

「高層빌딩의 排煙問題와 그 對策」*

康 宗 權**

緒 言

近年 빌딩의 高層化 傾向은 우리나라의 경우에도 例外가 아니다.

특히 建築資材의 발달로 形形色色으로 着色된 厚板 유리로 둘러쌓여 無窓의 크리스탈 絶壁을 쌓 올려 놓은 듯도 싶다.

耐火構造의 高層빌딩에서 火災가 發生하면 排煙問題는 더욱 深刻한 문제를 惹起한다. 高層建物の 上層일수록 煙氣의 危險性은 더 높아 大規模의 窒息事故가 憂慮되고 있다.

一般的으로 100피트(ft) 以上되는 높이의 高層建物에서는 오늘날 주로 스프링클러시스템과 잘 짜여진 避難計劃(Evacuation programs) 및 高度로 專門化된 換·排氣 시스템에 의하여 建物 安全이 유지되고 있다.

그러나 排煙문제는 아직도 많은 問題點을 갖고 있으며 앞으로 建物이 高層化되면 될수록, 無窓빌딩이 많이 들어서면 들어설 수록 排煙문제는 深刻한 問題가 될 것으로 豫상된다. 특히 避難問題는 물론, 排煙作業도 큰 障害要因이 될 것으로 보여진다.

그러므로 本稿에서는 煙氣의 一般的 影響과 高層建物の 煙突效果(Stack effects)와 風壓 및 建物の 構造와 換排氣 慣例등 煙氣의 舉動에 影響을 미치는 諸要因에 關於하여 우리나라의 實情도 감안하면서 考察해 보고 現實의 인 排煙 對策의

方向을 모색하기로 한다.

用語 解説

煙氣: 然燒時 生成되는 超微固體粒子(very fine solid particles)과 濃縮된 煙氣(Condensed Vapor) 및 그 浮游物(Airborn product)로서, 異常, 高熱과 높은 壓力을 지니고 있는 것을 총 망라한 말이다.

1. 煙氣의 毒性和 그 影響

가. 煙氣의 毒性

火災時 發生되는 燃燒生成物과 加熱된 煙霧는 火災로 因한 死亡 災害者의 85%나 占하는 主要 死亡原因이 되고 있는데 그 代表的인 毒性 가스는 一酸化炭素(Carbon Monoxide; Co)이다. 이 가스를 마시면 血液中의 헤모글로빈(Hb)과 結合하여 Carboxy Hemoglobin을 만들므로 人事 不省에 빠지게하거나 死亡하게 된다.

특히 플라스틱類 物質의 燃燒時에는 0.229% 以上の CO가 發生되므로 그런 煙氣를 마시면 곧 重態에 빠지게된다.

주로 양탄자나 비단, 毛製品이 불에 탈때 發生되는 靑化水素(HCN)는 한 모금만 들여 마셔도 곧 呼吸器系統의 筋肉을 痲痺시켜 다시는 呼吸을 할 수 없게 되어 窒息死하게 된다.

그외 鹽素가스(Cl₂), 포스젠, 질소산화물(Oxides of Nitrogen), 炭酸가스, 암모니아가스등, 煙氣中의 有毒性가스는 火災時의 주변酸素濃度나 周圍의 溫度에 따라 數많은 類型의 有毒性 가스를 形成할 수가 있어 窒息과 中毒의 危險性은 언제나 火災現場에 도사리고 있게 마련이라 하여도 지나친 말이 아니다.

나. 煙氣의 影響

* 本論說은 本學會 秋季學術講演會(1988. 10. 14)에서 發表된 것임.

** 한국가스안전공사 수석연구원·博士·ASSE의 Professional Member

(1) 煙氣로 인한 視程의 低下

感光係數 $C_s=0.5(I/m)$ 로 하여 4層에서 出火後 몇分內에 사람의 視程避害限界에 도달하느냐에 대하여 日本에서 調査한 結果에 의하면 5~7層의 階段室에서는 2.7~3.6分, 複道에서는 階段室에서 約 25m 떨어진 地點까지 影響을 미치는데 不過 7~8.5分 밖에 걸리지 않은 것으로 밝혀지고 있다. 이런 結果를 보면 얼마나 煙氣가 迅速히 이동하여 視程을 低下시켜 避難中の 사람들이 피난路를 찾지 못하게 되거나 消防士가 消化作業中에 迷路에 빠질 수 있는 憂慮가 많게되는가를 쉬이 추측할 수 있게한다.

'88年 2月22日 20:00時頃에 서울시 구로구 시흥본동 863-46에서 火災가 發生되었을 때 揚壓式 空氣呼吸器 (Self sustained respiratory apparatus)를 맨 채 消火作業中 迷路에 빠져 지체되는 바람에 空氣를 다 소모하여 마침내 窒息死한 例도 있어 그 煙氣의 影響의 深刻性을 새삼 느낄 수가 있다.

(2) 煙氣로 인한 制御機能의 麻痺煙氣로 인하여 엘리베이터의 制御機能의 마비되는등의 例가 그 代表的인 것이라 할 수 있다.

(3) 煙氣로 인한 恐怖(panic)

煙氣가 予期치 않았던 때와 곳으로 부터 不意에 몰려 들어오면 누구나 一時 理性을 잃고 어린애가 되어 어리석은 行動을 저지르게 된다. 이런 현상이나 또는 흔히 火災가 날 때 연기나 불길에 놀라서 자기만 살려는 비 이성적이고 예고이스트적인 우행을 발작적으로 일으키는 현상을 패닉(panic) 현상이라 하는데 그로 인한 被害는 實로 莫甚한바 있다고 할 수 있다.

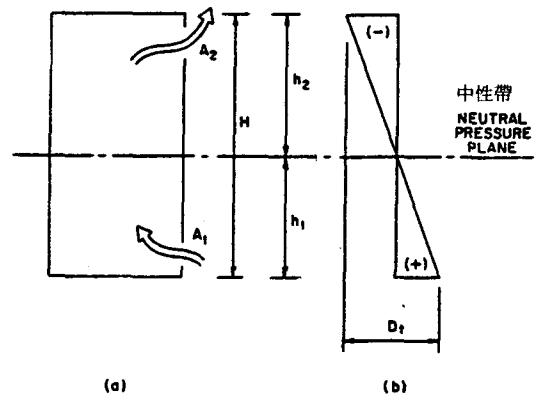
大然閣 호텔의 火災時 上層에서 寢台 스프링 보드를 타고 窓門으로 부터 投身하는 일도 보았는데 이런 일은 모두 恐怖에 걸린 사람들이 저지르는 좀처럼 믿겨지지 않는 行動의 한 표본이라 하겠다.

그때 얼마나 많은 사람이 恐怖에 걸려 죽어간는지는 이루 헤어릴 수 조차 없다.

2. 高層建物內에서 일어나는 煙氣의 舉動.

火災가 일어나면 一般的으로 可燃物이 燃燒되면서 約1000℃ 以上에 이르는 高熱을 發하고 많은 煙氣를 發生시킨다. 火災에는 壓力이 平均 0.

1~0.2inch水柱 程度만큼 昇壓되므로 이것이 煙氣가 피어오르도록 影響을 미치고 建物內에서는 造成되는 對流의 影響을 받게 마련이어서 換氣 위로 위로 올라가게 되어 있다.(그림 1. 空氣의 移動과 中性帶位置参照)



(a) 建物內에서 上昇氣流가 생겨 空氣의 移動이 생겨났음을 보여줌
(b) 建物の 約中間部分에 中性帶가 생겨났음을 보여줌

그림 1. 空氣의 移動과 中性帶 位置

그러나 앞에서 기술한바와 같은 一般的인 煙氣의 舉動은 高層建物內·外의 大氣溫度差로 인한 比重差異 때문에 造成되는 煙突效果에 따라 크게 달라질 수 있다.

煙突效果란 다시 말하면 建物內部에서 생기는 自然空氣의 垂直風 形成에 대한 效果라 하겠다. 이런 效果는 高層建物內에서 일어나는 煙氣의 舉動에 大端히 重要한 민감한 影響을 미친다. (그림 #2 參照)

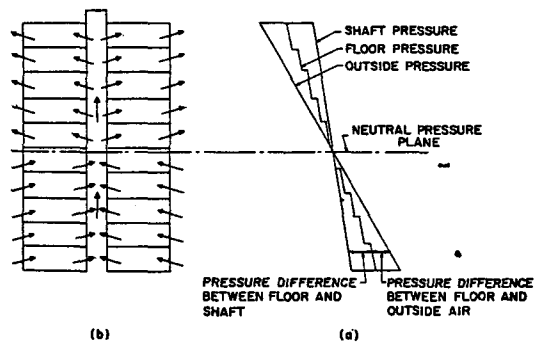


그림 2. 煙突效果로 空氣의 移動을 일으키는 壓力差

그외에도 高層建物內에서 일어나는 煙氣의 舉動에 影響을 주는 支配的 要因을 살펴보면 아래와 같은 要因들이 있다.

가. 溫度上昇에 따른 氣의 膨脹

나. 建物에 대한 風壓의 影響

다. 建物內의 強制的 空氣移動

建物內에서 이루어지고 있는 機械的 시스템에 의하여 調節되고 移動되는 空氣의 흐름 轉換·排氣狀態이다.

위 要因들을 詳述하면 다음과 같다.

高層建物の 火災時 煙氣나 有害 氣가 廣範圍하게 擴散되는 要因도 알고 보면 高層建物이란 構造에서 생기는 煙突效果 때문이라고 할 수 있다.

煙氣隧道(Smoke Shaft)의 煙口가 다 잠겨져 있었는데도 階段室 및 엘리베이터의 隧道를 통하여 煙氣가 上層으로 擴散된 實例는 얼마든지 있다.

煙突效果의 特徵은 高層建物の 地上層에서 부터 집중에 이르는 垂直空間에서 이루어지는 強力한 吸引力에서 그 特色을 찾을 수가 있다.

煙突效果는 建物이 높이와 外部壁의 機密性, 建物層間의 漏氣口 및 建物內部空氣와 外部大氣間의 溫度差에서 形成되게 된다.

다음 數式으로 自然 吸引力의 크기를 計算할 수가 있다.

$$Dt = 2.96 H B_0 \rho \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right)$$

Dt: 理論的인 吸引力(인치水柱)

H: 吸入 및 排出口間의 垂直 距離(ft)

B₀: 大氣壓力(인치 水銀柱)

T₀: 外部大氣 溫度(F°, 絶對)

T_i: 建物內室氣溫度(T° 絶對)

ρ: 空氣比重(0° F에서) Lbs / foot³

B₀를 29.9로, ρ를 0.0862로 pcf로 假定하면

$$Dt = 7.63H \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right)$$

이 數式에서 보면 H인 開口部 間의 垂直距離와 建物內外의 空氣 溫度差(T₀-T_i)에 따라 煙實效果가 크게 달라질 수 있음을 알 수 있다.

또한 外部大氣溫度 T₀가 内部空氣溫度 T_i보다 낮을 때는 建物 下部에 있는 開口部가 給氣口가 되어 空氣의 舉動은 垂直上方向으로 움직이게

되어 上部에 있는 開口部는 自然 排氣口가 되게 마련이며 外部大氣溫度 T₀가 内部空氣溫度 T_i보다 높을 때는 逆方向으로 煙氣의 舉動이 달라질 수 있다는 것을 보여준다.

이런 理致를 充分히 이해하지 못하고 窓門을 무원칙하게 깨뜨려서 給氣나 排煙口를 形成하면 어떤 逆效果가 일어 나는지에 대하여 特別한 關心을 가져야 할 것이다. 窓門이 닫혀진 狀態의 高層建物에서 建物높이의 約½되는 곳에서는 建物內外의 大氣壓力이 同一하게 形成되어 그 一帶에서는 窓門을 열어놓아도 外氣가 建物內로 들어가지도 않으며 內氣가 밖으로 나가지도 않게 되는 곳이 생긴다.

이런 곳을 中性帶(neutral pressure plane)라 한다.

이런 中性帶가 어떤 原理에 의하여 形成되며 어떤 경우에 建物上下로 옮겨지는지를 理解하면 排煙對等を 樹立하는데 큰 도움을 받을 수가 있다.

大氣는 中性帶 밑層의 開口部를 통하여서만 건물내로 흘러들어가게 되며 建物內의 空氣는 中性帶 위쪽의 層에서만 排煙될 수가 있다. 건물내에 滯溜하던 煙氣도 中性帶보다 윗쪽의 層에서만 밖으로 排煙될 수 있다는 말이다.

外氣溫度가 建物內 溫度보다 높은 夏季節에 中性帶 윗쪽의 層에서 火災가 發生되었을 때 불난層 또는 그 下層에서 排煙하면 中性帶가 아래로 내려와 建物內 人員에게 惡影響을 미치며 煙氣滯留狀況도 夏季節때 보다 더욱 惡化되어 憂慮가 많아지므로 高熱과 排煙에 留意하지 않으면 많은 死傷者를 낼 憂慮가 많다.

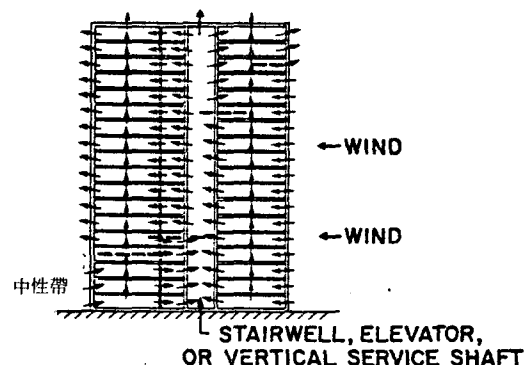


그림 3. 有效風은 中性帶를 降下시킨다.

風壓도 中性帶의 上下 移動에 影響을 준다. 一定 水準 以下의 바람이 불면 中性帶를 위쪽으로 올라가게하고 그支對로 強風이 불때에는 中性帶를 밑으로 끌어 내려오게 한다.(그림#3 有給風은 中性帶를 降下시킨다 參照)

中性帶의 位置는 다음 公式에 의거 찾을 수가 있다.

$$\frac{h_1}{h} = \frac{A_2^2 T_o}{A_1^2 T_i}$$

h_1 및 h_2 는 中性帶로부터 上下 開口部까지의 各層의 距離

A_1 및 A_2 는 上下 開口部의 斷面積

T_i 및 T_o 는 建物內外의 各層의 絶對溫度

2. 高層建物에서 火災가 났을때 全收容人員을 避難시킬 수는 없다.

가. 많은 收容人員

大部分의 高層建物에는 많은 人員을 收容하고 있다.

미국 시카고시의 씨어즈타워(Sears Tower, 109層, 높이 1450피트, 면적4400,000ft²) 建物の 경우 씨어즈의 고용인만 7,000명이고 임대 고용인이 8,000명, 기타 상업종사원이 1500명이나 된다고 한다.

서울의 大韓生命빌딩 63층의 경우 면적이 16만m²(5만坪), 높이가 264m에 이르러 收容人員도 大端히 많다.

高層建物도 오피스, 호텔, 百貨店, 病院, 기타 若干의 工場등 그 用途도 多様하며 收容된 人員도 各樣各色하다. 避難에 所要되는 時間도 서로 다르고 또 엄청난 시간이 걸리게 되어 있다.

雪上加想으로 火災時의 高熱과 大量의 煙氣와 毒姓가스, 水蒸氣 火災時의 騒音, 火災時의 悲鳴 소리, 아우성 소리 등 참으로 요란한 要意氣속에서 거의 自己精神이 아닌 그數많은 사람들을 질서있게 避難시킨다는 것은 普通 어려운 問題가 아니다. 特히 恐怖狀態에서 거의 訓練되지 않은 顧客의 무질서한 舉動을 想像만 하여도 머리가 아플 지경이다.

美國에서 50層 높이의 高層建物에서 正常狀態下에서 實際로 避難 訓練을 實施할때 測定한 統計 報告에 의하면 11層에서 地下層까지 避難하

는데 所要된 時間이 6分 30抄였으며, 30층에서는 18분이 걸렸고 50層에서는 2時間11分이나 所要되었다고 한다.

萬一 火災時라면 훨씬 더 많은 시간이 걸릴 뿐 아니라 火災狀況이 正常的 避難을 防害하여 거의 避難을 不可能하게 만들수도 있다. 또한 全收容人員을 避難시키는데서 오늘 수많은 損失등의 列作用을 감안하면 거의 全收容人員의 避難은 있을 수 없다는 것이 오늘날의 事情이 되고 있다.

한편 高層建物の 設計基準의 向上과 安全施設의 發達로 避難施設인 階段室이 거의 어느 高層建物에나 다 完備되어 있는 高層建物들이 세워지고 있어 事情은 從前보다 좀 나아지고 있으나 그렇지 못한 건물이 아직도 많고 또한 建物の 構造로 보아 어쩔 수 없는 엘리베이터의 隨道등 垂直開口部가 많으며 層間의 漏氣口나 外部壁의 틈등 때문에 불난 層에서 火災를 局限시킬 수 없는 建物の 脆弱點이 많이 남아 있다. 앞으로 科學의이고도 專門인 排煙施設을 갖추지 않으면 避難時 큰 障礙要因이 되는 煙氣의 流入 때문에 避難計劃의 實效를 거둘 수 없을 것이다.

特히 高架救助裝備는 全世界的으로 아직도 10層以下에서나 그 效果를 보고 있다고 한다.

1971年 大然閣빌딩의 大火災 直後 現場을 調査할 때 直接 目擊한 바에 의하면 階段의 난간 손잡이의 나무가 9層과 10層 사이의 階段참을 基點으로 하여 위쪽은 모두 불에 타서 없어졌고 단간의 쇠붙이도 모두다 高熱에 녹아 내려 불품 없이 되어 있었으나 그 밑으로는 쇠살은 물론 난간손잡이의 나무도 약간 연기에 그을려있기는 하였으나 모두다 멀쩡한 상태로 남아 있었다.

이런 狀態로 미루어 보아 그때 당시 서울시의 최신 소화장비로도 9層以上の 建物에는 別 消火 效果를 나타내지 못할 정도로 消火能力이 制限되어 있었던 것을 알 수 있다. 다시 말하면 9層以下에서는 火災時 發生되었던 高熱을 어느 程度 統制할 수 있는 能力은 가지고 있었으나 그 윗層에서는 消火도 救助도 할 수 없었음을 나타내 보이고 있었다. 우리나라에서는 大然閣 大

化以後에도 如前히 11層以上の 建物에 限하여 建物主가 스프링클러등의 自動消火設備를 갖추도록 規定한 消防法 基準을 9層以下로 낮추지 않고 있다.

11層이란 基準은 日本의 基準일 뿐, 韓國과는 아무 의미도 지니고 있지 않았던 죽은 기준에 계속 무관심한 태도로 一貫하고 있는지 궁금하다.

지금 高架救助裝備는 全國적으로 平均 몇層까 지나 그 能力이 미치고 있는지 따져볼만도 하다.

結論적으로 高層建物에서 火災가 發生하면 全收容人員이 脱出한다는 概念은 하루속히 變更되어야 하며 再教育을 시켜야 한다고 하겠다.

더 나아가 層間의 煙氣의 漏入일 施工上 完璧을 기하여 이를 막는 등으로 構造補強을 하여 불난層보다 한層만 밑으로 내려오면 다른 層에는 전혀 熱이나 煙氣의 影響을 미치지 않도록 建築設計 및 安全상 万全을 기하고 火災統制本部 中心으로 安全管理에 万全을 기해야 할 것으로 믿는다.

- 火災統制 本部 및 統制事項
- 住置一地上層
- 施設一火災·煙氣 및 熱感知, 通信시설등
- 重要統制事項
- 排煙統制
- 整直 및 垂平開口部 統制
- 火災層隣接層에 대한 昇壓
- 避難統制
- 保安統制
- 消火活動支援

3. 高層建物の 煙突効果 및 中性帶를 考慮하여 煙氣隨道(Smoke Shaft)을 갖추어야 한다.

우리나라의 高層建物에도 階段室內에 排煙塔(Smoke tower)이 있는 곳은 많다. 그러나 煙氣隨道를 갖춘 建物은 몇 되지 않는다.

建物 높이와 같이 垂直隨道를 이루고, 그 頂上에 大氣와 통하는 開口部를 마련하고 各層마다 壁內에 댐퍼(damper)가 달린 開口部를 두어 어떤 層에서나 火災가 일어나며 传感器에 의거 댐퍼가 먼저 開放되고 그 火災發生層의 바닥에서 煙氣를 모아 煙竇구실을 하게 되어 頂上의 開口部

를 통하여 排煙을 하게 한다.

中性帶가 煙氣隨道의 頂上部 가까이 形成되면 모든 層에서 煙氣水稻內部 보다 높은 建物內 壓力이 造成되어 煙氣隨道로 煙氣가 쏠리게 되어 있다.

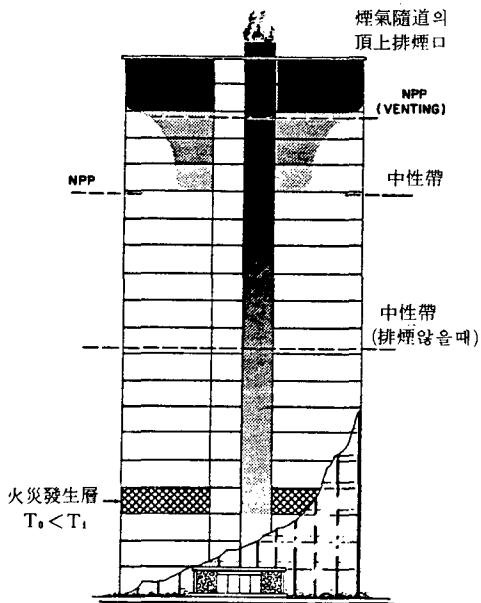
일단 煙氣가 隨道로 들어가면 火災發生層의 壓力이 低下되는데 이때 곧 그 上層으로 부터 火災發生層으로 空氣가 逆流入되므로 煙氣는 다른 層으로 擴散되지 않도록 된다.(그림#4 順調로운 排煙狀態參照)

火災發生層의 댐퍼 크기는 煙氣隨道의 內部의 壓力이 低下되도록 設計되어야 한다.

煙氣隨道는 高層建物 外部 溫度가 높거나 같을 때는 上昇氣流가 發生되지 않는 缺點이 있기는 하지만 가장 基本的인 排煙시설이므로 우리나라에서도 하루속히 마련토록 힘써야 할 것으로 사료된다.

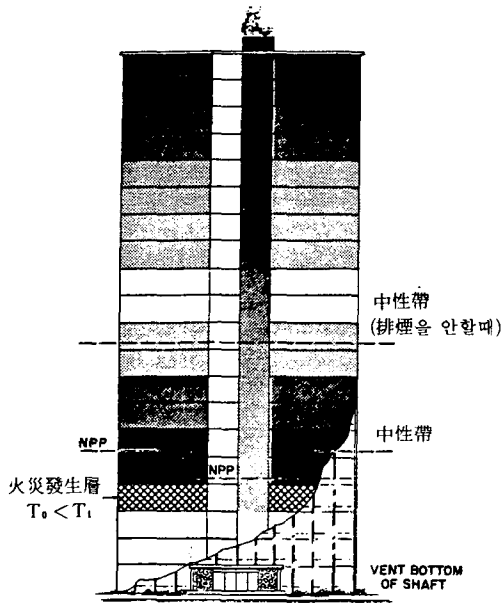
이런 夏季節에 있을 수 있는 煙氣隨道의 短點은 外部壁에 마련된 排煙口(Vent)에 의하여 補充될 수 있음을 부연하여 둔다.

(그림5. 順調롭지 못한 排煙狀態 參照)



* $T_0 < T_1$ 時 頂上排煙口에서 排煙하면 中性帶는 위로 올라간다. ○따라서 排煙이 順調롭게 된다.

그림 4. 順調로운 排煙狀態



$T_0 < T_1$ 時 火災發生層 또는 그 下部에서 排煙하면 中性帶를 밑으로 下降시켜 煙氣滯留狀況을 惡化시킨다.

그림 5. 順調롭지 못한 排煙狀態

4. 基本的 排煙裝置으로서 排煙口를 地下나 無窓層에만 設置하도록 限定할 것이 아니라 全層에 마련하는 것이 바람직 할때가 많다.

排煙口의 元來 目的을 스프링쿨러나 다른 消火設備의 補助施設로서 建物內에서 煙氣와 熱을 排出하고 火災中心部 가까이 까지 사람이 接近하여 消火活動과 救助活動을 促進하기 위한 것이다.

從來로 부터 排煙을 하는 方法에는 外部壁 排煙方法과 앞서 기술한 內部 煙氣隨道方法에 의한 細部的인 排煙의 두 方法이 널리 쓰여져 왔다.

그 첫째가 外部壁 排煙口(Vent)에 의한 方法이고 또 다른 하나의 方法이 內部 排煙口와 煙氣隨道에 의한 排煙方法이다.

위 두 方法中 外部壁 排煙口에 의한 方法의 利點을 먼저 살펴보면 첫째 新回建물을 英論하고 裝着할 수 있는 利點이 있고 窓門틀이나 上層 骨格속에도 收給이 可能하다. 따라서 各層의 追加的인 面積을 點하지 않으며 費用도 煙氣隨

道시스템에 비하여 低廉하고 排煙隨道에 비하여 空氣의 漏減量이 적고 設置가 簡便한 長點이 있다.

그러나 外部 排煙口를 選擇할 때에는 排煙口 판넬資材와 가스켓은 空氣가 浸透해 들어가지 않도록 하고 또한 防水性과 不燃性의 것으로 되어야 하고 排煙口는 實祭的으로 開放되어도 않되므로 過度한 風壓下에도 견딜 수 있어야 한다. 排煙口 카바는 標準風 負荷에서는 完全히 開放되어야 하나 過度한 風速이나 風壓時에는 閉鎖되도록 設計되어야 한다.

排煙口는 建物內外의 것이 同時에 作動되어야 하며 排煙口の 開放을 即刻的으로 內部로 부터 할 수 있도록 設計되어야 한다.

排煙口는 어떤 열쇠나 자물쇠에 의하여 잠그어 놓아도 안되며 手動으로 열 수 있는 장치가 마련되어 있어 消防署員에 의하여 언제나 여닫을 수 있게 마련되어야 한다.

만일 內部 排煙口와 煙氣隨道가 마련되어 있으면 지붕의 排煙口는 火災發生層의 排煙口 開放과 同時에 거의 같은 時間에 開放될 수 있어야 한다.

結 語

高層建物에 있어서의 煙氣의 舉動은 低層建物에 있어서의 그것보다 크게 다르다.

高層建物에서의 排煙慣例(practice)에 대한 繼續的인 研究와 새로운 情報의 入手는 防火安全上 緊要하다.

高層建物の 火災時 煙氣의 舉動과 排煙을 效率的으로 하려면 中性帶位置變化에 대한 理解와 研究 및 實際狀況에서의 應用이 緊要하다.

中性帶의 活用은 高層建物 防火安全에 要部가 된다고 하여도 과언이 아니다.

앞으로 사계 研究者, 關係機關의 協調와 法 및 技術基準의 向上과 關係主爲의 支援이 火急하다. 또한 建築技士, 施工業者, 設計者, 安全裝備 製造業者, 防消火責任을 擔當하고 있는 安全管理者와 建物主를 包含한 經營層의 關心과 協力이 있어야 科學的이고도 體系的인 排煙對策이 세워질 수 있을 것으로 믿고 各一層의 發展을 追求하는

바이다.

1. National Fire Protection Association, Fire protection Handbook, 6thed., 1988.
2. National Fire Protection Association National Fire Codes, Life Safety Code, 204, 1988.

3. Brannigan, Francis L., Building Construction For the Fire Service, 1972.
4. National Safety Council, Safety News, July, 1973.
5. 康宗權, 産業安全工學, 東逸出版, 1985.