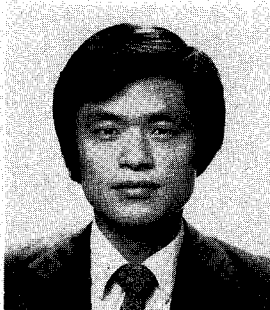


포름알데히드



포름알데히드는 건축물과
관련된 질환을 나타내는
화학물질로서,
포름알데히드 농도가
1ppm 또는 그 이하에서
눈, 코, 목의 자극증상을 보이고
동물실험에서는
발암성(특히 비암)이
있는 것으로 나타났다.



金潤信
(한양대 의과대학 부교수)

I. 서론

도시의 대기오염 악화 뿐 아니라 동절기와 하절기에 난방과 냉방에 쓰여지는 에너지의 절감 효율을 높이기 위하여 실내를 밀폐하는데서 기인하는 실내공기오염의 심화로 선진 구미 각국에서는 70년대를 전후하여 이미 몇몇 오염물질의 농도가 실외에서 보다 실내에서 높게 나타남을 입증하여 실내공기오염이 인체에 미치는 건강장해 및 공중보건학적 문제에 대하여 관심이 집중되고 있는 실정이다.

더우기 현대인의 대부분이 하루중 80% 이상의 시간을 실내에서 생활하고 있으며 특히 어린이나 노약자, 병약자들의 경우 대부분의 시간을 실내에서 보내고 있으므로 실내공기오염이 인체에 미치는 영향은 크다고 할 수 있다. 이러한 실내공기의 상태는 일차적으로 외부공기의 영향을 받게 되고 이차적으로는 담배연기, 스토브, 오븐, 시멘트, 건축자재, 페인트 및 벽면의 입자상 물질등과 같은 실내오염원으로부터 영향을 받아 오염상태가 심해진다.

즉 대도시의 외부공기는 인구와 산업시설의 증가 그리고 교통량의 팽창으로 인하여 오염되어 있으므로 여기에 실내오염이 가중된다면 실외 및 실내공기오염으로 인한 인체 위해성은 더 커지리라 생각된다. 건강에 영향을 미치는 실내공기오염물질로서는 carbon monoxide(CO), nitrogen oxides(NO_x), 담배연기 성분들, 부유분진(total suspended particulates(TSP)와 respirable particles(RP)), sulfur oxides(SO_x), hydrocarbons, lead, asbestos, formaldehyde(HCHO), Ozone(O₃) 및 radon(Rn⁻²²²) 등이 포함되고 있으며 carbon dioxide(CO₂), odor-causing chemicals 등이 또한 관심의 대상이 되고 있다.

실내공기오염의 중요성을 감안할때 오염으로 인한 인체의 건강피해를 대기오염만으로 평가해서는 안되고 실내 공기오염도와 함께 총괄적으로 평가하여야 한다. 따라서 실내공기오염에 의한 건강위해도 평가에 근거하여 우리나라 실정에 맞는 실내공기오염 기준의 설정이 가능하게 되면 기준치에 적합한 실내 환경유지를 위한 대책이 마련될 수 있을 것이다.

또한, 산업화에 따른 도시인구의 증가는 교통, 운송문제와 주거공간확보문제 등을 야기시켰으며, 이 문제를 해결하기 위한 대안으로 강구된 토지의 입체적 이용방법인 건물의 고층화와 지하공간의 활용은 도심지에 더욱 늘어난 실내공간을 만들게 되었다. 토지의 입체적 이용의 한 방법인 지하공간의 활용은 부족한 주거공간 확보에는 절대적인 기여를 하고 있다고 볼 수 있으나, 인공적인 환기시설이나 배기시설에 의해서만이 실내공기의 환·배기가 이루어진다고 할 수 있는 지하공간의 특수성을 감안할 때 이러한 지하공간에서의 생활시간이 연장됨에 따라 지하 공간내의 공기 오염문제는 크게 부각되는 것이다.

지하생활의 환경학적 문제성은 많은 사람이 거주, 이용 또는 왕래를 하고 있는데도 외부와의 공기순환이 잘 이루어지지 않는 거의 차단된 상태의 한정된 공간으로써 각종 유해물질 등이 조금만 발생되더라도 축적이 된다는 데에 있다. 그리고 현대에 있어서는 비교적 단 시간내의 고농도 오염물질에 의한 급성적인 결과뿐만 아니라 장시간에 걸친 저농도의 오염물질에 폭로되어 일어날 수 있는 만성적인 결과에도 관심을 두고 있다.

일반적인 실내공기중의 오염물질 중 특히 포름알데히드(formaldehyde(HCHO) 건축물과 관련된 질환을 나타내는 화학물질로서, 포름알데히드 농도가 1ppm 또는 1 이하에서 눈, 코, 목의 자극증상을 보이고 동물실험에서는 발암성이 있는 것으로 나타났다.

이와 관련하여 본고에서는 포름알데히드의 환경·보건학적 특성 및 영향을 논하고 필자가 연구한 — 지하공간내 공기오염의 일환으로 공기중의 포름알데히드농도 연구조사 — 자료를 기초로 그 실태를 파악하고자 한다.

II. 본론

우리나라의 실내공기오염을 환경학의 한 분야의 개념으로 새로이 도입한 필자에 의하여 1983년에 실내공기오염에 관한 보건학적 고찰과 실내 포름알데히드 농도에 관한 조사의 결과 환경관리인. 1991. 2

등이 발표되면서 실내공기오염에 대한 중요성이 대두된 이래, 각종 실내공간에 대한 공기오염도를 파악하기 위한 조사연구가 진행되어 왔다.

상기의 조사연구에서 살펴보면 포름알데히드는 주로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 건축자재(Urea-Formaldehyde Foam Insulation:이하 UFFI로 약칭한다) 이외에 실내 가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 접착제, 흡연 등에서 발생하는 것으로 조사보고되고 있다.

Schenke 등(1981)은 UFFI의 단열재를 사용한 주택에 살고 있는 주민을 조사한 결과, 오랫동안 포름알데히드에 폭로되었을 경우 정서적 불안정, 기억력 상실, 정신집중의 곤란 등을 가져온다고 보고하였다.

이와 같이 실내 포름알데히드 농도의 유해성에 관한 외국의 연구논문이 발표되고 있으나, 국내에서 실내 포름알데히드 농도조사 및 그 영향에 관한 연구는 극소수에 지나지 않고 있다. 특히 지하생활환경에서의 실내 포름알데히드 농도조사는 미흡한 상태로 최근에 증가하는 지하공간 및 그곳에서 생활하는 자가 증가함에 따라 지하시설공간에서의 실내공기오염에 대한 중요성이 요청되고 있는 실정이다.

1. 포름알데히드의 일반적인 특성

포름알데히드(formaldehyde)는 자극 취가 있는 무색의 기체이다(분자식 $\cdot\text{HCHO}$, mp-92°C, bp-21°C), 물에 잘 녹고 40% 수용액은 포르말린이라고 하며, 살균 방부제로 이용된다. 메틸알코올을 산화하여 만든다. 즉 백금 또는 구리의 그 물을 적열하여서 메틸알코올과 공기와의 혼합기체를 통과하면 접촉작용에 의해서 $\text{CH}_3\text{OH} + \text{O} \rightarrow \text{HCHO} + \text{H}_2\text{O}$ 로 되는 변화가 일어나고, 이 반응열이 촉매를 가열하므로 계속해서 가열할 필요가 없다. 순수한 것은 의산 칼슘의 건류로 만든다. $(\text{HCOO})_2\text{Ca} \rightarrow \text{HCHO} + \text{CaCO}_3$ 중합되기 쉽고, 무수인 것은 상온에서 쉽게 중합되어서 트리옥시 메틸렌으로 되고, 수용액에서는 포리옥시 메틸렌인 중합체를 발생한다. 이것들의 중합체를 포름알데히드 수용액에 수산

화칼슘을 포화하여서 수일간 방치하면, 당의 반응을 표시하게 되고 천연의 당에 비슷한 중합체 $C_6H_{12}O_6$ 로 변화한다. 이것이 식물의 광합성에 있어서 당이 되는 중간 단계이고, 포름알데히드가 생성한다고 하는 설의 하나의 논거로 되었다. 암모니아와 작용하여서 헥사메틸렌 데드리민 $C_6H_{12}N_4$ 으로 되고, 또 알칼리의 작용으로 수지로 되지 않고 키닛차로(Cannizzaro) 반응을 일으키며, 메틸알코올과 의산염으로 되는 점은 다른 지방족 알데히드와 다르다.

포름알데히드는 젤라틴·야고 등과 같은 단백질과 결합하여서 이것을 응고시키고, 피혁 제조나 사진 건판을 만들 때에 이용된다. 또 페놀 등과 축합시키고, 베클라이트 등과 같은 합성수지를 만드는 등, 공업상의 용도가 넓다.

환경학적인 측면에서 포름알데히드의 유해성을 평가한다면 상기의 의미와는 달라질 것이다. 공업용으로는 그 용도가 다양하나 이것이 인체에 미치는 피해 양상으로 그 발생원을 보면, 주로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 건축자재(UFFI) 이외에 실내가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 집착제, 흡연 등으로 들 수 있다. 포름알데히드는 건축물과 관련된 질환을 나타내는 화학물질로서, 포름알데히드 농도가 1ppm 또는 1 이하에서 눈, 코, 목의 자극증상을 보이고 동물실험에서는 발암성(특히 비암)이 있는 것으로 나타났다.

2. 실내환경에서의 공기 중 포름알데히드 농도에 관한 국내 연구결과(일부 지하환경을 중심으로)

필자는 우리나라의 실내공기 오염연구의 일환으로 1988년에 지하공간에서의 실내·외 포름알데히드농도를 조사하고 그 영향을 파악하여 금후 지하공간에서의 환경영향평가 및 주민 보건향상을 위한 기본자료를 제공하고자 하였다.

1) 조사대상 및 방법

본 연구조사는 최근 지하시설의 급속한 증가와 더불어 서울시내 일부 지하공간에서의 포름알데히드에 대한 실내공기오염을 파악하기 위하여 1988년 8월 3일 부터 8월 22일 까지 지하철

역, 지하상가, 터널, 지하주차장 등 5개 지하시설의 12개 지역 35지점을 그대상으로 하여 같은 지역에 그지점을 택하고 각 지역의 대조지점으로 실외를 택하였다. 포름알데히드의 측정은 미국의 Berkeley 대학에서 개발한 후 미국의 Air Quality Research사가 제품화한 PF-1.Passive 포름알데히드 모니터로서 측정방법은 조사대상 지점의 천정이나 벽에 모니터를 부착시켜(일반인의 손이 닿지 않는 높이) 7일간 폭로시켰다. PF-1은 가정과 사무실의 공기중에서 포름알데히드를 포집하기 위하여 만들어진 Passive 확산형 모니터로서 그 밑바닥 부분에 화학적으로 처리된 필터가 있는 유리병이다. 모니터의 뚜껑을 열면 포름알데히드가 일정한 속도로 유리병 안으로 확산되어 필터표면에서 반응으로 포집된다. 수거된 포름알데히드 모니터는 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)에서 정한 Standard Chromotropic Acid Procedure에 따라 분석되었다. PF-1분석은 필터에 포집된 포름알데히드를 걸러내기 위하여 모니터에 직접 물을 부어 chromotropic acid와 진한 황산을 넣는다. 모니터의 뚜껑을 닫아 15분간 증탕남비에 가열해서 빛같이 자주 빛을 띠게 되면, 580mm에서 흡광도를 재어 포름알데히드의 양을 측정한다. 측정된 포름알데히드의 양을 확산속도와 폭로시간의 곱으로 나누어 공기중의 포름알데히드 평균농도를 계산한다. 그리고 모니터 폭로 전후의 온도·습도·기류를 측정하여 평균값을 취하였다. 그리고 지하시설물내의 구조, 피조사자의 건강상태 등을 파악하기 위하여 설문조사를 병행하였다.

2) 조사연구 결과

지하시설별 포름알데히드농도의 실내 및 실외에서의 측정치평균, 표준편차, 범위 등을 통계처리 한 결과는 그림 1과 같다. 지하철역의 경우 포름알데히드의 실내평균농도는 60.1ppb이고, 실외평균농도는 60.4ppb로서 실내/실외농도의 비(I/O)가 1.0으로서 거의 비슷했다. 지하상가의 경우는 포름알데히드의 실내, 실외 평균농도는 각각 122.2ppb, 96.2ppb로서 실내/실외농도의 비(I/O)가 1.3으로서 실내평균농도가

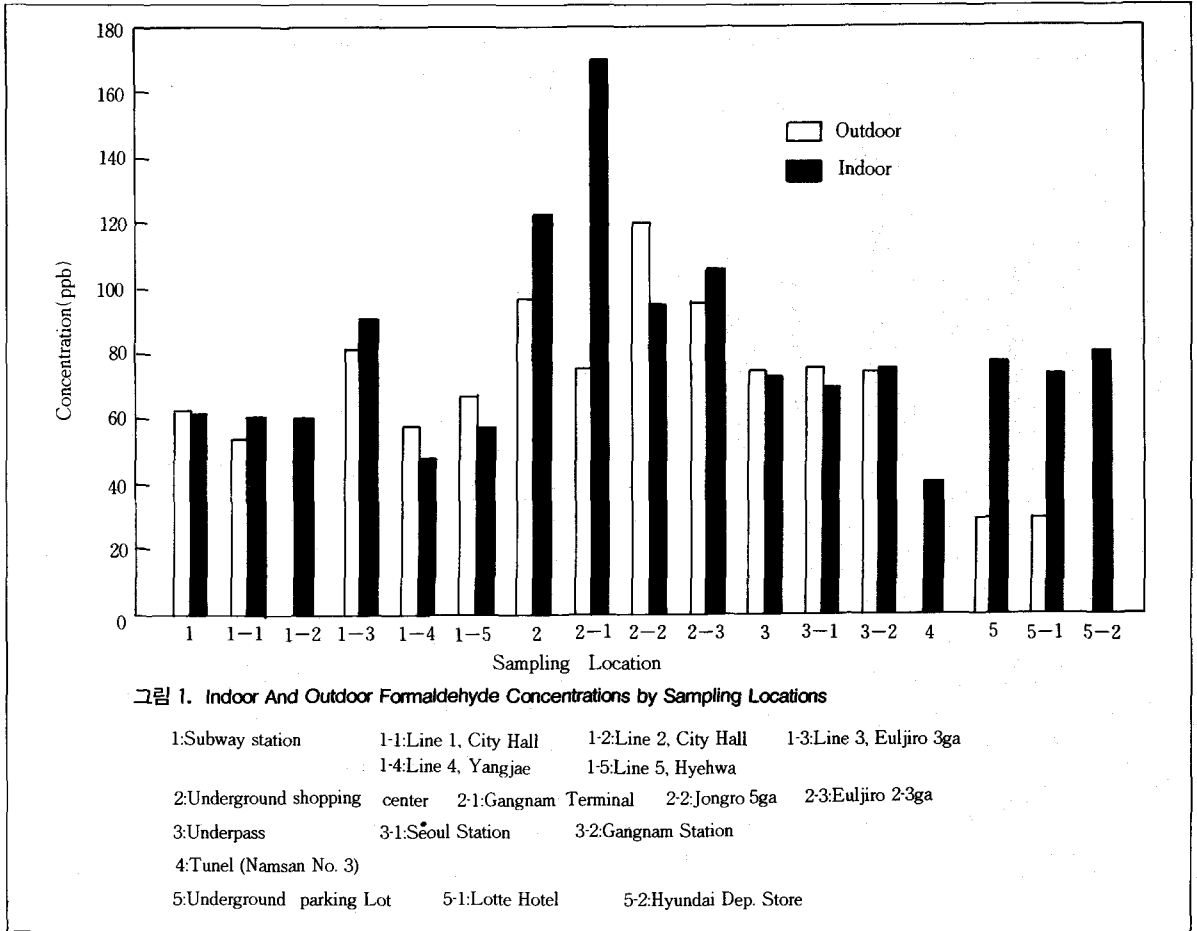


그림 1. Statistical Summary for Concentration of Formaldehyde Measurements

Under-ground Facilities	Location	Number of Sample	Concentration S.D. ¹⁾	Mean (ppb)	Range
Subway	Indoor	10	60.1	19.3	38.9-108.9
Station	Outdoor	4	60.4	7.2	52.8-68.4
	Indoor/Outdoor		1.0		
Underground	Indoor	6	122.2	42.1	69.5-186.7
Shopping	Outdoor	3	96.2	22.3	74.2-118.7
Store	Indoor/Outdoor Ratio		1.3		
	Indoor/Outdoor Ratio		1.0		
Underpass	Indor	4	72.1	11.6	57.8-81.9
	Outdoor	2	73.0	0.2	72.8-73.1
Tunnel	Indoor/Outdoor Ratio		1.0		
	Indoor	1	39.7		-
Underground	Indoor	4	75.9	5.4	68.7-81.8
Parking	Outdoor	1	28.6		-
	Indoor/Outdoor Ratio		2.7		
Lot	Outdoor Ratio		2.7		

실외평균 농도보다 높았다. 특히 강남역 지하상가의 농도는 168.2ppb로서 측정장소 중에서 가장 높은 포름알데히드 농도를 나타냈다. 3개의 지하상가에서 측정된 전체 포름알데히드 평균 농도는 122.2ppb로 1988년 그가 발표한 측정된 포름알데히드농도 0.145ppm 보다는 약간 낮은 수준을 보여주고 있으며, 필자가 이전에 측정된 163.3ppb보다 낮게 나타났다. 특히 강남역 지하상가는 다른 지하시설에서 보다 아주 높은 168.2ppb의 포름알데히드 농도를 나타내는데, 이는 미국에서 정한 대기 중 기준치 100ppb를 훨씬 상회하는 것이며, 지하상가의 각종 상점에서 사용하는 주방 및 난방용 가스에서 방출되는 것인 지 또는 포목상점 혹은 옷가지에서 방출되는 포르말린 가스에 의한 것인지는 분명하지 않으나 실외에서의 유입에 의한 것보다는 지하상가내에서 발생한 것으로 생각할 수 있다.

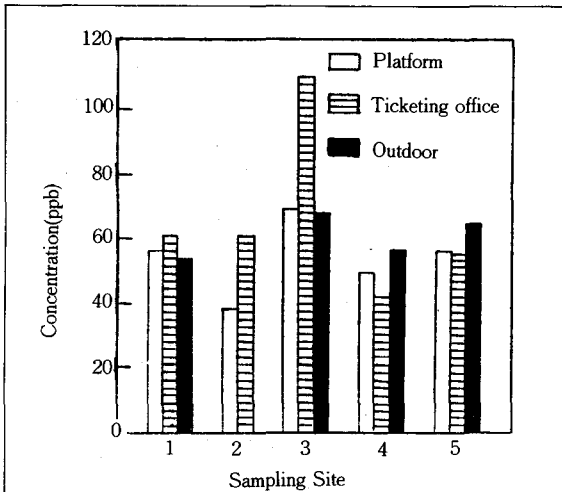


그림 2. Comparison of Formaldehyde Concentrations by Sampling Sites in the Subway Stations

- 1: Line 1, City Hall
- 2: Line 2, City Hall
- 3: Line 2, Enuljiro 3ga
- 4: Line 3, Yangjae
- 5: Line 4, Hyehewa

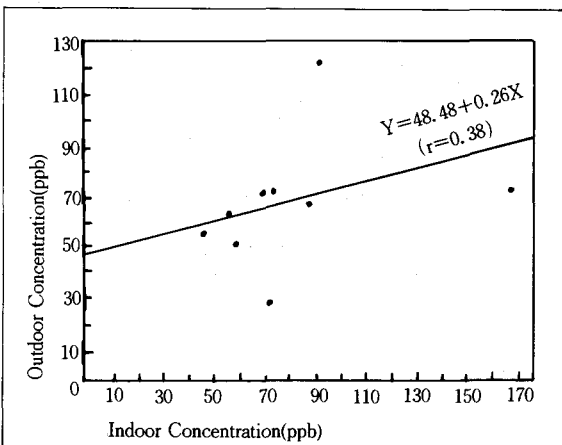


그림 3. Relationship between Indoor and Outdoor Formaldehyde Concentration

지하도의 경우 포름알데히드의 실내평균농도는 72.1ppb이고 실외평균농도는 73.0ppb로서 실내/실외농도의 비(I/O)가 1.0으로서 차이가 거의 없었다. 터널은 남산 3호 터널내부만 측정하였는데 39.7ppb를 나타내었다. 터널은 외기에서 유입되는 기류의 영향으로 포름알데히드

농도의 확산이 일어나기 때문에 다른 지하시설에서 보다 농도가 낮은 것으로도 보이며 터널에서의 포름알데히드 가스는 자동차의 배기가스에서 방출되는 것으로 사료된다. 지하주차장의 경우 실내 포름알데히드 농도가 75.9ppb, 실외 포름알데히드 농도가 28.6ppb로서 실내/실외 농도의 비(I/O)가 2.7로서 자동차배기가스가 실내포름알데히드 농도의 발생 원인을 시사하고 있다.

그림 2는 지하철역에서 승강장, 매표소 실외의 3개 지정에서 측정된 포름알데히드 농도를 나타낸 것이다. 일반적으로 승강장보다는 매표소의 농도가 더 높은 것으로 나타났다. 이와같은 이유는 사람들이 매표소에서 줄을 서거나 집중적으로 모여들게 됨으로써 흡연으로 인하여 포름알데히드 농도가 높게 나타나지 않았나 추측된다. 대체적으로 지하시설물 전체에서 측정된 실내의 포름알데히드 농도는 39.7ppb~168.2ppb에 널리 분포되어 있음에 반하여 실외에서의 측정치는 28.6ppb~118.7ppb의 분포를 나타내고 있다.

위에서 얻은 평균 실내농도와 실외농도와 상관성을 보면 상관계수값은 0.38로 약상관을 나타내고 있다. (그림 3 참조) 이것은 실내농도가 실외농도에 크게 영향을 받지 않는 것을 시사하고 있다. 본 조사결과 실내 포름알데히드 농도는 실내자체내에서 발생된 것을 시사하고 있어 실내에서의 포름알데히드 발생원을 규명할 필요가 있다 하겠다. 지하시설물의 조사과정에서 나타난 바로는 지하상가의 각종 주방연료, 포복상의 옷감 등이 포름알데히드 가스의 방출원이 아닌가 생각된다.

본 조사결과에서는 100ppb를 초과하는 지정이 주로 지하상가에 집중되어 있어 이 지역에 대한 장기적이고 구체적인 환경측정 및 역학조사가 수반되어야 한다고 사료된다.

III. 결론

현재 미국을 비롯한 선진 외국에서는 포름알데히드가 인체에 미치는 영향에 대한 논쟁이 한창인데, NAS(National Academy of Science)에

표 2. Formaldehyde Standards in Several Countries

Country	Concentration, ppm ^a	Status
Indoor Air : United States	b	b
Denmark	0.12 ppm Maximum	Recommended
Netherlands	0.1 ppm Maximum	Recommended by Ministers of Housing and Health
Sweden	0.1 ppm Maximum, New Buildings 0.4 ppm Minimum, Old Buildings 0.7 ppm Maximum, Old Buildings	Proposed by National Board of Health and Welfare
Federal Republic of Germany	0.1 ppm Maximum	Recommended by Ministry of Health
Occupational Air:		
United States	3 ppm, 8 hour Time weighted Average 5 ppm, Ceiling 1 ppm, 30 min Maximum	Promulgated by OSHA Promulgated by OSHA Recommended by NIOSH

a:0.1ppm=120 μg/m³ b:Several states have proposed indoor standards in the range of 0.2-0.5ppm c:0.4-0.7ppm is a border range. Concentrations higher than 0.7ppm do not meet the standard. Those lower than 0.4ppm do meet the standard. Those within the range do not meet the standard if acceptable during first 6 months.

서는 포름알데히드가 인체에 암을 유발시킬 수 있는 발암물질로 규정하였다. 포름알데히드는 접착용 합성수지의 원료로 사용되고 있는데, 매년 목재업계에서는 수십만톤의 포름알데히드를 원료로 한 합성수지를 합판이나 Particle Board의 제작에 사용하고 있다. 이러한 제품은 건물 시공, 사무용품 및 가구 등에 중요한 재료이다. 포름알데히드의 농도는 신건축물에서 항상 높게 나타나며 조리, 흡연, 벽난로, Heater등에서도 방출된다.

포름알데히드의 인체에 미치는 영향에 대해서는 아직까지는 연구중에 있다. 미국 E-PA(Environmental Protection Agency)에서 설정한 대기질 기준은 대기오염에 폭로된 감수성자들에서 건강의 피해로부터 보호하기 위하여 설정한 것으로 이 기준과 ASHRAE(American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers)에 의해 비산업장환경에 적용될 수 있음이 권고되어 단기(short term) 최대허용치로서 120 μg/m³(약 100ppb)로 규정하고 있다. 이에 대하여 OSHA(Occupational Safety and Health Administration)의 산업보건기준은 근무자의 8시간 시간가중평균(TWA)의 호흡영역 폭로수준 3ppm으로 제한되어야 한다고 규정하고 있다.

포름알데히드의 각국별 기준치를 보면 표 1과 같다. 미국의 경우 주에 따라 0.2~0.5ppm을 기준치로 권장하기도 하나 전체적으로 ASHRAE에서 정한 120 μg/m³(약 100ppb)를 기준치로 권장하고 있다. 대체적으로 구미 각국에서는 0.1~0.7ppm을 기준치로 설정해 놓고 있는 실정이다. 우리나라에는 포름알데히드의 기준치가 없으므로 미국의 기준치 100ppb를 근거로 사용함이 타당하다고 사료된다.

필자의 조사결과 지하상가에서의 포름알데히드 오염원은 각점포내에서의 생활용품이나 점포특성에 따라 발생하는 것으로 사료된다. 또한 지하상가에서의 흡연도 영향을 줄 것으로 생각된다. 기타 지하철역과 지하도에서는 보행인의 흡연이 포름알데히드 농도의 주요오염원이 될 것으로 생각된다. 지하주차장과 터널에서의 포름알데히드 가스의 오염원은 자동차 배기가스에

서 방출되는 것이 아닌가 사료된다.

방지대책으로는 단위적으로 지하상가내 각 점포의 환기시설 유무를 철저히 점검하고 전체적으로 지하상가의 환기가 잘 유통되도록 시설정비를 점검하여 점포내에서 난방연료인 가스, 연탄, 석유난로 등을 사용할 경우 환기시설의 이동을 철저히 하여야 한다. 장기적으로는 지하상가건물의 환기설비 기준을 점검하여 환기설비 용량 적정 사용여부 및 이동여부를 수시로 점검하여야 한다. 또한 지하상가내에서 청소시간을 일정하게 정하여 상가내에서 먼지로 인한 오염물질의 발생원을 감소시키고 금연에 관한 계몽교육이 필요하다고 사료된다. 현재 미국에서 정하고 있는 기준치(100ppb)를 우리나라의 대기중 포름알데히드 농도에 적용하고 실내공기질에는 이후 계속적인 역학조사 및 환경측정조사 후에 기준치를 설정함이 타당하다고 사료된다. ◀