

犠生者の 血液分析等으로부터의 有毒가스

1. 序 論

最近 전국적으로 火災에 의한 物的被害는 물론 人的被害가 현저하게 증가하고 있다.

이들 火災에 의한 犠生者の 死因이 從來에는 火災時의 熱에 의한 火傷을 중심으로 하는 燒死였지만, 最近에는 火災時 發生하는 有毒ガスの 영향에 의한 死亡例가 많아졌고 火災 犠生者の 體表에서 거의 火傷을 확인할 수 없는 例라든가 火傷을 認知하더라도 血液中에서 一酸化炭素를 중심으로 한 有毒가스가 확인되기 때문에 이들 有毒ガスの 吸入으로 인하여 行動不能이 된 후 熱의 영향으로 死亡한 것으로 推定되는 例가 증가하고 있다.

火災時 發生하는 有毒가스에 의한 中毒은 단순히 건축물 構造上의 문제만이 아니고 건축용 資材, 内部裝飾品, 家具, 衣類等 현재 우리가 생활하는 데 필요한 모든 物件의 燃燒에 의한 영향이 대단히 큰 比重을 차지하고 있다고 알려져 있다. 실제로 이들 건축 자재 등을 實驗에 의하여 燃燒시킨 경우 여러가지 有毒가스가 발생하며, 그것은 前號에서 이미 논한 바와 같이 一酸化炭素, 炭酸가스, 靑酸가스, 鹽化水素, 窒素酸化物과 또 물질의 화학적 구조에 따라 포름알데히드, 아크롤레인, 암모니아 등도 발생한다.

本號에서는 각종 건축 자재나 카펫 등을 燃燒시킨 實驗에서 어떠한 가스가 발생했는지, 또 火災에 의한 犠生者를 실제로 解剖한 결과 血液中에 들어 있던 有毒ガスの 濃度는 어느 정도인지, 또한 血液中에 어떠한 가스의 存在를 推定할 수 있는지를 논하기로 한다.(註)

2. 각종 建材 및 카펫 등의 燃燒實驗으로부터 檢出되는 有毒가스

燃燒實驗裝置를 이용하여 燃燒爐 내에 22 × 22 cm 크기의 燃燒材料를 넣고 프로판가스 및 1.5 kw의 電氣 히터로 加熱, 燃燒된 試驗材料로부터 발생하는 가스와 煙氣를 實驗箱子로 誘導한 후 상자 내에 들어 있는 動物의 行동을 관찰함과 동시에 상자 내의 각종 가스 濃度를 측정했다. 가스 측정 장치의 종류가 차차 늘어감에 따라 측정된 有毒ガスの 종류도 前半보다 後半에 증가했다.

燃燒前의 가스 측정 장치에 있어서 酸素濃度는 21%, 탄산가스 濃度는 0.04%로 조정하고 다른 것은 모두 0으로 조정하여 재료를 燃燒시켰다.

自然木이 燃燒한 경우 他材料의 燃燒와 비교해서 一酸化炭素濃度, 탄산가스 濃度가 둘 다 별로 높지는 않았는데 實驗前에 想像하지 못했던 靑酸ガスの 발생이 低濃度지만 확인되었다(표1). 또 天井 등에 많이 이용되고 있는 不燃材를 燃燒시켰을 경우 극히 적은 一酸化炭素와 靑酸가스가 발생되었으나 이들 가스는 表面의 塗料等에서 발생된 것으로서 實驗動物에의 영향은 확인되지 않았다(표2).

註) 本稿는 일본 橫兵市立大學 의학부 法醫學室 조교수 '津田 征郎'씨가 神奈川縣내의 火災 사망자를 檢索·解剖할 때 얻어낸 血液分析 結果를 근거로 하여 쓴 것이다.

(표 1)

	實驗箱內CO濃度	實驗箱內炭酸가스濃度	實驗箱內HCN濃度	實驗箱內酸素濃度
나뭇	1.13 %	4.5 %	33.6 PPM	14.9 %
杉木	1.15 %	4.7 %	23.8 PPM	14.6 %
美松	1.60 %	3.4 %	21.0 PPM	13.8 %

(표 2)

	實驗箱內CO濃度	實驗箱內HCN濃度
岩綿을 高熱處理 Fe ₂ O ₃ (A社製)	0.11 %	49 PPM
岩綿을 高熱處理 Fe ₂ O ₃ (B社製)	0.17 %	5 PPM
岩綿을 高熱處理 Fe ₂ O ₃ (C社製)	0.18 %	4.2 PPM
CaCO ₃ 을 合板 으로 한 것	0.20 %	1.6 PPM
MgCO ₃ 을 合板 으로 한 것	0.10 %	1.8 PPM

合板을 燃燒시킨 경우 一酸化炭素 濃度는 自然木과 거의 같은 1% 前後 값이었지만 靑酸가스의 濃도가 매우 높아 測定 範圍를 넘는 600 ppm 이상을 나타내는 것도 많았다. 그러나 炭酸가스의 濃도는 素材에 따라 정도 차이가 많았으며 酸素濃도는 크게 떨어지지 않는 것 같다(표 3, 4, 5).

카페트를 燃燒시킨 경우 아주 많은, 게다가 高濃度の 가스를 발생시키는 동시에 酸素濃度の 低下도 심했다. 카페트의 表面

素材는 여러 가지로서 나일론, 폴리프로필렌, 폴리에스테르, 우레탄폼, 아크릴, 毛 등이며 이들이

(표 5)

		實驗箱內CO濃度	實驗箱內炭酸가스濃度	實驗箱內HCN濃度	實驗箱內酸素濃度
表面 반침판	비나 닐 망	0.99 %	2.4 %	600 PPM ↑	16.4 %
表面 반침판	폴리에스테르 나 망 (A)	1.04 %	3.5 %	600 PPM ↑	14.8 %
表面 반침판	폴리에스테르 나 망 (B)	0.83 %	2.6 %	600 PPM ↑	16.3 %

(표 4)

	實驗箱內 CO濃度	實驗箱內炭酸가스濃度	實驗箱內HCN濃度	實驗箱內酸素濃度
비닐合板·A	0.97 %	4.7 %	350 PPM	13.6 %
비닐合板·B	0.96 %	5 % ↑	390 PPM	12.9 %
비닐合板·C	0.68 %	4.8 %	310 PPM	13.8 %

(표 3)

	實驗箱內CO濃度	實驗箱內炭酸가스濃度	實驗箱內HCN濃度	實驗箱內酸素濃度
프린트合板·A	1.46 %	5 % ↑	424 PPM	13.8 %
프린트合板·B	1.40 %	5 % ↑	494 PPM	12.8 %
프린트合板·C	0.83 %	5 % ↑	360 PPM	13.6 %

燃燒하면 一酸化炭素, 炭酸가스, 靑酸가스, 鹽化水素, 窒素酸化物 등의 有毒가스를 多量 發生하는 동시에 酸素濃度の 低下를 초래했다. 더구나 表面素材가 毛 100%라도 패킹 등에 合成纖維가 사용

되고 있기 때문에 表面素材가 合成纖維의 경우와 같은 경향을 나타내었다.

카페트 燃燒時 발생하는 가스에 대해서는 표 6에서 알 수 있듯이 炭酸가스는 모든 경우 測定範圍를 넘는 5% 이상이고, 鹽化水素에 대해서도 모두 測定範圍 밖의 2% 이상의 값을 나타냈다. 더우기 一酸化炭素는 最低 0.8%, 最高 2.13%를 보였다. 또 酸素濃度는 表面素材가 BCF(Bulked-Continuous Filament) 나일론 100%인 카페트만 20%로서 겨우 1% 低下했을 뿐이다. 전체적으로 검토했을 때 현재 사용되고 있는 카페트는 燃燒時 絶대로 安全한 製品이 없다고 해도 過言은 아닐 것이다. 또한 표 6에 記入되지 않는 NOx(窒素酸化物)도 10~35 ppm 濃度를 測定할 수 있었다.

(표 6)

實驗箱內 가스 濃度		CO	CO ₂	HCN	HCl	O ₂
表面 패킹	나일론스판 100% Foam rubber	1.22% ↑	5% ↑	96 PPM	20000 PPM ↑	9.9 %
表面 패킹	毛 100% 없 음	1.25% ↑	5% ↑	76 PPM	20000 PPM ↑	10.4 %
表面 패킹	아크릴 100% 없 음	1.65% ↑	5% ↑	440 PPM	20000 PPM ↑	10.0 %
表面 패킹	나일론 100% 없 음	2.13% ↑	5% ↑	200 PPM	20000 PPM ↑	7.7 %
表面 패킹	폴리프로필렌 100% 없 음	1.18% ↑	5% ↑	28 PPM	20000 PPM ↑	11.0 %
表面 패킹	BCF 나일론 100% 없 음	0.80% ↑	5% ↑	70 PPM	20000 PPM ↑	20.0 %
表面 패킹	BCF 나일론 100% Foam rubber	0.90% ↑	5% ↑	110 PPM	20000 PPM ↑	15.0 %
表面 패킹	폴리에스테르 100% Urethane foam	0.85% ↑	5% ↑	64 PPM	20000 PPM ↑	10.0 %
表面 패킹	나일론 60% 폴리프로필렌 40% Urethane foam	0.93% ↑	5% ↑	160 PPM	20000 PPM ↑	10.0 %

이상의 實驗結果로부터 보면 어느 建築資材나 카페트도 위험한 有毒가스를 발생시키는 것이 明白하다.

3. 各種 有毒가스의 濃度와 生理作用과의 關係

여기서는 前記한 燃燒 有毒가스가 人間의 生理作用에 어떠한 영향을 미치는지에 관하여 防火情報 第 32號에서보다 좀더 자세한 내용을 다루어 보고자 한다.

(1) 一酸化炭素(CO)

呼吸器系 및 循環器系는 협동하여 生體組織의 代謝를 유지하기에 충분한 속도로 大氣로부터 身體의 여러 조직으로 酸素를 공급하고 炭酸가스를 放出하고 있다. 이 과정의 一段階는 肺에서 肺以外的 조직으로 血液에 의해서 酸素가 운반되고 있다. 이때 血液中 거의 모든 酸素는 赤血球에 含有되어 있는 헤모글로빈에 可逆적으로 結合되어 있는데, 一酸化炭素와 酸素가 共存할 경우 헤모글로빈에의 結合部位를 서로 競合한다. 그러나 一酸化炭素의 헤모글로빈 親和性은 酸素의 약 200배에 달해서 一酸化炭素가 아주 낮은 分壓으로 존재하더라도 酸素의 運搬을 阻害한다. 예를 들면 空氣중에 一酸化炭素가 0.1%만 존재하더라도 헤모글로빈에의 結合은 각각 50%씩이 된다.

이상으로부터 空氣中の 一酸化炭素濃度와 身體에의 生理障害關係를 아주 明白하게 알 수 있으며 나

타나는 症狀은 다음과 같다. 이는 安靜時의 증상이며 勞動中에 있어서의 증상은 이보다 더욱 빨라진다.

- 100 ppm (0.01%) - 8時間 吸入으로 거의 無症狀
- 500 ppm (0.05%) - 1時間 吸入으로 無症狀 또는 輕度의 症狀(두통, 현기증, 惡心, 주의력·思考力의 鈍化 痲痺. 등)
- 700 ppm (0.07%) - 두통, 惡心이 심하고 때로는 嘔吐, 호흡 곤란과 동시에 視覺·聽覺障害, 심한 步行障害
- 0.1 ~ 0.2% - 1 ~ 2時間中에 의식 몽롱 상태로부터 호흡 곤란, 昏睡, 의식 상실 때로는 경련, 2 ~ 3時間으로 死亡
- 0.3 ~ 0.5% - 前記 症狀이 나타나 20 ~ 30分內에 急死

(2) 靑酸가스(HCN)

靑酸化合物中 毒性이 가장 강하며 그 毒性은 CN^- (시안 이온)이 生體組織의 酸化酵素 Cytochrome oxidase 에 영향을 주기 때문에 호흡이 阻害된다. 大量 섭취하면 數秒만에 죽는다. 섭취량이 적어 經過가 긴 경우(數時間 정도)에는 症狀을 다음과 같이 四期로 구분할 수 있다.

(가) 初期: 눈 및 목의 刺戟感, 혀의 灼熱感과 金屬味, 呼氣는 Cyan 臭(苦扁桃臭~살구臭)를 나타낸다. 가슴이 답답하며 두통과 현기증, 嘔吐가 나고 호흡, 맥박이 빨라진다.

(나) 喘息期: 虛脫感, 급격히 호흡이 느려지며 숨쉬기가 고통스러워진다.

(다) 경련기: 恐怖感이 점점 심해지며 호흡이 빨라지고 의식을 잃는 경련을 일으킨다.

(라) 窒息期: 瞳孔擴大, 호흡이 알아져 死亡한다.

空氣中の 濃度와 死亡에 이르는 時間關係는 다음과 같다.

- 18 ~ 36 ppm - 數時間後 큰 변화 없음
- 45 ~ 54 ppm - 30分 ~ 1時間 견딜 수 있음.
- 110 ~ 135 ppm - 30分 ~ 1時間으로 위험 또는 死亡
- 135 ppm - 30分으로 死亡
- 181 ppm - 10分으로 死亡
- 270 ppm - 卽死

(3) 鹽化水素가스(HCl)

身體의 外表面(外皮와 눈의 結膜)과 氣道內面(이, 입, 코, 목구멍, 氣管支 등의 粘膜)의 刺戟에 한하며, 急性中毒死亡은 호흡기 障害로서 그 所見은 氣管支 등의 壞死, 浮腫, 無氣肺와 肺血管系의 損傷을 일으키는 것으로 되어 있다.

空氣中の 濃度와 生理障害의 關係는 다음과 같다.

- 0.5 ~ 1.0 ppm - 가벼운 자극을 느낀다.
- 5 ppm - 코에 자극이 있고 불쾌감을 동반한다.
- 10 ppm - 코에의 자극이 강하며 30分 이상 견딜 수 없다.
- 35 ppm - 短時間 견딜 수 있는 限界
- 50 ~ 100 ppm - 作業不能이 되며 견딜 수 없다.
- 1000 ~ 2000 ppm - 短時間 露出로 위험
- 2000 ppm 이상 - 數分으로 死亡

(4) 窒素酸化物(NO_x)

人體에의 영향이 문제가 되는 것은 많은 窒素酸化物中 NO₂와 NO 이고 兩者를 총칭하여 NO_x로 부르고 있다. 특히 NO₂는 대단히 위험도가 높아서 水分이 있으면 鋼鐵도 腐蝕시킬 정도이며 高濃度の 경우 눈, 코, 목을 강하게 자극하여 기침, 咽頭痛을 일으키고 천기증, 두통, 惡心 등의 증상을 나타내며 吸入量이 많으면 5~10時間後 입술이 파랗게 되고 지아노오제 症狀을 일으켜 肺水腫을 초래한다. 重症의 경우 의식 불명, 死亡에 이른다.

空氣中の 濃도와 生理障害의 關係는 다음과 같다.

- 15 ~ 25 ppm - 急性的 氣道 및 코의 자극
- 25 ~ 75 ppm - 可逆性的 肺炎 또는 細氣管支炎을 일으키고 6~8週 사이에 回復
- 150 ~ 300 ppm - 閉塞性 線維性 細氣管支炎 및 氣管支 肺炎를 惹起, 致命的이다.
- 500 ppm - 致命的인 急性 肺水腫이 일어나 48時間 이내에 死亡

(5) 炭酸가스(CO₂)

吸氣中の 酸素分壓을 低下시켜 酸素缺乏症을 誘發, 호흡곤란, 窒息狀態가 된다. 1~2%의 空氣中에서는 數時間, 3~4%에서는 1時間 동안 安全하지만 5~7%에서는 30分~1時間으로 위험하고, 20%에서는 短時間內에 死亡한다.

더욱이 酸素缺乏時에는 다른 가스가 많이 존재하기 때문에 身體組織으로의 酸素供給量이 적어져 精神, 筋肉活動의 低下, 호흡 곤란, 窒息狀態가 되어 酸素濃度가 5%로 되면 短時間 내에 死亡한다.

4. 火災에 의한 犧牲者의 檢案, 解剖所見 및 血液分析에 대하여

日本の 경우 火災에 의한 犧牲者의 法醫解剖를 하기 시작했을 즈음에는 死因에 대해서 그다지 깊은 생각을 갖지 않고 從來의 교과서대로 火傷(제 1도: 紅斑形成, 제 2도: 水疱形成, 제 3도: 燒痂形成, 제 4도: 炭化形成)의 有無, 氣道熱傷 및 氣道內의 黑色煤煙의 有無에다 血中の 一酸化炭素濃度에 대한 檢討를 덧붙여 死因을 결정, 서류를 작성했다. 그러나 死體의 檢案, 解剖를 했을 때 體表에 致命的인 火傷을 확인 할 수 없는 데다가 血中の 一酸化炭素濃度가 매우 낮은 症例를 여러번 경험하게 되어 疑問을 갖고 있을 즈음 建築 혹은 消防關係의 研究家들로부터 所謂 新建材나 合成纖維가 燃燒했을 때 一酸化炭素 이외의 有毒가스가 高濃度로 발생한다는 사실이 발표되기 시작했는데 그때까지 醫學關係者들은 거의 研究하지 않고 있는 실정이었다.

火災 犧牲者의 死因을 醫學的으로 究明하고 더 나아가 火災 人命事故의 豫防이라는 次元을 생각할 때 法醫學分野에서도 보다 많은 研究가 이루어져야 할 것이다.

이하 지금까지 火災에 의한 犧牲者의 血液을 分析해서 얻은 結果를 紹介한다. 火災時에는 一酸化炭素의 발생이 가장 많아서 前記한 것과 같이 酸素와 一酸化炭素가 混在한 경우에는 헤모글로빈(Hb)의 結合力은 一酸化炭素가 酸素의 약 200 배 강하기 때문에 火災 犧牲者의 血液을 分析하면 一酸化炭素를 多量 含有하고 있다. 血液中の 一酸化炭素濃度와 生理作用의 關係는 다음과 같다.

- 10% 이내 - 無症狀(심한 愛煙家は 3~4%임)
- 10~20% - 輕두통 및 頭重感
- 20~30% - 拍動性 두통, 倦怠感
- 30~40% - 顔面蒼白, 심한 두통, 吐氣, 嘔吐, 脫力感, 心悸亢進, 視力障害, 步行困難
- 40~50% - 호흡수 증가, 頻脈, 虛脫, 假死
- 50~60% - 昏睡, 경련, 지아노오제, 때로는 死亡

• 60% 이상—호흡 微弱, 호흡 停止(死). 또 空氣中 一酸化炭素濃도와 血中 一酸化炭素濃도의 관계는 대략 다음의 式으로 나타낸다.

$$\%COHb = Q \times \%CO (\text{空氣中}) \times t (\text{分})$$

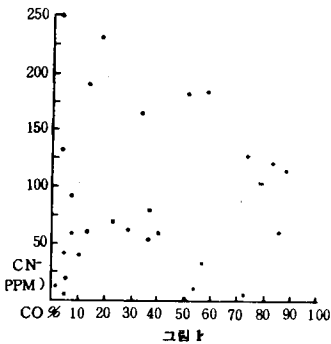
여기서 Q값은 安靜時에 3, 輕動作時 5, 輕作業時 8, 重勞動時 11의 概數로 한다. 따라서 輕動作時에 空氣中의 一酸化炭素濃도가 3%이고, CO Hb가 60%로 되는데 요하는 시간은 4分이다. 그러므로 火災時에는 初期의 數分이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.

또 1976년부터 1980년까지 5년간 死體를 檢案, 解剖하여 一酸化炭素濃도를 調査한 결과와 死亡原因과의 관계를 비교하면 표 7과 같은데, 여기서 火災에 의한 犠牲者의 一酸化炭素濃도가 50% 이상인 者는 45例中 15例에 지나지 않지만 從來에는 燒死體의 血液中 一酸化炭素濃도가 50% 이상인 者

(표 7)

	都市가스에 의한 死	排氣가스에 의한 死	火災에 의한 死	焚身自殺 및 類似 死	프로판가스에 의한 死	合 計
~10%	1	1	6	14	3	25
10~20%	0	1	6	2	1	10
20~30%	3	0	9	0	0	12
30~40%	4	3	3	0	0	10
40~50%	2	3	6	0	0	11
50~60%	4	2	4	0	0	10
60~70%	4	3	3	0	0	10
70~80%	2	2	7	0	0	11
80~90%	0	3	1	0	0	4
90%~	1	0	0	0	0	1
合 計	21	18	45	16	4	104

를 확인할 수 없었던 것이 보통이었던 事實에 비추어 最近의 다른 有毒가스에 의한 영향을 충분히 짐작할 수 있을 것 같다(표 7). 그래서 火災 犠牲者의 血液中에 一酸化炭素 이외의 有毒가스로서 CN⁻(시안이온)이 어느 정도인지 '82년부터 '83년까지 2년간 직접 檢案, 解剖한 28例의 死體의 血液을 檢査, 一酸化炭素濃도와 CN⁻濃도의 관계를 그림



1에 나타냈다. 縱軸을 血中 CN⁻濃度(ppm), 橫軸을 血中 一酸化炭素濃度(%)로 表現, 하나의 점이 一死體의 血中 가스濃度이다. CN⁻은 致死量 이상인 者가 극히 많고 거기에 비해서 一酸化炭素濃도가 높은 者가 最近에는 감소하고 있는 것이 아주 明白히 나타나고 있음을 알 수 있다.

게다가 血液의 酸性, 鹽基性を 측정하면 거의의 事例에서 강한 酸性을 나타내는 것으로 보아 鹽化水素를 많이 吸入하고 있는 것으로 推定되고 있다.

이상과 같이 火災時에는 여러 종류의 有毒가스가 발생하기 때문에 그 有毒가스를 吸入함으로써 相乘的, 相加的作用에 의하여 각각의 가스량이 少量일지라도 死亡하는 例가 많아지고 있다. 따라서 火災에 의한 犠牲者數의 감소를 위해서는 어떠한 條件下에서 犠牲되었는지를 血液分析 뿐만 아니라 燃燒된 建築資材나 内部裝飾品, 家具 등에 대해서도 충분히 研究해 가지 않으면 안된다.*