

## 서울市 一部 地下鐵驛內 大氣汚染物質에 對한 調查研究

김윤신 · 신응배\* · 김신도\*\* · 김동술\*\*\* · 전준민

한양대학교 환경 및 산업의학연구소, \*한양대학교 토목공학과

\*\*서울시립대학교 환경공학과, \*\*\*경희대학교 환경학과

### Measurements of Carcinogenic Air Pollutants in Seoul Metropolitan Subway Stations

Yoon Shin Kim, Eung Bai Shin\*, Shin Do Kim\*\*,  
Dong Sool Kim\*\*\* and Jun Min Jeon

*Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University*

*\*Department of Civil Engineering, Hanyang University*

*\*\*Department of Environmental Engineering, Seoul City University*

*\*\*\*Department of Environmental Science, Kyunghee University*

#### ABSTRACT

This paper reports an investigation of concentrations major carcinogenic indoor air pollutants for radon, formaldehyde, and asbestos in the 83 subway stations in the Seoul metropolitan area during November 1991~September 1992. Mean concentrations of indoor pollutants in Seoul subway stations surveyed were 0.23 ppb for formaldehyde, 1.12 pCi/l for radon, and 0.008 fiber/cc for asbestos. Mean formaldehyde concentrations in 83 subway stations were below the U.S. EPA formaldehyde standard (100 ppb), whereas mean concentrations of radon and asbestos in 2% and 22% of total sampled subway stations exceeded the U.S. radon (4 pCi/l) and asbestos (0.01 fiber/cc) standard, respectively. It is likely that possible sources for radon and asbestos are radon intrusion from the leaking underground water and construction materials, respectively.

**Keywords :** Carcinogenic, airborne pollutants, subway stations.

#### I. 서 론

산업화에 따른 도시인구의 증가는 교통, 인구문제와 주거공간 확보 문제를 야기시켰으며, 이 문제를 해결하기 위한 대안으로 강구된 토지의 입체적 이용방법인 건물의 고층화와 지하공간의 활용은 부족한 주거공간 확보에 절대적으로 기여하고 있으나, 인공적인 환기시설이나 배기시설에 의해서만이 지하공간의 실내공기를 유지할 수 있는 특수성을 감안할 때 이같은 지하공간에서의 공기오염 문제는 매우 심각해질 수 있다.<sup>1,2)</sup>

최근에는 지하공간(지하철, 지하상가, 지하터널 등)의 이용률이 더욱 급증하고 있기 때문에 많은 도시인이 지하공간의 공기오염 및 건강영향에 대한 관심을 가지게 되었다. 지하공간은 외부와의 공기

순환이 잘 이루어지지 않는 밀폐된 상태의 공간이므로 지하공간내 순환이 원활하지 못할 경우 지하환경은 여러 종류의 오염물질에 노출될 가능성이 더욱 높으며, 또한 지하공간내 작은 양의 유해물질 등이 발생되더라도 오염물질들이 축적되어 심각한 현상을 초래할 수도 있다.<sup>3,4)</sup>

서울시 지하환경에 대한 일부 조사결과에 의하면 지하환경의 라돈, 석면, 포름알데히드 등 각종 가스의 실내농도는 실외농도 보다 높아 지하에서 생활하는 사람의 건강에 영향을 미칠 수 있는 것으로 시사되고 있다.<sup>5)</sup> 특히 라돈, 석면, 포름알데히드의 오염물질로 암을 유발하는 발암성 물질이므로 인체에 미치는 영향이 매우 크므로 외국에서는 규제 대상의 오염물질로 취급되고 있다.

한편 일반 대기환경은 환경기준치가 설정되어 있

어 대기오염의 규제가 제대로 시행되고 있으나, 지하공간의 경우 실내공기오염 발생의 복잡성으로 인하여 실내공기오염 기준치를 설정하고 있지 못한 실정이므로 이러한 지하공간의 공기오염도는 계속 악화될 것이다.

따라서 본 연구는 대표적인 지하공간의 시설물인 지하철역을 중심으로 각 지하철역내 공기 중 주요 발암성 실내오염물질인 포름알데히드(HCHO), 라돈(Rn) 및 석면(asbestos)의 분포실태를 파악하고 발생원을 조사하여 대책을 강구함과 동시에 실내오염물질로 인한 건강피해를 예방하기 적절한 정책수립에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

## II. 연구대상 및 방법

### 1. 조사기간 및 대상

본 연구조사는 최근 지하공간의 급속한 증가와 더불어 대표적인 지하시설물인 서울시내의 지하철역중 역사가 지하에 있는 역만을 선정 1991년 11월~1992년 9월에 걸쳐 포름알데히드(HCHO), 라돈(Rn), 석면(asbestos) 등 발암성오염물질을 조사항목으로 하여 측정조사 하였다.

### 2. 측정 및 분석방법

#### 1) 포름알데히드

1991년 11월 4일부터 11월 11일 까지 서울시 지하철 4개 노선의 총83개 지하철역의 승강장에서 시료를 채취하여 포름알데히드(HCHO) 농도를 조사하였다. 포름알데히드의 농도를 측정하기 위해 사용된 기구는 미국의 Air Quality Research사가 제품화한 passive 포름알데히드 모니터(model: PF-1 type)이다. 이 모니터를 지하철역의 승강장의 천정에 7일간 부착시켜 폭로시킨 후 수거하여 NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)에서 정한 standard chromatropic acid procedure에 의하여 분석한 후 농도를 추정하였다.

#### 2) 라 돈

1991년 11월부터 1992년 1월까지 환승역을 포함한 83개 전체 지하철역의 승강장에서 공기중 라돈가스를 채취하여 라돈(Rn) 농도를 조사하였다. 라돈의 농도를 측정하기 위해 사용된 모니터는 미국 Terradex사의 Track Etch Radon Monitor이며, 각 지하철역내 승강장의 천장에 3개월간 부착하여 공기중에 노출시킨 후 수거 후 다시 미국의 Terradex사에 보내져서 Alter and Fleischer가 정한 분석법에 의해 각각 지하철역내의 라돈농도가 추정되었다.

#### 3) 석 면

1992년 1월 중순부터 2월 중순에 걸쳐 지하철 1, 2, 3, 4호선 중 39개의 주요역과 환승역만을 선정하여 각각 대합실과 승강장에서 석면의 농도를 측정조사 하였다. 조사대상역 선정은 기초조사를 통하여 승객의 이용률이 많고 비교적 오염도가 높은 역과 이와 대조되는 역을 측정대상역으로 선정 비교하였다.

석면의 실험방법은 미국 국립산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)의 공정시험법인 "NIOSH 7400"의 방법에 의하여 측정, 분석하였으며, 시료채취는 지상 1.5 m 높이에서 약 5l/min의 속도로 20분간 흡입채취하였고 흡인펌프로는 일본 Hitachi사의 rotary compressor가 사용되었다.

또한 석면은 위상차현미경 AO(American Optical)의 olympus type을 이용하여 길이 5 μm 이상의 것으로 길이와 폭의 비가 3:1 이상인 섬유만을 계수면적내에있으면 1개, 섬유의 한쪽 끝만 계수면적내에 있으면 1/2개로 계수하여 매 시료당 100개 이상의 계수면적을 관찰 후 농도로 하였다.

포집한 시료의 석면농도는 다음의 식에 의하여 구하였다.

$$\text{석면농도(fiber/cc)} = \frac{A \cdot N}{a \cdot V \cdot n} \cdot 10^{-3}$$

A : 유효 포집면적(mm<sup>2</sup>)

N : 위상차현미경으로 계측한 총 석면수(개)

a : 위상차현미경으로 계측한 1시야의 계수면적(0.07065 mm<sup>2</sup>)

V : 표준상태로 환산한 채취 공기량(L)

n : 계수한 시야의 총수(개)

각 오염물질에 대한 측정기기 및 분석방법은 Table 1과 같다.

## III. 결과 및 고찰

본 연구는 서울시내 1~4호선의 지하철역 중 역사가 지하에 있는 83개역만을 대상으로 실내오염물질인 포름알데히드(HCHO), 라돈(Rn) 및 석면(asbestos) 등의 오염물질농도를 1991년 11월부터 1992년 9월에 걸쳐 측정 조사하였으며, 각 지하철역내 오염물질별의 농도를 살펴보면 표와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 전체 지하철역의 포름알데히드 평균농도는 0.023 ppm, 라돈 평균농

**Table 1.** Summary on sampling & analytical method of indoor pollutants

Pollutants Classification	Formaldehyde	Radon	Asbestos
Sampling period (Sampling site)	Nov. 4~11, 1991 7 days (Ceiling)	Nov. 1991, 11~Jan. 92 3 months (concourse) Aug.~Sept. 1992 (underground water)	Jan.~Feb. 1992 20 minutes Flow rate: 5 l/min · Concourses · Platform
Number of sampling stations	83	83	39
Sampling monitor	Passive formaldehyde monitor (model: PF-1 type)	Track Etch radon monitor	Measurement by using rotary compressor (Hitachi Co.)
Analytical method	Standard Chromotropic Acid Procedure (NIOSH method)	Alter and Fleischer method	NIOSH 7400 method

도는 1.12 pCi/L, 석면 평균농도는 0.008 fiber/cc으로 나타났다.

### 1. 노선별 포름알데히드 농도

일반적으로 포름알데히드는 주로 일반주택 및 공공건물에 많이 사용되는 단열재인 건축자재(UFFI: Urea-Formaldehyde Foam Insulation) 이외에 실내 가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 접착제, 흡연 등에서 발생하는 것으로 조사 보고되고 있다.<sup>6,7)</sup>

따라서 지하철역내 포름알데히드의 방출원은 지하시설물의 건축자재에 의한 것도 있겠으며, 또한 외부의 포름알데히드의 농도가 지하철내로 유입되어 농도에 영향을 미칠 수도 있다.

지하철역의 각 노선별 포름알데히드 평균농도를 보면 Table 3과 같다. 표에서 보는 바와 같이 지하철 승강장의 전체 포름알데히드의 평균농도는 23 ppb으로 나타났으며, 각 노선별의 농도는 1호선이 33 ppb, 2호선 21 ppb, 3호선 20 ppb, 그리고 4호선이 23 ppb로 1호선에서 가장 높게 조사되었으며, 3호선에서 가장 낮게 측정되었다.

각 노선별 중 개개의 지하철역내 포름알데히드 농도를 살펴보면 1호선에서는 청량리역(A58)이 44 ppb, 2호선에서는 문래역(B35)이 50 ppb, 3호선에서는 화물터미널역(C31)이 44 ppb 그리고 4호선에서는 명동역(D24)이 35 ppb로 각각 가장 높게 나타났으며, 83개역 전체 구간 중 2호선 삼성역(B19)에서 8 ppb으로 가장 낮게 측정되었다.

노선별의 결과를 보면 1호선 각 역의 포름알데

히드의 농도가 다른 호선역에 비하여 약 1.4~1.9배 가량 높은 농도를 나타냈는데 이것은 1호선이 최초로 건설되어 건축내부시설의 자재 또는 시설의 많은 노후로 인해 포름알데히드 농도에 영향을 주지 않으나 보여지며, 또한 불충분한 환기로 인한 환기량의 대소 등의 인위적인 영향과 외부의 포름알데히드의 지하철역내 유입으로 인한 영향으로 사료된다. 특히 각 호선별로 교차되는 환승역(1호선-시청, 2호선-사당역)과 지하상가(4호선-명동 등)와 연결되어 있는 지하철역에서 다른 역보다 포름알데히드의 농도가 약간 높게 나타났는데, 이와 같이 지하시설물의 조사과정에서 나타난 지하상가의 각종 주방연료, 포복상의 옷감 등이 포름알데히드 가스의 방출로 인해 높게 나타난 것으로 생각되며, 지하상가와 연결된 지하철역의 농도가 지하상가가 없는 지하철역보다 높은 것을 볼 때 주로 의류상가에서 발생된 포름알데히드가 간접적이거나 지하철역의 포름알데히드의 농도에 영향을 주는 것이 아닌가 추측된다.

전체 지하철역 포름알데히드의 평균농도인 23 ppb은 미국환경청(EPA)의 대기질 기준치인 100 ppb (120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )보다는 낮은 편이며, 국내에서 김(1988) 등에 의해 조사된<sup>9)</sup> 지하철역(60.1 ppb), 지하상가(145 ppb), 지하도(72.1 ppb) 및 터널(39.7 ppb) 등의 지하시설물에서 측정된 농도치보다도 매우 낮게 측정되었다. 이 연구에서는 지하철역내의 승강장, 매표소와 실외 3개 지점에서의 포름알데히드 농도를 측정조사한 결과 승강장보다 매표소에서 포름알데히드의 농도가 더 높게 조사되었는데 이와 같은

**Table 2.** Concentrations of indoor pollutants in subway stations

IC	Name	HCHO (ppm)	Rn (pCi/l)	Asbestos (fiber/cc)	
				Concourse	Platform
A50	1-서울역	0.022	0.8	0.005	0.007
A51	1-시청	0.040	0.6	0.009	0.009
A52	1-종각	0.018	1.2	—	—
A53	1-종로3가	0.036	0.8	0.011	0.015
A54	1-종로5가	0.037	0.6	—	—
A55	1-동대문	0.033	0.4	0.010	0.007
A56	1-신설동	0.036	1.2	—	—
A57	1-계기	0.031	0.5	0.007	0.009
A58	1-청량리	0.044	0.5	—	—
B1	2-시청	0.023	1.0	0.013	0.008
B2	2-을지입구	0.023	0.8	—	—
B3	2-을지3가	0.012	0.9	0.012	0.009
B4	2-을지4가	0.016	0.7	—	—
B5	2-동대문운동장	0.022	0.5	0.010	0.009
B6	2-신당	0.020	0.7	—	—
B7	2-상왕십리	0.019	0.8	—	—
B8	2-왕십리	0.021	0.5	0.009	0.006
B16	2-잠실	0.024	0.6	0.009	0.009
B17	2-신천	0.021	0.6	—	—
B18	2-종합운동장	0.018	0.9	—	—
B19	2-삼성	0.008	0.5	—	—
B20	2-선릉	0.025	0.5	0.009	0.010
B21	2-역삼	0.021	0.7	—	—
B22	2-강남	0.020	0.4	—	—
B23	2-교대	0.020	0.4	0.009	0.004
B24	2-서초	0.012	0.5	—	—
B25	2-방배	0.024	0.7	—	—
B26	2-사당	0.031	1.0	0.010	0.010
B27	2-낙성대	0.024	0.6	—	—
B28	2-서울대입구	0.023	0.8	0.010	0.009
B29	2-봉천	0.017	0.8	—	—
B30	2-신림	0.018	0.7	0.009	0.009
B34	2-신도림	0.016	0.3	0.009	0.016
B35	2-문래	0.050	0.5	—	—
B36	2-영등포구청	0.020	L	0.007	0.006
B38	2-합정	0.018	0.7	0.009	0.010
B39	2-홍대입구	0.028	0.8	—	—
B40	2-신촌	0.032	0.8	0.006	0.008
B41	2-이대	0.022	1.6	0.006	0.010
B42	2-아현	0.036	1.5	—	—
B43	2-충정로	0.017	1.6	—	—
C10	3-구파발	0.024	0.8	—	—
C11	3-연신내	0.027	1.5	—	—
C12	3-불광	0.042	L	0.007	0.005
C13	3-녹번	0.024	1.4	—	—
C14	3-홍제	0.014	2.2	—	—
C15	3-무악재	0.017	1.0	—	—
C16	3-독립문	0.020	2.9	—	—
C17	3-경복궁	0.018	4.9	0.005	0.004
C18	3-안국	0.014	4.1	0.004	0.006
C19	3-종로3가	0.018	3.4	0.009	0.007
C20	3-을지3가	0.022	2.0	0.009	0.004
C21	3-충무로	0.022	2.1	0.005	0.005

Table 2. Continued

IC	Name	HCHO (ppm)	Rn (pCi/l)	Asbestos (fiber/cc)	
				Concourse	Platform
C22	3-동대입구	0.017	1.4	—	—
C23	3-약수	0.016	0.9	—	—
C24	3-금호	0.023	0.5	0.004	0.008
C26	3-압구정	0.019	0.4	0.004	0.007
C27	3-신사	0.016	0.6	—	—
C28	3-잠원	0.013	0.4	—	—
C29	3-고속터미널	0.011	L	0.005	0.005
C30	3-교대	0.013	0.4	0.009	0.006
C31	3-화물터미널	0.044	0.7	—	—
C32	3-양재	0.015	0.5	—	—
D13	4-쌍문	0.019	0.7	—	—
D14	4-수유	0.023	1.7	—	—
D15	4-미아	0.022	0.8	—	—
D16	4-미아삼거리	0.019	0.6	0.010	0.006
D17	4-길음	0.025	1.2	—	—
D18	4-성심여대	0.025	1.1	—	—
D19	4-한성대	0.027	1.5	—	—
D20	4-혜화	0.018	2.2	—	—
D21	4-동대문	0.021	2.6	0.006	0.007
D22	4-동대문운동장	0.020	2.2	0.011	0.008
D23	4-충무로	0.020	2.6	0.012	0.011
D24	4-명동	0.035	1.5	0.010	0.007
D25	4-회현	0.022	2.0	—	—
D26	4-서울역	0.025	1.0	0.006	0.010
D27	4-숙대	0.026	0.5	—	—
D28	4-삼각지	0.019	1.0	—	—
D29	4-신용산	0.023	0.7	—	—
D30	4-이촌	0.015	0.8	0.006	0.004
D32	4-충신대	0.020	L	0.008	0.008
D33	4-사당	0.032	1.1	0.006	0.007
Mean±S.D.		0.023±0.008	1.12±0.85	0.008±0.003	
Range		0.008~0.050	0.3~4.9	0.004~0.016	

<sup>a</sup>A=Line 1, B=Line 2, C=Line 3, D=Line 4. L: Less than indicated value.

Table 3. Mean formaldehyde concentration (ppm) by subway lines in Seoul

Lines	Mean	S.D.	Range
Line 1	0.033	0.008	0.018~0.044
Line 2	0.021	0.006	0.008~0.050
Line 3	0.020	0.008	0.011~0.044
Line 4	0.023	0.005	0.015~0.035
Total	0.023	0.008	0.008~0.050

S.D.: Standard deviation.

이유는 사람들이 매표소에서 줄을 서거나 집중적으로 모여들게 됨으로써 매표소 주변에서의 흡연으로 인하여 공기중 포름알데히드 농도가 높게 나타난 것으로 추정된다. 그러나 최근에는 지하철역내에서

흡연이 금지되어 있으며, 간헐적인 환기시설가동 및 낙후된 일부 설비시설물의 교체 등으로 인해 포름알데히드의 농도가 감소된 것으로 예측된다.

본 조사결과 미국 대기질 기준치인 100 ppb를 초과하는 지하철역은 없으나 포름알데히드가 발암성물질이므로 저농도에서도 장기간에 걸쳐 폭로되었을 경우 정서적 불안정, 기억력상실, 정신집중의 곤란 등을 가져온다는 연구보고<sup>16)</sup>가 있어 만성적인 결과를 초래할 수 있어 지하철역내의 환기시설을 철저히 점검하고 전체적으로는 지하상가 및 그 부대시설의 환기가 잘 유통되도록 시설장비를 점검해야 한다. 또한 대합실 및 승강장에 대한 장기적이고도 구체적인 환경측정 및 역학조사가 수반되어야 할 것이라 사료된다.

**Table 4.** Mean radon concentration (pCi/l), by subway lines in Seoul

Lines	Mean	S.D.	Range
Line 1	0.73	0.29	0.4~1.2
Line 2	0.76	0.32	0.3~1.6
Line 3	1.61	1.32	0.4~4.9
Line 4	1.36	1.36	0.5~2.6
Total	1.12	0.85	0.3~4.9

S.D. : Standard deviation.

## 2. 노선별 라돈농도

실내공간에서 라돈의 주요 오염원은 라듐이 함유된 토양과 건축자재(시멘트, 콘크리트, 모래, 벽돌 등), 지하수 및 실외대기 등에서 방출되는 것으로서,<sup>9, 10)</sup> 지하철역에서는 지하철역내 토양 및 건축자재로부터 방출될 수 있다.

각 지하철역의 노선별 라돈 평균농도를 보면 Table 4와 같다. 표에서 보는 바와 같이 지하철역 승강장의 전체 라돈 평균농도는 1.12 pCi/l로 나타났다으며, 각 노선별 농도로는 1호선이 0.73 pCi/l, 2호선 0.76 pCi/l, 3호선 1.61 pCi/l, 그리고 4호선이 1.36 pCi/l로 3호선에서 가장 높게 조사되었으며 1호선에서 가장 낮게 측정되었다.

각 노선별의 지하철역내 라돈 농도를 보면 1호선에서는 종각역(A52)과 신설역(A56)이 1.2 pCi/l, 2호선에서는 이대역(B41)과 충무로역(B43)이 1.6 pCi/l, 3호선에서는 경복궁역(C17)이 4.9 pCi/l, 4호선에서는 동대문역(D21)과 충무로역(D23)이 2.6 pCi/l로 각각 노선별중 가장 높게 나타났으며, 83개역 전체 구간 중 2호선 신도림역(B34)에서 0.3 pCi/l로 가장 낮게 측정되었다.

노선별 결과를 보면 3호선의 라돈 평균농도는 다른 호선역에 비해 약 1.2~2.2배 가량 높은 농도를 보였는데 이것은 3호선역 중 독립문~충무로역 사이의 라돈농도가 비교적 매우 높고 타 호선의 역보다 평균농도가 높게 조사된 것이다. 특히 독립문~충무로역 사이중 경복궁(4.9 pCi/l), 안국(4.1 pCi/l), 종로3가(3.4 pCi/l)역은 타 역에 비해 매우 높은 라돈 농도를 보였는데 이러한 농도수준은 미국환경청(EPA)의 주택내 기준치인 1 pCi/l와 스웨덴의 2 pCi/l 보다 높은 수준으로서 유해한 농도 수준이라 할 수 있다. 실내 라돈의 농도는 환기 장치에 의해 청정한 외부공기가 내부로 유입되어 실내라돈의 농도를 저감시킬 수 있다는 외국의 여러 연구<sup>11, 12)</sup> 보고와 같이 이 구간의 역들에서는 환기율의 저하와 토양 및 지하수로부터 유출되는 라돈의 영향 때문에

**Table 5.** Mean radon concentration (pCi/l) in underground water in Line 4 subway stations

Stations	Number of samples	Mean	S.D.	Range
Kyungbok	3	5406.3	2271.7	3588.5~7951.0
Ankuk	2	8512.4	1550.6	7415.9~9608.8
Jongro-3Ka	2	5071.8	5091.9	1471.3~9608.8
Total	7	6196.9	2994.4	1471.3~9608.8

S.D. : Standard deviation.

다량의 고농도로 측정된 것이 아닌가 생각된다.

따라서 라돈농도가 상지역에서 높은 이유를 추적하고자 상지역의 지하수에 함유된 라돈농도를 측정 한 결과 Table 5에서 보는 바와 같이 3개역의 라돈 평균농도는 6196.9 pCi/l로 일반대기 중 라돈 기준치 4 pCi/l 보다 약 1500배 이상 높게 나타났다. 또한 안국역이 8512.4 pCi/l로 가장 높고, 경복역 5405.3 pCi/l, 종로3가역 5071.8 pCi/l의 순으로 나타나 측정 3개역에서 누출된 지하수에 함유된 라돈농도는 매우 높은 수치로 이들 지하철역의 공기 중 라돈가스는 주로 지하수에 용해된 라돈가스가 공기 중에 방출되어 라돈농도가 상승된 것으로 추정된다. 특히 공기 중 라돈농도가 2,000 pCi/l일 경우 폐암으로 사망할 위험률도 비흡연자의 폐암사망률 보다 75배 이상 높은 것으로 알려져 있어 일반적으로 물에 용해된 라돈농도는 공기 중 라돈농도 보다 높은 것을 감안하더라도 상지역의 지하수 중 라돈농도는 매우 높은 것으로 시사된다. 특히 수중 라돈농도가 5,000~10,000 pCi/l의 수준은 폐암이나 위암 발생위험률을 증가시키는 농도로 시사되어 지하수 라돈농도에 대한 보다 구체적인 정밀조사가 요청된다.

전체 지하철역 라돈의 평균농도인 1.12 pCi/l는 외국의 실내기준치 보다는 낮은 편이며, 국내에서 환과협(1989)과 김(1991) 등에 의해 조사된<sup>5, 8, 13)</sup> 지하철역(2호선 시청 : 2.1 pCi/l), 지하상가(강남터미널 : 1.7 pCi/l), 지하도(서울역 : 2.0 pCi/l) 및 원자력발전소 주변의 주택내(영광 : 2.76 pCi/l, 울진 : 1.57 pCi/l) 농도보다도 낮게 측정되었다. 그러나 일부역에서는 외국의 기준치를 초과하거나 거의 기준치에 근접하는 농도를 보이므로 이에 대한 지속적인 정기적인 조사가 요구된다.

3호선의 특정역에서 현재와 같은 수준의 농도에 장기간 폭로된다면 인체에 영향을 미칠 수 있으므로 주의할 요하며, 실내라돈의 농도는 환기장치에 의해 농도를 저감시킬 수 있다는 외국의 연구보고<sup>12)</sup>와 같이 이 구간의 역들에서는 환기율을 높일 필요가

**Table 6.** Mean asbestos concentration (fiber/cc) by subway lines in Seoul

Lines	Mean	S.D.	Range
Line 1	0.009	0.003	0.005~0.015
Line 2	0.009	0.002	0.004~0.016
Line 3	0.006	0.002	0.004~0.009
Line 4	0.008	0.002	0.004~0.012
Total	0.008	0.003	0.004~0.016

S.D. : Standard deviation.

있을 것이다.

### 3. 노선별 석면농도

석면은 건축자재에 내화재 및 단열재로 주로 사용되며, 요즘은 내열성의 공업제품으로도 매우 다양하게 사용되고 있다.<sup>14, 15)</sup> 지하철역내에서는 천정의 화재방지용 및 보온재로 석면이 함유된 재료가 사용되고 있고 전동차의 브레이크라이닝(brake lining)에도 쓰이고 있어 지하철역내에서 보수공사시나 시설물들의 자연적인 마모로 인해 발생될 수도 있다.

공기 중 석면농도의 추정은 서울시내 지하철역 중 39개 환승역만을 대상으로 각역당 승강장과 대합실의 2개 지점에서 석면의 농도를 측정하여 분석하였으며, 지하철역의 각 호선별 석면농도에 대한 측정결과는 Table 5와 같다.

전체 측정대상 지하철역의 석면 평균농도는 0.008 fiber/cc으로 외국의 석면에 대한 실내공간 규제치인 0.01 fiber/cc보다 모두 낮은 것으로 조사되었다. 각 노선별 석면의 평균농도를 살펴보면 1호선이 0.009 fiber/cc, 2호선은 0.009 fiber/cc, 3호선 0.006 fiber/cc, 4호선은 0.008 fiber/cc으로 1, 2호선이 다른 호선에 비해 약간 높게 조사되었다.

또한 아래의 Table 7에서와 같이 지하철역 장소별 석면농도를 보면 대합실과 승강장의 석면 평균농도는 각각 0.008 fiber/cc으로 장소별 농도차이는 없는 것으로 조사되었다.

각 노선별의 지하철역내 석면농도를 살펴보면 1호선에서는 종로3가역(A53) 승강장에서 0.015 fiber/cc, 2호선에서는 신도림역(B34) 승강장에서 0.016 fiber/cc, 3호선에서는 종로3가(C19), 을지로3가(C20), 교대역(C30) 등의 대합실에서 0.009 fiber/cc 그리고 4호선에서는 충무로역(D23) 대합실에서 0.012 fiber/cc으로 각각 가장 높게 조사되었으며, 39개역 전체 구간 중 몇몇의 역에서 0.004 fiber/cc로 낮게 측정되었다.

1호선의 측정장소 중 미국환경청(EPA)의 빌딩 및 실내공간 기준치인 0.01 fiber/cc를 초과하는 지점은 10개 지점 중 2개 지점으로 20%가 기준치를 초과하며, 2호선은 7%인 2개 지점, 3호선은 전 구간에서 규제치를 초과하는 지점이 없었으며, 4호선은 18개 지점중 약 11%에 해당하는 2개 지점에서 기준치에 초과됨을 알 수 있었다.

또한 서울시내 중심가와 외곽지역에 위치한 지하철역을 비교할 때 외곽지역에 위치한 지하철역들은 대부분이 국제적인 실내권고 기준치인 0.01 fiber/cc 내외였으나 시내 중심가에 위치한 지하철역들은 기준치를 초과하거나 거의 근접하는 것으로 측정되었다.

한편 1, 2호선이 3, 4호선 보다 비교적 높게 측정되었는데 1, 2호선은 타호선보다 먼저 개통되어 시설물들이 비교적 낙후되어 있어 환기시설변경 및 전기가설, 천장이나 벽의 보수작업시 등 석면을 사용한 시설물들의 자연적인 마모증가로 인해 지하구내에 분진과 함께 비산되는 양이 타호선보다 비교적 많을 것으로 추측되며, 부유분진의 조사자료에서도 1, 2호선이 다른 호선보다 높게 측정되는 것이 이를 뒷받침하고 있다. 지하철역 구내에서는 석면이 포함된 물질이 보온재와 화재방지용으로 천정에 다량 살포되어 있으며, 전동차 브레이크라이닝의 재료로도 사용되고 있다. 따라서 전동차 운행중 급·정차시에 브레이크라이닝의 마모정도가 심할 것으로 생각되며 이때 다량의 석면이 방출되어 비산될 수 있을

**Table 7.** Mean asbestos concentration (fiber/cc) between concourse and platform by subway lines in Seoul

Lines	Concourse			Platform		
	Mean	S.D.	Range	Mean	S.D.	Range
Line 1	0.009	0.003	0.007~0.015	0.008	0.002	0.005~0.011
Line 2	0.009	0.003	0.004~0.016	0.009	0.002	0.006~0.013
Line 3	0.006	0.001	0.004~0.008	0.006	0.002	0.004~0.009
Line 4	0.008	0.002	0.004~0.011	0.008	0.002	0.006~0.012
Total	0.008	0.003	0.004~0.016	0.008	0.002	0.004±0.015

S.D. : Standard deviation.

것으로 여겨진다.

특히 노선별중 1호선의 석면 평균농도가 가장 높게 측정된 것은 위의 설명과 함께 1호선 측정시에 시설 보수공사가 진행되고 있어서 이때 상당히 많은 양의 분진이 비산되고 있어 석면의 농도가 더욱 높게 측정조사된 것으로 여겨진다.

또한 가장 높은 농도를 기록한 지하철역은 2호선 신도림역의 대합실(B34)로 석면농도가 0.016개/cc으로 조사되었는데 이는 신도림역에서 시료를 채취할 당시 양천을 연결하는 새로운 구간 공사가 시행중이었으며 이로 인해 기존 구내의 천정 및 시설물 설치시 석면을 사용한 재료들로부터 석면성분이 비산되어 신도림역의 측정치가 다른 역에 비해 높게 나타난 것이 아닌가 사료된다.

전체 지하철역내 석면의 평균농도인 0.008 fiber/cc는 미국환경청(EPA) 및 호주의 실내기준인 0.01 fiber/cc 보다는 낮은 편이며, 1989년 조사된 지하철(0.009 fiber/cc)와 지하상가(0.008 fiber/cc)와는 거의 같은 농도이며, 지하도(0.016 fiber/cc)나 4호선의 혜화역에서 측정<sup>5)</sup>한 석면농도인 0.001~0.005 fiber/cc보다는 높은 농도를 보였다.

현재 측정결과로 볼 때 대부분이 지하철역에서 조사된 석면의 농도가 외국의 실내환경기준치를 초과하지 않기 때문에 간과하기 쉬우나 1989년에 조사된 결과치와 비교하여볼 때 석면의 농도가 증가한 것을 볼 수 있다. 또한 본 조사시에 계절적인 영향과 석면의 갯수를 조사하는 기술적인 오차를 고려하더라도 석면이 장기적으로 피폭되었을 경우 인체의 호흡기중 폐속에 석면이 흡착되어 석면세포의 증식을 가져오며 이로 인하여 각종 질환이 유발되고 특히, 석면증과 폐암을 유발시키므로 석면 함유제품을 사용할 경우 세심한 주의와 관리가 요망된다.

이상과 같이 실내오염물질을 조사한 바 몇몇의 지하철역내에서는 오염물질에 따라 실내기준치를 초과하거나 거의 근접하는 농도를 나타내고 있다. 외국에서는 이같은 발암성물질에 대한 인체의 유해성에 관한 연구논문들이 발표되고 있으나, 국내에서는 실내오염물질의 농도조사 및 그 영향에 관한 연구는 극소수에 지나지 않고 있는 실정이며, 특히 지하철역내의 실내오염물질 농도 조사는 상당히 미흡한 상태로 최근에 나로 증가하는 지하철 관련 근무자와 지하철을 이용하는 시민들이 증가함에 따라 지하철역내의 실내공기오염에 대한 중요성이 요청되고 있는 실정이다. 따라서 지속적인 장기적인 실내오염도 및 건강위해성 조사와 함께 쾌적한 지하철역내 공기질을 유지하기 위한 범 시민적 노력이

진개되어야 할 것이다.

## IV. 결 론

서울시내의 지하철역 중 역사가 지하에 있는 83개역만을 선정 1991년 11월~1992년 11월에 걸쳐 주요 실내오염물질인 포름알데히드(HCHO), 라돈(Rn), 석면(asbestos)을 대상으로 각 노선별의 오염농도를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- ① 포름알데히드의 전체 지하철역내의 평균농도는 0.23 ppb이며, 노선별로는 1호선이 33 ppb, 2호선 21 ppb, 3호선 20 ppb, 4호선이 23 ppb으로 1호선에서 가장 높은 농도를 보였고, 3호선에서 가장 낮은 노선으로 나타났다. 또한 개개의 역으로서는 2호선의 문래역에서 50 ppb로 가장 높은 농도를 보였고 삼성역이 8 ppb로 가장 낮은 지하철역으로 조사되었다.
- ② 라돈의 전체 지하철역내 평균농도는 1.12 pCi/l이며, 각 노선별의 라돈농도는 1호선이 0.73 pCi/l, 2호선 0.76 pCi/l, 3호선 1.61 pCi/l, 그리고 4호선이 1.36 pCi/l으로 3호선에서 가장 높게 조사되었으며, 1호선에서 가장 낮게 측정되었다. 또한 각 단위역별 농도를 보면 3호선의 경복궁역에서 4.9 pCi/l으로 가장 높게 측정되었고 2호선의 신도림역에서 0.3 pCi/l으로 가장 낮게 조사되었다. 또한 3호선역의 경복궁, 안국역, 종로3가역의 지하수 중 라돈 평균농도는 6196.9 pCi/l로 나타나 공기 중 라돈농도가 대부분 지하수에 함유된 라돈농도의 상승작용에 의한 것으로 위험수준에 있는 지하수 함유 라돈농도의 보다 구체적 조사가 요청된다.
- ③ 석면의 전체 지하철역내 평균농도는 0.008 fiber/cc이며, 각 노선별 석면의 평균농도를 살펴보면 1호선이 0.009 fiber/cc, 2호선은 0.009 fiber/cc, 3호선 0.006 fiber/cc, 4호선은 0.008 fiber/cc으로 1, 2호선이 다른 호선에 비해 약간 높게 조사되었다. 또한 단위 역별로는 4호선의 충무로역 대합실에서 0.012 fiber/cc으로 가장 높게 조사되었고 몇몇의 역에서 0.004 fiber/cc로 낮게 측정되었으며, 장소별로는 대합실과 승강장의 석면의 평균농도가 각각 0.008 fiber/cc으로 장소별 농도차이는 없었다.

## 참고문헌

- 1) National Academy of Science : Committee of Tox-

- ecology: Formaldehyde-An Assessment of Its Health Effects. Report to the Consumer Product Safety Commission, Washington, D. C., 1980.
- 2) S. S. T. Liao and Bacon-Shone, J. : Factors influencing indoor air quality in Hong Kong: Measurements in Offices and Shops. *Environ. Tech.*, **12**, 737-745, 1991.
  - 3) Bruce, A. Tichenor and Lesile A. Sparks : Evaluating Sources of Indoor Air Pollution. *Air Waste Manage. Assoc.*, **40**(4), 487-492, 1990.
  - 4) Nero, A. V. : Controlling Indoor Air Pollution. *Sci. Amer.*, **258**(5), 4348, 1988.
  - 5) 백남원, 김윤신, 김광종 : 지하공간의 공기오염 및 공기 중 미량유해물질에 관한 조사연구. 한국환경과학연구협의회, 1989.
  - 6) Kerfoot, E. J. and Mooney, T. F. : Formaldehyde and Paraformaldehyde Study in Funeral Home. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **36**, 533-537, 1975.
  - 7) Sexton, K. and Wanner, H. U. : Indoor air Quality and Minimum Ventilation Rate. *Environ. Int.*, **9**, 153-156, 1983.
  - 8) 김윤신 : 서울시 일부지역의 실내공기오염 농도에 관한 조사연구. 환경과학논집, **9**, 61-66, 1988.
  - 9) Ingersoll, J. G. : A Survey of Radionuclide Contents and Radon Emanation Rates in Building Materials Used in the U. S., *Health Physics.*, **45**, 363-368, 1983.
  - 10) Mose, D. G. and Mushrush, G. W. : Public Response to the Risk From Airborne Radon, the 83rd Annual Meeting of AWMA : 90-89. 5, Pittsburgh, PA, U.S.A., 1990.
  - 11) Brookins, D. G. : The Indoor Radon Problem; Studies in the Albuquerque, New Mexico Area. *Environ. Geol. Water Sci.*, **12**(3), 187-196, 1988.
  - 12) Kokotti, H., Kalliokoski, P. and Raunemaa, T. : Short and Long Term Indoor Radon Concentrations in Buildings with Different Ventilation Systems. *Environ. Tech. Letters*, **10**, 1083-1088, 1989.
  - 13) 김윤신 : 원전주변 주택의 실내외 라돈농도에 관한 조사연구. 대한보건협회지 **17**(2), 60-66, 1991.
  - 14) Chesson, J. and Hatfield, J. : Airborn Asbestos in Public Buildings. *Environ. Research*, **51**, 100-107, 1990.
  - 15) Nevin Cohen : Regulation of in-Place Asbestos-Containing Material. *Environ. Research*, **55**, 97-106, 1991.
  - 16) Schenker, M. B. and Weiss, S. T. : Health Effects of Indoor Formaldehyde Exposure; International Symposium on Indoor Air Pollution, Health Energy Conservation, Amherst, Mass. (October 13~16), 1981.
  - 17) Maher, E. F. : Characterization and Control of Radon-222 and Its Progeny in Buildings, Aviation Space and Environ. Medicine, 93-99, 1988.
  - 18) Holt, P. E., Mills, J. and Yong, D. K. : The Early Effect of Chrysotile Asbestos Dust on the Rat Lung. *J. Path. Bact.*, **87**, 15, 1964.

주 : 본 연구결과는 서울시 지하철 공사의 의사와는 무관함을 밝힌다.