

火災時 建築物 内部의 有機高分子材料의 高温性状

李 秀 吉

(호주 시드니대학원 박사과정)

1. 序 言

現代의 建築物의 추세는 耐火構造物로서 多目的機能의 複合大規模化 및 高層巨大化 되어지고 있는 반면, 火災荷重에 연관되는 可燃性의 合成有機高分子材料를 多量積載하고 있는 것이 特色이다. 이러한 樣相은 이전과는 비교할수 없는 火災의 다양성을 나타내고 있다. 다음의 表 1.1은 近年의 高層建築物火災의 상황을 表示한 것이다.

특히 合成有機高分子材料의 발달에 의하여, 널리 사용되어지고 있는 建築内外裝材料 및 건물내의 治裝材料, 家具, 衣類等의 材料가 연소중에 방출하는 有毒煙가스에 기인하여, 최근 건물의 火災時에 가스中毒死 및 煙死가 속출증가하고있는 事例은 국내외에서 問題가 되고있다.

이와 관련하여 최근의 火災를 실례로서 들자면, 昨年(1979年)에 英國의 曼徹스터에서 발생한 Woolworths Store 火災(500名中 10名死亡)와, 日本의 大阪에서 발생한 폴리우레탄加工場 火災(13名中 7名死亡)를 들수있다. 이들 火災時에 人命의 손실에 대한 위험성을 報告書에 의하면, 前者의 경우는 建物内の 積載可燃物(家具 등 에 사용된 Polyurethane等의 合成有機高分子材料)이 연소시에 분출할 多量의 有毒煙가스를 主원인으로 지적하고 있다. 後者의 경우는 死体檢案書에 의한 직접死因은 一酸化炭素中毒으로 되어있다. 다음의 圖1.1은 최근 조사한 건물화재시의 死亡者 89名에 대한 保有CO-Hb濃度表이며, 人体에 치명적으로 영향을 미치는 致死量50%以上 보유한 死亡者는 전체의 과반수 이상을 表示하고 있다.

上記의 觀點으로부터 可燃性의 有機高分子材料가 加熱되어졌을 경우, 어느 정도의 有害가스가 발생하는가의 여부를 生物을 이용한 燃燒生成物의 毒性實驗을 통하여 직접 재검토 하였으며, 또한, 현대건축물에 널리 사용되어

지고 있는 合成有機高分子材料를 중심으로, 특히 실제의 火災와 연관하여 材料工學的인 측면에서 可燃性材料가 연소시에 放出하는 各種 有害燃燒生成物에 관하여 文献考察 하였다.

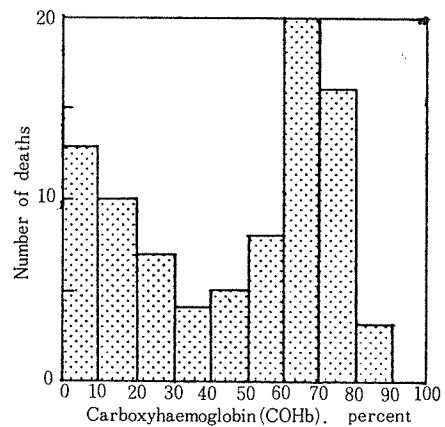


圖 1.1 Frequency distribution of levels of carboxyhaemoglobin (%COHb) in fire deaths (total=89²⁴)

2. 高分子材料의 概念

모든 物質은 自体固有의 性質을 갖는 最小單位인 分子로서 構成되어 있으며, 分子는 原子로서 構成되어 있다. 많은 原子로서 分子가 構成되어지면 分子는 당연히 크게 되어진다. 그러므로 原子의 結合狀態에 의해서, 分子의 形狀도 線狀, 塊狀等의 기타형태로 이루어 지게된다. 分子의 종류는 無數하게 있으며, 플라스틱, 纖維 및 고무等의 分子는 他物質의 分子에 비하여 일반적으로 매우 크다는 것이 증명되어 있다. 그러므로 이와같이 巨大한 分子를 他分子와 區別하여 高分子로 稱하게 되었다. 즉 “高”라는 글자가 의미 하듯이 크다는 뜻으로서, 英語에서도 Macro-molecule로서 表現되어지고 있다. 따라서 高分子構造의 研究에 의하여, 單位의 構造가 존재하게되어

表 1·1 高層建築物의 大火災

年 月 日	場 所	使 用	層 數	出 火 層	擴 散 層	延 燒 的 方 法	死 亡 數	事 由	헬리콥터 救 助
'58. 5.22	Ohio State Universily U. S. A	寄 宿 舍	55	11	1	—	2	침실의 도어(문)및 開口部를 통한 연기의 침투	—
'70. 8.5	One New York Plaza, U. S. A	事 務 所	50	*31	3 3	Cable shafts의 開口部	2	승강기 停止 승강	
'70. 12. 4	919, 3rd Avenue New York U S. A U.	事 務 所	—	5	1	—	3	승강기 停止	—
'71. 12. 25	大 然 閣 酒 樓 서 울 韓 國	酒 樓 · 事 務 所	22	1	Most	AA system and Service ducts	163	38 jumped and 2 fell 3 trapped in lift	—
'72. 2.24	Andreaus Building Sao Paulo. Brazil	商 店 · 事 務 所	22	ground	24	外部延燒擴大	16	—	350
'72. 5.13	千 日 百 貨 店 大 阪 日 本	商 店 · 雜 居	8	3	Most	AC system and Serice	118		
'72. 11. 29	Rault Building New Orleans. U. S. A	雜 居	16	—	—	—	4	—	8
'73. 7. 23	Bogota. Columbia	事 務 所	34	*13	21	—	4	2 jumped	250
'73. 11. 29	大 洋 百 貨 店 態 本 市. 日 本	商 店 · 雜 居	10	2	Most	계단통로 및 開口部의 煙突作用의 効果	103		
'74. 2. 1	Joelma Building Sao Paulo. Brazil	事 務 所	25	12	13	外部延燒擴大, 換氣用및 Cable ducts, 계단통로 의 煙突作用의 効果	179	80 on roof ²	—

① Single enclosed stair

②160·people went to roof in vain hope of helicopter rescue.

참조 (a) Fire in high-rise buildings. Seminar:Australian FPA, Canberra, Sep.'74

(b) Fire in high-rise buildings. SR-Focus Part A:Zurich 1974

* 出火層의 推定

이것이 다수로 結合하여 高分子가 形成되어지고 있다는 것을 알았다. 알기쉽게 말하자면, 客車가 多数連結하여 긴列車를 形成하고 있는 것과 마찬가지로, 이와같은 構造를 갖는 分子를 重合體(Polymer)라고 말하며, 커다란 重合體를 高重合體(high Polymer)라고 稱한다. 그러므로 플라스틱은 高分子 또는 高重合體라고 말할수 있다. 高分子材料라 함은, 概念的으로는 分子量 一萬 이상의 高分子로 이루어진 物質로서, 天然物을 例로들면, 植物纖維, 澱粉, 天然고무, 動物纖維, 皮, 角, 羽毛, 瓜 등을 포함하는 天然有機物質이 있으며, 플라스틱類가 大部分을 차지하는, 폴리塩化비닐(PVC), 폴리우레탄(Polyurethane), 폴리아미드(Polyamides), 폴리아크리로나이트(Polyacrylonitrile) PAN, 등을 包含하는 合成有機質이

있다. 高分子物質은 무수이 있으며, 一括하여 말한다면, 명확히 分類한다는 것은 대단히 어려운 일이며, 또한 中間의性質을 갖고 있는 物質도 있다.

특히 여기에서는, 高分子化學工業製品的의 主體인 合成有機高分子物質에 속하는 플라스틱類를 말한다. 플라스틱은 新興材料로서 많은 特徵을 갖고 出現하였으며, 各種工業의 進전에 현저히 기여하고 있을뿐만 아니라, 人間의 일상생활에도 직접浸透되어져 生活의 향상에 크게 役割을 하고 있으나, 결코 만능의 性質을 갖춘것이 아니며, 特長을 결점에 통하는 경우도 적지않다. 우선 長點으로서, (1)加工, 成型性이 풍부하며, (2)輕量이며, (3)耐藥品性 이라는점 등을 열거할수 있다. 欠點으로서는,

(1)耐熱성이 약하며(特別히 耐熱的措置를 하지 않으면, 150°C 정도가 限界溫度임). (2)양그 係數가 낮으며, 剛性이 약하며, (3)燃焼가 용이하며(300°C ~500°C에서 着火되는 것이 대부분임), (4)表面硬度, 疲勞強度, 크리이프 限度 등에 問題가 있으므로 建築材料로서는 制約을 받으며, (5)熱膨脹性이 크며, 熱劣化하기 쉬우며, (6)燃焼時에 大量의 有毒煙·가스를 발생하는점 등을 열거할수 있다.

ASTM의 定義에 의하면 “有機高分子物質”이 本質的인 成分으로서, 常溫에서 固体로 되어있고, 各種의 것이 있으며, 熱可塑性과 熱硬化性의 것으로 大別되어져 있다.

表 2-1 合成有機質高分子材料의 物理的形狀과 燃焼性에 의한 分類

熱可塑性 合成樹脂	高密度	單板	acrylic	液滴을 수반하는 燃焼. 危險 液滴을 수반하는 急速한 燃焼.
		成型品	Polyvinyl Chloride nylon	
	低密度	積層板	Cellulose acetate	
		軟性	Polyurethane	
熱硬化性 合成樹脂	高密度	單板	Phenolics (Phenolformaldehyde)	高体로서 燃焼.
		成型品	(Bakelite, Fornaldehyde melamineformaldehyde)	
		積層板	Polysesrd	
	低密度	軟性	Urea-formaldehyde	
		剛性		

成樹脂는 凝固한다. 따라서, 前者는 火災時에 溶融되어 지면서 燃焼하는 材料이며, 후자는 軟性이 아닌 固体로서 연소되어지는 材料이다. 燃焼性에 연관하여 物理的인 면에서 材料形狀에 의하여 分類하면 高密度와 低密度로서 구분되어지며, 또한 多孔質體는 剛性과 軟性으로서 재분류할 수 있다. 이와같은 關係를 表示한 것이 表 2.1 이다.

플라스틱스는 建築材料로서 單板이 상태, 또는 積層板, 成型品等으로서 널리 使用되어 지고 있으며, 熱特性에 의하여 사용하는 目的도 달라지며, 建築用으로 쓰이는 플라스틱 製品을 形狀別로 분류한 것이 아래의 表 2.2 이다.

熱可塑性合成樹脂는 高温을 받으면 쉽게 軟化 및 溶融한다. 이것은 素材의 分子構造를 이루는 單量體(Monomer)가, 多數個連鎖狀으로 結合하여 重合體(Polymer)로 된것으로서 熱的으로는 불안정하기 때문이다. 또한 熱硬化性의 것은, 單量體(Monomer)의 連鎖가 多數並列結合하여 網目狀으로 되므로 熱的으로 安定한다. 따라서, 비교적 熱可塑性樹脂 보다는 高温에 견디는 性質이 높다. 單量體가 함유하는 C 및 H 原子의 量이 많을수록, 전체로서의 燃焼性이 당연히 커지게 된다. 그러나 하로겐元素(CI)가 含有되어지면 잘타지 않게 된다. 플라스틱스는 有機化合物로서 본질적으로 耐熱性에 대하여 難點이 있으나 최근 耐熱性 플라스틱스에 대한 研究의 進진으로, 熱的性質이 우수한 것이 개발되어지고 있다. 이러한 것들은 적어도 300°C 以上の 溶融點을 갖고 있으며, 300°C 安定下에서 長期間 熱分解를 하지 않는것으로부터, 400~500°C 安定하에서 一定時間(數時間에서 數十時間) 견디는 것, 또한 700~800°C의 安定하에서 一定時間(數分에서 數十分) 견디는 것도 있다.

表 2-2 建築用플라스틱스製品의 形狀別 分類

1. 單板	필름·레자-타일 씨트 厚板	카텐, 스크린, 테블크로스, 防水 필름, 床 및 壁用타일 및 씨트, 採光板, 陳列板, 테블板 等
2. 積層板	普通積層板	床 및 壁타일, 테블 및 카운터톱 治裝棚板, 配電盤 等
	合板, 積層金屬板	床 및 壁씨트, 지붕덮개 等
	샌드위치板	輕量壁板, 문(도어), 家具 等
3. 成型品	小型成型品	食器, 家具 및 建具付屬品, 목욕실備品, 電燈備品 等
	大型成型品	스카이드, 椅子, 바스투브, 便器, 冷藏庫, 壁볼록 等
	管·棒狀成型品	給排水管, 配電管, 덕트, 조인트 스트릴, 카텐付屬品, 레일, 等
4. 鑄造品	普通鑄造品	採光板 等
	多孔質鑄造品	保温 및 斷熱材, 스펀지 매트, 吸材, 목욕실備品 等
5. 噴霧硬化品		補強壁板, 지붕防水層 等
6. 液·糊狀品	接着劑	工業用, 建築施工用, 家庭用 等
	表面塗裝劑	各種
7. 織維	織維	單織維, 紐, 綿, 等
	織物	壁布, 카텐, 家具, 바닥 깔기, 벽걸이(발), 膜等

熱可塑性合成樹脂는 가열되어지면 용해하며, 熱硬化性合

3. 플래시 오우버(Flash Over)

建築物의 火災를 論할경우 필수적인 것으로서 플래시-오우버 現象 이라는 것이 있다. 플래시-오우버란 火災의 成長過程에 있어서 不完全 燃焼中에 放出되어진 未燃의 可燃性가스가 室内상부에 蓄積하여, 이 가스의 濃度가 燃焼限界內에 도달했을때 급속한 燃焼作用을 일으키어, 이러한 火勢에 의하여 室内의 可燃物이 일제히 활발하게 연소되어지면서, 강한 熱과 多量의 煙·가스를 단숨에 갑작스럽게 放出하는 現象인 것이다.

ISO 防火試驗用語(ISO 3261)에 의한 플래시-오우버의 定義는 다음과 같다. “The transition to a state of total surface involvement in a fire of Combustible

materials within a Compartment."

建築物의 火災擴大는 火災室內에 우선 플래시-오우버가 발생하여, 이러한 플래시-오우버 현상에 따라 복도, 계단, 등으로 불길기 放出되어 火災가 傳播擴大하여 간다. 이때 天井材料가 火災의 진행에 의하여 연소되어가는 연소현상을 火災傳播 라고 한다.

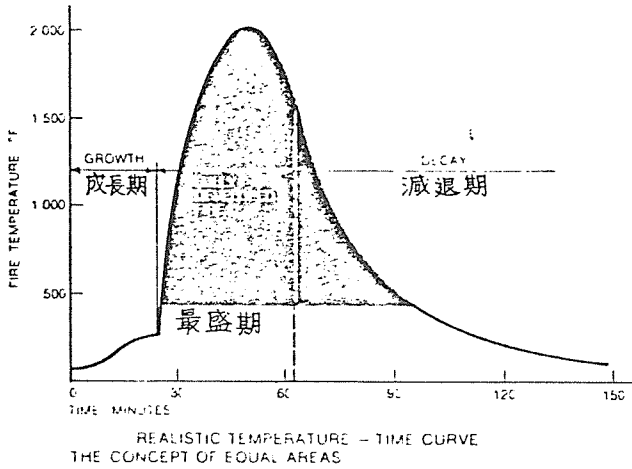


圖 3-1 火災의 進行過程

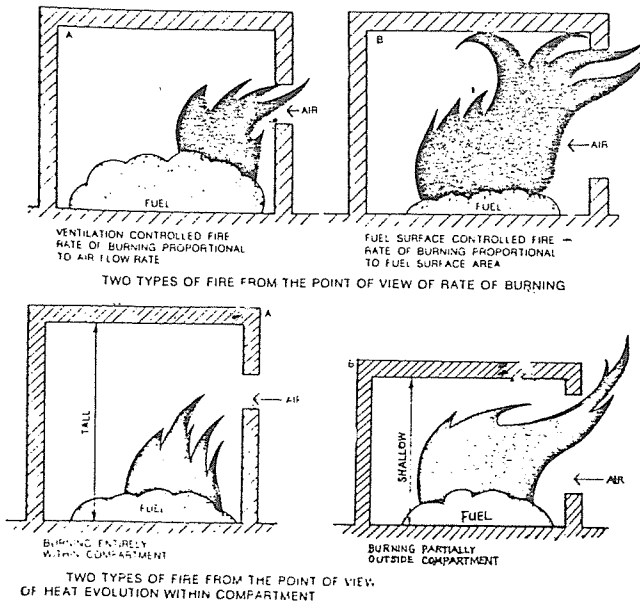


圖 3-2 火災의 여러가지 形態

火災의 진행과정을 크게 나누면 火災發生의 시초로 부터 成長期, 最盛期, 減退期의 3단계로 분류된다. 圖3-1 참조) 특히 火災時에 人命安全을 확보하는 問題에 關하여, 內裝材料 및 積載可燃物이 연소시에 分출하는 有毒煙·가스의 問題가 되는것은 火災의 초기가 되는 成長期 까지로 국한 되어진다. 그러므로 火災發生으로 부

터 플래시-오우버에 이르기까지의 時間의 長短이 火災의 成敗를 좌우하는 동시에 消火에 關連하여 소규모의 火災로서 그치고 마느냐 아니면 大火災로서 진전되느냐의 最大의 要因이 되고 있다. 그러나 플래시-오우버에 이르기 까지 時間의 伸縮과 지연은, 같은 出火源 일지라도 內裝材料 및 積載可燃物의 種類와 使用部位 및 組合, 室內의 크기 및 換氣條件等 실로 많은 要素가 影響을 미치고 있다. 다음의 圖 3-2는 여러가지 形態의 火災를 表示한 것이다.

4. 火災時에 有害燃燒生成物의 問題點

火災時에 有機質材料의 熱分解燃燒生成物을 크게 나누면 熱과 煙·가스로 분류되며, 耐火建築物內의 最盛期 火災熱의 溫度는 1200°C 以上の 高溫으로 알려져 있다.

대체로 화재초기인 成長期에 放出되는 煙·가스의 種類 및 量은 주로 建築內裝材料와 積載可燃物의 種類 및 量에 依하여 決定되어지며, 이러한 煙·가스의 種類 및 量은 건물內의 人間의 避難行動에 害원인이 되는 동시에 人間의 呼吸作用에 依하여 窒息 및 中毒되어져 의식을 잃고 現場에 쓰러져, 마침내는 燒死되어지는 結果로서 나타나는가 하면, 막상 救助되어져 病원으로 運반하는 도중 熱傷이 없음에도 불구하고 死亡하는 事例은 有害 燃燒生成物에 依한 慘狀인 것이다. 上記원인을 살펴보면 下記와 같으며, 現代建築物의 火災時에 발생하는 高度로 有毒한 燃燒生成物의 毒性을 分類하여보면 다음의 表 4-1과 같다.

4.1 一酸化炭素中毒

火災時에 발생하는 一酸化炭素가스(以下CO가스로 略함)는 無色無嗅에다 氣刺戟性이며, 可燃性 有機質材料의 불 완전연소에 依하여 발생하는 燃燒生成物의 一種으로서 人間이 呼吸하게 되면 CO中毒을 일으키는 매우 毒性이 높은 가스 인것이다. CO가스를 吸入하게 되면 허파를 통하여 血液中에 浸透되어, 血液中의 헤모글로빈과 급속히 結合하여 CO헤모글로빈이 된다. 헤모글로빈 이라는 것은 본래 허파(肺)에서 酸素와 結合하여, 이것을 體中으로 運반작용을 하지만, 이것이 酸素와 結合하지 못하고 CO가스와 結合함으로써 酸素의 運반을 못하게 된다.

즉, 體內에서 필요로하는 酸素를 공급하지 못함으로써 腦 및 神經을 中心으로 障害가 일어나게 되는 症狀이 CO中毒 인 것이다. CO는 空氣中에 0.2~0.3%程度 包含되어 지지만 하여도 人間은 中毒症狀을 일으키게 된다. 화재 초기에 CO가 증가하기 시작하여, 이미 1%정도에 달하

며, 中期로 접어들 즈음에는 2%를 넘게된다. 그러므로 이것을 呼吸함으로써 意識을 잃게되며, 혹 의식을 잃지 않았을지라도 手足이 움직이지 않게되어 脱出의 기회를 잃게되는, 少量일지라도 매우 위험한 가스인것이다. 이

때, 血液中的의 헤모글로빈의 몇%가 CO가스와 結合되어 있는가의 여부에 따라서 症状의 反應이 달라진다. 예를 들면 表4.2와 같으며, CO-Hb(헤모글로빈)濃도와 中毒 症状의 정도를 表示한 것이다.

表 4·1 高度로 有毒한 火災時의 가스의 毒性

(單位 PPM: 760mmHg, 25°C)

有毒가스	L T V*	0.5~1時間사이에서의 危險	0.5~1時間사이에서 致命的	人体에 미치는 作用
CO	50	1500~2000 (1時間)	4000~4000	血液中的의 헤모글로빈과 結合하여 CO-Hb를 形成하여 酸素의 輸送을 방해한다. CO는 化學的窒息劑.
NO NO ₂	n. a. 5	100~150	400~800	亜硝酸 및 硝酸을 氣管의 O ₂ 및 H ₂ O의 存在下에서 生成. nitrile는 硝酸鹽類가 肺浮腫을 만드는데 처하여 methemoglobin을 形成한다. 後者의 경우가 危險.
HCl	5	1000~2000 (短時間危險)	4350	上氣道의 알칼리性의 組織을 中和한다. 喉頭 및 上氣道의 浮腫 또는 경련에 의하여 死亡하는 일도 있음.
Cl ₂	1	50 (短時間)	1000 (短時間)	加水分解하여, 氣管에서 發生期의 O ₂ 와 HCl로 된다.
COCl ₂	0.1	12.5 12.5	25 25 (0.5時間)	加水分解하여, 氣管支, 肺胞에서 HCl과 CO를 發生한다. 肺浮腫과 窒息.
HF	3	50~250 (短時間)	—	粘膜의 潰瘍, 化學的肺炎.
COF ₂	n. a.	—	—	加水分解로서 HF 및 CO로 된다. COCl ₂ 와 같음.
H ₂ S	10	400~700	800~1000 (高濃度에서는即死)	刺戟性, 皮膚의 알칼리와 結合하여 Na ₂ S를 生成; 高濃度에서는 肺浮腫, 窒息; 呼吸中樞의 마비
HCN	10	—	1000~200	原形質毒, 細胞酸化에 關係있는 酵素와 結合, 死亡 原因은 窒息임.
NH ₃	50	2500~6500 (0.5時間)	5000~10000 (急速으로致命的)	肺浮腫

表 4·2

血中헤모글로빈濃도와 症状	
CO-Hb 濃度	症 状
90	急速한 死
80	脈拍微弱, 呼吸不能, 死
70	간격적으로 경련을 수반하는 昏睡, 呼吸脈搏弱함.
60	失神, 呼吸數, 脈搏數의 增加, 경련.
50	심한 頭痛, 현기증, 嘔吐.
40	頭痛, 側頭部의 脈動.
30	頭痛, 현기증, 步行困難, 視覺意識朦朧함.
20	前頭部의 緊迫感, 弱한頭痛.
10	—
0	症状無

4.2 煙·가스의 吸入

木質系材料의 燃燒에 의하여 發生하는 아크레히토類, 鹽化비닐等의 合成有機高分子材料의 연소에 의하여 發生하는 鹽素가스等은 자극성이 강한 有毒가스로서, 때로는 치명적인 것이다. 煙·가스에 포함되어 있는 아크로인(Acrolein)이라는 아크레히토는 5.5ppm에서 上氣道(목구멍, 氣管等)의 자극성상이 出現하며, 10ppm에서 허파(肺)의 변화를 초래하여 數分이내에 死亡하게 된다고

아크로레인의 일반적인 許溶量은 0.1ppm전후인데 처하여, 石油燃燒에 의한 煙·가스에는 1ppm, 木質系材料의 燃燒에 의한 煙·가스中에는, 實로 50ppm이라는 다량이 포함되어 있다. 더우기 煙·가스中에는 포름아르데히도, 아세도아루테히도 등도 상당한 量이 포함되어 있으며, 또한 燃燒하는 物質에 따라서 硫化物, 시안가스等도 포함되어 있다. 이러한 燃燒生成物들을 複合比率로 함유하는 煙·가스는 더욱더 人体에 有害하며, 合成有機高分子材料의 新建材 및 生活品이 보급되어있는 今日, 이러한 煙·가스의 吸入에 의한 傷害가 중시되어지고 있다.

炭酸가스는 보통 空氣中에 0.06%정도 含有되어 있다. 이것이 1%정도까지 증가하여도 人体의 장애는 느낄수 없으나, 2%정도가 되면 숨쉬기가 곤란하며, 현기증을 일으키며, 6~7%가 되면 致命的이다. 測定의 결과로서는 室内에 연기가 充만하게 되는 火災初期의 炭酸가스의 量은 最大 4%程度 燃燒가 왕성한 中期에는 13%를 表示하고 있다. 따라서 炭酸가스에 한해서만 보더라도 火災初期에 이미 人体에 위험상태에 달하고 있다.

4.3 窒 息

顔面에 熱傷이 있는 患者는 顔面뿐만이 아니라 鼻毛가

타있거나, 입안 및 목구멍이 癡赤하여 腫脹되어 있는 일이 가끔 있다. 이것은 입안 및 목구멍의 熱傷이며, 간혹 이 변화가 심한 경우에는 목구멍으로 부터 허파(肺)에 이르는 氣道가 閉塞되어 空氣를 통하지 못하게 됨으로 窒息하게 된다. 刺戟性가스를 단숨에 大量으로 吸入한 경우에는 순간적으로 喉頭가 痙攣을 일으키어, 역시 窒息 원인이 된다. 이러한 이유에 자하여, 금시 死亡되지 않았다 할지라도 意識이 저하한 경우에는 혀(舌)가 목구멍으로 말려 들어가 역시, 窒息의 원인이 된다. 意識이 저하하게 되면 嘔吐를 하게 되는 경우가 흔히 있는데 吐物로 인하여 窒息하게 되는일도 드물지는 않다.

4.4. 酸素欠乏

出火後室內에 煙氣가 充만하며, 燃燒가 활발치 못할 때에는, 酸素의 濃度는 16~19%로서 대단한 감소는 보이지 않지만, 燃燒가 旺盛하게 되는 中期에는 6~7% 정도 까지 감소한다. 大氣中에 酸素는 20.7% 포함되어 있으며, 14%位까지는, 人體에 障害를 일으키지 않지만, 10%以下가 되면 呼吸困難이 오며, 7%以下에서는 窒息한다. 따라서, 酸素에 한해서 말하자면, 火災의 초기라기 보다는 오히려 火勢가 본격적인 中期에 窒息하는 위험성이 따르게 된다.

4.5 混合가스의 相乘效果

典型的인 室內火災時에 발생하는 燃燒生成物의 종류는 建築物의 內裝材料 및 積載可燃物의 종류에 따라 單一成分이 아닌 多成分의 가스가 放出되어지고 있다는 것은 上記에서도 언급한바 있다. 이러한 外제분위기 속에서 人間の 呼吸作用에 의한 行動不能이 되는 生理的인 原因形態는 가스의 종류에 의하여 좌우되어지며 어느정도 自力行動의 可否限界가 중요한 포인트가 된다. 代表的인 가스의 종류와 症狀는 다음의 表4.3과 같다.

表 4.3 代表的인 가스의 種類와 症狀

가스의種類	急性中毒의 症狀
鹽酸가스 (HCl)	呼吸器管(粘膜의 障害), 胸部의 刺痛, 聲門閉塞, 呼吸不能
硫化水素 (H ₂ S)	頭痛, 胸部壓迫, 倦怠
암모니아 (NH ₃)	目鼻의 刺戟, 吐氣, 氣管支
炭酸가스 (CO ₂)	吸氣深度大, 胸部熱氣感知(3%), 意識不明(8~10%)
사안화水素 (HCN)	氣道粘膜의 刺戟, 心臟弱呼吸困難, 區樞神經系細胞및 血管壁의 細胞呼吸停止.
一酸化炭素 (CO)	頭中痛, 脫力.

가스의 毒性을 評價할 경우, 연기속에 含有된 多成分의 混合燃燒生成物은 CO, O₂의 감소, 高温의 熱 증기된 CO₂와 함께 存在하므로, 이와같은 環境下의 混合가스毒性이 生理作用에 미치는 相乘效果에 대한 作用은 現代建築物의 實際火災時에 매우 중요하게 고려되어지고 있다. 다음의 表4.4는 가스의 生理作用에 대한 分數表이다.

表 4.4 가스의 生理作用의 分類

類別	生理作用	主要가스成分
單純性窒息性가스	空氣中の 酸素含量을 減少케 하여 窒息한다.	메탄(CH ₄), 에탄(C ₂ H ₆), 아세치렌(C ₂ H ₂), 炭酸가스(CO ₂), 酸化窒素(NO), 水素가스(H ₂), 窒素가스(N ₂).
化學的窒息性가스	化學的作用에 의하여 Hb의 酸素運搬의 障害및 組織呼吸酵素의 阻害를 일으키며 窒息한다.	一酸化炭素(CO), 硫化水素(H ₂ S), 시안化合物(HCN).
刺戟性가스	呼吸에 의하여 全身障害作用이 일어나며, 이作用의 主体는 局所刺戟作用으로 眼, 氣管粘膜, 肺等を 障害한다.	암모니아(NH ₃), 아크로레인(C ₂ H ₃ O), 二酸化窒素(NO ₂), 포름아르테히드(CH ₂ O), 鹽化가스(Cl ₂), 호스겐(COCl ₂), 亜硫酸가스(SO ₂), 弗化水素(HF), 오존(O ₃).
全身性障害毒物	刺戟作用이 弱하며, 血中에 吸收되어져 身體內部 臟器를 障害한다.	알산(A ₃ H ₃), 호스핀(PH ₃), 스티븐(SbH ₃), 세렌화水素(H ₂ Se), 炭酸니켈(Ni(CO) ₄), 二硫化炭素(CS ₂)
腐食性蒸氣	常湯에서는 液体이지만, 이蒸氣는 接觸部에 直接局所 損傷을 일으킨다. 溫	硫酸(H ₂ SO ₄), 硝酸(HNO ₃), 鹽酸(HCl), 弗化水素酸(HF)

混合가스毒性의 相乘效果에 대한 文獻은 극히 小數가 있을뿐, 明確한 검토 역시 아직 이루어 지지 못하고 있다.

5. 有機質材料의 高温性狀

通常적으로 有機質材料의 熱的性質은 火災時에 出火의 難易 및 延燒擴大의 遲速을 결정하는 기본적인 요소가 된다. 즉, 材料의 熱的性質을 性能면에서 評價 하므로써 火災時에 대비하여 防火設計 및 피난대책을 강구할수 있다.

有機化合物은 天然合成材 등을 합하면 100萬種 이상이 되며, 無機化合物의 20배 정도가 되며, 가연성은 有機質材料의 본질적인 성질인 것이다.

有機化合物은 반드시 C를 포함하고 있으며 炭素는 매우 化合하기 쉬우며, 元素의 結合에 의하여 鎖狀 및 環狀의 化合物을 만든다. 즉, 結合 및 重合에 의하여 高分子에 生長하는 일이 容易하며, 燃燒性에 커다란 영향을 미친다. 有機質材料는 비중이 적고, 伝熱性이 크므로 熱応力에 대한 粘性이 강하여 쪼개지며 갈라진단다가, 爆

열을 일으키는 일이 그다지 없는 것이 특징이다. 그러나 대개의 유기질 재료는 300°C 이하에서 탄소화, 연소, 용융 등의 변형을 보이며, 무기질 재료에 비하여 열적으로 안정성이 약하다.

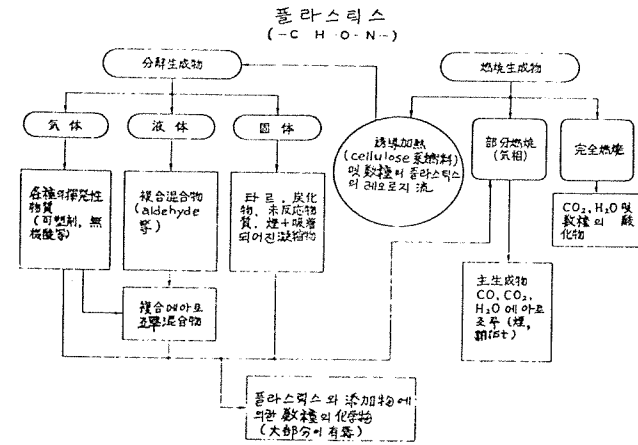


图 5-1 室内火災時에 플라스틱의 열분해 및 연소

특히 구조배열이 -C-H-O-N-의 형태로 표시되어 있는 합성유기高分子 재료의 현대建築物室内 火災時에 高温性狀을 Flow Chart로서 표시하면 위의 图5-1 과 같다. 여기서는 현대건축물의 火災時에 발생하는 有害燃燒生成物이 問題가 되고있는 合成有機高分子材料를 중심으로 人命에 치명적으로 영향을 미치는 특히, 毒性가스에 대하여 考察하였다.

5.1 有機質材料의 有害燃燒生成物

有機質材料가 燃燒作用에 의하여 발생하는 모든 熱分解燃燒生成物(熱, 煙·가스, 酸素欠乏等)은, 人体에 유해하다고 해도 과언은 아니다.

本質系材料의 燃燒生成物을 보면, 일반적으로 CO, CO₂가 대부분인데 비하여, 통상의 현대건축물의 火災時에 발생하는 일반적인 有害가스로서는, 一酸化炭素(CO), 二酸化炭素(CO₂), 塩化水素(HCl), 암모니아(NH₃), 塩素(Cl₂), 호스겐(COCl₂), 시안화水素(CHN) 등 각재료의 構成分子에 의하여 特有의 가스를 生成放出하고 있다. 上記의 有害燃燒生成物은 材料의 종류 및 燃燒條件에 의하여 生成가스의 종류 및 發生量이 좌우되어지며, 이때 가스放出量의 大小와 가스毒性濃度의 高低가 주목된다.

즉, 같은 1g의 재료가 燃燒되어졌을 경우 放出되는 煙·가스의 濃度는 材料에 따라 달라지는 것은 물론 이거니와, 可燃溫度에 따라서도 크게 左右되고 있다. 木質系材料는 300~400°C의 잘타지 않는 상태에서 最大量의 煙·가스를 내며, 600~800°C의 發炎상태에서는 극히 稀박

하다. 이에 반하여, 合成有機高分子材料는 低温에서 數倍의 濃煙·가스를 내며, 또한 高温의 發炎狀態에서도 濃煙·가스의 放出倍 계속하고 있다. 실제의 發煙·가스量을 問題로 할 경우, 各溫度에 있어서 材料의 燃속속도가 關係하게 된다. 試料 1'g에 對한 실험에 의하면 많은 量은 濃煙·가스를 내는 것일지라도, 材料가 漸漸히 燃소되어지는 것이라면 單位時間에 對한 發煙·가스量은 적으며, 신속히 燃소되는 材料는 發煙·가스速度가 크게 되어지고 있다. 따라서 加熱溫度 및 酸素의 供給狀態等에 의하여 크게 左右되어, 高温에서 발생하는 가스가 있는가 하면, 低温에서는 가스가 발생하지 않는 경우도 있다.

表 5-1 發生가스와 材料와의 關係

發生가스	材 料 名
炭酸가스 一酸化炭素	炭素를 包含하는 모든 可燃性材料
酸化窒素	Celluloid, Polyurethanes
시안화水素	羊毛, 絹, 窒素를 包含하는 플라스틱
蟻酸, 酢酸	纖維質材料, rayon
Acrolein	木材, 紙
亜硫酸가스	고무, thiokols
塩 酸 Phosgen 等	塩化비닐, 難燃플라스틱
Ammonia	melamine, nylon, 尿素樹脂
Aldehydes	Phenol-formaldehyde, Polyester resins, nylon, 木材
Benzene	Polystyrene (無色透明의 合成樹脂의 一種)
Phenol	Phenol-formaldehydes

위의 表5-1은 可燃性有機質材料의 燃燒時에 발생하는 有害燃燒生成物과 材料와의 關係를 表示한 것이다.

5.2 木質系材料의 燃燒生成가스

木質系材料의 構成分子는 C·H·O로서, 木材 合板, 紙 大綿等이 있으며, 燃燒時에 CO, CO₂ 以外의 問題가 되는 有毒가스는 거의 放出되지 않고 있다.

難燃合板은 350°C의 低温域에서는 CO의 발생은 적으며 無処理의 杉에 比較하여 難燃處理의 效果로서 500°C에서는 CO의 발생속도를 억제하고 있지만 發生CO量은 絶대로 적은 것만은 아니다. 이와같이 CO의 발생은 材料에 따라서 달라지며 難燃處理를 한것은 低温에서 효과

가 있을지라도, 高温에서는 위험성을 나타내는 경우도 있다.

木毛세멘트板的 경우에 있어서도 마찬가지로, 混入되어진 세멘트에 의하여 分解가스의 발생이 억제 되어진다 할지라도, 温度의 上昇과 함께 CO를 발생하여 人体에 영향을 미치게 된다.

이와같이 木質系材料는 CO가 有害性의 주체이며, 無处理 한것은 熱分解温度가 낮으며 火災初期인 비교적 低温時에 CO가 발생하며, 其他의 煙·가스와 더불어 人間の 行동을 방해 및 저하 시킨다. 또한 木質系材料에 無機質 및 難燃劑를 混入하여 熱分解를 抑制한다 할지라도 高温에 달하면 多量의 CO를 발생하게 된다. 또한 低温에서도 少量 일지라도 CO는 발생하므로 大量에 도달하면 역시 問題가 되므로 주의가 필요하다. 實驗에 의한 木材(松) 및 紙의 燃燒生成物의 분석을 表5·2에 定温加熱의 試驗結果를 圖5·1, 圖5·2, 圖5·3에 表示하면 다음과 같다.

表 5·2 木材·紙의 燃燒生成物 (800°C)

(單位: g/試料g)

燃燒生成物	自由燃燒 空氣中		空氣+N ₂ (11.7%O ₂) 熱分解	
	木材 (松)	紙 (타이프用紙)	木材 (松)	紙 (타이프用紙)
二酸化炭素	1,626	1,202	0.934	1,001
一酸化炭素	0.270	0.135	0.366	0,273
Aldehydes (formaldehyde等)	Trace	—	Trace	Trace
Phosgene	—	—	—	—
시아나化水素및시아 化物(RCN)	—	—	—	—
Ammonia	—	—	—	—
塩化水素	—	—	Trace	—
酸 (酢酸等)	—	0.0009	0.009	—

5·3 合成有機高分子材料의 燃燒生成가스

可燃性材料의 燃燒에 의하여 일반적으로 發生하는 有毒가스는 CO와 CO₂이며, 앞에 언급한 木質系材料의 경우와 마찬가지로, 合成有機高分子材料에서도 大量으로 발생하고 있다. 플라스틱의 기초가 되는 Carbon hydrogen과 Oxygen은 有毒가스를 生成하며, 纖維系의 主가 되는 木質系材料에서 發生하는 가스보다 더욱 有毒가스를 발생하고 있다. 또한, 材料의 종류에 따라 자극성 냄새가 나는 有毒가스를 放出하며, 表5·3에 表示한 것과 같이 많은 종류의 가스를 발생하고 있다.

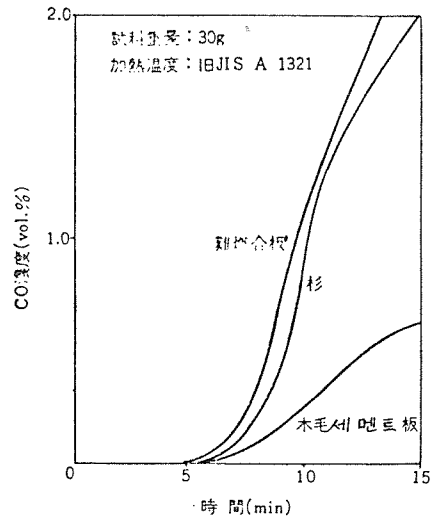


圖 5·1 Chamber 內의 CO濃度

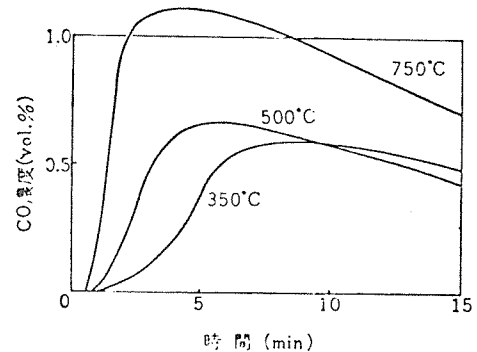


圖 5·2 Chamber 內의 CO濃度 (杉5g)

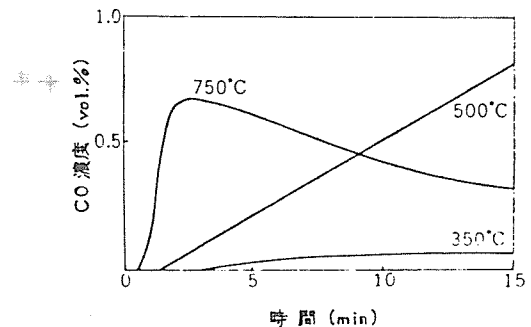
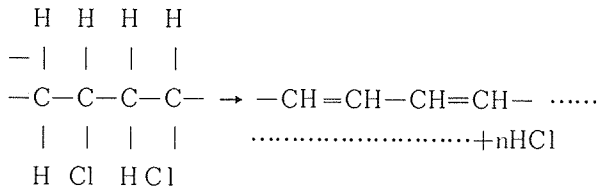


圖 5·3 Chamber 內의 CO濃度 (難燃合板5g)

1) 폴리塩化비닐(PVC: Polyvinyl chloride)

PVC는 電線 및 케이블의 絶緣材, 건축계, 内装材, 防水材 등의 광범위하게 이용되어지고 있는 材料로서, 市場에 많이 分布되어 있는 플라스틱의 一種인 것이다. PVC는 構造上 Cl을 포함하고 있으므로, 火災時에는 Cl₂, CO-Cl₂, HCl 등이 발생하리라고 予想되어지는 材料이다.

PVC의 脫HCl反應은 다음의 式에 의하여 고려되어지고 있다.



이 반응은 眞空中에서는 約300°C에서 완료되어져, 이以上の 溫度에서는 각종 炭化水素를 生成한다. Cl₂와 COCl₂의 발생이 微量이라는 것과, 上記의 發가스性을 고려하

면, PVC의 燃燒生成物中の 主有毒가스는 低溫 에서는 HCl, 高溫에서는 HCl과 CO라는것이 고려되어 진다. 表 5.4는 5.5l의 프라스코중에서 연소된 경우의 實驗分析 結果이다. 表中에서 보는바와 같이 HCl의 發生量은 加熱 溫度에 거의 관계없이 비슷한 정도의 量이 發生하며, CO, CO₂는 高溫으로 갈수록 發生量이 增加하고 있다. 또한, 微量이기는 하지만, Cl₂와 COCl₂가 일부의 PVC에서 高溫時에 檢出되어지고 있다.

表 5.3 合成有機高分子材料의 熱分解燃燒生成成分

○ : 熱分解燃燒生成物이 있는것.
 ⊙ : 熱分解燃燒生成物이 比較的 많은것.

熱分解 燃燒生成物	Acetone	Ammonia	Amine	Aldehyde	一酸化炭素	Iso-cyanides	Ethane	Ethylene	鹽化水素	酢酸	Dinethylbenzen	Cyclopentane	水素	Styrene	Toluene	三氯化乙炔	八弗化Cyclobutane	Propylene	Propylene	Butene	U-Burane	U-Hexene	Hexane	Pentadiene	Pentene	Pentene aa	Benzen	四弗化ethylene	Formaldehyde	靑酸	二酸化炭素	六弗化Propylene	Methacrylate	Methylene acrylate	Phenol	酸化窒素	Cyan化	其他			
Phenol resin	⊙										○							⊙																							
Expoxy resin	⊙				⊙														○	⊙					○	○															
Polyethylene resin								⊙	○										⊙	○	⊙	○	○	○	○	○															
Polyvinyl Chloride resin									⊙					○												○													○		
Poly steren resin					○									⊙	⊙																								⊙		
四弗化ethylene resin																												⊙													
Polyester resin					⊙		○	○																	○	○															
Polyamid resin(nylon)					○							⊙																											○		
Polyurethane resin					⊙	○									○	○													⊙	○											
Polymethylene methacrylate resin					⊙								○																											○	○
Polyvinyl acetate resin					⊙			○		⊙			○		○											○															
Silicon resin								○						⊙																											
Phenol resin 및 Melamine resin		⊙	○	○	⊙																																		○	○	⊙
Polyvinil Chloride 및 Acrylonitrile 系		○		○	⊙				⊙																															○	○

燃燒生成物의 有毒性을 조사하기 위하여, 材料를 石炭 管炉內에서 加熱하여 發生하는 煙·가스를 흰쥐(mouse)가 들어있는 密室(Chamber)에 연결하여 動物에 미치는 영향과 燃燒生成物의 有害性의 結果를 표시한 것이 다음의 圖5.4, 圖5.5 이다. 즉, HCl은 350°C에서 750°C의 全域에 걸쳐 發生하고 있는데 비하여, CO는 350°C에서 杉等의 木質系材料보다도 적은 매우 小量을 發生하고 있다. CO濃度는 發災開始後, 약 6~7분후부터 증대하고 있으며, 이에 대한 일예를 表示한 것이 다음의 圖5.6 이다.

HCl의 毒性의 定量은 CO에서와 같이 CO-Hb 濃度와 같은 明確한 指標은 없으나, HCl濃度(%) × 暴露時間(min) (=1)의 計算值를 대용할수 있다. 이것은 HCl의 濃度-時間曲線과 時間軸으로 둘러싸는 面積을 나타낸다.

純HCl에 흰쥐를 이용하여, I를 정한 結果는 다음과 같다. (15~20分의 短時間暴露).
 I = 8~10 : 死亡
 I = 2~4 : 試驗後 3日以内に 死亡
 I ≤ 0.5 : 生存

이와같이 低濃度 일지라도, 試驗後의 死亡이 존재하는 것은 回復不可能한 損傷을 生체에 미치는 것으로 고려하며, 重症일지라도 신선한 空氣中에서 급속히 回復하는 CO中毒과는 현저히 毒性을 달리하고 있다.

表 5.4 PVC의 空氣中の 燃燒가스

試料	試料重量 (g)	溫度 (°C)	가스濃度				
			HCl	Cl ₂	COCl ₂	CO	BO ₂
PVC 可塑劑無 塩素57%	0.25	300	1.3%	無	無	0.5%	0.6
		600	1.5	無	< 1ppm	0.7	1.5
		900	1.5	無	3	0.5	2.9
PVCと塩化 비닐덴과의 high Polymer 可塑劑無 塩素61%	0.25	300	1.4	無	無	0.2	0.4
		600	1.8	無	5	1.1	2.1
		900	1.7	無	10	0.5	2.9
PVC 可塑劑有 塩素33%	0.25	300	0.5	無	無	0.7	0.8
		600	0.7	無	無	0.7	2.4
		900	0.8	< 1ppm	< 1	0.1	3.0
PVC 可塑劑有 塩素31%	0.25	300	0.6	無	無	0.6	0.6
		600	0.7	無	無	0.6	1.5
		900	0.8	< 1	< 1	0.9	2.1
PVC 纖維	0.50	550	2.9	*	*	0.4	2.0

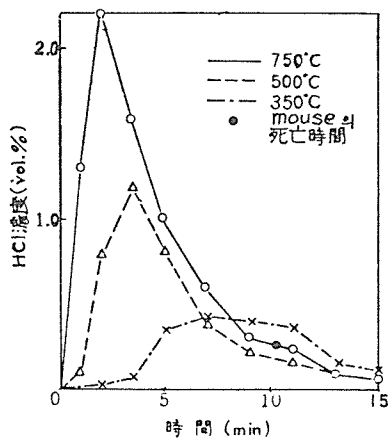


圖 5.4 Chamber內的 HCl 濃度 (硬質PVC板 10g)

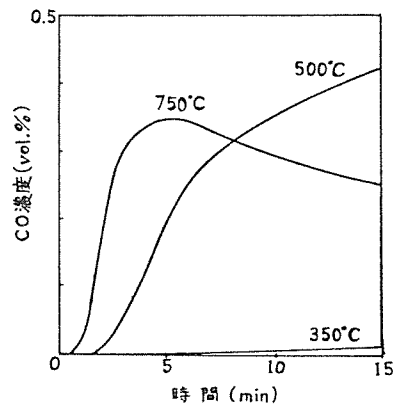


圖 5.5 Chamber內的 CO 濃度 (硬質PVC板 10g)

圖5.4에서 轉지는 750°C에서는 試驗中에 死亡하였으며 350°C 및 500°C에서는 試驗 1日後에 死亡하여, 上記 I 의 計算値를 어느정도 만족하고 있다. 그러나, 圖5.5에

확실히 表示되어진것과 같이 500°C 以上에서는 CO의 발생은 無視할수 없을정도로 현저하며, 이 溫度或 에서는 HCl과 CO의 兩者에 對한 毒性效果를 고려할 필요가 있다.

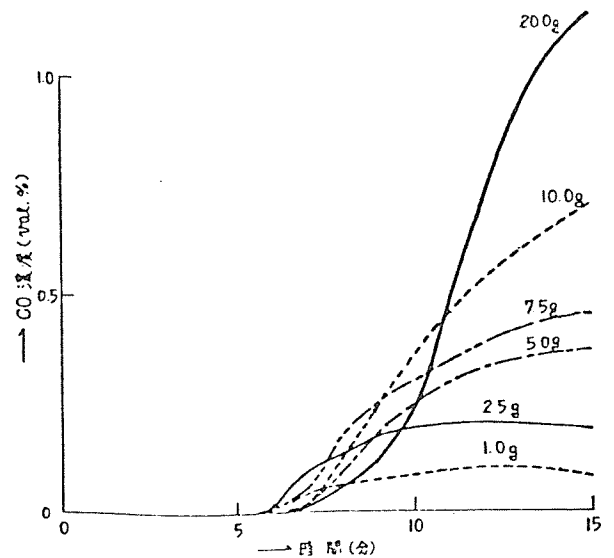


圖 5.6 Chamber內的 CO 濃度 (PVC)

2) 폴리우레탄 (Polyurethane)

폴리우레탄(OCNHRNHCOOR' O)으로 부터의 重合体 (Polymer)이며, 接着劑, 吸音材, 断熱材로서 사용되어 지고 있다. 질소(N)을 構造中에 포함하고 있는 관계로 加熱時에는 HCN 발생 유무가 問題로 되어진다. 폴리우레탄의 燃燒生成物은 500°C의 加熱溫度時에 매우 위험성을 보였으며, 主要인은 HCN과 CO이다. 硬質發泡폴리우레탄을 試料로한 HCN의 實驗分析結果를 圖5.7에, 또한 그때의 CO濃도를 圖5.8에 表示하면 다음과 같다.

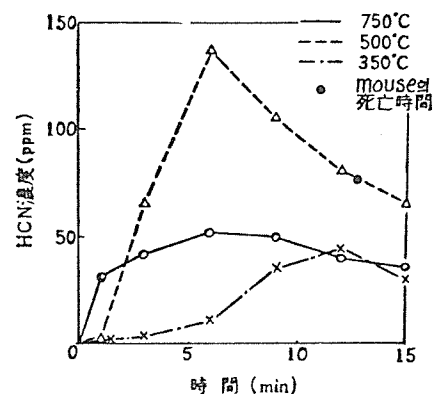


圖 5.7 Chamber內的 HCN 濃度 (硬質發泡Polyurethane 5g)

圖에 確實히 表示되어진것과 같이, HCN은 500°C의 加

熱時에 더욱 多量으로 발생하였으며, 350°C, 750°C 에서는 모두 감소를 보이고 있다. CO에 대하여서도 마찬가지이며, 흰쥐는 500°C의 加熱時에 死亡 하였으며, 기타의 溫度에서는 모두 生存하였다.

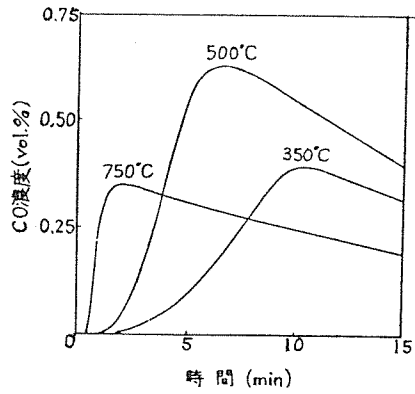


圖 5.8 Chamber 内の CO 濃度 (硬質發泡Polyurethane 5g)

흰쥐는 1g의 試料를 750°C 온도로 加熱한 시험에서 短時間中에 死亡 하였으며, 500°C 이하의 시험에서는 試料 5g을 燃燒하여도 死亡하지 않았다. 또한 純HCN 環境下에서 이루어진 試驗에서 흰쥐는 HCN이 300~500 ppm의 일정한 濃度의 경우, 약 3分內에 死亡하는것을 고려하여보면, 750°C 溫度에 대한 燃燒生成物의 毒性은 대체로 HCN에 의한 것으로 간주된다.

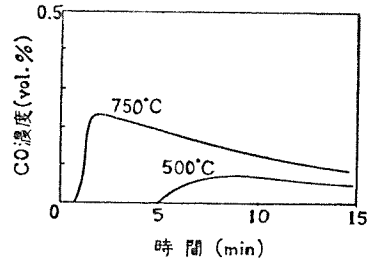


圖 5.10 Chamber 内の CO 濃度 (nylon 1g)

3) 폴리아미드(Polyamides)

폴리아미드의 대표적인 製品은 나이론이며, 電線纜 綠材料로서도 사용증가 되고있다. 燃燒生成物을 검토하여 보면, 400°C에서 30分間 加熱했을때, 熱分解燃燒 生成物의 주성분은 H₂O와 CO₂로서, 기타 少量의 各種炭化水素가 있으며, 窒素化合物은 없었다. 그러나 窒素(N₂)中에서의 熱分解(350°C)에서는 H₂O, CO₂와 함께 NH₃의 燃燒生成物이 檢知되고 있다. 또한 高溫燃燒時에 HCN이 檢知된 報告도 있다. 岸谷 博士의 實驗에 의하면, 750°C에서는 매우 多量의 HCN이 발생했으며, 500°C에서는 微量이었다. 또한 350°C에서는 檢知되지 않았다. 이것은 나이론의 熱分解溫度가 他材料 보다도 높다는 것을 表示하며, 폴리에탄과 달리 750°C의 高溫燃燒域에서는 더욱 HCN을 발생하였으며, 發生量도 폴리에탄 보다 많았다. 實驗結果를 圖로서 表示하면 다음의 圖5.9, 圖5.10과 같다.

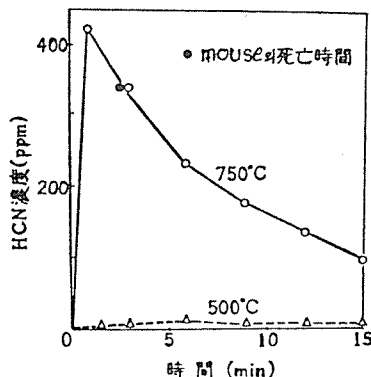


圖 5.9 Chamber 内の HCN 濃度 (nylon 1g)

4) 폴리아크리로나이트리드(PAN : Polyacrylonitrile)

PAN은 아크릴(acryle) 纖維로서 表料品에 많이 사용되어지고 있다. PAN의 燃燒生成物中에 問題가 되는 有毒가스는 HCN이다. 空氣中 및 窒素(N₂)中에서 200~350°C의 溫度로 가열할 경우의 HCN의 발생을 調査한 結果는, 空氣中에서 N₂中에서 보다, 또한 溫度가 높을수록 HCN 發生量이 많았다.

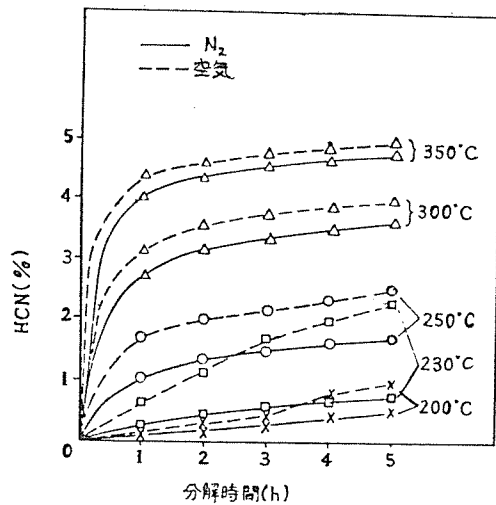


圖 5.11 PAN의 脫青酸에 대한 雰圍氣·溫度의 影響

PAN의 脫青酸에 대한 分位기와 溫度의 影響關係를 圖5.11에 表示하면 다음과 같다. 더욱이 NH₃의 발생도 檢知되었다. 350°C 이상의 溫度域에서의 HCN 發生性狀

을 圖5·12에 表示하면 다음과 같다. 이와같이 高溫으로 갈수록 HCN은 多量으로 발생하고 있으며, 空氣量이 많아지면 HCN은 감소한다. 이것은 O₂에 의한 HCN의 分解가 크게되기 때문인 것이다. 또한, PAN의 燃燒에 의한 HCN의 발생은 低溫에서 高溫에 이르기 까지, 또한 O₂ 不足의 상태에서도 상당히 발생한다. 그러므로 衣類品 등의 아크릴纖維製品이 大量으로 있는 경우는, 火災時 매우 위험한 상태가 된다.

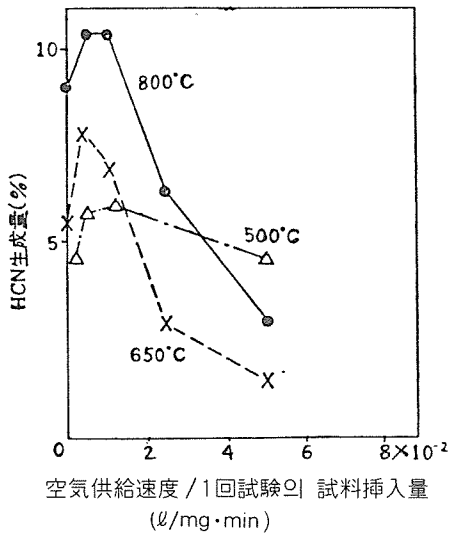


圖 5·12 HCN 生成量과 溫度 · 空氣供給速度比

6. 燃燒生成物의 毒性實驗

6. 1 試驗의 目的

最近의 建築物火災의 統計資料가 表示하는 바와같이, 특히 耐火建築物의 火災에서 人命의 손실이 속출하고 있으며, 이러한 人命被害의 증가에 대한 主因이 有毒煙·가스에 기인하고 있음이 지적되고 있다.

建築材料(素材, 複合材, 治裝材等), 裝飾材料, 家具, 衣類等 각종 可燃性有機材料가 燃燒中에 발생하는 燃燒生成物(CO, HCN가스等)의 毒性이 建築物의 火災時에 커다란 問題가 되고 있다.

上記의 이유에 의하여 下記와 같은 實驗研究를 통하여 장래 放火材料의 諸定 및 防火·耐火構造의 지정시에 有毒가스에 對한 規定이 채용되어지기 위하여 이와같은 試驗의 필요성이 고려되어지고 있다.

耐火材料에 있어서도 主로 不燃材라하여 염려하지 않아도 된다고는 말할수 없다. 가령, 法令이 채용되어졌을 경우, 우선 規制되어야 할것으로는, 合成有機高分子材料類, 木質系材料類에 이어, 準不燃材料 및 불연재료의 순서가 되어지리라고 생각된다.

오늘날 사용되어지고 있는 防火·耐火建築材料中에 염려되는 材料가 많으므로, 이와같은 試驗을 통하여 主로 建築재료의 素材에 대하여 燃燒時에 발생하는 有害燃燒生成物의 現狀을 調査整理하여, 장치 이에 대한 規制가 되었을 경우의 時期에 대처하며, 또한 新製品開發의 경우에 중요한 요인의 기초로서, 특히 建築물이 火災時에 발생하는 有毒가스로 부터 人命의 中毒死를 방지하기 위하여 本試驗의 목적에 있다.

6. 2 試驗裝置 및 方法

材料의 燃燒時에 발생하는 燃燒生成物의 毒性을 試驗하는 方法으로서는 生物을 이용하는 것이 實際의 火災時의 경우를 고려하여 볼때, 가장적합하며, 흰쥐(mouse)를 이용하여 흰쥐의 挙動과 血液中의 헤모글로빈과 CO가스의 結合(헤모글로빈濃度)으로 인한 毒性問題가 檢討되어지고 있다.

本試驗에 사용되어진 裝置로서는 写真6·1, 写真6·2에 표시되어진 것과 같으며, 振動板의 振動에 의한 흰쥐의 挙動을 記錄計에 의하여 조사하였으며, 특히 CO, CO₂, HCN가스 濃度를 測定하는 方法을 채용하였다.

- 1) 試料 및 燃燒炉: 炉內에 0.5~40g 정도의 試料를 넣어 燃소할수 있으며, 炉는 JIS A1321의 基材試驗의 경우와 同一한 750°C Constant로 되어 있다.
- 2) 煙道: 写真6.1, 写真6.2에서 보는바와 같이 파이프를 連結하여, 1)의 炉에서 發生한 煙·가스가 통하게 되어 있다.
- 3) 煙·가스의 保有탱크: 2)의 煙道를 통한 煙·가스가 煙·가스의 保有탱크 속에 모여, 4)의 흰쥐를 保有하고 있는 Gas chamber로 직접 들어갈수 있게 되어 있다.
- 4) 흰쥐의 保有振動板: 写真6.1, 写真6.2에서 보는바와 같이 흰쥐를 保有할수 있는 Mouse Chamber內의 바닥에 장치되어진 振動板위에 흰쥐가 놓여지게 되어 있다.
- 5) 壓力調整탱크: 3)의 煙·가스의 保有탱크內의 壓力은 거의 올라가지 않지만, 1)의 燃燒生成物을 全部 3)의 煙·가스의 保有탱크에 넣기 위하여 5)의 壓力調整탱크에서 壓力을 調整하게끔 되어 있다.
- 6) CO가스 測定裝置: 3)의 煙·가스의 保有탱크 內에 포함되어 있는 燃燒生成物의 CO가스를 測定할수 있게 되어 있다.
- 7) 연기 및 CO₂가스의 記錄計: 3)의 煙·가스의 保有탱크 안에서 발생한 연기 및 CO₂가스를 測定할수 있다.

게 되어 있다.

8) 振動記錄計: 4)의 흰쥐의 保有振動板에 設置되어진振動板의 振動을 기록하는 것으로서, 이記錄計에 의하면 흰쥐의 거동이 經過時間의 變化와 함께 自動적으로 기록되어지게 되어 있다.

試驗時間은 15분이 經過되어 진다. 이 時間은 실제火災時의 경우, 일반적인 人間의 피난을 대상으로 하고 있다. 즉 15分 以内に 燃燒生成物의 毒性이 없다면, 人間은 安全하게 피난할수 있다는 가정하의 設定時間인 것이다. 試驗에 이용하는 흰쥐는 週齡 2週의 ♂(male)이 이용되어지고 있으며, 一種의 試料에 對하여 3匹以上の 흰쥐를 試驗하여, 대체로 비슷하게 나오는 Data를 平均하여 그 平均値를 使用하고 있다.

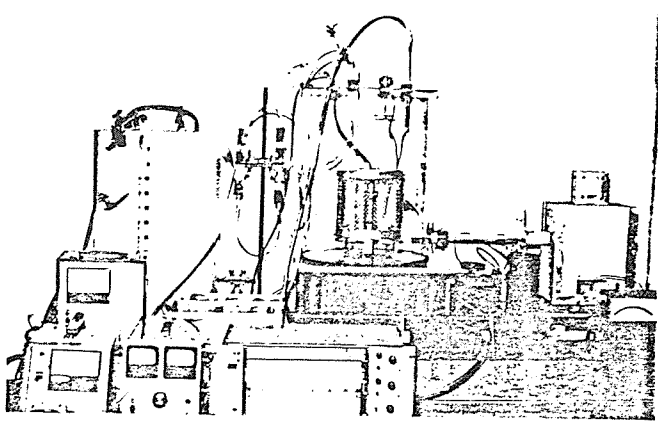


写真 6·1 燃燒生成物의 毒性試驗裝置

(male)로서 重量은 20g이었다.

6. 4 試驗結果

1) 木毛세멘트板: 試料30g

木毛세멘트板은 JISA1321 基材試驗에 합격한 不燃材이었음에도 불구하고, CO濃度가 最大0.7%나 發生하였으며, 試驗經過時間 6~12分에서 흰쥐 3匹中에서 2匹가 死亡하였다. 試料의 加熱溫度는 750°C이었다.

2) 나이론: 試料 1g

나이론의 경우는 試料 1g을 加熱溫度 750°C에서 加熱試驗한 결과, 試驗經過時間 2~3分에서 即死하였다. CO가스가 0.2%程度 발생하였으며, HCN가스도 400ppm 發生檢出 되었다.

人間이 HCN가스를 呼吸하였을 경우, 일반적으로 200~450ppm에서 30分以内に 死亡하며, 3000ppm에서는 即死한다.

6. 5 흰쥐 (mouse)의 挙動에 의한 振動判定の 結果

1) 木毛세멘트板: 試驗을 시작한후부터 6~8分 정도는 正常的인 運動을 하였으며, 그 이후부터는 呼吸困難의 상태로되어 死亡하기 以前의 重態의 모양을 보였다.

2) 나이론: 試驗을 시작하여 5分程度혹은 死亡하는 경우로서, CO, HCN가스가 發生하는 可燃材料 등에서 흔히 볼수가 있다. 나이론에서 이와같은 모양을 보였다.

燃燒生成物의 毒性試驗時에 흰쥐의 거동에 의한 振動結果의 일례를 表示하면, 木毛세멘트板의 경우 圖6·1의 그래프와 같이 記錄되었다.

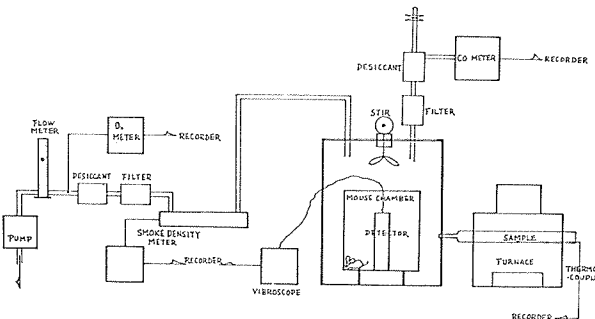


写真 6·2 燃燒生成物의 毒性試驗裝置

6. 3 試料

本試驗한 使用한 試料는 1) 木毛세멘트板: 30g과, 2) 나이론: 1g이었으며, 흰쥐(mouse)는 週齡 2週의 ♂

7. 有害煙·가스濃度 및 許容値의 表示法

現代建築物에 火災가 發生했을경우 高層建物 전체가 一種의 煙突과같은 效果를 발휘하여, 燃燒放出되는 有害煙가스가 上昇 및 擴散作用으로 인하여 建物内全體를 위험한 분위기를 몰고오며, 이때의 有害煙·가스의 流動狀態를 圖로서 表示하면 다음의 圖7·1과 같다.

연기와 가스를 따로 따로 分類하여 볼때 연기에 의하여 避難이 곤란하게 되는 것이 먼저이나, 아니면 가스에 의하여 行動이 마비되는 것이 먼저이나 하면 압도적으로 연기에 의한 避難困難이 먼저이며, 最大의 理由는 避難消火活動을 阻害하는 일로서 연기가 직접의 死因이 되는 것은 아니며, 연기로 인하여 視力에 의한 識別距離가 저하하며 方向感覺을 잃고, 적시에 피난을 하지못하게 되어 最終적으로는 熱 또는 연기속에 포함되어 있는 有毒가스의 吸入에 의하여 死亡하게 되는 것이다.

가스의 毒性에 관해서는 燃燒材料의 化學組成 量 燃燒時의 溫度 및 酸素分壓에 의하여 決定된다. 연기는 火災의 初期를 대상으로하여 火災의 可否를 고려하여 材料의 發煙特性이 검토되어지며, 가스의 경우는 미처 대피하지 못한 人間이 消防員의 救出時間까지 기다려져야 하기때문에 플래시-오우버 이후 상당한 時間까지의 安全性에 대하여 고려하지 않으면 안된다. 따라서, 材料特性에 의한 評價만으로는 위험한 일이며, 積載可燃物의 燃燒에 의한 放出가스도 함께 전반적으로 고려하지 않으면 안된다.

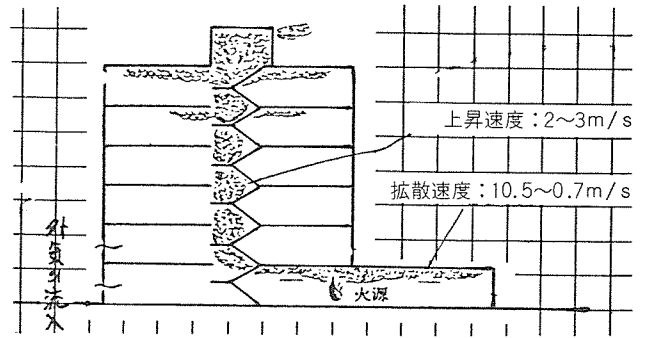


圖 7·1 火災時의 煙·가스의 流動狀態

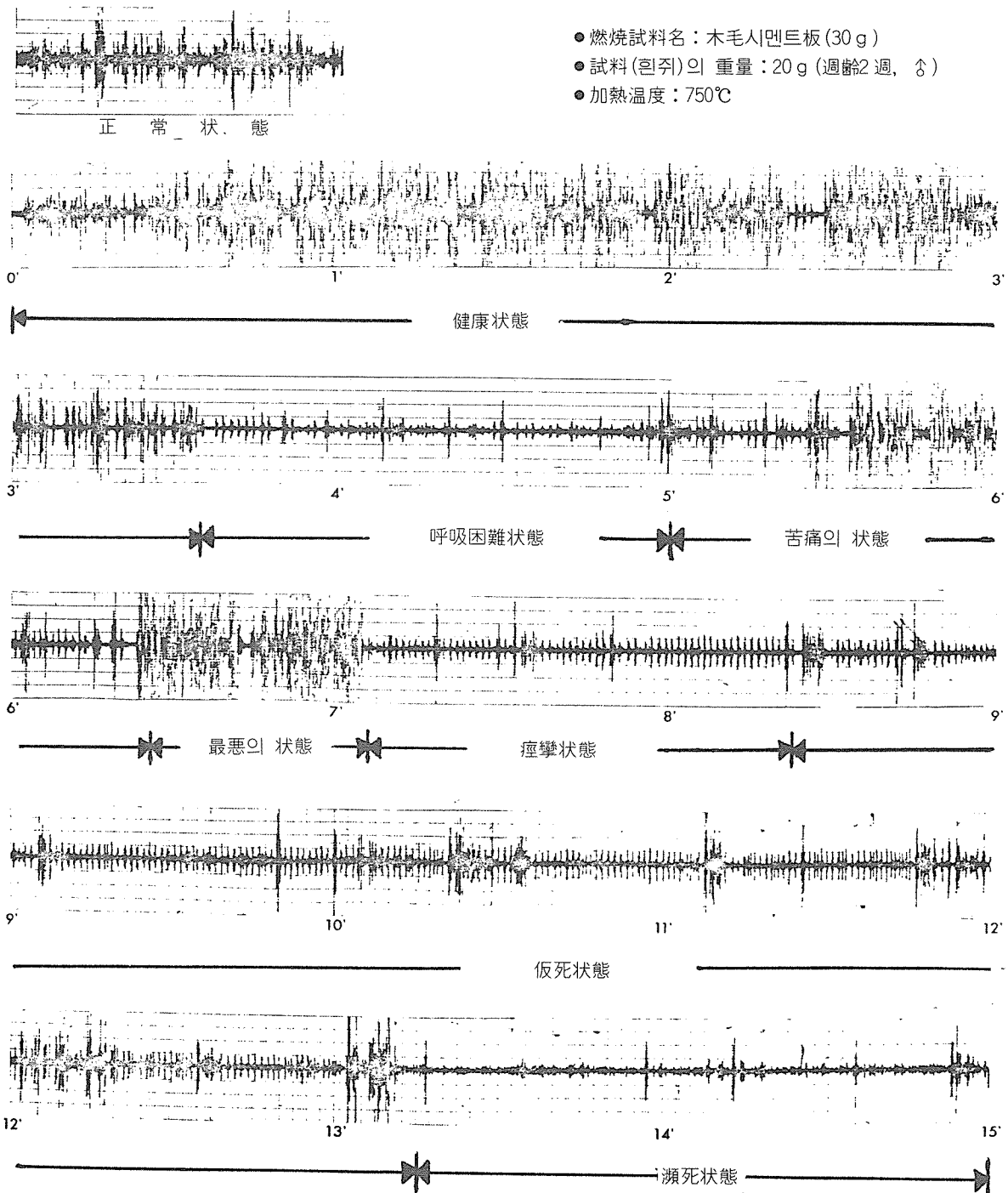


圖 6·1 振動板에 의한 흰쥐(mouse)의 拳動狀態

7.1 煙濃도의 算出

煙濃도는 1m³의 空氣中에 포함하고 있는 연기의 重量(mg)으로 表示되기도하며, 일반적으로는 減光係數로서 표시되어진다. 연기가 存在하는 空間의 兩端에 光源과 光電管을 設置하여, 연기에 의한 光의 吸收을 測定하는 方法으로서, 原理를 圖로서 표시하면 다음의 圖7.와 같다. 일반적으로는

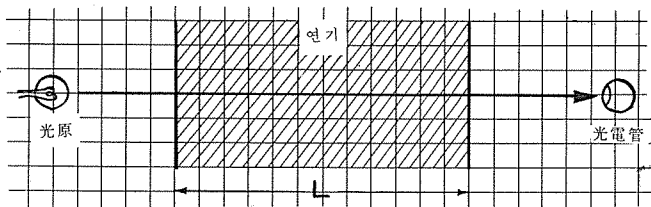


圖 7

- I_0 : 無煙時의 光의 세기
- I : 有煙時의 光의 세기
- L : 光源과 受光部間의 距離(m)
- C_s : 減光係數

$$I = I_0 e^{-C_s L}$$

$$C_s = \frac{1}{L} \log_e \frac{I_0}{I}$$

材料로부터 발생한 연기의 量은 연기가 擴散한 空間의 體積과 연기濃도의 積으로 表示되어 지므로, 이 體積을 V 로 하면 $C_s V$ 가 된다. 연기의 濃도를 減光係數로 表示하는 이유는, 우선 測定이 용이하다는 점과, 또한 火災時에 연기의 害가 避難하는 人間의 視界를 차단하여 避難活動을 방해하는 이유로부터 연기에 의한 視野識別 減을 表示하는 것이 이상적이라는 것에 의한 생각에서이다.

7.2 有害가스 濃도의 算出

有害가스濃도는 일반적으로 ppm(Parts Per Million)으로 表示되어 지다. 이것은 百万分의一(10⁻⁶)로서, 발생한 燃燒가스量 또는, 有害가스가 확산된 空間의 體積을 V 로하고 그중의 有害가스量을 U 로 하면,

$$C(\text{ppm}) = \frac{U}{V} \times 10^6 \text{의 式이 성립된다.}$$

有害가스의 測定은 燃燒가스를 採取하여 그중의 有害가스量을 分析한다. CO, CO₂, O₂가 赤外線分光計로 구하는 일이 많으며, 그외는 가스 구로메트르그래프가 사용되어지고 있다. 또한 각종 化學的 分析法에 의하여 이루어 질때도 있다. 이와같은 方法에 의하여 濃度C가 求해

지면, 發生한 有害가스의 擴散된 空間의 體積을 乘하므로써 구할수가 있다. 이와같은 方法에 의하여 濃度C가 구할수가 있다. 현재 일반적으로 測定되어지고 있는 有害가스는 CO이며, 그외의 HCl, Cl₂, 아르테히토, 시안等に 관해서는 다소 測定值가 구해져 있기는 하나, 아직 신뢰할수 있는 정도까지는 되지 못하고 있는 實情이다.

7.3 연기 및 가스의 許容值

建物內를 流動하는 연기 및 가스의 濃도가 연기 및 가스의 許容值를 上回할때는 위험한 것으로 判定되어 지다.

1) 연기의 許容值는 火災時에 피난자의 視程阻害를 방해하는 것을 목표로하여 정해진 것이며, 이 限界는 減光係數 C_s 에 대한 것으로서 表7.1에 表示되어진 것과 같다.

表 7.1 煙濃도의 許容限界(避難用)

對 象	確保되어져야 할 規程(m)	減光係數 C_s 의 許容限度(m ⁻¹)	參考한 資料	
			東京消防庁	神·育藤
不 特定者	15~25	0.2	0.1	0.35
建物內熱知者	3~5	1.0	0.5	1.7

2) 가스의 許容值는 주로 人體에 대한 毒性으로부터 정해져 있으며, 火災時에 避難에 요한는 時間은 비교적, 短時間인 것을 전제로하여, 短期의 許容值를 이용한 것으로서, 그例를 표시한 것이 表7.2이다.

表 7.2 氣體中의 有毒가스의 許容限度

O₂는 最小濃度 外는 最大濃度

成 分	許容限度(%)	參考한 資料
CO	0.2	ICI 0.01 (60分) 中田0.1 (10分) 東京消防庁 0.3左右 田0.15 Rasbash 0.4
HCl	0.1	ICI 0005 Rasbash 0.1左右 田0.035 (美國, 英國公認, 소련은 약간 낮음) ~0.1 0.0025
COCl ₂	0.0025	ICI 0.0001 Rasbash 0.0025 左右 田0.0025
NH ₃	0.3	ICI 0.05 Rasbash 0.25 左右 田0.5~1.1 1.0
HCN	0.02	ICI 0.002 左右 田0.018~0.02 山本加藤(京大)0.01 (30分~60分) Rasbash 0.02
O ₂	14	田中12 大草(學研) 14

8. 結 言

現代建築物의 火災時에 發生하는 各種 有害燃燒生成物의 毒性에 關해서는 醫學 및 生理學 等의 他分野와의 연

관성도 있고하여 매우 복잡하다.

上記에 대한 지금까지의 것을 綜合적으로 정리하면 下記와 같다. 일반적인 可燃性の 有機質材料가 燃燒作用에 의하여 有毒煙·가스를 발생하는 것은 당연한 現象이며, 모든 燃燒生成物은 인체에 有害하다고 해도 過言은 아니다

合成有機高分子材料의 발달은 建築物, 선박, 항공기, 車輛 등에서 多量으로 널리 利用되어지고 있으며, 특히 플라스틱 類의 製品은 人間의 生活로부터 배제하는 일은 오늘날 이미 不可能하게 되었다. 더우기 合成有機高分子材料가 건축물에 사용되는 內·外裝材料 및 治裝材料는 증가일로에 있으며, 이들 製品의 開發進展은 금후에도 더욱 계속되리라고 思料되어 진다. 따라서 現代建築物의 火災時에 材料의 燃燒挙動은 종래의 樣相과는 달리, 火災危險性에 대한 人命被害의 증대현상은 현저하다. 이것은 建築物의 使用材料 및 積載可燃性材料의 質的變化를 의미하는 것으로서, 木質系材料의 燃燒時의 경우와 같이 燃燒生成物을 일반화하는 것은 매우 곤란하게 되었다. 구체적인 例로서, 종래의 板壁 대신에 폴리에스테르 內裝材를 羊毛카펫트 대신에 아크릴 纖維를, 또한 グラス울의 断熱材 대신에 폴리우레탄 및 폴리스티롤 등의 発泡性高分子材料들이 건물내에 사용되어졌을 경우의 有毒煙·가스의 종류와 量的인 다양한 要素들이 위험성과 관련을 맺고 있다.

合成有機高分子材料인 플라스틱은 化學的 및 物理的으로 改質되어 있으며, 또한 數 많은 登錄商標를 갖는 添加物을 포함하고 있다. 그러므로 火災時에 放出하는 다

양한 有害燃燒生成物은 短時間의 曝露만으로서도 人間이 거주할 수 없게 될뿐만 아니라, 때로는 치명적인 분위기를 몰고 온다. 이들 材料의 종류, 重量, 物理的形狀, 온도, 加熱速度, 室内容積 및 기타의 파라메타에 의하여 放出되는 有毒煙·가스의 종류와 濃度가 決定된다. 또한 개개의 人間의 物理的, 化學的 및 生理學的인 상태가 毒物學的인 応答를 결정한다. 有毒煙·가스의 相乘作用에 의한 전반적인 毒物學的인 問題는 더욱 복잡하다.

각종 材料에 대한 燃燒生成物의 毒性試驗의 結果에 관해서는 흰쥐에게 全然 영향을 주지 않은 것은 標準試料와 카본(Carbon) 纖維를 첨가할 試料뿐이며, 거의 모든 試料가 10분이내로 흰쥐에 영향을 미치고 있다.² 따라서 不燃性試驗에서 불연재료로서 취급되었어도, 火災時에 人體에 영향을 미치지 않는다고는 말할 수 없음이 判명되었다. 이와 관련하여, 실제의 火災時에 건물내 人間의 生命이 각종 材料가 燃燒作用에 의하여 발생하는 有害燃燒生成物에 대하여 어느 정도 위험하게 되는가를 評價整理할 필요가 있으며, 이에 대한 대책도 시급하다.

현대건물의 火災時에 人命事故는 合成有機高分子 材料로부터 발생하는 有毒煙·가스의 問題뿐만이 아니라, 실제로 건축구조의 不備, 警報体制의 不整備, 피난설비의 불완전, 消防 및 피난방법의 불철저 등에 起因하는 다는 것을 附言한다.

謝 意

本文作成時, 資料提供 및 協助하여 주신, 시드니 大學 建築工學部, Peter R. Smith 教授에게 感謝를 드립니다.