

## 지하철역사의 이산화질소 농도와 역무원의 이산화질소 개인폭로량

손부순 · 장봉기 · 박종안 · 김윤신\*

순천향대학교 환경보건학과 · 한양대학교 의과대학\*

### Indoor and Outdoor NO<sub>2</sub> Concentrations at Subway Station and Personal NO<sub>2</sub> Exposure of Subway Station Workers

Bu-Soon Son · Bong-Ki Jang · Jong-An Park · Yoon-Shin Kim\*

*Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University  
College of Medicine, Hanyang University\**

#### Abstract

The persons' spending time in underground spaces within indoor environment show a tendency to increase every year, but in Korea, levels and sources of pollutant in underground spaces have not been well-characterized. Therefore, as part of a larger indoor environmental study, conducted at subway station in Seoul, nitrogen dioxide was measured using passive samplers in 16 subway stations, 2 tunnels and 70 workers of subway station.

The mean concentrations of nitrogen dioxide in subway stations were  $27.87 \pm 7.15$  ppb at station office,  $35.76 \pm 8.35$  ppb at platform,  $52.60 \pm 13.04$  ppb at outdoor, respectively, and the Indoor/Outdoor ratio were 0.49~0.93.

The mean concentrations of nitrogen dioxide in tunnels were  $44.91 \pm 4.67$  ppb in Chunggye-Nowon tunnel with a single track,  $42.55 \pm 3.33$  ppb in Mokkol-Taenung tunnel with double track, respectively, and as a result of t-test, a single track levels were higher than double track levels ( $p < 0.05$ ).

The mean personal exposure of the subject of station workers was  $29.40 \pm 9.75$  ppb.

#### I. 서 론

오늘날 경제적 생활환경의 개선으로 인하여 현대인의 일상생활 대부분이 다양한 실내공간에서 이루어지고 있고, 인구 및 산업의 도시집중화에 따른 지하생활공간의 이용이 확대되는 등 생활양식과 거주환경에 많은 변화를 가져오고 있다<sup>1,2)</sup>.

최근 대도시의 생활인들은 실내환경의 일부분인

지하공간(지하철, 지하상가, 지하터널 등)에서의 생활시간이 점차 증가되는 경향을 보이고 있으나 국내에는 이들 지하공간내 오염물질의 발생원과 농도분포에 대한 특성화가 되어있지 않다<sup>1,3)</sup>. 그러나 실내공기 오염물질의 영향을 정확히 파악하는 것은 매우 어려워 최근 오염물질의 개인용 측정기구(personal sampler)의 개발에 의하여 개인의 오염물질 노출량을 추정하여 오염물질의 건강영향을

파악하는 추세에 있다<sup>4,5)</sup>.

이에 본 연구에서는 지하공간의 핵심요소인 지하철역을 대상으로 실내·외 이산화질소 농도 파악 및 터널내 이산화질소 농도분포를 파악하는 한편, 역사내에 근무하는 일부 근로자를 대상으로 이산화질소의 개인 노출량 및 설문조사를 통한 역무원의 근로환경 상태와 일반적인 건강상태를 조사하였다. 본 연구의 목적은 지하철역사의 이산화질소의 농도분포 및 이산화질소의 개인 노출량을 조사하여 간접적이거나 인체에 미치는 영향을 분석함으로써 지하공간내 공기 오염물질에 노출된 사람들의 건강영향의 파악은 물론 지하공간 공기질 연구의 기초자료로서 활용되고자 하는데 있다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 조사기간 및 대상

본 연구는 1999년 2월 10일부터 동년 3월 12일 까지 만 24시간 동안 서울시 지하철 5호선의 7개 역사(마포, 충정로, 서대문, 광화문, 종로3가, 을지로4가, 동대문운동장)와 7호선의 9개 역사(노원, 중계, 하계, 공릉, 태릉입구, 먹골, 중화, 상봉, 면목)의 승강장, 역무실 및 외기에서 이산화질소 농도를 파악하는 한편, 각 역사별 근무자들인 역무원을 대상으로 이산화질소의 개인 노출량을 측정하였고, 설문지 조사를 병행 실시하여 이산화질소의 노출량과 건강영향과의 관련성을 파악하였다. 또한 터널내 이산화질소의 오염도 조사를 위해 환기방식이 다른 두 지점의 터널(면목-태릉, 노원-중계)을 대상으로 1999년 5월 12일부터 14일까지 2일에 걸쳐 터널내 이산화질소 농도분포를 조사하였다.

지하철역 내 이산화질소농도의 측정 및 개인 노출량의 측정에 사용된 측정기구는 Badge-type의 NO<sub>2</sub> personal sampler를 이용하였다. 지하철 역사 및 터널내 이산화질소농도의 측정은 승강장, 역무실의 중앙위치와 외기의 입구 상단부에 각각 sampler를 설치한 후 24시간 후 수거하여 분석하였으며, 터널내 이산화질소 농도 조사는 승강장의 중앙부로부터 다음 역사의 승강장의 중앙부까지 20m 등간격으로 sampler를 설치하여 터널내 이산화질소 농도분포를 조사하였다. 또한 이산화질소의

개인 노출량 측정을 위해 조사자가 피조사자인 역무원의 옷깃에 직접 sampler를 부착시킨 후 24시간 후에 수거하여 분석하였으며, 역무원의 근로환경상태와 일반적인 건강 상태를 조사하기 위하여 70명의 역무원을 대상으로 설문조사를 실시하였다.

## 2. 분석방법

Badge-type의 NO<sub>2</sub> personal sampler의 장치 및 분석은 Yanagisawa와 Nishimura<sup>6)</sup>, 조<sup>7)</sup>의 방법으로 행하였다. 또한 측정조사와 병행하여 실시한 역무원에 대한 설문조사방법은 설문자가 직접 피설문자를 방문하여 설문지를 배포하고 자기기입법으로 기록케 한 후 일정 시간이 경과한 후 다시 회수하는 방식으로 하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 지하철역의 이산화질소 농도

실내공기질 연구중 실외오염물질의 실내로의 유입이 실내공기질에 어느 정도 영향을 미치는지 파악하는 것은 중요하며, 이를 통해 각종 실내 발생원으로부터 방출되는 오염물질이 실내공기질에 미치는 영향을 정량화 할 수 있다.<sup>8)</sup> 따라서 실외에 발생원이 존재하는 오염물질의 실내유입율을 판단하는 자료로 실내·외 비(Indoor/Outdoor ratio)가 이용되고 있다<sup>9)</sup>.

Table 1은 서울시 지하철 5호선과 7호선의 일부 역사에서 측정된 이산화질소의 평균농도와 실내·외 비를 나타낸 것이다. 역무실에서 27.87±7.15 ppb, 승강장에서 35.76±8.35 ppb, 외기에서 52.60±13.04 ppb로 외기, 승강장, 역무실 순으로 높은 농도를 나타냈으며, 역사별로는 외기에서는 노원역이 87.34 ppb, 승강장에서는 먹골역이 44.88 ppb, 역무실에서는 태릉역이 37.73 ppb로 각각 가장 높게 나타났다. 실내·외 비의 범위는 0.49~0.93을 보이고 있어 지하철 역사내 이산화질소의 주 발생원이 실외에 기인한 것으로 여겨진다.

Table 2 및 Fig. 1은 측정대상 역사의 외기, 역무실, 승강장의 이산화질소와 역사별 심도, 급기량, 배기량 및 승강장의 용적간의 상관성을 조사한 결과를 나타낸 것이다. 역무실의 이산화질소농도의

Table 1. NO<sub>2</sub> concentration(ppb) & Indoor / Outdoor ratio in the subway station

	5nd line				7nd line				
	Office	Platform	Outdoor	I/O	Office	Platform	Outdoor	I/O	
Mapo	34.10	24.70	45.43	0.55	Nowon	32.84	N.A.	87.34	-
Chungjongno	15.35	18.92	38.72	0.49	Chunggye	27.83	33.39	44.55	0.75
Sodaemun	22.39	22.99	42.74	0.54	Hagye	23.27	36.36	39.22	0.93
Kwanghwamun	11.22	42.08	55.11	0.76	Kingnung	29.37	N.A.	43.75	-
Chongno 3-ga	29.98	33.28	43.95	0.76	Taerung	37.73	41.09	47.08	0.87
Ulchiro 4-ga	31.46	40.32	56.49	0.72	Mokkol	36.30	44.88	50.88	0.88
Tongdaemun stadium	30.58	34.32	58.19	0.59	Chunghwa	32.29	42.57	55.99	0.76
					Sangbong	27.50	44.11	74.75	0.59
Myonmok	24.31	41.64	57.26	0.73					
Mean	25.01	30.94	48.66	-	Mean	30.16	40.57	55.67	-

N.A. : Not available

I/O ratio : (platform NO<sub>2</sub> concentration / outdoor NO<sub>2</sub> concentration) ratioTable 2. Correlation between NO<sub>2</sub> concentrations and variation of facilities

	Office	Platform	Outdoor	I/O ratio	Depth	Inhalation	Exhaust
Platform	0.296						
Outdoor	0.212	0.653*					
I/O ratio	0.280	0.669**	-0.112				
Depth	-0.101	-0.513	-0.225	-0.485*			
Inhalation	-0.110	-0.441	0.202	-0.226**	0.567*		
Exhaust	-0.133	-0.306	-0.162	-0.108**	0.662**	0.826**	
Volume	0.086	-0.272	-0.284	-0.133	0.338	0.588*	0.653**

\* : Correlation is significant at the 0.05 level(2-tailed).

\*\* : Correlation is significant at the 0.01 level(2-tailed).

경우 고려된 모든 변수와 상관성을 보이지 않았는데 이는 역무실이 일반 대합실이나 승강장처럼 개방되어 있지 않은 지하공간으로 외기에서 유입되는 이산화질소의 양에 비해 역무실내 흡연 및 기타 연소 등에 의해 발생하는 이산화질소의 양에 영향을 받는 것이 아닌가 사사된다. 또한 승강장의 이산화질소 농도와 각 변수사이의 상관성은 외기의 이산화질소농도와  $r=0.653(p<0.05)$ , 실내·외 비와  $r=0.669(p<0.05)$ 로 통계학적으로 유의한 상관성을 보였으나, 다른 변수들과는 상관성을 보이지 않는 것으로 나타나 승강장의 이산화질소의 농도는

역사의 심도, 급기량, 배기량 및 승강장의 용적 등의 변수에 비해 외기의 이산화질소의 농도에 지배적인 영향을 받고 있는 것으로 여겨진다.

## 2. 터널내 이산화질소 농도분포

Table 3은 두 지점의 터널내 이산화질소 농도와 터널과 인접한 4개 역사 승강장의 이산화질소 농도를 나타낸 것이다. 단선구간으로 이루어진 중계-노원 지점의 터널내 이산화질소의 평균농도는  $44.91 \pm 4.67$  ppb를 보였으며, 복선으로 이루어진 먹골-태릉 지점의 터널내 이산화질소의 평균농도

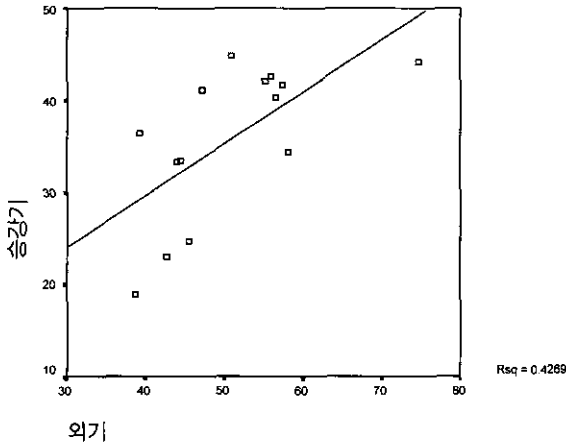


Fig. 1. Correlation between NO<sub>2</sub> concentrations of outdoor and platform

는 42.55±3.33 ppb를 나타냈다. 또한 이들 터널과 인접한 승강장인 노원역, 중계역, 태릉입구역, 먹골역의 승강장내 이산화질소 평균농도는 각각 44.66 ppb, 43.74 ppb, 49.03 ppb, 45.99 ppb를 나타냈다.

Fig. 2는 두 터널의 구조를 개략적으로 나타낸 것으로 환기방식 및 선로의 단·복선 등 많은 차이점을 가지고 있다. 또한 Fig. 3과 Fig. 4는 두 터널내 이산화질소의 농도분포를 보여주고 있다. 중계-노원 구간의 터널내 이산화질소의 농도분포는 터널 전구간에서 유사한 농도분포를 나타냈으며, 먹골-태릉 구간의 터널내 이산화질소의 농도분포는 터널중앙부의 농도가 터널 내 다른 구간의 농도에 비해 다소 낮은 농도분포를 나타냈다. 이에 두 터널내 이산화질소 평균농도의 차이를 검증한 결과 중계-노원 구간 터널내 이산화질소 평균농도가 먹골-태릉입구 구간 터널내 이산화질소 평균농

도보다 유의하게 높게 나타났다(p<0.05). 이는 복선구간의 중앙 급기 양쪽 배기의 구조를 가진 먹골-태릉입구구간 터널내 이산화질소 평균농도보다는 단선구간의 양쪽에 급기와 배기구조를 가진 중계-노원 구간 터널내 이산화질소 평균 농도가 더 높게 나타났다. 이로 볼 때 복선구간 터널내 이산화질소 평균농도보다 단선구간 터널내 이산화질소 평균농도보다 높은 것을 반영하고 있다.

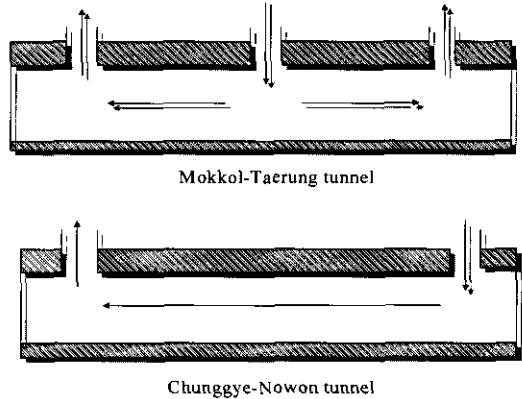


Fig. 2. The schematic diagram of tunnels

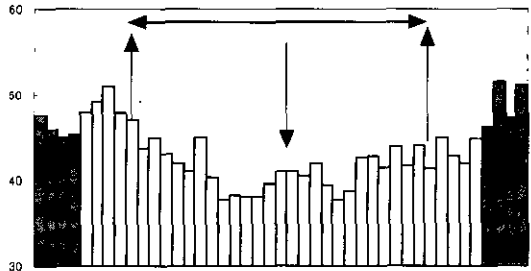


Fig. 3. Distribution of concentrations in Mokkol-Taerung tunnel

Table 3. NO<sub>2</sub> concentrations(ppb) in tunnels & platform

Site	Mean	Standard deviation	Range
Mokkol(n=4)	45.99	1.18	45.05~47.69
Taerung(n=4)	49.03	2.71	46.20~51.54
Mokkol-Taerung tunnel(n=35)	42.55	3.33	37.84~50.99
Chunggye(n=5)	43.74	2.05	41.42~47.03
Nowon(n=3)	44.66	2.95	41.25~46.42
Chunggye-Nowon tunnel(n=45)	44.91	4.67	23.32~51.32

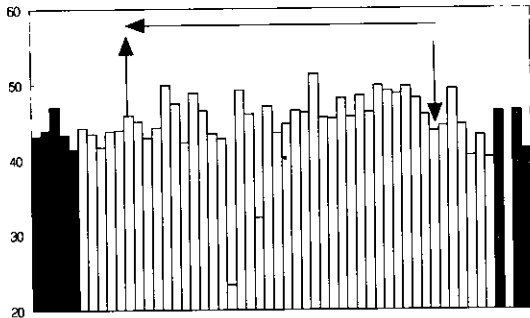


Fig. 4. Distribution of concentrations in Chung-gye-Nowon tunnel

Table 4. Mean personal exposure level(ppb) to NO<sub>2</sub> of station workers

Number of samples	Mean	Standard deviation	Range
32	29.40	9.75	14.03 ~ 60.89

### 3. 역무원의 이산화질소 노출량

지하철역에 근무하는 역무원을 대상으로 이산화질소의 개인 노출량을 측정된 결과는 Table 4에서 보는 바와 같이 역무원의 일일 이산화질소의 평균 개인 노출량은 29.40±9.75 ppb로 지하공간 공기질 기준인 1시간 평균 250 ppb를 초과하지 않는 것으로 나타났으며, 또한 대기환경기준인 24시간 평균 80 ppb를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

기존 선행된 이산화질소 농도 개인 노출량 조사 연구와 비교를 하면 김<sup>10)</sup>이 조사한 대학원생의 개인 노출량 310 ppb와 박<sup>11)</sup>의 서울시 교통경찰의 일일노출량 47 ppb, 그리고 김<sup>12)</sup>의 서울시 택시기사의 개인 노출량 554 ppb들에 비해 낮은 노출량을 보였다. 이는 지하철 역사의 경우 다른 지역과는 달리 이산화질소의 실내 발생원으로 알려진 취사 및 난방연료의 연소와 실외 발생원인 자동차 배출가스 등의 영향을 적게 받아 낮은 농도분포를 보인 것이 아닌가 여겨진다.

또한 역무원들의 생활환경의 차가 이산화질소의 개인 노출량에 영향을 주는지를 파악하기 위해 거주환경과 난방형태에 따른 이산화질소의 개인 노출

Table 5. Mean personal exposure level(ppb) of NO<sub>2</sub> by housing form

	Housing form			
	Private house	Tenement house	Apartment house	Others
Number (n=29)	5(17.2%)	7(24.1%)	14(48.3%)	3(10.3%)
NO <sub>2</sub> Conc. (ppb)	37.51	29.69	28.37	27.47

Table 6. Mean personal exposure level(ppb) of NO<sub>2</sub> by heating apparatus

	Heating apparatus			
	Oil fired boiler	Gas fired boiler	Central heating	Others
Number (n=30)	3(10.0%)	17(56.7%)	9(30.0%)	1(3.3%)
NO <sub>2</sub> Conc. (ppb)	33.11	30.71	27.50	33.55

량을 비교한 결과는 Table 5, 6과 같다.

단독주택에 거주하는 자는 5명(17.2%), 연립주택에 거주하는 자는 7명(24.1%), 아파트에 거주하는 자는 14명(48.3%), 기타 3명(10.3%)으로 조사되었으며, 이산화질소의 개인 노출량은 각각 37.51 ppb, 29.69 ppb, 28.37 ppb, 27.47 ppb로 단독주택의 거주자가 연립주택 및 아파트의 거주자에 비해 높게 나타났다. 또한 난방형태에 따른 노출량은 기름보일러를 사용하는 자가 3명(10.0%), 가스보일러를 사용하는 자가 17명(56.7%), 중앙난방을 사용하는 자가 9명(30.0%), 기타 1명(3.3%)으로, 각각 33.11 ppb, 30.71 ppb, 27.50 ppb, 33.55 ppb로 기름보일러의 난방형태가 가스보일러와 중앙난방의 난방형태에 비해 높게 나타났다. 따라서 역무원의 주거형태 및 난방형태도 이산화질소의 개인 노출량에 영향을 주는 것으로 여겨진다.

### 4. 역무원의 자각증상에 관한 설문조사

역사내 이산화질소 농도 조사시 병행하여 실시한 설문지 조사 결과를 살펴보면 피조사자는 총

70명으로 이들의 연령은 20대에서 40대 중반의 역무원으로 30대가 61.5%로 가장 많은 분포를 보였으며, 대부분이 남성이었다. 또한 평균 일일 근무시간은 8시간에서 9시간 근무하는 것으로 나타났다.

피조사자들의 신체이상 증상에 대한 설문조사결과 Table 7에서 보는 바와 같이 안과계통의 “눈곱이 끼고 충혈 된 적이 있다”에 42.9%(30명), 피부계통의 “피부가 가렵고 두드러기가 생긴다”에 34.3%(24명), 근육골격계통의 “팔, 다리에 쥐가 나거나 통증을 느낀 적이 있다”에 32.9%(23명), 호흡기계통의 “빨리 걷거나 언덕을 오를 때 예전보다 숨이 차다”에 64.3%(45명), 신경정신계통의 “신경

질을 자주 내는 편이다”에 42.9%(30명), 소화기계통의 “일하지 않고 쉬고 있는 상태에서 심장이 두근거리는 것을 느낀다”에 35.7%(25명)과 “한 두 시간 육체적 노동을 하고 나면 다음날 아침에 거뜬하게 일어나지 못할 만큼 고단하다”에 35.7%(25명)로 이들 항목의 호소율이 비교적 높게 나타났다.

이 같은 결과는 본 조사에서 측정된 오염물질인 이산화질소 농도의 단일 영향에 의한 것은 아니고 제반의 환경조건 및 각종 복합적 오염물질의 영향을 고려할 수 있으나 지하철역사에서 하루중 대부분의 시간을 보내는 사람들의 직접적인 호소라는 의미에서 그 중요성이 크다. 따라서 지하철 환경에서 근무하거나 거주하는 자에 대한 계속적이고

Table 7. Complaint rate(%) of respondents by selected symptoms in station workers

Eye complaint		Skin complaint		Bones & sinews complaint	
Symptoms	Complaint rate	Symptoms	Complaint rate	Symptoms	Complaint rate
Eyesight fails	11.4	Itching	34.3	Legs pain	11.4
Eye pricking	15.7	Falling-out hair	32.9	Waist pain	31.4
Tears fall	33.3	Blister	14.3	Joint pain	30.0
Mote in eye	28.6	Change of skin (yellow)	14.3	Cramp	32.9
Congestion	42.9				
Respiratory organs complaint		Nervous system complaint		Digestive organs complaint	
Symptoms	Complaint rate	Symptoms	Complaint rate	Symptoms	Complaint rate
Hoarse	14.3	Delicate nerves	42.9	Lack appetite	18.6
Neck dropsy	32.9	Lose confidence in oneself	20.0	Pang	9.0
Cough (≤3 months)	12.9	Forgetfulness	7.1	Indigestion	34.3
Bloody phlegm	8.6	Annoying	18.6	Vomiting	21.4
Cold(monthly)	10.0	Uneasiness	35.7	Diarrhea	15.7
Snivel	21.4	Inaudible	15.7	Constipation	17.1
Gasp	64.3	Mistake hearing	15.7	Hypertension	18.6
		Tinnitus	17.1	Heartbeat	35.7
				Ankle dropsy	11.4
				Chest pain	30.0
				Fatigue	35.7
				Cold sweat	11.4
				Vertigo	31.4

장기적인 건강진단조사 및 역학조사가 수반되어야 하며, 지하공간의 공기오염으로 인한 인체에 미치는 영향을 감소시키기 위한 환경보건학적 대책의 수립이 시급함을 시사한다.

#### IV. 결 론

서울시 지하철 5호선의 7개 역사와 7호선의 9개 역사, 두 개의 터널구간 및 70명의 역무원을 대상으로 1999년 2월 10일부터 3월 12일, 5월 12일부터 14일에 측정 조사된 이산화질소의 역사 및 터널내 평균농도와 역무원을 대상으로 한 이산화질소의 개인 노출량 및 실내오염에 대한 자각증상에 관한 설문조사의 결과는 다음과 같다.

역사내 이산화질소의 평균농도는 역무실이  $27.87 \pm 7.15$  ppb, 승강장  $35.76 \pm 8.35$  ppb, 외기  $52.60 \pm 13.04$  ppb로 외기, 승강장, 역무실순으로 높게 나타났으며 실내·외 비는 0.49~0.93을 보였으며, 외기, 역무실, 승강장의 이산화질소농도와 역사별 심도, 급기량, 배기량 및 승강장의 용적간의 상관성을 보면, 역무실 이산화질소의 농도는 모든 변수와 상관성을 보이지 않은 반면, 승강장 이산화질소의 농도는 외기의 이산화질소의 농도와 실내·외 비와의 상관계수가 각각 0.653, 0.669로 유의한 양의 상관성(각각  $p < 0.05$ )을 보였으며 다른 변수들과는 유의한 상관성을 보이지 않았다.

두 지점의 터널내 이산화질소의 평균농도 및 인접한 승강장내 이산화질소의 평균농도는 단선구간인 중계-노원 구간이  $44.91 \pm 4.67$  ppb로 복선구간인 먹골-태릉 구간의  $42.55 \pm 3.33$  ppb보다 유의하게 높게 나타났으며( $p < 0.05$ ), 인접한 승강장인 노원역, 중계역, 태릉입구역, 먹골역의 승강장내 이산화질소의 평균농도는 각각 44.66 ppb, 43.74 ppb, 49.03 ppb, 45.99 ppb를 나타냈다.

70명의 역무원을 대상으로 조사한 이산화질소 개인 노출량은  $29.40 \pm 9.75$  ppb로 지하공간공기질 기준인 1시간 평균 250 ppb 및 대기환경기준인 24시간 평균 80 ppb에는 훨씬 못미치는 양이었다.

거주환경의 경우 단독주택 거주자의 개인 노출량이 37.51 ppb로, 난방형태의 경우 기름보일러를 이용하는 거주자의 개인 노출량이 33.11 ppb로 높

게 조사되어 거주자의 주거형태 및 난방형태가 이산화질소의 개인 노출량에 영향을 주는 요인임을 추측할 수 있다.

#### 감사의 글

이 논문과 관련하여 field에서 도움을 준 이철민, 김현탁, 김용찬 선생님께 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 김갑수 외 : 서울시 지하철 환경개선 방안 연구, 서울특별시 지하철공사, 1998.
2. 이명화 : 지하철역사에서 열차의 유입에 의한 환기특성 파악에 관한 연구, 석사학위논문, 서울시립대학교 대학원, 1999.
3. 심우갑 외 : 지하철공간 건축, 시공문화사, 1998.
4. 김윤신 : 실내공기오염에 관한 보건학적 고찰, 대한보건협회지, 9, 27-39, 1983.
5. 김윤신 : 서울시 일부지역의 실내공기 오염농도에 관한 조사 연구, 환경과학논집, 9, 61-66, 1988.
6. Yanagisawa, Y. and Nishimura, H. : A badge-type personal sampler for measurement of personal exposure to  $\text{NO}_2$  and  $\text{NO}$  in ambient air, Environment Inter., 8, 235-242, 1982.
7. 조별아 : 가정내 이산화질소의 실내외 농도에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교 대학원, 1996.
8. Yocom, J. D. : Indoor outdoor air quality relationship; A critical review, JAPCA, 32, 500-520, 1982.
9. 장지훈 : 호흡성 분진 중 금속성분의 실내외 농도에 관한 조사 연구, 석사학위논문, 한양대학교 환경대학원, 1994.
10. 김윤신 : 이산화질소의 실내외 농도 및 개인피폭량에 관한 조사, 한국대기보전학회지, 3, 33-38, 1987.
11. 박상희 : 이산화질소의 실내농도 및 개인 피폭량에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교 대학원, 1989.

12. 김윤신 : 서울시 택시기사의 이산화질소 개인 폭로량에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 17 (2), 9-16, 1991.
13. 손부순 : 都市에 있어서 沿道汚染에 관한 研究 (1) 東京都 沿道家庭의 NO<sub>2</sub> 濃度測定, 한국환경위생학회지, 21(3), 107-114, 1995
14. 김민영 : 이산화질소의 개인 피폭량에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 2, 55-72, 1986.
15. 김윤신, Yanagisawa : 이산화질소의 실내외 농도 및 개인피폭량에 관한 조사 연구, 대기보전학회지, 3, 33-38, 1987.
16. 김윤신 : 서울시의 대중교통수단내 실내공기질에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 20(1), 28-38, 1994
17. Kim, Y. S., Spengler, J. D. and Yanagisawa, Y.: Measurement of indoor and personal exposure to nitrogen dioxide in Korea, Environ. Int., 12, 401-406, 1986.
18. Spengler, J. D.: Personal exposure to respirable particle and sulfate, J. Air Poll. Contr. Assoc., 32, 500-520, 1981.
19. Spengler, J. D. and Smat, J. M. : Indoor air pollution, Environmental Science and Technology, 53-56, 1983.