

일부 공단지역 내 이산화질소의 개인노출 농도 및 건강위해성평가

전용택 · 양원호* · 유승도** · 이종대 · 손부순†

순천대학교 환경보건학과, *대구카톨릭대학교 산업보건학과,

**국립환경과학원 환경건강연구부 환경역학과

(2008. 5. 17. 접수/2008. 5. 29. 수정/2008. 6. 21. 채택)

Personal Exposure Level and Health Risk Assessment of Nitrogen Dioxide in an Industrial Area

Young-Taek Jeon · Won-Ho Yang* · Seung-Do Yu** · Jong-Dae Lee · Bu-Soon Son†

Department of Environment Health, Soonchunhyang University

*Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

**National Institute of Environment Research, Epidemiology Division, Environmental Health Research Department

(Received May 17, 2008/Revised May 29, 2008/Accepted June 21, 2008)

ABSTRACT

This study was conducted to estimate nitrogen dioxide levels and health risk in various locations/situations for two groups. The nitrogen dioxide levels were measured for residents of a study group (industrial area within 5 km) and a control group (15 km farther), respectively using the nitrogen dioxide filter badge as a passive sampler from August, 2006 to September, 2006. The means of indoor, outdoor, work and personal levels of nitrogen dioxide were $34.65 \pm 11.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $34.83 \pm 11.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 34.98 ± 19.11 and 35.38 ± 10.74 respectively in the study area. Mean ratio of indoor to outdoor NO_2 concentration was 0.99. The means of indoor, outdoor and personal level of nitrogen dioxide were $23.66 \pm 7.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $18.22 \pm 4.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $27.27 \pm 18.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively in the control area. Mean ratio of indoor to outdoor NO_2 concentration was 1.39. People spent 80.9% of their time in indoor at the study area and 76.9% at the control area. The percentages of time spent in outdoor were 14.9% and 20.9% at the study area and the control area respectively. The percentages of time spent in a car were 4.2% and 2.2% in the study and control areas respectively. The levels of indoor, outdoor, workplace nitrogen dioxide in the study area and the control area were found below the permissible level of health-hazardous effects.

Keywords: personal exposure, nitrogen dioxide, health-hazardous effect

I. 서 론

우리나라는 경제개발 계획 시행 후, 급격히 증가된 공업단지의 조성에 상응하지 못한 대기오염관리로 인해 환경오염이 인근 주민의 생활과 건강에 위협을 주게 되었으며, 이에 대한 관심이 고조되어 환경문제가 국가적인 차원에서의 문제로 대두되고 있다.¹⁾

대기 중의 질소산화물은 N_2O , NO , NO_2 , N_2O_2 및 N_3O_5 로서 문제가 되는 것은 N_2O , NO , NO_2 이며, 일반적으로 질소산화물은 NO , NO_2 를 일컫는다. 이산화질

소의 자연적인 발생원은 산불, 번개 및 박테리아의 질소 순환관정을 통해 상당량 생성되고, 인위적인 발생원으로는 화력 발전소 및 산업 시설의 연소과정을 통해 배출되는 고정 오염원과 자동차 내연기관 등에서 화석 연료를 사용함으로써 대기 중의 질소(N_2)와 산소(O_2)에 대하여 직접적 화학반응을 일으키는 이동 오염원이 있다. 실내에서는 가스렌지, 석유(kerosene)난로, 흡연 등의 연소과정에서 발생되며, 실내의 NO_2 농도는 공기환기량(air exchange rate)과 실내의 표면반응과 같은 주택특성에 영향을 받는다.²⁾

일반적으로 호흡에 의해 이산화질소 노출농도의 80~90%가 체내로 흡수될 수 있으며, 많은 연구에서 2 ppm 이상의 이산화질소의 농도가 건강한 성인의 폐기능을 약화시키거나 상당히 변화시킬 수 있다고 밝혀졌다.³⁾

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

또한, Mohensin⁴⁾의 연구에 의하면 기관지 천식 환자가 0.1 ppm에서 1시간 노출후 기도저항의 증가 및 에어로졸 흡입에 대한 기도반응성이 나타났고, 0.3 ppm에서 2시간 폭로된 건강자의 혈중 히스타민이 증가하는 결과를 나타내었다.

이산화질소의 개인노출농도는 실외농도보다 실내 농도가 더 높게 관련되며, 가스레인지, 히터, 흡연 등이 이산화질소의 개인 노출농도를 결정하는 중요한 발생원이라고 보고하고 있다. 대부분의 사람들은 80% 이상을 실내에서 생활하기 때문에 공기오염과 연관된 개인 노출 연구에서는 고정 대기오염 측정망의 오염물질 농도가 개인노출을 평가하는데 충분치 설명할 수 없는 경우가 많다.

실내 환경에서 나타나는 오염물질의 농도 수준은 실외환경과 비교해 볼 때 매우 다른 양상을 나타낼 수도 있으며, 실내공기질의 특성을 고려하지 않고 실외공기에만 치중해 대기질 관리 정책은 실질적으로 일반대중의 건강증진에 큰 효과를 가져오지 못할 수도 있게 된다.⁵⁾ 따라서 행정적, 기술적 대책을 수립하기 위해서는 무엇보다도 오염물질에 대한 위해도 평가가 선행되어야 한다. 위해도 평가의 주된 두 과정은 오염물질의 인체 흡입량을 추정하는 피폭평가와 추정된 흡입량에 따른 보건상의 영향을 추정하는 독성평가로 구분할 수 있다. 즉, 피폭평가를 통하여 최종적인 위해도 추정에 필요한 입력자료를 마련하게 되며 피폭평가의 가장 핵심적인 과정은 결국 인간이 노출되는 공기 중의 오염물질 농도를 측정하는 단계라고 할 수 있다.⁶⁾

따라서 본 연구의 목적은 대표적인 공업단지인 G 산업단지 지역의 주택을 대상으로 실내·외 이산화질소의 농도 및 직장, 개인의 이산화질소 노출 농도를 조사하고, 인체 영향에 대한 건강위해성평가를 실시함으로써 공단 주변지역의 대기오염관리를 위한 기초 자료로 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2006년 8월부터 2006년 9월까지 G시 공단지역 내 거주하는 주민(Study area, 공단에서 5 km 이내)과 공단지역 외부에 거주하는 주민(Control area, 공단에서 15 km 이상) 65명을 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 이용

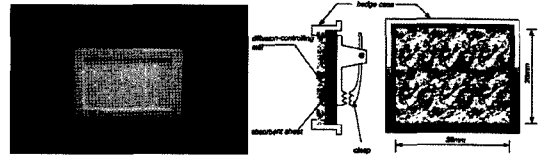


Fig. 1. NO₂ Passive sampler.

하여 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.

2. 측정 및 분석방법

이산화질소 측정기구는 badge type의 수동식 시료채취기를 사용하였다(Fig. 1). 수동식 시료채취기는 자연적인 기류를 이용하여 확산과 투과라는 물리적인 과정과 반응에 의한 화학적 반응을 이용하여 실내와 실외의 NO₂ 농도를 측정하는 장치이다. 수동식 시료채취기는 작고(5×4×1 cm³) 가벼운 장점을 지니고 있다(15 g).

NO₂의 분석과정은 먼저 1 l 메스플라스크에 인산 50 ml를 넣고 증류수 500 ml를 넣어 희석시킨 후 무수 실리카겔 5 g을 가한 후 서서히 가열하면서 용해시킨다. 이 용액이 완전히 냉각된 후에 NEDA 0.05g을 넣고 증류수를 부어 1 l를 만들고 공기와 빛을 차단하기 위해 파라필름과 호일을 이용하여 밀봉한다(발색용액). 셀룰로우스 필터를 시험관에 넣은 후 발색시약 10.0 ml를 주입한다. 20분 후 545 nm에서 흡광도를 측정한다. 농도분석은 실리카겔, 황성탄, Purafil filter(과망간산 칼륨, 황성 알루미늄과 황성탄으로 함성된 물질)를 연속으로 연결하여 대기 중 공기를 청정 공기 챔버(clean air chamber)로 유입시켜 대기 오염물질이 없는 상태에서 시료 처리를 실시하고, UV-VIS photo-spectrometer (Shimabzu UV-1201)를 이용하여 정량분석을 하였다.

3. 건강위해성평가

본 연구에서는 US EPA에서 제공하는 IRIS(Integrated Risk Information System)의 데이터베이스를 이용하여 비발암성 용량-반응평가를 위한 발암성 독성자료인 RfD(Reference Dose)의 자료를 사용하였다. US EPA의 분류체계인 발암증거의 가중(weighting of evidence)에 따라 발암력을 분류하였고, 단위위해도, 외삽방법(extrapolation method), 암의형태 및 동물 독성 실험으로부터 생물이 어떠한 독성 영향도 나타나지 않는 준

위인 최대무영향용량(No Observed Adverse Effect Level: NOAEL)과 건강상에 독성 영향을 나타내는 한계치인 최소영향용량(Lowest Observed Adverse Effect Level : LOAEL) 값을 조사하였다.

위해도 결정에 이용되는 노출량은 일일평균용량(Average Daily Doses : ADDs)으로 나타낼 수 있으며, 아래의 식에 의해 계산되어진다.

$$ADD(\text{mg/kg} \cdot \text{day}) = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT \times 1000 \times 60 \times 24}$$

여기서, ADDs : average daily doses (mg/kg-day)

C : contaminant concentration in inhaled air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

IR : inhalation rate (m^3/day)

ED : exposure duration (year)

EF : exposure frequency (min/day)

BW : body weight (kg)

AT : average time (year)

위해성 평가에 이용된 Monte-Carlo simulation은 crysral ball 2000(decisioneering, Inc.)을 이용하여 100,000번 모의실험을 수행하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 지역별 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 $34.65 \pm 11.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $34.83 \pm 11.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 실내/실외 농도비는 0.99로 나타났다. 실내·외 농도비가 1에 가까운 것으로 보아 실외 발생원의 영향을 받는 것으로 판단된다. 직장에서의 이산화질소 농도는 $34.98 \pm 19.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 개인노출농도는 $35.38 \pm 10.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 비교 지역의 실내·외 이산화질소의 농도는 $23.66 \pm 7.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $18.22 \pm 4.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고 실내/실외 농도비는 1.33로 나타났다. 개인노출농도는 $27.27 \pm 18.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 연구지역이 비교지역보다 이산화질소농도가 약 2배 높게 나타났다.

실내 이산화질소 농도에 영향을 미치는 요인은 여러 가지가 있지만 가장 큰 영향을 미치는 것은 환기에 의한 실외공기 유입이다.⁷⁾ Christopher 등⁸⁾의 연구 결과에 의하면 실외 이산화질소 농도의 주요 요인은 교통량이라 보고되고 있으며, 윤종 등⁹⁾의 연구에서도 충남 7개 지역(천안, 서산, 당진, 공주, 태안, 청양, 보령)을 대상으로 실외 이산화질소 농도를 조사한 결과 천안 지역이 $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 지역보다 높게 나타났다. 또한, 공업지역, 녹지지역, 농·어촌 지역으로 구분하여 비교한 결과 공단 지역이 $20.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 지역보다 2배 정도 높게 나타났다. 이는 연료의 사용으로 연소과정에서 발생하는 이산화질소의 영향으로 판단된다.

Table 1. Level of NO₂ in study and control area

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Region	Measurement Point	Nitrogen dioxide concentration				I/O
		Mean \pm SD	G.M \pm GSD	Max	Min	
Study Area (n=45)	Indoor	34.65 ± 11.95	32.70 ± 1.41	65.45	14.31	0.99
	Outdoor	34.83 ± 11.78	32.97 ± 1.40	64.41	13.85	
	Personal	35.38 ± 10.74	33.88 ± 1.36	66.52	15.71	
	Work	34.98 ± 19.11	30.45 ± 1.72	106.19	9.68	
Control Area (n=20)	Indoor	23.66 ± 7.19	22.54 ± 1.38	42.04	10.56	1.33
	Outdoor	18.22 ± 4.06	17.81 ± 1.24	27.17	12.83	
	Personal	27.27 ± 18.93	23.63 ± 1.62	97.57	12.42	

Table 2. Fraction of time in study area

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

Table 3. Fraction of time in control area

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

2. 지역별 시간활동 패턴

이산화질소 측정과 함께 조사된 공단 지역과 비교 지역 거주자의 시간활동은 Table 2와 Table 3에 각각 나타내었다. 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.

3. 위해성평가

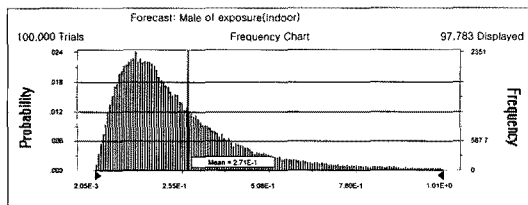
1) 실내 이산화질소에 의한 건강위해성 평가

Table 4는 연구지역과 비교지역의 실내에서 이산화질소에 의한 비발암 위해도지수를 남성과 여성으로 구분하여 나타내었다.

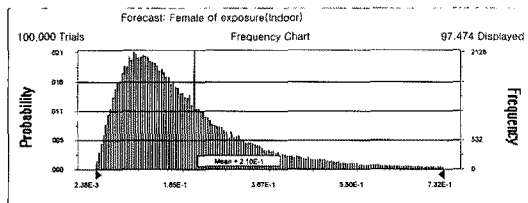
단일평가치 분석 결과 연구지역에서 남성의 경우 4.6×10^{-1} 으로 비발암 오염물질에 의한 인체 유해영향의 유무를 판단하는 기준인 “1”을 초과하지 않았다. 여성

Table 4. Hazard index of non-carcinogen NO₂ in indoor area

Pollutant	Site	Sex	Fixed point	Monte-Carlo							
				Mean	Max	Min	Percentiles				
							25	50	75	90	95
Nitrogen dioxide	Study area	Male	4.6E-01	2.7E-01	9.2E+00	4.6E-04	1.2E-01	2.0E-01	3.3E-01	5.3E-01	7.2E-01
		Female	3.5E-01	2.1E-01	5.0E+00	4.2E-03	9.2E-02	1.6E-01	2.6E-01	4.1E-01	5.5E-01
	Control area	Male	3.9E-01	2.8E-01	1.0E+01	5.7E-04	1.2E-01	2.1E-01	3.4E-01	5.5E-01	7.3E-01
		Female	3.3E-01	2.2E-01	4.3E+00	3.8E-04	9.8E-02	1.7E-01	2.8E-01	4.4E-01	5.9E-01

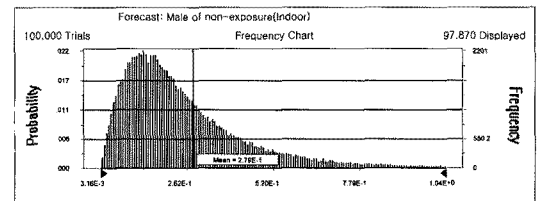


(a) Male

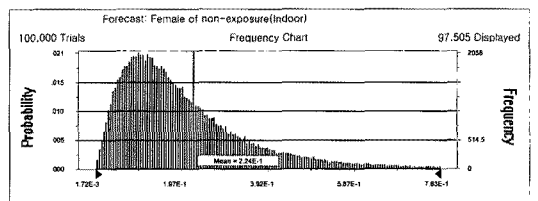


(b) Female

Fig. 2. Frequency charts of NO₂ for exposure in indoor.



(a) Male



(b) Female

Fig. 3. Frequency charts of NO₂ for non-exposure in indoor.

의 경우에도 위해도 지수가 3.5×10^{-1} 으로 “1”을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

비교 지역에서 단일평가치 분석 결과 위해도 지수가 남성의 경우 3.9×10^{-1} , 여성의 경우 3.3×10^{-1} 로 나타나 비교 지역 역시 기준치인 “1”을 초과하지 않았다.

확률론적 위해성 평가를 실시한 몬테카를로 분석 (Monte-Carlo analysis) 결과 연구지역의 평균 위해도도는 남성의 경우 2.7×10^{-1} , 여성의 경우 2.1×10^{-1} 으로 나타나 기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났고, 비교 지역 위해도 지수는 남성의 경우 2.8×10^{-1} , 여성의 경우 2.2×10^{-1} 으로 나타나서 역시 “1”을 초과하지 않는 것으로 나타났다. 실내에서의 위해도 지수는 단일평가치의 경우 공단 지역이 비교지역보다 높게 나타났지만, 몬테카를로 분석에서는 두 지역의 위해도 지수가 비슷하게 나타났다.

2) 실외 이산화질소에 의한 건강위해성 평가

Table 5은 연구지역과 비교지역의 실외에서 이산화질소에 의한 비발암 위해도지수를 남성과 여성으로 구분

하여 나타내었다.

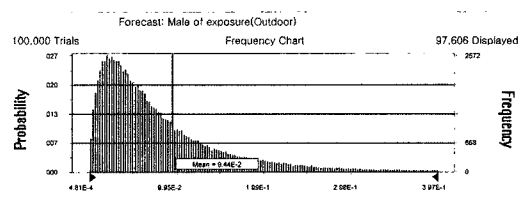
단일평가치 분석 결과 연구지역에서 남성의 경우 1.3×10^{-1} 으로 비발암 오염물질에 의한 인체 유해영향의 유무를 판단하는 기준인 “1”을 초과하지 않았다. 여성의 경우에도 위해도 지수가 1.2×10^{-1} 으로 “1”을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

비교 지역에서 단일평가치 분석 결과 위해도 지수가 남성의 경우 9.1×10^{-2} , 여성의 경우 7.5×10^{-2} 로 나타나 비교 지역 역시 기준치인 “1”을 초과하지 않았다.

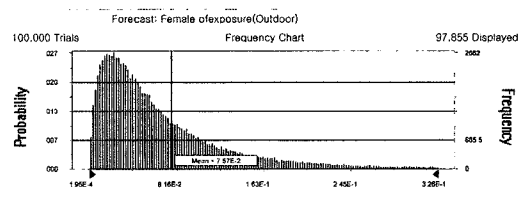
확률론적 위해성 평가를 실시한 몬테카를로 분석 (Monte-Carlo analysis) 결과 연구지역의 평균 위해도도는 남성의 경우 9.4×10^{-2} , 여성의 경우 7.6×10^{-2} 으로 나타나 기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났고, 비교 지역 위해도 지수는 남성의 경우 6.3×10^{-2} , 여성의 경우 5.2×10^{-2} 으로 나타나서 역시 “1”을 초과하지 않는 것으로 나타났다. 실외에서의 위해도 지수는 단일 평가치 분석과 몬테칼로 분석 모두 공단 지역이 비교지역보다 높은 값을 나타내었다.

Table 5. Hazard index of non-carcinogen NO₂ in Outdoor area

Pollutant	Site	Sex	Fixed point	Monte-Carlo							
				Mean	Max	Min	Percentiles				
							25	50	75	90	95
Nitrogen dioxide	Study area	Male	1.3E-01	9.4E-02	4.0E+00	1.4E-04	3.1E-02	6.1E-02	1.1E-01	2.0E-01	2.8E-01
		Female	1.1E-01	7.6E-02	2.6E+00	1.8E-04	2.5E-02	4.9E-02	9.3E-02	1.6E-01	2.2E-01
	Control area	Male	9.1E-02	6.3E-02	2.6E+00	1.3E-04	2.6E-02	4.5E-02	7.7E-02	1.3E-01	1.8E-01
		Female	7.5E-02	5.2E-02	1.7E+00	3.7E-05	2.1E-02	3.7E-02	6.2E-02	1.0E-01	1.4E-01

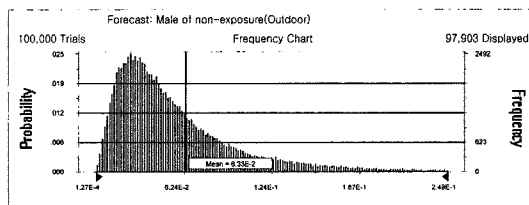


(a) Male

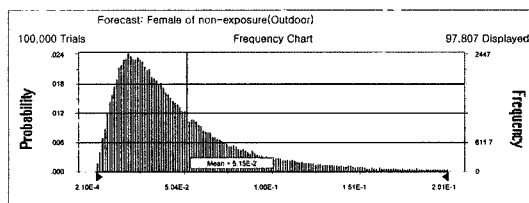


(b) Female

Fig. 4. Frequency charts of NO₂ for exposure in outdoor.



(a) Male

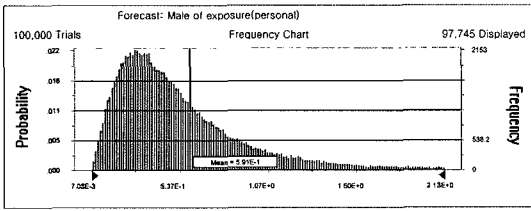


(b) Female

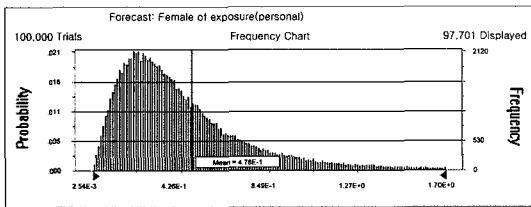
Fig. 5. Frequency charts of NO₂ for non-exposure in outdoor.

Table 6. Hazard index of non-carcinogen NO₂ in personal

Pollutant	Site	Sex	Fixed point	Monte-Carlo							
				Mean	Max	Min	Percentiles				
							25	50	75	90	95
Nitrogen dioxide	study area	Male	9.5E-1	5.9E-01	2.0E+01	1.8E-03	2.6E-01	4.4E-01	7.2E-01	1.2E+00	1.5E+00
		Female	7.2E-1	4.8E-01	1.2E+01	8.3E-04	2.1E-01	3.6E-01	5.8E-01	9.2E-01	1.2E+00
	Control area	Male	6.7E-01	4.6E-01	1.7E+01	4.5E-04	1.5E-01	2.9E-01	4.7E-01	9.7E-01	1.4E+00
		Female	5.5E-01	3.7E-01	1.6E+01	4.2E-05	1.2E-01	2.3E-01	3.8E-01	7.8E-01	1.1E+00



(a) Male



(b) Female

Fig. 6. Frequency charts of NO₂ for exposure in personal.

3) 개인의 이산화질소 노출농도에 의한 건강위해성 평가

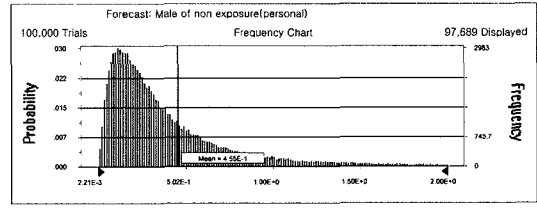
Table 6는 연구지역과 비교지역의 개인 이산화질소 노출 농도에 의한 비발암 위해도지수를 남성과 여성으로 구분하여 나타내었다.

단일평가치 분석 결과 연구지역에서 남성의 경우 9.5×10^{-1} 으로 비발암 오염물질에 의한 인체 유해영향의 유무를 판단하는 기준인 “1”을 초과하지 않았다. 여성의 경우에도 위해도 지수가 7.2×10^{-1} 으로 “1”을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

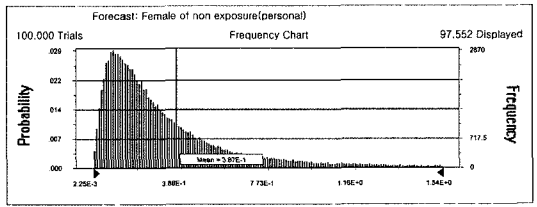
비교 지역에서 단일평가치 분석 결과 위해도 지수가 남성의 경우 6.7×10^{-1} , 여성의 경우 5.5×10^{-1} 로 나타

Table 7. Hazard index of non-carcinogen NO₂ in workplace

Pollutant	Site	Sex	Fixed point	Monte-Carlo							
				Mean	Max	Min	Percentiles				
							25	50	75	90	95
Nitrogen dioxide	Study area	Male	2.0E-1	1.2E-01	4.9E+00	1.7E-03	4.1E-02	7.8E-02	1.5E-01	2.6E-01	3.7E-01
		Female	1.5E-1	9.5E-02	4.8E+00	4.3E-04	3.1E-02	6.0E-02	1.1E-01	2.0E-01	2.7E-01



(a) Male



(b) Female

Fig. 7. Frequency charts of NO₂ for non-exposure in personal.

나 비교 지역 역시 기준치인 “1”을 초과하지 않았다.

확률론적 위해성 평가를 실시한 몬테카를로 분석(Monte-Carlo analysis) 결과 연구지역의 평균 위해도는 남성의 경우 5.9×10^{-1} , 여성의 경우 4.8×10^{-1} 으로 나타나 기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났고, 비교 지역 위해도 지수는 남성의 경우 4.6×10^{-1} , 여성의 경우 3.7×10^{-1} 으로 나타나서 역시 “1”을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

4) 직장 이산화질소에 의한 건강위해성 평가

Table 7는 연구지역 직장에서 이산화질소 농도에 의한 비발암 위해도지수를 남성과 여성으로 구분하여 나

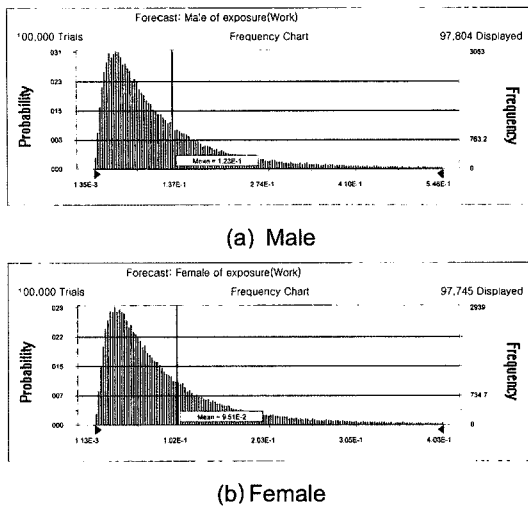


Fig. 8. Frequency charts of NO₂ for exposure in workplace.

타내었다.

단일평가치 분석 결과 연구지역에서 남성의 경우 9.5×10^{-1} 으로 비발암 오염물질에 의한 인체 유해영향의 유무를 판단하는 기준인 “1”을 초과하지 않았다. 여성의 경우에도 위해도 지수가 7.2×10^{-1} 으로 “1”을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

확률론적 위해성 평가를 실시한 몬테카를로 분석(Monte-Carlo analysis) 결과 연구지역의 평균 위해도도는 남성의 경우 5.9×10^{-1} , 여성의 경우 4.8×10^{-1} 으로 나타나 기준치를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

확률론적 모델적용을 통하여 본 연구 결과에서 나타난 위해성 분포는 각각의 노출변수의 가정에 의한 불확실성이 존재하고 있으나, 향후 보다 체계적이고 신뢰성 있는 이산화질소 농도분포를 측정하고 현재 우리나라 실정에 맞는 노출변수들을 위해성평가에 적용한다면, 앞으로 공단 지역 거주자의 이산화질소에 의한 위해도를 산출 하는데 기초 자료로 활용될 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구는 2006년 8월부터 2006년 9월까지 G시 공단지역 내 거주하는 주민(공단에서 5 km 이내, 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 건강위해성평가를

실시하였고, 실제 거주로 인해서 나타나는 이산화질소의 유해도를 파악하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공단 지역의 실내·외 이산화질소의 농도는 34.65 (기하평균 : 32.70) $\pm 11.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 34.83 (기하평균 : 32.97) $\pm 11.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 실내/실외 농도비는 0.99 로 나타났다. 직장에서의 이산화질소 농도는 34.98 (기하평균 : 30.45) $\pm 19.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 개인노출농도는 35.38 (기하평균 : 33.88) $\pm 10.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다.

2. 비교 지역의 실내·외 이산화질소의 농도는 23.66 (기하평균 : 22.54) $\pm 7.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 18.22 (기하평균 : 17.81) $\pm 4.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고 실내/실외 농도비는 1.33 로 나타났다. 개인노출농도는 27.27 (기하평균 : 23.63) $\pm 18.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 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. 실내 이산화질소 농도에 의한 단일평가치 분석 결과 공단지역에서 남성의 경우 4.6×10^{-1} , 여성의 경우 3.5×10^{-1} 으로 나타났고, 비교지역에서 남성의 경우 3.9×10^{-1} , 여성의 경우 3.3×10^{-1} 으로 나타나 두 지역 모두 인체 유해영향의 유무를 판단하는 기준인 “1” 초과하지 않았다. 확률론적 위해성평가를 실시한 몬테카를로 분석(Monte-Carlo analysis) 결과 역시 “1” 초과하지 않는 것으로 나타났다.

5. 실외 이산화질소 농도에 의한 단일평가치 분석 결과 공단 지역에서 남성의 경우 1.3×10^{-1} , 여성의 경우 1.2×10^{-1} 으로 나타났고, 비교 지역에서 남성의 경우 9.1×10^{-2} , 여성의 경우 7.5×10^{-2} 로 나타나 두 지역 모두 인체 유해영향의 유무를 판단하는 기준인 “1” 초과하지 않았다. 확률론적 위해성 평가를 실시한 몬테카를로 분석(Monte-Carlo analysis) 결과 역시 “1” 초과하지 않는 것으로 나타났다.

6. 이산화질소 개인 노출량에 의한 단일평가치 분석 결과 공단 지역에서 남성의 경우 9.5×10^{-1} , 여성의 경우 7.2×10^{-1} 으로 나타났으며, 비교 지역에서 남성의 경우 6.7×10^{-1} , 여성의 경우 5.5×10^{-1} 으로 나타나 두 지역 모두 인체 유해영향의 유무를 판단하는 기준인 “1” 초과하지 않았다. 확률론적 위해성 평가를 실시한 몬테카를로 분석(Monte-Carlo analysis) 결과 역시 “1” 초과하지 않는 것으로 나타났다.

7. 직장 실내 이산화질소 농도에 의한 단일평가치 분석 결과 공단 지역에서 남성의 경우 9.5×10^{-1} , 여

성의 경우 7.2×10^{-1} 으로 두 지역 모두 인체 유해영향의 유무를 판단하는 기준인 “1” 초과하지 않았다. 확률론적 위해성 평가를 실시한 몬테카를로 분석(Monte-Carlo analysis) 결과 역시 “1” 초과하지 않는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Ministry of Environment : Risk assessment and management of air pollutant, 1998.
2. Sexton, K., Letz, R. and Spengler, D. : Estimating human exposure to nitrogen dioxide: an indoor/outdoor modeling approach. *Environmental Research*, **32**, 151-166, 1983.
3. WHO : Air quality guidelines for Europe. WHO European Series Vol. 23, 1987.
4. Mohensin, V. : Airway responses to nitrogen oxide in asthmatic subjects. *Journal Toxicol & Environ Health*, **22**, 371-180, 1987.
5. Baek, S.-O. and Kim, Y.-S. : Characterization of air quality in various types of indoor environments in urban areas. *Journal of Korea Air Pollution Research Association*, **14**(4), 343-360, 1998.
6. Chrostowski, P. C. : Exposure assessment principles in Toxic Air Pollution Handbook. Edited by D.R. Patrick, Van Nostrand Reinhold, New York, 133-165, 1994.
7. Yang, W.-H., Bae, H.-J. and Chung, M.-H. : Residence's Exposure to Nitrogen Dioxide and Indoor Air Characteristics. *Korean Journal of Environmental Health Society*, **28**(2), 183-192, 2002.
8. Christopher, Y. H., Chao, Anthony Law : A study of personal exposure to nitrogen dioxide using passive samplers. *Building and Environment*, **35**, 533-545, 2000.
9. Yoon, J., Kim, H. R., Moon, S. Y., Yoo, J. T., Yang, T. W., Baik, N. C. and In, C. K. : Assessment on SO₂ and NO₂ of Chung-Nam Area Using Passive Sampler. *Journal of CNIHE*, **14**, 135-147, 2004.