

## 공단지역과 시골지역 주택 실내, 실외 및 개인의 이산화질소 노출평가

양원호 · 임성국 · 손부순\*†

대구가톨릭대학교 산업보건학과, \*순천향대학교 환경보건학과  
(2008. 5. 20. 접수/2008. 6. 3. 수정/2008. 6. 9. 채택)

## Indoor, Outdoor, and Personal Exposure to Nitrogen Dioxide Comparing Industrial Complex Area with Country Area

Won-Ho Yang · Sung-Guk Im · Bu-Soon Son\*†

Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu  
\*Department of Environment Health Science, Soonchunhyang University  
(Received May 20, 2008/Revised June 3, 2008/Accepted June 9, 2008)

### ABSTRACT

Indoor air quality can be affected by indoor sources, ventilation, decay, and outdoor levels. Various indoor and outdoor combustion sources produce nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), which is a by-product of high temperature fossil fuel combustion. Especially, the presence of gas ranges and smoking have been identified as major factors contributing to indoor NO<sub>2</sub> exposures. In this study, we compared an industrial complex area with a country area by assessing the personal exposure to NO<sub>2</sub> with measurements of indoor and outdoor NO<sub>2</sub> levels in residences and by house characteristics and questionnaire. Personal exposure concentrations were significantly correlated with indoor NO<sub>2</sub> concentrations of residences in both the industrial complex area and the country area with correlation coefficients of 0.561 and 0.664, respectively, compared to outdoors. Multiple regression analysis, indicated that indoor NO<sub>2</sub> levels in residences were only affected by outdoor levels ( $p = 0.000$ ) in spite of higher indoor sources such as smoking. Therefore, it is suggested that outdoor air quality as well as indoor air quality should be considered in the reduction of the personal exposure to air pollutants.

**Keywords:** exposure, nitrogen dioxide, indoor air, outdoor air

### I. 서 론

도시 거주자들의 경우에는 대부분 하루 중 90% 이상을 실내환경에서 생활하기 때문에 실내공기 오염물질 노출에 따른 건강 위해성의 중요성이 부각되고 있다. 그럼에도 실외 대기환경에서 발생하는 공기오염물질의 실내환경 유입은 재실자의 건강 위해를 미칠 만큼 중요한 중요 인자이다.<sup>1)</sup>

대부분의 사람들은 실내에서 보내는 시간이 많기 때문에 공기오염물질의 개인노출 정도는 고정된 대기측정망에 의해 측정된 것 보다는 오히려 실내 및 실외환

경을 모두 고려한 실내농도에 의해 결정된다.<sup>2)</sup> 실내공기질에 영향을 줄 수 있는 중요 인자는 실내공간 체적, 공기오염물질 발생률, 반응 또는 침강에 의한 감소율, 실내외 환기율 그리고 실외공기 농도에 의존한다.<sup>3)</sup>

본 연구의 대상물질인 이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 고온연소의 부산물로서 실외에서는 주로 차량, 발전소 및 산업공정에서 주로 발생된다. 실내에서는 가스렌지, 석유난로 난방기, 흡연 등과 같은 연소과정에서 발생된다.<sup>4)</sup> 실내의 NO<sub>2</sub> 발생원이 없을 경우에는 실외의 NO<sub>2</sub> 농도가 실내의 NO<sub>2</sub> 농도보다 높게 나타나지만, 가스렌지와 같은 연소기구가 있을 경우에는 실외의 NO<sub>2</sub>의 농도보다 실내의 농도가 더 높게 나타날 수 있다.<sup>5)</sup>

NO<sub>2</sub>의 노출은 주로 호흡을 통해 이루어지며, 1956년 NO<sub>2</sub>가 사일로-필로병(silo-filler's disease)의 원인 물질이라 밝혀진 후 현재까지 약 90여 예가 보고되고 있으

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

며, 병원에서 나이트로셀룰로스(nitrocellulose) 방사선 필름의 화재로 발생한 질소산화물에 노출된 환자의 폐 손상, 실내 아이스 스케이트장의 얼음 표면 처리기계로부터 방출된 NO<sub>2</sub>로 인한 하기선수와 관중의 호흡기 질환이 보고되었다.<sup>6)</sup> NO<sub>2</sub>의 노출에 의한 건강영향은 호흡기 자극제로서 기침, 점액성 또는 거품성 객담 생산, 호흡곤란, 흉통, 폐부종의 증상과 증후, 청색증, 빈 호흡, 빈맥, 눈 자극 증상을 나타내고, 고농도에 노출 시 치명적인 폐 손상을 가져올 수 있다. NO<sub>2</sub>의 농도가 150~500 ppm으로 단기노출(6~7시간)시 폐부종, 후두경련, 기관지수축 혹은 호흡정지를 야기할 수 있다. 저농도 노출 시에는 급성 폐부종, 기관지염 혹은 폐렴을 유발시킬 수 있다.<sup>7)</sup>

본 연구에서는 실외의 NO<sub>2</sub> 발생원이 있는 공단지역과 상대적으로 실외의 NO<sub>2</sub> 발생원이 적은 시골지역의 주택 실내와 실외 농도 측정 및 개인노출 평가를 하였다. 주택 실내와 실외 농도 및 개인노출 사이의 상관성 분석과 주택 특성 요인 분석을 통해 두 지역을 비교·분석하였고, 개인노출에 미치는 영향을 평가하였다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상 및 설문 조사

본 연구는 공단지역 주민과 시골지역 주민의 NO<sub>2</sub> 노출에 대한 것으로 크게 공단지역이 있는 곳과 공단지역이 없는 시골지역을 각각 노출지역과 대조지역으로 구분하였다. 노출지역은 제철소, 석유화학 공장 등이 있으며 대조지역에 비해 차량이 상대적으로 많다. 대조지역은 전형적인 농업지역이며, 노출지역과 대조지역은 거리상 대략 10km이었고, 측정대상자는 비흡연 가정 주부로 노출지역에서 90명, 대조지역에서 30명이었다. 개인 생활양식과 거주하고 있는 주택특성을 알아보기 위하여 간접흡연 여부, 주택평수, 가스렌지 사용 등에 관련된 사항들과 도로의 근접성 등에 대한 내용의 설문조사를 하였다.

### 2. 측정 및 분석방법

측정기간은 2007년 10월 11일부터 16일까지 5일간 연속 측정하였다. 측정 장소는 대상자들의 주택실내와 실외, 그리고 개인노출의 NO<sub>2</sub> 농도를 측정하였다. 모든 NO<sub>2</sub>의 농도측정은 수동식 시료채취기(passive sampler)를 이용하였다.<sup>8)</sup> 개인노출 측정은 개인의 옷깃이나 가슴높이 등 호흡기에서 30 cm 이내인 곳에 착용하도록 하였다. 수동식 시료채취기는 주택실내 측정의 경우 가

정에서 사람들이 가장 잘 모이는 거실에 설치되었으며, 측정 위치는 연소장치 발생원에서 3 m 이상 그리고 창문 또는 문으로부터 2 m 이상이 되도록 하였다. 실외에 설치된 수동식 시료채취기는 지면으로부터 1 m 이상이 되도록 하고, 비나 눈으로부터 보호될 수 있도록 했으며 환기가 잘 되는 곳에 위치하도록 하였다. NO<sub>2</sub> 수동식 시료채취기는 옷깃에 부착되어 개인적 활동을 할 수 있을 정도로 작으며(5×4×1 cm<sup>3</sup>) 가볍다(15 g).

측정 원리는 수동식 시료채취기 안에 셀룰로우스 여지의 TEA(triethanolamine) 용액에 NO<sub>2</sub>가 흡수된다. Sulfanilic acid 5 g, Phosphoric acid (85%) 50 ml과 NEDA(N-(1-Naphtyl) ethylene-diamine dihydrochloride, 98%) 0.05 g을 이용하여 color reagent (azodye-forming) 1/를 제조하였다. 수동식 시료채취기는 NO<sub>2</sub>가 존재하지 않는 챔버(chamber)에서 분해하여 셀룰로우스 여지를 시험관(16×100 mm)에 넣고, color reagent 10.0 ml를 시험관에 주입하였다. 챔버는 실리카겔, 활성탄, Purafil filter(과망간산 칼륨, 활성 알루미늄이나 활성탄으로 함성된 물질)를 연속으로 연결하여 대기 중 공기를 챔버로 유입시켜 NO<sub>2</sub> 포함한 공기오염물질이 없는 상태에서 분석하였다. NO<sub>2</sub> 농도 계산식에 이용된 물질전환계수 값은 0.10 cm/sec를 이용하였고, 정량분석은 photospectrometer(SHIMADZU UV-1201)를 이용하여 545 nm 파장에서 측정하였다.<sup>9)</sup>

## III. 연구결과 및 고찰

### 1. 설문조사 결과

측정기 분실 등으로 최종 참여자는 노출지역이 83명, 대조지역이 28명으로 평균 나이는 각각 43.71(±14.53)세, 49.90(±6.19)세이었다. Table 1은 설문조사에 따른 결과를 나타내었다. 주택 평수의 평균은 각각 노출지역과 대조지역에서 26.70(±7.39), 24.22(±10.14)이었다. 주택평수의 크기별로 살펴보면 25평 이하인 가구는 각각 47(58.0%) 가구, 10(43.5%) 가구이며, 25평을 초과한 가구는 각각 34(42.0%) 가구, 13(56.5%) 가구이다. 주택실내에서의 간접흡연 여부를 살펴보면 노출지역에서는 33(40.2%)명 및 대조지역에서는 18(75.0%)명으로 조사되었다. 도로변 공기오염물질과 연관된 주택 주변 도로의 형태를 살펴보면 노출지역의 경우 가장 많은 것은 2·3차선이었고 4차선 이상도로, 간이도로변, 기타의 순으로 나타났고, 대조지역은 간이도로변, 2·3차선도로, 4차선이상과 기타 순이었다.

**Table 1.** Characterization of participants according to questionnaire survey

Characteristics	Case		Control	
	Number	%	Number	%
House size (m <sup>2</sup> )	≤82	47 58.0	10	43.5
	>82	34 42.0	13	56.5
Passive smoking (Indoor)	Yes	33 40.2	18	75.0
	No	49 59.8	6	25.0
Family number	≤3	47 57.3	13	54.2
	>3	35 42.7	11	45.8
House type	Single-family	49 59.7	22	91.7
	Apartment	33 40.3	2	8.3
House age	≤1 year	0 0.0	0	0.0
	2~4 year	6 7.5	2	8.3
	5~10 year	35 43.7	4	16.7
	11~20 year	31 38.8	8	33.3
	>20 year	8 10.0	10	41.7
Road type near house	4 lanes	22 27.2	1	4.2
	2~3 lanes	27 33.3	10	41.6
	1 lane	20 24.7	12	50.0
	Others	12 14.8	1	4.2

**2. 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 농도**

노출지역과 대조지역의 NO<sub>2</sub> 농도를 Table 2에 나타내었다. 주택 실내와 실외농도의 비(I/O ratio)를 나타내었다. 노출지역과 대조지역의 주택실내의 NO<sub>2</sub> 농도는 각각 17.74±6.95 ppb와 11.87±5.83 ppb로 노출지역이 유의하게 높았으며(p=0.001), 주택실외의 NO<sub>2</sub> 농도도 각각 16.98±7.40 ppb, 10.32±4.40 ppb로 노출지역이 유의하게 높았다 (p=0.000). I/O 비는 노출지역이 1.12, 대조지역이 1.13로 두 지역 모두 NO<sub>2</sub>의 실내 발생원이 존재하는 것으로 생각할 수 있다.<sup>10)</sup> 개인노출 NO<sub>2</sub> 농도는 각각 15.67±5.56 ppb, 13.06±4.74 ppb로 노출지역이 높았으며(p=0.02), 공단이 있는 타 지역의 경우 실내와 실외 및 개인노출의 NO<sub>2</sub>의 농도는 각각 28.9±14.8 ppb, 23.2±10.5 ppb, 24.8±11.8 ppb로 본 연구 결과보다 다소 높은 것으로 나타났으며, I/O는 1.2로 비슷한 양상을 보였다.<sup>11)</sup>

**Table 2.** Mean and standard deviation of measured of nitrogen dioxide (ppb)

	Case				Control				p-value
	M±S.D.	G.M±GSD	Range	I/O	M±S.D.	G.M±GSD	Range	I/O	
Indoor	17.53±7.01	16.09±1.24	4.12~31.66	1.12	11.79±6.09	10.7±1.68	5.03~25.01	1.13	p=0.001
Outdoor	16.77±7.46	15.40±1.59	6.69~35.02		10.50±4.38	9.49±1.27	4.23~24.27		p=0.000
Personal	15.77±5.66	14.62±1.32	5.32~29.43		12.20±3.27	12.42±1.34	8.24~27.12		p=0.02

한편, 양 등은 주택의 가족수가 주택 실내의 발생원인 가스렌지의 사용량과 관련이 있고 주택 실내의 NO<sub>2</sub> 농도를 증가시킬 수 있다고 보고하였다.<sup>12)</sup> 본 연구에서 노출지역과 대조지역의 가족수가 비슷한 수준임을 감안할 때 가스렌지의 NO<sub>2</sub> 발생량은 비슷한 것으로 가정할 수 있지만, 간접흡연의 비율이 노출지역에 비해 대조지역이 높은 것을 고려하면 대조지역의 실내 발생량은 노출지역보다 오히려 높다고 할 수 있다.<sup>13,14)</sup> 이것은 실외 대기의 NO<sub>2</sub> 농도와 환기에 의한 유입이 주택 실내, 실외 및 개인노출에 주요 영향인자인 것으로 생각할 수 있다.

**3. 상관성 분석**

Table 3은 측정된 NO<sub>2</sub> 농도에 대해 주택 실내, 실외 및 개인노출간 상관분석 결과를 보여주고 있다. 노출지역과 대조지역 모두에서 개인의 NO<sub>2</sub> 개인노출은 주택 실내의 NO<sub>2</sub> 농도와 유의한 상관관계를 나타내었다. 또한 노출 및 대조지역에서 주택 실내 NO<sub>2</sub> 농도와 실외 NO<sub>2</sub>는 유의한 상관관계를 나타내었다. 또한 두 지역의 측정자료를 모두 통합하여 분석할 때, 주택 실내와 실외, 주택실내와 개인노출의 경우 Spearman r 값은 각각 0.577, 0.369(p=0.000)로 유의한 상관성을 나타내고 있었다. 또한 주택실외와 개인노출의 Spearman r 값은 0.259(p=0.013)로 유의한 상관성이 있는 것으로

**Table 3.** Spearman correlation coefficients among indoor, outdoor and personal exposure concentration of NO<sub>2</sub>

		Indoor	Outdoor	Personal
Case	Indoor	1		
	Outdoor	0.599** (p = 0.000)	1	
	Personal	0.561** (p = 0.000)	0.514** (p = 0.000)	1
Control	Indoor	1		
	Outdoor	0.395* (p = 0.042)	1	
	Personal	0.664** (p = 0.000)	0.460* (p = 0.021)	1

\*p<0.05, \*\*p<0.01.

나타났다. 주택실내와 실외가 가장 높은 상관관계를 나타낸 것으로 볼 때, 실외공기가 실내공기질의 주된 영향 인자임을 알 수 있다. 이 결과는 실내 NO<sub>2</sub> 발생량이 대조지역에서 높지만, 노출지역의 주택 실내, 실외 및 개인노출 농도가 모두 유의하게 대조지역 보다 높다는 앞서의 결과와 일치하는 것이다. 개인노출은 실외보다 실내농도와 상관성이 높은 것으로 나타났고, 이것은 대상 주민들이 대부분의 시간을 주택실내에서 보내기 때문인 것으로 생각할 수 있다.<sup>15)</sup>

#### 4. 실내공기 NO<sub>2</sub> 농도 영향 요인

Gilbert 등의 연구에서는 각 주택 특성에 따라 실내 NO<sub>2</sub> 농도에 영향을 줄 수 있다고 하였다.<sup>5)</sup> 설문지를 통해 조사된 각 주택환경 특성에 따른 실내 NO<sub>2</sub> 농도를 Table 4에 나타내었다. 노출지역 및 대조지역 전체 대상자에서 가족 수가 3명 이하인 주택과 3명을 초과한 주택에서 실내의 NO<sub>2</sub> 농도 평균은 각각 15.13±6.19 ppb, 17.58±7.07 ppb로 나타났다(p=0.066). 주택실외의 NO<sub>2</sub> 농도 평균은 각각 13.81±6.79 ppb, 17.10±7.66 ppb로 나타났다(p=0.023). 가스렌지를 취사도구로 사용하는 주택에서 가족 수가 많으면 가스렌지의 사용이 많아질 수 있다.<sup>12)</sup> 하지만 본 연구에서 조사된 가족의 수가 대부분 3~4(52.94%)명이었고, 최저가 2명이었고 최고가 6명이었다. 가족 수의 차이가 적기 때문에 가스렌지 사용의 차이도 적다고 할 수 있지만, 주택실내와 주택실외 모두에서 차이를 보이는 것은 실내의 발생원인 가스렌지 사용 때문이 아니라 실외 공

기의 영향을 받을 수 있다고 할 수 있다.

간접흡연 여부에 따른 실내 NO<sub>2</sub> 평균농도는 각각 19.00±8.29 ppb, 15.22±6.23 ppb로 나타났고(p=0.012), 실외의 경우 각각 18.08±8.41 ppb, 14.35±6.72 ppb이었다(p=0.018). 이 결과도 가족수의 결과와 같이 간접흡연에 의한 영향보다는 실외에 의한 영향이라고 할 수 있다.

다른 영향요인으로는 주택유형, 주택 년 수, 도로 근접 형태에 따른 NO<sub>2</sub> 농도를 비교해 보았다. 단독주택과 아파트의 NO<sub>2</sub> 농도 평균은 각각 14.37±6.19 ppb, 20.01±6.19 ppb로 나타났고(p=0.009), 실외의 경우 13.56±7.24 ppb, 20.11±6.74 ppb로 나타났다(p=0.000). 이러한 결과는 일반적으로 단독주택의 환기율이 아파트보다 높기 때문이 아니라 노출지역이 대부분 아파트였고 실외 NO<sub>2</sub> 농도가 높았기 때문이다.<sup>16)</sup> 주택 년 수에 대한 차이는 10년 이하의 주택과 10년 초과된 주택으로 구분할 때, NO<sub>2</sub> 농도는 각각 17.89±6.95 ppb, 14.99±6.18 ppb로 나타났다(p=0.034). 2차선 미만인 도로와 2차선 이상인 도로로 구분할 때, NO<sub>2</sub> 농도는 각각 14.76±7.33 ppb, 17.69±6.99 ppb로 나타났다(p=0.043). 이 결과 또한 노출지역이 대부분 10년 이하 주택이고, 주택 인접 도로가 2차선 이상의 도로임을 고려할 때 앞서의 결과와 마찬가지로 실외 NO<sub>2</sub> 농도가 주된 영향임을 나타낸다.<sup>17)</sup> 또한 주택 특성 변수와 주택 실외 NO<sub>2</sub> 농도의 주택 NO<sub>2</sub> 농도 영향을 다중회귀 분석 하였다. 간접흡연, 주택형태, 주택 년 수, 도로 근접 형태는 가변수(dummy variables)로 처리하여 분석하

**Table 4.** Indoor and outdoor NO<sub>2</sub> concentration according to house characteristics (ppb)

	n	NO <sub>2</sub> concentration (ppb)				
		Indoor	p-value	n	Outdoor	p-value
<b>Family number</b>						
≤3	58	15.13±6.19	0.066	58	13.81±6.79	0.023
>3	44	17.58±7.07		45	17.10±7.66	
<b>Passive smoking</b>						
Yes	32	19.00±8.29	0.012	32	18.08±8.41	0.018
No	72	15.22±6.23		72	14.35±6.72	
<b>House type</b>						
Single family	63	14.37±6.19	0.000	64	13.56±7.24	0.000
Apartment	34	20.01±6.19		33	20.11±6.74	
<b>House age</b>						
≤10 year	43	17.89±6.95	0.034	47	18.15±8.12	0.000
>10 year	52	14.99±6.18		55	12.93±6.01	
<b>Road type near house</b>						
≤2 lanes	44	14.76±7.33	0.043	45	13.38±6.21	0.014
>2 lanes	58	17.69±6.99		58	17.06±8.24	

**Table 5.** Multiple linear regression between indoor NO<sub>2</sub> concentration and house characteristics, outdoor NO<sub>2</sub> concentration

Variables	Indoor NO <sub>2</sub> concentration		
	β	Standard error	p-value
Constant	7.379	2.407	0.003
Family number	-0.540	0.523	0.305
Passive smoking	2.586	1.324	0.054
House type	1.656	1.550	0.288
House age	-0.174	1.421	0.903
Road type near house	0.266	1.257	0.833
Outdoor NO <sub>2</sub> concentration	0.574	0.084	0.000

였을 때(Table 5), 주택 실내 NO<sub>2</sub> 농도에 유의하게 나타난 변수는 주택 실외의 NO<sub>2</sub> 농도이었고(p=0.000), 간접흡연도 영향을 줄 가능성이 있는 것으로 나타났다(p=0.054).

#### IV. 결 론

공단지역(노출)과 시골지역(대조)의 주민을 대상으로 측정된 주택 실내, 실외 및 개인 NO<sub>2</sub> 노출 농도는 노출지역이 대조지역보다 유의하게 모두 높았으며, 개인 노출 농도는 주택 실외 농도보다 실내 농도와 유의한 상관관계를 나타내었다. 이것은 주택 실내공기질이 개인노출의 주된 국소환경임을 나타낸다. 또한 주택 실내 NO<sub>2</sub> 농도에 주된 영향 요인은 주택 실내 흡연율이 높음에도 불구하고 다중회귀분석에 의하면 실외 대기환경의 NO<sub>2</sub> 농도이었다. 따라서 공단지역의 공장 및 차량 등에서 발생된 NO<sub>2</sub>를 포함한 배기가스가 지역 주민 주택 실내공기질에 주된 영향 요인이며 또한 개인노출의 주된 영향 요인이었다.

#### 참고문헌

1. Carslaw, N. : A new detailed chemical model for indoor air pollution. *Atmospheric Environment*, **41**, 1164-1179, 2007.
2. Lai, H. K., Kendall, M., Ferrier, H., Lindup, I., Alm, S., Hanninen, O., Jantunen, M., Mathys, P., Colville, R., Ashmore, M. R. and Cullinan, P. : Personal exposures and microenvironment concentration of PM<sub>2.5</sub>, VOC, NO<sub>2</sub> and CO in Oxford, UK. *Atmosphere Environment*, **38**, 6399-6410, 2004.
3. Yang, W. H., Son, B. S. and Sohn, J. R. : Estimation of source strength and deposition constant of nitrogen dioxide using compartment model. *Korean Society of Environmental Health*, **31**(4), 260-265, 2005.
4. Spicer, C. W., Coutant, R. W., Ward, G. F. and

- Joseph, D. : Rates and mechanisms of NO<sub>2</sub> removal from indoor air by residential material. *Environmental International*, **15**, 634-654, 1989.
5. Gilbert, N. L., Gauvin, D., Guay, M., Heroux, M., Dupuis, G., Legris, M., Chan, C. and Dietz, R. N. : Housing characteristics and indoor concentrations of nitrogen dioxide and formaldehyde in Quebec City, Canada. *Environmental Research*, **102**, 1-8, 2006.
6. Kraft, M., Eikmann, T., Kappos, A., Kunzli, N., Rapp, R., Schneider, K., Seitz, H., Voss, J. U. and Wichmann, H. E. : The german review: effect of nitrogen dioxide on human health - derivation of health-related short-term and long-term values. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **208**, 305-318, 2005.
7. Basu, R. and Samet, J. M. : A Review of the Epidemiological Evidence on Health Effect of Nitrogen Dioxide Exposure from Gas Stove. *Journal of Environmental Medicine*, **22**, 173-187, 1999.
8. Yanagisawa, Y. and Nishmura, H. : A badge-type personal sampler for measurement of personal exposures to NO<sub>2</sub> and NO in ambient air. *Environment International*, **8**, 235-242, 1982.
9. Jung, S. W., Yang, W. H. and Son, B. S. : Health risk assessment by potential exposure of NO<sub>2</sub> and VOCs in apartments. *Korean Society of Environmental Health*, **33**(4), 242-249, 2007.
10. Yang, W., Lee, K. and Chung, M. : Characterization of indoor air quality using multiple measurements of nitrogen dioxide. *Indoor Air*, **14**, 105-111, 2004.
11. Son, B. S., Kim, W. J. and Kim, Y. S. : A study of nitrogen dioxide concentration in industrial areas. *Korean Journal of Sanitation*, **16**(3), 42-53, 2001
12. Kho, Y. L., Yang, W. H. and Chung, M. H. : Environmental tobacco smoke exposure of workers at restaurants in Seoul metropolitan city. *Korean Society of Environmental Health*, **28**(2), 173-182, 2002.
13. Yang, W. H., Lee, K. Y., Chung, M. H. and Zong, M. S. : A study on estimation on air exchange rate and source strength in indoor air using multiple measurements of nitrogen dioxide. *Journal of Korean Industrial Hygiene association*, **10**(1), 160-169, 2000.
14. Dimitroulopoulou, C., Ashmore, M. R., Byrne, M. A. and Kinnersley R. P. : Modeling of indoor exposure to nitrogen dioxide in the UK. *Atmospheric Environment*, **35**, 269-279, 2001.
15. Lee, K., Yang, W. and Bofinger, N. D. : Impact of microenvironmental nitrogen dioxide concentrations on personal exposure in Australia. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **50**(10), 1739-1744, 2000.
16. Yang, W. H., Son, B. S. and Yim, S. K. : Evaluation method for improvement efficiency of indoor air quality in residence. *Korean Society of Environmental Health*, **33**(4), 255-263, 2007.
17. Kulkarni, M. M. and Patil, R. S. : An empirical model to predict indoor NO<sub>2</sub> concentrations. *Atmospheric Environment*, **36**, 4777-4785, 2002.