

室内外 포름알데히드 濃度에 관한 調査研究

金潤信 · 金美卿*

한양대학교 의과대학
*한양대학교 환경과학대학원

Indoor and Outdoor Formaldehyde Concentrations in Underground Environments

Yoon Shin Kim · Mi Kyung Kim*

College of Medicine, Hanyang University
** Graduate School of Environmental Sciences,*
Hayang University

Abstract

A pilot study was conducted in order to measure indoor and outdoor formaldehyde levels during August 3 - 22, 1988 in several underground spaces in Seoul. Formaldehyde concentrations were monitored during 1 week in selected sampling areas (subway station, underground shopping center, underpass, tunnel, underground parking lot) using passive formaldehyde monitors. In order to investigate a relationship between respiratory prevalence and levels of formaldehyde, each subject was asked to answer respiratory questions.

The mean formaldehyde concentrations were 60.1 ppb in subway station, 122.2 ppb in underground shopping stores, 72.1 ppb in underpasses, 39.7 ppb in tunnel, and 75.9 ppb in underground parking lots, respectively. The mean indoor formaldehyde concentrations in underground environments varied from 28.6 ppb to 118.7 ppb. Generally, the mean formaldehyde concentrations in ticketing office in subway stations appeared higher than those level measured in platform. The mean formaldehyde concentrations of underground shopping center in Gangnam Terminal were higher than any other areas and it exceeded 100 ppb of the American Ambient Air Quality Standards of formaldehyde. Prevalence rates of respiratory symptoms of dwellers seemed to be related to higher indoor formaldehyde levels.

※ 본 논문의 일부는 1988년도 문교부지원 학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

I. 서 론

인구의 증가와 경제성장은 생활공간의 부족과 교통난을 야기시키고 있다. 따라서 각종 도시활동의 수용은 지상공간뿐 아니라 지하공간에서의 생활활동에 다양성을 가져왔다. 최근에는 우리나라에서도 지하생활환경(지하철, 지하상가, 지하주차장등)의 이용이 다양해지고 있어 실내에서 하루 중 대부분의 시간을 보내는 도시인의 경우 각종 실내오염물질과 관련된 보건학적 영향에 대한 관심이 증대되고 있는 실정이다.¹⁾

지하생활의 환경학적 문제성은 많은 사람이 거주, 이용 또는 왕래를 하고 있는데도 외부와의 공기순환이 잘 이루어지지 않는 거의 차단된 상태의 한정된 공간으로써 각종 유해물질등이 조금만 발생되더라도 축적이 된다는데에 있다. 그리고 현대에 있어서는 비교적 단시간내의 고농도 오염물질에 의한 급성적인 결과 뿐만 아니라 장시간에 걸친 저농도의 오염물질에 폭로되어 일어날 수 있는 만성적인 결과에도 관심을 두고있다.

일반적으로 실내공기중의 오염물질인 일산화탄소, 포름알데히드, 부유분진, 질소산화물, 라돈 등의 실내오염농도는 실외의 그것보다 높은 것으로 보고되고 있다.²⁻⁴⁾ 특히 포름알데히드는 건축물과 관련된 질환을 나타내는 화학물질로서 포름알데히드농도가 1ppm 또는 그 이하에서 눈, 코, 목의 자극증상을 보이고 동물실험에서는 발암성이 있는 것으로 나타났다.⁵⁻⁶⁾ 포름알데히드는 주로 일반주택 및 공공건물 이외에 실내가구의 칠, 가스난로 등에서의 연소과정, 접착제, 흡연 등에서 발생하는 것으로 조사보고되고 있다. 특히 지하생활환경에서의 실내 포름알데히드농도 조사는 미흡한 상태로 최근에 급증하는 지하공간 및 그곳에서 생활하는 자가 증가함에 따라 지하시설공간에서의 실내

공기오염에 대한 중요성이 요청되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 실내공기오염연구의 일환으로 지하공간에서의 실내의 포름알데히드농도를 조사하고 그 영향을 파악하여 급후 지하공간에서의 환경영향평가 및 주민보건향상을 위한 기본자료를 제공하고자 하였다.

II. 조사대상 및 방법

본 조사는 최근 지하시설의 급속한 증가와 더불어 서울시내 일부 지하공간에서의 포름알데히드에 대한 실내공기오염을 파악하기 위하여 1988년 8월 3일부터 8월 22일까지 지하철역, 지하상가, 지하도, 터널, 지하주차장 등 5개 지하시설의 12개 지역 35지점을 그 대상으로 하여 같은 지역에 2지점을 택하고 각 지역의 대조지점으로 실외를 택하였다. 포름알데히드측정은 미국의 Berkeley 대학에서 개발한 후 미국의 Air Quality Research사가 제품화한 PF-1 Passive 포름알데히드 모니터⁷⁾로서 측정방법은 조사대상지점의 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.⁸⁾ PF-1 분석은 필터에 포집된 포름알데히드를 걸러내기 위하여 모니터에 직접 물을부어 chromotropic acid와 진한 황산을 넣는다. 모니터

의 뚜껑을 닫아 15 분간 중탕납비에서 가열해서 빛깔이 자주빛을 띠게 되면, 580nm에서 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.

III. 결과 및 고찰

1) 지하시설별 실내외 포름알데히드농도
지하시설별 포름알데히드농도의 실내 및 실외에서의 측정치평균, 표준편차, 범위 등을 통계처리 한 결과는 Table 1 과 같다. 지하철역의 경우 포름알데히드의 실내평균농도는 60.1 ppb 이고, 실외평균농도는 60.4 ppb로서 실내/실외농도의 비(I/O)가 1.0 으로서 거의 비슷했다. 지하상가의 경우는 포름알데히드의 실

내, 실외 평균농도는 각각 122.2ppb, 96.2ppb로서 실내/실외농도의 비(I/O)가 1.3 으로서 실내평균농도가 실외평균 농도보다 높았다. 특히 강남역 지하상가의 농도는 168.2 ppb 로서 측정장소 중에서 가장 높은 포름알데히드농도를 나타냈다(Fig. 1). 3 개의 지하상가에서 측정한 전체 포름알데히드 평균농도는 122. 2 ppb 로 高가 측정한 포름알데히드농도 0.145 ppm보다는 약간 낮은 수준을 보여주고 있으며, 金이 측정한 163.3 ppb 보다 낮게 나타났다. 특히 강남역 지하상가는 다른 지하시설에서보다 아주 높은 168.2 ppb 의 포름알데히드 농도를 나타냈는데, 이는 미국에서 정한 대기중 기준치 100 ppb 를 훨씬 상회하는 것이며, 지하상가의 각종 상점에서 사용하는 주방 및 난방용 가스에서 방출되는 것인지 또는 포목상점 혹은 옷가지에서 방출되는 포르말린 가스에 의한 것인지는 분명하지 않으나 실외에서의 유입에 의한 것보다는 지하상가내에서 발생한 것으로 생각할 수 있다.

지하도의 경우 포름알데히드의 실내 평균농도

Table 1. Statistical Summary for Concentration of Formaldehyde Measurements

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

1) S. D. : Standard Deriation

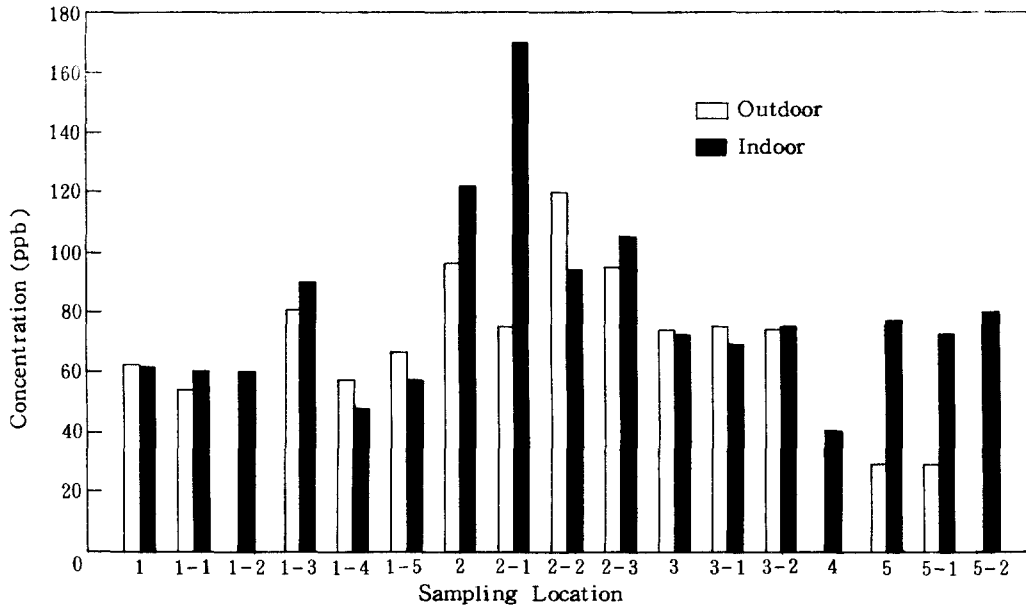


Fig. 1. Indoor And Outdoor Formaldehyde Concentrations by Sampling Locations

- | | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1 : Subway station | 2-3 : Euljiro 2-3ga |
| 1-1 : Line 1, City Hall | 3 : Underpass |
| 1-2 : Line 2, City Hall | 3-1 : Seoul Station |
| 1-3 : Line 3, Euljiro 3ga | 3-2 : Gangnam Station |
| 1-4 : Line 4, Yangjae | 4 : Tunnel |
| 1-5 : Line 5, Hyeohwa | (Namsan No. 3) |
| 2 : Underground shopping center | 5 : Underground parking Lot |
| 2-1 : Gargnam Terminal | 5-1 : Lotte Hotel |
| 2-2 : Jorgro 5ga | 5-2 : Hyundai Dep. Store |

는 72.1ppb 이고 실내평균농도는 73.0ppb로서 실내 / 실외농도의 비(I/O)가 1.0으로서 차이가 거의 없었다. 터널은 남산 3호 내부만 측정하였는데 39.7ppb를 나타내었다. 터널은 외기에서 유입되는 기류의 영향으로 포름알데히드농도의 확산이 일어나기 때문에 다른 지하 시설에서보다 농도가 낮은 것으로도 보이며 터널에서의 포름알데히드 가스는 자동차의 배기가스에서 방출되는 것으로 사료된다. 지하주차장의 경우 실내 포름알데히드농도가 75.9ppb, 실외 포름알데히드농도가 28.6ppb로서 실내 / 실외 농도의 비(I/O)가 2.7로서 자동차배기

가스가 실내포름알데히드 농도의 발생 원인을 시사하고 있다.

Fig. 2는 지하철역에서 승강장, 매표소, 실외의 3개 지점에서 측정한 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 반하

여 실외에서의 측정치는 28.6ppb~118.7ppb의 분포를 나타내고 있다.

위에서 얻은 평균 실내농도와 실외 농도와의 상관성을 보면 상관계수값은 0.38로 약상관을 나타내고 있다(Fig. 3 참고). 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.

2) 지하시설별 기상인자의 측정치

Table 2는 지하시설별 온도, 습도, 기류의 실내 및 실외의 측정치를 나타낸 것이다. 전체 지하시설에서 평균온도는 30℃를 넘어 매우 더

운 실내환경으로서 또한 우리나라의 지하시설의 보사부 위생관리기준(17~28℃, 습도 40~70%, 기류 0.5m/sec)을 초과하고 있어 지하시설에 대한 냉방시설이 요구되고 있다. 또한 평균기류도 전체 지하시설물에서 기준치를 초과하고 있다. 실내 / 실외온도의 비는 지하철역이 0.9, 지하상가가 0.9, 지하도가 1.0, 지하주차장이 1.0 으로서 실내, 실외의 온도차이가 별로 없었다. 실내 / 실외 습도의 비는 지하철역에서 1.3, 지하상가에서 1.2, 지하도에서 1.1, 지하주차장에서 1.0 으로서 실내가 실외보다 높았다. 실내 / 실외기류의 비를 보면 지하철역의 경우 0.3, 지하상가에서 0.2, 지하도에서 0.6, 지하주차장에서 10.0 으로서 지하주차장을 제외하고서는 실외가 실내보다 아주 높게 나타났다.

3) 포름알데히드 농도와 기상인자와의 관련성

본 조사결과에서 분석한 포름알데히드의 농도와 온도와의 상관성은 실내가 $r=0.05$, 실외가 0.22로 아주 낮았다(Fig. 4). Fig. 5는 포름알데히드 농도와 습도와의 상관성을 나타낸 것인데 r 값이 실내 -0.33 이고, 실외 -0.47

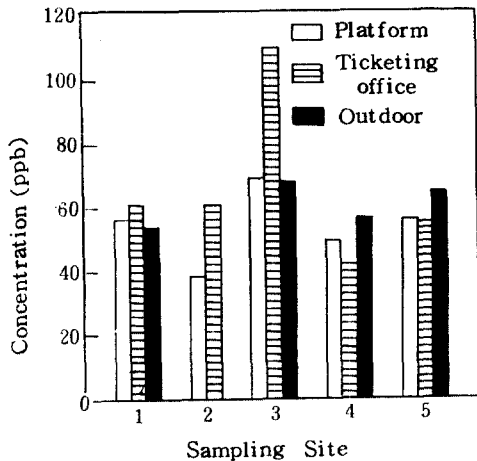


Fig. 2. Comparison of Formaldehyde Concentrations by Sampling Sites in the Subway Stations

- 1 : Line 1, City Hall
- 2 : Line 2, City Hall
- 3 : Line 2, Euljiro 3ga
- 4 : Line 3, Yangjae
- 5 : Line 4, Hyehwa

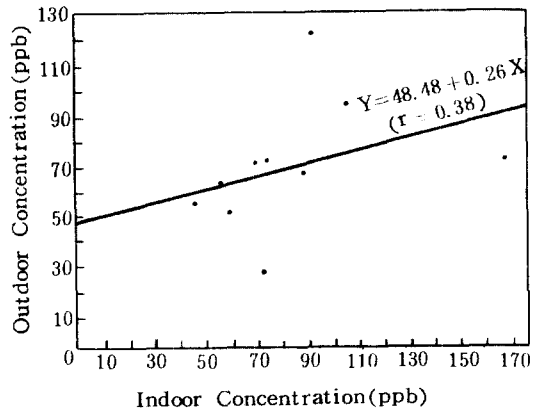


Fig. 3. Relationship between Indoor and Outdoor Formaldehyde Concentrations

Table 2. Stistical Summary for Temperature, Humidity, and Air Flow Measurements

Underground Facilities	Location	Temperature (°C)			Humidity (%)			Air Flow (m/sec)		
		Mean	S. D. ¹⁾	Range	Mean	S. D.	Range	Mean	S. D.	Range
Subway Station	Indoor	30.5	1.6	27.8-33.0	61.7	6.5	50.0-69.0	1.1	0.14	0.45-1.80
	Outdoor	33.8	0.9	32.5-34.5	48.5	5.8	43.0-54.0	3.6	0.45	1.80-5.58
	I/O Ratio ²⁾		0.9			1.3			0.3	
Underground Shopping Center	Indoor	30.8	0.2	30.5-31.0	57.5	3.6	54.0-62.0	0.9	0.10	0.63-1.35
	Outdoor	32.8	0.4	32.5-33.3	46.5	3.1	44.0-50.0	3.8	0.12	0.60-4.32
	I/O Ratio ²⁾		0.9			1.2			0.2	
Underpass	Indoor	30.8	0.6	30.0-31.5	57.9	4.0	54.5-61.5	1.5	0.22	0.54-2.52
	Outdoor	32.0	2.1	30.5-33.5	53.7	3.9	51.0-56.5	2.7	0.35	0.80-3.60
	I/O Ratio ²⁾		1.0			1.1			0.6	
Tunnel	Indoor	30.0		-	55.0		-	5.0		-
Underground Parking Lot	Indoor	30.4	0.9	29.5-31.5	61.2	1.5	59.5-63.0	4.0	0.60	1.80-6.66
	Outdoor	31.3		-	58.9		-	0.4		-
	I/O Ratio ²⁾		1.0			1.0			10.6	

1) S. D. : Standard Deviation

2) I/O Ratio : Indoor/Outdoor Ratio

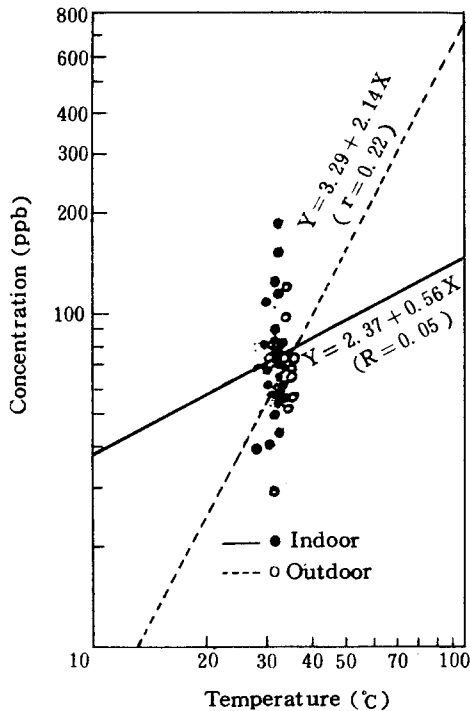


Fig. 4. Relation between Formaldehyde Concentration and Temperature

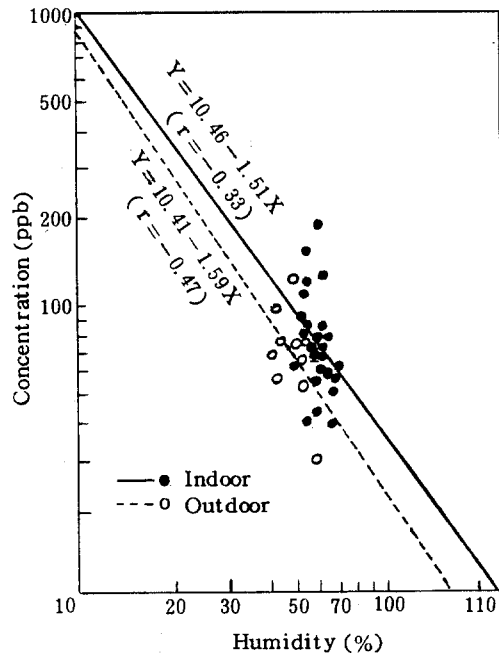


Fig. 5. Relation between Formaldehyde Concentration and Humidity

이었다. 이것은 습도가 높을수록 농도가 낮아지는 역상관을 나타내고 있다. Fig. 6은 포름알데히드 농도에 영향을 주는 기류와의 관계를 나타낸 것이다. 기류는 실내농도와는 역상관을, 실외농도와는 정상관을 나타내고 있다. 지하시설에서 실내농도에 영향을 미칠 수 있는 변수들과의 상관성을 알아보기 위하여 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)을 이용하여 얻은 결과는 $R^2 = 96.5\%$ 의 적합도로서 회귀방정식은 $\text{Indoor Concentration} = 3283 - 149.0 \text{ Indoor Temperature} - 72.0 \text{ Outdoor Temperature} + 37.5 \text{ Indoor Humidity} + 19.2 \text{ Outdoor Humidity} + 15.7 \text{ Indoor Air Flow} + 439 \text{ Outdoor Air Flow} + 1.8 \text{ Outdoor Concentration}$ 이었으며 실내농도는 실내습도, 실외습도, 실외기류와 큰 관계가 있었고 실내농도는 실외농도에 따라 변하고, 실내, 실외온도는 거의 영향을 미치지 않는 것을 시사하고 있다. 본 조사결과에서는 습도가 높을수록 농도가 낮아지는 역상관을 나타내고 있어 이것은 지하환경에서의 특수성에 의한 것인지 아니면 다른 간접적인환경 영향에 의한 것인지에 관해서는 현재로서는 파악할 수 없어 이 점에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

4) 설문지 조사결과

5개 지하시설에서 농도측정과 함께 당해지역에서 하루중 대부분의 시간을 보내는 사람들 67명을 임의로 선정하여 그들이 직접 기록하

도록 하였다.

지하시설에서 근무하는 사람들의 호흡기질환과 알러지성질환과 관련된 각종 증상의 실태를 알아보고자 하였다. 대부분의 사람들에게는 휴일이 실내공기오염에 있어서 큰 비중을 가지며 해로운 것으로 잘 알려져 있는 것으로 나타났으며 또 80%이상의 사람들은 실내공기가 나쁘다고 대답해 장기간 거주할 경우 건강문제가 제기되는 것으로 관찰되었다. Table 3에서 보는 바와 같이 포름알데히드 기준치(100ppb)를 정점으로 각 증상과 관련된 항목의 호소율을 보면 포름알데히드 농도가 높을수록 호소율이 높았고 그 중에서도 “눈이 따갑다”에서 가장 높은 호소율을 보이며 각 항목은 “기침”을 제외하고 통계적으로 유의한 차를 보였다.

실내 포름알데히드 농도가 높은 지하공간에서의 대책으로는 단기적으로 지하상가내 각 점

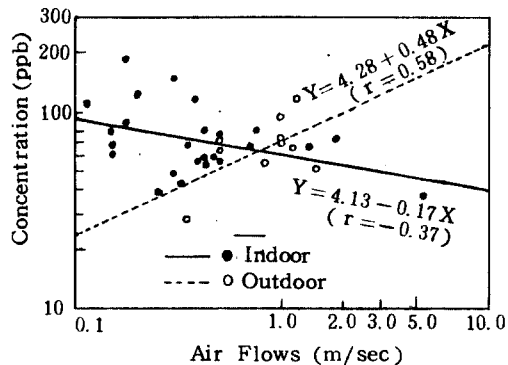


Fig. 6. Relation between Formaldehyde Concentrations and Air Flows

Table 3. Prevalence of Symptoms in Relation to Mean Formaldehyde Concentration below and above 100ppb in Shopping Stores

Symptom	less than 100ppb %, (n = 15)	more than 100ppb %, (n = 52)	P
Eye irritation	33.3	86.1	< .01
Throat irritation	49.5	85.7	< .05
Nose irritation	46.4	79.8	< .01
Headache	29.8	56.4	< .05
Cough	31.0	41.5	> .05

포의 환기시설 유무와 집채의 침입하고 전체적으로 지하상가의 환기가 잘 유통되도록 시설장비를 점검하여 집포내에서 주방연료인 가스, 연탄, 석유난로 등을 사용할 경우 환기시설의 가동을 철저히 하여야 한다. 장기적으로는 지하상가 건물의 환기설비기준을 점검하여 환기설비용량 적정 사용여부 및 가동여부를 수시로 점검하여야 한다. 또한 지하상가내에서 청소시간을 일정하게 정하여 상가내에서 먼지로 인한 오염물질의 발생원을 감소시키고 금연에 관한 개봉교육이 필요하다고 사료된다. 현재 미국서 정하고 있는 포름알데히드의 기준치(100 ppb)를 우리 나라의 대기중 포름알데히드 농도의 기준치에 적용함이 타당하며, 실내공기 오염의 위해성 평가에는 이후로도 장기적이고 계속적인 역학조사가 실시되어야 한다고 사료된다.

IV. 결 론

본 연구 조사를 통하여 얻어진 주요 결과는 다음과 같았다.

1. 지하시설별 포름알데히드의 평균농도는 지하철역은 60.1ppb 이고, 지하상가는 122.2ppb 이고, 지하도는 72.1ppb 이고, 터널은 39.7ppb, 지하주차장은 75.9ppb 로 나타났다.
2. 지하철역의 측정지점별 포름알데히드 농도는 일반적으로 승강장보다는 매 표소가 더 높은 것으로 나타났다.
3. 지하상가의 포름알데히드 평균농도는 122.2ppb 로 다른 지하시설의 포름알데히드 농도보다 높게 나타났으며, 특히 강남역 지하상가는 168.2ppb 로 미국에서 정한 대기중 기준치(100ppb)를 초과하는 것으로 나타났다.
4. 지하시설에서 실내와 실외를 농도별로 보면 대체적으로 실내의 포름알데히드 39.7ppb ~168.2ppb 로 널리 분포되어 있음에 반하여, 실외에서의 측정치는 28.6ppb ~118.7ppb 의

농도를 나타내고 있다. 또한 실내/실외의 농도비는 지하주차장에서 2.7로서 가장 높게 나타났다.

5. 지하시설에서의 온도, 습도, 기류를 우리나라의 위생관리기준법에 의거하여 비교해 보면, 온도와 기류에서 지하시설 모두 기준치를 초과하고 있다.

참 고 문 헌

1. 김윤신 : 실내 공기오염에 관한 보건학적 고찰, 대한보건협회지, p. 9, pp. 27 ~ 39, 1983.
2. Kim, YS., Spengler, JD., and Y. Yanagisaws: Measurements of indoor and personal exposures to nitrogen dioxide in Korea. Environ. Int. 12, 401-406, 1986.
3. Kim, YS. and Stock, TH: House-specific characterization of indoor and outdoor aerosols. Environ. Int. 12, 75-92, 1986.
4. 김윤신 : 서울시 일부지역에서의 실내라돈 농도에 관한 조사, 한국환경위생학회지, 15, pp. 11 ~ 18, 1989.
5. Mayer, B: Urea-Formaldehyde Resins. Addison-Wesley, Reading, MA, 1979.
6. Schoenberg, J.B., and C.A. Mitchell: "Airway Disease Caused by Phenolic (Phenol - Formaldehyde) Resin Exposure", Arch. Environ. Health, 30, pp. 574-577, 1975.
7. Schmidt, H.E., C.D. Hollowell, R.R. Misch, and A.S. Newton: Trace Organics in Officer, Lawrence Berkeley Laboratory Report 11378, Berkeley, Cal., Lawrence Berkeley Laboratory, 1980.
8. NIOSH: "Manual of Analytical Methods", Peter M. Eller, Ph. D., CIH, Third Edition, Vol. 1, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio,

1984.

9. 고평석 : “서울시내 일부 지하상가에서의 공기중 포름알데히드농도에 관한 조사연구”
서울대학교 보건대학원 환경보건학과 석

사학위논문, 1988.

10. 김윤신 : “서울시 일부지역의 실내공기오염 농도에 관한 조사연구”, 한양대학교 환경과학논총, 제 2 권, 1988. 5.