURE = 700 Pa

PRESSURE CALCULATION FORMULA

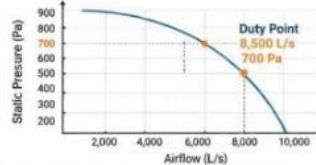
$$TSP = \sum (\Delta P_{duct} + \Delta P_{fittings} + \Delta P_{filter} + \Delta P_{coil} + \Delta P_{terminal})$$

- ✓ Straight Duct Friction
- ✓ Fitting Loss (K-Factor / Eq. Length)
- ✓ Filter Pressure Drop (Clean + Dirty)
- ✓ Coil Pressure Drop
- ✓ Terminal Device Loss
- ✓ Add Safety & Future Margin

REAL PROJECT EXAMPLE

Parameter	Value
Total Airflow	8,500 L/s
Critical Path Pressure	2286 Pa
AHU Internal Losses	345 Pa
Dirty Filter Allowance	100 Pa
Safety Margin	25 Pa
Total Fan Static Pressure	700 Pa

FAN SELECTION CURVE



COMMON MISTAKES TO AVOID



Ignoring Fitting Losses



Not Adding Dirty Filter Allowance



Incorrect Critical Path



Oversized / Undersized Fan



Excessive Flexible Duct



No Safety Margin

KEY TAKEAWAYS

- ✓ Calculate Real TSP
- ✓ Identify Critical Path
- ✓ Use Manufacturer Data
- ✓ Select Fan at Best Efficiency
- ✓ Avoid Oversizing

System Curve

Operating Point သည် Fan အမှန်တကယ် အလုပ်လုပ်မည့် Point ဖြစ်သည်။

3. Fan Efficiency

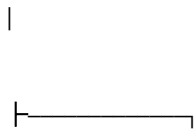
Fan Efficiency သည်

Input Power နှင့် Output Air Power တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။

$$\text{Efficiency (\%)} = \text{Air Power} / \text{Input Power} \times 100$$

Electrical Power

100%



Useful Air Heat

Power Loss

80% 20%

Efficiency မြင့်လေ

- Motor Size သေးလေ
- Energy Saving ဖြစ်လေ
- Operating Cost လျော့လေ

Fan Efficiency Curve

Efficiency %

Peak Point ကို

Best Efficiency Point (BEP) ဟု ခေါ်သည်။

Fan ကို BEP နီးပါးတွင် အလုပ်လုပ်စေရန် ရွေးချယ်သင့်သည်။

4. Fan Laws

Fan Speed ပြောင်းလဲသောအခါ Performance မည်သို့ပြောင်းသည်ကို Fan Laws ဖြင့် တွက်ချက်သည်။

Law 1

Air Flow $\propto$ Speed

$$Q_2/Q_1 = N_2/N_1$$

Speed နှစ်ဆ

↓

Flow နှစ်ဆ

Law 2

Pressure $\propto$ Speed²

$$P_2/P_1 = (N_2/N_1)^2$$

Speed နှစ်ဆ

↓

Pressure ငလဲဆ

Law 3

Power $\propto$ Speed³

$$\text{Power}_2/\text{Power}_1 = (N_2/N_1)^3$$

Speed နှစ်ဆ

↓

Power ရှစ်ဆ

ထို့ကြောင့် Speed အနည်းငယ် တိုးသော်လည်း Motor Power လိုအပ်ချက်သည် အလွန်မြင့်တက်နိုင်သည်။

Fan Laws Summary

Speed	Flow	Pressure	Power
100%	100%	100%	100%
110%	110%	121%	133%
120%	120%	144%	173%
150%	150%	225%	338%
200%	200%	400%	800%

Mechanical Ventilation Fan Selection အဆင့်များ

Room Load



Air Flow Required



Static Pressure



System Curve



Fan Curve





Operating Point



Efficiency (BEP)



Motor Power



Final Fan Selection

Fan Selection Checklist

✓ လိုအပ်သော Air Flow (CFM သို့မဟုတ် m^3/h)

✓ Total Static Pressure (Pa)

✓ Fan Curve နှင့် Operating Point ကိုက်ညီမှု

✓ Fan Efficiency (BEP နီးပါး)

✓ Motor Power လုံလောက်မှု

✓ Noise Level

✓ Fan Type (Axial / Centrifugal / Mixed Flow)

✓ Variable Speed Drive (VFD) လိုအပ်မှု



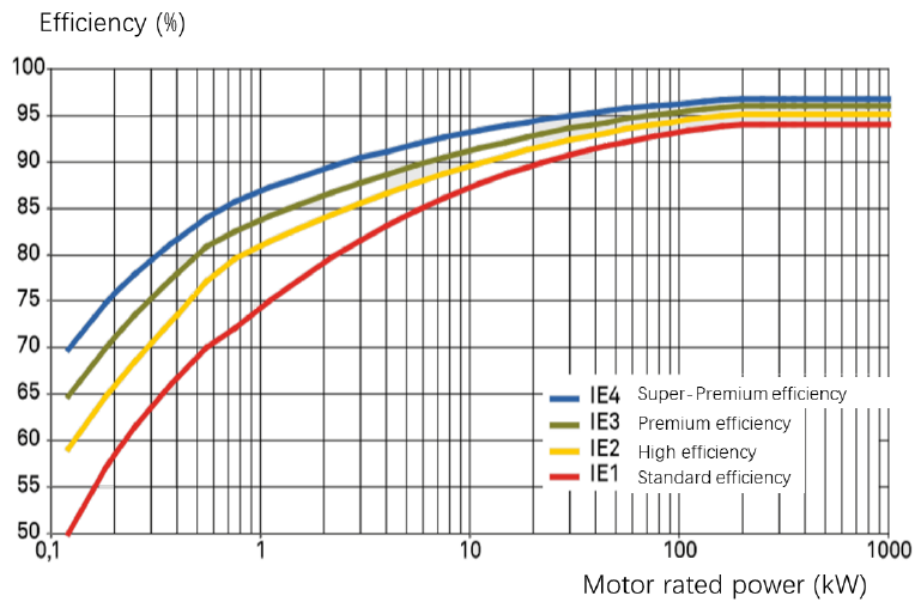


Figure 1 IEC IE Motor Energy Efficiency Classification

2.4 Variable Frequency Drive (VFD)

A VFD converts input power with a frequency of 50 Hz current (single-phase with low power) into a current with variable frequency. **This can be adapted to the application variable ratio of voltage and frequency are programmed. For media conveyance, the stress (decisive for the magnetization) is disproportionately reduced as the rotational speed decreases, because the load of a turbomachine decreases with the third power of the rotational speed (Figure 5).**

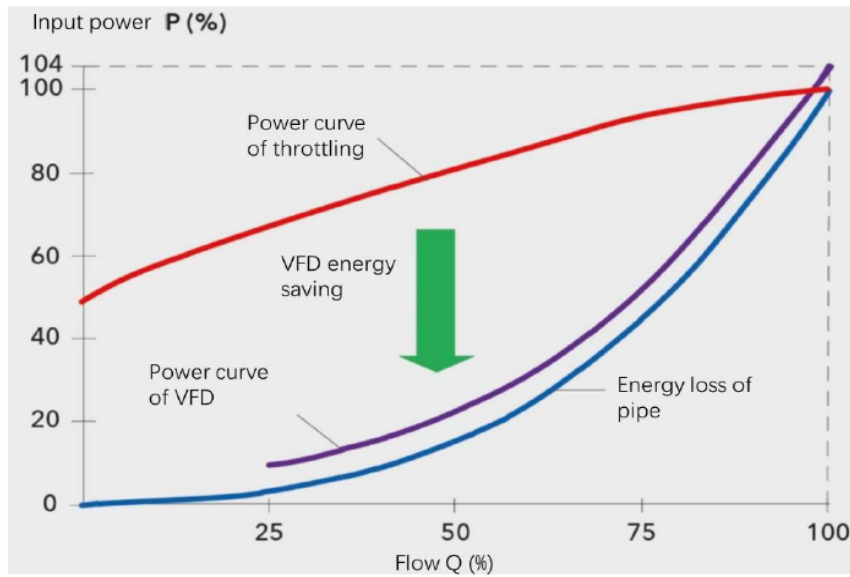


Figure 5 Energy Saving of VFD in fan system



Mechanical Ventilation သည် Fan၊ AHU၊ Duct၊ Exhaust Fan၊ Supply Fan များကို အသုံးပြု၍ လေကို အတင်းအကျပ် ရွှေ့ပြောင်းသောစနစ် ဖြစ်သည်။

အမျိုးအစားများ

(က) Supply Ventilation

အပြင်လေကို အတွင်းသို့ သွင်းပေးသည်။

အသုံးပြုရာနေရာ

- Office
- Cleanroom
- Hospital

(ခ) Exhaust Ventilation

အတွင်းလေကို အပြင်သို့ ထုတ်ပေးသည်။

အသုံးပြုရာနေရာ

- Toilet
- Kitchen
- Chemical Store
- Battery Room

(ဂ) Balanced Ventilation

Supply နှင့် Exhaust ကို တစ်ပြိုင်တည်း ထိန်းချုပ်သည်။

အသုံးပြုရာနေရာ

- Data Center
- Pharmaceutical
- Laboratory
- Semiconductor Factory

၃။ Hybrid (Mixed-Mode) Ventilation

Natural Ventilation နှင့် Mechanical Ventilation ကို ပေါင်းစပ်အသုံးပြုသောစနစ်ဖြစ်သည်။

ဥပမာ

- နေ့ဘက် → Natural Ventilation
- ညဘက် သို့မဟုတ် အပူမြင့်ချိန် → Exhaust Fan ဖွင့်ခြင်း

အသုံးပြုရာနေရာ

- Factory
- Warehouse
- Shopping Mall

- Airport

Ventilation System များကို ဘယ်နေရာတွင် အသုံးပြုသလဲ?

Building	အသုံးပြုသော Ventilation
နေအိမ်	Natural / Hybrid
Office	Mechanical
Shopping Mall	Mechanical
Hospital	Balanced Mechanical
Cleanroom	Balanced + HEPA
Data Center	Precision Mechanical
Chemical Warehouse Exhaust + Fresh Air	
Battery Room	Exhaust + Gas Detection
Parking Garage	CO-Controlled Mechanical
Tunnel	Jet Fan Ventilation
Kitchen	Exhaust Hood
Laboratory	Local Exhaust + Negative Pressure

Ventilation Design တွင် အဓိကတွက်ချက်ရသောအချက်များ

Engineering Design တွင် အောက်ပါအချက်များကို တွက်ချက်ရသည်။

1. Room Volume

$$V = Length \times Width \times Height$$

2. Air Changes per Hour (ACH)

$$Q = V \times ACH$$

3. Fresh Air Requirement

ASHRAE Standard အရ လူတစ်ယောက်လျှင် လိုအပ်သော Fresh Air ကို တွက်ချက်သည်။

4. Static Pressure Loss

- Duct
- Filter
- Damper
- Grille

တို့၏ Pressure Loss ကို စုစုပေါင်းတွက်သည်။

5. Fan Selection

- Airflow (CFM / m³/h)
- Static Pressure
- Efficiency
- Motor Power

Mechanical Ventilation ဆိုတာ ဘာလဲ?

Mechanical Ventilation (MV) ဆိုသည်မှာ လေကို Fan၊ Blower၊ AHU၊ FCU စသည့် Mechanical Equipment များဖြင့် အတင်းအကျပ်ပို့ဆောင်၍ အဆောက်အဦအတွင်း လေထုအရည်အသွေး (Indoor Air Quality - IAQ)၊ အပူချိန်၊ စိုထိုင်းဆ၊ ဖိအား (Pressure) ကို ထိန်းချုပ်သော စနစ် ဖြစ်ပါသည်။

Natural Ventilation ကဲ့သို့ ပြတင်းပေါက်ဖွင့်၍ လေဝင်လေထွက်ကို မရှိဘဲ Fan များဖြင့် လေကို အတင်းလည်ပတ်စေခြင်း ဖြစ်သည်။

သိုလှောင်ရမည့်ပစ္စည်းအားလုံးကို Safety နှင့် Ventilation အမြင်ဖြင့် ကြည့်လျှင် အမျိုးအစားတစ်ခုတည်းဖြင့် မစီမံနိုင်ပါ။ ပစ္စည်း၏ မီးလောင်နိုင်မှု (Flammability)၊ အဆိပ်သင့်နိုင်မှု (Toxicity)၊ တုံ့ပြန်နိုင်မှု (Reactivity)၊ အောက်ဆီဂျင်ကို အစားထိုးနိုင်မှု (Asphyxiation)၊ အပူထုတ်လုပ်မှု

နှင့် စိုထိုင်းဆလိုအပ်ချက် ပေါ်မူတည်၍ Warehouse Design, Ventilation Design နှင့် Safety System များကို သီးခြားဒီဇိုင်းဆွဲရပါသည်။

အောက်ပါအုပ်စုများသည် ကမ္ဘာတစ်ဝှမ်းရှိ စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် Safety နှင့် Ventilation အထူးဂရုပြုရသော Storage အမျိုးအစားများဖြစ်သည်။

၁။ Flammable Liquids (မီးလောင်လွယ်သောအရည်များ)





ဥပမာ

- Gasoline
- Diesel
- Ethanol
- Methanol
- Acetone
- Paint Thinner

အဓိကအန္တရာယ်

- မီးလောင်ပေါက်ကွဲနိုင်ခြင်း
- Vapor စုဆောင်းခြင်း

Ventilation Design

- 6–12 ACH
- Explosion-proof (ATEX/IECEx) Fans

- Low-level Exhaust (လေထက်လေးသော Vapor များအတွက်)
- Gas Detector (LEL Monitor)

၂။ Compressed Gas Cylinders





ጋሳ

- Oxygen
- Nitrogen
- Hydrogen
- LPG
- Acetylene

အဓိကအန္တရာယ်

- Cylinder ပေါက်ကွဲခြင်း
- Oxygen Deficiency
- မီးလောင်ခြင်း

Ventilation

- Natural Ventilation ကောင်းစွာပေးရန်
- Hydrogen အတွက် High-level Exhaust
- LPG အတွက် Low-level Exhaust

AMMONIA - STORAGE

- Storage Area :
 - Should be cool, dry, well ventilated, must be protected from external heat sources.
 - Exhaust fan s must be provided on roofs.
 - Water connection with flex. Hose is must.
 - While selecting the storage area wind direction must be considered, so as to leakage will be carried away from the residential areas.
 - Suitable detectors should be installed to detect the leakage and activate alarms.



2000

- Chlorine
- Ammonia
- Formaldehyde

Ventilation

- 10–15 ACH
- Local Exhaust Ventilation
- Toxic Gas Detector
- Negative Pressure Room

911 Oxidizers



ဥပမာ

- Ammonium Nitrate
- Sodium Chlorate
- Hydrogen Peroxide (High Concentration)

အဓိကအန္တရာယ်

- မီးကို ပိုမိုပြင်းထန်စေခြင်း
- အခြား Flammable Materials များနှင့် မရောသိမ်းရ

၅။ Corrosive Chemicals



Chemicals

- Sulfuric Acid
- Hydrochloric Acid
- Sodium Hydroxide

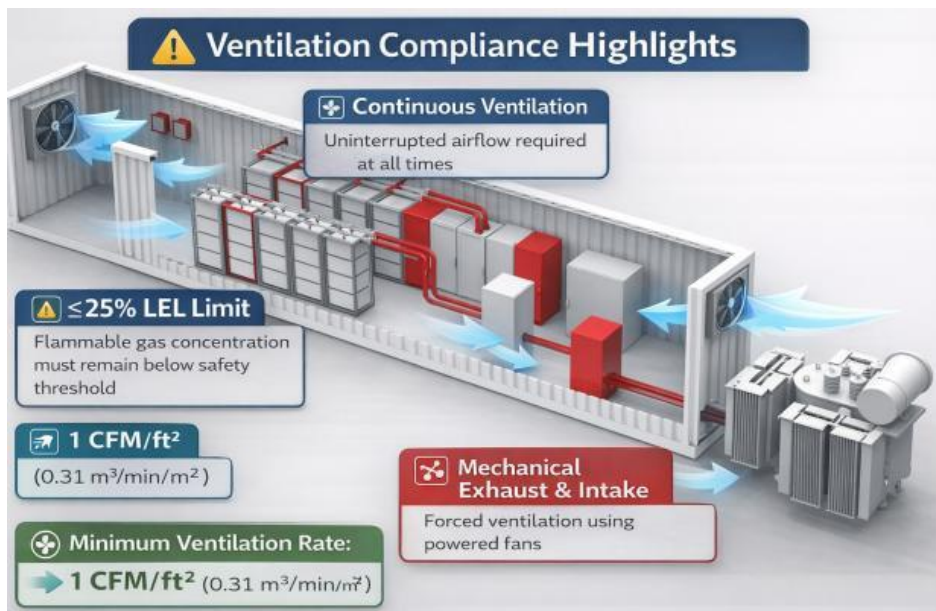
Design

- Acid-resistant Floor

- Corrosion-resistant Exhaust Fans (FRP/PVC)
- Spill Containment Bund

6.11 Lithium-ion Batteries





အန္တရာယ်

- Thermal Runaway
- Toxic Smoke
- Hydrogen Fluoride Gas

Ventilation

- Heat Removal
- Gas Detection
- Fire Detection
- Dedicated Fire Suppression

၇။ Food & Pharmaceutical Cold Storage

ထိန်းချုပ်ရမည့်အချက်

- Temperature
- Relative Humidity
- Air Circulation
- Ethylene Control (သီးနှံအချို့)

၈။ Grain & Flour Storage



အန္တရာယ်

- Dust Explosion

Ventilation

- Dust Collection

- Explosion Vent Panels
- Spark Detection

011 Fertilizer Storage



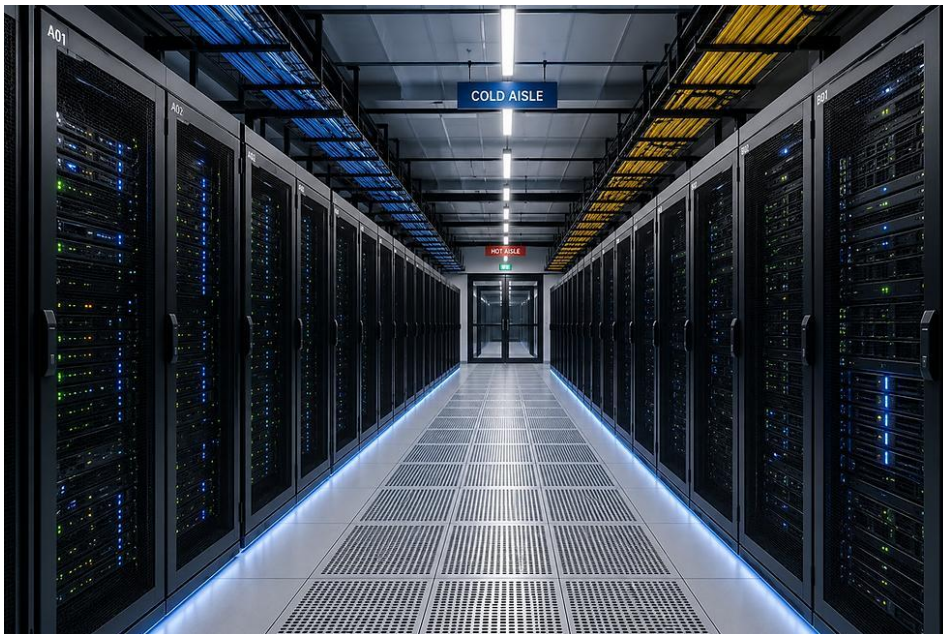
კუთხე

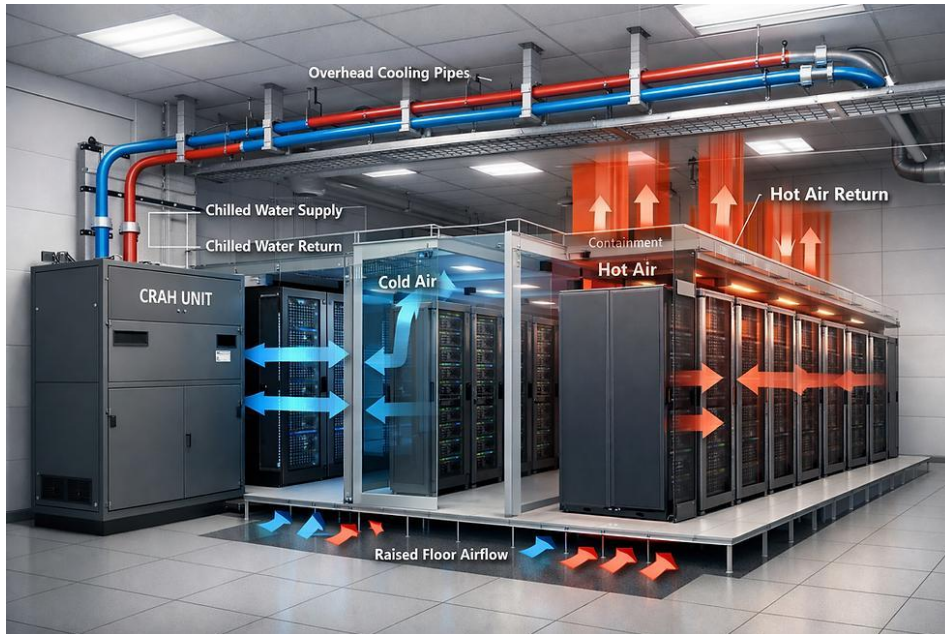
- Urea
- NPK
- DAP
- MAP

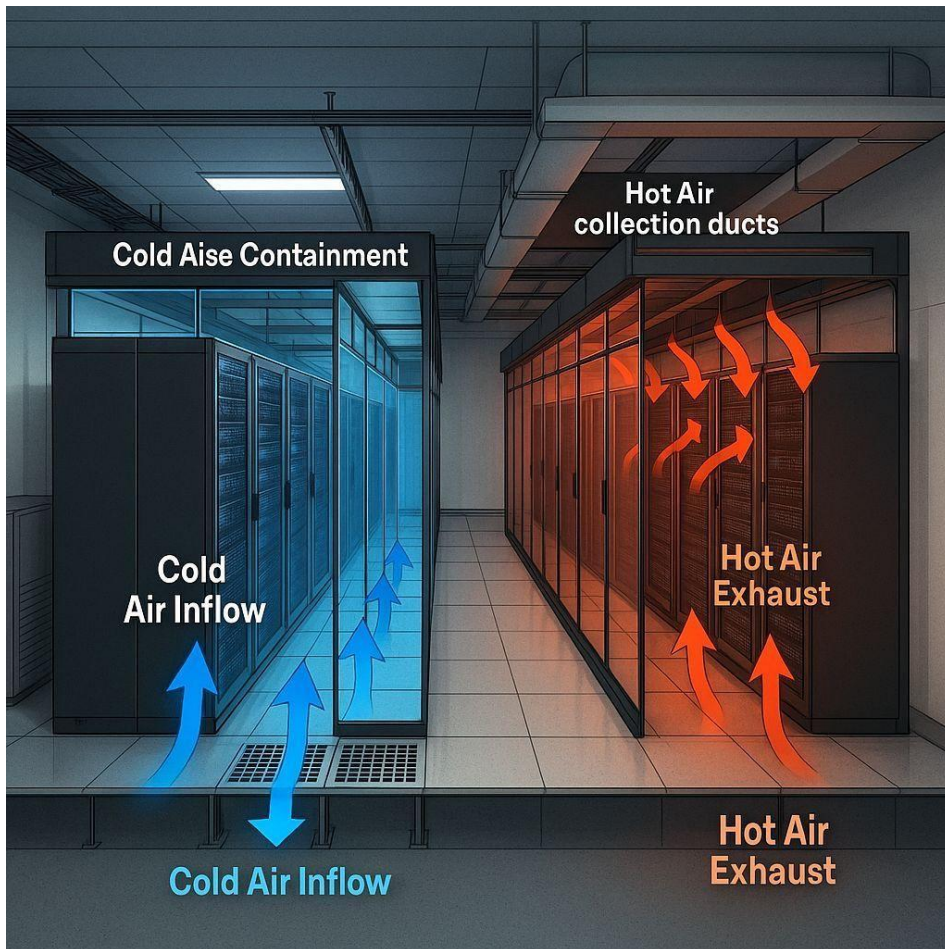
Ventilation

- 6–10 ACH
- Moisture Control
- RH < 60%

კოლი Data Center







အဓိကလိုအပ်ချက်

- Temperature 18–27°C (ASHRAE အကြံပြုအကွာအဝေး)
- RH 40–60%
- Hot Aisle / Cold Aisle Management
- Smoke Detection

- Clean Air

Ventilation System တွက်ချက်ပုံ (အခြေခံ)

Warehouse Volume

$$V = L \times W \times H$$

ဥပမာ

- Length = 60 m
- Width = 25 m
- Height = 8 m

Volume

$$60 \times 25 \times 8 = 12,000 \text{ m}^3$$

ACH = 8 ဖြစ်ပါက

$$Q = V \times ACH$$
$$Q = 12,000 \times 8 = 96,000 \text{ m}^3/h$$

ထို့ကြောင့် စုစုပေါင်း Ventilation Capacity = 96,000 m³/h လိုအပ်သည်။

Safety Design တွင် အမြဲစဉ်းစားရမည့်အချက်များ

Item	Design Requirement
Temperature	သင့်လျော်သော Design Temperature
Relative Humidity	Product Requirement အတိုင်း
Air Changes (ACH)	Hazard အမျိုးအစားအလိုက်

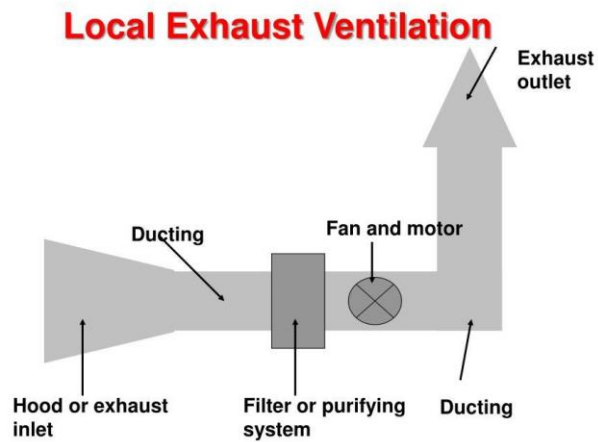
Item	Design Requirement
Gas Detection	Toxic / Flammable Gas များအတွက်
Fire Detection	Smoke / Heat Detector
Fire Suppression	Sprinkler, Foam, Clean Agent စသည်
Spill Containment	Chemical Storage အတွက်
Explosion Protection	Flammable Dust/Vapor အတွက်
Emergency Exit	လူထွက်ပေါက်နှင့် Evacuation Route
PPE	Hazard အလိုက်ရွေးချယ်အသုံးပြုရန်

Engineering Design အဆင့်တွင် အသုံးပြုသော Standards

- NFPA (National Fire Protection Association)
- OSHA (Occupational Safety and Health Administration)
- ASHRAE (HVAC နှင့် Ventilation)
- ISO 45001 (Occupational Health & Safety)
- ISO 14001 (Environmental Management)
- IBC (International Building Code)
- IFC Environmental, Health and Safety Guidelines
- FM Global Property Loss Prevention Data Sheets
- ATEX / IECEx (Explosion Hazardous Areas)

ဤ Standards များကို ပေါင်းစပ်အသုံးပြု၍ Warehouse ၏ Hazard Level အလိုက် Ventilation, Fire Protection, Structural Design, Electrical Classification နှင့် Emergency Response Plan များကို အင်ဂျင်နီယာများက ဒီဇိုင်းရေးဆွဲကြပါသည်။

Mechanical Ventilation System အမျိုးအစားများ



Mechanical Ventilation တွင် အဓိကအားဖြင့်—

1. Supply Ventilation

- Fresh Air ကို Outdoor မှ Indoor သို့ Fan ဖြင့်ပို့သည်။
- Positive Pressure ဖြစ်စေသည်။
- Office၊ Hospital၊ Clean Room များတွင် အသုံးများသည်။

2. Exhaust Ventilation

- Indoor လေကို အပြင်သို့ စုပ်ထုတ်သည်။
- Negative Pressure ဖြစ်စေသည်။

- Toilet
- Kitchen
- Battery Room
- Chemical Room
- Generator Room

တို့တွင် အသုံးများသည်။

3. Balanced Ventilation

Supply Air နှင့် Exhaust Air ကို တပြိုင်တည်း ထိန်းချုပ်သည်။

အသုံးများသောနေရာများ

- Data Center
- Laboratory
- Hospital
- Pharmaceutical Factory
- Airport

4. Heat Recovery Ventilation (HRV / ERV)

Exhaust လေမှ Cooling Energy ကို ပြန်ယူပြီး Fresh Air ကို ကြိုတင်အေးစေသည်။

- Energy Saving
- Green Building

Forced Ventilation ဆိုတာ ဘာလဲ?

Forced Ventilation ဆိုသည်မှာ

Fan သို့မဟုတ် Blower ဖြင့် လေကို အတင်းရွှေ့စေသော Ventilation System ဖြစ်သည်။

Mechanical Ventilation ထဲက အစိတ်အပိုင်းတစ်ခုဟုလည်း ပြောနိုင်သည်။

- Axial Fan

- Centrifugal Fan
- Jet Fan

တို့ဖြင့် လေကို အတင်းပို့သည်။

Forced Ventilation အသုံးပြုသောနေရာများ





၁။ Basement Car Park

CO Gas များကို စုပ်ထုတ်ရန်

Jet Fan

Exhaust Fan

Fresh Air Fan

၂။ Generator Room

Generator မှ

- Heat
- Smoke
- CO

များကို ထုတ်ပေးရသည်။

၃။ Transformer Room

Transformer အပူထုတ်သောကြောင့် Forced Ventilation လိုအပ်သည်။

၄။ Battery Room

Hydrogen Gas ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့်

Explosion မဖြစ်ရန်

Exhaust Fan သုံးရသည်။

၅။ Electrical Switch Room

Temperature

Humidity

ကို ထိန်းရန်။

၆။ Data Center

Server Heat များကို

CRAH

CRAC

AHU

တို့ဖြင့် အတင်းဖယ်ရှားသည်။

၇။ Clean Room

Positive Pressure ထိန်းရန်။

၈။ Laboratory

Negative Pressure ထိန်းရန်။

၉။ Commercial Kitchen

Grease နှင့် Smoke ကို Exhaust Hood ဖြင့် ထုတ်သည်။

၁၀။ Tunnel

Jet Fan ဖြင့် Smoke Extraction ပြုလုပ်သည်။

International Standards

1. SS 553 (Singapore Standard)

SS 553 သည် Building Services Design for Air-conditioning and Mechanical Ventilation အတွက် စံနှုန်းတစ်ခုဖြစ်ပြီး HVAC/ACMV စနစ်များ၏ ဒီဇိုင်း၊ လေဝင်လေထွက်၊ စွမ်းအင်အသုံးချမှုနှင့် လုံခြုံရေးလိုအပ်ချက်များကို ဖော်ပြထားသည်။

အဓိကအချက်များ

- Outdoor Air Requirement
- Fresh Air Rate
- Duct Design
- Fire Damper
- Smoke Control
- Testing & Commissioning

2. SS 554

SS 554 သည် ACMV စနစ်များ၏ Energy Efficiency နှင့် စွမ်းအင်ထိရောက်မှုအတွက် လမ်းညွှန်ချက်များကို ပံ့ပိုးပေးသော စံနှုန်းဖြစ်ပြီး Green Building နှင့် တွဲဖက်အသုံးများသည်။

3. ASHRAE Standards

Mechanical Ventilation အတွက် အသုံးများသော ASHRAE Standards များမှာ—

Standard	အသုံးပြုမှု
----------	-------------

ASHRAE 62.1	Commercial Building Ventilation
-------------	---------------------------------

ASHRAE 62.2	Residential Ventilation
-------------	-------------------------

ASHRAE 55	Thermal Comfort
-----------	-----------------

ASHRAE 90.1	Energy Efficiency
-------------	-------------------

ASHRAE 170	Hospital Ventilation
------------	----------------------

Standard အသုံးပြုမှု

ASHRAE TC 9.9 Data Center Environmental Guidelines

4. British Standards (BS)

Mechanical Ventilation နှင့် ဆက်စပ်၍ အသုံးများသော BS စံနှုန်းများ—

Standard အသုံးပြုမှု

BS 9999 Fire Safety

BS EN 16798 Indoor Environmental Design

BS EN 1886 AHU Construction

BS EN 13053 AHU Performance

BS EN 12237 Circular Duct Strength

BS EN 1507 Rectangular Duct Strength

5. European Standards (EN)

EN Standard အသုံးပြုမှု

EN 16798 Indoor Air Quality

EN 13779 (အဟောင်း၊ ယခု EN 16798 ဖြင့် အစားထိုး) Non-residential Ventilation

EN 1886 Air Handling Unit

EN Standard	အသုံးပြုမှု
EN 13053	AHU Performance
EN 12101	Smoke Control System
EN 1751	Air Dampers Testing

Typical Outdoor Fresh Air Requirements (ASHRAE 62.1)

နေရာ	Fresh Air Rate (Typical)
Office	8–10 L/s per person
Classroom	8–10 L/s per person
Restaurant Dining	10–15 L/s per person
Hospital Patient Room	2 ACH Outdoor Air (လိုအပ်ချက်အပေါ်မူတည်)
Toilet	10 ACH Exhaust (Typical)
Kitchen	30–60 ACH Exhaust
Car Park	CO Sensor Control ဖြင့် Ventilation
Data Center	လူနေသိပ်သည်းမှုနည်းသောကြောင့် Fresh Air ကို လိုအပ်သလောက်သာပေးပြီး အများအားဖြင့် Recirculation Cooling ကို အသုံးပြုသည်။

မှတ်ချက် — ACH (Air Changes per Hour) နှင့် Fresh Air Rate များသည် အခန်းအမျိုးအစား၊
အသုံးပြုမှု၊ Occupancy နှင့် ဒေသဆိုင်ရာ Building Code အပေါ်မူတည်၍ ပြောင်းလဲနိုင်ပါသည်။

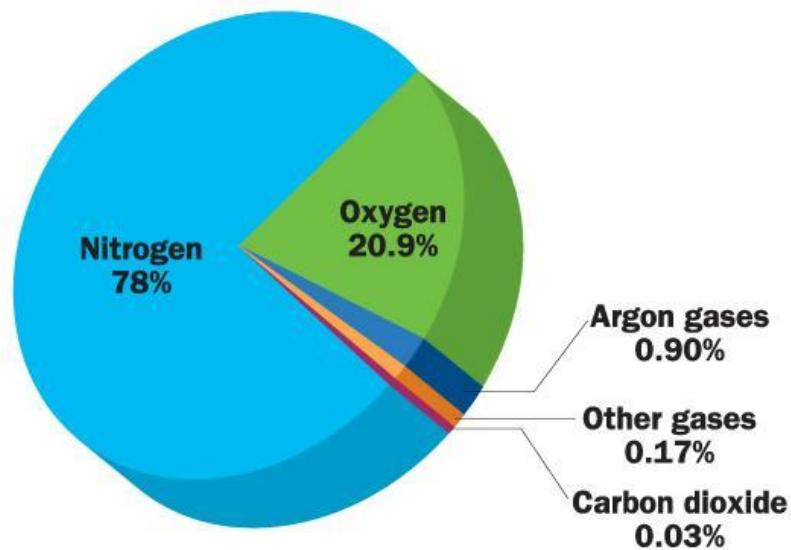
Data Center တွင် Mechanical Ventilation

သင်္ဃာတန်းမီက မေးခဲ့သည့် Data Center အကြောင်းနှင့် ဆက်စပ်လျှင်—

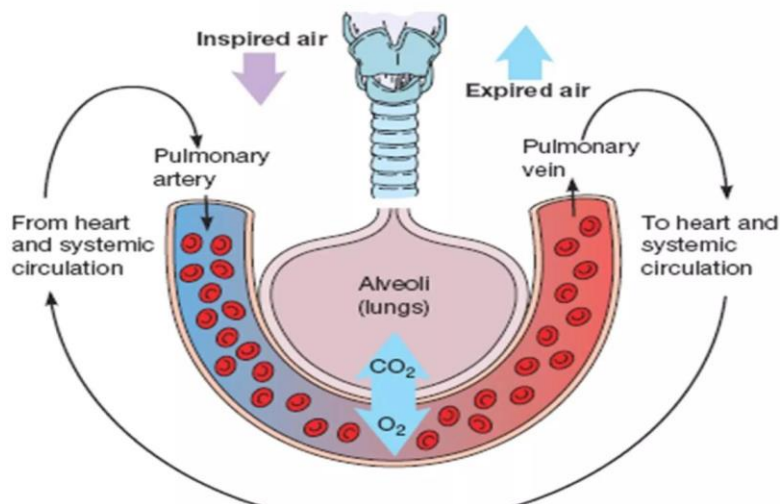
- Server Cooling အတွက် အဓိကအားဖြင့် CRAH/CRAC ဖြင့် Recirculated Air Cooling ကို
အသုံးပြုသည်။

- Fresh Air ကို ASHRAE နှင့် ဒေသဆိုင်ရာ Code အရ လိုအပ်သလောက်သာ ထည့်သွင်းသည်။
- Battery Room၊ Generator Room၊ Transformer Room နှင့် Fuel Storage Room များတွင်တော့ Forced Exhaust Ventilation သီးသန့် လိုအပ်သည်။
- Smoke Control နှင့် Pressurization စနစ်များကိုလည်း BS EN 12101 နှင့် သက်ဆိုင်ရာ Fire Code များအရ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ကြသည်။

လေ (Air) ၏ ပါဝင်ဖွဲ့စည်းပုံ၊ လူ့ကျန်းမာရေးအတွက် အရေးပါမှုနှင့် အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့များ



Normal Oxygenation Process

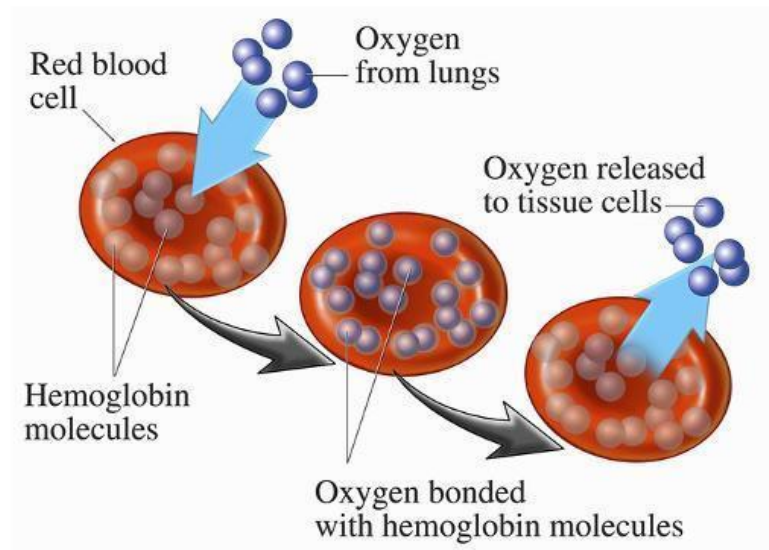


ကျွန်ုပ်တို့ အသက်ရှူနေသော လေထုသည် ဓာတ်ငွေ့တစ်မျိုးတည်းဖြင့် မဖွဲ့စည်းထားဘဲ ဓာတ်ငွေ့အမျိုးမျိုး ရောနှောပါဝင်သော အရောအနှော (Gas Mixture) ဖြစ်သည်။ ယင်းဓာတ်ငွေ့များ၏ အချိုးအစားမှန်ကန်နေမှသာ လူ၊ တိရစ္ဆာန်နှင့် အပင်တို့သည် ကျန်းမာစွာ အသက်ရှင်နိုင်ပါသည်။

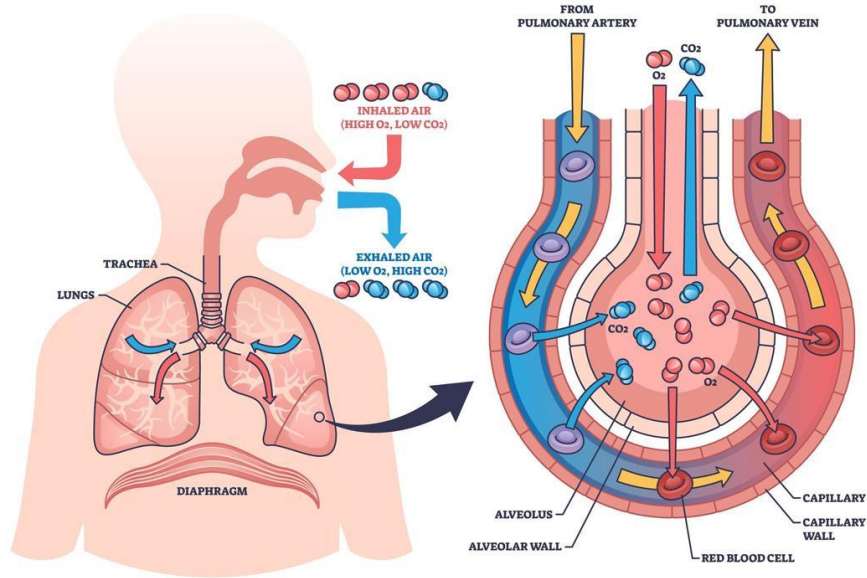
၁။ လေထု၏ အဓိကပါဝင်ဖွဲ့စည်းမှု

ဓာတ်ငွေ့	ရာခိုင်နှုန်း (%)	အရေးပါမှု
Nitrogen (N ₂)	78.08%	လေထုကို တည်ငြိမ်စေပြီး မီးလောင်မှုကို မတိုးစေ
Oxygen (O ₂)	20.95%	အသက်ရှူခြင်းနှင့် ဆဲလ်များ၏ စွမ်းအင်ထုတ်လုပ်မှုအတွက် မရှိမဖြစ်
Argon (Ar)	0.93%	ဓာတ်ပြုမှုနည်းသော ဓာတ်ငွေ့
Carbon Dioxide (CO ₂)	~0.04%	အပင်များ Photosynthesis ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်
အခြား Trace Gases	<0.01%	Neon, Helium, Methane, Krypton စသည်

၂။ အောက်ဆီဂျင် (O₂) ၏ အရေးပါမှု



LUNG FUNCTION: GAS EXCHANGE



လူသည် အသက်ရှူသည့်အခါ

1. လေထဲမှ Oxygen ကို အဆုတ် (Alveoli) မှ စုပ်ယူသည်။
2. Oxygen သည် သွေးနီည (Red Blood Cells) ရှိ Hemoglobin နှင့် ပေါင်းစပ်သည်။
3. သွေးမှတစ်ဆင့် ကိုယ်ခန္ဓာအနှံ့ရှိ ဆဲလ်များသို့ ပို့ဆောင်သည်။
4. ဆဲလ်များသည် Oxygen ကို အသုံးပြု၍ အစာမှ စွမ်းအင် (ATP) ထုတ်လုပ်သည်။

Oxygen မရှိပါက ဦးနှောက်နှင့် နှလုံးကဲ့သို့ အရေးကြီးသော အင်္ဂါများသည် မိနစ်အနည်းငယ်အတွင်း ထိခိုက်နိုင်သည်။

၃။ အောက်ဆီဂျင်နည်းပါးလျှင် ဘာဖြစ်မလဲ?

Oxygen (%) လူ့ခန္ဓာကိုယ်အပေါ်သက်ရောက်မှု

20.9 ပုံမှန်

19.5 အောက် အန္တရာယ်ရှိသော အဆင့်ဟု သတ်မှတ်လေ့ရှိ

16-19 အသက်ရှူမြန်ခြင်း၊ အာရုံစူးစိုက်မှုကျဆင်းခြင်း

14-16 မူးဝေခြင်း၊ ခေါင်းကိုက်ခြင်း

10-12 သတိလစ်နိုင်ခြင်း

<10 အသက်အန္တရာယ် အလွန်မြင့်မား

Confined Space များတွင် Oxygen လျော့နည်းခြင်းသည် အရေးပေါ်အန္တရာယ်တစ်ခုဖြစ်သည်။

နိုက်ထရိုဂျင် (Nitrogen, N₂) ဆိုတာ ဘာလဲ?



Nitrogen (N_2) သည် ကမ္ဘာ့လေထုတွင် အများဆုံးပါဝင်သော ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်ပြီး လေထု၏ 78.08% ခန့် ကို ဖွဲ့စည်းထားသည်။

ဂုဏ်သတ္တိ အချက်အလက်

ဓာတုသင်္ကေတ N_2

လေထုတွင်ပါဝင်မှု ~78%

အရောင် မရှိ

အနံ့ မရှိ

အရသာ မရှိ

မီးလောင်မှု မလောင်

ပေါက်ကွဲမှု မပေါက်ကွဲ

ဓာတ်ပြုမှု ပုံမှန်အခြေအနေတွင် အလွန်နည်း

၁။ Nitrogen ကို ရှူရှင် အန္တရာယ်ရှိသလား?

ပုံမှန်လေထုထဲတွင် ပါဝင်နေသော Nitrogen ကို ရှူရှင်းသည် အန္တရာယ်မရှိပါ။

အကြောင်းမှာ

- လေထုတွင် Oxygen (20.95%) လည်း အတူပါဝင်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ကျွန်ုပ်တို့ နေ့စဉ်ရှူနေသော လေထဲတွင် Nitrogen ကိုလည်း ရှူနေကြပြီးဖြစ်သည်။

လေထုထဲမှာ Nitrogen (N_2) နည်းလွန်းလျှင်၊ များလွန်းလျှင် ဘာဖြစ်မလဲ?

ဤမေးခွန်းသည် HVAC၊ Industrial Safety နှင့် Confined Space Safety တွင် အလွန်အရေးကြီးသော မေးခွန်းဖြစ်ပါသည်။

အရင်ဆုံး အရေးကြီးဆုံး အချက်တစ်ခု ကို နားလည်ရပါမည်။

Nitrogen (N_2) သည် အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့ (Poisonous Gas) မဟုတ်ပါ။

သို့သော် Oxygen ကို အစားထိုးနိုင်သော Asphyxiant Gas (အသက်ရှူမရစေသော ဓာတ်ငွေ့) ဖြစ်သည်။

၁။ Nitrogen နည်းသွားရင် ဘာဖြစ်မလဲ?

ကမ္ဘာလေထုတွင်

- Nitrogen $\approx 78\%$
- Oxygen $\approx 21\%$

ဖြစ်နေခြင်းသည် သဘာဝအချိုးအစားဖြစ်သည်။

Nitrogen နည်းသွားသည် ဆိုသည်မှာ အခြားဓာတ်ငွေ့တစ်မျိုးက ၎င်းနေရာကို အစားထိုးဝင်လာသည်ဟု ဆိုလိုသည်။

ဥပမာ

- Oxygen များလာခြင်း
- Carbon Dioxide များလာခြင်း
- Methane များလာခြင်း

Nitrogen နည်းပြီး Oxygen များလွန်းလျှင်

မီးလောင်မှု ပိုမိုလွယ်ကူလာနိုင်သည်။

ဥပမာ

ပုံမှန်

$O_2 = 21\%$

$N_2 = 78\%$

အကယ်၍

$O_2 = 35\%$

$N_2 = 64\%$

ဖြစ်လာလျှင်

- သစ်သား
- အဝတ်
- ဆီ

တို့သည် ပိုမိုလောင်ကျွမ်းလွယ်လာသည်။

ထို့ကြောင့် Nitrogen သည် လေထုကို တည်ငြိမ်စေသော ဓာတ်ငွေ့ဟုလည်း ပြောနိုင်သည်။

Arc Welding နှင့် Gas Welding ပြုလုပ်ရာမှ ထွက်လာသော အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့များ၊

လူ့ကျန်းမာရေးထိခိုက်မှုနှင့် ကာကွယ်နည်းများ







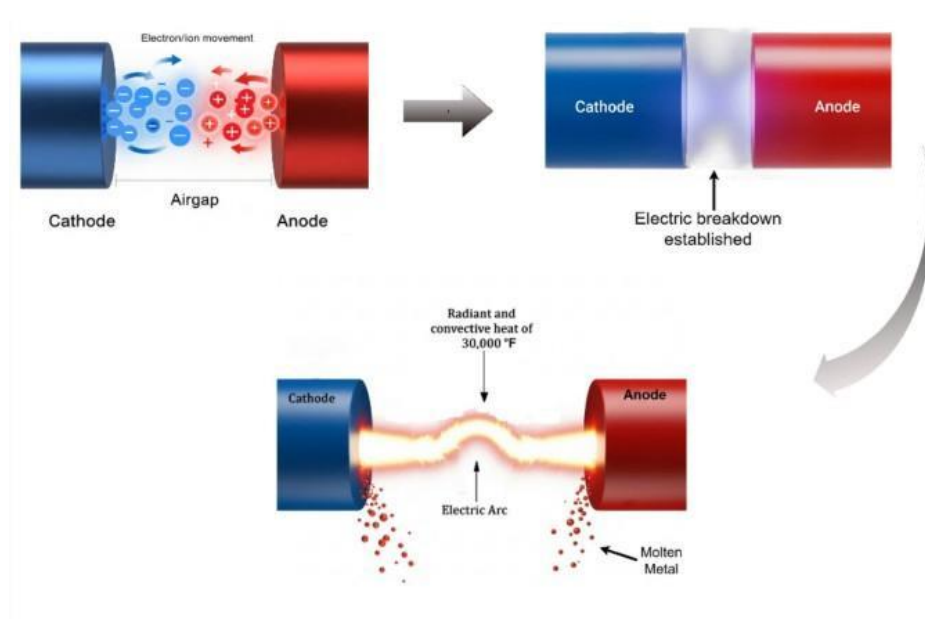
Welding (မီးဆော်ခြင်း) သည် သတ္တုကို အပူအလွန်မြင့်သော Arc သို့မဟုတ် Flame ဖြင့် အရည်ပျော်စေပြီး ဆက်စပ်ခြင်းဖြစ်သောကြောင့် အလင်းရောင်၊ အပူ၊ သတ္တုအငွေ့ (Metal Fume) နှင့် အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့များ ထွက်ပေါ်နိုင်ပါသည်။

အထူးသဖြင့်—

- သင်္ဘောကျင်း (Shipyards)
- Tank အတွင်း Welding
- Boiler Room
- Chemical Plant
- Factory Workshop
- Confined Space

များတွင် အန္တရာယ်ပိုများပါသည်။

၁။ Arc Welding မှာ ဘာတွေဖြစ်ပေါ်သလဲ?





Arc Welding တွင်

Electrode + Base Metal

ကြားတွင်

Electric Arc Plasma

ဖြစ်ပေါ်သည်။

Arc Temperature သည်

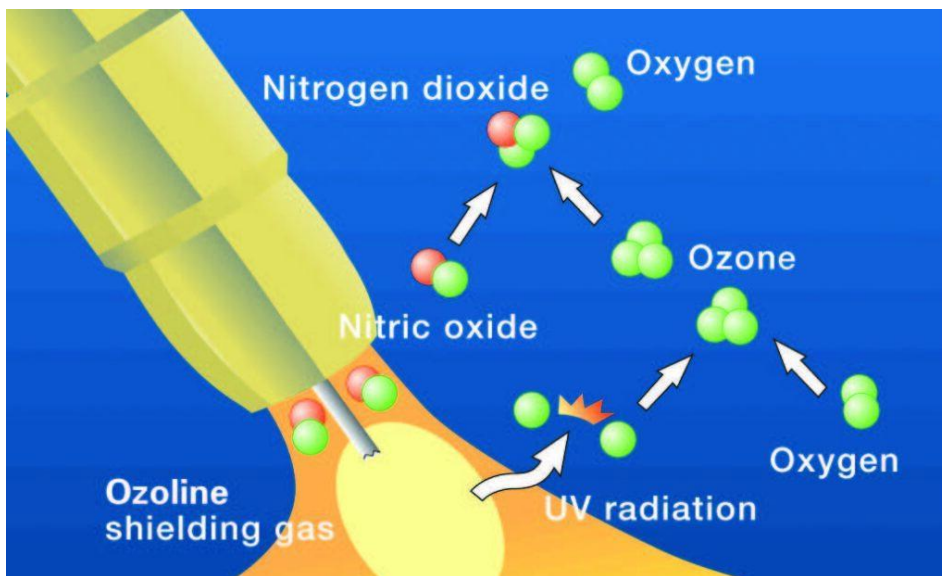
$\approx 5,000 - 10,000^{\circ}\text{C}$

အထိ ရှိနိုင်သည်။

ထိုအပူကြောင့် သတ္တုနှင့် Coating များ ပျော်ပြီး Fume နှင့် Gas များ ထွက်လာသည်။

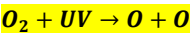
၂။ Welding မှ ထွက်လာနိုင်သော အဓိက ဓာတ်ငွေ့များ

(၁) Ozone (O_3)

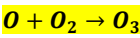


Arc ၏ UV Radiation ကြောင့်

Oxygen (O₂) ကို ခွဲထုတ်ပြီး



ပြီးနောက်



ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

ထိခိုက်မှု

- ရင်ဘတ်အောင့်
- ချောင်းဆိုး
- အသက်ရှူရခက်
- အဆုတ်ရောင်ရမ်းခြင်း

ဖြစ်စေနိုင်သည်။

(၂) Nitrogen Oxides (NO_x)

Arc အပူမြင့်သောကြောင့်

လေထဲရှိ

- Nitrogen (N₂)
- Oxygen (O₂)

တို့ ပေါင်းစပ်ပြီး

- Nitric Oxide (NO)
- Nitrogen Dioxide (NO₂)

ဖြစ်နိုင်သည်။

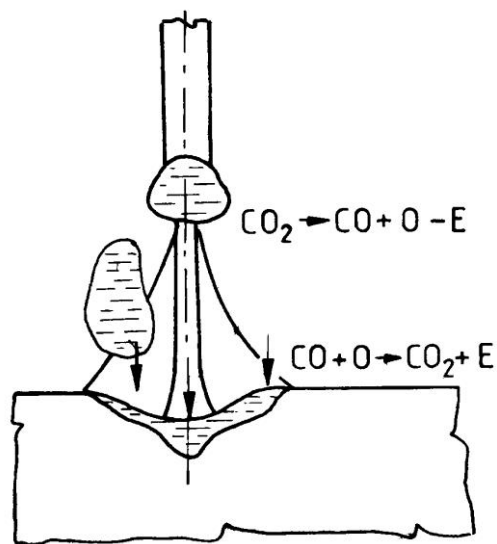
ထိခိုက်မှု

NO₂ သည်

- အဆုတ်ကို ထိခိုက်စေ
- အသက်ရှူလမ်းကြောင်း ရောင်ရမ်းစေ
- Concentration မြင့်လျှင် အသက်အန္တရာယ်ရှိနိုင်

သည်။

(၃) Carbon Monoxide (CO)



Welding လုပ်ရာတွင်

- Paint
- Oil

- Grease
- Organic Coating

များ အပူခံရလျှင်

CO ဖြစ်နိုင်သည်။

CO သည်

- အရောင်မရှိ
- အနံ့မရှိ

သောကြောင့် အလွန်အန္တရာယ်ရှိသည်။

ခန္ဓာကိုယ်အပေါ်သက်ရောက်မှု

CO + Hemoglobin

↓

Carboxyhemoglobin

↓

Oxygen မသယ်နိုင်

↓

သတိလစ် / သေဆုံးနိုင်

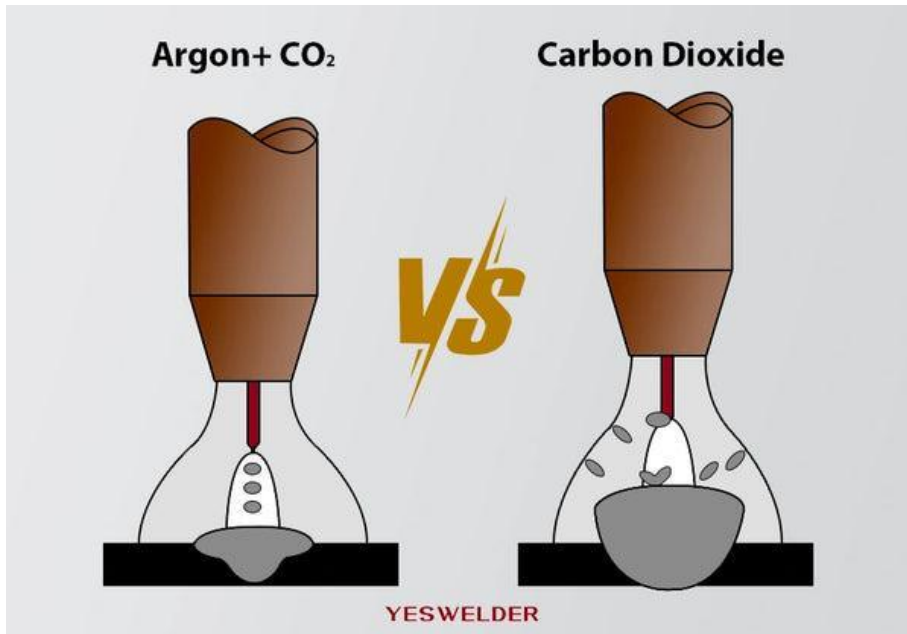
(၄) Shielding Gas များ

MIG / TIG Welding တွင်

အသုံးများသော Gas များ

- Argon (Ar)
- Helium (He)
- CO₂

ဖြစ်သည်။



Argon နှင့် Helium သည် အဆိပ်မဟုတ်သော်လည်း—

Confined Space တွင် Oxygen ကို အစားထိုးနိုင်သည်။

ထို့ကြောင့်

Oxygen Deficiency ဖြစ်နိုင်သည်။

၃။ Welding Fume (သတ္တုအမှုန်) အန္တရာယ်

Welding မှ ထွက်လာသော Fume တွင်—

- Iron Oxide
- Manganese
- Chromium VI
- Nickel
- Zinc Oxide
- Lead (အချို့ Coating)

ပါဝင်နိုင်သည်။

အထူးအန္တရာယ်ရှိသော သတ္တုများ

Chromium VI (Stainless Steel Welding)

ဖြစ်နိုင်သောအန္တရာယ်

- အဆုတ်ထိခိုက်
- Cancer Risk တိုးလာနိုင်

Manganese

- အာရုံကြောစနစ် ထိခိုက်နိုင်

Zinc Oxide

Galvanized Steel Welding တွင်

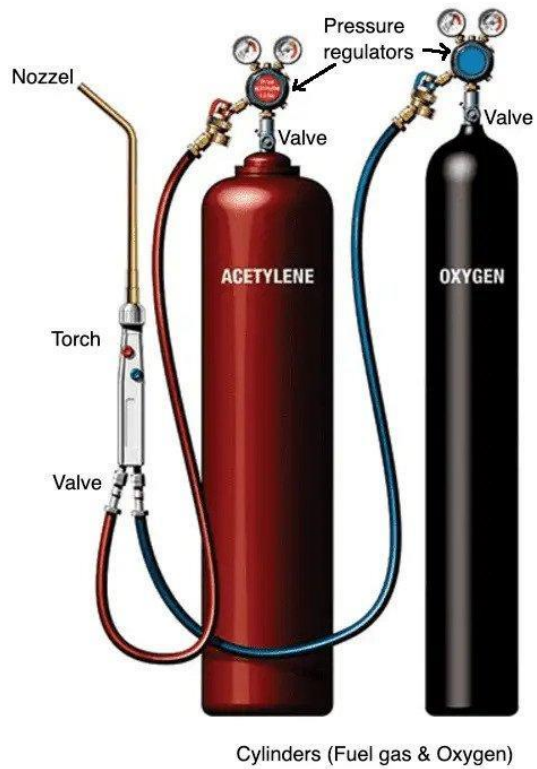
ဖြစ်နိုင်သောရောဂါ

Metal Fume Fever

လက္ခဏာ

- ဖျားခြင်း
- ခေါင်းကိုက်
- ချမ်းတုန်

၄။ Gas Welding (Oxy-Acetylene Welding)



Gas Welding တွင်

အသုံးပြုသော Gas များ

- Oxygen (O_2)
- Acetylene (C_2H_2)

ဖြစ်သည်။

Flame Temperature

$\approx 3,200^\circ C$

အထိ ရှိနိုင်သည်။

Gas Welding မှ ဖြစ်နိုင်သော အန္တရာယ်များ

(၁) Carbon Monoxide

Acetylene မပြည့်စုံစွာ လောင်လျှင် CO ဖြစ်နိုင်သည်။

(၂) Nitrogen Oxides

High temperature flame မှ ဖြစ်နိုင်သည်။

(၃) Acetylene Leakage

Acetylene သည်

- မီးလောင်လွယ်
- ပေါက်ကွဲလွယ်

သော Gas ဖြစ်သည်။

၅။ Confined Space Welding အန္တရာယ်



သင်္ဘော Tank အတွင်း Weldingအသက်အန္တရာယ် အန္တရာယ်များ

၆။ Welding Safety ကာကွယ်နည်းများ

(၁) Local Exhaust Ventilation (LEV)



အကောင်းဆုံးနည်းမှာ

Fume ဖြစ်သည့်နေရာမှ ချက်ချင်း ဆွဲထုတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

အသုံးပြုနိုင်သောပစ္စည်းများ—

- Fume Extractor
- Extraction Arm
- Portable Ventilation Fan

(၂) Mechanical Ventilation

အထူးသဖြင့်

- Tank
- Vessel
- Ship Hold
- Basement

များတွင်

Fresh Air Supply + Exhaust System

လိုအပ်သည်။

(၃) Gas Testing

Confined Space Welding မတိုင်မီ

စစ်ဆေးရန်—

Gas စစ်ရန်

Oxygen လုံလောက်မှု

CO ရှိ/မရှိ

H₂S ရှိ/မရှိ

LEL မီးလောင်နိုင်မှု

(၄) PPE

အသုံးပြုရန်—

- Welding Helmet (Proper Shade)
- Respirator
- Welding Gloves
- Fire Resistant Clothing
- Safety Shoes

၇။ သက်ဆိုင်သော Safety Standards

Welding Safety အတွက်—

- OSHA 29 CFR 1910.252 – Welding, Cutting and Brazing
- OSHA 29 CFR 1910.146 – Confined Space

- AWS Z49.1 – Safety in Welding, Cutting and Allied Processes
- ISO 15011 – Health and Safety in Welding
- NIOSH Welding Fumes Guidance
- NFPA 51B – Fire Prevention During Welding, Cutting and Hot Work

တို့ကို အသုံးပြုကြသည်။

အနှစ်ချုပ်

Arc Welding နှင့် Gas Welding မှ ထွက်နိုင်သော အန္တရာယ်များမှာ—

အရာ အန္တရာယ်

Ozone (O₃) အဆုတ်ထိခိုက်

NO_x အသက်ရှူလမ်းကြောင်း ထိခိုက်

CO သွေး Oxygen သယ်ယူမှု ပိတ်

Metal Fume အဆုတ်နှင့် အာရုံကြော ထိခိုက်

Shielding Gas Oxygen Deficiency

Acetylene မီးလောင်/ပေါက်ကွဲနိုင်

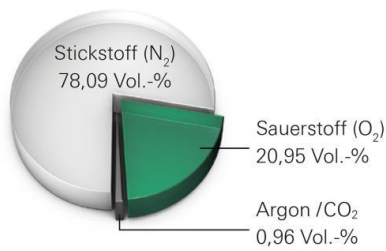
အထူးသဖြင့် Shipyard Tank Welding, Oil Tank Repair, Confined Space Welding များတွင်

Mechanical Ventilation, Continuous Gas Monitoring, Hot Work Permit နှင့် Rescue Plan မရှိပါက

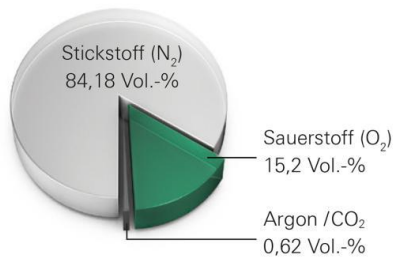
အသက်အန္တရာယ်ရှိနိုင်ပါသည်။

၂။ Nitrogen များလွန်းလျှင် အာရုံစမလဲ?

Natürliche Atmosphäre



Sauerstoffreduzierte Atmosphäre (hier 15,2 Vol.-%)



Oxygen Displacement

- Helium
- Argon
- Nitrogen



ဤနေရာတွင် Nitrogen က အဆိပ်ဖြစ်လို့ မဟုတ်ပါ။

Nitrogen များလာသည်နှင့်

Oxygen ရာခိုင်နှုန်း လျော့သွားသည်။

ဥပမာ

ပုံမှန်

Nitrogen

78%

Oxygen

21%

Leak ဖြစ်ပြီး

Nitrogen

95%

Oxygen

5%

ဖြစ်လာပါက

လူသည် Oxygen မရတော့ပါ။

ထို့ကြောင့်

- မူးဝေ
- သတိလစ်
- အသက်ရှူရပ်
- အသက်ဆုံးရှုံးနိုင်

ဖြစ်သည်။

၃။ Nitrogen ကို များများရှူရင် သေတတ်သလား?

ဟုတ်ပါသည်။ သို့သော် "Nitrogen အဆိပ်" ကြောင့် မဟုတ်ပါ။

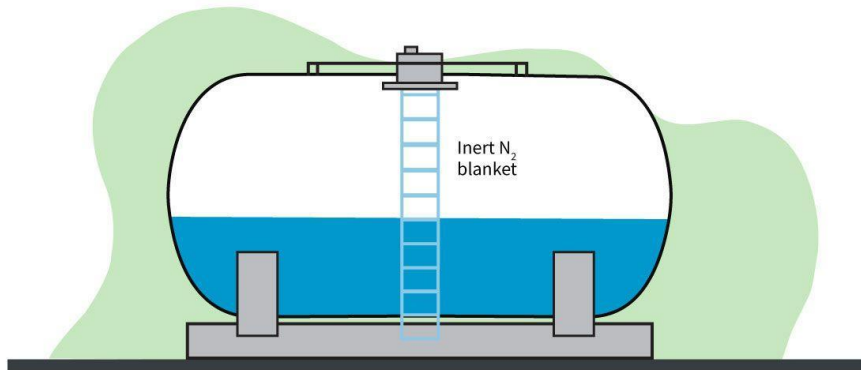
Oxygen မရှိတော့သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ဥပမာ

အခန်းတစ်ခန်းထဲတွင်

၄။ Nitrogen ဟာ Inert Gas လား?

ဟုတ်ပါသည်။



Nitrogen သည်

Inert Gas

ဟု ခေါ်ရခြင်းမှာ

ပုံမှန်အပူချိန်နှင့် ဖိအားတွင်

ဓာတ်ပြုမှု အလွန်နည်းသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့်

အသုံးပြုရာနေရာများမှာ

- Oil Tank
- Chemical Tank
- Semiconductor Factory
- Food Packaging
- Welding

- Fire Suppression

တို့ဖြစ်သည်။

၅။ Nitrogen က လေကို အစားထိုးသလား?

ဟုတ်ပါသည်။

ဥပမာ

အခန်းတစ်ခု

100 m³

ရှိသည်။

အထဲတွင်

Nitrogen

50 m³

ဝင်လာလျှင်

အခြားလေထုကို ဖိထုတ်ပြီး

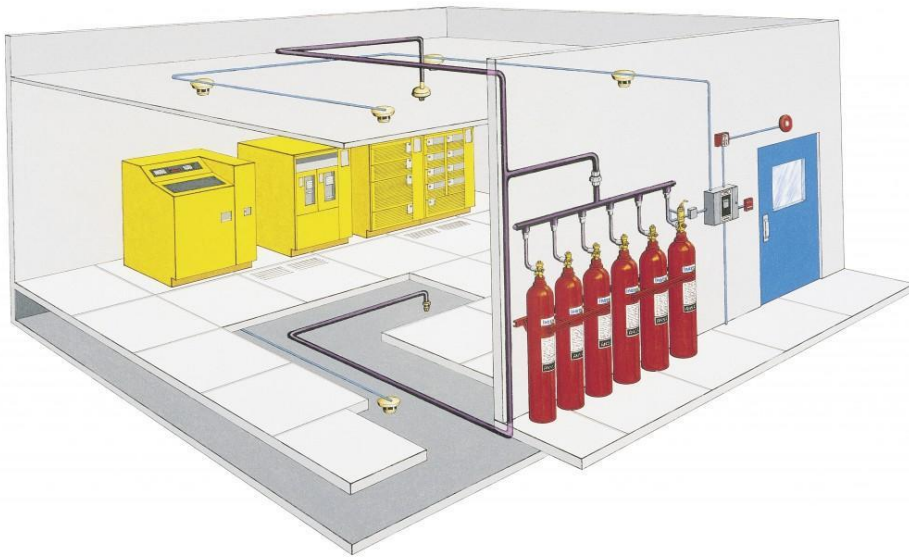
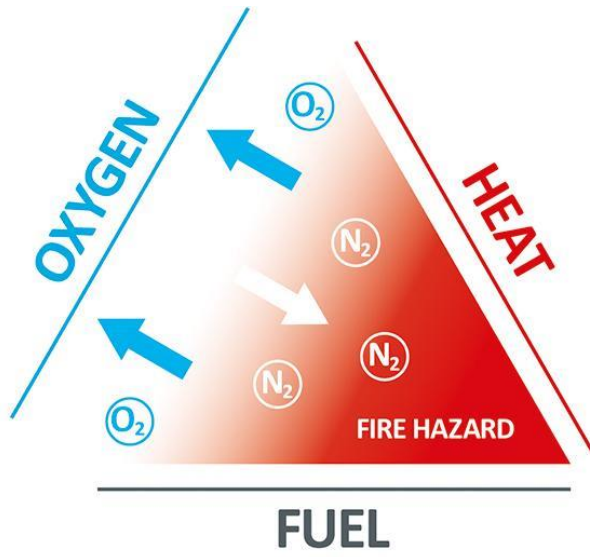
Oxygen ရာခိုင်နှုန်း ကျသွားနိုင်သည်။

ဒါကို

Oxygen Displacement

ဟု ခေါ်သည်။

၆။ Nitrogen ကို ဘာကြောင့် Fire Protection မှာ သုံးတာလဲ?



Nitrogen Cylinder နှင့် Oxygen Cylinder များ၏ Pressure၊ Safety Code၊ Storage Method နှင့် Cylinder Changing Method

Nitrogen (N₂) နှင့် Oxygen (O₂) Cylinder များသည် High Pressure Compressed Gas Cylinder များဖြစ်ပြီး Chemical Plant၊ Hospital၊ Semiconductor Factory၊ Food Industry၊ Welding Shop၊ Laboratory၊ Data Center Fire Suppression System နှင့် HVAC Commissioning လုပ်ငန်းများတွင် ကျယ်ပြန့်စွာ အသုံးပြုကြသည်။

၁။ Cylinder အတွင်း Pressure ဘယ်လောက်ရှိသလဲ?

မှတ်ချက် - အောက်ပါတန်ဖိုးများသည် အသုံးများသော Industrial Cylinder များ၏ ပုံမှန်တန်ဖိုးများဖြစ်ပြီး Cylinder Manufacturer နှင့် နိုင်ငံအလိုက် ကွာခြားနိုင်ပါသည်။

Gas Full Cylinder Pressure (20°C ခန့်) မှတ်ချက်

Oxygen 150–200 bar (15–20 MPa) အသုံးများသော Industrial Cylinder

Nitrogen 150–230 bar (15–23 MPa) High Pressure Gas Cylinder

ဥပမာ

200 bar=20 MPa≈ 2900 psi

၂။ Cylinder အစိတ်အပိုင်းများ

Cylinder တစ်လုံးတွင်

- Cylinder Body
- Valve

- Valve Protection Cap
- Pressure Regulator
- High Pressure Gauge
- Low Pressure Gauge (Regulator အမျိုးအစားပေါ်မူတည်)
- Outlet Connection

တို့ပါဝင်သည်။

၃။ Pressure Regulator အလုပ်လုပ်ပုံ

Cylinder ထဲတွင်

200 bar

ရှိနိုင်သော်လည်း Equipment များသည် အများအားဖြင့် ထိမိအားကို တိုက်ရိုက် မသုံးနိုင်ပါ။

Regulator သည်

Cylinder

200 bar

↓

Regulator

↓

Output

2 bar

5 bar

10 bar

ကဲ့သို့ လိုအပ်သော Pressure သို့ လျှော့ချပေးသည်။

၄။ Cylinder အရောင် (နိုင်ငံအလိုက် ကွာခြားနိုင်)



DIFFERENT COLOR CODE FOR GAS CYLINDER AND THEIR MEANING

Oxygen (O ₂)	Nitrogen (N ₂)	Carbon Dioxide (CO ₂)	Hydrogen (H ₂)	Acetylene (C ₂ H ₂)	Argon (Ar)	Helium (He)
						
White or Green Used in medical, welding, and industrial applications.	Black Commonly used in food packaging, cryogenics, and industrial processes.	Grey Used in beverages (carbonation), fire extinguishers, and welding.	Red Used in fuel cells, chemical processes, and industrial applications.	Maroon Used primarily for welding and cutting metals.	Dark Green or Blue Used in welding, electronics, and the metal industry.	Brown Used in balloons, medical applications, and as a coolant in industries.

Chlorine (Cl ₂)	Ammonia (NH ₃)	LPG (Liquefied Petroleum Gas)	Compressed Air
			
Yellow Used in medical, welding, and industrial applications.	Red or Yellow Used in medical, welding, and industrial applications.	Orange Used in medical, welding, and industrial applications.	Light Grey Used in medical, welding, and industrial applications.

အရေးကြီးသည် — Cylinder အရောင်များသည် နိုင်ငံနှင့် စံနှုန်း (ISO, EN, CGA စသည်) အလိုက် ကွာခြားနိုင်ပါသည်။

သို့သော် အများအားဖြင့်

- Oxygen — အဖြူရောင် Shoulder (အချို့နိုင်ငံများ)
- Nitrogen — အနက်ရောင် Shoulder (အချို့နိုင်ငံများ)

စသည်ဖြင့် အသုံးပြုကြသည်။

Cylinder Label ကို အမြဲဖတ်၍ Gas အမျိုးအစားကို အတည်ပြုရပါမည်။ အရောင်တစ်ခုတည်းကိုသာ အားမကိုးသင့်ပါ။

㉓ Storage Method



Cylinder များကို

- ✅ မတ်တပ်ရပ်ထားပါ။
- ✅ Chain သို့မဟုတ် Strap ဖြင့် ချည်နှောင်ထားပါ။
- ✅ Valve Cap တပ်ထားပါ။
- ✅ နေရောင်တိုက်ရိုက် မထိပါစေနှင့်။
- ✅ အပူရင်းမြစ်မှ ဝေးဝေးထားပါ။
- ✅ လေဝင်လေထွက်ကောင်းသောနေရာတွင် ထားပါ။
- ❌ လှဲထားခြင်း
- ❌ လွှင့်ပစ်ခြင်း
- ❌ လှိမ့်၍ ရွှေ့ခြင်း
- ❌ Valve ကို ကိုင်ပြီး မသယ်ဆောင်ခြင်း

မပြုလုပ်သင့်ပါ။

၆။ Oxygen Cylinder အတွက် အထူးသတိထားရမည့် အချက်များ

⚠ Oxygen သည် မီးမလောင်သော်လည်း လောင်ကျွမ်းမှုကို အလွန်အားပေးသော Oxidizer ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့်

- Oil
- Grease
- Lubricant

များကို

Oxygen Valve၊ Regulator နှင့် Fitting များပေါ်တွင် မသုံးရပါ။

အဆီပါသောလက်ဖြင့် Oxygen Valve ကို မကိုင်သင့်ပါ။

၇။ Nitrogen Cylinder အတွက် အထူးသတိထားရမည့် အချက်များ

⚠ Nitrogen သည်

- မီးမလောင်
- မပေါက်ကွဲ

သော်လည်း

Leak ဖြစ်ပါက

Oxygen ကို အစားထိုးပြီး

Oxygen Deficiency ဖြစ်စေနိုင်သည်။

ထို့ကြောင့်

- Confined Space
- Basement
- Underground Room

များတွင်

Oxygen Monitor တပ်ထားရန် အရေးကြီးသည်။

၈။ Cylinder ပြောင်းလဲခြင်း (Changing Method)

အဆင့် (၁)

Cylinder Valve ကို ပိတ်ပါ။



အဆင့် (၂)

Regulator အတွင်းကျန်သော Pressure ကို ဖြည်းဖြည်းချင်း ထုတ်ပါ။



အဆင့် (၃)

Regulator ကို ဖြုတ်ပါ။



အဆင့် (၄)

Cylinder Cap တပ်ပါ။



အဆင့် (၅)

Cylinder အသစ်ကို Chain ဖြင့် ချည်ပါ။



အဆင့် (၆)

Regulator ကို သန့်ရှင်းစွာ တပ်ပါ။



အဆင့် (၇)

Valve ကို ဖြည်းဖြည်းချင်း ဖွင့်ပါ။



အဆင့် (၈)

Leak Test (Soap Solution သို့မဟုတ် သင့်လျော်သော Leak Detector) ဖြင့် စစ်ဆေးပါ။

↓

အဆင့် (၉)

Pressure ကို စစ်ဆေးပြီး အသုံးပြုပါ။

၉။ Leak စစ်ဆေးနည်း

✓ Soap Solution ဖြင့် Bubble ဖြစ်/မဖြစ် စစ်ဆေးနိုင်သည်။

✓ Approved Gas Leak Detector အသုံးပြုနိုင်သည်။

✗ မီးခြစ်၊ မီးလောင်တိုင်ဖြင့် Leak စစ်ဆေးခြင်းကို လုံးဝ မပြုလုပ်ရပါ။

၁၀။ Emergency Action

Cylinder Leak ဖြစ်ပါက

- Valve ကို ပိတ်နိုင်လျှင် ပိတ်ပါ။
- လူများကို လုံခြုံသောနေရာသို့ ရွှေ့ပြောင်းပါ။
- Mechanical Ventilation ဖွင့်ပါ။
- Oxygen Deficiency Alarm ရှိလျှင် လိုက်နာပါ။
- Fire Brigade / Emergency Team ကို အကြောင်းကြားပါ။

၁၁။ ကိုးကားသင့်သော Safety Standards

Compressed Gas Cylinder များအတွက် အများဆုံး အသုံးပြုသော စံနှုန်းများမှာ

- ISO 9809 – Refillable Seamless Steel Gas Cylinders
- ISO 11114 – Compatibility of Cylinder Materials with Gas Contents
- ISO 11625 – Safe Handling of Gas Cylinders
- CGA (Compressed Gas Association) Standards – Cylinder Valve, Regulator နှင့် Handling Guidelines
- OSHA 29 CFR 1910.101 – Compressed Gases (General Requirements)
- NFPA 55 – Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code
- BS EN ISO 11625 – Gas Cylinders – Safe Handling
- ISO 32 – Medical Gas Cylinder Identification (Medical Oxygen အတွက်)

Engineering Summary

Nitrogen နှင့် Oxygen Cylinder နှစ်မျိုးစလုံးသည် High Pressure Compressed Gas များဖြစ်ပြီး ပုံမှန်အားဖြင့် 150–230 bar အတွင်း ဖိအားဖြင့် သိမ်းဆည်းထားသည်။ Oxygen သည် Oxidizer ဖြစ်သောကြောင့် Oil/Grease နှင့် မထိတွေ့စေရန် အထူးသတိပြုရပြီး၊ Nitrogen သည် Inert Gas ဖြစ်သော်လည်း Leak ဖြစ်ပါက Oxygen ကို အစားထိုးနိုင်သောကြောင့် Oxygen Deficiency အန္တရာယ်ရှိပါသည်။ ထို့ကြောင့် Cylinder Storage၊ Regulator အသုံးပြုမှု၊ Leak Testing နှင့် Cylinder Changing Procedure များကို သက်ဆိုင်ရာ Safety Standards များအတိုင်း လိုက်နာရပါသည်။

မီးလောင်ရန်

Fire Triangle လိုအပ်သည်။

1. Fuel
2. Heat
3. Oxygen

Nitrogen ဖြည့်လိုက်လျှင်

Oxygen ကို လျော့ချပေးသောကြောင့်

မီး မလောင်နိုင်တော့ပါ။

ဒါကြောင့်

- Data Center
- Archive Room
- Museum
- Electrical Room

တို့တွင် Inert Gas Fire Suppression System များကို အသုံးပြုကြသည်။

၇။ Nitrogen က ဓာတ်ပြုမှု လုံးဝမရှိဘူးလား?

မဟုတ်ပါ။

"Inert" ဟု ခေါ်သော်လည်း

ပုံမှန်အခြေအနေတွင်သာ ဓာတ်ပြုမှု အလွန်နည်းသည်။

ဥပမာ

- Lightning (မိုးကြိုး)
- အလွန်မြင့်သော အပူချိန်
- Haber Process (Ammonia ထုတ်လုပ်ခြင်း)

တို့တွင် Nitrogen သည် Hydrogen နှင့် ပေါင်း၍ Ammonia (NH_3) ဖြစ်နိုင်သည်။

ထို့ကြောင့် Nitrogen သည် ဓာတ်မပြုနိုင်သော ဓာတ်ငွေ့မဟုတ်ဘဲ ပုံမှန်အခြေအနေတွင် ဓာတ်ပြုမှု အလွန်နည်းသော ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်သည်။

အကျဉ်းချုပ်

မေးခွန်း

အဖြေ

Nitrogen နည်းလျှင်

လေထုအချိုးအစား ပြောင်းလဲနိုင်ပြီး Oxygen များလွန်းလျှင်
မီးလောင်မှု ပိုလွယ်နိုင်သည်။

Nitrogen များလျှင်

Oxygen ကို အစားထိုးသဖြင့် Oxygen လျော့နည်းလာနိုင်သည်။

Nitrogen များများရှူရင်
သေတတ်သလား

ဟုတ်သည်။ အကြောင်းရင်းမှာ Nitrogen အဆိပ်ကြောင့် မဟုတ်ဘဲ
Oxygen မရတော့သောကြောင့် (Asphyxiation) ဖြစ်သည်။

Nitrogen ဟာ Inert Gas လား ဟုတ်သည်။ ပုံမှန်အခြေအနေတွင် ဓာတ်ပြုမှု အလွန်နည်းသည်။

လေကို အစားထိုးနိုင်သလား

ဟုတ်သည်။ Nitrogen Leak ဖြစ်ပါက Oxygen ကို Displace
(အစားထိုး) လုပ်နိုင်ပြီး Oxygen Concentration ကို လျော့ချနိုင်သည်။

Engineering Note

HVAC၊ Data Center၊ Semiconductor Factory၊ LNG Terminal၊ Cryogenic Plant နှင့် Confined Space

များတွင် အဓိကအန္တရာယ်မှာ "Nitrogen Poisoning" မဟုတ်ဘဲ "Oxygen Deficiency" ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် ဤလုပ်ငန်းခွင်များတွင် Oxygen Sensor, Mechanical Ventilation, Gas Monitoring,

Permit-to-Work နှင့် Confined Space Entry Procedure များကို မဖြစ်မနေ အသုံးပြုကြသည်။

၎င်းသည် အလုပ်သမားများ၏ အသက်အန္တရာယ်ကို ကာကွယ်ရန် အရေးကြီးဆုံး Safety Measure

များထဲမှ တစ်ခုဖြစ်ပါသည်။

၂။ Oxygen အစား Nitrogen သီးသန့်ကို ရှူနိုင်သလား?

မရပါ။ အလွန်အန္တရာယ်ရှိပါသည်။

အဆုတ်သည် Nitrogen ကို အသုံးပြု၍ စွမ်းအင် မထုတ်လုပ်နိုင်ပါ။

လူ့ဆဲလ်များသည်

- Oxygen (O_2) ကိုသာ အသုံးပြု၍ ATP (စွမ်းအင်) ထုတ်လုပ်နိုင်သည်။

Nitrogen သီးသန့်ကို ရှုပါက

- သွေးထဲသို့ Oxygen မဝင်တော့ပါ။
- ဦးနှောက်နှင့် နှလုံးသည် Oxygen မရတော့ပါ။
- မိနစ်အနည်းငယ်အတွင်း သတိလစ်နိုင်ပြီး အသက်အန္တရာယ် ဖြစ်နိုင်သည်။

အန္တရာယ်သည် Nitrogen အဆိပ်ဖြစ်သောကြောင့် မဟုတ်ဘဲ Oxygen မရှိတော့ခြင်း (Oxygen Deficiency / Asphyxiation) ကြောင့် ဖြစ်သည်။

၃။ Nitrogen က အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့လား?

မဟုတ်ပါ။

Nitrogen သည်

- အဆိပ်မဟုတ်
- အနံ့မရှိ
- အရောင်မရှိ

သော Inert Gas (ဓာတ်ပြုမှုနည်းသော ဓာတ်ငွေ့) ဖြစ်သည်။

သို့သော်

အခန်းတစ်ခန်းထဲတွင် Nitrogen များလွန်းပါက

Oxygen ကို အစားထိုးသွားသဖြင့်

အသက်ရှူမရဘဲ

Asphyxiation ဖြစ်နိုင်သည်။

၄။ Nitrogen က မီးလောင်သလား?

မလောင်ပါ။

Nitrogen သည်

- Fuel မဟုတ်
- Oxidizer မဟုတ်

ထို့ကြောင့်

မီးလောင်ခြင်းကို အားမပေးဘဲ မီးလောင်မှုကို လျော့ချနိုင်သော ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်သည်။

၅။ Nitrogen က ပေါက်ကွဲသလား?

ပုံမှန်အခြေအနေတွင် မပေါက်ကွဲပါ။

Nitrogen ကို

- Chemical Plant
- Oil & Gas
- Semiconductor Factory
- Food Industry

များတွင်

Explosion Prevention အတွက် အသုံးပြုကြသည်။

ဥပမာ

Oil Tank အတွင်း

Nitrogen ဖြည့်ထားခြင်းဖြင့်

Oxygen လျော့နည်းသွားသောကြောင့်

မီးလောင်မှု အန္တရာယ် လျော့ချနိုင်သည်။

၆။ Liquid Nitrogen (LN₂) က ပိုအန္တရာယ်ရှိသလား?



Liquid Nitrogen သည် -196°C ခန့်ရှိသော Cryogenic Liquid ဖြစ်သည်။

အန္တရာယ်များမှာ

1. အလွန်အေးသောကြောင့် အရေပြားကို ထိခိုက်စေနိုင်သည် (Cold Burn / Frostbite)။
2. အငွေ့ပျံလာသော Nitrogen Gas သည် အခန်းထဲရှိ Oxygen ကို အစားထိုးနိုင်သည်။
3. Ventilation မကောင်းသောနေရာတွင် Oxygen Deficiency ဖြစ်စေနိုင်သည်။

၇။ Nitrogen ကို ဘယ်နေရာတွေမှာ အသုံးပြုသလဲ?

- Food Packaging
- Semiconductor Manufacturing
- Pharmaceutical Industry
- Chemical Plant
- Oil & Gas Industry
- Laser Cutting
- Fire Protection Systems (Inert Gas Fire Suppression)
- Pressure Testing
- Welding Shielding (အချို့လုပ်ငန်းများ)

၈။ Nitrogen Leak ဖြစ်လျှင် ဘာလုပ်သင့်သလဲ?

- လူများကို ချက်ချင်း လုံခြုံသောနေရာသို့ ရွှေ့ပြောင်းပါ။
- Mechanical Ventilation ကို ဖွင့်ပါ။
- Oxygen Level ကို Gas Detector ဖြင့် စစ်ဆေးပါ။
- Oxygen လုံလောက်ကြောင်း မသေချာမချင်း မဝင်ရောက်ပါနှင့်။
- Confined Space များတွင် Permit-to-Work နှင့် Gas Testing ကို လိုက်နာပါ။

၉။ Nitrogen နှင့် Oxygen နှိုင်းယှဉ်ချက်

အချက်	Nitrogen (N ₂)	Oxygen (O ₂)
လေထုတွင်ပါဝင်မှု	~78%	~21%

အချက်	Nitrogen (N ₂)	Oxygen (O ₂)
အသက်ရှူရန်လိုအပ်	✗ မဟုတ်	✓ ဟုတ်
ဆဲလ်များ စွမ်းအင်ထုတ်လုပ်ရာတွင် အသုံးပြု	✗ မဟုတ်	✓ ဟုတ်
မီးလောင်မှုကို အားပေး	✗ မဟုတ်	✓ အားပေး
မီးလောင်	✗ မလောင်	✗ မလောင် (သို့သော် လောင်ကျွမ်းမှုကို အားပေးသည်)
ပေါက်ကွဲ	✗ မပေါက်ကွဲ	✗ မပေါက်ကွဲ



Nitrogen (N₂) သည် ပုံမှန်အခြေအနေတွင် အန္တရာယ်နည်းသော Inert Gas ဖြစ်သော်လည်း၊ Nitrogen Oxides (NO_x) အဖြစ် ပြောင်းလဲသွားပါက လူ့ကျန်းမာရေးကို အန္တရာယ်ပေးနိုင်သော ဓာတ်ငွေ့များ ဖြစ်လာပါသည်။

၁။ Nitrogen Oxides (NO_x) ဆိုတာ ဘာလဲ?

NO_x ဆိုသည်မှာ Nitrogen နှင့် Oxygen ပေါင်းစပ်ပြီး ဖြစ်လာသော ဓာတ်ငွေ့အုပ်စုကို ခေါ်သည်။

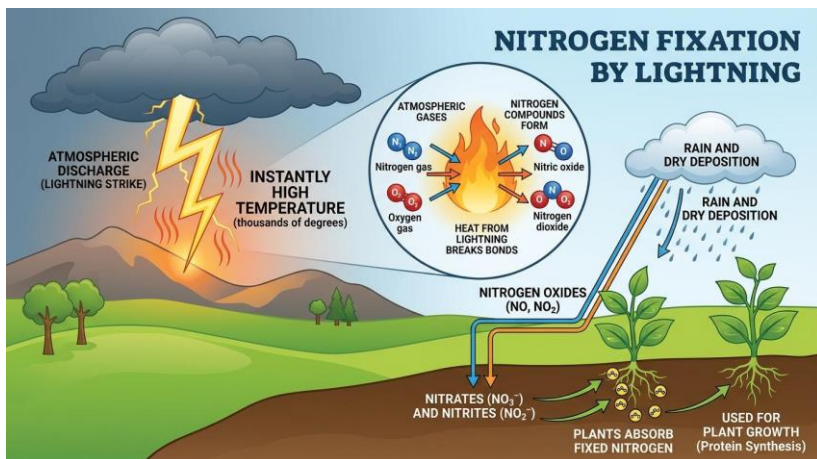
အဓိက ပါဝင်သော ဓာတ်ငွေ့များမှာ

- Nitric Oxide (NO)
- Nitrogen Dioxide (NO₂)

ဖြစ်သည်။

အထူးသဖြင့် NO₂ သည် လူ့ကျန်းမာရေးအတွက် ပို၍ အန္တရာယ်ရှိသည်။

၂။ ဘယ်လိုအခြေအနေမှာ NO_x ဖြစ်လာသလဲ?



Nitrogen သည် ပုံမှန်အပူချိန်တွင် Oxygen နှင့် မလွယ်ကူစွာ မပေါင်းပါ။

သို့သော်

အပူချိန် အလွန်မြင့်သောအချိန် (ဥပမာ ၁၃၀၀°C ကျော်) တွင်



↓



↓

NO₂

ဖြစ်နိုင်သည်။

ဥပမာ

- ကားအင်ဂျင်
- Diesel Generator
- Gas Turbine
- Boiler
- Furnace
- မိုးကြိုးပစ်ချိန်

တို့တွင် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

၃။ NO₂ က လူကို ဘယ်လိုထိခိုက်သလဲ?

NO₂ သည်

- မျက်လုံးယားယံ
- နှာခေါင်းယားယံ
- လည်ချောင်းနာ
- ချောင်းဆိုး
- အသက်ရှူရခက်
- အဆုတ်ရောင်ရမ်းခြင်း

တို့ကို ဖြစ်စေနိုင်သည်။

Concentration မြင့်မားပါက

- အဆုတ်အတွင်း ရောင်ရမ်းမှု
- Pulmonary Edema (အဆုတ်တွင် အရည်စုခြင်း)
- အသက်ရှူမရခြင်း
- အသက်အန္တရာယ်

အထိ ဖြစ်နိုင်ပါသည်။

၄။ NO_x က ဘာကြောင့် အန္တရာယ်ရှိသလဲ?

NO_2 သည် အဆုတ်အတွင်းရှိ ရေငွေ့နှင့် ဓာတ်ပြုပြီး Nitric Acid နှင့် Nitrous Acid ကဲ့သို့ အက်ဆစ်များ ဖြစ်ပေါ်စေနိုင်သည်။

ယင်းကြောင့်

- အဆုတ်အတွင်းပိုင်း (Alveoli)
- အသက်ရှူလမ်းကြောင်း

တို့ကို ထိခိုက်စေပါသည်။

၅။ ရေရှည်ထိတွေ့လျှင်

ရေရှည်တွင်

- Asthma ပိုဆိုးလာခြင်း
- Bronchitis
- COPD
- အဆုတ်လုပ်ဆောင်နိုင်စွမ်း ကျဆင်းခြင်း

တို့ဖြစ်နိုင်သည်။

ကလေးများနှင့် အသက်ကြီးသူများတွင် ပိုမိုသက်ရောက်နိုင်ပါသည်။

၆။ NO_x က ပတ်ဝန်းကျင်ကိုလည်း ထိခိုက်သလား?

NO_x သည်

- Acid Rain (အက်ဆစ်မိုး)
- Photochemical Smog
- မြေပြင်အနီး Ozone (O_3) ဖြစ်ပေါ်မှု

တို့တွင် ပါဝင်ပြီး

လူ၊ အပင်နှင့် ပတ်ဝန်းကျင်ကို ထိခိုက်စေနိုင်သည်။

၇။ HVAC နှင့် Tunnel များတွင် ဘာကြောင့် NO_x ကို စောင့်ကြည့်ရသလဲ?

Road Tunnel များ၊ Boiler Room များ၊ Generator Room များတွင်

- CO
- NO_x
- CO_2

တို့ကို စောင့်ကြည့်ပြီး

Mechanical Ventilation ဖြင့် အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့များကို အပြင်သို့ ထုတ်ပစ်ရသည်။

Nitrogen (N₂) နှင့် Nitrogen Dioxide (NO₂) နှိုင်းယှဉ်ချက်

အချက်	Nitrogen (N ₂)	Nitrogen Dioxide (NO ₂)
သဘာဝလေထုတွင် အများဆုံးပါဝင်	✓ ဟုတ်	✗ မဟုတ်
Inert Gas	✓ ဟုတ် (ပုံမှန်အခြေအနေတွင်)	✗ မဟုတ်
အသက်ရှူလျှင်	ပုံမှန်လေထုအချိုးတွင် အန္တရာယ်မရှိ	Concentration မြင့်လျှင် အန္တရာယ်ရှိ
အဆုတ်ကို ထိခိုက်	✗ မထိခိုက်	✓ ထိခိုက်နိုင်
Acid Rain ဖြစ်စေ	✗ မဖြစ်စေ	✓ ဖြစ်စေ

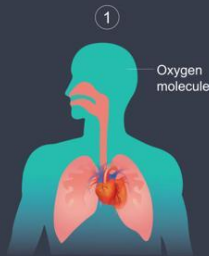
Engineering Summary

- Nitrogen (N₂) သည် ပုံမှန်လေထုတွင် တည်ငြိမ်သော Inert Gas ဖြစ်ပြီး တိုက်ရိုက်အဆိပ်မဟုတ်ပါ။
- Nitrogen Oxides (NO_x)၊ အထူးသဖြင့် Nitrogen Dioxide (NO₂) သည် အပူချိန်မြင့်သော လောင်ကျွမ်းမှုများမှ ဖြစ်ပေါ်လာပြီး လူ့အသက်ရှူလမ်းကြောင်းနှင့် အဆုတ်ကို ထိခိုက်စေနိုင်သော Air Pollutant ဖြစ်သည်။
- ထို့ကြောင့် Boiler Room၊ Generator Room၊ Road Tunnel၊ Industrial Furnace နှင့် အခြားလောင်ကျွမ်းမှုရှိသော လုပ်ငန်းခွင်များတွင် NO_x ထိန်းချုပ်ရေး၊ Mechanical Ventilation နှင့် Emission Control စနစ်များသည် အလွန်အရေးကြီးပါသည်။

Carbon Monoxide (CO) ဓာတ်ငွေ့ — ဘယ်ကလာသလဲ၊ ဘာကြောင့် လူကို သေစေနိုင်သလဲ?

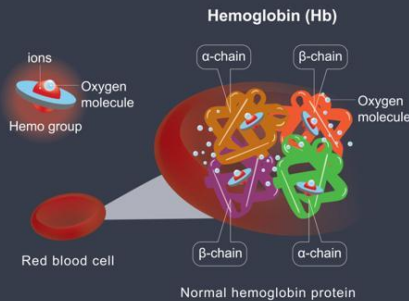
Carbon monoxide poisoning

- The typically occurs from breathing in carbon monoxide toxic gas (CO) in to body large quantities.
- Often with symptoms headache, dizziness, weakness, vomiting, and loss of consciousness.



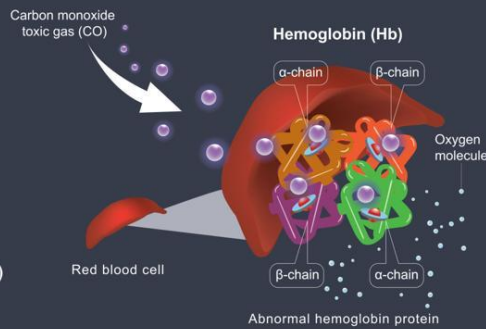
Normal

Red blood cells contain hemoglobin molecules that deliver oxygen to the tissues.



Abnormal hemoglobin protein

Breathing in carbon monoxide toxic gas (CO)
The oxygen level in the tissue is reduced



Carbon Monoxide (CO) သည် လူ့အသက်အန္တရာယ်အတွက် အလွန်အရေးကြီးသော Toxic Gas (အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့) တစ်မျိုးဖြစ်ပါသည်။

CO ကို အန္တရာယ်ကြီးစေသော အချက်မှာ—

- အရောင်မရှိ (Colorless)
- အနံ့မရှိ (Odorless)

- မျက်စိဖြင့် မမြင်နိုင် (Invisible)

ဖြစ်သောကြောင့် လူသည် မသိဘဲ ရှူမိနိုင်ခြင်း ဖြစ်ပါသည်။

၁။ Carbon Monoxide (CO) ဆိုတာ ဘာလဲ?

Chemical Formula:

CO

ဖွဲ့စည်းပုံ

Carbon (C) + Oxygen (O)

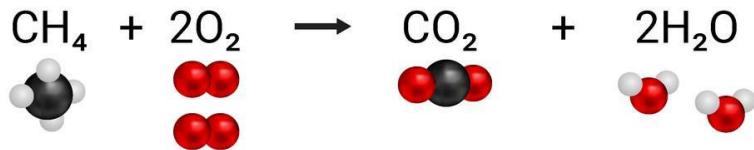
$C \equiv O$

CO သည် Carbon နှင့် Oxygen တစ်လုံးစီ ပေါင်းစပ်ထားသော ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်သည်။

၂။ CO ဘယ်ကနေ ဖြစ်လာသလဲ?

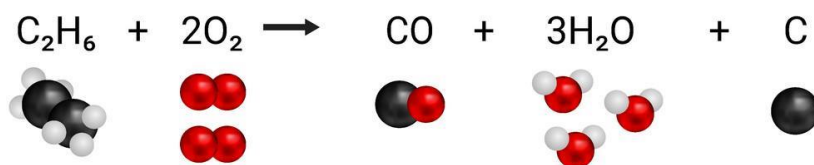
Complete combustion

fuel + oxygen $\rightarrow$ carbon dioxide + water



Incomplete combustion

fuel + oxygen $\rightarrow$ carbon monoxide + water + carbon



CO သည် အဓိကအားဖြင့် Incomplete Combustion (လောင်ကျွမ်းမှု မပြည့်စုံခြင်း) ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည်။

ပုံမှန် လောင်ကျွမ်းမှုတွင်—

Complete Combustion

Carbon + Oxygen

↓

CO_2

(Carbon Dioxide)

ဖြစ်သင့်သည်။

သို့သော် Oxygen မလုံလောက်ပါက—

Carbon + Oxygen

↓

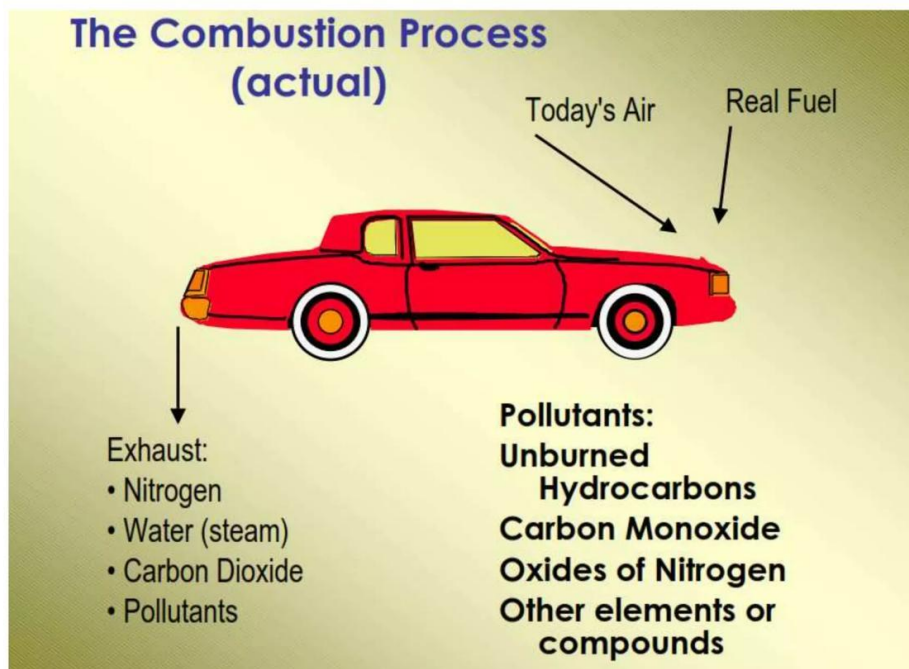
CO

(Carbon Monoxide)

ဖြစ်လာသည်။

၃။ CO ထွက်လာနိုင်သော ပစ္စည်းများ

(၁) မော်တော်ယာဉ်များ





- ကား
- Truck
- Bus
- Motorcycle
- Diesel Vehicle

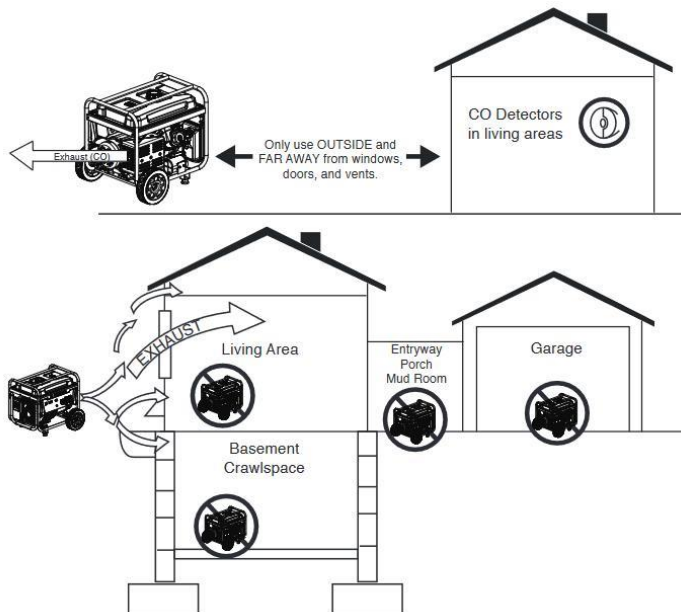
တို့၏ Engine Exhaust မှ CO ထွက်နိုင်သည်။

အထူးသဖြင့်—

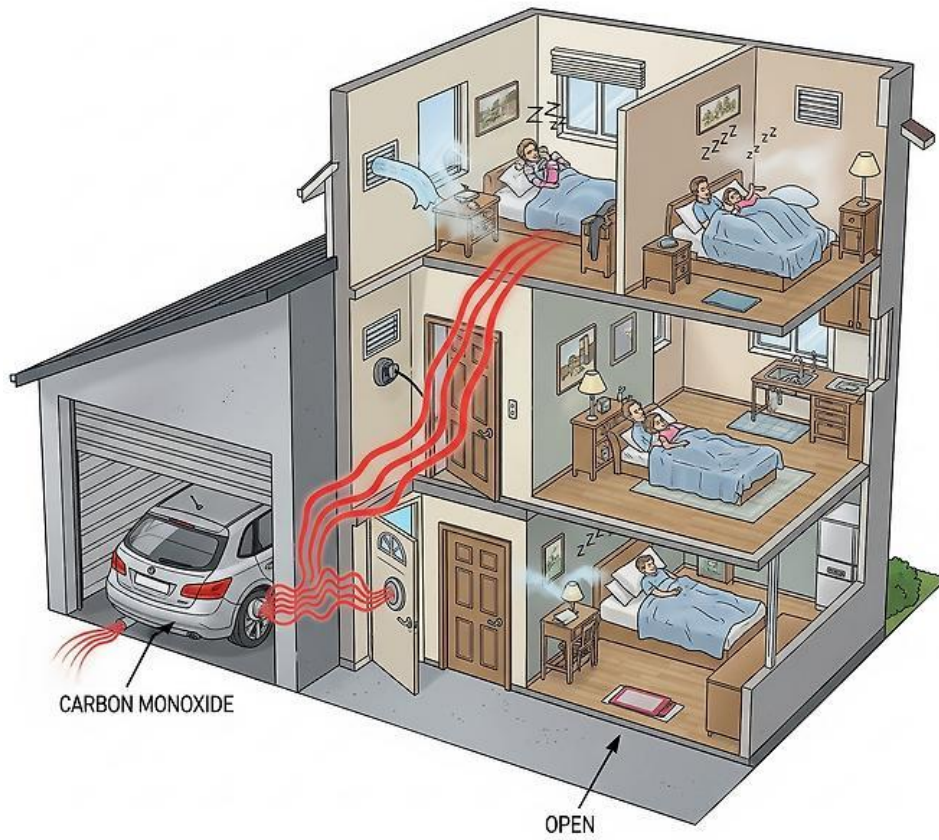
- Garage အတွင်း
- Tunnel အတွင်း
- Ventilation မကောင်းသောနေရာ

များတွင် အန္တရာယ်ရှိသည်။

(j) Generator (Diesel / Gas Generator)



(၄) မီးလောင်မှု (Fire)

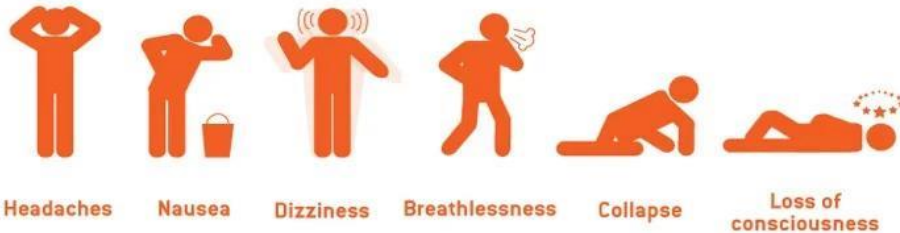


Presentation

Common Sources [1]	• House fires. • Car exhausts. • Boilers / furnaces. • Cigarette smoke.
---------------------------	---

CO has 200 x the affinity for Hg than O₂ [2]

E.g. An atmosphere of 20% O₂ + 0.1% CO → 50:50 carboxy/oxyhaemoglobin saturation.

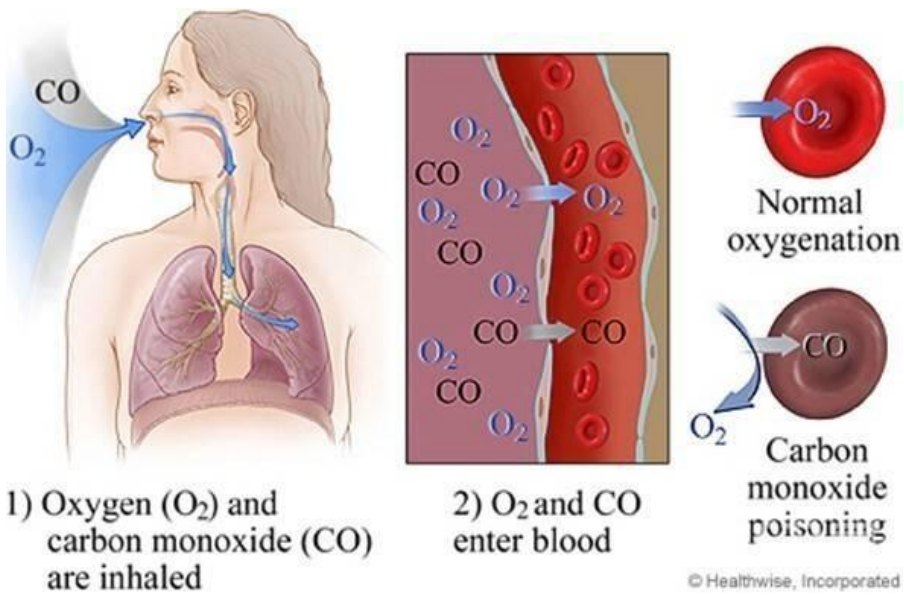
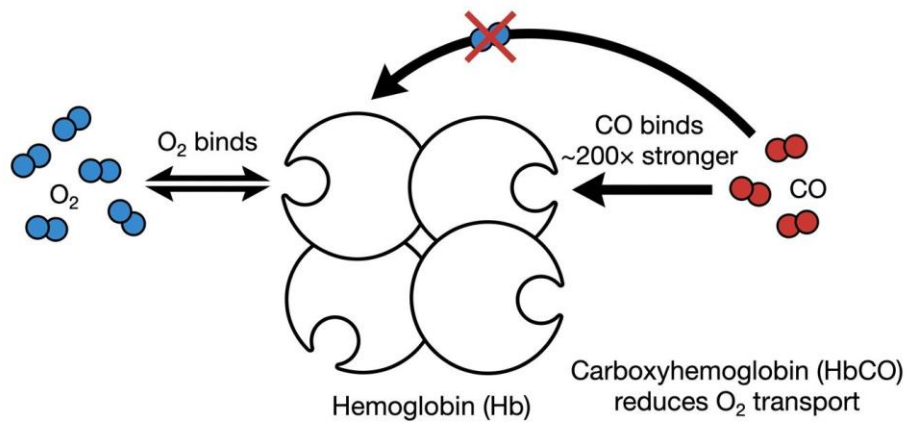


[1] <http://patient.info/doctor/inhalation-injury>

[2] <http://www.nhs.uk/conditions/Carbon-monoxide-poisoning>

Image credit: <http://baromedical.ca/medical-co-poisoning.php>

၄။ CO က အကြောနှင့် လူကို သေစေနိုင်သလဲ?



လူ၏သွေးတွင်

Hemoglobin (Hb)

ဆိုသော Protein ရှိပြီး

အလုပ်မှာ—

အဆုတ်

↓

Oxygen သယ်ဆောင်

↓

ကိုယ်ခန္ဓာဆဲလ်များ

ဖြစ်သည်။

သို့သော် CO သည် Hemoglobin နှင့် အလွန်လွယ်ကူစွာ ပေါင်းစပ်သည်။

CO သည် Oxygen ထက် Hemoglobin နှင့် ပေါင်းနိုင်စွမ်း

ခန့်မှန်းအားဖြင့် 200–250 ဆ ပိုမိုမြင့်မားသည်။

ထို့ကြောင့်—

CO ရှူမိ

↓

Carboxyhemoglobin ဖြစ်

↓

Oxygen မသယ်နိုင်

↓

ဦးနှောက်၊ နှလုံး Oxygen မရ

↓

သတိလစ် / အသက်ဆုံးရှုံး

ဖြစ်နိုင်သည်။

၅။ CO အဆိပ်သင့် လက္ခဏာများ

CO အဆင့် ဖြစ်နိုင်သော လက္ခဏာ

နည်း ခေါင်းကိုက်၊ မူးဝေ

အလယ်အလတ် အန်ခြင်း၊ အားနည်းခြင်း၊ ရင်ဘတ်အောင့်

မြင့် စိတ်ရှုပ်ထွေး၊ သတိလစ်

အလွန်မြင့် အသက်ဆုံးရှုံးနိုင်

၆။ CO သည် ဘာကြောင့် ပိုအန္တရာယ်ရှိသလဲ?

CO ၏ အန္တရာယ်မှာ—

(၁) မမြင်ရ

အခန်းထဲ CO ရှိနေသည်ကို မသိနိုင်။

(၂) မနံရ

H₂S ကဲ့သို့ အနံ့မရှိ။

(၃) အချိန်မီ မသိနိုင်

လူသည် အန္တရာယ်ကို မသိမီ အားနည်းလာနိုင်သည်။

၇။ CO နှင့် CO₂ ကွာခြားချက်

အချက်	CO	CO ₂
အမည်	Carbon Monoxide	Carbon Dioxide
Carbon Atom	1	1
Oxygen Atom	1	2
အဆိပ်	အလွန်မြင့်	Concentration မြင့်မှ အန္တရာယ်
ဖြစ်ပေါ်မှု	မပြည့်စုံသော လောင်ကျွမ်းမှု ပြည့်စုံသော လောင်ကျွမ်းမှု / အသက်ရှူထုတ်မှု	
လူကို ထိခိုက်ပုံ သွေး Oxygen သယ်ယူမှု ပိတ် Oxygen ကို အစားထိုး		

၈။ CO ကာကွယ်ရန် နည်းလမ်းများ



Mechanical Ventilation

- Fresh Air Supply
- Exhaust Fan

ဖြင့် CO ကို ဖယ်ရှားရမည်။

CO Detector

တပ်ဆင်ရန်—

- Parking Building
- Generator Room
- Boiler Room
- Tunnel
- Furnace Room

များတွင် လိုအပ်သည်။

Combustion Maintenance

- Burner Adjustment
- Air/Fuel Ratio Check
- Exhaust Inspection

လုပ်ရမည်။

Engineering Summary

Carbon Monoxide (CO) သည်

- ကား Exhaust
- Diesel Generator
- Boiler
- Furnace
- မီးလောင်မှု

- မပြည့်စုံသော လောင်ကျွမ်းမှု

မှ အဓိက ဖြစ်ပေါ်သည်။

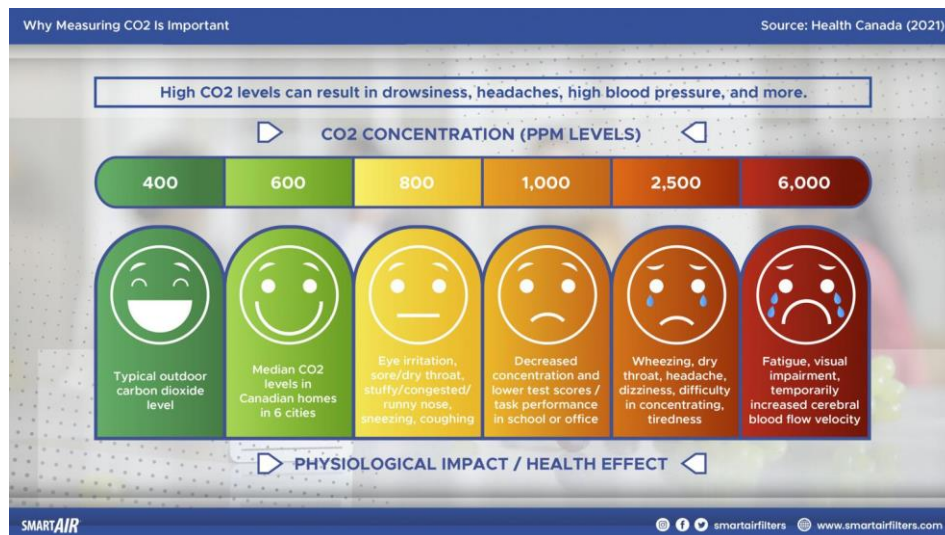
၎င်းသည် အဆိပ်ရှိသောဓာတ်ငွေ့ဖြစ်ပြီး လူကို သေစေနိုင်သည့်အကြောင်းမှာ—

CO သည် သွေးထဲရှိ Hemoglobin ကို ဖမ်းယူပြီး Oxygen သယ်ဆောင်နိုင်မှုကို ပိတ်ဆို့သောကြောင့် ဦးနှောက်နှင့် နှလုံး Oxygen ပြတ်တောက်ခြင်း ဖြစ်စေခြင်း ဖြစ်ပါသည်။

ထို့ကြောင့် Generator Room, Tunnel, Parking, Boiler Room, Ship Engine Room, Confined Space

များတွင် CO Detector + Mechanical Ventilation System သည် အသက်ကယ်စနစ်တစ်ခု ဖြစ်ပါသည်။

၄။ Carbon Dioxide (CO₂)



CO₂ သည်

- လူနှင့် တိရစ္ဆာန်များ အသက်ရှူထုတ်သော ဓာတ်ငွေ့
- လောင်ကျွမ်းမှုများမှ ထွက်လာသော ဓာတ်ငွေ့
- အချဉ်ဖောက်ခြင်း (Fermentation) လုပ်ငန်းများမှ ထွက်နိုင်သော ဓာတ်ငွေ့

ဖြစ်သည်။

CO₂ များလွန်းလျှင်

CO₂ (ppm) အကျိုးသက်ရောက်မှု

400-800 ပြင်ပလေထုနှင့် ကောင်းမွန်သော Indoor Air

~1000 လေဝင်လေထွက်တိုးရန် စဉ်းစားသင့်သောအဆင့်

2000+ အိပ်ငိုက်ခြင်း၊ ခေါင်းကိုက်ခြင်း

5000+ ရေရှည်ထိတွေ့မှု မသင့်လျော်

CO₂ သည် အဆိပ်ပြင်းဓာတ်ငွေ့မဟုတ်သော်လည်း အလွန်များလာလျှင် Oxygen ကို အစားထိုးပြီး အသက်ရှူရခက်စေနိုင်သည်။

၅။ Carbon Monoxide (CO)

Carbon Monoxide သည်

- အရောင်မရှိ
- အနံ့မရှိ
- အရသာမရှိ

သောကြောင့် Silent Killer ဟု ခေါ်ကြသည်။

CO အရင်းအမြစ်များ

- Generator
- ကားအင်ဂျင်
- Boiler
- Gas Heater
- Charcoal မီးဖို
- Furnace

ဘာကြောင့် အန္တရာယ်ရှိသလဲ?

CO သည် Hemoglobin နှင့် Oxygen ထက် ပိုမိုခိုင်မာစွာ ပေါင်းစပ်နိုင်သောကြောင့် သွေးသည် Oxygen ကို မသယ်ဆောင်နိုင်တော့ဘဲ ကိုယ်ခန္ဓာတွင် Oxygen ပြတ်လပ်မှု ဖြစ်စေသည်။

လက္ခဏာများ

- ခေါင်းကိုက်
- မူးဝေ
- အန်ချင်
- သတိလစ်
- အသက်ဆုံးရှုံးနိုင်

၆။ Ammonia (NH₃)

Ammonia (NH₃), Ammonium Nitrate (NH₄NO₃) နှင့် Urea Fertilizer များ၏ ဂုဏ်သတ္တိ၊

အန္တရာယ်များနှင့် Safety Management

UREA (46-0-0) ဓာတ်မြေဩဇာ သိုလှောင်ထိန်းသိမ်းခြင်း Guideline, Regulations, Ventilation System နှင့် Safety Precautions





Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) သည် အန္တရာယ်မြင့် မီးလောင်ပေါက်ကွဲနိုင်သောဓာတုပစ္စည်း မဟုတ်သော်လည်း အစိုဓာတ်ကို အလွန်စုပ်ယူတတ် (Hygroscopic) သဖြင့် သိုလှောင်မှုမမှန်ပါက Caking (ခဲတုံးဖြစ်ခြင်း)၊ အရည်အသွေးကျဆင်းခြင်း၊ Ammonia အနံ့ထွက်ခြင်း နှင့် Dust ဖြစ်ပေါ်ခြင်း များ ဖြစ်နိုင်သည်။

၁။ လိုက်နာသင့်သော Guideline နှင့် Standards

Urea Warehouse Design နှင့် Storage တွင် အောက်ပါ Guideline များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

- Fertilizer Industry Best Practice
- ISO 9001 (Quality Storage)
- ISO 45001 (Occupational Safety)
- ISO 14001 (Environmental Management)
- OSHA Chemical Storage Guideline
- NFPA 400 (Hazardous Materials Code)
- FAO Fertilizer Storage Recommendations
- IFC Environmental Health & Safety Guidelines

၂။ Warehouse Location

Urea Store ကို

✓ ရေမဝင်နိုင်သောနေရာ

✓ မြင့်သောနေရာ

✓ Drainage ကောင်းသောနေရာ

✓ နေရောင်တိုက်ရိုက်မကျသောနေရာ

✓ လေဝင်လေထွက်ကောင်းသောနေရာ

တွင်တည်ဆောက်ရမည်။

၃။ Building Construction

Warehouse Floor

- Reinforced Concrete
- Damp Proof Membrane
- Waterproof Floor
- Chemical Resistant Coating

Wall

Concrete

Steel Sandwich Panel

Brick

Roof

Insulated Roof

PU Panel

Metal Roof + Ventilator

၄။ Storage Temperature

Urea Storage Temperature

20°C–30°C

Maximum

40°C မောက်

Relative Humidity

<60%

Engineering Design တွင်

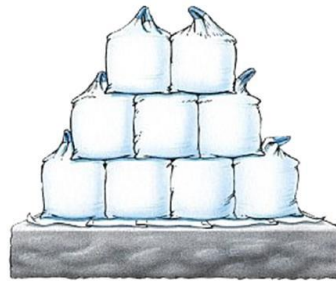
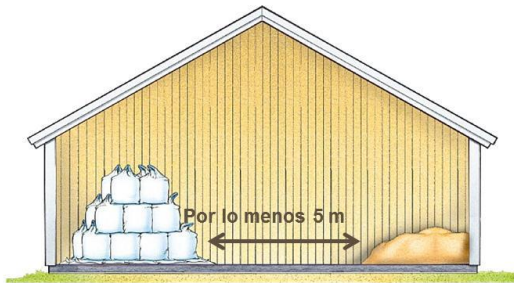
22–28°C

RH <50%

ကို သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။

၅။ Pallet Storage





သင်ပြောသော "လက်ချား" ဆိုသည်မှာ ကြေးပိုက် (Copper Pipe) များကို မီးဆော် (Brazing/Soldering) လုပ်ရာတွင် အသုံးပြုသော လက်ချား (Flux) ကို ဆိုလိုသည်ဟု နားလည်ပါသည်။

ဤ "လက်ချား" သည် တံဆိပ်နှင့် အသုံးပြုမှုအလိုက် ဓာတုဖွဲ့စည်းပုံ ကွဲပြားနိုင်သော်လည်း Copper Brazing တွင် အများဆုံးအသုံးပြုသော Flux များမှာ အောက်ပါအတိုင်းဖြစ်သည်။



4။ Copper Brazing Flux ၏ အဓိက Chemical များ

အများအားဖြင့် Flux တွင် ပါဝင်နိုင်သော ဓာတုပစ္စည်းများမှာ—

- Borax (Sodium Tetraborate Decahydrate)
 - Formula: $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- Boric Acid
 - Formula: H_3BO_3
- Potassium Borate
- Potassium Fluoroborate (KBF_4) (အချို့ Silver Brazing Flux များတွင်)
- Potassium Fluoride (KF) (အချို့ထုတ်ကုန်များတွင်)

ထို့ကြောင့် "လက်ချား" ဟူသောအမည်တစ်ခုတည်းဖြင့် ဓာတုအမျိုးအစားတစ်မျိုးတည်းကို မဆိုလိုပါ။

၂။ ကန့် (Sulfur) နှင့် အတူသိုလှောင်လိုရပါသလား?

အဖြေ (Safety အမြင်)

မထောက်ခံပါ။ သီးခြားခွဲ၍ သိုလှောင်သင့်ပါသည်။

အကြောင်းရင်းများမှာ—

(က) Sulfur သည် Combustible Material ဖြစ်သည်။

- မီးလောင်နိုင်သည်။
- Sulfur Dust သည် Dust Explosion အန္တရာယ်ရှိနိုင်သည်။

(ခ) Brazing Flux သည် Chemical Product ဖြစ်သည်။

အချို့ Flux များတွင် Fluoride Compounds ပါဝင်ပြီး အပူပေးလျှင် အန္တရာယ်ရှိသော အငွေ့များ ထွက်နိုင်သည်။

(ဂ) Good Chemical Storage Practice

Chemical Warehouse များတွင်

- Flux များကို Tool/Consumable Chemical Shelf တွင်ထားပြီး
- Sulfur ကို Combustible Chemical Area တွင် သီးခြားထားခြင်းကို အကြံပြုပါသည်။

ဤသို့ခွဲထားခြင်းသည် အရေးပေါ်အခြေအနေ (မီးလောင်မှု၊ ရေယိုမှု၊ အခြားဓာတုဖိတ်စင်မှု) တွင် စီမံခန့်ခွဲရ လွယ်ကူစေသည်။

၃။ သိုလှောင်ရာတွင် လိုက်နာသင့်သောအချက်များ

Item	Brazing Flux	Sulfur
Storage	အခြောက်၊ အဖုံးပိတ်	အခြောက်၊ အဖုံးပိတ်
Moisture	မစိုစေရ	မစိုစေရ
Heat	အပူမှဝေး	အပူမှဝေး
Open Flame	မရှိစေရ	မရှိစေရ
Oxidizers	ဝေးဝေးထား	ဝေးဝေးထား
Segregation	သီးခြား Shelf	သီးခြား Shelf

၄။ Ventilation

Chemical Store Room အတွက်

- 6–10 ACH (Air Changes per Hour) ကို အနည်းဆုံးပေးသင့်သည်။

- ဖုန်မှုန့်များ သို့မဟုတ် Flux Powder များကို ကိုင်တွယ်သည့်နေရာတွင် Local Exhaust Ventilation (LEV) ထည့်သွင်းရန် အကြံပြုပါသည်။

၅။ PPE

Flux ကို ကိုင်တွယ်ရာတွင်

- Safety Glasses
- Nitrile Gloves
- Dust Mask (P2/N95)
- Protective Clothing

ကို အသုံးပြုသင့်ပါသည်။

Engineering Safety Recommendation

ဥပဒေ သို့မဟုတ် စံချိန်စံညွှန်းအရ "Sulfur နှင့် Borax Flux ကို အတူထားခြင်းကို တိုက်ရိုက်တားမြစ်ထားသည်" ဟု ယေဘုယျအားဖြင့် မရှိပါ။ သို့သော် NFPA၊ OSHA နှင့် Chemical Storage Best Practice အရ မတူညီသော Chemical အုပ်စုများကို သီးခြားစီ သိမ်းဆည်းခြင်း သည် အကောင်းဆုံးနှင့် ပိုမိုလုံခြုံသော နည်းလမ်းဖြစ်ပါသည်။

011 Ventilation System





Urea Warehouse တွင်

Mechanical Ventilation များကို

Dust Removal

Heat Removal

Humidity Reduction

အတွက် အသုံးပြုသည်။

Typical Air Changes

6-10 ACH

Bulk Storage

8-12 ACH

Bag Warehouse

6 ACH

Natural Ventilation +

Mechanical Exhaust Fan

ကို ပေါင်းစပ်အသုံးပြုသည်။

Ventilation Layout

Fresh Air Inlet

↓

Warehouse

↓

Exhaust Fan

↓

Roof Ventilator

↓

Outside

၉။ Ventilation Design Example

Warehouse

Length = 40 m

Width = 20 m

Height = 8 m

Volume

= $40 \times 20 \times 8$

= 6,400 m³

ACH = 8

လိုအပ်သော Airflow

= Volume × ACH

= 6,400 × 8

= 51,200 m³/h

L/s ဖြင့်

51,200 ÷ 3.6

= 14,220 L/s

CFM ဖြင့်

51,200 × 0.589

≈ 30,200 CFM

ဥပမာအားဖြင့် 6 × 5,000 CFM Exhaust Fans သို့မဟုတ် အလားတူ စုစုပေါင်းစွမ်းရည်ရှိသော Fan များဖြင့် N+1 redundancy ကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားနိုင်သည်။

၁၀။ Dust Control

Dust Collector

Bag Filter

Cyclone

Exhaust Fan

Local Exhaust

အသုံးပြုသည်။

၁၁။ Fire Safety

Urea သည်

Combustible မဟုတ်။

သို့သော်

Packaging

Plastic Bag

Wooden Pallet

မီးလောင်နိုင်သည်။

လိုအပ်သော System

Smoke Detector

Heat Detector

Fire Alarm

Portable Fire Extinguisher

Hydrant

Sprinkler (လိုအပ်ပါက)

၁၂။ Chemical Separation

မထားသင့်သော Chemicals

Ammonium Nitrate

Strong Acid

Nitric Acid

Sulfuric Acid

Oxidizers

Chlorine

၁၃။ Personal Protective Equipment (PPE)

မီးလောင်နိုင်ခြင်း၊ ပေါက်ကွဲနိုင်ခြင်း သို့မဟုတ် အဆိပ်ငွေ့ထွက်နိုင်ခြင်းတို့ကို ကာကွယ်ရန်
ဓာတုပစ္စည်းများကို Compatibility (တွဲဖက်သိုလှောင်နိုင်မှု) အလိုက် ခွဲ၍သိုလှောင်ရပါသည်။
လက်တွေ့စက်ရုံများ၊ ဂိုဒေါင်များနှင့် Chemical Warehouse များတွင် NFPA, OSHA, IFC, FM Global
စသည့်စံနှုန်းများအရ အောက်ပါအုပ်စုများကို အတူမသိုလှောင်ရန် အကြံပြုထားသည်။

အုပ်စု (A)	အုပ်စု (B)	အန္တရာယ်
Flammable Liquids (Gasoline, Ethanol, Acetone)	Oxidizers (Ammonium Nitrate, Potassium Permanganate)	မီးလောင်မှု ပြင်းထန်ခြင်း၊ ပေါက်ကွဲနိုင်ခြင်း
Sulfur (ကန့်)	Strong Oxidizers	မီးလောင်မှု ပြင်းထန်ခြင်း
Charcoal / Coal Dust	Nitrate Oxidizers	Fire / Explosion
LPG	Oxygen Cylinders	မီးလောင်မှု အရှိန်မြင့်တက်ခြင်း
Hydrogen	Oxygen	ပေါက်ကွဲနိုင်ခြင်း
Acetylene	Copper (အချို့အခြေအနေများ)	Copper Acetylide ဖြစ်ပေါ်၍ ပေါက်ကွဲနိုင်ခြင်း
Nitric Acid	Organic Solvents	မီးလောင်ခြင်း၊ တုံ့ပြန်မှု ပြင်းထန်ခြင်း
Sulfuric Acid	Cyanides	Hydrogen Cyanide (အဆိပ်ငွေ့) ထွက်နိုင်ခြင်း
Hydrochloric Acid	Bleach (Sodium Hypochlorite)	Chlorine Gas ထွက်နိုင်ခြင်း
Acids	Bases	အပူထွက်သော Neutralization Reaction

အုပ်စု (A)	အုပ်စု (B)	အန္တရာယ်
Sodium Metal	Water	Hydrogen Gas ထွက်ပြီး မီးလောင်နိုင်ခြင်း
Calcium Carbide	Water	Acetylene Gas ထွက်၍ ပေါက်ကွဲနိုင်ခြင်း
Peroxides	Organic Materials	Fire / Explosion
Lithium Batteries	Flammable Liquids	Fire Risk တိုးလာခြင်း

၁။ Flammable Materials + Oxidizers



Flammable

- Sulfur
- Charcoal
- Solvents
- Paint
- Diesel

Oxidizers

- Ammonium Nitrate
- Potassium Nitrate
- Sodium Chlorate
- Hydrogen Peroxide (>30%)

မသိုလှောင်ရသော အကြောင်းရင်း

Oxidizer သည် မီးကို ပိုမိုပြင်းထန်စေပြီး Fire Growth Rate ကို မြှင့်ဆင့်စေသည်။

၂။ Acid + Cyanide

အန္တရာယ်အရှိဆုံးတွဲဖက်များထဲမှ တစ်ခုဖြစ်သည်။

ဥပမာ

- Hydrochloric Acid
- Sodium Cyanide

↓

Hydrogen Cyanide Gas

↓

အလွန်အဆိပ်ပြင်းသော Gas ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

၃။ Acid + Bleach

Hydrochloric Acid

•

Sodium Hypochlorite

↓

Chlorine Gas

↓

အသက်ရှူလမ်းကြောင်းကို အလွန်အန္တရာယ်ဖြစ်စေသည်။

၄။ Water Reactive Chemicals



- Sodium
- Potassium
- Lithium Metal
- Calcium Carbide

ရေနံ လုံးဝမထိတွေ့ရပါ။

သင်ဖော်ပြထားသော ပစ္စည်းများမှာ ရေနံ ပြင်းထန်စွာ တုံ့ပြန်နိုင်သော (water-reactive substances)

များဖြစ်သည်။ ၎င်းတို့ကို ရေနံ လုံးဝမထိတွေ့စေရန် ရေဖြင့် မီးမသတ်ရ ဖြစ်သည်။

ရေနံထိတွေ့ပြီး မီးသတ်ရန် ရေသုံးပါက အန္တရာယ် ပိုမိုကြီးမားလာနိုင်သည်။

အောက်တွင် တစ်မျိုးချင်းစီကို ရှင်းပြထားပါသည်။

1. Sodium (Na)

- ရေနံထိတွေ့လျှင် ချက်ချင်းတုံ့ပြန်သည်။
- Hydrogen ဓာတ်ငွေ့ ထွက်လာပြီး အပူအလွန်များစွာ ထုတ်ပေးသည်။
- ထွက်လာသော Hydrogen သည် မီးလောင်နိုင်ပြီး ပေါက်ကွဲနိုင်သည်။
- ရေထည့်လေ မီးပိုကြီးလေ ဖြစ်နိုင်သည်။

ဓာတုတုံ့ပြန်မှု



2. Potassium (K)

- Sodium ထက်တောင် ရေနံ ပိုမိုပြင်းထန်စွာ တုံ့ပြန်သည်။
- Hydrogen ဓာတ်ငွေ့ မီးလောင်ကာ ခရမ်းရောင်မီးတောက် ဖြစ်နိုင်သည်။
- ပေါက်ကွဲမှု ဖြစ်နိုင်ခြေ မြင့်သည်။

ရေဖြင့် မီးမသတ်ရပါ။

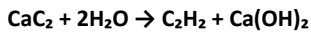
3. Lithium Metal (Li)

- Sodium နှင့် Potassium ထက် တုံ့ပြန်မှု နှေးသော်လည်း ရေနံ တုံ့ပြန်သည်။
- Hydrogen ဓာတ်ငွေ့ ထွက်ပြီး မီးလောင်နိုင်သည်။
- အပူများလာပါက မီးလောင်နိုင်သည်။

4. Calcium Carbide (CaC₂)

- ရေနဲ့ထိတွေ့လျှင် Acetylene ဓာတ်ငွေ့ ထွက်သည်။
- Acetylene သည် အလွန်မီးလောင်လွယ်ပြီး လေထုနှင့် ရောနှောပါက ပေါက်ကွဲနိုင်သည်။

ဓာတုတုံ့ပြန်မှု



ရေဖြင့် မီးသတ်ပါက ဘာဖြစ်နိုင်သလဲ

- Hydrogen သို့မဟုတ် Acetylene ဓာတ်ငွေ့ များစွာထွက်လာမည်။
- မီးတောက် ပိုမိုကြီးထွားနိုင်သည်။
- ပေါက်ကွဲမှု ဖြစ်နိုင်သည်။
- အပူနှင့် အရည်ပျော်သတ္တုများ ပက်စင်နိုင်သည်။
- မီးသတ်သူနှင့် အနီးရှိသူများ ပြင်းထန်စွာ ထိခိုက်ဒဏ်ရာရနိုင်သည်။

မည်သို့ မီးသတ်သင့်သလဲ

ဤပစ္စည်းများ မီးလောင်ပါက ရေ၊ ရေမြှုပ် (foam) သို့မဟုတ် CO₂ မီးသတ်ဆေးကို မသုံးသင့်ပါ။

သင့်တော်သော နည်းလမ်းများမှာ

- Class D Dry Powder Fire Extinguisher (သတ္တုမီးအတွက် အထူးထုတ်လုပ်ထားသော မီးသတ်ဆေး)
- ခြောက်သွေ့သော သဲ (dry sand) သို့မဟုတ် အထူးသတ္တုမီးသတ်မှုန့်ဖြင့် ဖုံးအုပ်ကာ အောက်ဆီဂျင်ဖြတ်တောက်ခြင်း (အရေးပေါ်အခြေအနေတွင်)

၅။ LPG နှင့် Oxygen

Oxygen သည် မီးလောင်ရန် လောင်စာမဟုတ်သော်လည်း မီးလောင်မှုကို အလွန်ပြင်းထန်စေသော Oxidizer ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့်

- LPG Cylinder
- Oxygen Cylinder

ကို သီးခြားထားရသည်။

၆။ Hydrogen

Hydrogen သည်

- အလွန်ပေါက်ကွဲလွယ်သည်။
- Ceiling အနီးတွင် စုနိုင်သောကြောင့် High-Level Ventilation နှင့် Hydrogen Detector လိုအပ်သည်။

၇။ Ammonium Nitrate

သီးခြား Warehouse တွင်ထားသင့်သည်။

မရောသိမ်းသင့်သောပစ္စည်းများ

- Diesel
- Sulfur
- Charcoal
- Sawdust
- Sugar
- Organic Chemicals

၈။ Sulfur (ကန့်)

Sulfur ကို

- Oxidizers
- Nitrates
- Chlorates
- Peroxides

တို့နှင့် မတွဲသိုလှောင်သင့်ပါ။

Warehouse Design အတွက် အကြံပြုချက်

Chemical Warehouse ကို အနည်းဆုံး အောက်ပါ Zone များအဖြစ် ခွဲထားလေ့ရှိသည်။

1. Flammable Zone
2. Oxidizer Zone
3. Corrosive Acid Zone
4. Corrosive Alkali Zone
5. Toxic Chemical Zone
6. Compressed Gas Zone
7. Water-Reactive Chemical Zone

Zone တစ်ခုစီတွင် သီးခြား Ventilation, Spill Containment, Fire Protection နှင့် Signage များ ထားရှိရပါသည်။

အရေးကြီးဆုံးအချက်မှာ ဓာတုပစ္စည်းတစ်မျိုးချင်းစီအတွက် Safety Data Sheet (SDS) ကို ကြည့်ပြီး

"Incompatible Materials" အပိုင်းကို လိုက်နာရန်ဖြစ်သည်။ အချို့ပစ္စည်းများသည်

အုပ်စုတူသော်လည်း ထုတ်ကုန်အလိုက် မတူညီသော ကန့်သတ်ချက်များ ရှိနိုင်ပါသည်။

Hydrogen, compressed

Safety Data Sheet P-4604

according to U.S. Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.1200, Hazard Communication.
Date of issue: 01/01/1980 Revision date: 01/13/2015 Supersedes: 03/01/2012

SECTION 1: Product and company identification

1.1. Product identifier

Product form : Substance
Name : Hydrogen, compressed
CAS No : 1333-74-0
Formula : H₂
Other means of identification : Dihydrogen, parahydrogen, refrigerant gas R702, water gas

1.2. Relevant identified uses of the substance or mixture and uses advised against

Use of the substance/mixture : Industrial use. Use as directed.

1.3. Details of the supplier of the safety data sheet

Praxair, Inc.
39 Old Ridgebury Road
Danbury, CT 06810-5113 - USA
T 1-800-772-9247 (1-800-PRAXAIR) - F 1-716-879-2146
www.praxair.com

1.4. Emergency telephone number

Emergency number : Onsite Emergency: 1-800-645-4633

CHEMTREC, 24hr/day 7days/week — Within USA: 1-800-424-9300, Outside USA: 001-703-527-3887 (collect calls accepted, Contract 17729)

SECTION 2: Hazards identification

2.1. Classification of the substance or mixture

Classification (GHS-US)

Flam. Gas 1 H220
Compressed gas H280

Full text of H-phrases: see section 16

2.2. Label elements

GHS-US labeling

Hazard pictograms (GHS-US)



Signal word (GHS-US)

Hazard statements (GHS-US)

Precautionary statements (GHS-US)

: Danger
: H220 - EXTREMELY FLAMMABLE GAS
: H280 - CONTAINS GAS UNDER PRESSURE; MAY EXPLODE IF HEATED
: OSHA-H01 - MAY DISPLACE OXYGEN AND CAUSE RAPID SUFFOCATION.
: CGA-HG04 - MAY FORM EXPLOSIVE MIXTURES WITH AIR
: CGA-HG08 - BURNS WITH INVISIBLE FLAME.
: P202 - Do not handle until all safety precautions have been read and understood
: P210 - Keep away from heat, Open flames, sparks, hot surfaces. - No smoking
: P271+P403 - Use and store only outdoors or in a well-ventilated place.
: P377 - Leaking gas fire: Do not extinguish, unless leak can be stopped safely
: P381 - Eliminate all ignition sources if safe to do so
: CGA-PG05 - Use a back flow preventive device in the piping.
: CGA-PG10 - Use only with equipment rated for cylinder pressure.
: CGA-PG12 - Do not open valve until connected to equipment prepared for use.
: CGA-PG06 - Close valve after each use and when empty.
: CGA-PG02 - Protect from sunlight when ambient temperature exceeds 52°C (125°F).

EN (English US)

SDS ID: P-4604

1/9



အလုပ်လုပ်သူများသည်

- Safety Shoes
- Gloves
- Goggles
- Dust Mask (N95/P2)
- Long Sleeve Uniform

ဝတ်ဆင်သင့်သည်။

၁၄။ Housekeeping

- နေ့စဉ် သန့်ရှင်းရေးလုပ်ပါ။

- ဖိတ်ကျသော Urea ကို ချက်ချင်းစုဆောင်းပါ။
- Drain ထဲသို့ မစီးဝင်စေရ။
- Forklift လမ်းကြောင်းများကို ရှင်းလင်းထားပါ။

၁၆။ Engineering Design Recommendations

စက်မှုလုပ်ငန်းအဆင့် Urea Warehouse အတွက် အောက်ပါ Design Criteria များကို အကြံပြုနိုင်ပါသည်။

Item	Recommended Value
Temperature	20–30°C
Relative Humidity	<60% (ပိုကောင်းလျှင် <50%)
Air Changes	6–10 ACH
Floor Elevation	≥150 mm above surrounding grade
Pallet Height	≥150 mm
Wall Clearance	0.6–1.0 m
Roof Clearance	≥1.0 m
Stack Height	≤5–6 m (bag type ပေါ်မူတည်)
Lighting	LED, IP65 (ဖုန်မှုန့်များသောနေရာတွင် သင့်တော်)
Fire Protection	Smoke Detection + Portable Extinguishers + Hydrant



ဤဓာတ်ပစ္စည်းသုံးမျိုးသည် စိုက်ပျိုးရေးနှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် အလွန်အသုံးများသော်လည်း ဓာတုဂုဏ်သတ္တိ မတူညီသောကြောင့် အန္တရာယ်ပုံစံလည်း မတူပါ။

- Ammonia (NH_3) → Toxic Gas (အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့)
- Ammonium Nitrate (NH_4NO_3) → Oxidizing Chemical (လောင်ကျွမ်းမှုကို အားပေးနိုင်သော ဓာတ်)
- Urea [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] → Nitrogen Fertilizer (ပုံမှန်အခြေအနေတွင် ပေါက်ကွဲလွယ်သောပစ္စည်း မဟုတ်)

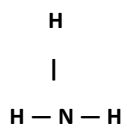
၁။ Ammonia (NH₃) ၏ ဂုဏ်သတ္တိ



Chemical Formula



ဖွဲ့စည်းပုံ



အခြေခံ Properties

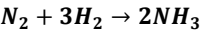
အချက် Ammonia
အရောင် မရှိ
အနံ့ ပြင်းသော စူးရှသော အနံ့

Molecular Weight 17

လေထက် ပေါ့ (Light Gas)
ပျော်ဝင်မှု ရေတွင် အလွန်ပျော်
မီးလောင်နိုင်မှု ရှိ
ပေါက်ကွဲနိုင်မှု အချို့အခြေအနေတွင် ရှိ

၂။ Ammonia ဘယ်က လာသလဲ?

Ammonia ကို အဓိကအားဖြင့် Haber-Bosch Process ဖြင့် ထုတ်လုပ်သည်။



အသုံးပြုသောပစ္စည်းများ

- Nitrogen (လေထုမှ)
- Hydrogen (Natural Gas မှ)

ဖြစ်သည်။

အသုံးပြုရာများ

- Fertilizer Production
- Refrigeration System (R717)
- Chemical Industry
- Explosive Chemical Manufacturing

၃။ Ammonia က လူကို ဘာကြောင့် အန္တရာယ်ရှိသလဲ?

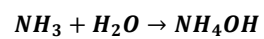


Ammonia သည် အဓိကအားဖြင့်

- မျက်လုံး
- နှာခေါင်း
- လည်ချောင်း
- အဆုတ်

ကို ထိခိုက်စေသည်။

အကြောင်းမှာ Ammonia သည် ရေနှင့် ပေါင်းသောအခါ



(Ammonium Hydroxide)

ဖြစ်ပြီး အယ်လ်ကာလိုင်းဓာတ်ဖြစ်သောကြောင့် အဆုတ်အတွင်း ထိခိုက်စေသည်။

၄။ Ammonia Exposure အဆင့်များ

Concentration သက်ရောက်မှု

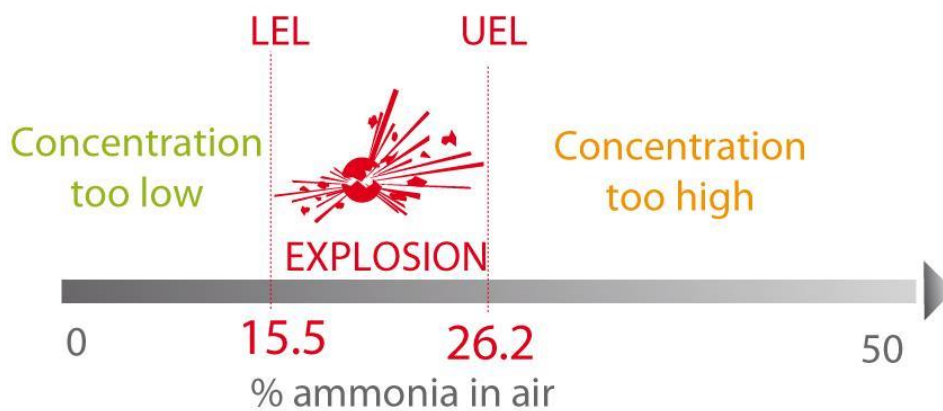
နည်း မျက်လုံး၊ နှာခေါင်း ယားယံ

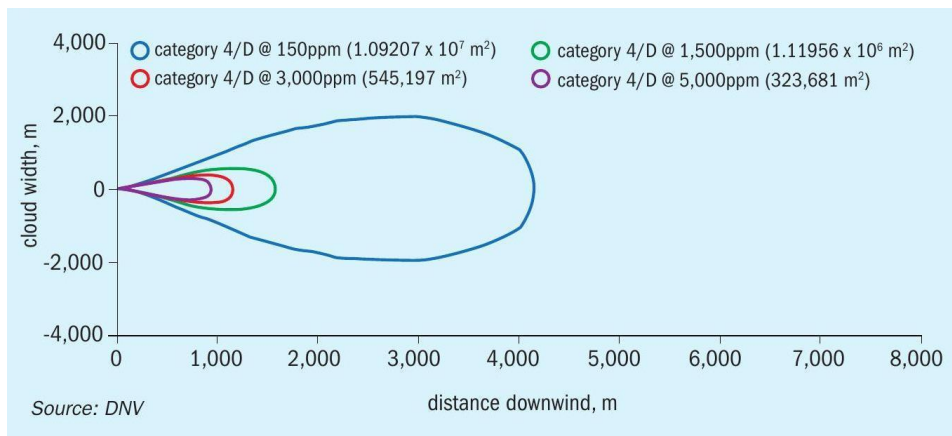
အလယ်အလတ် ချောင်းဆိုး၊ အသက်ရှူခက်

မြင့် အဆုတ်ရောင်၊ အဆုတ်အရည်စု

အလွန်မြင့် အသက်ဆုံးရှုံးနိုင်

၅။ Ammonia မီးလောင်၊ ပေါက်ကွဲနိုင်သလား?





ဟုတ်ပါသည်။ သို့သော် အလွယ်တကူ မီးလောင်သော Gas မဟုတ်ပါ။

Ammonia သည်

- Flammable Gas

ဖြစ်နိုင်သည်။

လေထုနှင့် ရောနှောပြီး

- အပူ
- မီး
- Spark

ရရှိပါက မီးလောင်နိုင်သည်။

၆။ Ammonium Nitrate (NH_4NO_3)

Ammonium nitrate storage

High priorities:

- Security
- Fire risk mitigation
- Stock turnover
- Appropriate storage and handling

Ammonium nitrate emulsion



Ammonium nitrate prill



Formula



၎င်းသည်

Oxidizer ဖြစ်သည်။

အဓိကအသုံးပြုမှု

- Fertilizer
- Mining Industry (Controlled blasting materials)

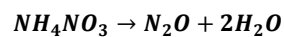
၇။ Ammonium Nitrate ဘာကြောင့် အန္တရာယ်ရှိသလဲ?

Ammonium Nitrate သည် ကိုယ်တိုင် လောင်စာမဟုတ်ပါ။

သို့သော်

Oxygen ထုတ်ပေးနိုင်သောကြောင့် မီးကို ပိုမိုပြင်းထန်စေနိုင်သည်။

အပူလွန်လျှင်



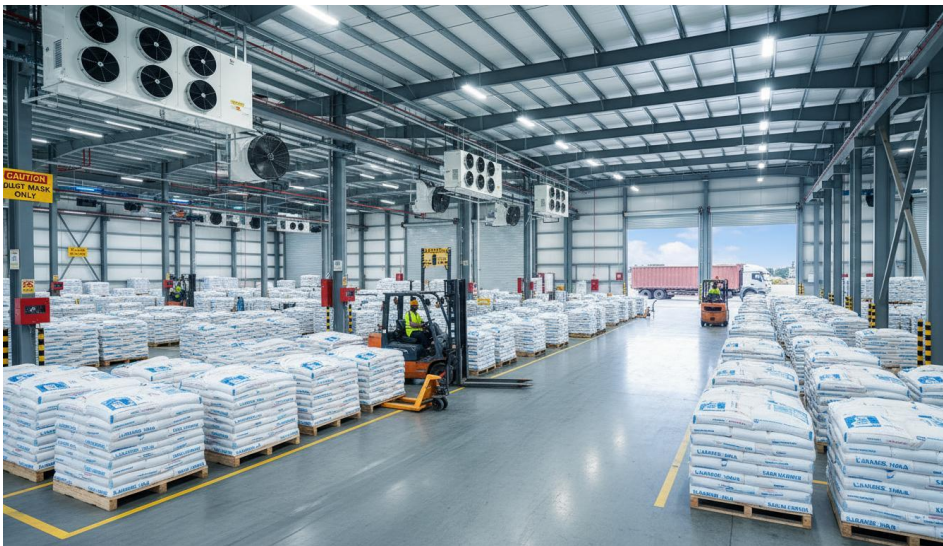
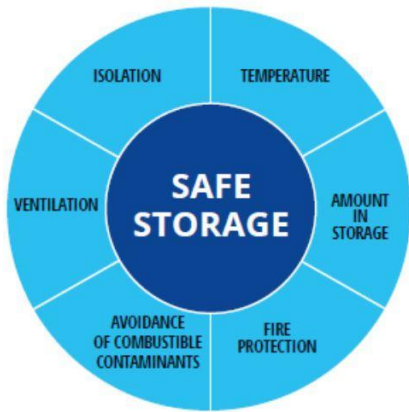
နှင့် အခြား Nitrogen Oxide များ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

အခြေအနေဆိုးလျှင်

- Thermal Decomposition
- Fire
- Explosion

ဖြစ်နိုင်သည်။

၈။ Ammonium Nitrate Storage Safety



Storage နည်းစနစ်

- ✓ ခြောက်သွေ့သောနေရာ
- ✓ လေဝင်လေထွက်ကောင်းသောနေရာ
- ✓ အပူရင်းမြစ်နှင့် ဝေးရမည်

✅ လောင်စာပစ္စည်းများနှင့် ခွဲထားရမည်

ဥပမာ မထားသင့်သောပစ္စည်းများ

- Diesel Fuel
- Oil
- Wood
- Paper
- Organic Material

အထူးရှောင်ရန်

❌ မီးမထိစေရ

❌ Welding / Hot Work မလုပ်ရ

❌ Contamination မဖြစ်စေရ

❌ အလုံပိတ်နေရာတွင် မသိမ်းရ

UREA WAREHOUSE ENGINEERING DESIGN MANUAL

Design Basis

အောက်ပါ Design ကို 1,000 Ton Urea Warehouse ကို အခြေခံ၍ ရေးသားပါမည်။ (500 Ton နှင့် 5,000 Ton အတွက် Scale Up/Down လုပ်နိုင်သည်)

Storage Capacity

- Urea = 1,000 Ton

Bag Weight

- 50 kg / Bag

Total Bags

$$1000 \times 1000/50$$

= 20,000 Bags

Warehouse Size Estimation

Bag Storage Density

၁ စတုရန်းမီတာလျှင်

≈ 2 Ton

ဟုယူပါ။

လိုအပ်သော Storage Area

$$1000/2$$

= 500 m²

Forklift Road

Inspection Area

Receiving

Dispatch

Buffer Area

ထည့်သွင်းပြီး

Engineering Design တွင်

Warehouse Floor

≈ 1,000 m²

ယူလေ့ရှိသည်။

Building Size

Length

50 m

Width

20 m

Height

10 m

Warehouse Volume

$$50 \times 20 \times 10$$

$$= 10,000 \text{ m}^3$$

Chapter (1)

Air Change Calculation (ACH)

Urea Warehouse

ASHRAE နှင့် Fertilizer Industry Practice အရ

ACH

6-10

ယူကြသည်။

Engineering Design

8 ACH

ယူမည်။

Formula

$$Q = Volume \times ACH$$

Volume

10,000 m³

ACH

8

$$Q = 10000 \times 8$$

= 80,000 m³/hr

CFM

80000×0.589

≈ 47,100 CFM

Result

Required Airflow

80,000 m³/hr

Chapter (2)

Exhaust Fan Selection

Fan Capacity

10,000 m³/hr

Wall Exhaust Fan

အသုံးပြုမည်ဆိုပါက

လိုအပ်သော Fan အရေအတွက်

$80000/10000$

= 8 Fans

Engineering Practice

N+1

ယူသဖြင့်

Install

9 Fans

Run

8 Fans

Standby

1 Fan

Fan Size

≈ 1.2–1.4 m Diameter Axial Fan

Motor

2.2–3.0 kW

Chapter (3)

Fresh Air Louver Design

Fresh Air

Supply

=

Exhaust

80,000 m³/hr

Louver Face Velocity

2 m/s

Formula

$$Area = \frac{Q}{3600 \times Velocity}$$
$$Area = \frac{80000}{3600 \times 2}$$

≈ 11.1 m²

2000

2 m × 3 m Louvers × 2 Nos

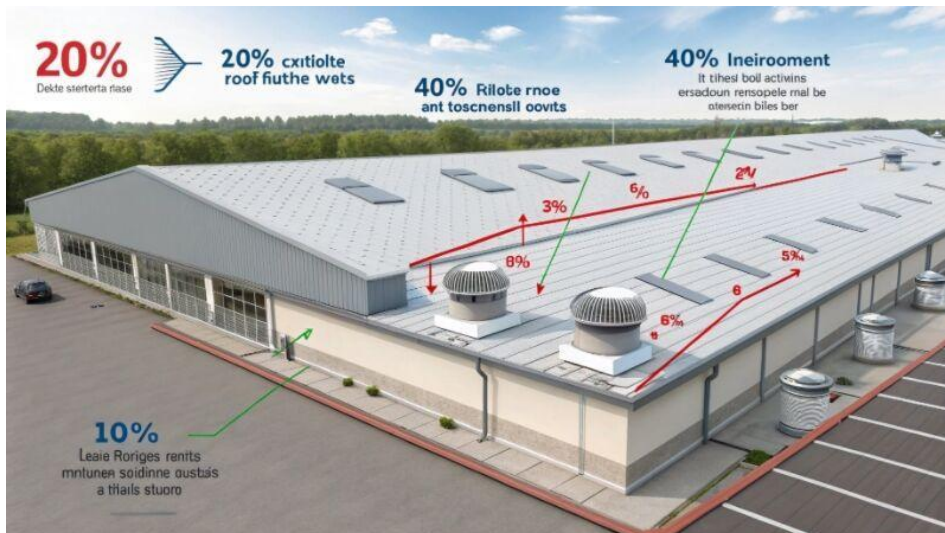
=

12 m²

Chapter (4)

Roof Ventilator





Hot Air

Ammonia Trace

Moisture

တက်သွားရန်

Roof Ridge Ventilator

ထည့်ရမည်။

Roof Ventilator Capacity

15–20%

of Exhaust Air

Chapter (5)

CFD Airflow Study

Engineering Software

ANSYS Fluent

SolidWorks Flow Simulation

Autodesk CFD

SimScale

တို့ဖြင့် Simulation ပြုလုပ်သည်။

CFD တွင် စစ်ဆေးရမည့်အချက်များ

Temperature Distribution

22°C

24°C

26°C

တို့ဖြင့် Uniform ဖြစ်မဖြစ်

Air Velocity

Bag Storage

0.15–0.30 m/s

Aisle

0.4–0.7 m/s

Dead Zone

လေမရောက်သောနေရာ

မရှိစေရ။

Relative Humidity

RH

<60%

ဖြစ်နေစေရန် CFD ဖြင့်စစ်ဆေးသည်။

CFD Example

← Fresh Air

Exhaust Fan →

အပြာရောင် = အေးသောလေ

အနီရောင် = ပူသောလေ

Dead Zone မကျန်စေရ။

Chapter (6)

Duct Design

Natural Ventilation မလုံလောက်သော Warehouse တွင်သာ Duct ကို အသုံးပြုသည်။

Main Duct Velocity

7–9 m/s

Branch

5–6 m/s

ဥပမာ

80,000 m³/hr

Main Duct

$$Q = 22.2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocity

8 m/s

Area

$$A = 22.2/8$$

$$= 2.78 \text{ m}^2$$

Equivalent

Approx

1800 × 1600 mm

Chapter (7)

Structural Design

Bag Load

1000 Ton

Floor Loading

8–12 Ton/m²

Concrete

35 MPa

Steel

ASTM A36

Roof Load

Wind Load

Dead Load

Live Load

Forklift Wheel Load

အားလုံးတွက်ရသည်။

Slab Thickness

Industrial Warehouse

250–300 mm

Concrete Slab

Reinforcement

Top

Bottom

D16 @200

Typical

Chapter (8)

Forklift Design

Forklift

3 Ton

Turning Radius

3.5–4.0 m

Aisle Width

4 m

Chapter (9)

Fire Protection

Smoke Detector

Heat Detector

Manual Call Point

Fire Alarm

Hydrant

Fire Extinguisher

Emergency Exit

Emergency Lighting

Ammonia Plant၊ Refrigeration Plant၊ Fertilizer Factory နှင့် Chemical Warehouse များတွင်
အဓိကကာကွယ်မှုများမှာ—

1. Gas Detection System
2. Mechanical Ventilation
3. Emergency Shutdown System
4. Fire Separation
5. Proper Chemical Storage
6. Permit-to-Work Control

တို့ဖြစ်ပါသည်။

အထူးသဖြင့် Ammonia Leak နှင့် Ammonium Nitrate Storage Fire များသည် လူအများအပြား
ထိခိုက်နိုင်သော Industrial Major Accident အမျိုးအစားဖြစ်သောကြောင့် Design အဆင့်မှစ၍
Safety Engineering ကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားရပါသည်။

Ammonia သည်



- Refrigeration Plant
- Fertilizer Factory
- Chemical Plant

- Livestock Farm

တို့တွင် တွေ့ရတတ်သည်။

အကျိုးသက်ရောက်မှု

- မျက်လုံးယားယံ
- နှာခေါင်းနှင့် လည်ချောင်း ယားယံ
- ချောင်းဆိုး
- အဆုတ်ရောင်ရမ်းခြင်း
- အလွန်များလျှင် အသက်ရှူရခက်ခြင်း

တိရစ္ဆာန်မွေးမြူရေးခြံများတွင် NH_3 များလွန်းပါက ကြက်၊ ဝက်၊ နွားတို့၏ ကြီးထွားမှုနှင့် အသက်ရှူလမ်းကြောင်း ကျန်းမာရေးကို ထိခိုက်စေနိုင်သည်။

Below are example images showing ammonia gas leak response using water spray / water curtain (water fountain) and emergency water flushing (decontamination).



Why is water used during an ammonia leak?

Ammonia (NH₃) is highly soluble in water. Emergency responders often use water fog or a water curtain to:

- Reduce the concentration of ammonia vapor in the air.
- Protect firefighters while they approach the leak.
- Help limit the spread of the vapor cloud.

However, water should not be sprayed directly onto the leak source or liquid ammonia, because it can increase vaporization or create icing around valves, making the leak harder to control. Water curtains are mainly used to protect responders and reduce airborne vapor, while trained hazmat personnel isolate and stop the leak.

Emergency water flushing

If ammonia contacts a person's:

- Eyes: Flush immediately with clean water for at least 15 minutes.
- Skin: Remove contaminated clothing and flush the affected area with large amounts of water for at least 15 minutes.
- After inhalation: Move the person to fresh air immediately and seek emergency medical care if breathing is difficult or symptoms are severe.



Ammonia Leak

Ammonia Gas Leak from Tanker Truck in Oklahoma





Water Mist Suppression System

ရေဖြင့် ငြိမ်းသတ်လျှင် မီးပိုမိုပြင်းထန်လာခြင်း၊ ပေါက်ကွဲခြင်း သို့မဟုတ် အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့ထွက်ခြင်း ဖြစ်စေနိုင်သည့် ဓာတုပစ္စည်းများ ရှိပါတယ်။ အောက်ပါအရာတွေကို ရေနဲ့ မငြိမ်းသတ်သင့်ပါ။

ဓာတုပစ္စည်း	ရေနဲ့ထိတွေ့လျှင် ဖြစ်နိုင်သော အန္တရာယ်	သင့်တော်သော မီးသတ်နည်း
Sodium (Na)	ဟိုက်ဒရိုဂျင်ဓာတ်ငွေ့ထွက်၊ မီးလောင်/ပေါက်ကွဲနိုင်	Class D Dry Powder
Potassium (K)	ရေနဲ့ အလွန်ပြင်းထန်စွာ တုံ့ပြန်	Class D Dry Powder
Lithium Metal	မီးတောက်ပိုပြင်းလာနိုင်	Class D Dry Powder
Calcium Carbide (CaC ₂)	Acetylene ဓာတ်ငွေ့ထွက်ပြီး မီးလောင်နိုင်	Dry Powder
Aluminum Phosphide	အဆိပ်ရှိသော Phosphine ဓာတ်ငွေ့ထွက်	Dry Powder
Magnesium (အမှုန်/အမှုန်)	ရေကို ခွဲထုတ်ပြီး ဟိုက်ဒရိုဂျင်ထွက်၊ မီးပြင်းလာနိုင်	Class D Dry Powder
Titanium Powder	ရေနဲ့ အန္တရာယ်ရှိသော တုံ့ပြန်မှုဖြစ်နိုင်	Class D Dry Powder
Zirconium Powder	မီးပိုပြင်းလာနိုင်	Class D Dry Powder
Organolithium compounds	ရေနဲ့ ချက်ချင်းတုံ့ပြန်	အထူး Dry Powder

ရေကို အထူးသတိထားရမည့် အခြားအခြေအနေများ

- Cooking oil / Deep fat fryer fire – ရေထည့်လျှင် ဆီပက်ပြီး မီးအလွန်ပြင်းထန်လာနိုင်သည်။
Wet Chemical Extinguisher သုံးသင့်သည်။

- Electrical fire – လျှပ်စစ်မဖြတ်သေးလျှင် ရေမသုံးသင့်ပါ။ CO₂ သို့မဟုတ် Dry Powder သုံးပါ။
- Flammable liquid (Petrol, Gasoline, Solvents) – ရေဖြင့် မီးမငြိမ်းဘဲ မီးလောင်နေသော အရည်ပြန်နိုင်သည်။ Foam သို့မဟုတ် Dry Powder ကို သုံးပါ။
- LPG / LNG မီး – ဓာတ်ငွေ့ယိုစိမ့်မှု မရပ်သေးလျှင် မီးကို အလျင်စလို မငြိမ်းသတ်ဘဲ၊ အနီးပတ်ဝန်းကျင်ကို ရေအေးဖြင့် အပူလျော့ပေးခြင်း (cooling) ကို ဦးစားပေးလုပ်ဆောင်ကြသည်။

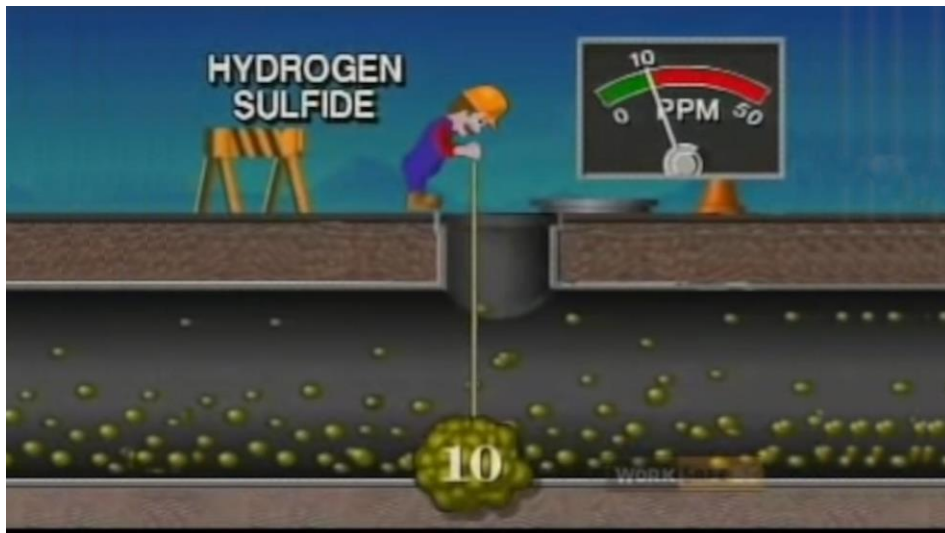
သင်္ဘောပေါ် (Oil/Chemical/Gas Tanker) တွင် အရေးကြီးသော ဓာတ်ငွေ့များ

- Hydrogen sulfide (H₂S) – အဆိပ်ပြင်း
- Ammonia (NH₃) – အဆိပ်ရှိ၊ မျက်စိနှင့် အသက်ရှူလမ်းကြောင်းကို ထိခိုက်စေ
- LPG (Propane/Butane) – မီးလောင်လွယ်
- LNG (Methane) – မီးလောင်လွယ်၊ အအေးလွန်ကဲ
- Hydrogen – ပေါက်ကွဲလွယ်

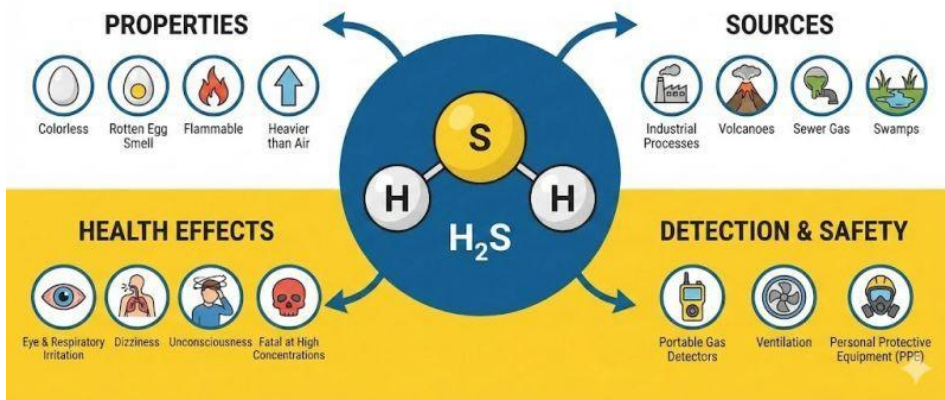
အရေးကြီးတာက ဓာတုပစ္စည်းတစ်မျိုးချင်းစီအတွက် Safety Data Sheet (SDS) ကို လိုက်နာပြီး သင့်တော်တဲ့ မီးသတ်ဆေးအမျိုးအစားကို ရွေးချယ်အသုံးပြုရပါတယ်။

အကယ်၍ သင်က STCW Basic Safety, Advanced Fire Fighting, သို့မဟုတ် Oil/Chemical Tanker Familiarization အတွက် လေ့လာနေတာဆိုရင် "မည်သည့်ဓာတုပစ္စည်းကို မည်သည့် Fire Extinguisher ဖြင့် ငြိမ်းသတ်ရမည်" ဆိုတဲ့ ဇယား

၇။ Hydrogen Sulfide (H₂S)



HYDROGEN SULFIDE (H₂S) INFOGRAPHIC



Hydrogen Sulfide သည်

- Sewer
- Septic Tank

- Wastewater Plant
- Oil & Gas
- Biogas Plant

တို့တွင် တွေ့ရတတ်သည်။

လက္ခဏာ

- အနံ့ = ဥပုပ်နံ့ (Rotten Egg)

သို့သော် Concentration မြင့်လာပါက အနံ့ခံအာရုံကို ထိခိုက်စေသဖြင့် အနံ့ပျောက်သွားသလို ခံစားရနိုင်ပြီး ယင်းကို လုံခြုံသည်ဟု မယူဆသင့်ပါ။

အကျိုးသက်ရောက်မှု

- မျက်လုံးယားယံ
- အသက်ရှူရခက်
- သတိလစ်
- အဆုတ်ထိခိုက်
- အလွန်များလျှင် အသက်အန္တရာယ်ရှိ

၈။ လူနှင့် တိရစ္ဆာန်များအပေါ်သက်ရောက်မှု

ဓာတ်ငွေ့လူ	တိရစ္ဆာန်
O ₂ နည်း အသက်ရှူခက်၊ သတိလစ်	အသက်ရှူခက်၊ သေဆုံးနိုင်
CO ₂ များ ခေါင်းကိုက်၊ အိပ်ငိုက်	Stress၊ အသက်ရှူခက်
CO Oxygen မရ၊ သတိလစ်	အလားတူ အန္တရာယ်ရှိ
NH ₃ မျက်လုံး၊ အဆုတ် ထိခိုက်	မျက်လုံး၊ အသက်ရှူလမ်းကြောင်း ထိခိုက်

ဓာတ်ငွေ့ လူ

တိရိစ္ဆာန်

H₂S အာရုံကြောနှင့် အဆုတ် ထိခိုက် အသက်ရှူရပ်နိုင်

၉။ ကာကွယ်ရေးနည်းလမ်းများ







သင်္ဘော Tanker များ၊ ဆီ Tank များအတွင်း ဝင်ရောက်အလုပ်လုပ်ခြင်း (Confined Space Entry) နှင့် Mechanical Ventilation မရှိခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော အသက်အန္တရာယ်များ





သင်္ဘောကျင်း (Shipyard) များ၊ Oil Tanker များ၊ Chemical Tanker များတွင် Cargo Tank, Ballast Tank, Fuel Oil Tank, Double Bottom Tank, Void Space, Engine Room Tank များအတွင်း ဝင်ရောက်အလုပ်လုပ်ခြင်းသည် အလွန်အန္တရာယ်ရှိသော Confined Space Work အမျိုးအစားဖြစ်ပါသည်။

အဓိကအန္တရာယ်မှာ လေမရှိခြင်းမဟုတ်ဘဲ၊ လေထုအတွင်း ဓာတ်ငွေ့အချိုးအစား ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်ပါသည်။

၁။ သင်္ဘော Tank အတွင်း ဘာကြောင့် အန္တရာယ်ရှိသလဲ?



ATMOISHERIC HAZARDS IN CONFINED SPACES

Invisible Dangers, Critical Risks

OXYGEN DEFICIENCY	OXYGEN ENRICHMENT	TOXIC GASES	FLAMMABLE ATMOSPHERES
↓ O_2 LESS THAN 19.5% • Fatigue • Dizziness • Unconsciousness	↑ O_2 MORE THAN 23.5% FIRE RISK EXPLOSION HAZARD Increased Combustibility	CO H_2S Carbon Monoxide Hydrogen Sulfide • Invisible Killers • Respiratory Damage	OVER 10% LFL/LEL • GASES/VAPORS • CATASTROPHIC FIRE/EXPLOSION

ALWAYS TEST THE ATMOSPHERE BEFORE ENTRY

Tank အတွင်းတွင်

- လေဝင်လေထွက် မကောင်းခြင်း
- နေရောင်မရောက်ခြင်း
- အပူချိန်မြင့်ခြင်း

- ဓာတ်ငွေ့များ စုနေခြင်း

ကြောင့် အန္တရာယ်ဖြစ်စေသည်။

အထူးသဖြင့်

- Oil Tanker
- Chemical Tanker
- LNG Carrier
- Product Tanker

များတွင် ပိုမိုအရေးကြီးသည်။

၂။ Tank အတွင်း တွေ့ရနိုင်သော အန္တရာယ်ရှိ ဓာတ်ငွေ့များ



CONFINED SPACE GASES & READINGS



Oxygen

Safe: 19.5% – 23.5%



19.5 %



Deficiency (suffocation)
Enrichment (fire risk)



Carbon
Monoxide

Safe: 0 ppm



0 ppm



PEL: 50 ppm (8 hrs)
IDLH: 1200 ppm



Hydrogen
Sulfide

Safe: 0 ppm



0 ppm



PEL: 10 ppm
IDLH: 100 ppm
Instant collapse/death



Methane
(CH_4)/Comb.

Safe: <10% LEL

• 10% LEL



Explosive range: 5 % = 15 %
% LEL (e.g. 10% LEL = 0.5%)



Gas Detector
(4-in-1 Meter)

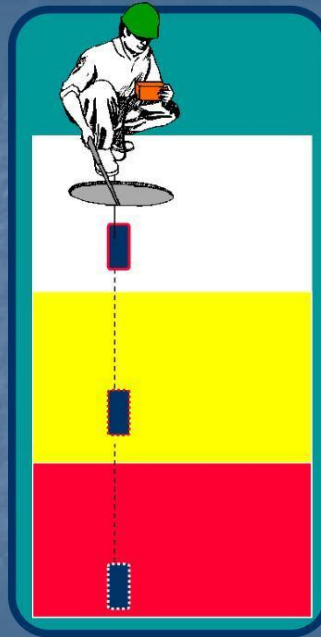


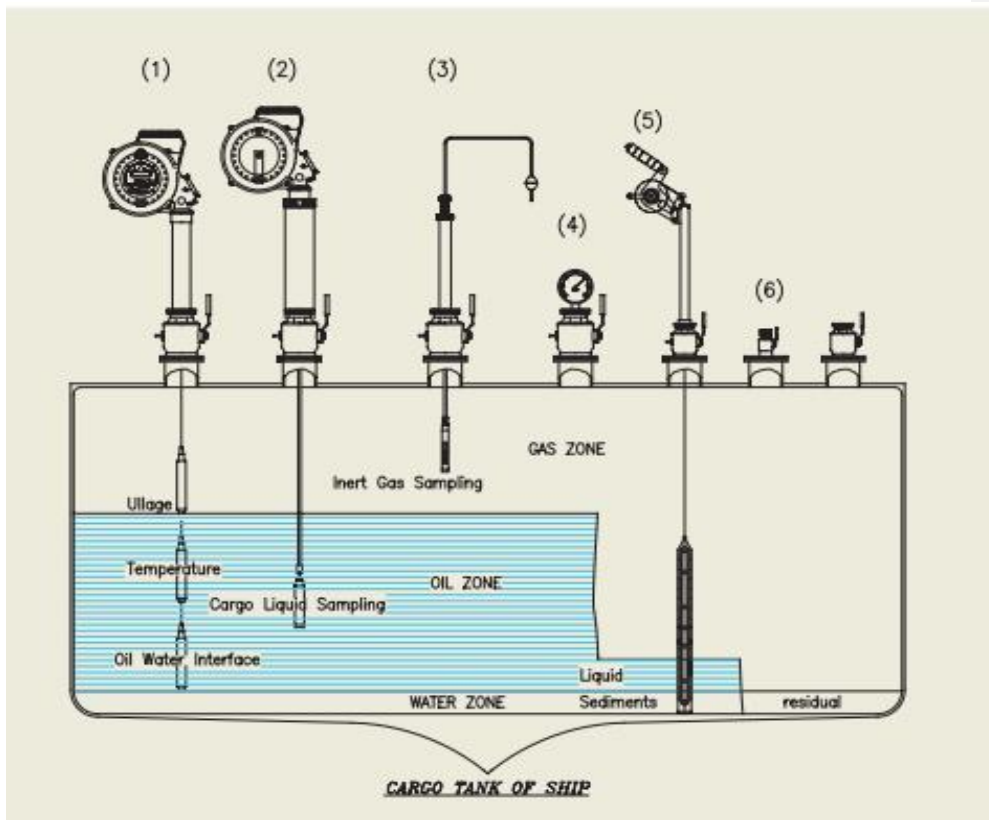
- Always test top, middle, bottom of confined space before entry
- Use continuous monitoring while working inside

Always test the air at various levels to be sure that the entire space is safe.

Good air near the opening does NOT mean there is good air at the bottom!

- Methane is lighter than air.
- Carbon Monoxide is the same as air.
- Hydrogen Sulfide is heavier than air.





(၁) Oxygen Deficiency (O_2 နည်းခြင်း)

ပုံမှန်

$O_2 = 20.9\%$

အန္တရာယ်

$O_2 < 19.5\%$

ဖြစ်လျှင်

- မူးမော

- အားနည်း
- သတိလစ်
- အသက်ဆုံးရှုံး

နိုင်သည်။

(၂) Hydrocarbon Vapour (ဆီအငွေ့)

Oil Tank အတွင်း

- Petrol vapour
- Diesel vapour
- Crude oil vapour

ကျန်နိုင်သည်။

ယင်းတို့သည်

- မီးလောင်လွယ်
- ပေါက်ကွဲလွယ်

သည်။

(2) Hydrogen Sulfide (H₂S)

HYDROGEN SULFIDE

H₂S IS AN EXTREMELY TOXIC AND FLAMMABLE GAS THAT CAN KILL YOU.



Avoid breathing H₂S, open flames, smoking or other ignition sources.

BEFORE YOU ENTER AN ASPHALT FACILITY, THINK:

- ▲ All asphalts can naturally contain H₂S.
- ▲ H₂S may collect in confined vapor space of storage tanks, rail cars, trucks, sumps and sewers.
- ▲ Initial opening of an asphalt container, full or empty, may release toxic amounts of H₂S gas.
- ▲ H₂S may accumulate in low-lying areas.
- ▲ H₂S can deaden your sense of smell.

NEVER rely on your sense of smell alone

EVALUATE AND MONITOR

- ▲ Identify areas where H₂S may be present.
- ▲ Always use available on-site monitoring detection equipment if H₂S may be present.
- ▲ When H₂S is present, ventilate the space. Use appropriate respiratory protection.
- ▲ Only HAZCOM trained, equipped and authorized workers should enter confined spaces.

RESCUE PROCEDURES

- ▲ DO NOT attempt rescue unless properly trained and equipped for personal protection.
- ▲ If H₂S is detected, leave the area moving crosswind and upwind.



© Asphalt Institute

Crude Oil နှင့် Organic Material များမှ ထွက်နိုင်သည်။

လက္ခဏာ

- ဥပုပ်နံ့
- မျက်လုံးယား
- အသက်ရှူရခက်
- သတိလစ်
- သေဆုံးနိုင်

အရေးကြီးချက်

H₂S concentration မြင့်လာလျှင် အနံ့အာရုံပျောက်သွားနိုင်သောကြောင့် "နံ့မရတော့ဘူးဆို၍ အန္တရာယ်မရှိ" ဟု မယူဆရပါ။

၃။ Tank Cleaning လုပ်ရာတွင် ဖြစ်နိုင်သော အန္တရာယ်များ



Hydrogen sulfide (H_2S) (ဟိုက်ဒရိုဂျင် ဆာလဖိုင်) ဟာ အလွန်အန္တရာယ်ရှိတဲ့

အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့တစ်မျိုးဖြစ်ပြီး ရေနံ၊ သဘာဝဓာတ်ငွေ့၊ မိလ္လာစနစ်၊ ဓာတုစက်ရုံနဲ့ ဆက်စပ်တဲ့ လုပ်ငန်းတွေမှာ အရေးကြီးတဲ့ လုပ်ငန်းခွင်အန္တရာယ်တစ်ခုအဖြစ် သတ်မှတ်ထားပါတယ်။

Crude Oil Tanker တွေမှာ H_2S တွေ့ရတတ်သလား။

တွေ့ရတတ်ပါတယ်။

အထူးသဖြင့် sour crude oil (ဆာလဖာဓာတ်ပါဝင်မှုများတဲ့ crude oil) ကို သယ်ဆောင်တဲ့ tanker တွေမှာ H_2S ထွက်နိုင်ပါတယ်။

H_2S ရှိနိုင်တဲ့ နေရာတွေမှာ -

- Cargo tanks
- Slop tanks
- Pump room
- Tank cleaning လုပ်နေစဉ်
- Loading / unloading လုပ်နေစဉ်
- Inert gas system နဲ့ ဆက်စပ်နေရာအချို့

မီးလောင်တဲ့အခါ H_2S က အဓိကထွက်လာသလား။

H_2S ဟာ မီးလောင်မှသာ ထွက်လာတာ မဟုတ်ပါဘူး။

Crude oil ထဲမှာ ရှိပြီးသား H_2S က အပူချိန်မြင့်လာတာ၊ tank ဖွင့်တာ၊ ဖိအားပြောင်းလဲတာ စတဲ့အခြေအနေတွေမှာ ထွက်လာနိုင်ပါတယ်။

မီးလောင်နေတဲ့အခါ H_2S အပြင် အခြား အန္တရာယ်ရှိတဲ့ ဓာတ်ငွေ့တွေလည်း ထွက်နိုင်ပါတယ်။

- Sulfur dioxide (SO_2)
- Carbon monoxide (CO)
- Carbon dioxide (CO_2)
- မလောင်ကျွမ်းသေးတဲ့ Hydrocarbon vapors

H₂S ရဲ့ အန္တရာယ်

- အရောင်မရှိ
- ဥပုန်လို အနံ့ရှိပေမယ့် အနံ့ကို အားမကိုးသင့်ပါ။ ပြင်းအားမြင့်လာရင် အနံ့ခံနိုင်စွမ်း မြန်မြန်ပျောက်သွားနိုင်ပါတယ်။
- လေထက် ပိုလေးတဲ့အတွက် အောက်ပိုင်းနေရာတွေ (tank bottom, pit, drain, enclosed space) မှာ စုပုံနေနိုင်ပါတယ်။
- ပြင်းအားမြင့်ရင် အသက်ရှူရပ်ပြီး စက္ကန့်ပိုင်းအတွင်း လဲကျနိုင်ပါတယ်။

ဘယ်လိုကာကွယ်သင့်သလဲ။

Crude oil tanker ပေါ်မှာ လုပ်ကိုင်သူတွေအတွက် အရေးကြီးတာတွေကတော့

- Personal H₂S gas detector ကို အမြဲဆောင်ထားပါ။
- Fixed gas detection system ရဲ့ alarm ကို အလေးထားပါ။
- H₂S hazard area ထဲဝင်ရင် လုပ်ငန်းစဉ်များကို လိုက်နာပါ။
- Enclosed space မဝင်ခင် gas test လုပ်ပါ။
- လိုအပ်တဲ့အခြေအနေမှာ SCBA (Self-Contained Breathing Apparatus) ကို အသုံးပြုပါ။
- Escape set (EEBD) ဟာ မီးခိုးနဲ့ အောက်ဆီဂျင်လျော့နည်းတဲ့အခြေအနေကနေ လွတ်မြောက်ဖို့ ရည်ရွယ်ထားတာဖြစ်ပြီး H₂S အန္တရာယ်ရှိတဲ့နေရာထဲကို ဝင်ရောက်အလုပ်လုပ်ဖို့ မသုံးသင့်ပါ။
- Alarm ကြားတာနဲ့ upwind (လေတိုက်လာတဲ့ဘက်ကို မျက်နှာမူ၍ လေတိုက်လာရာဘက်) ကို ရွှေ့ပြီး muster station ကို သွားပါ။

H₂S ပြင်းအား (ppm) အကြမ်းဖျင်း

H₂S (ppm) သက်ရောက်မှု

0.01-1 အနံ့စရနိုင်

10 လုပ်ငန်းခွင်တွင် သတိထားရမည့်အဆင့်

50-100 မျက်စိ၊ အသက်ရှူလမ်းကြောင်း ယားယံနိုင်

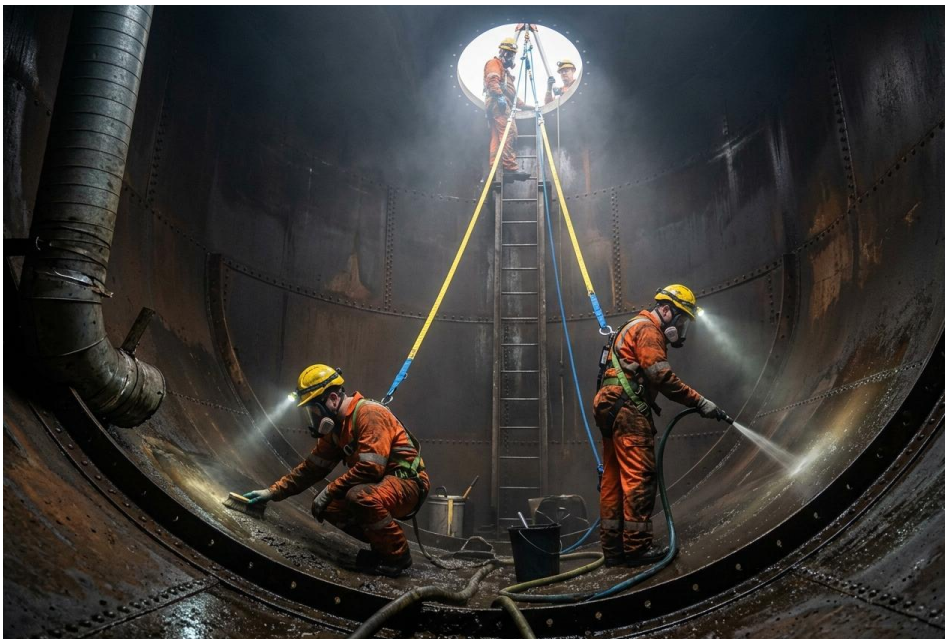
100+ အနံ့ခံနိုင်စွမ်း ပျောက်နိုင်

300+ အသက်အန္တရာယ်ရှိ

500-700+ အချိန်တိုအတွင်း လဲကျနိုင်

1000+ ချက်ချင်း အသက်အန္တရာယ်ဖြစ်နိုင်

အကယ်၍ သင်က crude oil tanker ပေါ်မှာ အလုပ်လုပ်နေတဲ့ seafarer ဖြစ်ရင် H₂S awareness၊ gas detector အသုံးပြုနည်း၊ alarm အဆင့်တွေ၊ SCBA နဲ့ EEBD အသုံးပြုရမယ့်အခြေအနေတွေကို ပိုမိုအသေးစိတ် ရှင်းပြပေးနိုင်ပါတယ်။



Tank Cleaning တွင်

- High Pressure Water Jet
- Chemical Cleaning
- Sludge Removal
- Manual Scraping

လုပ်ရသည်။

ပြဿနာများ

(က) Oxygen လျော့ခြင်း

Cleaning Chemical နှင့် ဆီအကြွင်းအကျန်များကြောင့် လေထုမကောင်းနိုင်။

(ခ) Toxic Gas

H₂S နှင့် Hydrocarbon Vapour များ ဖြစ်နိုင်။

(ဂ) Heat Stress

Tank အတွင်း

40°C ကျော်နိုင်ပြီး

ရေဓာတ်ဆုံးရှုံးခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။

၄။ Tank အတွင်း Welding (Hot Work) လုပ်ခြင်း၏ အန္တရာယ်







Welding သည် အထူးအန္တရာယ်ရှိသော အလုပ်ဖြစ်သည်။

အကြောင်းမှာ

Welding Arc Temperature

$\approx 3000^{\circ}\text{C}$ ကျော်

ရှိနိုင်သည်။

အကယ်၍ Tank အတွင်း

- Fuel Vapour
- Gas Residue
- Oxygen များ

ရိုပါက

Fuel Vapour

+

Oxygen

+

Ignition Source (Welding Spark)

=

Fire / Explosion

ဖြစ်နိုင်သည်။

၅။ Mechanical Ventilation မပေးလျှင် ဘာဖြစ်မလဲ?





Mechanical Ventilation ၏ ရည်ရွယ်ချက်

- Fresh Air ပေးရန်
- Toxic Gas ဖယ်ရှားရန်
- Oxygen Level ထိန်းရန်
- Welding Fume ဖယ်ရှားရန်
- Heat လျှော့ရန်

ဖြစ်သည်။

Ventilation မရှိပါက

Fresh Air ↓

O₂ ↓↓↓

H₂S ↑

Hydrocarbon Vapour ↑

CO ↑

Risk ↑↑↑

ဖြစ်လာသည်။

၆။ သဘောကျင်းများတွင် ဖြစ်လေ့ရှိသော Accident Pattern

ဖြစ်စဉ် (၁)

Tank ထဲ ဝင်စစ်ဆေး

↓

Gas Test မလုပ်

↓

Oxygen နည်း

↓

Worker လဲကျ

↓

ကယ်ရန် ဝင်သူများလည်း သတိလစ်

(Secondary Victim ဖြစ်ခြင်း)

ဖြစ်စဉ် (၂)

Oil Tank Cleaning

↓

ဆီအငွေ့ကျန်

↓

Welding စတင်

↓

Spark ဖြစ်

↓

Explosion

ဖြစ်စဉ် (၃)

Welding Fume စုခြင်း

↓

Mechanical Ventilation မရှိ

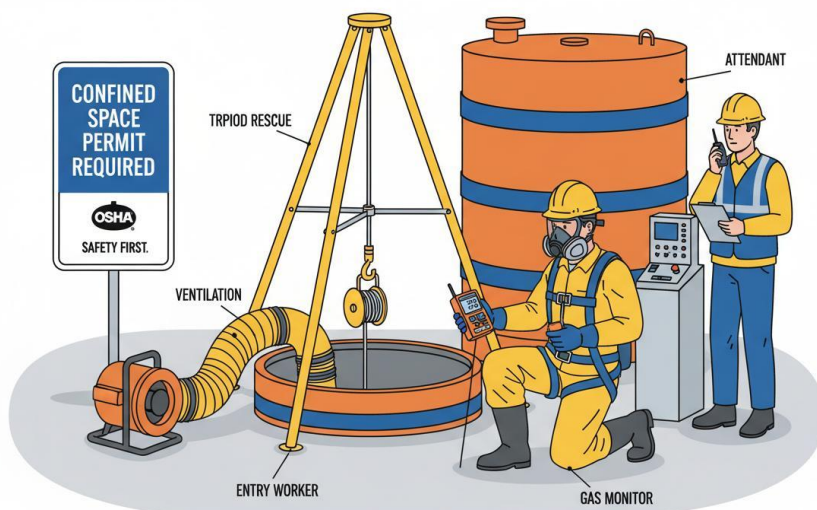
↓

Metal Fume ရှူမိ

↓

အဆုတ်ထိခိုက်

၇။ Tank Entry မလုပ်မီ မဖြစ်မနေ လိုအပ်သော Procedure





SAFETY CHECK LIST

Before entry into the enclosed space the appropriate safety checks listed below must be carried out by a competent person or officer authorised by the Master and by the person(s) who is/are to enter.

Space Date Time

Section 1 – To be confirmed by the competent person or officer authorised by the Master to take charge of entry:

1.1	Have all hazards been identified?	
1.2	Has the space been properly ventilated, tested and found safe?	
1.3	Has the space been isolated and secured against the ingress of harmful substances from adjacent or connected spaces?	
1.4	Have arrangements been made to continue ventilation during occupancy of the space and at breaks?	
1.5	Have arrangements been made to repeat testing at regular intervals during occupancy and after breaks?	
1.6	Are rescue and resuscitation equipment available for immediate use at the entrance to the space?	
1.7	Have arrangements been made for a responsible person with breathing apparatus to be in constant attendance at the entrance to the space?	
1.8	Has a system of communication between the person at the entrance and those entering the space been agreed and tested?	
1.9	Has the space and its access areas been adequately illuminated?	
1.10	Are portable lights and other equipment to be used of an appropriate type?	
1.11	Is a rescue team briefed and available in the event of an emergency arising?	
1.12	Is entry into the space suitable using breathing apparatus?	
1.13	Have the person(s) entering the space attended a dedicated course for entry into enclosed spaces?	

Section 2 – To be confirmed by the person/s who is/are to enter the space after the relevant checks in SECTION 1 have been completed.

2.1	Are you satisfied all relevant checks in Section 1 have been completed?	
2.2	Do you understand the instructions and permit to work given by the competent person or officer authorised by the Master to enter the space?	
2.3	Do you understand the arrangements made for communication between yourself and the responsible person in attendance at the entrance to the space?	
2.4	Are you aware you should leave the space immediately in the event of ventilation problems or communication failure?	
2.5	Do you have any other safety concerns?	
2.6	Have you been trained in entry into enclosed spaces?	

Section 3 – To be confirmed jointly by the officer authorised by the Master and the person(s) who is/are to enter the space if breathing apparatus is to be used.

3.1	Are you trained in the use of the apparatus?	
3.2	Is the apparatus in good condition and has it been checked for:	
	(i) adequacy of air supply	
	(ii) high pressure integrity	
	(iii) working of low pressure audible alarm	
	(iv) face mask seal?	

The completed card should be handed to the competent person at the entrance to the space before entering.

(၁) Permit to Work

Confined Space Entry Permit ထုတ်ရမည်။

(၂) Gas Test

ဝင်မီ စစ်ရမည်။

Gas	စစ်ဆေးရမည်
Oxygen	20.9% အနီး
H ₂ S	Safe Limit အောက်
CO	Safe Limit အောက်

Hydrocarbon LEL အောက်

(၃) Continuous Ventilation

Tank အတွင်း

- Explosion-proof Fan
- Flexible Duct

ဖြင့် လေထည့်ရမည်။

(၄) Standby Person

အပြင်တွင်

- စောင့်ကြည့်သူ
- Communication System
- Rescue Equipment

ရှိရမည်။

၈။ Shipyard Safety Standards

အသုံးများသော စံနှုန်းများ

- IMO – International Maritime Organization
- SOLAS (Safety of Life at Sea)
- IMO Resolution A.1050 – Revised Recommendations for Entering Enclosed Spaces Aboard Ships
- OSHA 29 CFR 1915 – Shipyard Employment
- OSHA 1910.146 – Permit Required Confined Spaces
- ISGOTT (International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals)
- NFPA 350 – Guide for Safe Confined Space Entry

အင်ဂျင်နီယာအမြင်ဖြင့် အရေးကြီးဆုံးအချက်

သင်္ဘော Tank၊ Oil Tank နှင့် Shipyard Confined Space များတွင် လူသေဆုံးမှုအများစုသည်

1. Gas Test မလုပ်ခြင်း
2. Mechanical Ventilation မရှိခြင်း
3. Permit မရှိဘဲ ဝင်ခြင်း
4. Rescue Plan မရှိခြင်း
5. Hot Work မတိုင်မီ Tank Gas Free မဖြစ်ခြင်း

တို့ကြောင့် ဖြစ်ပါသည်။

အထူးသဖြင့် "လူတစ်ယောက် လဲကျသွားလို့ ကယ်ဖို့ နောက်တစ်ယောက် ဝင်သွားပြီး

ထပ်သေဆုံးခြင်း" သည် သင်္ဘောကျင်း Confined Space Accident များတွင် အလွန်တွေ့ရများသော ပုံစံဖြစ်ပါသည်။

ထို့ကြောင့် Mechanical Ventilation + Gas Monitoring + Permit to Work + Rescue Plan သည် Tank Entry Safety ၏ အခြေခံအသက်ကယ်စနစ် (Life Safety System) ဖြစ်ပါသည်။

အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့များကို ကာကွယ်ရန်

- Mechanical Ventilation တပ်ဆင်ခြင်း
- Fresh Air Supply ပေးခြင်း
- Local Exhaust Ventilation (LEV)
- Multi-Gas Detector (O_2 , CO, H_2S , LEL စသည်)
- CO Detector
- NH_3 Detector
- H_2S Detector
- Respiratory Protective Equipment (လိုအပ်ပါက)
- Confined Space Entry Permit နှင့် Gas Testing

တို့ကို အသုံးပြုသင့်ပါသည်။

၁၀။ HVAC နှင့် IAQ အင်ဂျင်နီယာအမြင်

HVAC System များ၏ အဓိကတာဝန်မှာ

- Fresh Air လုံလောက်စွာ ပေးခြင်း
- CO_2 စုဆောင်းမှုကို လျှော့ချခြင်း
- CO၊ NH_3 ၊ H_2S ကဲ့သို့ အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့များ စုမနေစေရန် Exhaust Ventilation ပေးခြင်း
- Filter များနှင့် Pollutants များကို လျှော့ချခြင်း

- Temperature နှင့် Humidity ကို ထိန်းသိမ်းခြင်း
- Occupants များ၏ ကျန်းမာရေးနှင့် လုပ်ငန်းစွမ်းဆောင်ရည်ကို ကာကွယ်ပေးခြင်း

တို့ဖြစ်ပါသည်။

၅။ Fresh Air Calculation (ASHRAE 62.1 အခြေခံ)

လူအရေအတွက်နှင့် အခန်းအကျယ်အဝန်းကို ပေါင်းစပ်စဉ်းစားသည်။

ဥပမာ

Office

- လူ = 50 ယောက်
- Outdoor Air = 5 L/s per person (ဥပမာ)

လူအတွက် Fresh Air

50×5

$= 250 \text{ L/s}$

CFM သို့ပြောင်းလျှင်

250×2.119

$\approx 530 \text{ CFM}$

(စံနှုန်းတန်ဖိုးသည် Occupancy Category အလိုက် ကွဲပြားနိုင်သည်)

၆။ Air Change per Hour (ACH)

Formula

$$ACH = \frac{CFM \times 60}{Room Volume}$$

ဥပမာ

အခန်း

10 m × 8 m × 3 m

Volume = 240 m³

Supply Air

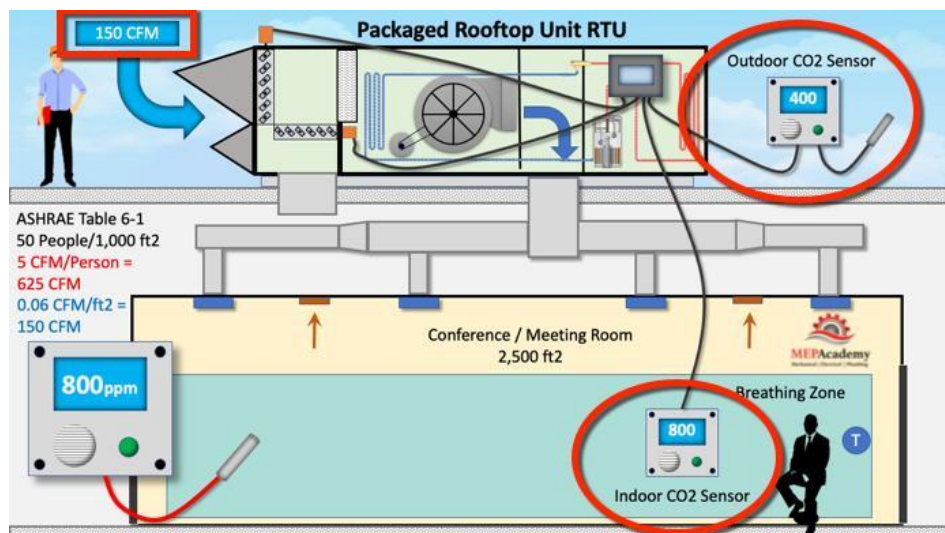
1200 m³/hr

ACH

1200 / 240

= 5 ACH

၇။ CO₂ Control



Occupancy များလာသည်နှင့် CO₂ မြင့်တက်သည်။

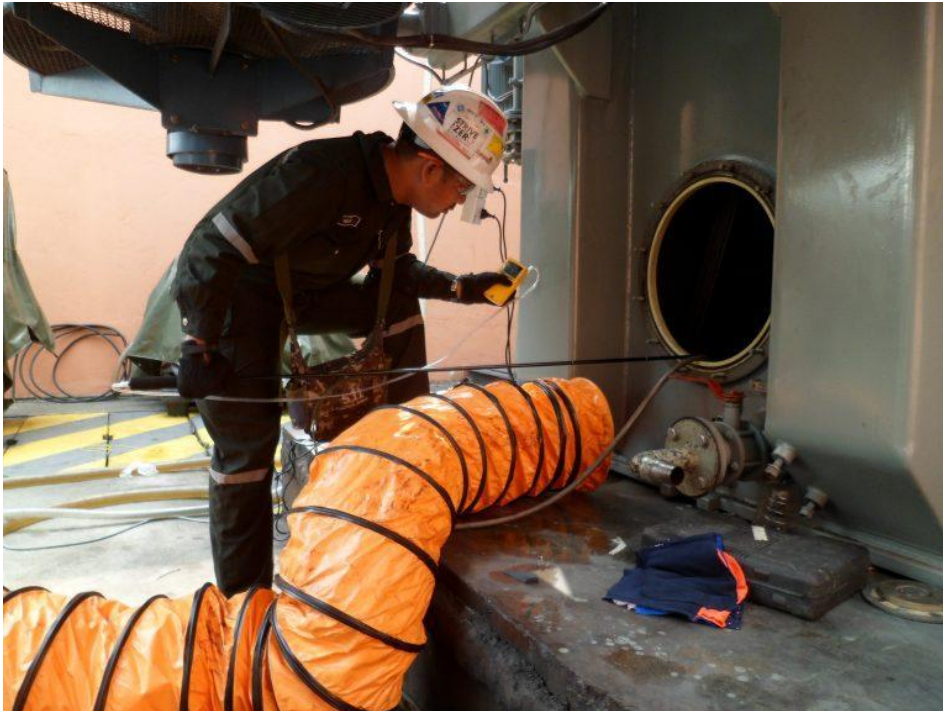
CO₂ Sensor ကို အသုံးပြု၍

- Fresh Air Damper ဖွင့်ခြင်း
- AHU Fan Speed တိုးခြင်း
- Demand Controlled Ventilation (DCV)

တို့ကို အလိုအလျောက် ထိန်းချုပ်နိုင်သည်။

၈။ Confined Space Safety





8

Confined Space ဆိုသည်မှာ

- Tank
- Silo
- Vessel
- Sewer
- Underground Pit
- Manhole
- Utility Tunnel
- Large Duct

ကဲ့သို့ ဝင်ထွက်ရန် ကန့်သတ်ထားသော နေရာများကို ဆိုလိုသည်။

အဓိကအန္တရာယ်များ

- Oxygen Deficiency
- Toxic Gas
- Flammable Gas
- Explosion
- Heat Stress
- Engulfment
- Electrical Hazard

၉။ Oxygen Level

Oxygen	အခြေအနေ
20.9%	ပုံမှန်
19.5%	အောက် မလုံလောက်
16%	အသက်ရှူခက်
10%	သတိလစ်နိုင်
6%	အသက်အန္တရာယ်ရှိ

၁၀။ Confined Space တွင် လိုအပ်သော စက်ပစ္စည်းများ

- Portable Gas Detector
- Oxygen Meter
- CO Meter
- H₂S Meter
- LEL Meter
- Mechanical Ventilation Fan
- Rescue Tripod
- Harness
- Lifeline

- Permit to Work (PTW)

၁၁။ Mechanical Ventilation in Confined Space

အလုပ်မဝင်မီ

- Fresh Air ဖြင့် Purge လုပ်ခြင်း
- Continuous Ventilation
- Gas Monitoring
- Exhaust Fan အသုံးပြုခြင်း
- Air Supply Duct ဖြင့် Fresh Air ပို့ခြင်း

၁၂။ IAQ တွင် အသုံးများသော Filter များ

Filter	အသုံးပြုရာနေရာ
G4	Pre Filter
MERV 13–16	Commercial Building
HEPA H13	Hospital / Cleanroom
HEPA H14	Pharmaceutical
ULPA	Semiconductor

၁၃။ Positive / Negative Pressure

Hospital Isolation Room

Room Pressure

-15 Pa

Cleanroom

+15 Pa

Airlock

+10 Pa

Pressure Cascade ကို မှန်ကန်စွာထိန်းခြင်းဖြင့် အညစ်အကြေးနှင့် ရောဂါပိုး ပြန့်ပွားမှုကို လျှော့ချနိုင်သည်။

၁၄။ IAQ Monitoring System

စောင့်ကြည့်သည့် Sensor များ

- Temperature
- Relative Humidity
- CO₂
- PM_{2.5}
- TVOC
- Differential Pressure
- Airflow
- Filter Differential Pressure

၁၅။ ကိုးကားသင့်သော စံနှုန်းများ

IAQ နှင့် Mechanical Ventilation Design တွင် အောက်ပါ Standards များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

1. **ASHRAE Standard 62.1** – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (Commercial Buildings)
2. **ASHRAE Standard 62.2** – Residential Ventilation
3. **ASHRAE Standard 55** – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
4. **ASHRAE Handbook – Fundamentals** (Ventilation, Psychrometrics, Load Calculations)
5. **ASHRAE Handbook – HVAC Applications**
6. **BS EN 16798** – Energy Performance of Buildings – Ventilation for Buildings
7. **BS EN 13779** (သမိုင်းအရ အသုံးများခဲ့ပြီး ယခုအခါ အဓိကအားဖြင့် EN 16798 စီးရီးဖြင့် အစားထိုးထားသည်)
8. **SS 553** – Code of Practice for Air-Conditioning and Mechanical Ventilation in Buildings (Singapore)
9. **SS 554** – Indoor Air Quality for Air-Conditioned Buildings (Singapore)
10. **ISO 14644** – Cleanrooms and Associated Controlled Environments
11. **WHO Indoor Air Quality Guidelines**

12. **OSHA Confined Spaces Standard** နှင့် **NFPA 350 Guide for Safe Confined Space Entry** (Confined Space Safety အတွက်)

Engineering

IAQ ကောင်းမွန်ခြင်းသည် ကျန်းမာရေး၊ အလုပ်လုပ်နိုင်စွမ်းနှင့် အဆောက်အဦ၏ လုံခြုံရေးကို တိုးတက်စေသည်။ Mechanical Ventilation သည် Fresh Air ပံ့ပိုးခြင်း၊ CO₂ နှင့် အခြားညစ်ညမ်းပစ္စည်းများကို လျှော့ချခြင်း၊ အပူနှင့် စိုထိုင်းဆကို ထိန်းချုပ်ခြင်း၊ Positive/Negative Pressure ကို ထိန်းသိမ်းခြင်းတို့အတွက် အဓိကအခန်းကဏ္ဍမှ ပါဝင်သည်။ Confined Space များတွင်မူ လေဝင်လေထွက်ကောင်းမွန်စေရန် Mechanical Ventilation၊ Gas Monitoring၊ Permit-to-Work နှင့် Rescue Plan တို့ကို မဖြစ်မနေ ပေါင်းစပ်အသုံးပြုရမည်ဖြစ်ပြီး ယင်းတို့သည် အသက်အန္တရာယ်များကို လျှော့ချရာတွင် အလွန်အရေးကြီးပါသည်။

ကျောက်မီးသွေးမိုင်း (Coal Mine) များတွင် Mechanical Ventilation System လိုအပ်ပုံနှင့် မီးလောင်၊ ပေါက်ကွဲမှု အန္တရာယ်များ

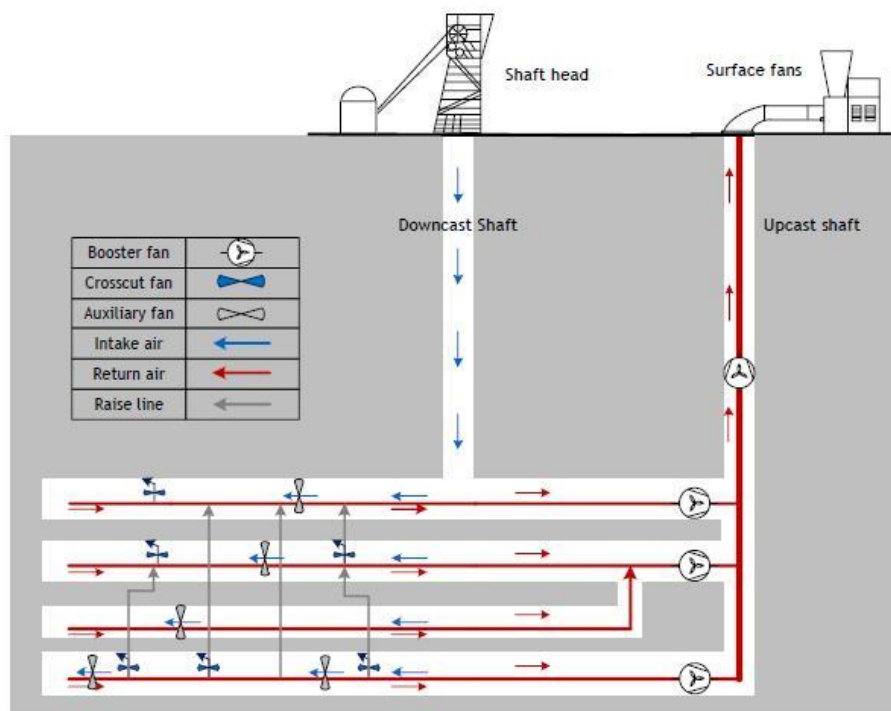


Figure 2: Typical configuration of an underground ventilation network



ကျောက်မီးသွေးမိုင်း (Underground Coal Mine) သည် **Mechanical Ventilation မရှိမဖြစ်လိုအပ်သော လုပ်ငန်းခွင်** များထဲမှ တစ်ခုဖြစ်သည်။ မိုင်းတွင်းသည် မြေအောက်အနက်တွင် တည်ရှိပြီး သဘာဝလေဝင်လေထွက် မလုံလောက်သောကြောင့် လူများအသက်ရှူရန် လိုအပ်သော Oxygen ပမာဏကို ထိန်းသိမ်းရန်နှင့် အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့များကို ဖယ်ရှားရန် Mechanical Ventilation System ကို ၂၄ နာရီ ဆက်တိုက် လည်ပတ်စေရပါသည်။

၁။ Mechanical Ventilation ဘာကြောင့်လိုအပ်သလဲ?

မိုင်းတွင်းအတွင်း

- Oxygen (O_2) လျော့နည်းလာနိုင်သည်။
- Methane (CH_4) ထွက်လာနိုင်သည်။
- Carbon Monoxide (CO) ထွက်လာနိုင်သည်။

- Carbon Dioxide (CO_2) စုဆောင်းနိုင်သည်။
- Hydrogen Sulfide (H_2S) တွေ့နိုင်သည်။
- Diesel Equipment များမှ Exhaust Gas များ ထွက်လာသည်။
- Coal Dust (ကျောက်မီးသွေးဖုန်) များ ဖြစ်ပေါ်သည်။

ထို့ကြောင့် Fresh Air ကို အဆက်မပြတ် ပို့ပေးပြီး ညစ်ညမ်းလေကို ပြန်ထုတ်ရန် လိုအပ်ပါသည်။

၂။ Coal Mine Ventilation System

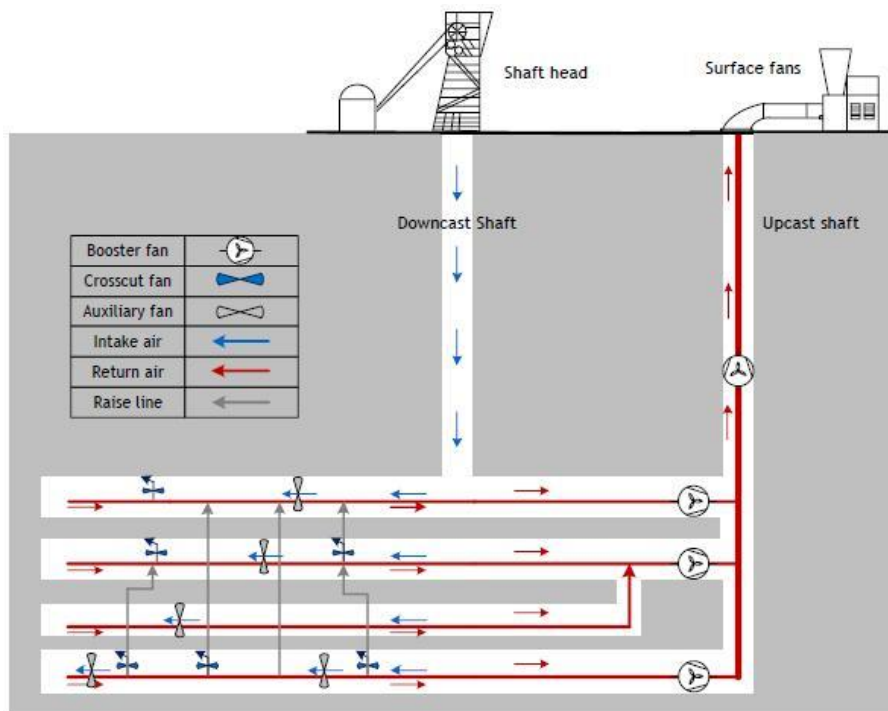


Figure 2: Typical configuration of an underground ventilation network

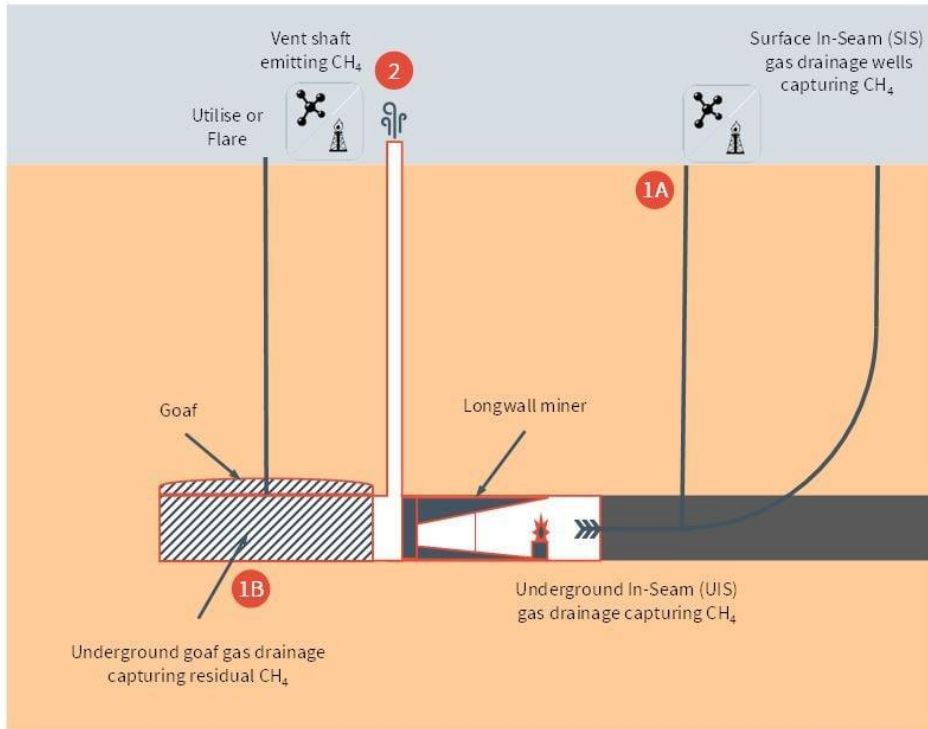


ပုံမှန်အားဖြင့် Ventilation System တွင်

- Main Surface Fan (အဓိက Ventilation Fan)
- Fresh Air Intake Shaft
- Return Air Shaft
- Ventilation Doors
- Stopping Walls
- Auxiliary Fans
- Flexible Ventilation Ducts

တို့ ပါဝင်သည်။

၃။ Methane Gas (CH₄) အန္တရာယ်



ကျောက်မီးသွေးလွှာများမှ Methane Gas ထွက်လာနိုင်သည်။

Methane သည်

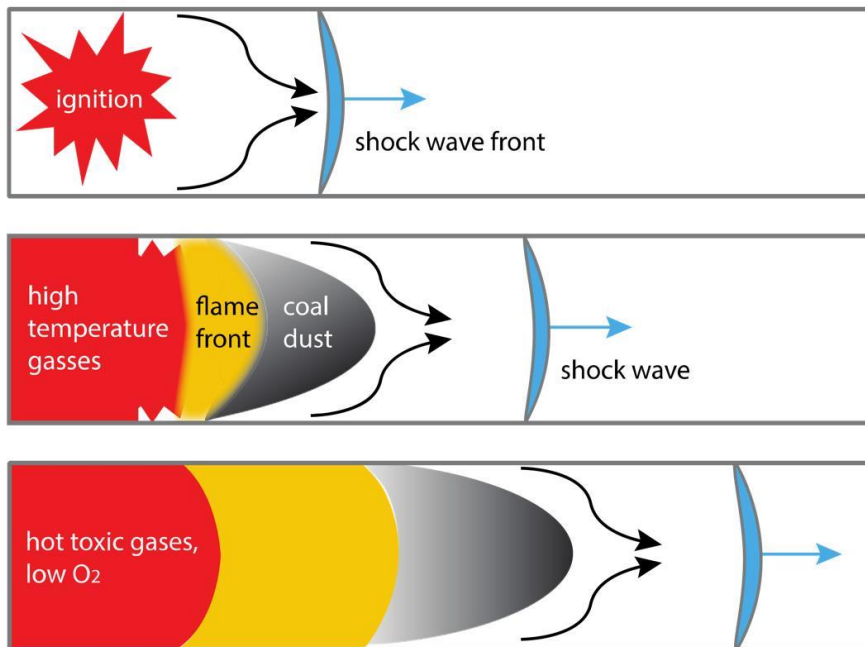
- အရောင်မရှိ
- အနံ့မရှိ
- မီးလောင်လွယ်သော ဓာတ်ငွေ့

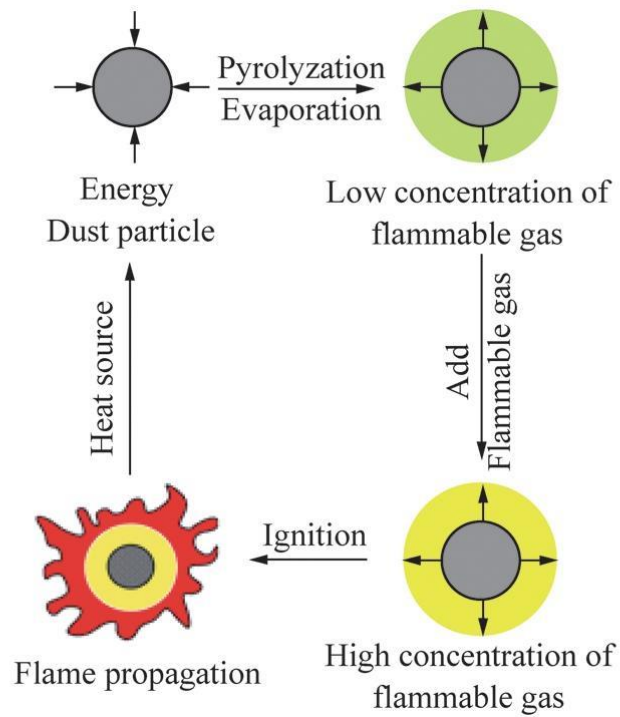
ဖြစ်သည်။

ပေါက်ကွဲနိုင်သည့် အခြေအနေ

Methane သည် လေထုတွင် ခန့်မှန်းအားဖြင့် 5% မှ 15% အတွင်း ရှိနေပြီး မီးပွား (Spark) သို့မဟုတ် မီးအပူရင်းမြစ် ရှိပါက ပေါက်ကွဲနိုင်သည်။

၄။ Coal Dust Explosion





Coal Dust သည် လေထဲတွင် ပျံ့နှံ့နေစဉ် မီးပွားဖြစ်ပါက လျင်မြန်စွာ မီးလောင်ပြီး ပေါက်ကွဲမှု ဖြစ်စေနိုင်သည်။

မိုင်းများတွင်

- Dust Suppression
- Water Spray
- Rock Dusting (Limestone Dust ဖြန့်ခြင်း)

တို့ကို အသုံးပြုကာ အန္တရာယ် လျော့ချကြသည်။

၅။ Carbon Monoxide (CO)

CO သည်

- မီးလောင်မှုများ
- Diesel Engine များ
- ပေါက်ကွဲပြီးနောက်

ထွက်လာနိုင်သည်။

CO သည် Hemoglobin နှင့် ပေါင်းစပ်ပြီး သွေး၏ Oxygen သယ်ဆောင်နိုင်စွမ်းကို လျော့ချသဖြင့် အလွန်အန္တရာယ်ရှိသည်။

၆။ Oxygen Deficiency

Oxygen လျော့နည်းရခြင်း၏ အကြောင်းရင်းများ

- Methane က Oxygen ကို အစားထိုးခြင်း
- မီးလောင်မှု
- လူများအသက်ရှူခြင်း
- Oxidation Process များ

Oxygen နည်းလျှင်

- မူးဝေခြင်း
- အသက်ရှူရခက်ခြင်း
- သတိလစ်ခြင်း
- အသက်အန္တရာယ်

ဖြစ်နိုင်သည်။

၇။ Mine Gas Monitoring



ခေတ်မီ မိုင်းများတွင် အမြဲစောင့်ကြည့်သည့် Sensor များမှာ

- Oxygen (O_2)
- Methane (CH_4)
- Carbon Monoxide (CO)
- Carbon Dioxide (CO_2)
- Hydrogen Sulfide (H_2S)

တို့ဖြစ်သည်။

Gas Concentration မြင့်တက်ပါက

- Alarm
- Fan Speed တိုးခြင်း

- အလုပ်ရပ်နားခြင်း
- လူများကို ချက်ချင်း ရွှေ့ပြောင်းခြင်း

တို့ကို ဆောင်ရွက်သည်။

၈။ Auxiliary Ventilation

Main Ventilation Fan မှ လေမရောက်နိုင်သော Working Face များတွင်

- Auxiliary Fan
- Flexible Ventilation Duct

များဖြင့် Fresh Air ကို တိုက်ရိုက် ပို့ပေးသည်။

၉။ Explosion Prevention

ပေါက်ကွဲမှုကာကွယ်ရေးအတွက်

- Methane Monitoring
- Continuous Ventilation
- Explosion-proof Electrical Equipment
- Intrinsically Safe Instruments
- Flameproof Motors
- Anti-static Equipment
- Coal Dust Control
- Smoking နှင့် Open Flame တားမြစ်ခြင်း

တို့ကို လုပ်ဆောင်ရသည်။

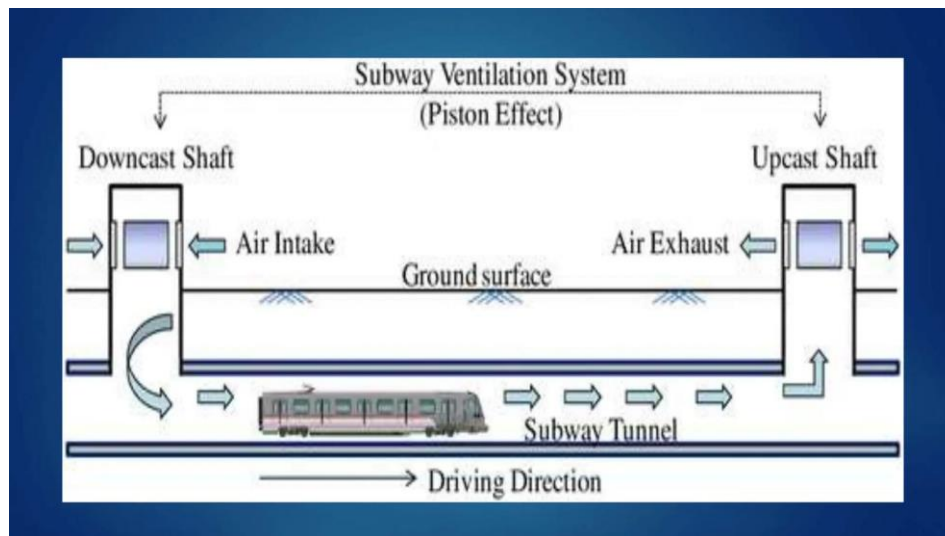
၁၀။ အရေးကြီးသော စံနှုန်းများ

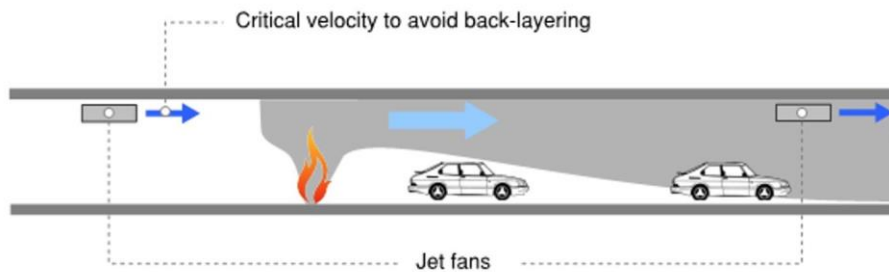
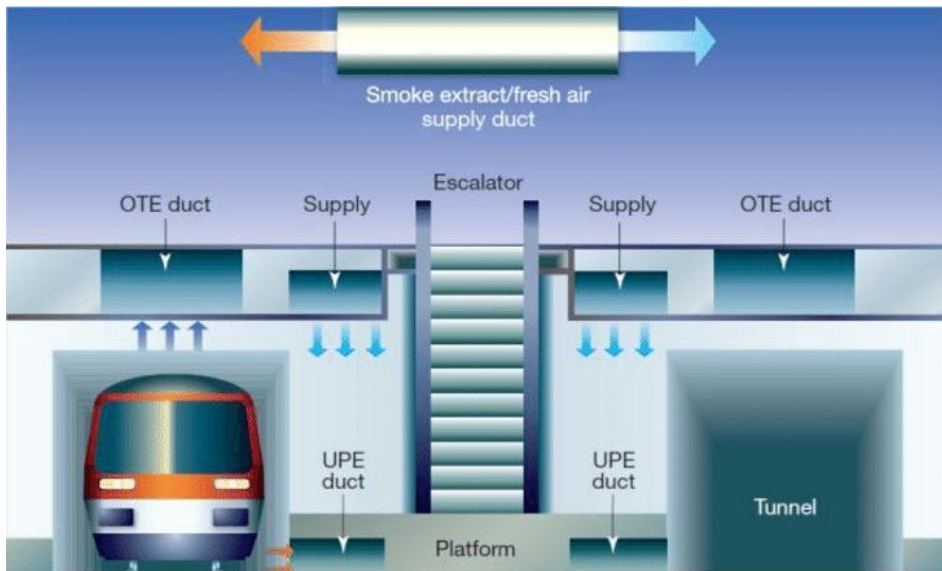
Coal Mine Ventilation Design နှင့် Safety အတွက် အများဆုံး ကိုးကားသော စံနှုန်းများမှာ

- **MSHA (Mine Safety and Health Administration, USA)** – Underground Coal Mine Ventilation Requirements
- **NIOSH** – Mine Ventilation Engineering Guidance

- **ISO 19296** – Mining Machinery Safety
- **NFPA 120** – Fire Prevention and Control in Coal Mines (သမိုင်းအရ အသုံးပြုခဲ့သော လမ်းညွှန်ချက်များ)
- **ASHRAE Handbook** (Ventilation Principles)
- **BS EN 1710** – Underground Mining Machinery Safety Requirements
- **IEC 60079** – Explosive Atmospheres (Explosion-proof Electrical Equipment)

မြေအောက်ရထား (Underground Metro) နှင့် ဥမင်လိုက်ခေါင်း (Tunnel) များတွင် Fresh Air နှင့် Exhaust Mechanical Ventilation System ဘာကြောင့် လိုအပ်သနည်း





မြေအောက်ရထားနှင့် ဥမင်လိုဏ်ခေါင်းများသည် **Confined Space** (လေဝင်လေထွက် သဘာဝအတိုင်း မလုံလောက်သော နေရာ) ဖြစ်သောကြောင့် လူထောင်ပေါင်းများစွာ၏ အသက်အန္တရာယ်ကာကွယ်ရန် **Mechanical Ventilation System** ကို မဖြစ်မနေ တပ်ဆင်ရပါသည်။

၎င်းစနစ်၏ ရည်ရွယ်ချက်မှာ

- Fresh Air ပေးခြင်း
- အပူဖယ်ရှားခြင်း
- ညစ်ညမ်းလေများ ဖယ်ရှားခြင်း

- မီးလောင်လျှင် မီးခိုးဖယ်ရှားခြင်း (Smoke Extraction)
- Emergency Escape ကို ကူညီပေးခြင်း

ဖြစ်ပါသည်။

၁။ Tunnel ထဲတွင် ဘယ်ဓာတ်ငွေ့များ ထွက်နိုင်သလဲ?

Major Pollutants in subway & metro environments

Air quality in underground transit systems is shaped by a unique mix of mechanical, environmental, and human-generated pollutants.



Brake dust and metal particles from rail systems



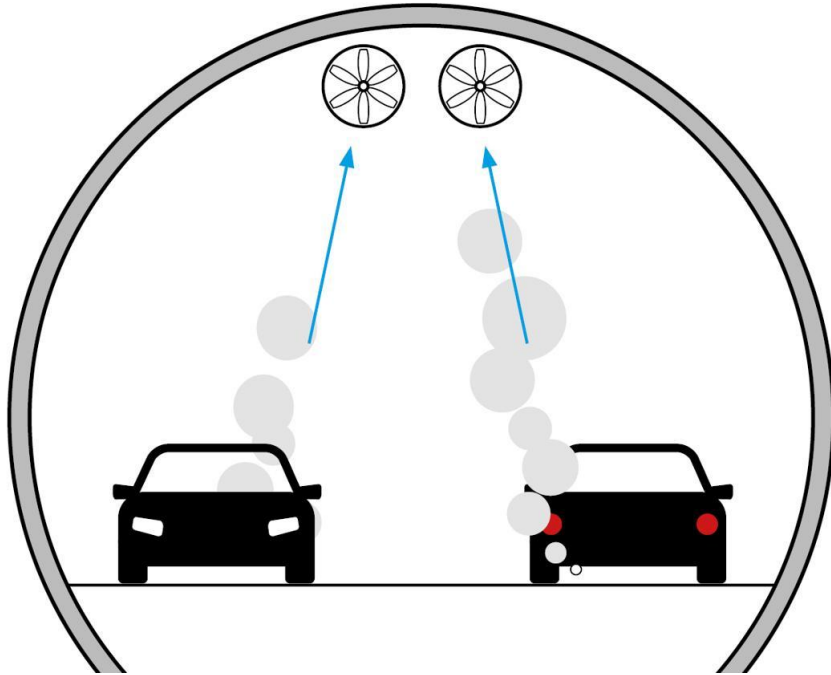
PM 2.5 and soot entering from outdoor intakes



Microbial load and humidity-related contaminants



Odors and VOCs from underground operations



Tunnel အမျိုးအစားပေါ် မူတည်၍ ညစ်ညမ်းပစ္စည်းများ ကွာခြားနိုင်သည်။

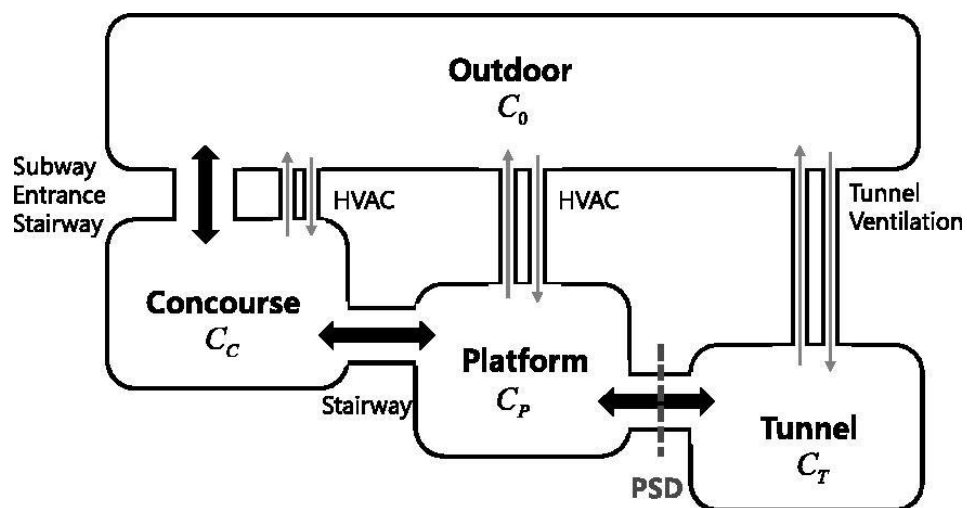
(က) Metro Rail Tunnel

- Carbon Dioxide (CO₂) – လူများအသက်ရှူခြင်းမှ
- PM_{2.5} / PM₁₀ – ဘရိတ်နှင့် ဘီးပွတ်တိုက်မှုမှ
- သံမှုန့် (Iron Dust)
- Ozone (အချို့ Electrical Equipment များမှ)
- အပူ (Heat)
- Humidity

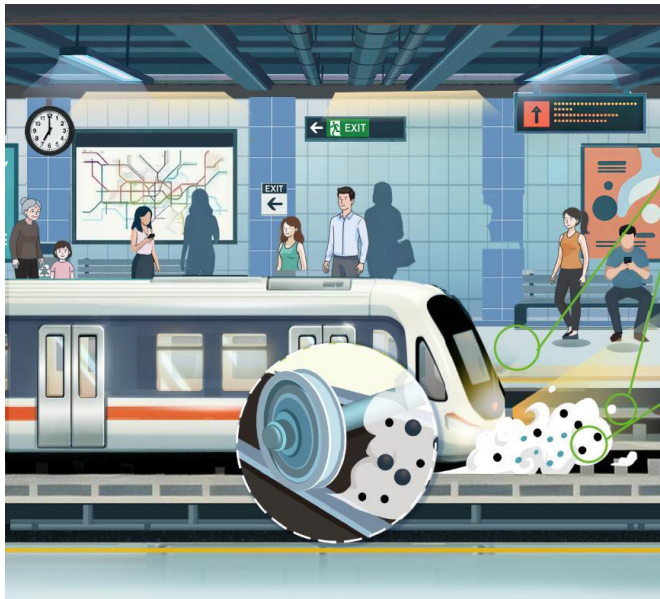
(ခ) Road Tunnel

- Carbon Monoxide (CO)
- Nitrogen Oxides (NO_x)
- Carbon Dioxide (CO₂)
- Diesel Particulate Matter
- Hydrocarbons (HC)
- PM_{2.5} / PM₁₀

၂။ Metro Tunnel တွင် CO₂ အားကြောင့် တက်လာသလဲ?



၃။ Brake Dust နှင့် Iron Dust

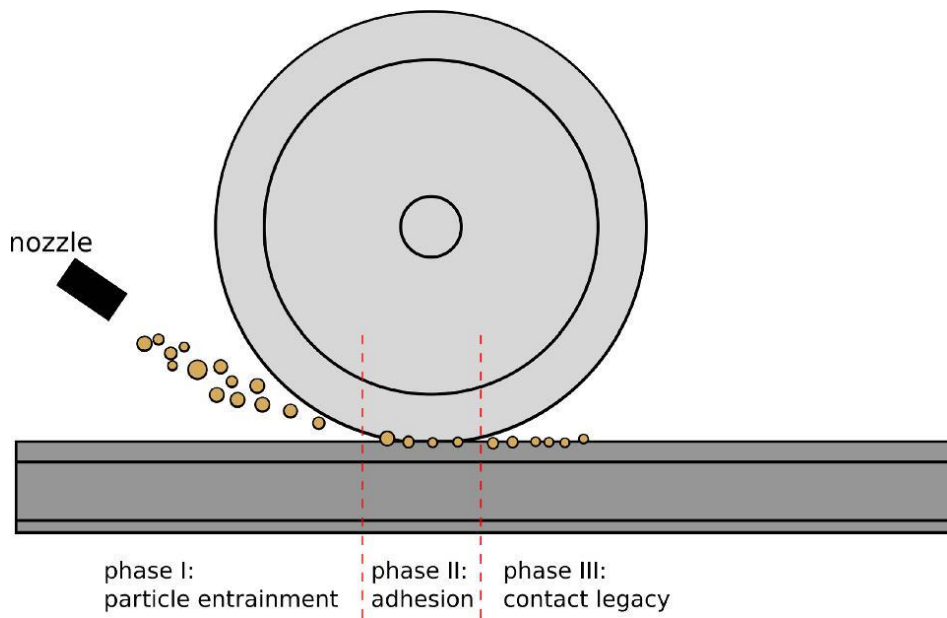
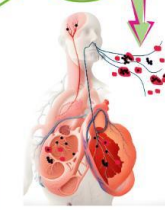
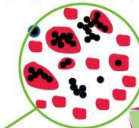


Dust particles on surfaces
 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ and other dust components



Ambient particles in subway air
Secondary aerosols

Fe_3O_4 core and SiO_2 coating
(magnetic particle)



ရထားဘရိတ်ဖမ်းချိန်နှင့်

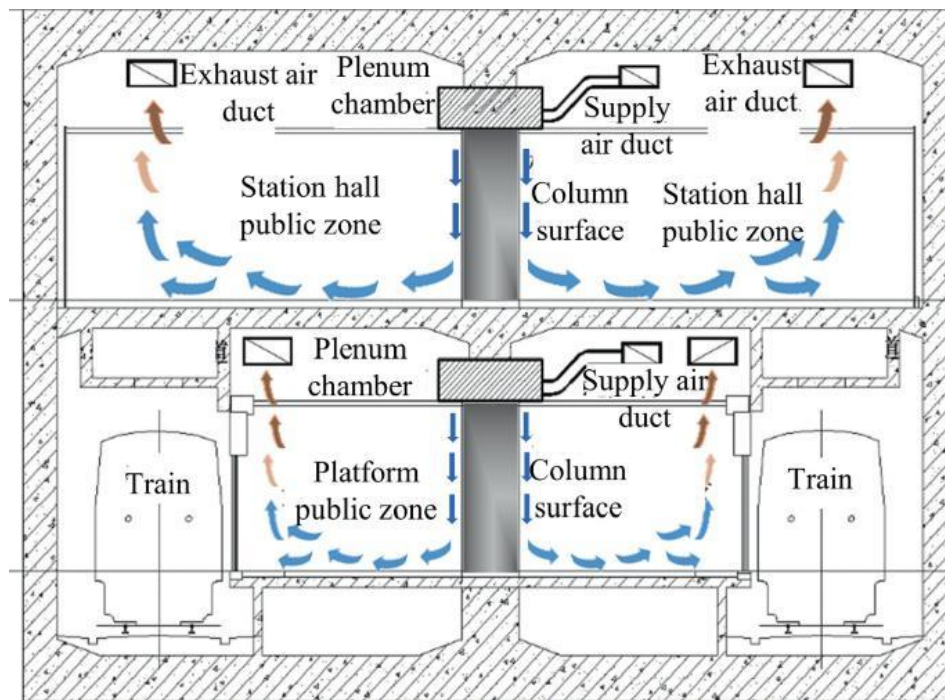
Steel Wheel နှင့် Rail ပွတ်တိုက်မှုကြောင့်

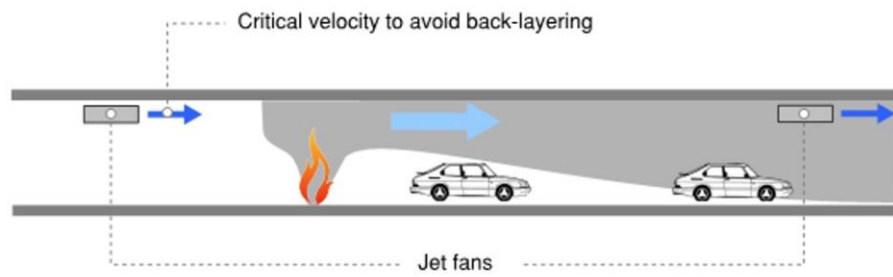
- Iron Particle
- Carbon Particle
- PM_{2.5}
- PM₁₀

များ ထွက်လာသည်။

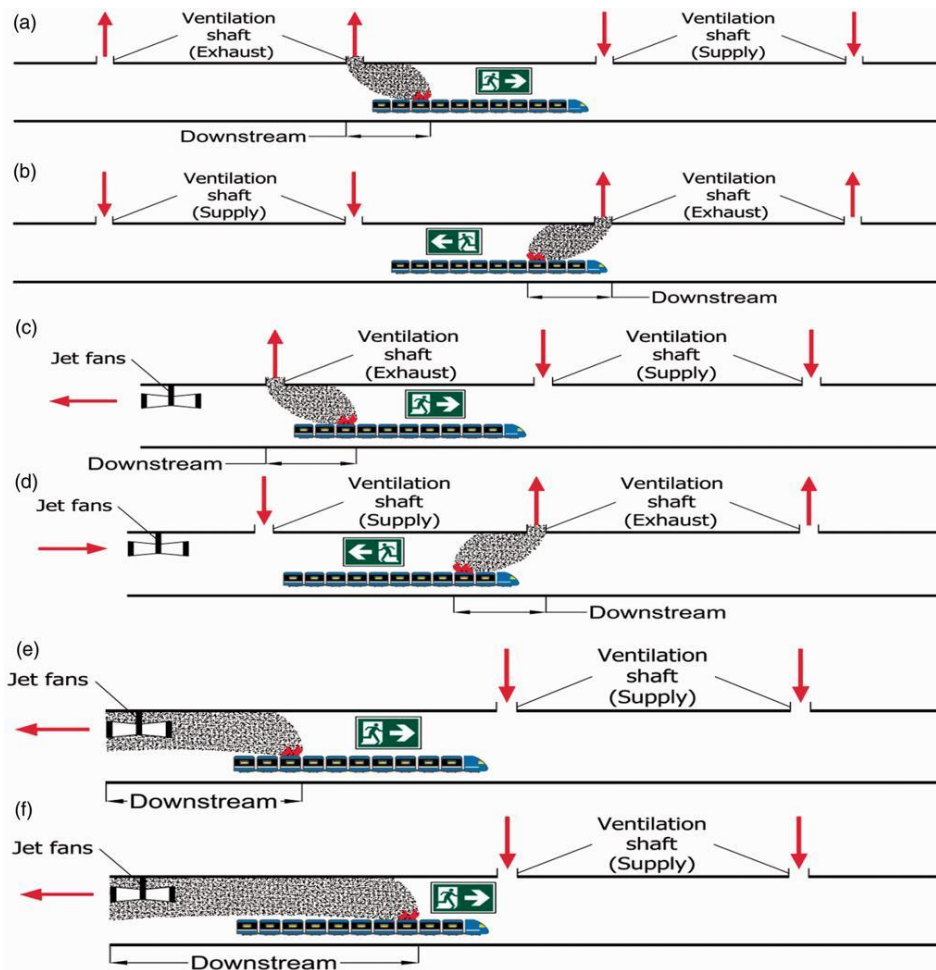
အဆိုပါ အမှုန်များကို Fresh Air နှင့် Exhaust System မရှိပါက Tunnel အတွင်း စုနေမည်ဖြစ်သည်။

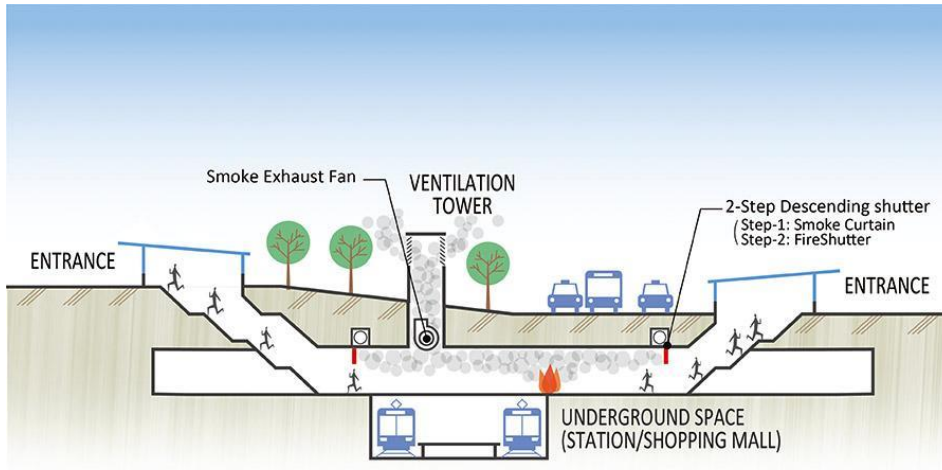
၄။ Tunnel Ventilation System





Smoke Extraction System





မီးလောင်လျှင်

အကြီးမားဆုံး အန္တရာယ်မှာ

Smoke

ဖြစ်သည်။

Smoke Extraction Fan သည်

- မီးခိုးကို အပေါ်ဘက်သို့ ဆွဲထုတ်ခြင်း
- Escape Route ကို မီးခိုးကင်းစေခြင်း
- Fire Fighter များ ဝင်ရောက်နိုင်စေခြင်း

တို့ကို လုပ်ဆောင်ပေးသည်။

၆။ Jet Fan System (Road Tunnel)

Road Tunnel များတွင်

Ceiling ပေါ်တွင်

Jet Fan များကို တပ်ဆင်ထားသည်။

Jet Fan များသည်

Tunnel တစ်လျှောက် လေကို တွန်းပို့ပြီး

CO၊ NO_x နှင့် Smoke များကို Portal သို့မဟုတ် Exhaust Shaft သို့ ရွှေ့ပေးသည်။

၇။ Metro Station HVAC System

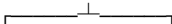
Fresh Air Intake



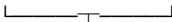
Fresh Air Filter



AHU



Platform Concourse



Exhaust Air



Exhaust Fan



Outdoor

၈။ Ventilation Design တွင် ထည့်သွင်းစဉ်းစားသော အချက်များ

အင်ဂျင်နီယာများသည်

- Passenger Load
- Train Frequency
- Heat Load
- Brake Heat
- Tunnel Length
- Tunnel Diameter
- Air Velocity
- Pressure Loss
- Fire Scenario
- Emergency Evacuation Time

တို့ကို တွက်ချက်ပြီး Fan Capacity နှင့် Duct Size ကို ရွေးချယ်ကြသည်။

၉။ အသုံးပြုသော Equipment





Tunnel Ventilation System တွင် အများအားဖြင့်

- Axial Ventilation Fans
- Jet Fans
- Smoke Exhaust Fans
- Air Handling Units (AHU)
- Dampers
- Fire Dampers
- CO Sensors
- CO₂ Sensors
- PM Sensors
- Temperature Sensors
- Building Management System (BMS)

တို့ကို အသုံးပြုသည်။

အင်ဂျင်နီယာအမြင်

Metro Tunnel နှင့် Underground Station များတွင် Mechanical Ventilation System သည် လေသန့်ပေးရန်အတွက်သာ မဟုတ်ဘဲ—

- CO₂ နှင့် အမှုန်အမွှားများ (PM_{2.5}၊ သံမှုန့်၊ Brake Dust) ကို ဖယ်ရှားရန်
- အပူနှင့် စိုထိုင်းဆကို ထိန်းချုပ်ရန်
- မီးလောင်ချိန်တွင် Smoke Extraction ပြုလုပ်ရန်
- ခရီးသည်များ ဘေးကင်းစွာ ထွက်ခွာနိုင်ရန်
- Fire Fighters များ အန္တရာယ်နည်းစွာ ဝင်ရောက်နိုင်ရန်

အတွက် အရေးပါသော Life Safety System တစ်ခု ဖြစ်ပါသည်။

မှတ်ချက် — လျှပ်စစ်ဖြင့် လည်ပတ်သော Metro Tunnel များတွင် **Carbon Monoxide (CO)** သည် ပုံမှန်လည်ပတ်နေစဉ် အဓိကညစ်ညမ်းဓာတ်ငွေ့ မဟုတ်ပါ။ CO သည် အများအားဖြင့် Road Tunnel များ (အတွင်းလောင်ကျွမ်းအင်ဂျင်သုံး ယာဉ်များ) သို့မဟုတ် Metro Tunnel အတွင်း မီးလောင်မှု ဖြစ်ပွားသည့်အခြေအနေတွင်သာ အရေးကြီးလာပါသည်။ Metro များတွင် ပုံမှန်အားဖြင့် CO₂၊ အမှုန်အမွှားများနှင့် အပူကို ထိန်းချုပ်ခြင်းက ပိုမိုအရေးကြီးပါသည်။

Solar PV Panel နှင့် Inverter မီးလောင်လျှင် ထွက်လာနိုင်သော ဓာတ်ငွေ့များ၊ လူ့ကျန်းမာရေးအန္တရာယ်နှင့် မီးသတ်နည်းများ

Solar PV System များတွင်

- Solar Panel (PV Module)
- DC Cable
- Junction Box
- Combiner Box
- Inverter
- Lithium Battery (Hybrid System ဖြစ်ပါက)

တို့ ပါဝင်သောကြောင့် မီးလောင်သည့်အခါ သာမန်လျှပ်စစ်မီးထက် ပိုမိုရှုပ်ထွေးသော ဓာတ်ငွေ့နှင့် အန္တရာယ်များ ဖြစ်ပေါ်နိုင်ပါသည်။

၁။ Solar Panel မီးလောင်လျှင် ဘာဓာတ်ငွေ့များ ထွက်နိုင်သလဲ?

Solar Panel တစ်ခုတွင် အဓိကပါဝင်သောပစ္စည်းများမှာ—

- Glass
- Silicon Solar Cell
- EVA Encapsulant (Ethylene Vinyl Acetate)
- Back Sheet (Polymer)
- Aluminum Frame
- Junction Box
- Cable Insulation

ဖြစ်သည်။

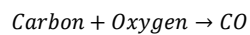
မီးလောင်သောအခါ အောက်ပါဓာတ်ငွေ့များ ဖြစ်နိုင်သည်။

(၁) Carbon Monoxide (CO)

အရေးကြီးဆုံး အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့တစ်မျိုး

ဖြစ်ပေါ်ရခြင်း—

Polymer / Plastic များ မပြည့်စုံစွာ လောင်ကျွမ်းခြင်း



အန္တရာယ်—

- အရောင်မရှိ
- အနံ့မရှိ
- သွေးထဲ Oxygen သယ်ယူမှုကို ပိတ်ဆို့

ဖြစ်စေသောကြောင့် အသက်အန္တရာယ်ရှိနိုင်သည်။

(၂) Carbon Dioxide (CO₂)

CO₂ သည် CO ကဲ့သို့ အဆိပ်ပြင်းမဟုတ်သော်လည်း—

- အများကြီးစုလျှင် Oxygen လျော့စေနိုင်သည်။
- အသက်ရှူရခက်စေနိုင်သည်။

(၃) Volatile Organic Compounds (VOC)

Solar Panel ၏ Polymer Material များမှ

- Formaldehyde
- Acetic Acid Vapour
- Organic Vapour

ကဲ့သို့ ဓာတ်ငွေ့များ ဖြစ်နိုင်သည်။

အကျိုးသက်ရောက်မှု—

- မျက်လုံးယား
- နှာခေါင်းယား
- အသက်ရှူလမ်းကြောင်း ထိခိုက်

(၄) Hydrogen Fluoride (HF) — အချို့အခြေအနေတွင်

Solar Panel အမျိုးအစားအများစုတွင် မဖြစ်မနေ မပါသော်လည်း၊ Fluorinated Polymer Material အချို့ပါဝင်ပါက HF ဖြစ်နိုင်သည်။

HF သည် အလွန်အန္တရာယ်ရှိပြီး—

- မျက်လုံး

- အရေပြား
- အဆုတ်

ကို ပြင်းထန်စွာ ထိခိုက်စေနိုင်သည်။

၂။ Inverter မီးလောင်လျှင် ဘာထွက်နိုင်သလဲ?

Inverter အတွင်းတွင်—

- PCB Board
- Epoxy Resin
- Plastic Housing
- Capacitor
- Semiconductor (IGBT/MOSFET)
- Cable Insulation

များ ပါဝင်သည်။

မီးလောင်လျှင်—

ဖြစ်နိုင်သော ဓာတ်ငွေ့များ

- Carbon Monoxide (CO)
- Carbon Dioxide (CO₂)
- VOC
- Acidic Smoke
- Plastic Fume

များ ထွက်နိုင်သည်။

Solar panel များ မီးလောင်သည့်အခါ သာမန်အဆောက်အဦးမီးလောင်မှုနှင့် မတူသည့် အန္တရာယ်တစ်ခုမှာ နေရောင်ရှိနေသရွေ့ PV panel များက DC လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ဆက်လက်ထုတ်ပေးနိုင်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် မီး၊ အပူ၊ မီးခိုးအပြင် လျှပ်စစ်အန္တရာယ်ကိုပါ ကာကွယ်ရပါသည်။

၁။ အခြေခံ PPE

- မီးသတ်ဝတ်စုံ (Fire-resistant turnout gear)
- မီးသတ်ဦးထုပ် (Helmet) နှင့် မျက်နှာအကာ (Face shield)
- Fire-resistant hood (Nomex hood)
- မီးသတ်လက်အိတ်
- Safety boots (လျှပ်စစ်အန္တရာယ်လျော့ချနိုင်သော၊ ချော်မလဲသောဖိနပ်)

၂။ အသက်ရှူကိရိယာ (Respiratory Protection)

- SCBA (Self-Contained Breathing Apparatus) ကို အသုံးပြုသင့်သည်။





- Solar panel များ မီးလောင်ချိန်တွင် ပလတ်စတစ် insulation၊ wiring နှင့် panel အစိတ်အပိုင်းများမှ အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့များနှင့် အမှုန်များ ထွက်နိုင်သောကြောင့် သာမန် mask မလုံလောက်ပါ။

၃။ လျှပ်စစ်အန္တရာယ်ကာကွယ်ရေး

- သင့်လျော်သော Electrical insulating gloves (လိုအပ်သည့် voltage အဆင့်အလိုက် သတ်မှတ်ထားသော အမျိုးအစား)
- Leather protector gloves (insulating gloves အပေါ်ထပ်ဝတ်ရန်)
- Arc-rated PPE ကို လိုအပ်သည့် အခြေအနေများတွင် အသုံးပြုရန်

၄။ မျက်စိနှင့် မျက်နှာကာကွယ်ရေး

- Face shield
- Safety goggles (ပျံ့ထွက်လာနိုင်သည့် အပိုင်းအစများမှ ကာကွယ်ရန်)

မီးသတ်ရာတွင် လိုက်နာသင့်သော အချက်များ

- PV system ကို inverter နှင့် disconnect switch များမှ ပိတ်နိုင်သမျှ ပိတ်ပါ။
- သို့သော် panel များသည် နေရောင်ရှိနေသရွေ့ DC voltage ရှိနိုင်သည် ကို သတိပြုပါ။

- လျှပ်စစ်ပစ္စည်းဟု ယူဆပြီး လုံခြုံရေးအကွာအဝေးကို ထိန်းသိမ်းပါ။
- အမိုးပေါ်ရှိ panel များအနီး သွားလာရာတွင် ပြုတ်ကျနိုင်သည့် အန္တရာယ်ကို သတိထားပြီး Fall protection ကို အသုံးပြုပါ။
- Battery Energy Storage System (BESS) ပါဝင်ပါက ဘက်ထရီမီးလောင်မှုအန္တရာယ်ကို သီးခြားစဉ်းစားရပါမည်။

၃။ Lithium Battery ပါသော Hybrid Solar System တွင် ပိုအန္တရာယ်ရှိသလား?

ဟုတ်ပါသည်။

Lithium Battery မီးလောင်လျှင်

- CO
- CO₂
- Hydrogen (H₂)
- Hydrocarbon Gas
- HF (အချို့ Battery Chemistry တွင်)

ထွက်နိုင်သည်။

အထူးအန္တရာယ်မှာ—

Thermal Runaway

Battery အပူလွန်လာခြင်း

↓

Internal Chemical Reaction

↓

Gas ထွက်

↓

Fire / Explosion

ဖြစ်နိုင်ခြင်း ဖြစ်သည်။

၄။ Solar PV မီးက ဘာကြောင့် ထူးခြားသလဲ?

Solar Panel သည် နေရောင်ရှိနေသရွေ့

DC Voltage ထုတ်နေဆဲ ဖြစ်သည်။

ဥပမာ—

- String Voltage = 600V DC
- Utility Scale PV = 1000V–1500V DC

ဖြစ်နိုင်သည်။

ထို့ကြောင့်

AC Breaker ပိတ်ထားသော်လည်း

Panel ဘက်တွင် DC Voltage ကျန်နိုင်သည်။

၅။ ဘယ်မီးသတ်ဆေးဘူးကို သုံးသင့်သလဲ?

(၁) Inverter / Electrical Panel Fire

အကြံပြု—

CO₂ Fire Extinguisher

အားသာချက်—

- လျှပ်စစ်ပစ္စည်းကို မပျက်စီးစေ
- Residue မကျန်

အသုံးပြုရန်သင့်သောနေရာ—

- Inverter Room
- Electrical Panel
- Control Room

(၂) ABC Dry Chemical Powder

အသုံးပြုနိုင်သည်။

သင့်တော်သောမီးအမျိုးအစား—

- Plastic
- Cable
- Electrical Equipment

သို့သော်

Powder ကျန်ရှိသောကြောင့် Electronics ကို နောက်ပိုင်းသန့်ရှင်းရန်လိုသည်။

ပေါင်းစပ်အသုံးပြုပါက မီးလောင်မှုအန္တရာယ်ကို သိသိသာသာ လျော့ချနိုင်ပါသည်။





Solar PV Array မီးလောင်မှုသည် သာမန် Electrical Fire မဟုတ်ဘဲ **DC High Voltage** (600–1500 VDC

(၃) Lithium Battery Fire

Lithium Battery မီးတွင်—

- Water Mist
- Specialized Lithium Battery Fire Extinguisher

အသုံးပြုမှုကို စဉ်းစားရသည်။

အဓိကရည်ရွယ်ချက်မှာ—

Battery Temperature ကို လျှော့ချခြင်း

ဖြစ်သည်။

၄။ Solar Runaway Heat ဖြစ်တတ်သလား?

Solar Panel ကိုယ်တိုင် **Thermal Runaway** မဖြစ်ပါ။

သို့သော် Solar PV System တွင်

- DC Arc Fault
- Hot Spot
- Loose MC4 Connector
- Cable Overheating
- Junction Box Failure
- Inverter Failure

တို့ကြောင့် အပူတက်ခြင်းနှင့် မီးလောင်မှု ဖြစ်နိုင်ပါသည်။

Battery Room တွင် ဖြစ်သော Thermal Runaway နှင့် သဘောတရား မတူပါ။

၆။ မသုံးသင့်သော မီးသတ်နည်းများ

- ❌ ရိုးရိုးရေကို Live Electrical Equipment ပေါ် တိုက်ရိုက်မပတ်သင့်ပါ။
- ❌ မီးလောင်နေသော PV Panel ကို လက်ဖြင့် မထိပါနှင့်။
- ❌ Solar String Cable များကို အန္တရာယ်ကင်းကြောင်း မသေချာမချင်း မဖြတ်ပါနှင့်။

၇။ Solar PV Fire Safety Design

မဖြစ်မနေ ထည့်သွင်းသင့်သောအရာများ

(၁) DC Isolator

Panel String ကို ခွဲထုတ်ရန်။

(၂) Surge Protection Device (SPD)

Lightning / Surge ကာကွယ်ရန်။

(၃) Proper Earthing

Fault Current လမ်းကြောင်းပေးရန်။

(၄) Emergency Shutdown

Rapid Shutdown System (လိုအပ်သော Design များတွင်)

(၅) Ventilation

Battery Room နှင့် Inverter Room တွင်

- Fresh Air
- Exhaust Fan
- Gas Detection

လိုအပ်နိုင်သည်။

၈။ သက်ဆိုင်သော Safety Standards

Solar PV Fire Safety အတွက်—

- IEC 62446 – PV System Documentation and Commissioning
- IEC 60364-7-712 – Solar PV Electrical Installation
- NFPA 855 – Energy Storage Systems
- NFPA 70 (NEC) Article 690 – Solar Photovoltaic Systems
- NFPA 70E – Electrical Safety in the Workplace
- IEC 62933 – Electrical Energy Storage Systems

တို့ကို ကိုးကားအသုံးပြုကြသည်။

မီးလောင်သောနေရာ အဓိကအန္တရာယ်

Solar Panel	CO, VOC, Smoke, Polymer Fume
Inverter	CO, Plastic Fume, Acidic Smoke
Lithium Battery	Thermal Runaway Gas, CO, HF ဖြစ်နိုင်
DC System	Shock / Arc Flash

Solar PV မီးလောင်မှုတွင် လူကို အန္တရာယ်ပေးသည့် အဓိကအချက် ၃ ခုမှာ—

1. Toxic Smoke (CO နှင့် အခြား Fume များ)
2. High Voltage DC Shock / Arc Flash
3. Battery Thermal Runaway (Hybrid System များ)

ဖြစ်ပါသည်။

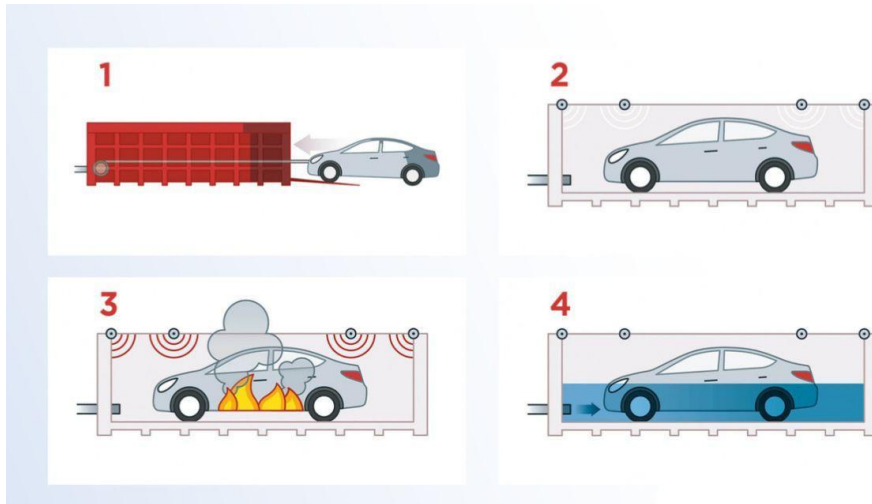
ထို့ကြောင့် Solar PV Site များတွင် CO₂ Extinguisher + ABC Dry Powder + Emergency DC Isolation + Proper Ventilation + Fire Detection System များကို Design အဆင့်မှစ၍ ထည့်သွင်းသင့်ပါသည်။

၉။ နိုင်ငံတကာဥပဒေများ၏ အဓိကအခြေခံသဘောတရား

နိုင်ငံအများစုတွင် Lithium Battery များအတွက် အောက်ပါမူများကို အသုံးပြုကြပါသည်။

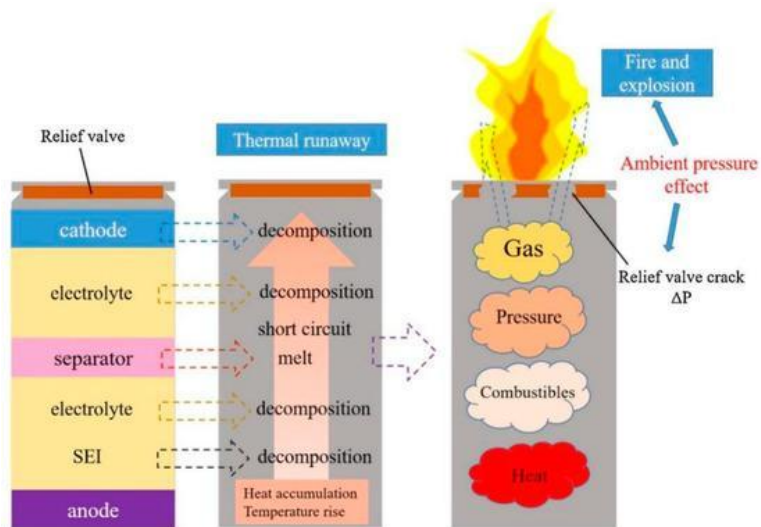
- **Extended Producer Responsibility (EPR)** – ထုတ်လုပ်သူ သို့မဟုတ် တင်သွင်းသူသည် Battery ပြန်လည်စုဆောင်းခြင်းနှင့် Recycling အတွက် တာဝန်ယူရသည်။
- Battery များကို အိမ်သုံးအမှိုက်နှင့် မရောစွန့်ပစ်ရ။
- လိုင်စင်ရ Battery Collection Center သို့မဟုတ် Recycling Facility သို့သာ ပို့ဆောင်ရသည်။
- ပျက်စီးနေသော Battery များကို Dangerous Goods အဖြစ် သတ်မှတ်၍ အထူးသယ်ယူပို့ဆောင်ရေး စည်းမျဉ်းများကို လိုက်နာရသည်။

EV (Electric Vehicle) ကားတစ်စီး မီးလောင်မှုသည် ဓာတ်ဆီကားမီးလောင်မှုနှင့် မတူပါ။ အထူးသဖြင့် High-Voltage Lithium-ion Battery Pack မီးလောင်ပါက Thermal Runaway ဖြစ်နိုင်ပြီး မီးငြိမ်းပြီးနောက် နာရီများ သို့မဟုတ် ရက်များအကြာတွင်ပင် ပြန်လည်မီးလောင်နိုင်ပါသည်။



အရေးကြီးသောအချက် - Lithium Battery မီးလောင်မှုသည် သာမန် Electrical Fire နှင့် မတူပါ။ **Thermal Runaway** ဖြစ်လာပါက မီး၊ အပူနှင့် အဆိပ်ဓာတ်ငွေ့များကို အချိန်ကြာမြင့်စွာ ထုတ်လွှတ်နိုင်ပြီး ပြန်လည်မီးထနိုင် (Re-ignition) သော အန္တရာယ်ရှိပါသည်။

၁။ Lithium Battery မီးလောင်လျှင် ထွက်နိုင်သော ဓာတ်ငွေ့များ



Battery Chemistry (NMC, NCA, LFP စသည်) အပေါ်မူတည်၍ အောက်ပါဓာတ်ငွေ့များ

ထွက်နိုင်သည်။

Gas	အန္တရာယ်
Hydrogen (H ₂)	ပေါက်ကွဲနိုင်သော ဓာတ်ငွေ့
Carbon Monoxide (CO)	အဆိပ်ပြင်း
Carbon Dioxide (CO ₂)	Oxygen လျော့နည်းစေနိုင်
Hydrogen Fluoride (HF)	အလွန်အဆိပ်ပြင်း၊ မျက်စိနှင့် အသက်ရှူလမ်းကြောင်းကို ထိခိုက်စေသည်
Methane (CH ₄)	မီးလောင်နိုင်
Ethylene (C ₂ H ₄)	မီးလောင်နိုင်
Ethane (C ₂ H ₆)	မီးလောင်နိုင်
Propylene (C ₃ H ₆)	မီးလောင်နိုင်
VOCs (Volatile Organic Compounds)	ကျန်းမာရေးထိခိုက်စေနိုင်

Hydrogen Fluoride (HF) သည် Lithium-ion Battery Fire တွင် အထူးစိုးရိမ်ရသော ဓာတ်ငွေ့ဖြစ်ပြီး Fire Fighter များသည် SCBA (Self-Contained Breathing Apparatus) ဖြင့်သာ ဝင်ရောက်ငြိမ်းသတ်ကြသည်။

၂။ ဘယ် Fire Extinguisher ကို အသုံးပြုသင့်သလဲ?



Fire Extinguisher ရွေးချယ်မှုသည် **Battery Chemistry** နှင့် **မီးလောင်မှုအဆင့်** ပေါ်မူတည်သည်။

Initial Stage (အစပိုင်း)

- ABC Dry Chemical
- Clean Agent (အီလက်ထရွန်းနစ်ပစ္စည်းကာကွယ်ရန်)

တို့သည် အစပိုင်းမီးကို ထိန်းနိုင်သော်လည်း **Thermal Runaway** ကို မရပ်တန့်နိုင်ပါ။

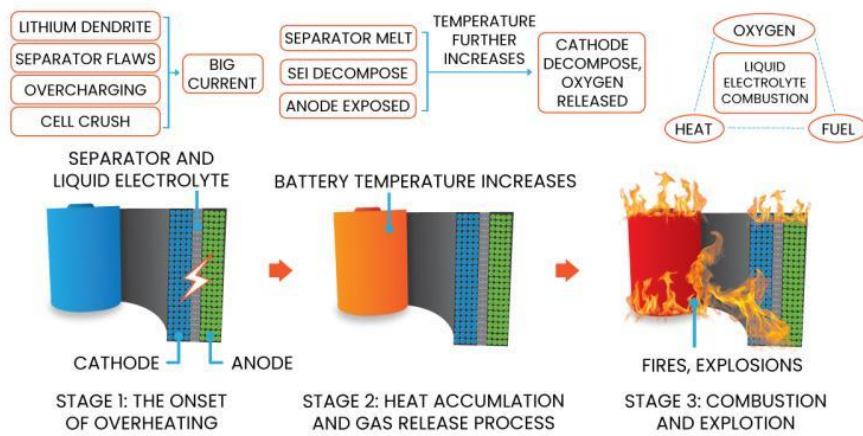
Thermal Runaway ဖြစ်ပြီးသားအခြေအနေ

အဓိကရည်ရွယ်ချက်မှာ Battery ကို အအေးခံခြင်း (Cooling) ဖြစ်သည်။

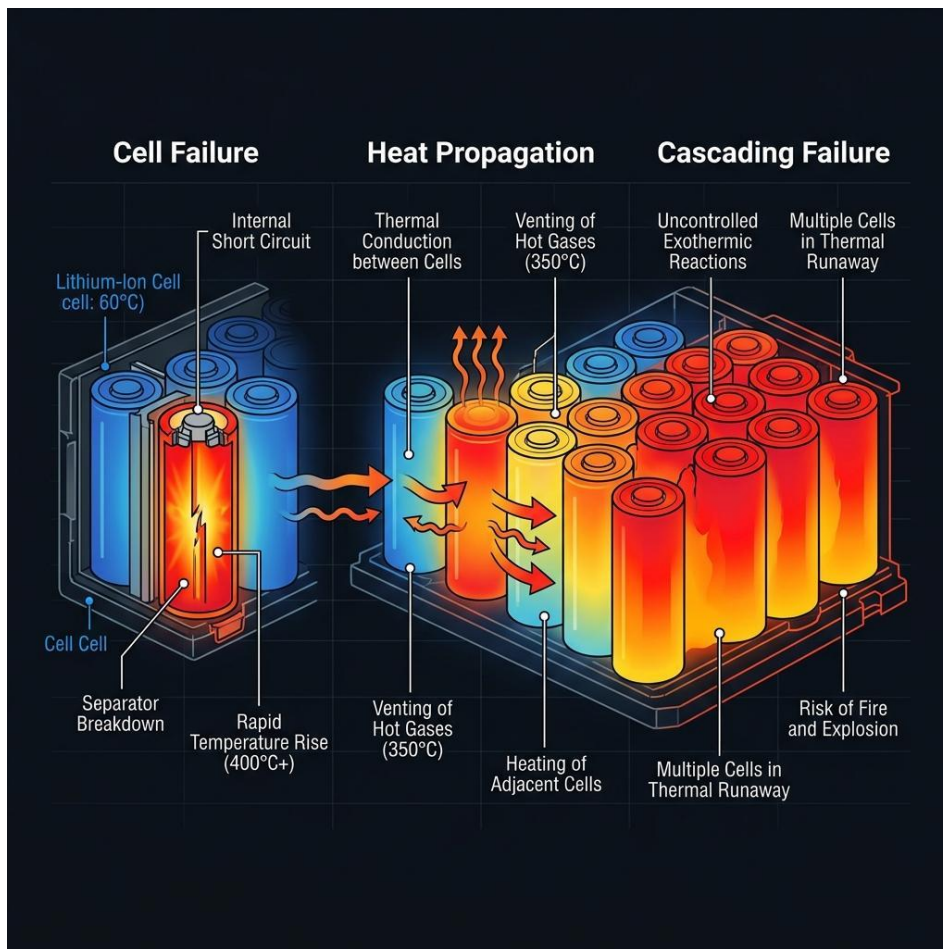
- ရေကို အများအပြား အသုံးပြု၍ အပူလျှော့ချခြင်းသည် လက်ရှိ Fire Service များတွင် အရေးကြီးသော နည်းလမ်းတစ်ခုဖြစ်သည်။

- Clean Agent တစ်မျိုးတည်းဖြင့် Thermal Runaway ကို အပြည့်အဝ ရပ်တန့်စေနိုင်သည်ဟု မယူဆသင့်ပါ။

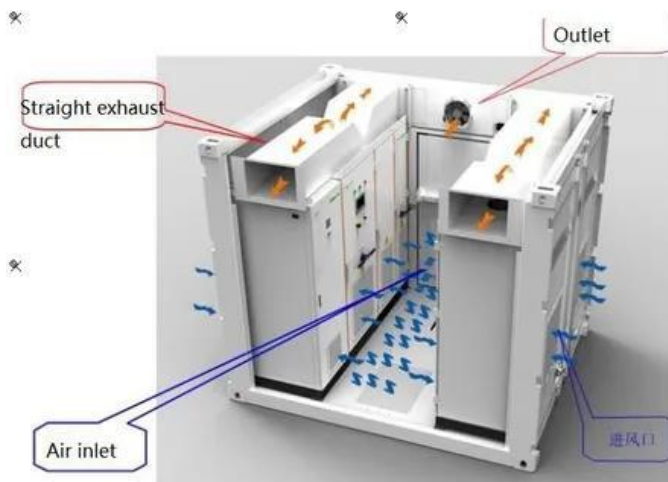
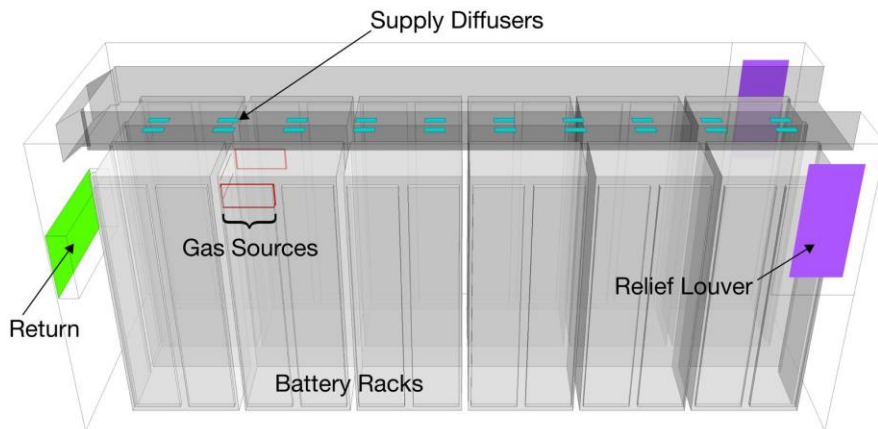
၃။ Thermal Runaway ဆိုတာ ဘာလဲ?



Stages of Thermal Runaway in Lithium Batteries



Solar Battery Room (BESS) Ventilation Design (Engineering Level)



Lithium Battery Room (Battery Energy Storage System - BESS) ၏ Ventilation Design သည်
သာမန် Electrical Room Ventilation နှင့် မတူပါ။ ရည်ရွယ်ချက်မှာ

1. Battery အပူချိန်ကို ထိန်းချုပ်ရန်
2. Thermal Runaway ဖြစ်ပါက အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့များကို ဖယ်ရှားရန်

3. Explosive Gas Concentration မဖြစ်စေရန်
4. Battery Performance နှင့် Battery Life ကို ထိန်းသိမ်းရန်
5. Fire Fighter များ လုံခြုံစွာ ဝင်ရောက်နိုင်ရန်

ဖြစ်ပါသည်။

Ventilation အမျိုးအစား

(၁) Normal Ventilation

Battery အပူကို ဖယ်ရှားရန်

- Supply Air Fan
- Exhaust Fan
- Air Conditioner (သို့) Precision Air Conditioner

တို့ကို အသုံးပြုသည်။

(၂) Emergency Ventilation

Gas Detector မှ

HF

Hydrogen

CO

ကို Detect လုပ်ပါက

Exhaust Fan ကို High Speed ဖြင့် Auto Start လုပ်ပြီး အန္တရာယ်ရှိသော ဓာတ်ငွေ့များကို အပြင်သို့ ထုတ်ပေးသည်။

Air Change Rate (ACH)

Room Type	Recommended ACH
-----------	-----------------

Battery Room (Normal)	6–10 ACH
-----------------------	----------

Large BESS	8–12 ACH
------------	----------

Emergency Purge	15–20 ACH (Risk Assessment အရ)
-----------------	--------------------------------

ACH သည် Code တစ်ခုတည်းမှ သတ်မှတ်ထားသော တန်ဖိုးမဟုတ်ဘဲ Battery Manufacturer နှင့် Fire Risk Assessment အပေါ်မူတည်၍ ရွေးချယ်ရပါသည်။

Example Calculation

Battery Room

Length = 12 m

Width = 8 m

Height = 4 m

Volume

$$12 \times 8 \times 4 = 384 \text{ m}^3$$

ACH

10

လိုချင်သည်။

Airflow

$$Q = Volume \times ACH$$
$$384 \times 10 = 3840 \text{ m}^3/\text{hr}$$

CFM

$$3840 \times 0.589 = 2262 \text{ CFM}$$

ထိုးကြောင့်

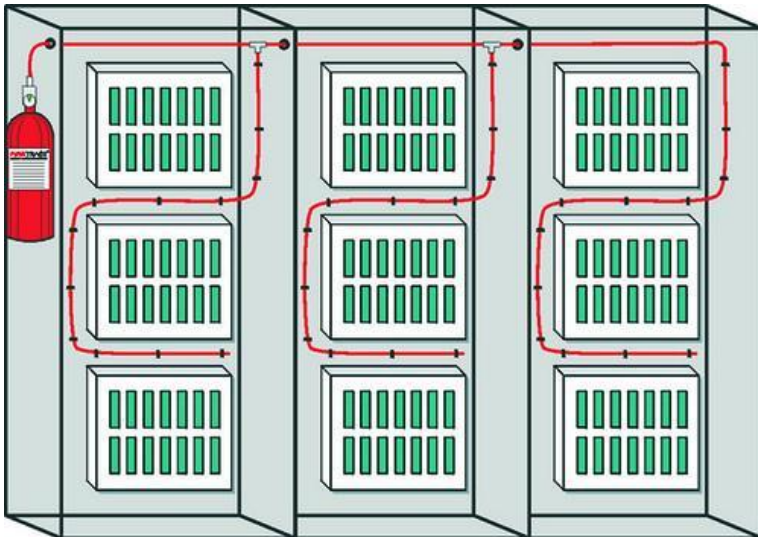
Supply = 3,840 m³/h

Exhaust = 3,840 m³/h

ကို အခြေခံ၍ Fan ရွေးချယ်နိုင်ပါသည်။

၅။ Design အစကတည်းက Gas Suppression စဉ်းစားသင့်သလား?

အဖြေမှာ "စဉ်းစားသင့်သည်" ဖြစ်သော်လည်း Gas Suppression တစ်ခုတည်းကို မမှီခိုသင့်ပါ။



Professional BESS Design တွင် အများအားဖြင့်

- Early Smoke Detection (ဥပမာ Aspirating Smoke Detection)
- Gas Detection (HF, H₂, CO)
- Mechanical Exhaust Ventilation
- Thermal Monitoring
- Battery Management System (BMS)
- Fire Alarm System
- Fire Separation
- လိုအပ်သည့် Fire Suppression System

တို့ကို ပေါင်းစပ်ဒီဇိုင်းဆွဲကြသည်။

၆။ Novec 1230 နှင့် FM-200

Item	Novec 1230 FM-200	
အမျိုးအစား	Clean Agent Clean Agent	
လူရှိနေချိန် အသုံးပြုနိုင်မှု	သင့်လျော်	သင့်လျော်
Residue	မကျန်	မကျန်
Electronics	ကောင်း	ကောင်း
Battery Thermal Runaway ကို Cooling	X	X
Re-ignition Risk	ရှိနိုင်	ရှိနိုင်

အရေးကြီးသည်မှာ Novec 1230 နှင့် FM-200 သည် မီးတောက်ကို ထိန်းချုပ်နိုင်သော်လည်း Battery Cell အတွင်း Thermal Runaway ကို အလိုအလျောက် ရပ်တန့်စေသည့် Cooling မပေးနိုင်ပါ။

၇။ Professional BESS Fire Protection Design

Battery Room တစ်ခုအတွက် အများအားဖြင့် အောက်ပါစနစ်များကို ပေါင်းစပ်အသုံးပြုကြသည်။

- Battery Management System (BMS)
- Temperature Monitoring
- Smoke Detection
- HF / H₂ / CO Gas Detection
- Mechanical Exhaust Ventilation
- Explosion Relief (လွှဲအပ်ပါက)
- Fire-Rated Room

- Emergency Shutdown
- Fire Alarm
- Site Risk Assessment အရ သင့်လျော်သော Fire Suppression System

မဖြစ်မနေ ကိုးကားလေ့ရှိသော Standards

Battery Energy Storage System (BESS) Fire Safety Design တွင် အောက်ပါ Standards များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။

- **NFPA 855** – Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems
- **NFPA 70 (NEC)** – National Electrical Code
- **NFPA 72** – Fire Alarm and Signaling Code
- **NFPA 68** – Explosion Protection by Deflagration Venting (လိုအပ်သည့်နေရာများ)
- **UL 9540** – Energy Storage Systems
- **UL 9540A** – Thermal Runaway Fire Propagation Test
- **FM Global Data Sheets** (သင့်လျော်သည့် အပိုင်းများ)
- **IEC 62933** စီးရီး (Energy Storage Systems)

Engineering Recommendation

100 kWh မှ Multi-MWh အထိ Solar BESS Plant Room များတွင် "Novec သုံးမလား၊ FM-200 သုံးမလား" ဟုသာ မဆုံးဖြတ်သင့်ပါ။

ပထမဦးစွာ

1. Battery Chemistry (LFP, NMC စသည်)
2. Battery Capacity
3. Room Volume
4. Ventilation Design
5. Gas Detection
6. Thermal Runaway Analysis
7. Fire Risk Assessment

တို့ကို ပြုလုပ်ပြီးမှ Fire Suppression Strategy ကို ရွေးချယ်သင့်ပါသည်။

လက်ရှိစက်မှုလုပ်ငန်းအလေ့အကျင့်တွင် **Gas Detection + Early Detection + Ventilation + Fire Alarm + သင့်လျော်သော Suppression + Emergency Response** တို့ကို ပေါင်းစပ်ထားသော Multi-layer Protection ကို အသုံးပြုခြင်းသည် အကောင်းဆုံးနည်းလမ်းအဖြစ် လက်ခံထားကြပါသည်။





EV ကားတွင် မီးလောင်နိုင်သော နေရာ ၃ မျိုး

(၁) အတွင်းခန်း (Cabin) မီးလောင်ခြင်း

- Seat
- Dashboard
- Plastic
- Upholstery

→ ABC Dry Powder သို့မဟုတ် Water (သာမန် Class A Fire အဖြစ်) ဖြင့် ဖြိုခွဲနိုင်ပါသည်။

(၂) Motor/Inverter/Electrical Equipment မီးလောင်ခြင်း

- Inverter
- DC/DC Converter
- On-board Charger
- Wiring

→ CO₂ Fire Extinguisher သို့မဟုတ် ABC Dry Powder ကို ကနဦးအသုံးပြုနိုင်ပါသည်။

(၃) High-Voltage Battery Pack မီးလောင်ခြင်း (အန္တရာယ်အများဆုံး)

Battery Cell များ Thermal Runaway ဖြစ်နေပါက—

- Dry Powder သည် မီးတောက်ကို ခဏတာထိန်းနိုင်သော်လည်း Cell အတွင်းအပူကို မလျော့နိုင်ပါ။
- CO₂ သည် Battery Cell ကို အအေးမပေးနိုင်သဖြင့် ပြန်လည်မီးလောင်နိုင်ပါသည်။

အဓိကရည်ရွယ်ချက်မှာ Battery ကို အပူလျှော့ (Cooling) လုပ်ရန် ဖြစ်သည်။

မီးသတ်ဆေးဘူး အမျိုးအစားများ

မီးအမျိုးအစား သင့်တော်သော မီးသတ်ဆေး

Cabin Fire  ABC Dry Powder / Water

Electrical Equipment  CO₂ / ABC Dry Powder

Battery Pack Fire Dry Powder သို့မဟုတ် CO₂ သည် ကနဦးထိန်းချုပ်မှုသာ၊ Battery Cell အတွက် Cooling လိုအပ်

မှတ်ချက် – EV Battery Pack မီးလောင်မှုတွင် အတွေ့အကြုံရှိ မီးသတ်တပ်ဖွဲ့များသည် Battery ကို ကြာရှည်စွာ အအေးပေးခြင်း (Cooling) ကို အဓိကဆောင်ရွက်ကြပါသည်။

အရေးပေါ်အခြေအနေတွင် လုပ်ဆောင်ရမည့် အစဉ်

EV Fire တွေ့ရှိ



၁။ လူများကို ချက်ချင်း ကယ်ထုတ်ပါ



၂။ ၅၀ မီတာခန့် အကွာသို့ ရွှေ့ပါ



၃။ မီးသတ်ဌာနကို ခေါ်ပါ



၄။ Cabin/Electrical Fire သေးငယ်ပါက

ABC သို့မဟုတ် CO₂ ဖြင့် ကနဦးငြိမ်းသတ်ရန် ကြိုးစားနိုင်



၅။ Battery Pack မီးလောင်နေပါက

မချဉ်းကပ်ဘဲ မီးသတ်တပ်ဖွဲ့ကို လွှဲပေးပါ

EV Battery Fire ၏ အန္တရာယ်များ

Battery မီးလောင်စဉ် ထွက်နိုင်သော ဓာတ်ငွေ့များမှာ

- Hydrogen (H₂)
- Carbon Monoxide (CO)
- Carbon Dioxide (CO₂)
- Hydrogen Fluoride (HF)

HF သည် အလွန်အဆိပ်ရှိပြီး အသက်ရှူလမ်းကြောင်း၊ မျက်စိနှင့် အရေပြားကို ထိခိုက်စေနိုင်သောကြောင့် မီးခိုးကို မရှူသင့်ပါ။

မလုပ်သင့်သော အရာများ

Battery Pack ကို မောက်ဖွင့်ရန် မကြိုးစားပါနှင့်။

လိမ္မော်ရောင် (Orange) High-Voltage Cable များကို မကိုင်ပါနှင့်။

မီးငြိမ်းသွားပြီဟု ယူဆပြီး ချက်ချင်း Tow မဆွဲပါနှင့် (ပြန်လည်မီးလောင်နိုင်ပါသည်။)

Battery မှ ထွက်လာသော အငွေ့များကို မရှူပါနှင့်။

EV Service Center နှင့် Rescue Team များတွင် ထားရှိသင့်သော ပစ္စည်းများ

- ABC Dry Powder Fire Extinguisher
- CO₂ Fire Extinguisher
- High-Voltage Insulated Gloves
- Face Shield
- Thermal Camera
- High-Voltage Rescue Hook
- Gas Detector (HF Detect လုပ်နိုင်ပါက ပိုကောင်း)

ပထမဆုံး အသုံးပြုသင့်သော မီးသတ်ဆေးဘူးသည် မီးလောင်သည့်နေရာပေါ်မူတည်ပါသည်။

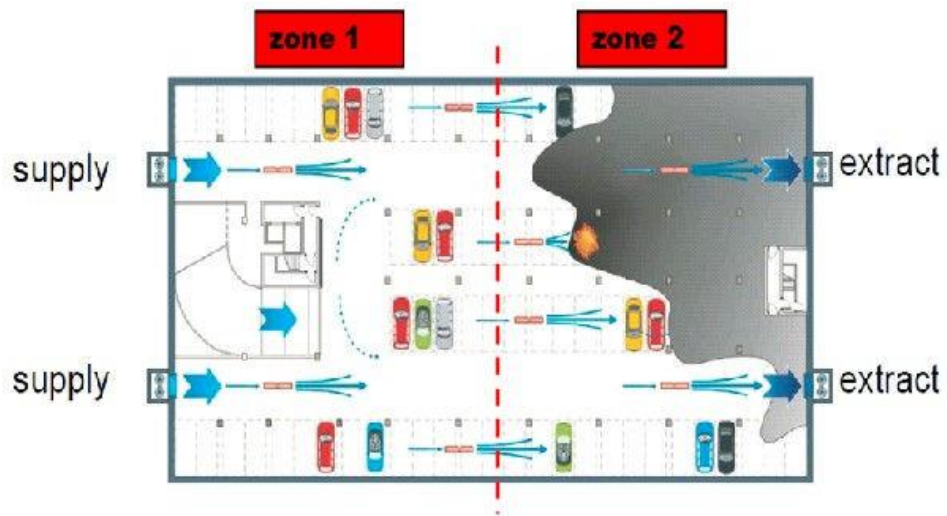
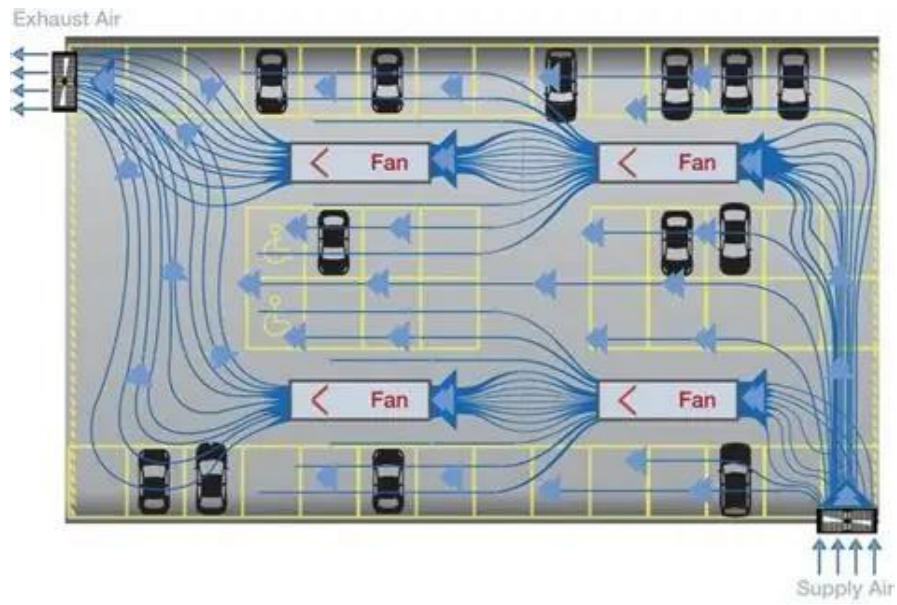
- Cabin သို့မဟုတ် အတွင်းခန်းမီး → ABC Dry Powder သို့မဟုတ် ရေ
- Electrical Equipment မီး → CO₂ သို့မဟုတ် ABC Dry Powder
- Battery Pack မီး → Dry Powder သို့မဟုတ် CO₂ သည် ကနဦးထိန်းချုပ်မှုအတွက်သာ အသုံးဝင်ပြီး
Battery Cell အပူကို လျော့ချရန် Cooling လိုအပ်ပါသည်။

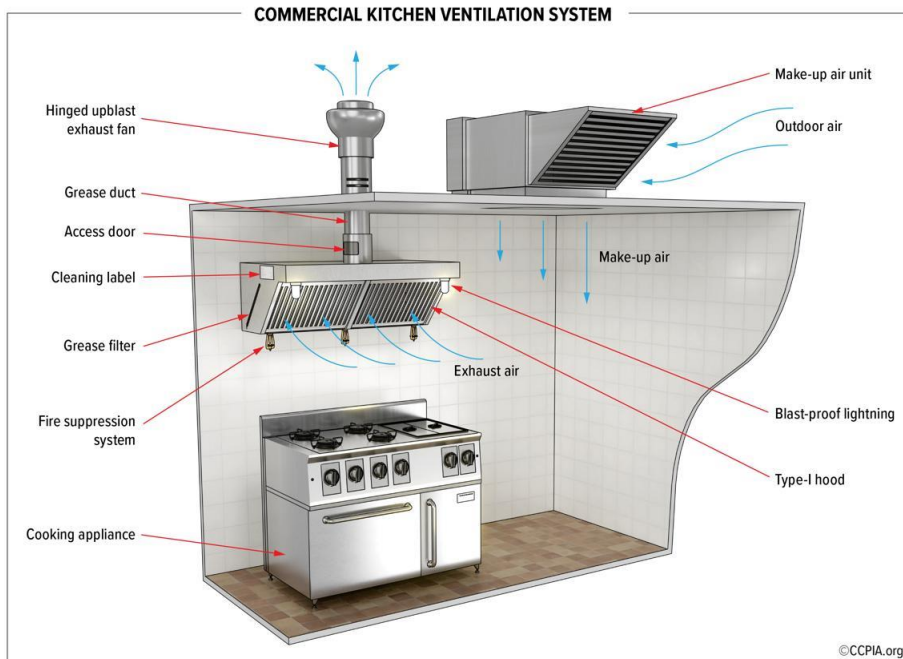
Battery Pack မီးလောင်မှုသည် အန္တရာယ်အလွန်မြင့်သော အရေးပေါ်အခြေအနေဖြစ်သောကြောင့် လူများကို ဦးစွာကယ်ထုတ်ပြီး မီးသတ်တပ်ဖွဲ့ကို ချက်ချင်းခေါ်ဆိုခြင်းသည် အလုံခြုံဆုံး လုပ်ဆောင်ချက်ဖြစ်ပါသည်။

ဟုတ်ပါသည်။ **Solar PV Panel (Module)** များသည် သက်တမ်းကုန်ပြီး (ပုံမှန်အားဖြင့် 25–35 နှစ်) စွမ်းဆောင်ရည် ကျဆင်းလာသောအခါ **Electronic Waste (E-waste)** သို့မဟုတ် **Photovoltaic Waste (PV Waste)** အဖြစ် စနစ်တကျ စုဆောင်း၊ ပြန်လည်အသုံးပြု (Reuse) သို့မဟုတ် ပြန်လည်ထုတ်လုပ် (Recycle) လုပ်ရပါသည်။ အမှိုက်ပုံထဲသို့ တိုက်ရိုက်စွန့်ပစ်ခြင်းကို နိုင်ငံအများအပြားတွင် မအားပေးပါ။

Car Park Ventilation System







Hotel နှင့် Restaurant များသည် လူအများ စုဝေးအသုံးပြုသော **Life Safety Buildings** ဖြစ်သောကြောင့် Mechanical Ventilation နှင့် Smoke Control System သည် **သက်သာချောင်ချိရေး (Comfort)** အတွက်သာမက **အသက်အန္တရာယ်ကာကွယ်ရေး (Life Safety)** အတွက်ပါ အလွန်အရေးကြီးပါသည်။

အဓိကရည်ရွယ်ချက်များမှာ

- လူများအတွက် Fresh Air လုံလောက်စွာပေးရန်
- မီးဖိုချောင်မှ Heat၊ Grease၊ Smoke နှင့် Odor ကို ဖယ်ရှားရန်
- CO₂ နှင့် Indoor Air Pollutants ကို လျှော့ချရန်
- မီးလောင်ချိန်တွင် Smoke ကို ထိန်းချုပ်ပြီး ထွက်ပြေးလမ်း (Means of Egress) ကို အသုံးပြုနိုင်စေရန်

- မီးသတ်တပ်ဖွဲ့ဝင်ရောက်ကယ်ဆယ်ရာတွင် မြင်ကွင်းကောင်းစေရန်

Hotel နှင့် Restaurant တွင် ပါဝင်သော Mechanical Ventilation Systems

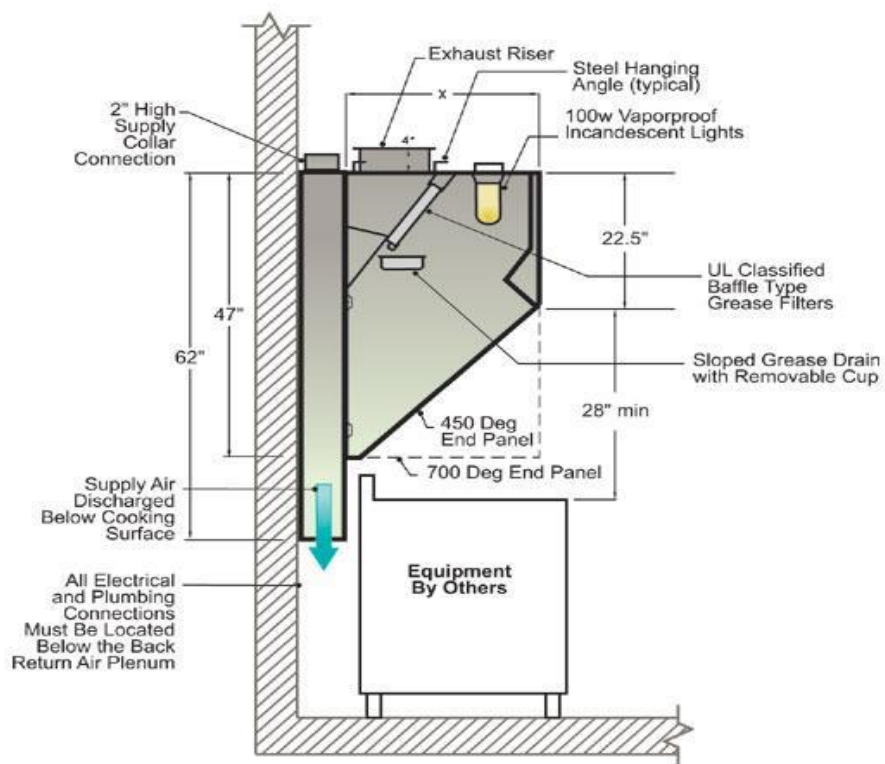


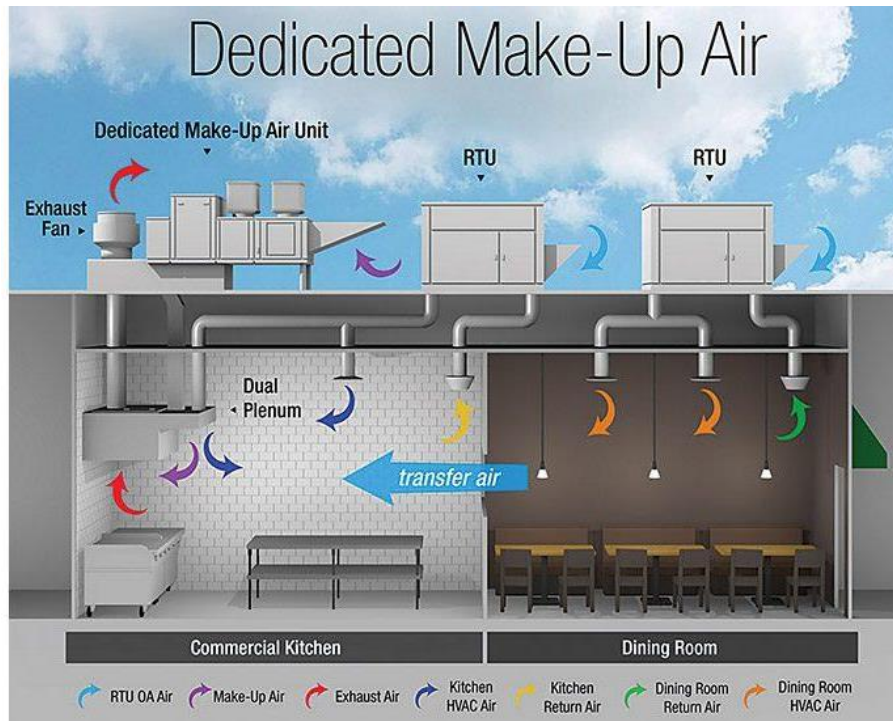
Mechanical Ventilation System တစ်ခုတွင် အောက်ပါစနစ်များ ပါဝင်လေ့ရှိသည်။

1. Fresh Air Supply System
2. Toilet Exhaust System
3. Kitchen Exhaust System
4. Kitchen Make-up Air System
5. Basement Car Park Ventilation
6. Laundry Exhaust System
7. Smoke Exhaust System
8. Staircase Pressurization System
9. Lift Lobby Pressurization System
10. Corridor Smoke Control System

Kitchen Exhaust System

Commercial Kitchen သည် Ventilation Design အခက်ခဲဆုံးနေရာများထဲမှ တစ်ခုဖြစ်သည်။





ဖယ်ရှားရမည့်အရာများ

- Heat
- Smoke
- Grease Vapor
- Steam
- Cooking Odor
- Combustion Products

အဓိကအစိတ်အပိုင်းများ

- Exhaust Hood
- Grease Filter
- Grease Duct

- Fire Damper (လိုအပ်သည့်နေရာများတွင်)
- Roof Exhaust Fan
- Make-up Air Unit
- Control Panel

Kitchen Ventilation တွက်ချက်ပုံ (ဥပမာ)

Kitchen Hood Size

- Length = 3.0 m
- Width = 1.2 m

Capture Velocity = **0.5 m/s**

Face Area

$$3.0 \times 1.2 = 3.6 \text{ m}^2$$

Airflow

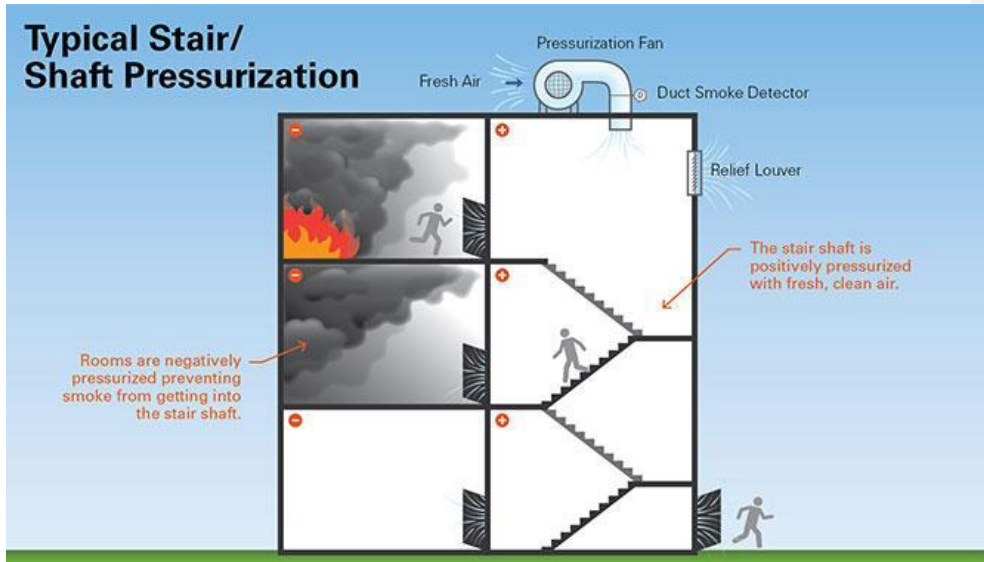
$$\begin{aligned} Q &= A \times V \\ Q &= 3.6 \times 0.5 = 1.8 \text{ m}^3/\text{s} \\ 1.8 \times 3600 &= 6480 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

လိုအပ်သော Exhaust Airflow $\approx$ **6,500 m³/h**

Make-up Air ကို ပုံမှန်အားဖြင့် Exhaust Airflow ၏ **80–90%** ခန့် ပြန်လည်ဖြည့်ပေးသည်။

Smoke Control System

Stair Case Pressurization System



အပုံမှာ ပြထားတာက stair/shaft pressurization system ဖြစ်ပြီး၊ မီးလောင်နေချိန်မှာ လှေကားခန်းထဲကို fresh air ကို positive pressure နဲ့ ဖြည့်ပေးကာ မီးခိုးမဝင်အောင် ကာကွယ်ထားတဲ့ fire escape design ဖြစ်ပါတယ်။

ဒါပေမယ့် "လူတစ်ယောက် ဘယ်နှစ်မိနစ်အတွင်း စုရပ် (assembly point) ကိုရောက်မှ အသက်ရှင်နိုင်မလဲ" ဆိုတာကို တိတိကျကျ မိနစ်တစ်ခုတည်းနဲ့ မသတ်မှတ်နိုင်ပါ။

အသက်ရှင်နိုင်မှုက အောက်ပါအချက်များပေါ်မူတည်ပါတယ်။

- မီးလောင်တဲ့နေရာနဲ့ လူရှိတဲ့နေရာ အကွာအဝေး
- မီးခိုးပမာဏနှင့် အဆိပ်ဓာတ် (အထူးသဖြင့် Carbon Monoxide)
- Stair pressurization system အလုပ်လုပ်နေ/မလုပ်နေ
- လူအရေအတွက်၊ လှေကားအကျယ်၊ လူများပြည့်ကျပ်မှု
- လူရဲ့အသက်၊ ကျန်းမာရေး၊ လှုပ်ရှားနိုင်စွမ်း

Fire Safety Design အရ

အဆောက်အဦးတွေကို ဒီဇိုင်းဆွဲတဲ့အခါ **Required Safe Egress Time (RSET)** ဟာ **Available Safe Egress Time (ASET)** ထက် နည်းရပါမယ်။

အများအားဖြင့်

- Alarm ကြားပြီး **1-3 မိနစ်အတွင်း** စတင်ရွှေ့ပြောင်းသင့်ပါတယ်။
- စုရပ်ကို **တတ်နိုင်သမျှ မြန်မြန်** ရောက်အောင် ဆင်းသင့်ပါတယ်။
- High-rise building တွေမှာ stair pressurization ပါရှိရင် မီးခိုးကြောင့် လှေကားပိတ်မသွားအောင် ကူညီပေးပေမယ့် **အချိန်အကန့်အသတ်မရှိ လုံခြုံစေတယ်လို့ မဆိုလိုပါ။**

ဤပုံကိုသာ အခြေခံပြီး **"၅ မိနစ်"**၊ **"၁၀ မိနစ်"** စသဖြင့် အသက်ရှင်နိုင်မည့် အချိန်ကို မသတ်မှတ်နိုင်ပါ။ မှန်ကန်တဲ့ Fire Engineering အရတော့ Alarm ကြားပြီး **ချက်ချင်း (မိနစ်အနည်းငယ်အတွင်း)** လှေကားကို အသုံးပြုပြီး **Assembly Point** ကို ရောက်အောင် ဆင်းခြင်း က အရေးကြီးဆုံး ဖြစ်ပါတယ်။

NFPA 101 (Life Safety Code) နှင့် Building Code တွေမှာ **"ဘယ်နှစ်မိနစ်အတွင်း ထွက်ရမယ်"** လို့ တိုက်ရိုက်မသတ်မှတ်ထားဘဲ၊ **Required Safe Egress Time (RSET)** ကို **Available Safe Egress Time (ASET)** ထက် နည်းရမယ်ဆိုတဲ့ အခြေခံကို အသုံးပြုပါတယ်။

RSET ကို ယေဘုယျအားဖြင့် ဒီလိုတွက်ပါတယ်။

RSET = Detection Time + Alarm Time + Pre-movement Time + Travel Time

ဥပမာအားဖြင့် ၁၀ ထပ်ရှိတဲ့ ရုံးအဆောက်အဦးတစ်လုံးကို ကြည့်ရအောင်။

- Smoke detector က မီးစတင်ပြီး **30 စက္ကန့်** အတွင်း မီးကိုတွေ့တယ်။
- Alarm က **10 စက္ကန့်** အတွင်း အဆောက်အဦးတစ်ခုလုံးကို အသိပေးတယ်။
- လူတွေက အခြေအနေနားလည်ပြီး စရွှေ့ဖို့ **60 စက္ကန့်** ကြာတယ်။
- ၈ ထပ်ကနေ မြေညီထပ် Assembly Point အထိ လမ်းလျှောက်ဆင်းဖို့ **180 စက္ကန့် (3 မိနစ်)** ကြာတယ်။

ဒါဆို

RSET = 30 + 10 + 60 + 180 = 280 စက္ကန့်

အကြမ်းဖျင်း **4 မိနစ် 40 စက္ကန့်** လိုပါတယ်။

အကယ်၍ Fire Engineering Analysis က မီးခိုးနှင့် အပူကြောင့် လှေကားကို **8 မိနစ်** အထိ လုံခြုံစွာ အသုံးပြုနိုင်တယ် (ASET = 8 မိနစ်) လို့ ပြထားရင်

- RSET = 4 မိနစ် 40 စက္ကန့်
- ASET = 8 မိနစ်

ဖြစ်တဲ့အတွက် **4:40 < 8:00** ဖြစ်ပြီး ဒီဇိုင်းက လုံခြုံတယ်လို့ သတ်မှတ်နိုင်ပါတယ်။

Travel Time ကို ဘယ်လိုတွက်သလဲ

Travel Time = Travel Distance ÷ Walking Speed

ဥပမာ

- Stair + Corridor စုစုပေါင်း = 60 m
- လူတစ်ယောက်ရဲ့ ပျမ်းမျှလမ်းလျှောက်နှုန်း = **0.8–1.2 m/s** (လူများပြည့်ကျပ်မှုအပေါ်မူတည်)

ဆိုရင်

$$60 \div 1.0 = 60 \text{ စက္ကန့်}$$

လူများပြည့်နေတဲ့အခါ Walking Speed က **0.5 m/s** လောက်ထိ ကျနိုင်တာကြောင့်

$$60 \div 0.5 = 120 \text{ စက္ကန့်}$$

အထိ ကြာနိုင်ပါတယ်။

Stair Pressurization ရဲ့အခန်းကဏ္ဍ

သင်တင်ထားတဲ့ ပုံမှာပါတဲ့ **stair pressurization** က ထွက်ခွာချိန်ကို တိုက်ရိုက်လျှော့ပေးတာ မဟုတ်ပါဘူး။

အဓိကရည်ရွယ်ချက်က

- လှေကားထဲ မီးခိုးမဝင်စေရန်
- မြင်ကွင်းကို ထိန်းထားနိုင်ရန်
- အသက်ရှူနိုင်တဲ့ လေကို ထိန်းသိမ်းပေးရန်

- ထွက်ခွာနိုင်တဲ့ ASET ကို ပိုရှည်စေရန်

ဖြစ်ပါတယ်။

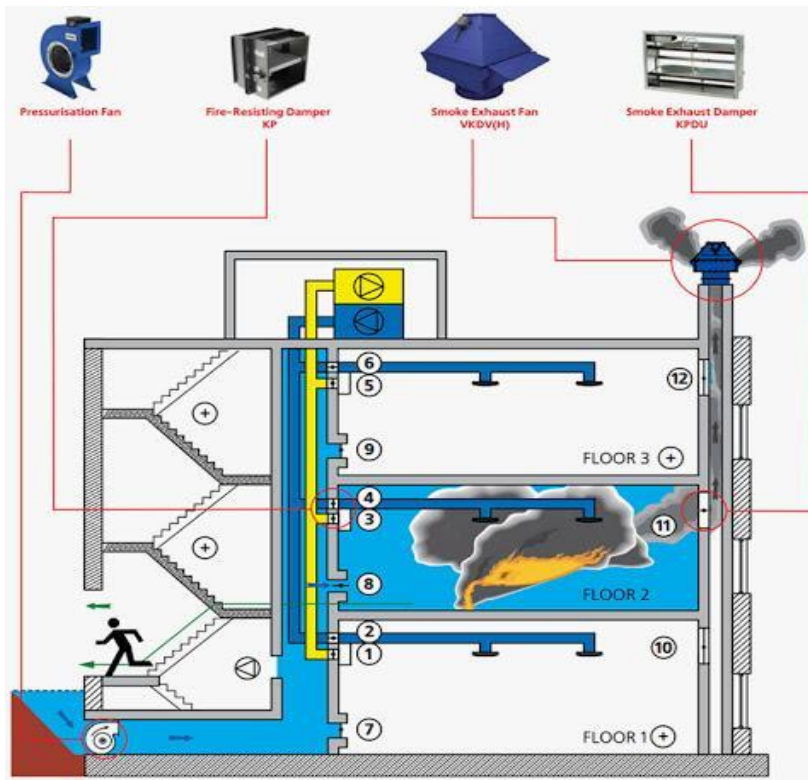
လက်တွေ့ဒီဇိုင်းဥပမာ

ဥပမာ ၁၅ ထပ်ရှိတဲ့ Office Building တစ်လုံးမှာ

- Stair width = **1.5 m**
- Occupants = **600 ယောက်**
- Floor-to-floor height = **3.6 m**
- Pressurized stair = Yes
- Automatic sprinkler = Yes

ဆိုရင် Fire Engineer တွေက လူအုပ်စီးဆင်းမှု (flow rate)၊ လှေကားအကျယ်၊ တံခါးအကျယ်၊ လမ်းအကွာအဝေး၊ မီးခိုးပျံ့နှံ့မှု စတဲ့ အချက်တွေကို Software (ဥပမာ Pathfinder, MassMotion, FDS) နဲ့ တွက်ချက်ပြီး **RSET < ASET** ဖြစ်အောင် ဒီဇိုင်းဆွဲကြပါတယ်။

ထို့ကြောင့် "**၅ မိနစ်အတွင်း ထွက်ရမယ်**" လို့ သတ်မှတ်ထားတဲ့ စံတစ်ခု မရှိပါဘူး။ အဆောက်အဦးတစ်ခုချင်းစီရဲ့ ဒီဇိုင်း၊ လူအရေအတွက်၊ Fire Protection Systems နဲ့ မီးအန္တရာယ်အခြေအနေအပေါ် မူတည်ပြီး Egress Time ကို တွက်ချက်ရပါတယ်။



Smoke Control System ၏ ရည်ရွယ်ချက်မှာ

- Smoke ကို ထိန်းချုပ်ခြင်း
- Escape Route ကို Smoke ကင်းစေရန်
- Staircase ကို Positive Pressure ဖြင့် ကာကွယ်ရန်
- Lift Lobby ကို Smoke မဝင်စေရန်

ပါဝင်သောအစိတ်အပိုင်းများ

- Smoke Exhaust Fan
- Smoke Damper

- Smoke Detector
- Fire Alarm Control Panel
- Stair Pressurization Fan
- Pressure Relief Damper
- Automatic Smoke Curtain (လိုအပ်ပါက)

Stair Pressurization

Roof

+-----+

| Pressurization |

| Fan |

+-----+

|

|

Staircase Shaft

|

Positive Pressure

|

Smoke မဝင်နိုင်

ပုံမှန်အားဖြင့် Staircase ကို Corridor ထက် **Positive Pressure** ထား၍ Smoke မဝင်စေရန် ဒီဇိုင်းဆွဲသည်။

Hotel Ventilation Design တွင် စဉ်းစားရမည့်အချက်များ

အချက်	အရေးပါမှု
Occupancy	လူဦးရေ
Fresh Air	CO ₂ ထိန်းချုပ်ရန်
Kitchen Heat	Cooling Load

အချက်	အရေးပါမှု
Toilet Exhaust	Odor Control
Laundry Humidity	Moisture Control
Basement CO	CO Detection
Fire Zones	Smoke Compartmentation
Energy Saving	Heat Recovery, VFD

Duct Design

တွက်ချက်ရသောအချက်များ

- Supply Airflow (CFM / m³/h)
- Return Airflow
- Exhaust Airflow
- Duct Velocity
- Friction Loss
- Dynamic Loss
- Total Static Pressure

Fan Selection

ရွေးချယ်ရာတွင်

- Airflow
- Static Pressure
- Fan Efficiency
- Noise Level
- Motor Power
- Fire Rating (Smoke Fan အတွက်)

တို့ကို တွက်ချက်စဉ်းစားရသည်။

Control System

- Fire Alarm System
- Smoke Detector
- CO Detector (Car Park)
- Temperature Sensor
- Pressure Sensor
- Variable Frequency Drive (VFD)
- Building Management System (BMS)

မဖြစ်မနေလိုက်နာရသော Standards / Guidelines

Hotel နှင့် Restaurant Ventilation Design တွင် အောက်ပါစံချိန်စံညွှန်းများကို အများဆုံးအသုံးပြုကြသည်။

- **ASHRAE Standard 62.1** – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
- **ASHRAE Standard 55** – Thermal Environmental Conditions
- **ASHRAE Handbook – HVAC Applications**
- **NFPA 90A** – Installation of Air Conditioning and Ventilating Systems
- **NFPA 92** – Smoke Control Systems
- **NFPA 96** – Ventilation Control and Fire Protection of Commercial Cooking Operations
- **International Mechanical Code (IMC)**
- **International Building Code (IBC)**
- **SMACNA HVAC Duct Construction Standards**
- **CIBSE Guide B**
- **EN 12101** – Smoke and Heat Control Systems
- ဒေသအလိုက် Building Code နှင့် Fire Code များ

"မီးသတ်တပ်ဖွဲ့ ရောက်လာသည်အထိ စောင့်နိုင်ရန်" ဟူသော အယူအဆဖြင့် အဆောက်အအုံကို မဒီဇိုင်းဆွဲပါ။

အဆောက်အအုံအတွင်းရှိ လူများသည် မီးသတ်တပ်ဖွဲ့ မရောက်မီ လုံခြုံသောနေရာ (Place of Safety) သို့ ကိုယ်တိုင် ထွက်ပြေးနိုင်ရမည် ဟု ဒီဇိုင်းဆွဲပါသည်။

Fire Safety Design ၏ အခြေခံ Principle

Fire Engineering တွင် အရေးကြီးသော အချိန် (၂) မျိုးရှိသည်။

၁။ Available Safe Egress Time (ASET)

ASET ဆိုသည်မှာ

မီး၊ မီးခိုး၊ အပူ၊ အဆိပ်ငွေ့တို့ကြောင့် လမ်းကြောင်းကို မသုံးနိုင်တော့မီ ရရှိနိုင်သော လုံခြုံသည့်အချိန် ဖြစ်သည်။

ဥပမာ

Smoke Layer ကျလာခြင်း

Temperature > 60°C

CO Concentration မြင့်လာခြင်း

Visibility < 10 m

ဖြစ်လာသည်အထိ အချိန်

=

ASET

၂။ Required Safe Egress Time (RSET)

RSET ဆိုသည်မှာ

လူတစ်ယောက် လုံခြုံရာသို့ ရောက်ရန် အမှန်တကယ်လိုအပ်သော အချိန် ဖြစ်သည်။

RSET တွင်

- Fire Detection Time
- Alarm Time
- လူများ ဆုံးဖြတ်ချိန် (Pre-movement Time)

- Stair သို့ လျှောက်ချိန်
- Building အပြင်ထွက်ချိန်

တို့ ပါဝင်သည်။

Fire Engineering Rule

အဆောက်အဦးသည်

ASET > RSET

ဖြစ်ရပါမည်။

ဥပမာ

ASET = 15 မိနစ်

RSET = 7 မိနစ်

ဆိုလျှင်

လုံခြုံသည်။

ASET = 6 မိနစ်

RSET = 9 မိနစ်

ဆိုလျှင်

ဒီဇိုင်း မလုံခြုံပါ။

လူများ ဘယ်လောက်အချိန်အတွင်း ထွက်ရမလဲ?

တိကျသော အချိန်တစ်ခု မရှိပါ။

အောက်ပါအချက်များပေါ်မူတည်သည်။

- Building Height

- Occupant Load
- Stair Width
- Fire Load
- Smoke Control
- Sprinkler ရှိ/မရှိ

ဥပမာ

10 ထပ် Hotel

Occupants

300

Stair

2 ခု

Sprinkler

ရှိ

Smoke Control

ရှိ

Evacuation

၅ မှ ၁၀ မိနစ်

အတွင်း ပြီးစီးစေရန် ရည်ရွယ်လေ့ရှိသည်။

40 ထပ် Office Tower

Occupants

2,000

လူအားလုံး တစ်ပြိုင်တည်း မဆင်းကြပါ။

Phase Evacuation

Floor-by-floor Evacuation

ဖြင့် စီမံကြသည်။

မီးသတ်တပ်ဖွဲ့ ဘယ်လောက်ကြာရောက်သလဲ?

၎င်းသည်

- မြို့
- ယာဉ်ကြော
- Fire Station အကွာအဝေး

တို့ပေါ် မူတည်ပြီး အတိအကျ သတ်မှတ်၍ မရပါ။

ဥပမာအားဖြင့် မြို့ပြဒေသများတွင် မိနစ်အနည်းငယ်မှ ဆယ်မိနစ်ကျော်အထိ ကွာခြားနိုင်ပါသည်။

ထို့ကြောင့် Building Code များသည် Fire Brigade Response Time ကို အခြေခံပြီး လူများကို စောင့်ခိုင်းရန် မဟုတ်ဘဲ၊ လူများ ကိုယ်တိုင် အမြန်ဆုံး ထွက်ပြေးနိုင်အောင် ဒီဇိုင်းဆွဲရန်ကို အဓိကထားပါသည်။

ဒါကြောင့် Smoke Control System ဘာကြောင့်လိုသလဲ?

Smoke Control System သည်

ASET ကို

၅ မိနစ်

ကနေ

၁၅-၃၀ မိနစ်

အထိ တိုးစေနိုင်သည်။

အကျိုးကျေးဇူးများ

✓ Stair ထဲ Smoke မဝင်စေ

✓ Corridor ကို မြှင်နိုင်သေးစေ

✓ Temperature လျှော့ပေးသည်

✓ Fire Fighter ဝင်ရောက်နိုင်စေသည်

High-rise Building တွင် မဖြစ်မနေပါဝင်သော Systems

- Automatic Fire Detection
- Fire Alarm
- Automatic Sprinkler
- Smoke Exhaust Fan
- Stair Pressurization Fan
- Fire-rated Staircase
- Fire-rated Doors
- Smoke Dampers
- Emergency Lighting
- Exit Signs
- Voice Evacuation System
- Fire Command Center

Engineering Design တွင် ဘာတွေတွက်သလဲ?

Fire Engineer များသည် အောက်ပါအချက်များကို တွက်ချက်ကြသည်။

၁။ Occupant Load

လူဘယ်နှစ်ယောက်ရှိမလဲ။

၂။ Walking Speed

ပုံမှန်

1.0–1.2 m/s

Stair

0.5–0.8 m/s

၃။ Stair Capacity

ဥပမာ

1200 mm Stair

တစ်မိနစ်လျှင်

လူ 60-80

ဆင်းနိုင်သည်။

၄။ Smoke Filling Time

Smoke Layer

ဘယ်လောက်မြန်မြန် ကျမလဲ။

CFD Software

(FDS, PyroSim စသည်)

ဖြင့် တွက်သည်။

၅။ Smoke Exhaust Rate

ဘယ်လောက် CFM ဖြင့်

Smoke ထုတ်မလဲ။

6။ Stair Pressurization

ဘယ်လောက် Pascal

ထားမလဲ။

ပုံမှန်အားဖြင့်

50 Pa ခန့် (တံခါးဖွင့်နိုင်သော အင်အားကန့်သတ်ချက်ကိုလည်း ထည့်သွင်းစဉ်းစားရသည်)

မဖြစ်မနေလိုက်နာသော Standards

Fire Engineering တွင် အများဆုံးအသုံးပြုသော Standards များမှာ

- **NFPA 101** – Life Safety Code
- **NFPA 92** – Smoke Control Systems
- **NFPA 13** – Sprinkler Systems
- **International Building Code (IBC)**
- **International Fire Code (IFC)**
- **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering**
- **EN 12101** – Smoke and Heat Control Systems
- **BS 9999** – Fire Safety in Building Design
- **CIBSE Guide E** – Fire Engineering

Fire Safety Design ၏ အခြေခံရည်ရွယ်ချက်မှာ

လူများသည် မီးသတ်တပ်ဖွဲ့မရောက်မီ လုံခြုံစွာ ထွက်ပြေးနိုင်ရန် ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် Fire Engineer များသည်

- **RSET (လူထွက်ရန်လိုအပ်သောအချိန်)** ကို လျှော့ချရန်နှင့်
- **ASET (လုံခြုံစွာ ထွက်ပြေးနိုင်သည့်အချိန်)** ကို Sprinkler၊ Smoke Control၊ Stair Pressurization စနစ်များဖြင့် တိုးမြှင့်ရန်

ဒီဇိုင်းရေးဆွဲကြပြီး ASET သည် RSET ထက် အမြဲပိုရှည်ရမည် ဟူသော မူကို လိုက်နာကြပါသည်။ ၎င်းသည် ကမ္ဘာတစ်ဝှမ်းရှိ အဆောက်အဦးမီးဘေးကာကွယ်ရေး ဒီဇိုင်း၏ အခြေခံအယူအဆ ဖြစ်ပါသည်။

၁။ လက်ဘနွန်နိုင်ငံ ဘေရွတ်ဆိပ်ကမ်း (Beirut Port) ပေါက်ကွဲမှု (၂၀၂၀)

သိုလှောင်ထားသောပစ္စည်း

အဓိကပစ္စည်းမှာ Ammonium Nitrate (NH_4NO_3) ဖြစ်ပါသည်။

- ပမာဏ $\approx 2,750$ တန်
- ၂၀၁၃ ခုနှစ်က သင်္ဘောမှ သိမ်းဆည်းထားခဲ့ပြီး နှစ်ပေါင်းများစွာ ဂိုဒေါင်တွင် ထားရှိခဲ့သည်။

Ammonium Nitrate ဆိုတာ ဘာလဲ?

- ဓာတ်မြေဩဇာအဖြစ် အသုံးများသည်။
- မီးလောင်စာ (Fuel) မဟုတ်ပါ။
- သို့သော် Oxidizer ဖြစ်သောကြောင့် အပူပြင်းထန်ခြင်း၊ မီးလောင်ခြင်း သို့မဟုတ် ညစ်ညမ်းပစ္စည်းများနှင့် အခြေအနေမကောင်းပါက ပြင်းထန်စွာ ပြိုကွဲ (Decompose) နိုင်ပြီး ပေါက်ကွဲမှုဖြစ်စေနိုင်သည်။

ဘာကြောင့် ပေါက်ကွဲခဲ့သလဲ?

တရားဝင်စုံစမ်းစစ်ဆေးမှုများအရ

- ဂိုဒေါင်အတွင်း မီးလောင်မှုတစ်ခု စတင်ဖြစ်ပွားခဲ့သည်။
- ထို့နောက် Ammonium Nitrate အများအပြား ပါဝင်သော ဂိုဒေါင်သို့ မီးကူးစက်ခဲ့သည်။
- ပြင်းထန်သော ပေါက်ကွဲမှု ဖြစ်ပွားခဲ့သည်။

တိကျသော မီးစတင်ဖြစ်ပွားသည့် အကြောင်းရင်းကို ယနေ့အထိ အပြည့်အဝ အတည်မပြုနိုင်သေးပါ။ သို့သော် ဂိုဒေါင်တွင် အန္တရာယ်ရှိသောပစ္စည်းကို နှစ်ရှည်လများ မသင့်လျော်စွာ သိုလှောင်ထားခြင်းသည် အဓိကပြဿနာဖြစ်ခဲ့သည်ဟု ကျယ်ပြန့်စွာ လက်ခံထားကြသည်။

Engineering Lessons

- Ammonium Nitrate ကို သီးခြားဂိုဒေါင်တွင်ထားရမည်။

- မီးလောင်နိုင်သောပစ္စည်းများနှင့် ခွဲထားရမည်။
- အပူနှင့် မီးရင်းမြစ်များမှ ဝေးရမည်။
- Inventory Control နှင့် Inspection များ ပုံမှန်ပြုလုပ်ရမည်။

ဂိုဒေါင်ကြီးများတွင် အကြီးစားမီးလောင်မှု ဖြစ်စေသော အဓိကအကြောင်းရင်းများ

စက်မှုလုပ်ငန်းအတွေ့အကြုံအရ အများဆုံးတွေ့ရသော အကြောင်းရင်းများမှာ

1. မီးလောင်လွယ်သောပစ္စည်းများကို မှားယွင်း၍ တွဲသိုလှောင်ခြင်း။
2. လျှပ်စစ်စနစ်ချို့ယွင်းခြင်း (Short Circuit, Overload)။
3. Hot Work (ဂဟေဆော်ခြင်း၊ ဖြတ်တောက်ခြင်း) ကို မလုံခြုံစွာ ဆောင်ရွက်ခြင်း။
4. Ventilation မလုံလောက်၍ အပူနှင့် ဓာတ်ငွေ့များ စုဆောင်းခြင်း။
5. Fire Detection နှင့် Sprinkler System မရှိခြင်း သို့မဟုတ် မအလုပ်လုပ်ခြင်း။
6. Hazardous Materials များကို သင့်လျော်သော Segregation မလုပ်ခြင်း။
7. Housekeeping မကောင်းခြင်း (ဖုန်မှုန့်၊ အမှိုက်၊ ထုပ်ပိုးပစ္စည်းများ စုပုံနေခြင်း)။

Beirut ဖြစ်ရပ်က ပေးသည့် သင်ခန်းစာ

Beirut ဖြစ်ရပ်ပြီးနောက် ကမ္ဘာတစ်ဝှမ်းရှိ ဆိပ်ကမ်းများနှင့် Chemical Warehouse များတွင်

- Hazardous Material Inventory ပြန်လည်စစ်ဆေးခြင်း
- Ammonium Nitrate Storage Guideline များ တင်းကြပ်စေခြင်း
- Fire Separation နှင့် Ventilation တိုးမြှင့်ခြင်း
- Emergency Response Plan များ ပြန်လည်ပြင်ဆင်ခြင်း

တို့ကို ကျယ်ကျယ်ပြန့်ပြန့် ဆောင်ရွက်ခဲ့ကြပါသည်။



- **Beirut Port** — အဓိကသိုလှောင်ထားသောပစ္စည်းမှာ **Ammonium Nitrate** ဖြစ်ပြီး မသင့်လျော်သော ရေရှည်သိုလှောင်မှုနှင့် မီးလောင်မှုနောက်ဆက်တွဲအဖြစ် ကြီးမားသောပေါက်ကွဲမှု ဖြစ်ပွားခဲ့သည်။

လက်ဘနွန်နိုင်ငံ ဘေရွတ်ဆိပ်ကမ်း (Beirut Port) ပေါက်ကွဲမှု (၄ ဩဂုတ် ၂၀၂၀) သည် ခေတ်သစ်သမိုင်းတွင် ဖြစ်ပွားခဲ့သော အကြီးမားဆုံး စက်မှုလုပ်ငန်းဆိုင်ရာ ပေါက်ကွဲမှုများထဲမှ တစ်ခုဖြစ်သည်။

ဖြစ်စဉ်အကျဉ်း

နေ့စွဲ

- ၄ ဩဂုတ် ၂၀၂၀

နေရာ

- Beirut Port, Warehouse 12

သိုလှောင်ထားသောပစ္စည်း

- Ammonium Nitrate (NH_4NO_3) $\approx$ 2,750 တန်

ပေါက်ကွဲမှု၏ သက်ရောက်မှု

- လူ 200 ကျော် သေဆုံးခဲ့သည်။
- 6,000 ကျော် ဒဏ်ရာရခဲ့သည်။
- လူ 300,000 ခန့် အိုးအိမ်ဆုံးရှုံးခဲ့သည်။
- ဆိပ်ကမ်း၏ အဓိကအစိတ်အပိုင်းများ ပျက်စီးခဲ့သည်။
- အနီးရှိ Grain Silos များ ပြိုကျပျက်စီးခဲ့သည်။

Ammonium Nitrate ဘာကြောင့် အန္တရာယ်ရှိသလဲ?

Ammonium Nitrate သည်

- ဓာတ်မြေဩဇာအဖြစ် အသုံးများသည်။
- ပုံမှန်အခြေအနေတွင် အလွယ်တကူ မပေါက်ကွဲပါ။
- သို့သော်
 - အပူပြင်းထန်ခြင်း
 - မီးလောင်မှု
 - အများအပြား စုပုံသိုလှောင်ထားခြင်း
 - သင့်လျော်သော Storage Management မရှိခြင်း

တို့ ဖြစ်ပေါ်ပါက ပြင်းထန်သော Decomposition ဖြစ်ပြီး ကြီးမားသော ပေါက်ကွဲမှု ဖြစ်စေနိုင်သည်။

Hotel၊ Hospital၊ Shopping Mall၊ Office Tower နှင့် High-rise Building များတွင် မီးလောင်ချိန် လူများ
အသက်အန္တရာယ်မရှိဘဲ လုံခြုံစွာ ထွက်ပြေးနိုင်ရန် (Life Safety) အတွက် Fire Protection System များကို
အပြန်အလှန်ချိတ်ဆက်၍ ဒီဇိုင်းဆွဲထားကြပါသည်။

Here are some notable fireworks factory explosions, along with photos from news coverage.





1. Liuyang Fireworks Factory Explosion (China, 2026)

- A massive explosion occurred at the Huasheng Fireworks Manufacturing plant in Liuyang, Hunan Province.
- The blast killed at least 26 people and injured more than 60.
- Rescue teams evacuated nearby residents and firefighters worked for hours to contain secondary explosions.

2. Suphanburi Fireworks Factory Explosion (Thailand, 2024)

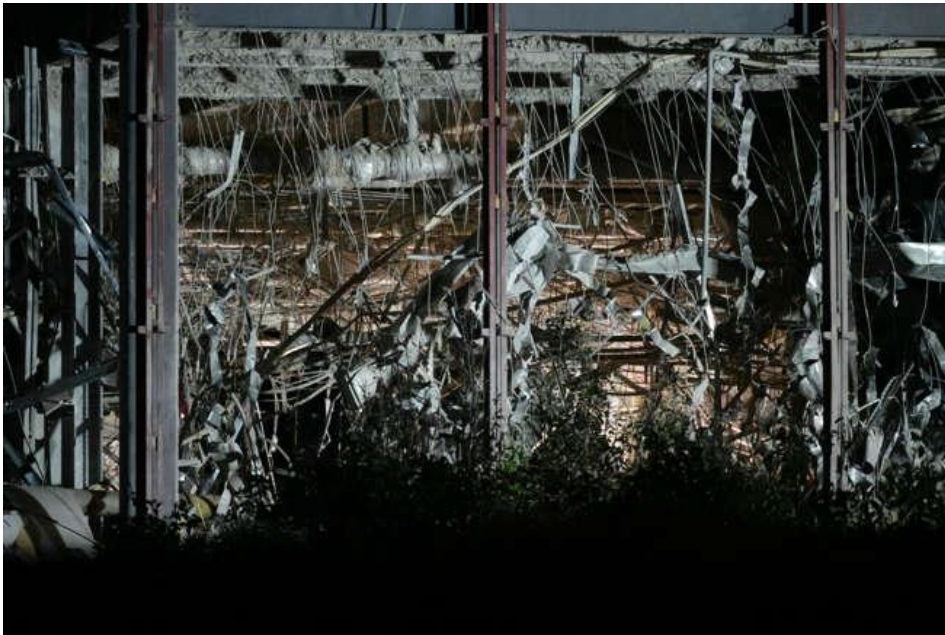
- A fireworks factory in Suphanburi province exploded, killing at least 20 people.
- The blast destroyed the factory and scattered debris across nearby farmland.

Kumamoto Japan AEON Mall Explosion by Earth Quake 7.1 Magnitude

Moment When Japan Mall Exploded After Powerful 7.1 Earthquake That Killed 13 | Terrifying Videos Surface

Expert cites gas buildup as possible cause of Kumamoto mall blast

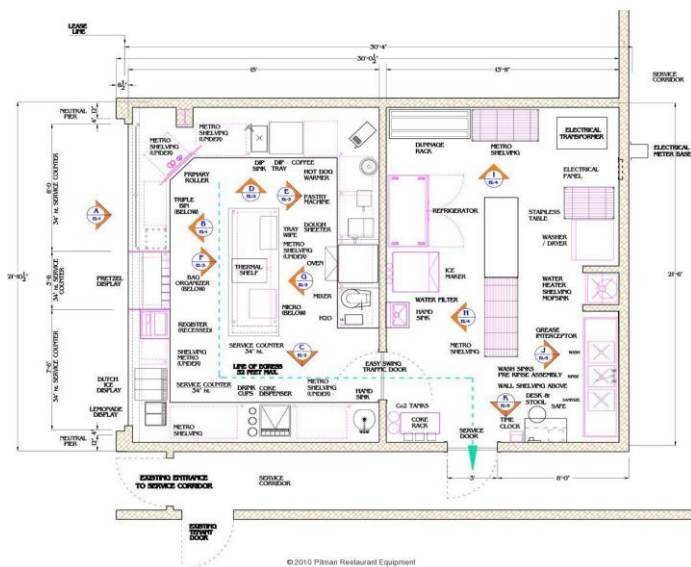
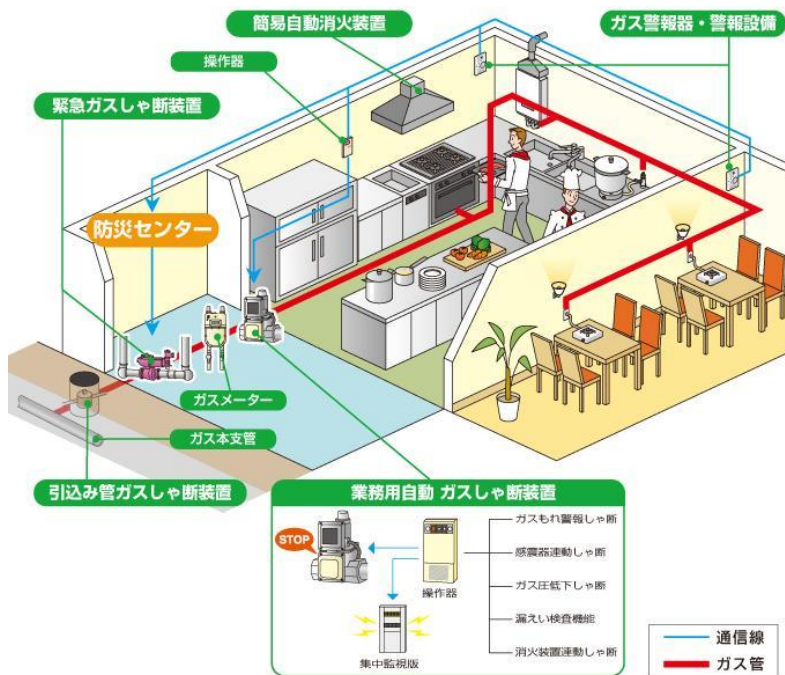


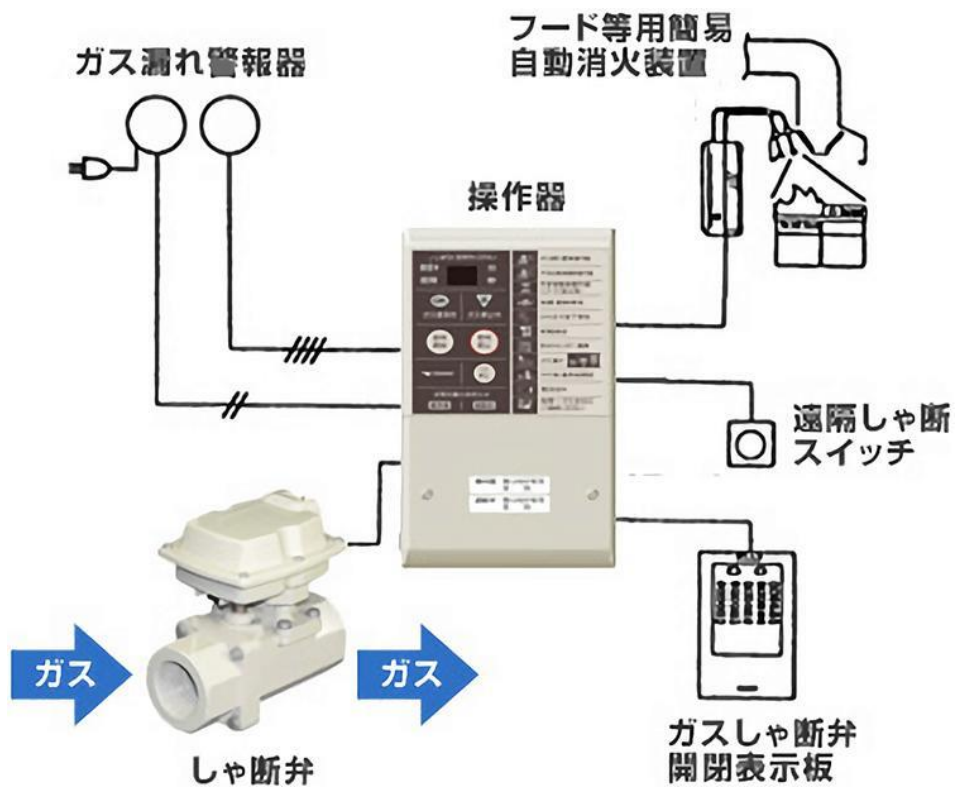




Below is a typical **Japanese supermarket/commercial kitchen gas safety system** used in large supermarkets, food courts, and central kitchens.

Typical System Photo



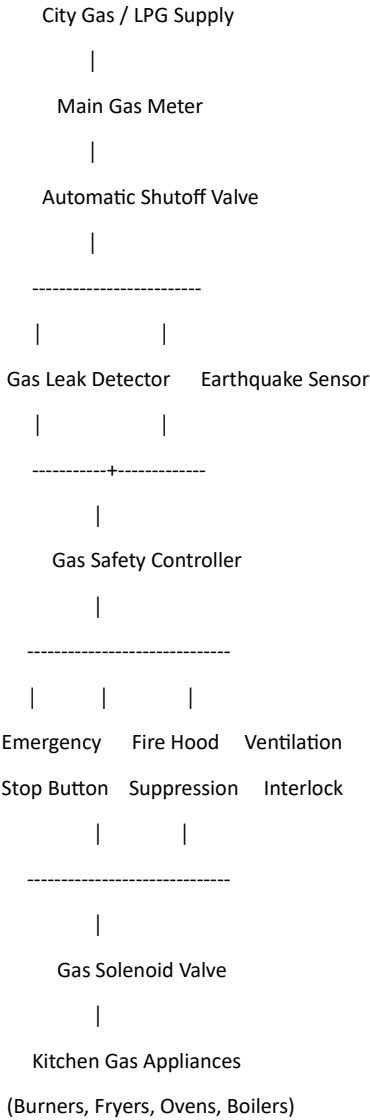


The images show:

- Gas leak detectors
- Automatic gas shutoff valve
- Emergency manual shutoff button
- Kitchen hood fire suppression system
- Central control panel
- Gas meter and monitoring system

These systems are commonly used in Japan to automatically isolate the gas supply during emergencies.

Typical System Design



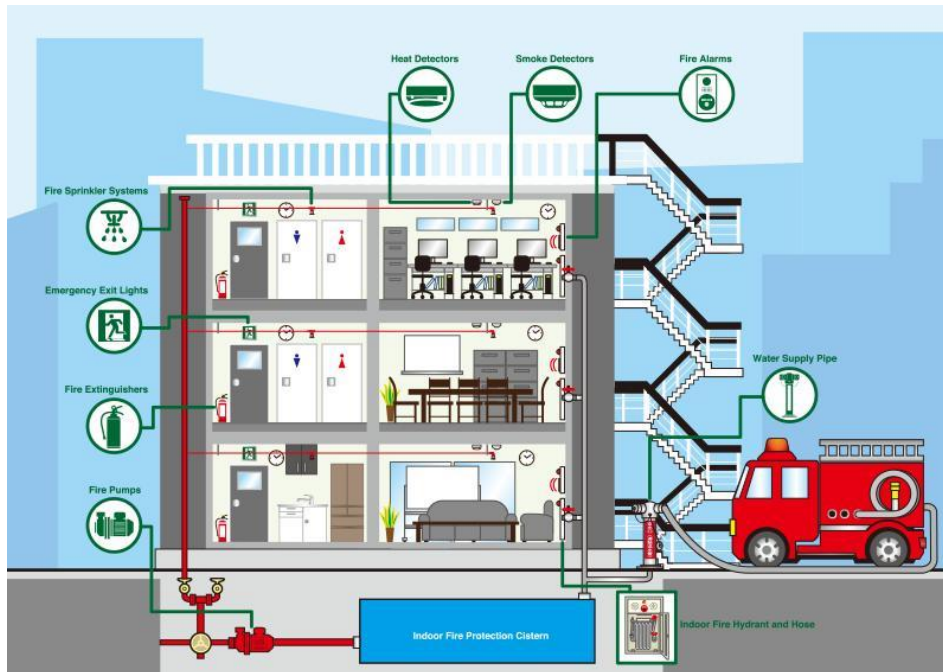
Safety Functions

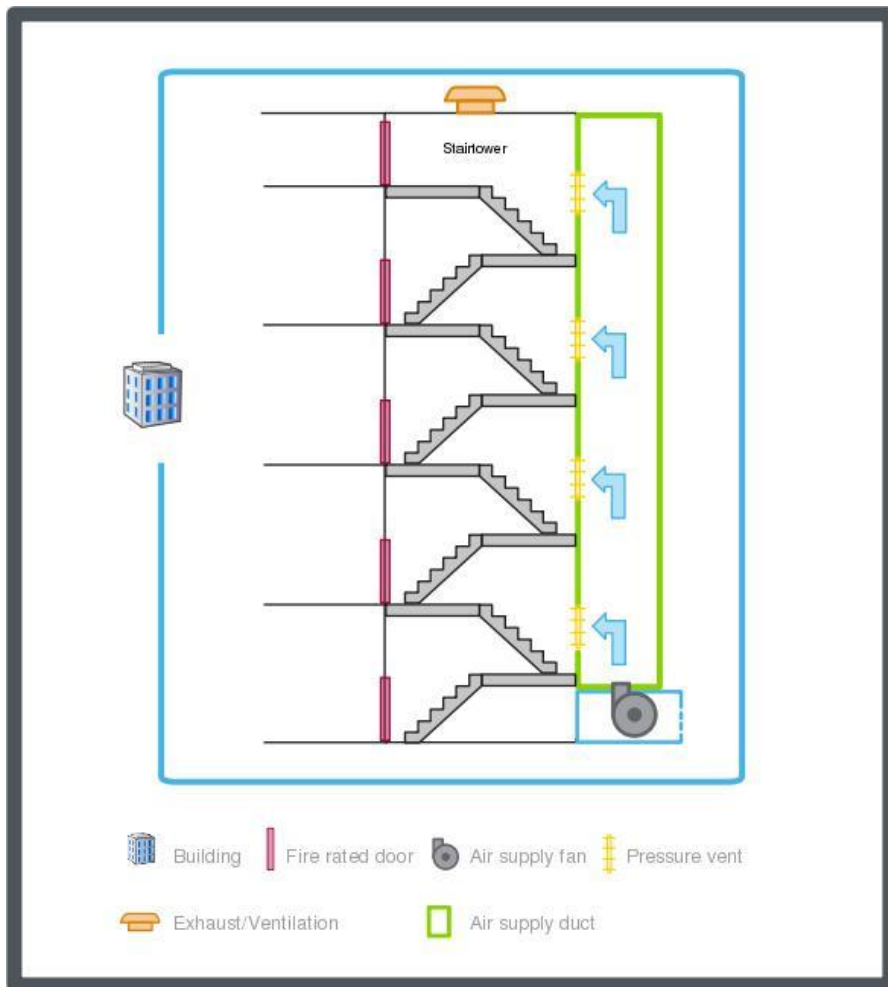
Safety Device	Function
Gas leak detector	Detects methane/LPG leakage
Automatic shutoff valve	Stops gas automatically
Emergency push button	Manual emergency gas shutdown
Earthquake sensor	Shuts gas off during strong earthquakes
Fire suppression system	Activates hood extinguishing and closes gas valve
Ventilation interlock	Gas cannot operate unless exhaust fans are running
Pressure monitoring	Detects abnormal gas pressure
Central monitoring	Reports alarms to the building management system

Automatic Gas Shutoff Sequence

1. Gas leak detected.
2. Alarm sounds and warning lights flash.
3. Controller sends signal to the shutoff valve.
4. Main gas valve closes within a few seconds.
5. Gas appliances stop operating.
6. Building management receives the alarm.
7. Gas supply can only be restored after inspection and manual reset.

High-rise Building Fire & Life Safety System



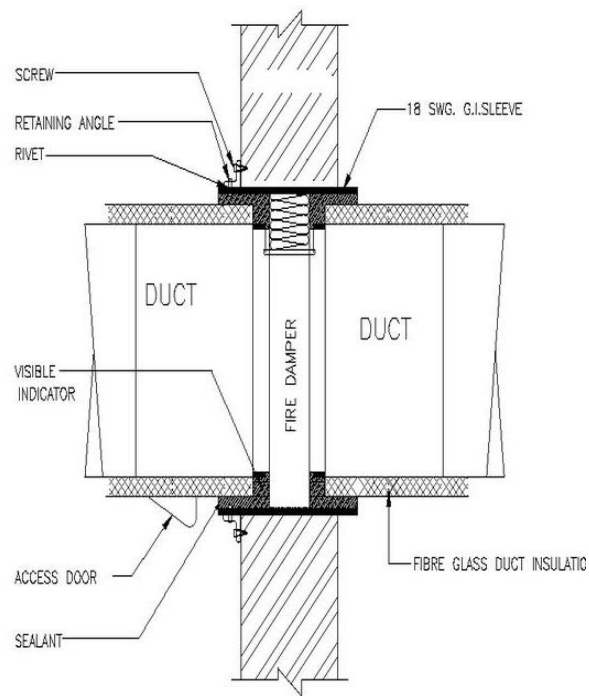


Fire Protection System တစ်ခုတွင် အဓိကအားဖြင့် အောက်ပါစနစ်များ ပါဝင်ပါသည်။

1. Fire Alarm System
2. Automatic Sprinkler System
3. Fire Hydrant System
4. Fire Damper

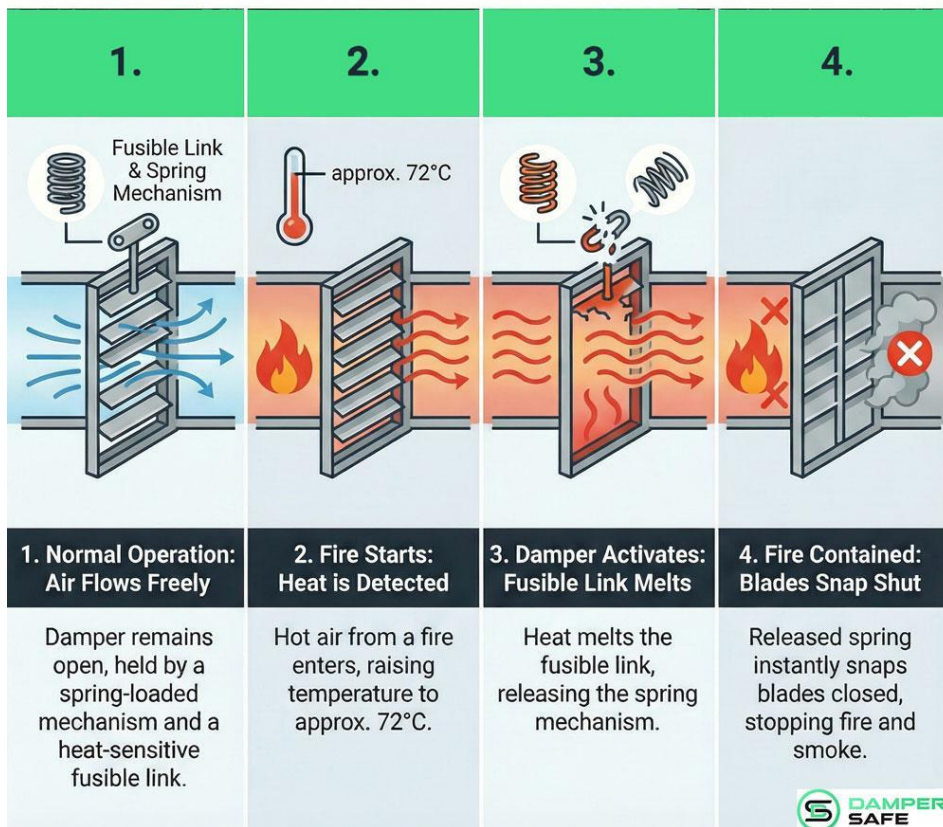
5. Smoke Damper
6. Staircase Pressurization System
7. Smoke Exhaust System
8. Smoke Stop Lobby
9. Emergency Lighting
10. Exit Sign
11. Fire-rated Staircase
12. Fire Command Center
13. Emergency Generator

5.11 Fire Damper



TYPICAL FIRE DAMPER DETAILS

How a Fire Damper Stops a Fire





Fire Damper ဆိုတာ ဘာလဲ?

Fire Damper သည် HVAC Duct အတွင်းမှ မီးမကူးစေရန် တပ်ဆင်ထားသော Automatic Damper ဖြစ်သည်။

အလုပ်လုပ်ပုံ

ပုံမှန်အချိန်

Damper = OPEN

Air Flow = Normal

မီးလောင်သောအခါ

Fusible Link (72°C သို့မဟုတ် 74°C ခန့်) အရည်ပျော်သည်။

↓

Damper ပိတ်သွားသည်။

↓

Fire နှင့် Hot Gas များ Duct ထဲမှ မကူးနိုင်တော့ပါ။

တပ်ဆင်ရာနေရာ

- Fire Rated Wall
- Fire Rated Floor
- Shaft Wall
- Duct Penetration

၂။ Smoke Damper

Fire Damper နှင့် မတူပါ။

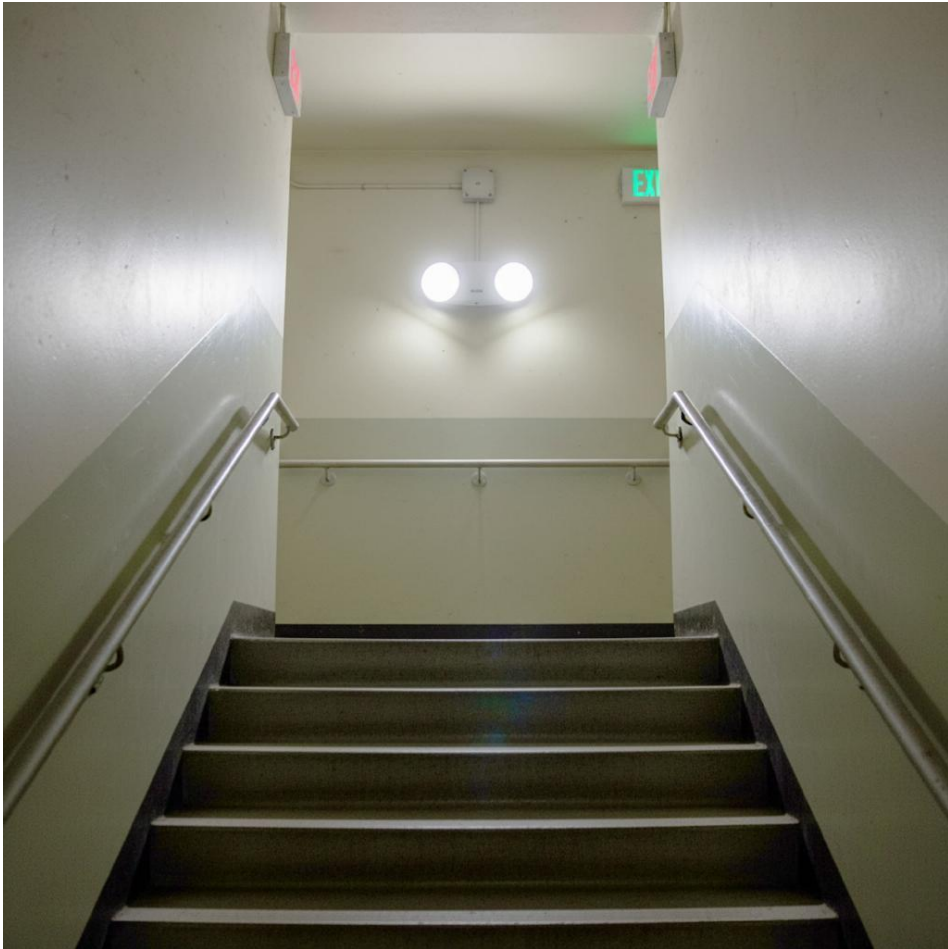
Smoke Detector မှ Signal ရသည်နှင့်

Motor ဖြင့် Damper ပိတ်သည်။

Smoke မပြန့်စေရန် အသုံးပြုသည်။

၃။ Emergency Lighting







မီးပြတ်သွားသော်လည်း

Battery ဖြင့်

90-180 Minutes

အထိ အလင်းပေးနိုင်သည်။

အသုံးပြုရာနေရာ

- Stair
- Corridor
- Exit Door
- Lobby

ç|| Emergency Exit Sign





Exit Sign သည်

လူများကို

ထွက်ပေါက်ဘက်သို့

လမ်းညွှန်ပေးသည်။

ပုံမှန်အားဖြင့်

Green Color

White Letter

အသုံးပြုကြသည်။

၅။ Fire Escape Staircase





Fire Escape Stair သည်

Fire Rated Wall

Fire Rated Door

များဖြင့် ဝန်းရံထားသော

Protected Escape Route

ဖြစ်သည်။

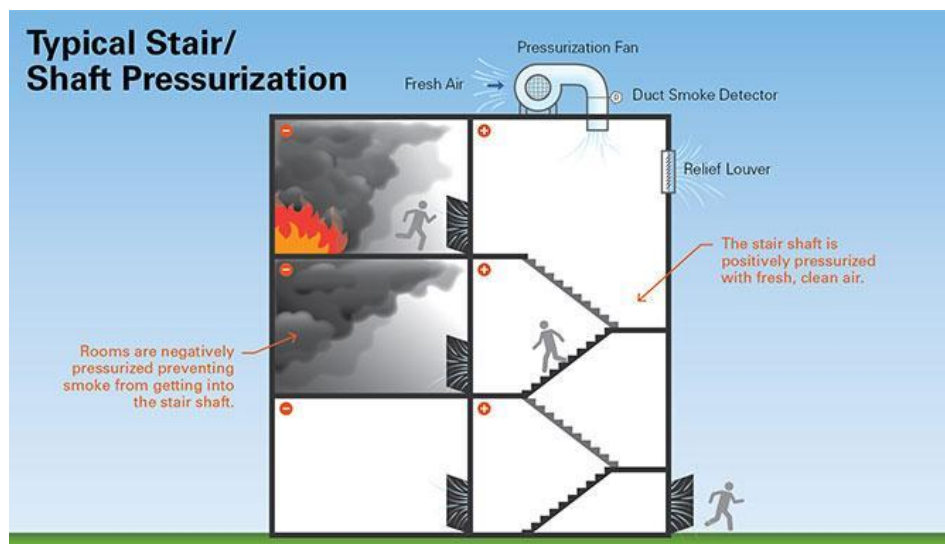
ပုံမှန်အားဖြင့်

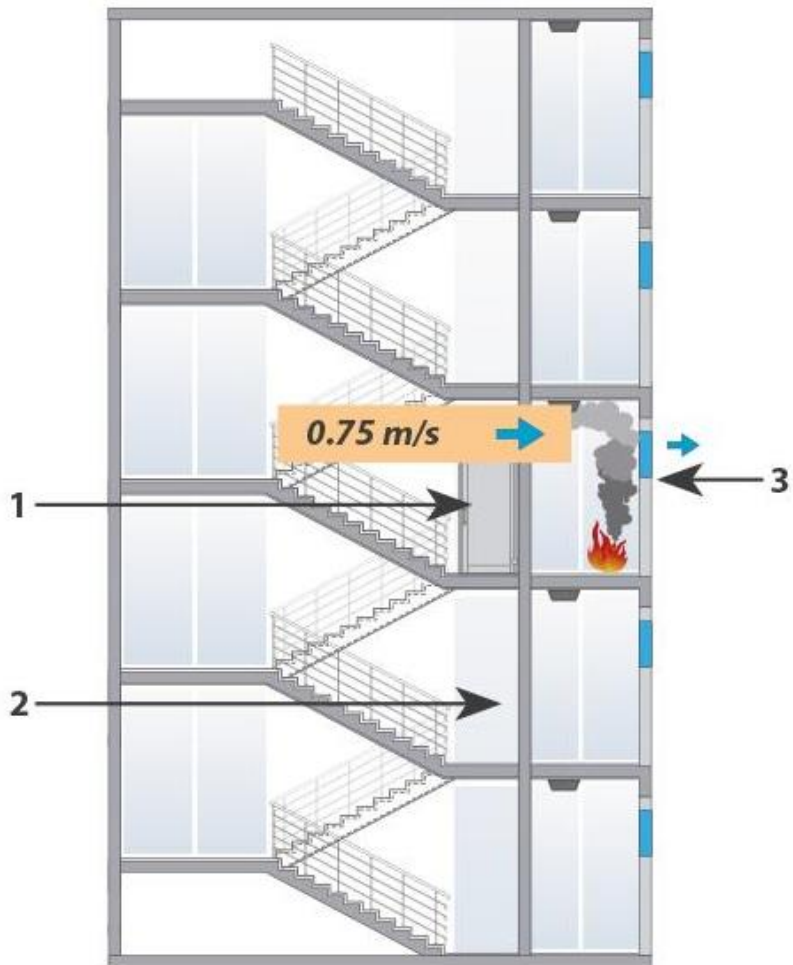
- 2 Hours Fire Rating

- Smoke မဝင်နိုင်

ဖြစ်ရသည်။

၆။ Staircase Pressurization System





ဤစနစ်သည်

Stair ထဲသို့

Fresh Air ကို Fan ဖြင့် ဖိသွင်းသည်။

Pressure

≈ 50 Pa

ခန့်ထားသည်။

ရလဒ်

Smoke

Stair ထဲ

မဝင်နိုင်တော့ပါ။

အလုပ်လုပ်ပုံ

Fire



Smoke



Corridor



Stair Door

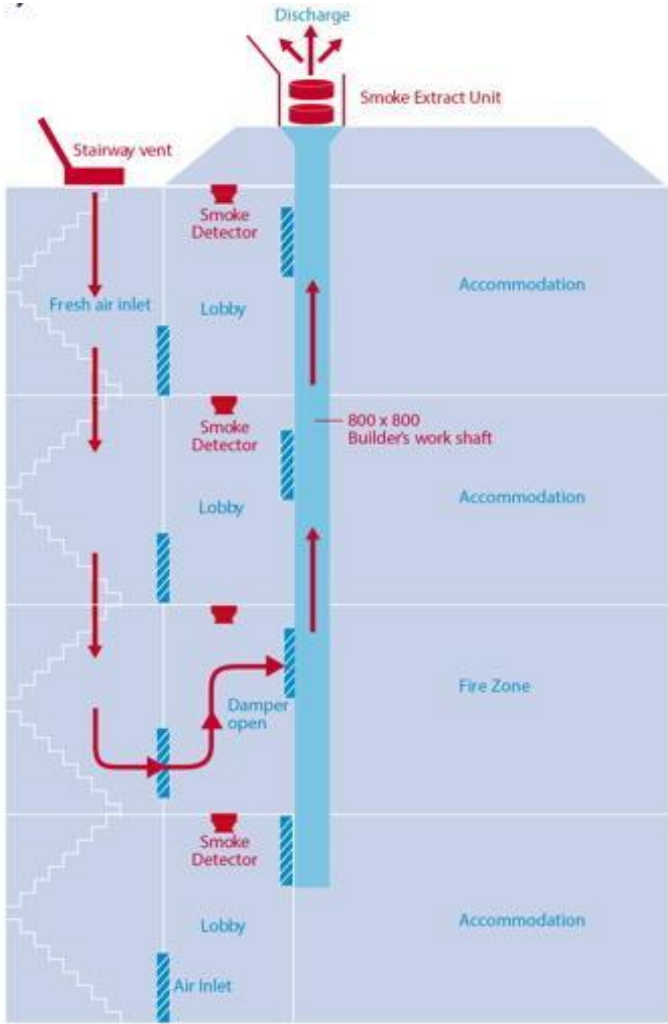


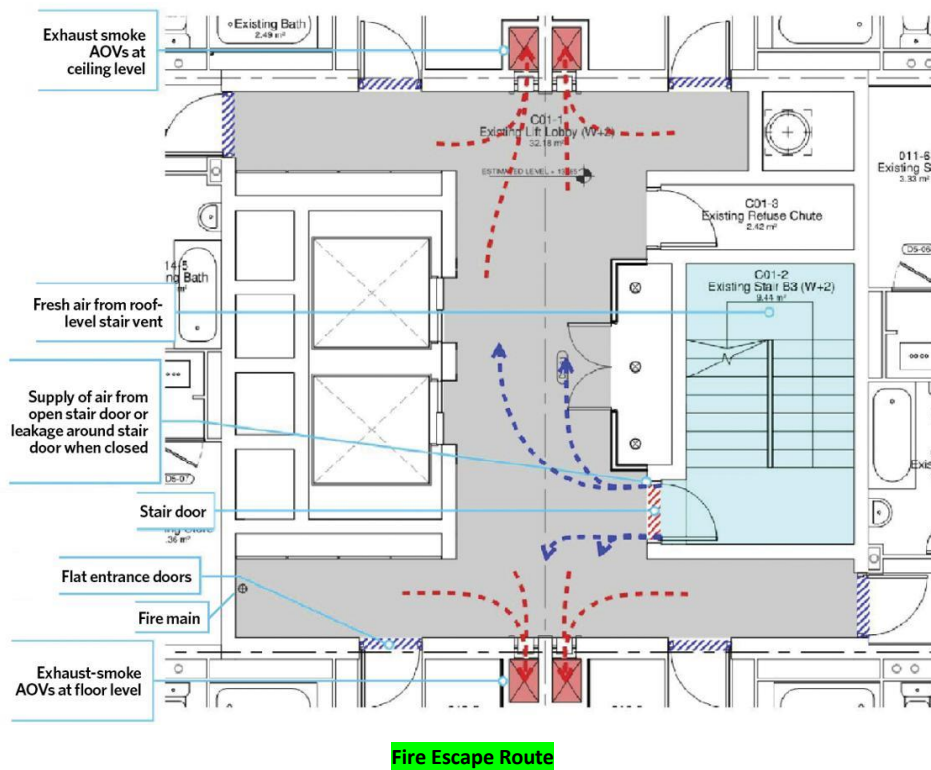
Positive Pressure



Smoke 60°C

2. Smoke Stop Lobby





Smoke Stop Lobby သည်

Corridor နှင့် Stair ကြား

Buffer Room

ဖြစ်သည်။

ရည်ရွယ်ချက်

Smoke ကို

Stair ထဲ

မရောက်စေရန်။

011 Smoke Exhaust Fan





Smoke Exhaust Fan သည်

Fire Alarm ရသည်နှင့်

Auto Start

ဖြစ်သည်။

Smoke ကို

Roof သို့

Exhaust လုပ်ပေးသည်။

Smoke Layer

အောက်မကျအောင်

ကူညီသည်။



People Escape



Fire Brigade Arrive

Engineering Design တွင် တွက်ချက်ရသောအချက်များ

Stair Pressurization

- Required Pressure Difference (Pa)
- Door Opening Force
- Leakage Area
- Airflow (CFM)

Smoke Exhaust

- Smoke Production Rate
- Smoke Layer Height
- Exhaust Airflow
- Fan Static Pressure

Emergency Lighting

- Lux Level
- Battery Backup Time

Exit Width

Occupant Load



Stair Width



Door Width



Evacuation Time

တွက်ချက်ရသည်။

မဖြစ်မနေလိုက်နာရသော Standards

Fire & Life Safety Design တွင် အများဆုံးအသုံးပြုသော Standards များမှာ

- **NFPA 101** – Life Safety Code
- **NFPA 80** – Fire Doors and Fire Dampers
- **NFPA 90A** – HVAC Systems
- **NFPA 92** – Smoke Control Systems
- **NFPA 13** – Automatic Sprinkler Systems
- **NFPA 72** – Fire Alarm Systems
- **IBC (International Building Code)**
- **IFC (International Fire Code)**
- **EN 12101** – Smoke and Heat Control Systems
- **BS 9999** – Fire Safety in Buildings
- **ASHRAE Handbook – HVAC Applications** (Smoke Management အခန်း)
- **CIBSE Guide E** – Fire Engineering

System တစ်ခုချင်းစီ၏ ရည်ရွယ်ချက်

System	အဓိကရည်ရွယ်ချက်
Fire Damper	မီးကို HVAC Duct မှတစ်ဆင့် မကူးစေရန်
Smoke Damper	မီးခိုးကို Zone တစ်ခုမှ တစ်ခုသို့ မပြန့်စေရန်
Smoke Exhaust Fan	မီးခိုးကို အပြင်သို့ ထုတ်ပေးရန်
Staircase Pressurization	Stair ထဲ Smoke မဝင်စေရန် Positive Pressure ဖန်တီးရန်

System	အဓိကရည်ရွယ်ချက်
Smoke Stop Lobby	Stair နှင့် Lift Lobby ကို Smoke မှ ကာကွယ်ရန်
Emergency Light	မီးပြတ်ချိန်တွင် ထွက်ပြေးလမ်းကို အလင်းပေးရန်
Exit Sign	လုံခြုံသော ထွက်ပေါက်ကို လမ်းညွှန်ရန်
Fire Escape Stair	လူများကို လုံခြုံစွာ အဆောက်အအုံအပြီးပြင်ပသို့ ထွက်ပြေးစေရန်

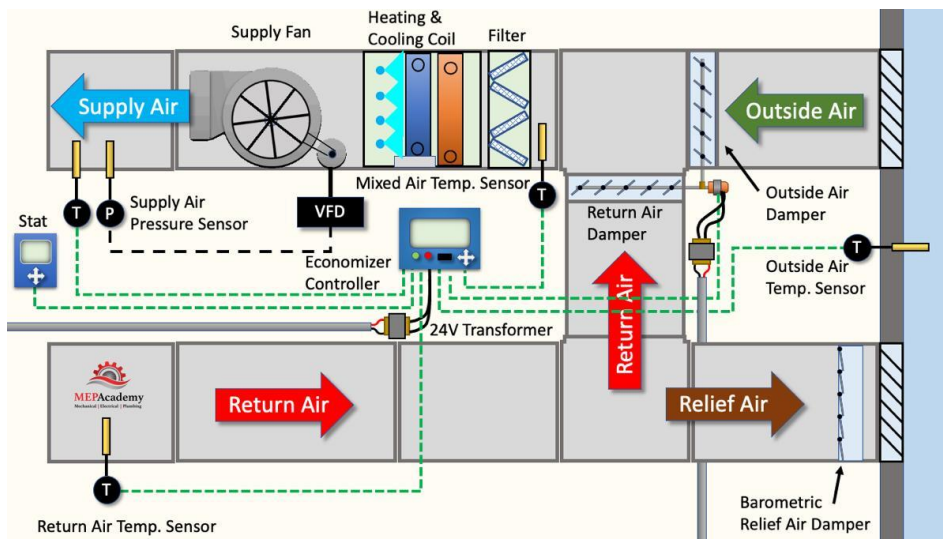
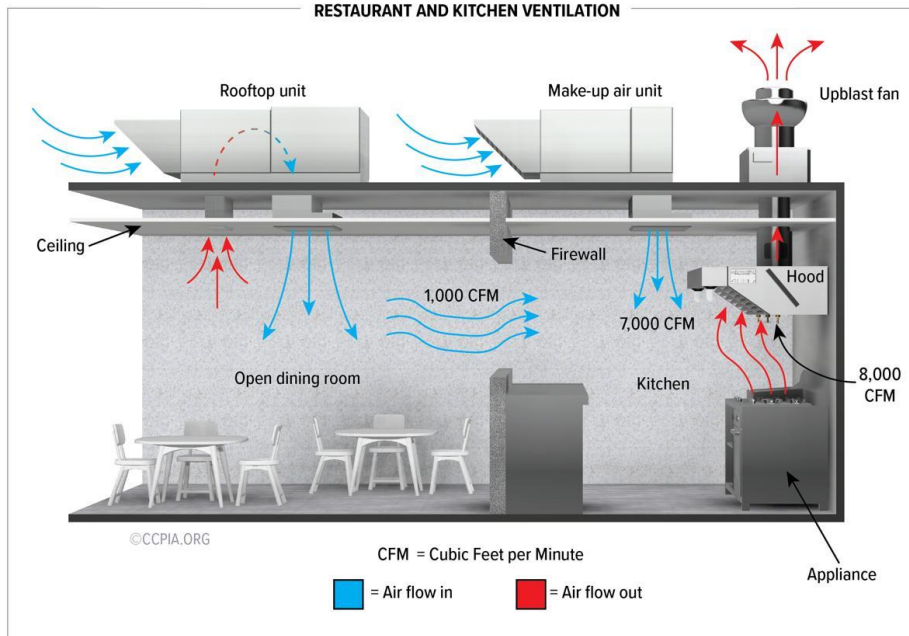
ASHRAE Standard 62.1 Fresh Air Calculation (Ventilation Rate Procedure)

ASHRAE Standard 62.1 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality သည် လူများအတွက် လုံလောက်သော **Fresh Air (Outdoor Air)** ပမာဏကို တွက်ချက်ရန် ကမ္ဘာတစ်ဝှမ်းတွင် အများဆုံးအသုံးပြုသော Standard ဖြစ်ပါသည်။

၎င်းကို Office, Hotel, Restaurant, Hospital, School, Shopping Mall, Airport, Data Center Support Area စသည့် Commercial Building များတွင် အသုံးပြုကြသည်။

Fresh Air ကို ဘာကြောင့်တွက်ရသလဲ?

RESTAURANT AND KITCHEN VENTILATION



Fresh Air မလုံလောက်ပါက

- CO₂ မြင့်လာသည်။
- အနံ့ (Odor) များလာသည်။
- Indoor Air Quality (IAQ) ကျဆင်းသည်။
- လူများ ပင်ပန်းနွမ်းနယ်ခြင်း၊ ခေါင်းကိုက်ခြင်း၊ အာရုံစူးစိုက်မှု လျော့နည်းခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။
- COVID-19 ကဲ့သို့ အသက်ရှူလမ်းကြောင်းဆိုင်ရာ ရောဂါများ ပြန့်ပွားနိုင်ခြေ တိုးလာနိုင်သည်။

ASHRAE 62.1 Ventilation Rate Procedure

Fresh Air ကို အဓိကအားဖြင့် လူဦးရေ (People Load) နှင့် အခန်းအကျယ် (Floor Area) နှစ်ခုလုံးအပေါ် အခြေခံတွက်ချက်သည်။

Equation

$$V_{bz} = R_p \times P_z + R_a \times A_z$$

အဓိပ္ပါယ်

- **Vbz** = Breathing Zone Outdoor Airflow (L/s)
- **Rp** = Outdoor Air Rate per Person (L/s·person)
- **Pz** = Number of People
- **Ra** = Outdoor Air Rate per Unit Area (L/s·m²)
- **Az** = Floor Area (m²)

ASHRAE Table မှ Rp နှင့် Ra

ဥပမာ

Building Type	Rp (L/s·person)	Ra (L/s·m ²)
Office	2.5	0.3
Restaurant Dining	3.8	0.9
Hotel Guest Room	5.0	0.3

Building Type Rp (L/s·person) Ra (L/s·m²)

Classroom 5.0 0.6

Conference Room 3.8 0.3

Retail Shop 3.8 0.6

မှတ်ချက် - တန်ဖိုးများသည် ASHRAE 62.1 Edition အလိုက် အနည်းငယ်ပြောင်းလဲနိုင်သဖြင့် Design လုပ်ရာတွင် အသုံးပြုနေသော Edition ကို အတည်ပြုရပါမည်။

Example 1 (Office)

အချက်အလက်

Office Size

20 m × 15 m

Floor Area

$$20 \times 15 = 300 \text{ m}^2$$

Occupants

30 Persons

ASHRAE Table

Rp = 2.5 L/s.person

Ra = 0.3 L/s.m²

Step 1

People Component

$$R_p \times P_z$$
$$2.5 \times 30 = 75 \text{ L/s}$$

Step 2

Area Component

$$R_a \times A_z$$
$$0.3 \times 300 = 90 \text{ L/s}$$

Step 3

Total Outdoor Air

$$75 + 90 = 165 \text{ L/s}$$

Convert to CFM

$$1 \text{ L/s} = 2.119 \text{ CFM}$$

$$165 \times 2.119 = 350 \text{ CFM}$$

Fresh Air Requirement

$\approx 165 \text{ L/s}$

$\approx 350 \text{ CFM}$

Example 2 (Restaurant)

Restaurant နှင့် Dining Hall များတွင် Exhaust Air System နှင့် Fresh Air (Make-up Air) System

နှစ်မျိုးစလုံးကို တပ်ဆင်ပေးရန် လိုအပ်ပါသည်။ အထူးသဖြင့် Commercial Kitchen (မီးဖိုချောင်) ပါရှိသော စားသောက်ဆိုင်များတွင် Exhaust တစ်ခုတည်း တပ်ဆင်ခြင်းသည် မလုံလောက်ဘဲ၊ ပြန်လည်ဖြည့်တင်းပေးမည့် Fresh Air System ကိုပါ တွဲဖက်ဒီဇိုင်းလုပ်ရပါသည်။

အဘယ်ကြောင့် Fresh Air လိုအပ်သနည်း

Kitchen Hood မှ Exhaust Fan က အဆီအငွေ့၊ မီးခိုး၊ အပူနှင့် အနံ့များကို အပြင်သို့ ထုတ်ပစ်သည်။

Fresh Air မရှိလျှင်

- အဆောက်အအုံအတွင်း Negative Pressure ဖြစ်နိုင်သည်။
- မီးဖို Hood ၏ Smoke Capture စွမ်းရည်ကျဆင်းနိုင်သည်။
- Dining Hall ထဲသို့ မီးခိုးနှင့် အနံ့များ ပြန်ဝင်နိုင်သည်။

- တံခါးဖွင့်ပိတ်ရခက်ခြင်း၊ လေအေးစနစ် အလုပ်မလုပ်ကောင်းခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။
- ဓာတ်ငွေ့အသုံးပြုသော Cooking Equipment များ၏ လုံခြုံရေးကို ထိခိုက်စေနိုင်သည်။

ရုပ်ရှင်ရုံ (Cinema)၊ ကဇာတ်ရုံ (Theater/Auditorium)၊ Shopping Mall (ကုန်တိုက်)၊ Convention Hall၊ Conference Hall၊ Ballroom နှင့် လူအများစုဝေးရာ အဆောက်အဦများ တွင် Fresh Air System နှင့် Exhaust Air System ကို HVAC Design ၏ အရေးကြီးသောအစိတ်အပိုင်းအဖြစ် မဖြစ်မနေ ထည့်သွင်းစဉ်းစားရပါသည်။

ယင်းစနစ်များသည် လူအများအပြား စုဝေးနေသည့်အချိန်တွင် CO₂၊ အနံ့၊ အပူနှင့် Indoor Air Quality (IAQ) ကို ထိန်းသိမ်းရန် အဓိကရည်ရွယ်ပါသည်။ ASHRAE Standard 62.1 နှင့် International Mechanical Code (IMC) တို့တွင် လူအသုံးများသော အဆောက်အဦများအတွက် Outdoor Air Ventilation လိုအပ်ချက်များကို သတ်မှတ်ထားသည်။

Fresh Air System ဘာကြောင့်လိုအပ်သလဲ

လူတစ်ဦးသည် အသက်ရှူစဉ် CO₂၊ ရေငွေ့နှင့် အနံ့များ ထုတ်လွှတ်သည်။ လူဦးရေများလာသည်နှင့်အမျှ—

- CO₂ ပမာဏ တိုးလာသည်။
- အောက်ဆီဂျင် (O₂) အသစ်လိုအပ်လာသည်။
- အပူနှင့် စိုထိုင်းဆ မြင့်တက်လာသည်။
- အိပ်ငိုက်ခြင်း၊ ခေါင်းကိုက်ခြင်း၊ အာရုံစူးစိုက်မှု လျော့နည်းခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။

ထို့ကြောင့် Fresh Air System သည် Outdoor Air ကို စစ်ထုတ်ပြီး Air Handling Unit (AHU) မှတစ်ဆင့် အဆောက်အဦအတွင်းသို့ ပို့ပေးသည်။

Fresh Air System Flow

Outdoor Air

|

Air Intake Louver

|

Air Filter

|

AHU / FAHU

|

Cooling Coil

|

Supply Fan

|

Supply Diffusers



Occupied Space

Exhaust Air System ဘာကြောင့်လိုအပ်သလဲ

Exhaust System သည်

- အသုံးပြုပြီးသော လေ (Stale Air)
- CO₂
- Toilet အနံ့
- Pantry အနံ့
- Heat
- Moisture

တို့ကို အပြင်သို့ ထုတ်ပစ်သည်။

Occupied Space

|

Return Grille

|

Exhaust Fan

|

Exhaust Duct

|

Outdoor

Cinema (ရုပ်ရှင်ရုံ)

ရုပ်ရှင်ရုံသည်

- လူများ
- အချိန်ကြာကြာထိုင်ခြင်း
- ပိတ်ထားသောနေရာ
- မီးပိတ်ထားခြင်း

ဖြစ်သောကြောင့် Fresh Air အလွန်အရေးကြီးသည်။

ဒီဇိုင်းအခြေခံမှာ—

- Fresh Air → Ceiling Diffusers မှ ဖြန့်ဝေ
- Return Air → နောက်ဘက် သို့မဟုတ် Ceiling Return
- Toilet → သီးသန့် Exhaust
- Projection Room → Exhaust သီးသန့်

Theater / Auditorium

Stage Lighting များမှ အပူများစွာ ထွက်သောကြောင့်—

- Fresh Air
- Return Air
- Stage Exhaust

တို့ကို ပေါင်းစပ်ဒီဇိုင်းလုပ်ရသည်။

Stage အပူကို မထုတ်နိုင်လျှင် အပူချိန်မြင့်တက်ပြီး အနုပညာရှင်များနှင့် ပရိသတ် နှစ်ဖက်စလုံးအတွက် မသက်သာ ဖြစ်စေနိုင်သည်။

Shopping Mall

Shopping Mall များတွင်

- Shop များ
- Food Court
- Cinema
- Supermarket
- Toilet
- Corridors

စသည့်နေရာများအလိုက် Ventilation System မတူညီပါ။

ဥပမာ—

Area	Fresh Air	Exhaust
Mall Corridor	✓	Return Air
Retail Shop	✓	Return Air
Food Court	✓	✓
Kitchen	✓	✓ (Grease Exhaust)
Toilet	✗	✓
Electrical Room	လိုအပ်သလို ✓	
Garbage Room	✗	✓

Pressure Relationship

လူအများစုဝေးရာ အဆောက်အဦများတွင် Pressure Control သည် အရေးကြီးသည်။

Outdoor

↓ Fresh Air

Mall (Positive)

↓

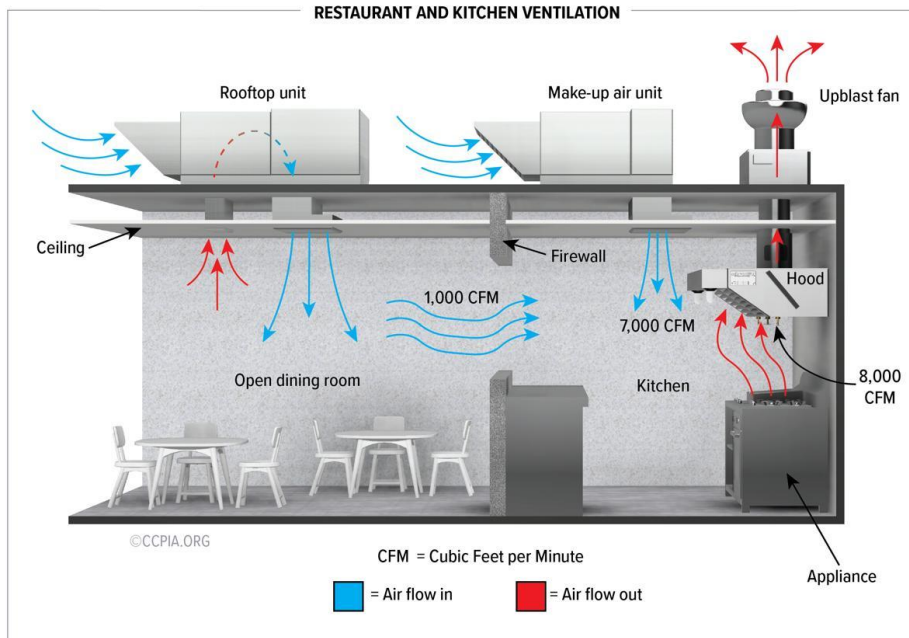
Shop

↓

Toilet (Negative)

Exhaust Fan

Commented [HH1]:



Dining Area

400 m²

Occupants

120

ASHRAE

Rp = 3.8

Ra = 0.9

People Air

$$3.8 \times 120 = 456$$

Area Air

$$0.9 \times 400 = 360$$

Total

$$456 + 360 = 816 \text{ L/s}$$

Convert

≈ **1,730 CFM**

AHU Fresh Air Damper

Outdoor Air Intake Design

Engineering Design တွင်

တွက်ရသည်မှာ

- Fresh Air CFM
- Intake Louver Size
- Louver Velocity
- Filter Pressure Drop
- Mixing Ratio
- Fan Static Pressure

Energy Saving

Fresh Air များလေလေ

Cooling Load

တက်လာသည်။

ထို့ကြောင့်

Energy Recovery Ventilator (ERV)

Heat Recovery Wheel

Demand Control Ventilation (CO₂ Sensor)

တို့ကို အသုံးပြုကြသည်။

Hotel Example

Guest Room

35 m²

Occupants

2 Persons

ASHRAE

Rp = 5

Ra = 0.3

Fresh Air

People

$5 \times 2 = 10$

Area

$0.3 \times 35 = 10.5$

Total

20.5 L/s

≈ 43 CFM

Fresh Air Calculation Workflow

Building Type

|

▼

ASHRAE Table

(Rp, Ra)

|

▼

Occupants

|



Floor Area



Outdoor Airflow



CFM Conversion



AHU Selection



Fresh Air Duct Design

Engineering Design တွင် ဆက်လက်တွက်ချက်ရသောအချက်များ

Fresh Air Calculation ပြီးပါက အောက်ပါ Design များကို ဆက်လက်တွက်ချက်ရသည်။

1. **Cooling Load** (Fresh Air Sensible & Latent Load)
2. **Psychrometric Analysis**
3. **Mixed Air Temperature**
4. **AHU Coil Capacity**
5. **Supply Air Quantity**
6. **Duct Size Selection**
7. **Static Pressure Calculation**
8. **Fan Selection**
9. **Motor Power Calculation**
10. **TAB (Testing, Adjusting & Balancing)**

မဖြစ်မနေလိုက်နာရသော Standards

Fresh Air Design တွင် အများဆုံးအသုံးပြုသော Standards များမှာ

- **ASHRAE Standard 62.1** – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
- **ASHRAE Handbook – Fundamentals**
- **ASHRAE Handbook – HVAC Applications**
- **ASHRAE Standard 55** – Thermal Comfort
- **SMACNA HVAC Duct Design**
- **CIBSE Guide B**
- **International Mechanical Code (IMC)**

HIGH-RISE BUILDING VENTILATION DESIGN GUIDELINE

1. Design Codes & Standards

High-rise Building တစ်ခုတွင် အောက်ပါ International Codes များကို အခြေခံထားရသည်။

ASHRAE

- ASHRAE Standard 62.1
 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
- ASHRAE Standard 62.2
 - Residential Buildings
- ASHRAE Standard 55
 - Thermal Comfort

International Mechanical Code (IMC)

Mechanical Ventilation Design

Duct Design

Smoke Control

Parking Exhaust

IBC

International Building Code

Occupancy

Exit

Smoke Control

Fire Escape

SMACNA

Duct Design

Pressure Loss

Velocity

Duct Construction

BS EN

BS EN 12101

Smoke Control System

BS EN 13779

Ventilation

2. Building Ventilation Classification

High-rise Building တစ်ခုတွင် Area များကို အောက်ပါအတိုင်းခွဲသည်။

Residential Area

Commercial Area

Lobby

Corridor

Lift Lobby

Restaurant

Kitchen

Car Parking

Common Toilet

Electrical Room

Mechanical Plant Room

Generator Room

Pump Room

Fire Command Center

Staircase

Refuge Floor

Garbage Room

3. Residential Apartment Ventilation

Natural Ventilation

Window Area $\geq 10\%$ Floor Area

Openable Window $\geq 5\%$

Cross Ventilation

Mechanical Exhaust

Kitchen

Bathroom

Laundry

Fresh Air Requirement

ASHRAE 62.1

Outdoor Air =

$R_p \times \text{Population}$

•

$R_a \times \text{Floor Area}$

Typical Values

Living Room

7.5 CFM/person

Bedroom

5 CFM/person

4. Commercial Area Ventilation

Office

Fresh Air

5–10 L/s/person

Meeting Room

10–15 L/s/person

Retail

7–10 L/s/person

Air Changes

Office

4–8 ACH

Lobby

6 ACH

Conference

8–12 ACH

5. Common Toilet Ventilation

Mechanical Exhaust Required

ACH

10–15 ACH

Negative Pressure

–5 Pa

Exhaust Fan

Continuous

Calculation

Room Volume

=

Length × Width × Height

Airflow

CFM=Volume × ACH / 60

Example

Toilet

5 × 4 × 3

Volume

60 m³

ACH

12

Airflow

720 m³/hr

6. Car Parking Ventilation

Carbon Monoxide Removal

Jet Fan System

Duct System

ASHRAE

6 ACH

Normal

10 ACH

Emergency

CO Sensor

25 ppm

Start Fan

50 ppm

High Speed

7. Restaurant Ventilation

Dining

Outdoor Air

8–10 L/s/person

ACH

8–12

Positive Pressure

Kitchen

Mechanical Exhaust

Make-up Air

Grease Duct

Fire Damper

Kitchen Hood Exhaust

Capture Velocity

0.5–0.75 m/s

8. Kitchen Exhaust System

Grease Filter

Exhaust Fan

Fresh Air

Fire Suppression

Grease Duct

Access Door

Cleaning

Exhaust

1500–2500 CFM

Cooking Type ပေါ်မူတည်၍

9. Fire Escape Staircase

Pressurization System

Positive Pressure

50 Pa

Door Opening

15–25 Pa

Fan

Dedicated

Smoke Free

Calculation

Air Leakage

Door Opening Force

Pressure Differential

10. Lift Lobby Pressurization

Smoke Free Lobby

Positive Pressure

40–50 Pa

Automatic Control

Fire Alarm Integration

11. Mechanical Plant Room

Fresh Air

6 ACH

Exhaust

10 ACH

Generator Room

Radiator Air

Combustion Air

Fuel Vapor Exhaust

12. Electrical Room

Transformer Room

Battery Room

UPS Room

Switchgear Room

Battery Room

Hydrogen Exhaust

6 ACH

13. Smoke Management System

Smoke Exhaust Fan

Smoke Damper

Fire Damper

Stair Pressurization

Lift Shaft Pressurization

Atrium Smoke Exhaust

14. Air Change Rate Reference

Area	ACH
Apartment	4–6
Office	6
Toilet	12
Kitchen	30–60

Area	ACH
Restaurant	10
Parking	6
Plant Room	10
Electrical Room	6
Lobby	8
Staircase	Pressurized

15. Duct Velocity

Main Duct

6–10 m/s

Branch

4–6 m/s

Diffuser

2–3 m/s

Kitchen Exhaust

10–15 m/s

Parking

8–12 m/s

16. Pressure Loss Calculation

Total Static Pressure

=

Duct Loss

•

Elbow Loss

•

Damper Loss

-

Filter Loss

-

Coil Loss

-

Diffuser Loss

17. Fan Power Calculation

Power

=

$Q \times SP$

÷

$(102 \times \text{Efficiency})$

Q

Airflow

SP

Static Pressure

18. Fresh Air Calculation

ASHRAE Formula

Outdoor Air

=

People Component

-

Area Component

19. Smoke Exhaust Calculation

Smoke Layer Height

Heat Release Rate

Smoke Production

Fan Capacity

Atrium Volume

20. CFD Simulation

High-rise Building များတွင် ယနေ့ခေတ် Design များ၌ Computational Fluid Dynamics (CFD) ဖြင့် အောက်ပါတို့ကို စစ်ဆေးလေ့ရှိသည်။

- Airflow Distribution
- Temperature Distribution
- Smoke Movement
- Stair Pressurization
- Car Park CO Distribution
- Kitchen Exhaust Performance

အသုံးများသော Software များမှာ ANSYS Fluent, PyroSim, FDS (Fire Dynamics Simulator), CONTAM, နှင့် OpenFOAM တို့ဖြစ်သည်။

ဆက်လက်ပြုစုနိုင်သော Engineering Handbook

ဤအကြောင်းအရာကို စာအုပ်ပုံစံဖြင့် အခန်းလိုက် အသေးစိတ် (စာမျက်နှာ ၃၀၀-၅၀၀ ခန့်) ပြုစုနိုင်ပါသည်။ ဥပမာအားဖြင့်—

1. High-rise Building MEP Design Criteria
2. ASHRAE 62.1 Ventilation Design (အသေးစိတ်)
3. Duct Sizing (Equal Friction, Static Regain, Velocity Reduction)
4. Fan Selection & Fan Curve Analysis
5. Car Park Ventilation & Jet Fan Design
6. Staircase Pressurization Design
7. Smoke Control System Design

8. Kitchen Hood & Grease Duct Design
9. Toilet Exhaust Design
10. Mechanical Plant Room Ventilation
11. HVAC Equipment Selection
12. Worked Design Examples (Excel/Hand Calculations)
13. AutoCAD HVAC Drawings
14. Revit MEP Models
15. CFD Simulation Examples

Industrial Ventilation System Guideline နှင့် Scope of Works (SOW)

အောက်ပါရှင်းလင်းချက်သည် Factory, Warehouse, Workshop, Chemical Plant, Food Factory စသည့် စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် အသုံးပြုသော **Industrial Ventilation System** အတွက် ဖြစ်ပါသည်။

Industrial Ventilation System ဆိုတာဘာလဲ?

Industrial Ventilation System သည် စက်ရုံအတွင်းရှိ

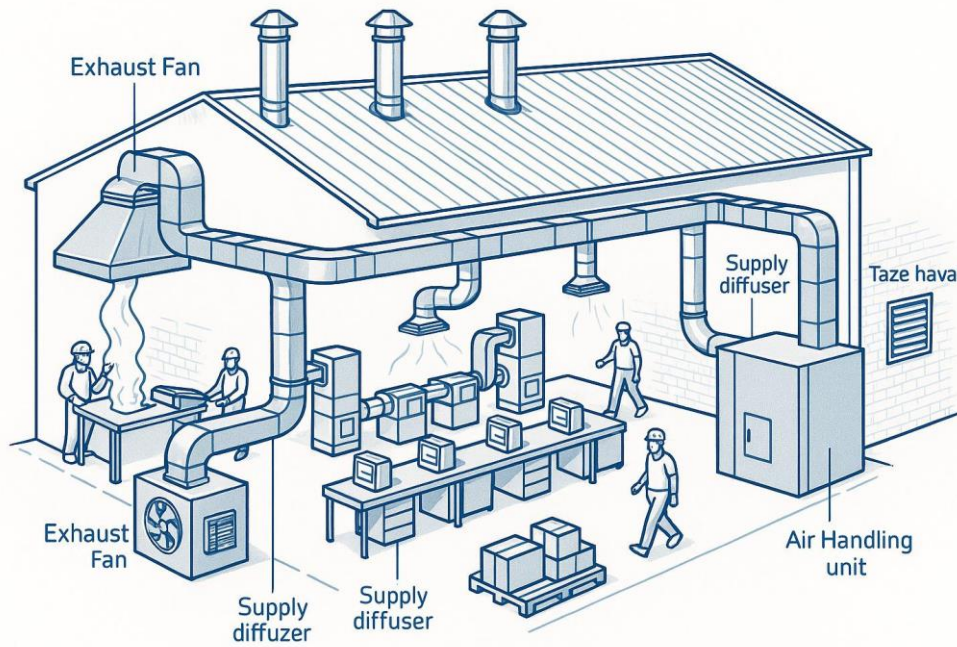
- အပူ (Heat)
- ဖုန်မှုန့် (Dust)
- မီးခိုး (Smoke)
- Fume
- Gas
- Chemical Vapor

တို့ကို ဖယ်ရှားပြီး Fresh Air ထည့်သွင်းပေးသော လေဝင်လေထွက်စနစ်ဖြစ်သည်။ ရည်ရွယ်ချက်မှာ အလုပ်သမားကျန်းမာရေး၊ မီးလောင်မှုအန္တရာယ်လျော့ချရေးနှင့် ထုတ်လုပ်မှုအရည်အသွေးတိုးတက်စေရန် ဖြစ်သည်။

Industrial Ventilation System အမျိုးအစား

1. General Ventilation (Dilution Ventilation)

စက်ရုံတစ်ခုလုံးအတွက် Fresh Air ထည့်ပြီး အပူနှင့် ညစ်ညမ်းလေကို dilute လုပ်ပေးသည်။

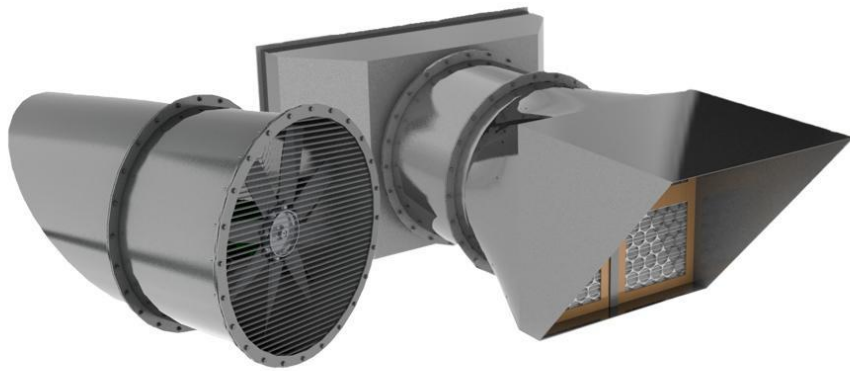


အသုံးပြုရာနေရာ

- Warehouse
- Production Hall
- Assembly Line
- Packaging Area

2. Local Exhaust Ventilation (LEV)

ဖုန်၊ မီးခိုး၊ Welding Fume စသည့် အညစ်အကြေးများကို ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာကနေ တိုက်ရိုက်စုပ်ထုတ်သည်။



LEV System အစိတ်အပိုင်းများ

1. Hood (စုပ်ယူခေါင်း)
2. Duct
3. Air Cleaner / Filter
4. Fan
5. Stack (Exhaust Outlet)

Industrial Ventilation System Components



Component	Function
Fresh Air Intake	အပြင်လေဝင်စေသည်
Air Filter	ဖုန်စစ်ပေးသည်
Supply Fan	Fresh Air ပို့သည်
Exhaust Fan	ညစ်ညမ်းလေထုတ်သည်

Component	Function
Duct	လေသယ်ဆောင်သည်
Hood	Source မှ စုပ်ယူသည်
Damper	Airflow ထိန်းချုပ်သည်
Diffuser	လေဖြန့်ဝေသည်
Silencer	အသံလျှော့သည်
Control Panel (VFD)	Fan Speed ထိန်းသည်

Design Guideline

Step 1 – Site Survey

- Building Layout
- Ceiling Height
- Production Process
- Heat Load
- Dust Source
- Chemical Source
- Existing HVAC

Step 2 – Airflow Calculation

တွက်ချက်ရမည့်အချက်များ

- Room Volume
- Air Changes per Hour (ACH)
- Heat Load
- Static Pressure
- Air Velocity

- Fan Capacity (CFM / CMH)

Step 3 – Equipment Selection

ရွေးချယ်ရန်

- Exhaust Fan
- Axial Fan
- Centrifugal Fan
- Filter
- Damper
- Diffuser
- Duct Material
- Air Handling Unit (လိုအပ်လျှင်)

Step 4 – Duct Design

Design အချက်များ

- Pressure Loss
- Velocity
- Duct Size
- Support
- Access Door
- Fire Damper

Step 5 – Installation

လုပ်ငန်းများ

- Duct Installation
- Fan Installation
- Damper Installation

- Filter Installation
- Electrical Wiring
- Control Panel Installation
- Vibration Isolator Installation

Step 6 – Testing & Commissioning

စစ်ဆေးရန်

- Airflow Test
- Noise Test
- Vibration Test
- Motor Current
- Fan Rotation
- Static Pressure
- Air Balance

Scope of Works (SOW)

Typical Scope of Works:

A. Engineering

- Site Survey
- Airflow Calculation
- Heat Load Calculation
- Design Drawing
- Shop Drawing
- As-built Drawing

B. Material Supply

- GI Duct
- Spiral Duct
- Flexible Duct

- Exhaust Fan
- Supply Fan
- Filter
- Damper
- Diffuser
- Louvers
- Supports
- Control Panel

C. Installation

- Duct Fabrication
- Duct Installation
- Fan Installation
- Electrical Cable
- Control Wiring
- Earthing
- Painting
- Insulation

D. Testing & Commissioning

- Air Balancing
- Fan Performance Test
- Leak Test
- Functional Test
- Client Demonstration

E. Documentation

- O&M Manual
- As-built Drawing

- Warranty
- Test Report
- Training

အသုံးပြုသော Design Standard

- ASHRAE
- SMACNA
- ACGIH Industrial Ventilation Manual
- NFPA (Fire Protection)
- OSHA (Worker Safety)