한국환경보건학회지, 제35권 제1호(2009)
J. Env. Hlth. Sci., Vol. 35, No. 1, pp 11~20(2009)

일부 공단지역 내 이산화질소에 의한 개인노출 농도에 관한 연구

전용택 · 양원호* · 조태진 · 손부순†
순천향대학교 환경보건학과, *대구카톨릭대학교 산업보건학과
(2009. 1. 9. 접수/2009. 1. 24. 수정/2009. 2. 10. 채택)

Personal Exposure Level of Nitrogen Dioxide in an Industrial Area

Yong Teak Jeon · Won Ho Yang* · Tea Jin Cho · Bu Soon Son†
Soonchunhyang University Graduate School of Environment Health Science, Korea
**Dept. of Occupational Health, Catholic University of Daegu, Kyongbuk, Korea*
(Received January 9, 2009/Revised January 24, 2009/Accepted February 10, 2009)

ABSTRACT

This study was conducted in industrial area. The level of nitrogen dioxide was measured indoor, outdoor, work and personal in an study area within 5 km from source of pollution and control area 15 km farther from August, 2006 to September. The followings are the summary of this research. The concentration of the indoor and the outdoor NO_2 levels in the industrial area are 18.41±6.35 ppb, 18.51±3.26 ppb each, and the indoor/outdoor concentration rate is 0.99. The concentration of NO_2 in the workplace is 18.59±10.16 ppb, and the individual exposure rate is 18.80±5.71 ppb. The concentration of the indoor and the outdoor NO_2 levels control area are 12.57±3.82 ppb, 9.68±2.16 ppb each, and the indoor/outdoor concentration rate is 1.33. The personal exposure rate is 14.49±10.06 ppb. The residents of the each area and those of the comparative area spend 80.9% and 76.9% each their time in the indoor. It shows they spend most of their time in indoor. The predictions of the individual exposure rates in the industrial area and the comparative area are 15.10±6.14 ppb and 10.52±3.82 ppb each, The concentration levels measured by passive sampler are 18.80±5.71 ppb and 14.49±10.34 ppb each. The result of the research is the analysis of the personal exposure rate in indoor, outdoor and workplace of industrial area. This research may bo used as a basic data to manage and to establish the plan for NO_2 gas of the industrial area.

Keywords: industrial area, nitrogen dioxide, personal exposure

I. 서 론

1970년대를 급속히 추진된 공업단지 조성과 산업화 정책으로 인해 산업화가 빠르게 진행하면서 대기오염이 발생되었고, 이로 인한 환경오염은 주민들의 생활환경 및 건강에 영향을 미치게 되었다.

산업화 과정에서 발생된 대기오염물질 가운데 가장 먼저 관심대상이 된 오염물질은 먼지(TSP)와 황산화물(SOx)이었으며, 이들 물질은 꾸준한 저감대책으로 인해 오염도는 많은 부분 개선되었다. 그러나 소득 증가와 자동차의 증가로 인해 선진국형 오염이 증가하면서, 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 오존(O_3) 등의 오염물질이 증가하고 있는 추세이다.[1)]

대기 중의 질소산화물은 N_2O, NO, NO_2, N_2O_2 및 N_3O_5로서 대기 중에서 문제가 되는 것은 N_2O, NO, NO_2이며, 일반적으로 질소산화물은 NO, NO_2를 일컫는다. 질소산화물은 대기중에서 광학반응을 일으켜 오존을 생성시키고, 이는 다중 결합구조의 유기화합물과 반응하여 PAH 등의 각종 광화학산화물을 생성시킨다. 질소산화물 중 이산화질소(NO_2)는 고온의 연수 과정에서 발생되는 부산물로 차량 및 산업장 등에서 발생되고,[2)] 실내의 경우 가스레인지, 난방기, 흡연에 주로 발생된다.[3)]

일반적으로 호흡에 의해 이산화질소 노출농도의 80~90%가 체내로 흡수될 수 있으며, 많은 연구에서 2 ppm 이상의 이산화질소의 농도가 건강한 성인의 폐

†Corresponding author : Department of Environment Health, Soonchunhyang University
Tel: 82-41-530-1270, Fax: 82-41-530-1272
E-mail: sonbss@sch.ac.kr

기능을 약화시키거나 상당히 변화시킬 수 있다고 밝혀졌다.[4]

대부분의 공단지역 공기오염에 따른 연구는 실제적으로 개인노출보다는 공공기관에서 측정하는 대기오염 측정장소에서 자동감시체계를 통한 전송된 자료를 이용하였으나,[5] 이러한 고정 대기오염 측정망의 오염물질 농도가 개인노출을 평가하는데 충분히 설명할 수 없는 경우가 많다.[6] 따라서, 효과적인 위해성 관리를 위해서는 정확한 노출 평가가 이루어져야 한다.

개인시료채취기를 이용한 오염물질의 측정은 개인노출 측정시에 호흡기 근처의 측정과 실제 사람에게 호흡되는 정도, 오염물질 노출방법, 농도, 실외시간 동안의 측정 등 많은 기술적 문제들이 있다. 그럼에도 불구하고 위해성 평가에서 필수적으로 요구되는 것이 노출평가이며, 정확한 노출량을 측정하기 위해 개인 시료채취가 필수적이다.[7] 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 Passive Sampler에 대한 성능평가를 실시하여 공정시험법(Manual of Analytical Methods, 6700)으로 채택하고 있으며, UNEP[8] 등에서는 Passive Sampler의 정확성 및 재현성에 대해 검증하여 보고한 바 있다.

따라서 본 연구의 목적은 대표적인 공업단지인 G 산업단지 지역의 주민을 대상으로 실내 · 외 이산화질소의 농도 및 직장, 개인의 이산화질소 노출 농도를 조사하여 산업단지 주변 지역주민들의 이산화질소 농도 분포 및 개인 노출에 영향을 주는 인자의 기여도를 파악함으로써 공단 주변지역의 대기오염관리를 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구는 2006년 8월부터 2006년 9월까지 공단지역 내 거주하는 주민(Study area, 공단에서 5 km 이내)과 공단지역 외부에 거주하는 주민(Control area, 공단에서 15 km 이상)을 대상으로 이산화질소의 농도를 측정하였다. 측정 지점은 측정자 개인, 거주지의 실내 및 실외, 직장으로 수동식 시료채취기(Passive air sampler)를 5일 이상 노출시킨 후 수거하였다. 또한, 측정자를 대상으로 시간활동표(Time-activity table)를 이용하여 1시간 간격으로 표시(∨)하도록 하였다. 시간활동표에서 실내, 실외, 차량으로 구분하여 조사하였으며, 실내는 주택과 직장, 상점 등을 의미하고, 실외는 산책, 실외 운동, 마당 등의 실외공간을 의미한다. 시간단위가 1시간 단위이기 때문에 측정자가 1시간동안 두 장소 이상의 장소에 있었다면 두 장소 이상 표시하도록 하였다.

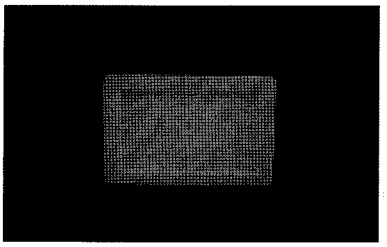


Fig. 1. NO_2 passive sampler.

2. 측정 및 분석방법

이산화질소 측정기구는 badge type의 수동식 시료채취기를 사용하였다(Fig. 1).[9,10] 수동식 시료채취기는 자연적인 기류를 이용하여 확산과 투과라는 물리적인 과정과 반응에 의한 화학적 반응을 이용하여 실내와 실외의 NO_2 농도를 측정하는 장치이다. 수동식 시료채취기는 작고($5\times4\times1\ cm^3$) 가벼운 장점을 지니고 있다(15 g).

NO_2의 분석과정은 먼저 1 *l*메스플라스크에 인산 50 m*l*을 넣고 증류수 500 m*l*를 넣어 희석시킨 후 무수설파닐산 5 g을 가한 후 서서히 가열하면서 용해시킨다. 이 용액이 완전히 냉각된 후에 NEDA(N-(1-Napthyl)-ethylenediamine dihydrochloride) 0.05 g을 넣고 증류수를 부어 1 *l*를 만들고 공기와 빛을 차단하기 위해 파라필름과 호일을 이용하여 밀봉한다(발색용액). 셀룰로우즈 필터를 시험관에 넣은 후 발색시약 10.0 m*l*를 주입한다. 20분 후 545 nm에서 흡광도를 측정한다(Fig. 2). 농도분석은 실리카겔, 활성탄, Purafil filter(과망간산 칼륨, 활성 알루미나와 활성탄으로 합성된 물질)를 연속으로 연결하여 대기 중 공기를 청정 공기 챔버(clean air chamber)로 유입시켜 대기 오염물질이 없는 상태에서 시료 처리를 실시하고(Fig. 3), UV-VIS photo-spectrometer(Shimabzu UV-1201)를 이용하여 정량분석을 하였다.

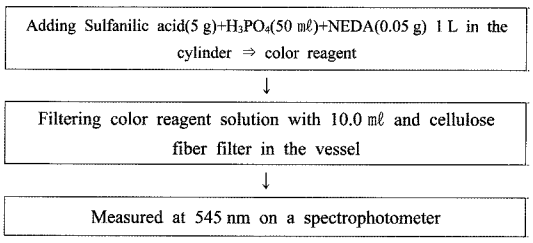


Fig. 2. NO_2 analysis procedure.

Fig. 3. Analysis chamber of NO_2 concentration.

농도계산은 다음과 같다.

$$C = 6.762\frac{M}{t}(\text{ppb})$$

여기서, C: NO_2 농도, 21℃
M: 총 포집된 NO_2 양 (nmol)
t: 총 포집시간 (시간)

2. 시간가중치 평균 모델

공기오염물질의 누적 개인 노출량은 각 개인이 어떤 장소의 농도와 그 장소에서 머무른 시간을 곱하여 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.[11]

$$Ec = \sum C_k \times T_k$$

$$(k = 1, \ldots, N \text{ microenvironment types}) \quad (1)$$

여기서, C_k: concentration for each microenvironment type
T_k: time allocation for each microenvironment type

식 (1)을 이용하여 참여자의 공기 오염물질의 누적 노출량은 개인 주택 실내 및 실외의 농도와 직장 실내의 농도 및 각 장소에서 머무른 시간을 곱하여 식 (2)로 나타낼 수 있다. 식 (2)는 시간가중평균치 평균모델로 정의할 수 있다.

$$P_i=(IH_i\times I_i+OH_i\times O_i+WI_i\times W_i)/(IH_i+OH_i+WI_i) \quad (2)$$

P_i : estimated time-weighted average personal pollutant exposure for participant i
IH_i : hours spent inside the home for participant i during sampling period
OH_i : hours spent outside the home for participant i during sampling period
WI_i : hours spent workplace the home for participant i during sampling period
I_i : measured average indoor pollutant concentration for participant I
O_i : measured average outdoor pollutant concentration for participant I
W_i : measured average workplace pollutant concentration for participant I

III. 결과 및 고찰

1. 이산화질소의 농도 분포

1) 지역별 이산화질소 농도

연구 지역과 비교 지역에 거주하는 주민을 대상으로 실내・외 이산화질소 농도, 직장에서의 이산화질소 농도 및 개인노출농도는 Table 1과 같다.

연구지역의 실내・외 이산화질소의 농도는 18.41±6.35 ppb, 18.51±3.26 ppb, 실내/실외 농도비는 0.99로 나타났다. 실내・외 농도비가 1에 가까운 것으로 보아

Table 1. Level of NO_2 in study area and control area (Unit : ppb)

Region		Indoor	Outdoor	Personal	Workplace	I/O
Study Area (n=45)	Mean ± SD	18.41 ± 6.35	18.51 ± 3.26	18.80 ± 5.71	18.59 ± 10.16	0.99
	G.M ± GSD	17.38 ± 1.41	17.52 ± 1.40	17.96 ± 1.36	16.18 ± 1,72	
	Max	34.78	34.23	35.35	56.43	
	Min	7.60	7.36	8.35	5.15	
Control Area (n=20)	Mean ± SD	12.57 ± 3.82	9.68 ± 2.16	14.49 ± 10.06	-	1.33
	G.M ± GSD	11.98 ± 1.38	9.46 ± 1.24	12.56 ± 1.62	-	
	Max	22.34	14.44	51.85	-	
	Min	5.61	6.82	6.60	-	
t-value		2.141	4.496	8.375		
p-value		0.036	0.000	0.000		

실내 공기가 실외 공기에 영향을 받는 것으로 판단된다. 직장에서의 이산화질소 농도는 18.59±10.16 ppb, 개인노출농도는 18.80±5.71 ppb로 나타났다.

비교 지역의 실내 · 외 이산화질소의 농도는 12.57±3.82 ppb, 9.68±2.16 ppb로 나타났고 실내/실외 농도비는 1.33로 나타났다. 비교지역에 거주하는 거주자 대부분이 농사를 짓고 있어서 따로 직장은 측정하지 않았다.

실내 이산화질소의 농도의 경우 실내 발생원인 가스레인지의 고연소(Thermal NOx)에 의한 발생 및 흡연 그리고 환기에 의한 실외공기 유입에 영향을 받는다. 비교 지역의 경우 실내에서 발생되는 이산화질소의 영향을 많이 받는 것으로 판단된다. 개인노출농도는 14.49(기하평균 : 12.56)±10.06 ppb로 나타났다.

연구지역과 비교지역의 실내 · 외 농도를 비교한 결과 공단지역이 실내 농도가 약 1.5배, 실외 농도가 약 2배 높게 나타났고 독립 t 검정 결과 통계적으로 유의한 결과를 보여주었다($p<0.05$).

Christopher 등[12]의 연구 결과에 의하면 실외 이산화질소 농도의 주요 요인은 교통량이라 보고되고 있으며, 조 등[13]의 연구에서도 주택이 도로변에서 멀어질수록 이산화질소의 농도가 낮게 나타난다는 연구 결과도 있다. 2006년 9월 현재 G시에 등록된 차량등록 현황을 보면 연구지역은 20,577대, 비교지역 1,837대로 연구지역의 등록 차량의 수가 약 11배 높았을 뿐만 아니라, 공단에 출입하는 차량 또한 많은 관계로 차량에서 배출되는 이산화질소양과 공장에서 배출되는 이산화질소양 등으로 공단 지역의 이산화질소 농도가 높은 것으로 판단된다.

김[14]에 의하면 연구지역에서 실내 NO_2의 농도는 8.3±3.5 ppb, 실외 농도는 9.0±2.5 ppb로 나타나 본 연구 결과와 비교하여 낮은 농도를 나타내었다.

대도시와 중 · 소도시를 대상으로 한 정[15]의 연구에 의하면 대도시(서울) 실내 이산화질소의 농도는 35.93±20.68 ppb, 중 · 소도시(대구, 아산)은 19.59±11.07 ppb, 21.92±5.90 ppb로 나타났고, 실외의 경우 대도시(서울) 40.99±22.47 ppb, 중 · 소도시(대구, 아산)은 22.31±12.67 ppb, 27.13±8.25 ppb로 나타났으며, 실내 이산화질소의 발생원인 흡연과 가스레인지 사용이 비슷한 점을 고려할때 실내 이산화질소의 농도가 실외 이산화질소 농도에 영향을 받는다고 하였다. 본 연구에서도 공단 지역의 실내 이산화질소 농도 역시 실외 이산화질소의 영향을 받아 높아진 것으로 판단된다. 따라서, 실내 공기질 개선을 위해서는 실외 대기질 역시 개선되어야 할 것으로 생각된다.

2) 실내 · 외 농도 및 개인노출농도의 관계

연구지역에서 농도별 상관성을 다음 Table 2와 Fig. 4에 나타내었다. 참여자가 평균적으로 실내에서 보내는 시간이 많기 때문에 실내 NO_2 농도와 상관성이 실외나 직장에서의 NO_2 농도보다 높을 것으로 예상되었으나, 개인노출농도는 실내 · 외, 직장에서의 농도와 모두 상관성이 있게 나타났지만, 특히 직장과 실외 농도와 높은 상관성을 나타내었다.($P<0.01$) 이는 연구지역에 거주하는 측정대상자 대부분이 공단내에서 근무하고 직장과 거주하는 집과의 거리가 가까워 공단 내에서 발생하는 이산화질소에 많은 영향을 받아서 나타나는 것으로 판단된다.

실외 농도와 실내 농도 역시 높은 상관성을 나타내었다. 이는 본 연구가 여름철에 이루어진 결과 잦은 환기를 통해서 실내 이산화질소의 농도가 실외 이산화질소의 농도에 많은 영향을 받아서 상관성이 높은 것으로 판단된다.

실외 농도와 직장 농도에서도 약한 상관성이 나타났다. 이는 연구지역에서 발생되는 이산화질소가 연구 지역의 대기 영향을 나타내는 것으로 생각된다.

비교지역에서 농도별 상관성은 다음 Table 3과 Fig. 5에 나타내었다. 비교지역 역시 참여자가 평균적으로 실내에서 보내는 시간이 많기 때문에 실내 NO_2 농도와 상관성이 실외나 직장에서의 NO_2농도보다 높을 것으로 예상되었으나, 개인노출과 실내 · 외 농도와 통계적으로 상관성이 나타나지 않았다.

Levy 등[16]의 연구에 의하면 실내 이산화질소 농도가 실외 이산화질소 농도와 비교하여 개인 이산화질소 노출농도와 통계학적으로 높은 상관성을 갖는 결과를 보고하였고, 양[11]의 연구 결과에서도 이산화질소의 개인노출은 실외 농도보다 실내농도에 많은 영향을 받는다는 결과를 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 연구 지역에서는 실외 농도와 직장 농도와의 상관성이 높게 나타나 공단에서 발생하는 이산화질소와 주변 차량에서 발생하는 이산화질소에 영향을 받는 것으로 판단되고,

Table 2. Correlations among indoor, outdoor, work and personal nitrogen dioxide level in Study Area

	Personal	Indoor	Outdoor	Workplace
Personal	1			
Indoor	0.384**	1		
Outdoor	0.543***	0.774***	1	
Work	0.599***	0.314*	0.349*	1

*** : Correlation is significant at the 0.001 level.
** : Correlation is significant at the 0.01 level.
* : Correlation is significant at the 0.05 level.

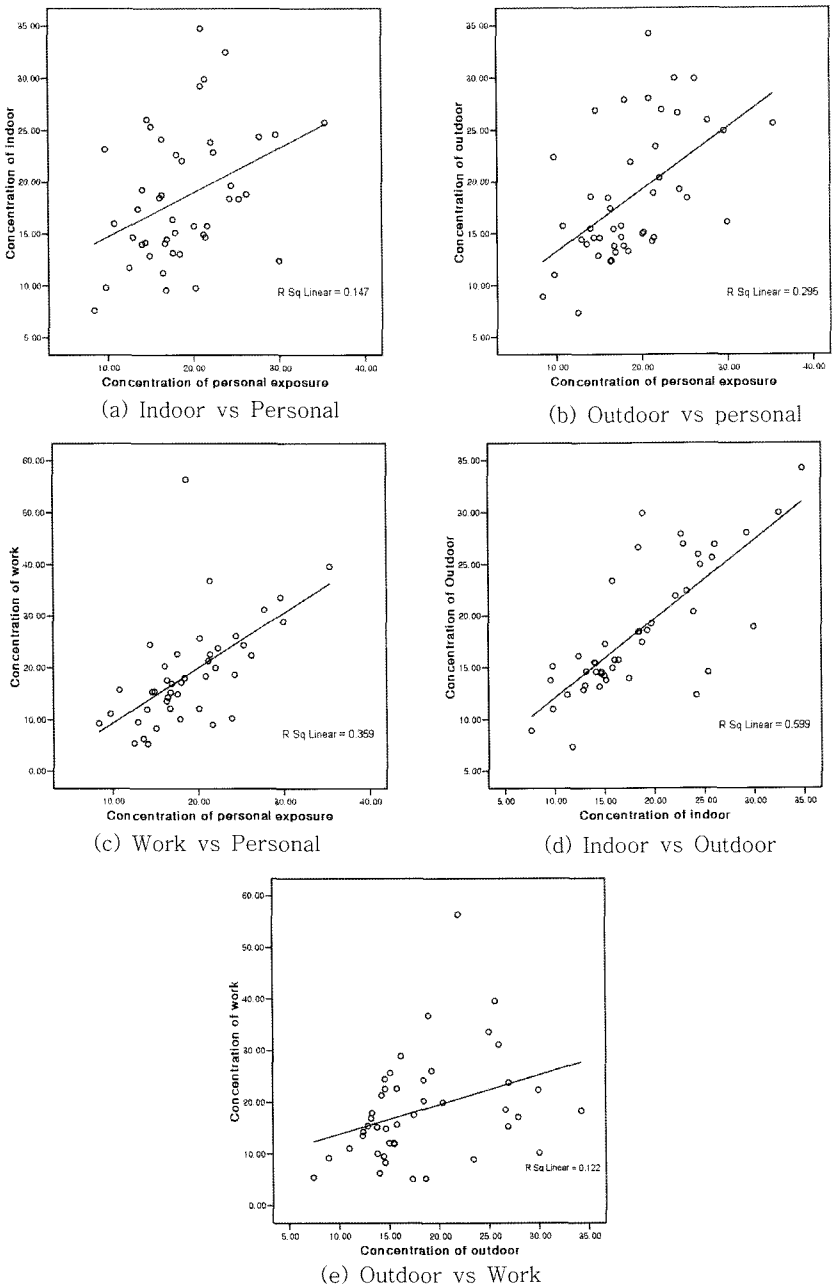


Fig. 4. Relation among personal exposure, indoor, outdoor and work NO_2 level.

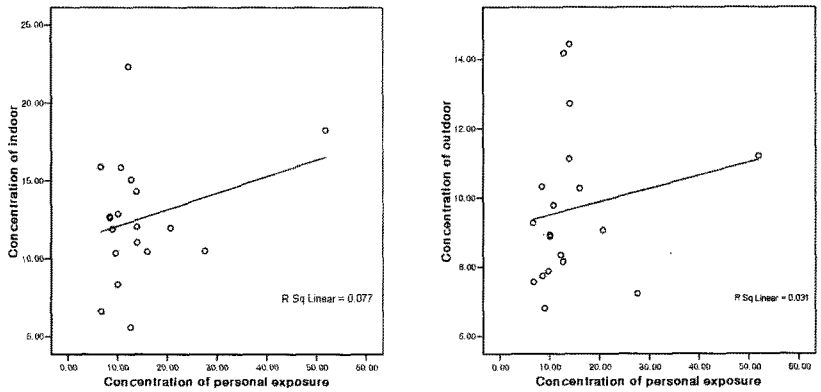
Table 3. Correlations among indoor, outdoor and personal nitrogen dioxide level in Control Area

	Personal	Indoor	Outdoor
Personal	1		
Indoor	0.278	1	
Outdoor	0.176	0.286	1

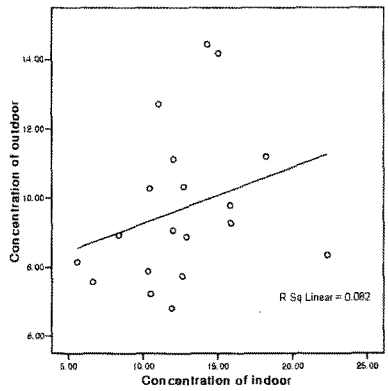
비교 지역은 표본수가 적어서 상관성이 나타나지 않는 것으로 판단된다.

3) 흡연에 따른 이산화질소 농도 비교

흡연에 따른 지역별 이산화질소의 농도를 다음 Table 4에 나타내었다. 연구지역의 흡연자의 개인 노출



(a) Indoor vs Personal (b) Outdoor vs Personal



(c) Indoor vs Outdoor

Fig. 5. Relation among personal exposure, indoor and outdoor NO_2 level.

및 실내 이산화질소 농도는 18.45±3.92 ppb, 18.63±6.37 ppb로 나타났고, 비흡연자의 개인 노출 및 실내 이산화질소 농도는 19.78±6.21 ppb, 18.98±6.6 ppb로 나타났다.

비교 지역의 흡연자의 개인 노출 및 실내 이산화질소 농도는 14.74±10.58 ppb, 12.80±3.90 ppb로 나타났고, 비흡연자의 개인 노출 및 실내 이산화질소 농도는 10.05 ppb, 8.37 ppb로 나타났다.

전체적으로 흡연자의 개인 노출 및 실내 이산화질소 농도는 16.74±7.85 ppb, 16.01±6.09 ppb로 나타났고, 비흡연자의 개인 노출 및 실내 이산화질소 농도는 19.24±6.44 ppb, 18.39±6.89 ppb로 나타났다.

방[17]의 연구에 의하면 흡연자의 주택 실내 이산화질소의 농도가 비흡연자의 주택 실내 이산화질소 농도 보다 높게 나타났고, 김[18]의 연구에 서도 흡연자의 주택 실내 이산화질소의 농도가 비흡연자의 주택 실내보다

Table 4. Level of NO_2 in personal and indoor by smoking (Unit : ppb)

	Smoking	Personal (Mean ± SD)	Indoor (Mean ± SD)	Outdoor (Mean ± SD)
Study Area	Smoker (n=22)	18.45 ± 3.92	18.63 ± 6.37	17.87 ± 5.22
	Non Smoker (n=17)	19.78 ± 6.21	18.98 ± 6.62	20.53 ± 7.23
Control Area	Smoker (n=18)	14.74 ± 10.58	12.80 ± 3.90	9.72 ± 2.27
	Non Smoker (n=1)	10.05	8.37	8.93
Total	Smoker (n=40)	16.74 ± 7.85	16.01 ± 6.09	18.63 ± 6.37
	Non Smoker (n=18)	19.24 ± 6.44	18.39 ± 6.89	18.63 ± 6.37

높게 나타났다. 본 연구는 이와 반대로 나타났는데 Dimitroulopoulou[19]의 연구에 의하면 실내 NO_2의 주된 발생원이 가스레인지일 경우 흡연에 의한 NO_2 발생은 무시할 수 있다는 연구 결과가 있다. 흡연자와 비흡연자의 실내 거주시간은 평균 8시간과 10시간으로 나타났다. 실내 가스레인지의 사용이 실내 NO_2의 주된 발생원이 흡연자와 비흡연자와 차이가 나타나지 않은 것으로 생각된다. 또한, 흡연자와 비흡연자의 실외 농도는 17.87±5.22 ppb, 20.53±7.23 ppb로 비흡연자의 실외 농도가 높게 나타나 실외 농도 역시 개인노출에 영향을 준 것으로 판단된다.

2. 시간가중치모델을 이용한 개인노출 예측

1) 지역별 시간활동 패턴

이산화질소 측정과 함께 조사된 공단 지역과 비교 지역 거주자의 시간활동은 Table 5와 Table 6에 각각 나타내었다. 공단 지역과 비교지역 거주자가 실내에서 보내는 시간은 하루 24시간 중 80.9%, 76.9%로써 대부분의 시간을 실내에서 거주하는 것으로 나타났다. 실외에서 보내는 시간은 14.9%, 20.9%로 나타났고, 차량에서 보내는 시간은 4.2%, 2.2%로 나타났다.

환경부[20]에서 우리나라 성인 838명을 대상으로 1일 활동 내역과 활동 장소 및 실내에서의 거주시간을 조사한 결과에서 한국인원 실내거주시간은 20.3시간이며, 교통수단(자동차, 지하철, 버스 등) 실내에서 소요시간은 악 3시간으로 한국인의 경우 하루 중 97%의 시간을 실내에서 보내는 것으로 조사되었다. 서울 직장인 95명과 호주 브리스베인 직장인 57명을 대상으로 시간활동도를 조사한 결과 서울 직장인은 실내에서 83.8%의 시간을 보냈고, 호주 직장인은 88.3%를 실내에서 보내는 것으로 나타났다.[11] 이는 본 연구와 약간의 차이는 나지만 비슷한 결과를 나타내었다.

2) 개인노출농도 예측

공단지역과 비교 지역의 시간가중치 모델을 이용한 예측치를 다음 Table 7에 나타내었다. 공단지역과 비교지역의 개인노출 예측치는 15.10±6.14 ppb, 11.51±3.73 ppb로 나타났으며, 실제로 수동식 시료채취기를 이용하여 측정된 농도 18.80±5.71 ppb, 14.49±10.34 ppb로 예측치가 실측치보다 낮게 나타났다. 공단 지역과 비교 지역을 전체로 보았을 때 예측농도는 17.52±7.57 ppb, 실측치는 13.98±5.82 ppb로 나타났다. 평균차이 검정 결과 공단지역에서는 실측 농도와 예측 농도 간의 통계적인 차이가 나타났고($p<0.001$, $R^2=0.115$), 비교지역에서는 차이가 나타나지 않았다($p>0.05$). 전체적으로는 실측 농도와 예측 농도 간의 통계적인 차이가 나타났다($p<0.05$, $R^2=0.136$). 실측치와 예측치의 차이가 전체적으로 약 20% 차이가 나고 있다. 이는 모든 세부적인 환경에서 이산화질소 농도를 측정하지 않았기 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 좀 더 세부적으로

Table 5. Fraction of time in study area

		Indoor			
		Home	Work	Other	Transportation
Study Area	%	44.6 ± 13.9	33.0 ± 18.4	3.3 ± 7.0	4.2 ± 4.5
	Total %	85.1			
		Outdoor			
		Near home	Near work	Other	
	%	4.1 ± 4.9	8.3 ± 8.7	2.5 ± 4.5	
	Total %	14.9			

Table 6. Fraction of time in control area

		Indoor			
		Home	Work	Other	Transportation
Control Area	%	74.0 ± 12.0	2.1 ± 7.7	0.8 ± 0.2	2.2 ± 3.3
	Total %	79.1			
		Outdoor			
		Near home	Near work	Other	
	%	15.2 ± 9.1	3.2 ± 7.9	2.5 ± 3.6	
	Total %	20.9			

Table 7. Estimated and measured Level of personal exposure (Unit : ppb)

	Estimated (Mean ± SD)	Measured (Mean ± SD)	t-value	p-value
Study Area	15.10 ± 6.14	18.80 ± 5.71	4.04	0.000
Control Area	11.51 ± 3.73	14.49 ± 10.34	-0.21[a)]	0.836
Total	13.98 ± 5.82	17.52 ± 7.57	3.57	0.001

a) : Wilcoxon signed rank test

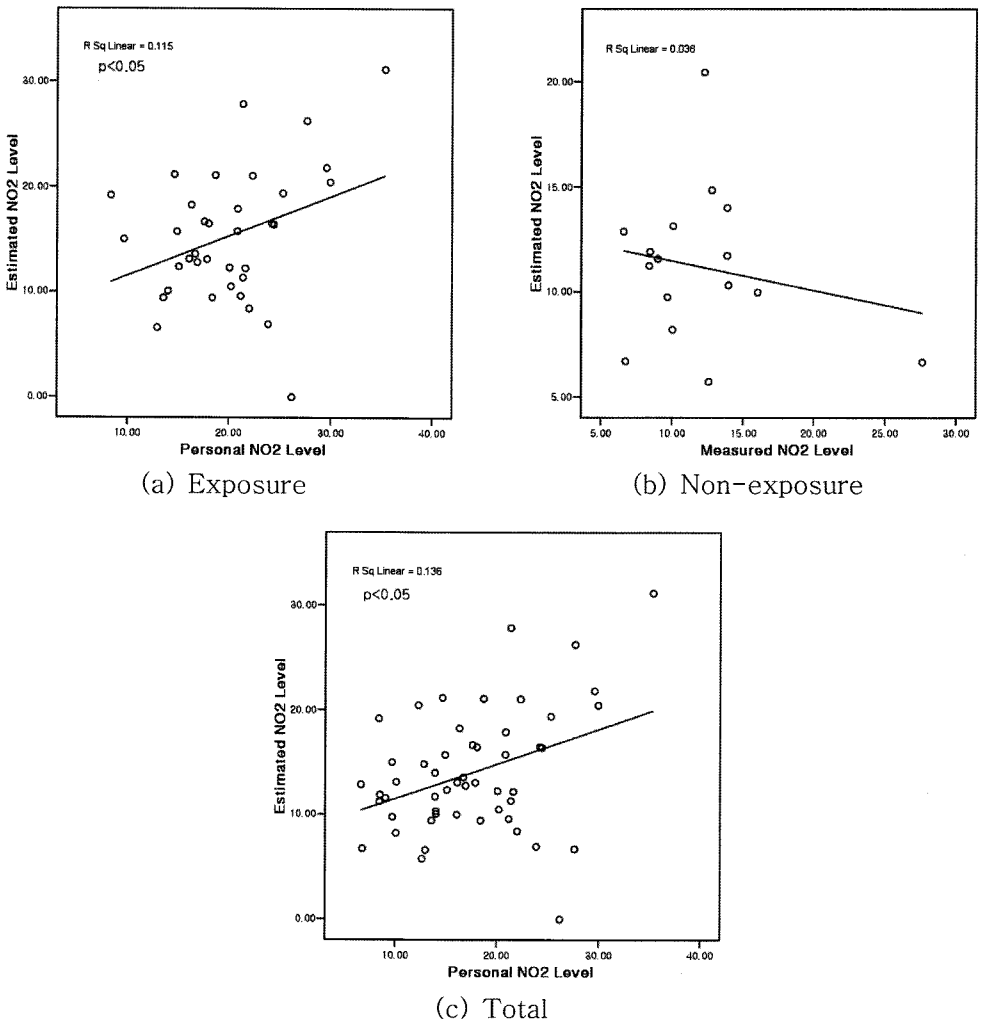


Fig. 6. Relation between estimated and measured NO_2 level.

측정이 이루어진다면 실측치와 예측치 간의 차이는 줄어들 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 2006년 8월부터 2006년 9월까지 공단지역 내 거주하는 주민(공단에서 5 km이내, 연구지역)과 공단지역 외부에 거주하는 주민(공단에서 15 km 이상, 비교지역)을 대상으로 실내·외 및 직장의 이산화질소 농도와 개인 노출량을 측정하였다. 개인 노출에 영향을 주는 요인을 평가하기 위하여 설문조사를 통하여 개인 시간행동 패턴을 조사하여 실제 거주로 인해서 나타나는 이산화질소의 유해도를 파악하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공단 지역의 실내·외 이산화질소의 농도는 18.41(기하평균 : 17.38)±6.35 ppb, 18.51(기하평균 : 17.52)±3.26 ppb로 나타났고, 실내/실외 농도비는 0.99로 나타났다. 직장에서의 이산화질소 농도는 18.59(기하평균 : 16.18)±10.16 ppb, 개인노출농도는 18.80(기하평균 : 17.96)±5.71 ppb로 나타났다.

2. 비교 지역의 실내 외 이산화질소의 농도는 12.57(기하평균 : 11.98)±3.82 ppb, 9.68(기하평균 : 9.46)±2.16 ppb로 나타났고 실내/실외 농도비는 1.33로 나타났다. 개인노출농도는 14.49(기하평균 : 12.56)±10.06 ppb로 나타났다.

3. 공단 지역과 비교지역 거주자가 실내에서 보내는 시간은 80.9%, 76.9%로써 대부분의 시간을 실내에서 거주하는 것으로 나타났다. 실외에서 보내는 시간은 14.9%, 20.9%로 나타났고, 차량에서 보내는 시간은 4.2%, 2.2%로 나타났다.

4. 공단지역과 비교지역의 개인노출 예측치는 15.10±6.14 ppb, 10.52±3.82 ppb로 나타났으며, 실제로 수동식 시료채취기를 이용하여 측정된 농도는 18.80±5.71 ppb, 14.49±10.34 ppb으로 평균의 차이 검정 결과 노출 지역에서 통계적인 차이와 상관성이 나타났다 ($p<0.05$).

본 연구 결과는 공단 지역의 실내·외 및 직장, 개인노출량을 분석한 것으로 공단지역의 대기 중 이산화질소의 관리 및 대책을 수립하는데 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국립환경 과학원의 지원에 의하여 수행 되었음.

참고문헌

1. Ministry of Environment, Risk assessment and management of air pollutant, 1998.
2. Kim, Y. S. and Yanagisawa, Y. : Personal, Indoor and Outdoor NO_2 Measurements in an Urban Area. *Korean Journal of Environmental Health*, **3**(2), 33-38, 1987.
3. Yang, W. H., Bae, H. J., Kim, H. Y., Jung, M. S., and Jung, M. H. : A study on concentration of indoor nitrogen dioxide in relation to house characteristics. *Korean Journal of Sanitation*, **14**(4), 85-92, 1999.
4. WHO, Air quality guidelines for Europe. WHO Rub. European Series Vol. 23, 1987.
5. Lee, J. T., Shin, D. C. and Chung, Y. : Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan. Korea, *Environmental Health Perapectines*, **107**(2), 149-154, 1999.
6. Spengler, J. D., Schwab, M,. McCermott, A., Lambert, W. E. and Samet, J. M. : Nitrogen dioxide and respiratory illness in children. Part IV: Effect of housing and meteorologic factors on indoor nitrogen dioxide concentrations. *Research Report-Health Effects Institute*, **58**, 1-29, 1996.
7. Nielson, O. R., Skov, H., Lohse, C., Thomas, B. L. and Olsen, J. H. : Front-door concentrations and personal exposure of danish children to nitrogen dioxide. *Environmental Health Perspectives*, **105**(9), 964-970, 1997.
8. UNEP/WHO, Passive and Active sampling Methodologies for Measurement of Air Quality, GEMS/AIR Methodologies Review Handbook Series, 14, UNEP, Nairobi, 1995.
9. Yanagisawa, Y. and Nishmura, H. : A badge-type personal sampler for measurement of personal eaposure to NO_2 and NO in ambient air. *Environment Intermational*, **8**, 235-242, 1982.
10. 양원호, 이기영, 백도명 : 실내 및 실외 공기중 이산화질소의 개인노출량 측정을 위한 수도식 시료채취기의 성능평가. 대기환경학회지, **16**(6), 625-631, 2000.
11. Yang, W.-H., Lee, S.-H. and Paek, D.-M. : Exposure assessment and estimation of personal exposure for nitrogen dioxide using time weighted average model. *Journal of Korea Public Health Association*, **17**(3), 251-258, 2001.
12. Christopher, Y. H. and Chao, A. L. : A study of personal exposure to nitrogen dioxide using passive samplers. *Building and Environment,* **35**, 533-545, 2000.
13. Cho, J., Park, J.-A., Son, B.-S. and Yang, W.-H. : Effect of residential air quality in accordance with dispersion of nitrogen dioxide from line sources on the road. *Journal of Korea Public Health Association*, **28**(4), 373-379, 2002.
14. Kim, W.-J. : A study on property of nitrogen dioxide concentration using passive sampler in industrial areas, Master's degree, Department of Environmental Engineering, Han Yang University, Seoul, 2000.
15. Jung, S.-W. : A study of risk assessment and indoor air quality assessment of NO_2 and VOCs in apartments, Master's degree, Department of Environment Health, Soonchunhyang University, A-San, 2005.
16. Levy, J. I., Lee, K., Spengler, J. D. and Yanagisawa, Y. : Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure: An international study. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **48**(6), 553-560, 1998.
17. Bang, Y. N., Son, B. S., Yang, W. H., Park, J. A. and Jang, B. K. : Estimation of exposure to nitrogen dioxide in professional drivers using time activity pattern. *Korea Journal of Environmental Health Society*, **27**(1), 22-26, 2001.
18. Kim, Y. S. and Cho, B. A. : Indoor and outdoor NO_2 measurements in homes. *Journal of Korean Society*

for Atmospheric Environment, **1**, 189-190, 1996.
19. Dimitroulopoulou, C., Ashmore, M. R., Byme, M. A. and Kinnersley, R. P. Modeling of indoor exposure on personal exposure to nitrogen dioxide. *Atmospheric Environment*, **35**, 269-279, 2001.
20. Ministry of Environment, Exposure Factor Handbook, 2001.