

공단지역내 이산화질소농도에 관한 연구

손부순* · 김우재 · 김윤신

순천향대학교 환경보건학과* · 한양대학교 환경 및 산업의학연구소

A Study of Nitrogen Dioxide Concentration in Industrial Areas

Bu Soon Son* · Woo Jae Kim · Yoon Shin Kim

*Department of Environmental Health Science, Soonchunhyang University**

Institute of Environmental & Industrial Medicine Hanyang University

Abstract

This study were conducted to estimate property of nitrogen dioxide concentration at industrial areas in Korea.

The nitrogen dioxide concentrations were measured for 50 dwellings at Ulsan and Yeochon, respectively using the nitrogen dioxide filter badge forming the passive sampler from summer time 1998 to winter time 1999.

The major results obtained from this study were as follows:

1. The mean indoor, outdoor, and personal concentrations of nitrogen dioxide during summer time 1998 in Ulsan were 28.9 ppb, 24.8 ppb, 24.8 ppb, respectively.
2. The mean indoor, outdoor, and personal concentrations of nitrogen dioxide during winter time 1999 in Yeochon were 11.4 ppb, 12.5 ppb, 15.5 ppb, respectively.
3. The mean concentration of nitrogen dioxide during winter time 1998 were higher than the corresponding levels during summer time 1997 in Ulsan.
4. The mean concentration of nitrogen dioxide in Ulsan were in general higher than the corresponding levels in Yeochon.
5. This results in slightly positive correlation among indoor, outdoor, and personal nitrogen dioxide concentrations for summer time in Ulsan, then it statistical significance is showed($p < .05$).

These results suggest that nitrogen dioxide concentrations in industrial areas seem to be affected by traffic density and conditions of industrialization.

I. 서론

1970년대를 전후하여 급격히 증가된 공업단지의 조성에 상응하지 못한 대기오염관리 실태로 인해 환경오염이 주민의 생활과 건강에까지 위협을 주게 되었으며, 이에 대한 관심이 고조되어 환경문제가 국가적인 차원에서의 문제로 대두되고 있다.¹⁾

급속히 추진된 공업단지 조성을 비롯한 산업화 과정에서 파생된 대기오염 물질들 가운데 가장 먼저 관심대상에 오른 것은 먼지(TSP), 황산화물(SO_x)이며, 이들 물질에 대한 꾸준한 저감대책의 실시로 오염도는 상당부분 개선되고 있다. 그러나 소득의 증가와 자동차의 증가로 인한 선진국형 오염이 발생하면서 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO), 오존(O₃) 등에 대한 관심이 증가되고 있는 추세에 있다(환경부, 1998).

대기중의 질소산화물은 N₂O, NO, N₂O₂ 및 N₂O₅로서 대기 중에서 문제가 되는 것은 N₂O, NO, NO₂이며, 일반적으로 질소산화물은 NO, NO₂를 일컫는다. 이들은 대도시 지역에서 나타나는 광화학 스모그를 형성하는데 중요한 역할을 한다(Guicherit, 1982). 이들 질소산화물중 이산화질소는 자극성의 매운 맛이 나는 기체이며 대기의 자연 성분으로 불활성이고, 높은 온도에서 연소시 공기로부터 질소와 산소의 결합에 의해 생성된다.²⁾

질소산화물 중 대표적 오염물질인 이산화질소(NO₂)에 관한 연구로는 실내·외 농도 및 개인노출농도에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔다.³⁻⁵⁾ 이들의 연구결과는 이산화질소의 개인노출농도가 실외농도보다 실내농도와 더 강하게 연관되어 있고, 가스레인지, 히터, 흡연 등이 이산화질소의 개인노출농도를 결정하는 실내 이산화질소 발생의 중요한 발생원이라고 보고하고 있다.

실내환경에서 나타나는 오염물질의 농도 수준은 실외환경과 비교해 볼 때 매우 다른 양상을 나타낼 수도 있으며, 실내공기질의 특성을 고려하지 않고 실외공기에만 치중한 대기질 관리 정책은 실질적으로 일반대중의 건강증진에 큰 효과를 가져오지 못할 수도 있게 된다.⁶⁾ 실제 미국의 경우 대도시 지역에서 전반적인 대기환경질의 수준은 개선되고 있음에도 불구하고 폐암발병환자나 어린이

천식환자 수는 오히려 증가하고 있다는 문제점을 인식하고, 미국 환경청(EPA)은 1990년대에 들어서면서 환경문제해결을 위한 우선 추진과제를 조정하면서 실내공기질에 대한 연구를 적극 권장·지원하고 있는 사례가 이를 입증해 주고 있다.⁷⁾ 우리나라의 경우 역시 최근 통계에 의하면 생활수준의 향상에도 불구하고 폐암환자나 어린이 천식환자의 수는 꾸준히 증가하고 있어⁸⁾ 일반대중의 건강에 미치는 각종 환경요인에 대한 관심이 매우 높아지고 있는 추세이다.⁹⁾

따라서 본 연구에서는 우리나라의 석유화학 공업지역인 울산 및 여천지역의 주택을 대상으로 실내·외 이산화질소농도 및 개인의 이산화질소 노출농도를 조사함으로써 향후 국내 실내·외 환경연구 및 공단지역을 대상으로 한 대기질 관리 정책에 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상 및 시료채취방법

본 연구는 Fig. 1에서와 같이 울산과 여천을 대상으로 1998년 여름과 1999년 겨울에 각각의 지역에 위치한 주택 50가구씩 총 100가구를 대상으로 주택의 이산화질소 실내·외 농도 및 개인노출농도를 조사하였다.

연구대상 주택의 선정은 울산 및 여천 지역을 2 km 격자망으로 각각 50개의 지역으로 나누어 선정하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 울산 및 여천지역을 크게 3개의 영역으로 분할하여 각각의 분할 지역에 포함되어 있는 측정장소를 나타낸 것으로 각각 지역의 특성을 살펴보면, 울산의 경우 A지역은 주택지역이, B지역은 주요시가지와 자동차 및 조선공업공단이, C지역은 석유화학공단 및 비철금속공단이 자리잡고 있으며, 여천의 경우, 내륙지역인 A지역은 광양만에 광양제철소, B지역은 여수 화력발전소 및 울촌공업단지, C지역은 해상분지로 이루어져 있다.

이산화질소의 측정은 미국 하버드 대학의 Yanagisawa등에 의해 개발된¹⁰⁾ Toyo Roshi사의 개인용 필터 배지(Personal Filter Badge)를 이용

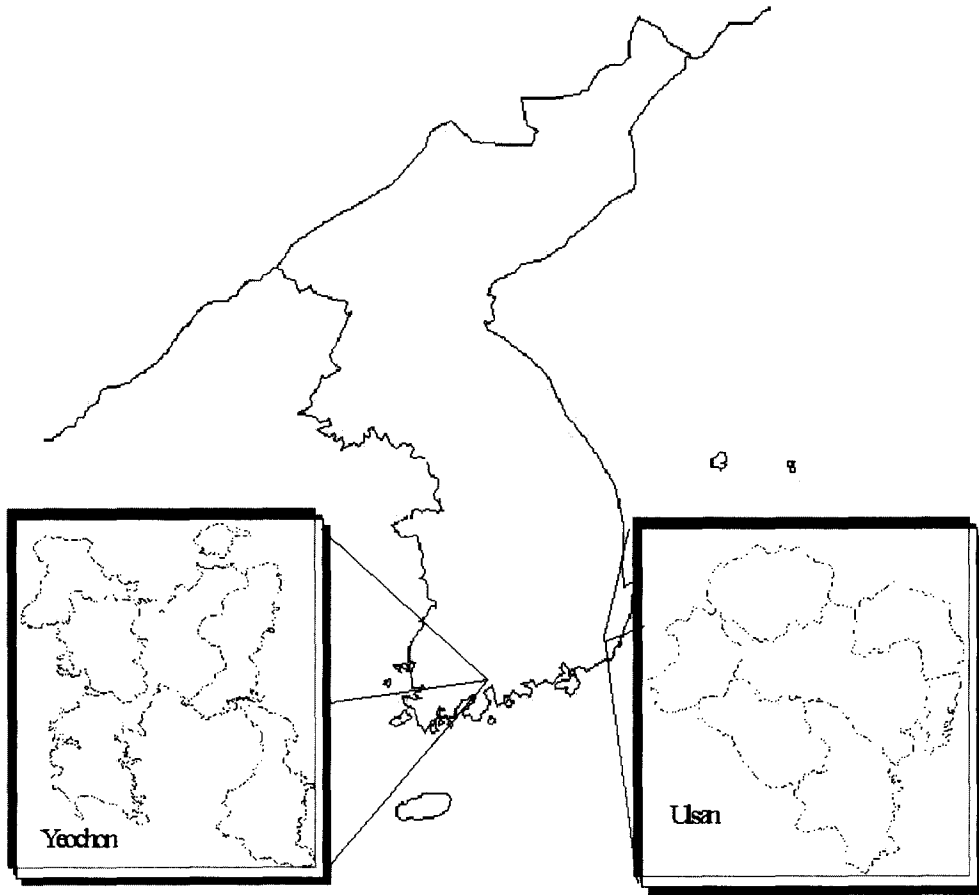


Fig. 1. Ulsan and Yeochon industrial areas in Korea.

하여 실내·외 이산화질소의 농도 및 이산화질소의 개인노출농도를 조사하였다. 실내측정은 연소장치 발생원에서 3m 이상, 창문 또는 문으로부터 2m이상으로 하였고, 사람들이 가장 잘 모이는 거실에서 측정하였다. 또한 실외측정은 비나 눈에 의한 피해를 최소화할 수 있도록 하고, 지면으로부터 1m 이상이 되도록 하여 조사하였다. 또한 개인노출농도의 측정을 위해 개인의 옷깃에 배지를 달게 하여 24시간 노출 시켰다. 배지를 수거한 후에는 외부공기가 유입되지 않게 밀봉하여 저온 보관한 후 7일 이내에 분석을 행하였다.

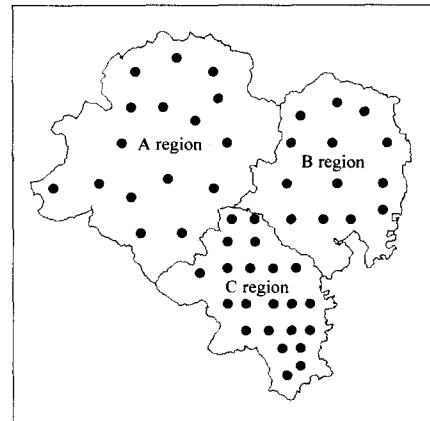


Fig. 2. Location of sampling sites in Ulsan area.

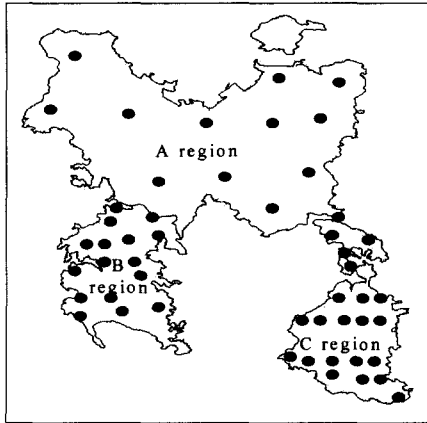


Fig. 3. Location of sampling sites in Yeochon area.

2. 분석방법

2.1 시료분석방법

본 연구에서 사용한 passive sampler는 일본 Toyo사의 이산화질소 측정용 filter badge sampler를 사용하였으며, Fig. 4는 passive sampler의 구조를 나타낸 것으로 자연적인 기류를 이용하여 확산(diffusion)과 투과(infiltration)라는 물리적인 과정에 의한 화학적 반응을 이용하여 실내와 실외의 이산화질소 농도를 측정할 수 있게 되어 있으며, 크기가 작고(5×4×1 cm) 가벼운(15 g) 장점을 지니고 있다.

분석방법은 다음과 같은 순서로 실시하였다.¹⁰⁾

①노출된 passive sampler는 기밀성을 유지하기 위하여 압착되어 있기 때문에 일차 드라이버로 뒷면을 개방한 후 흡수여지를 꺼내어 시험관 내로 이동시켰다.

②발색액 10 ml(n일 노출시는 n×10 ml)을 가해서 천천히 흔든 후 40분 정도 방치하여 발색을 완료한다. 이때 발색액은 술폰산(H₂NC₆H₄SO₃H) 5 g을 약 700 ml의 증류수에 녹인 후 50 ml인 인산(H₃PO₄)과 0.1 wt%의 N-(1-나프틸)에틸엔디아민 2염산염(C₁₂H₁₆C₁₂N₂) 50 ml을 가한 후 증류수로 전량을 1L로 만들어 사용하였다.

③발색이 완료된 후 파장 545 nm에서 흡광도

(A)를 측정하였다.

④또한 노출시키지 않은 passive sampler의 여지를 꺼내어 동일한 방법으로 공시험(Blank)을 행하여 흡광도(A₀)를 측정하였다.

⑤산출된 흡광도를 이용하여 아래 식을 이용하여 이산화질소의 농도를 산출하였다.

$$C = (A - A_0) \times 55$$

여기서

C : 이산화질소 농도(ppb)

A : 분석용 시료 착색액의 흡광도

A₀ : 공시험용 시료 착색액의 흡광도

2.2 자료분석방법

본 연구에서 측정·조사된 모든 자료의 처리는 SPSS 통계프로그램을 이용하여 실시하였다.

각각 지역의 이산화질소의 평균농도 및 표준편차와 최소 및 최대 이산화질소농도를 기술통계(descriptive statistics)방법을 이용하여 산출하였으며, 울산 및 여천의 각 지역별 이산화질소농도간의 차이를 검증하기 위해 일원변량분석을 실시하였다.

계절별 및 두 지역간의 이산화질소농도간의 차이를 검증하기 위해 독립 t검정방법을 이용하여 울산의 겨울철 및 여름철 이산화질소농도간의 차이를 검증하였으며, 또한 울산과 여천 이산화질소농도간의 차이도 검증하였다.

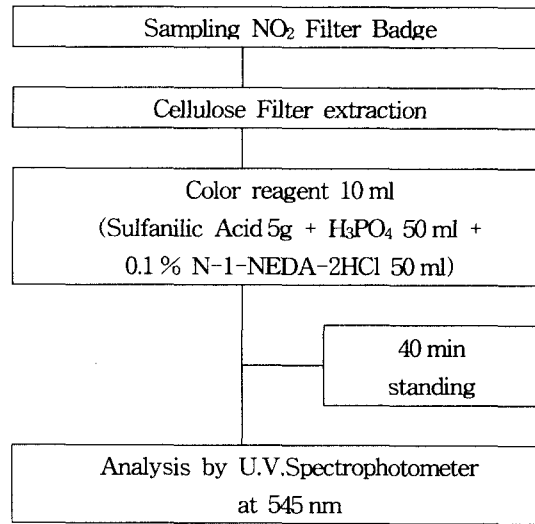


Fig. 4. Schematic diagram of analytic method.

Table 1. Mean concentrations of nitrogen dioxide by region in Ulsan(1998)

Region	Measurement point	Nitrogen dioxide concentration(ppb)				I/O ⁴⁾
		Mean	S.D. ¹⁾	Min. ²⁾	Max. ³⁾	
A (n=15)	Indoor(n=15)	29.4	16.6	14.0	74.5	1.4
	Outdoor(n=15)	20.3	8.6	10.0	36.5	
	Personal(n=15)	23.3	11.0	11.0	46.2	
B (n=13)	Indoor(n=12)	27.0	13.2	10.0	56.9	1.2
	Outdoor(n=12)	21.5	13.8	6.2	41.6	
	Personal(n=12)	22.1	10.3	6.5	37.6	
C (n=22)	Indoor(n=20)	29.6	15.0	11.2	64.0	1.1
	Outdoor(n=20)	26.4	9.2	12.8	50.8	
	Personal(n=20)	27.6	13.1	12.4	61.3	
Total (n=50)	Indoor(n=47)	28.9	14.8	10.0	74.5	1.2
	Outdoor(n=47)	23.2	10.5	6.2	50.8	
	Personal(n=47)	24.8	11.8	6.5	61.3	

1) Standard deviation.

2) Minimum concentration of nitrogen dioxide.

3) Maximum concentration of nitrogen dioxide.

4) Indoor nitrogen dioxide concentration / outdoor nitrogen dioxide concentration.

실내 이산화질소농도와 실외 이산화질소농도간의 상관관계, 실내 이산화질소농도와 개인노출농도 및 실외 이산화질소농도와 개인노출농도간의 상관관계를 조사하기 위해 피어슨(Pearson) 상관분석을 실시하였다.

모든 통계분석은 통계치의 유의수준을 0.05로 채택하여 실시하였다.

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. 울산의 이산화질소 농도

1998년 여름철 울산의 실내·외 이산화질소 및 이산화질소의 개인노출농도는 Tab. 1과 같다.

실내 이산화질소 평균농도는 주택가로 이루어진 A지역과 주요시가지와 자동차 및 조선공업공단이 자리잡고 있는 B지역 및 석유화학공단과 비철금속

공단이 자리잡고 있는 C지역 각각 29.4 ± 16.6 ppb, 27.0 ± 13.2 ppb, 29.6 ± 15.0 ppb로 석유화학공단과 비철금속공단이 자리잡고 있는 C지역이 다른 두 지역에 비해 높은 실내 이산화질소 평균농도를 나타냈다.

실외 이산화질소 평균농도는 A지역, B지역 및 C지역 각각 20.4 ± 8.6 ppb, 21.5 ± 13.8 ppb, 26.4 ± 9.2 ppb로 실내 이산화질소 평균농도와 같이 C지역의 실외 이산화질소 평균농도가 다른 두 지역에 비해 높은 평균농도를 보였다. 이는 2000년 울산시청에 등록된 자동차 등록 현황(울산시 통계연보, 1998)을 보면, A지역은 85,000대, B지역은 79,000대, C지역은 138,000대로 자동차 배기가스로부터 다량의 이산화질소가 방출되는 것을 고려하여 볼 때 C지역의 실내·외 이산화질소의 농도가 A지역 및 B지역의 실내·외 이산화질소농도보다 높은 결과를 나타낸 것으로 사료된다.

이산화질소의 평균 개인노출농도 또한 27.6 ± 13.1 ppb의 농도를 보인 C지역이 3.3 ± 11.0 ppb 및 22.1 ± 10.3 ppb의 농도를 보인 A지역과 B지역에 비해 높게 조사되어 이산화질소의 개인노출농도는 거주지역 및 공간의 이산화질소 농도에 영향을 받고 있는 것으로 생각된다.

여름철 울산지역의 실내·외 이산화질소 평균농도는 각각 28.9 ± 14.8 ppb, 23.2 ± 10.5 ppb로 조사되어 국내 대기환경기준(대기환경보전법, 1996)인 150 ppb/hr에는 초과되지 않는 것으로 나타났다. 또한 이산화질소의 평균 개인노출농도는 24.8 ± 11.8 ppb로 나타났으며, 기존에 선행된 이산화질소 개인노출농도 조사연구결과와 비교하면 김¹¹⁾이 조사한 대학원생의 개인노출농도 310 ppb와 박¹²⁾이 조사한 서울시 교통경찰의 개인노출농도 47 ppb 및 김¹³⁾이 조사한 서울시 택시기사의 개인노출농도 554 ppb에 비해 낮은 노출농도를 나타냈다. 이와 같은 연구 결과는 본 연구의 경우, 이산화질소의 높은 농도에 노출될 가능성이 큰 특수집단(대학원생, 교통경찰, 택시기사)을 대상으로 한 연구와는 달리 가정 주부의 이산화질소 노출농도를 조사한 연구로 기존 연구결과보다 낮은 개인노출농도를 나타낸 것으로 여겨진다.

실내공기질 연구에 있어 제일 중요한 것은 실외 오염물질의 실내유입이 실내공기질에 어느 정도 영향을 미치는지를 파악하여야 하며, 이를 통해 각종 실내 발생원으로부터 방출되는 오염물질이 실내공기질에 미치는 영향을 정량화하는 것이다.¹⁴⁾ 실외에서 발생원이 존재하는 오염물질의 실내유입율을 판단하는 자료로 실내외비(Indoor Outdoor ratio)가 이용되고 있다.¹⁵⁾ 본 연구에서 조사된 울산지역의 여름철 이산화질소의 실내외비는 A, B, C지역 각각 1.4, 1.3, 1.1로 나타났고, 여름철 울산의 이산화질소 농도는 실내 이산화질소의 농도가 실외 이산화질소의 농도보다 높은 것으로 조사되었다. 이러한 연구결과는 실내 취사용 연료의 연소와 실내 흡연 등과 같은 단기간에 발생하는 고농도의 이산화질소 및 실외 이산화질소의 유입에 의한 영향으로 사료된다.

1999년 겨울철 울산지역의 실내·외 이산화질소 농도 및 개인노출농도에 관한 결과는 Tab 2와 같

다.

실내 이산화질소 평균농도는 A지역, B지역 및 C지역 각각 23.1 ± 25.8 ppb, 29.2 ± 22.2 ppb, 43.7 ± 35.8 ppb로 여름철과 같이 석유화학공단과 비철 금속공단이 자리잡고 있는 C지역이 다른 두 지역에 비해 높은 실내 이산화질소 평균농도를 나타냈다.

실외 이산화질소 평균농도는 A, B, C지역 각각 24.4 ± 21.7 ppb, 22.4 ± 16.4 ppb, 39.9 ± 13.6 ppb로 C지역의 실외 이산화질소 평균농도가 다른 두 지역에 비해 높은 평균농도를 보여, 석유화학공단 및 비철금속공단이 위치한 C지역이 주거지역, 주요시가지 및 자동차·조선공업공단이 위치하고 있는 A지역과 B지역에 비해 실외 이산화질소 농도가 높게 분포하고 있는 것으로 조사되었다.

이러한 연구결과는 이산화질소의 발생량은 도시화 및 산업화가 이루어질수록 증가하는 것으로 보고된 바와 같이¹⁶⁾ C지역의 경우 A, B지역에 비해 가장 먼저 산업화가 이루어 졌을 뿐만 아니라, 이에 상응하지 못한 대기질의 관리문제도 영향을 주었을 것으로 사료된다.

평균 개인노출농도는 42.0 ± 23.3 ppb의 농도를 보인 B지역이 21.0 ± 17.4 ppb와 34.9 ± 39.7 ppb의 농도를 보인 A지역과 C지역에 비해 높게 나타났

다. 1999년 겨울철 울산지역의 실내·외 이산화질소 평균농도는 각각 32.6 ± 29.8 ppb, 29.6 ± 18.8 ppb로 나타났으며, 이산화질소의 평균 개인노출농도는 32.0 ± 29.4 ppb로 국내 대기환경기준을 초과하지 않는 것으로 나타났으나, 양¹⁷⁾이 조사한 호주 브리스베인(Brisbane)지역의 개인 이산화질소농도 15.0 ppb에 비해 높은 농도를 나타냈다.

겨울철 울산지역 이산화질소농도의 실내외비는 A, B, C지역 각각 0.9, 1.3, 1.1로 겨울철 울산 주거지역의 이산화질소 농도는 실외농도가 실내농도보다 높은 것으로 조사되었다. 이러한 연구결과는 손¹⁸⁾이 서울시 버스터미널에서 조사한 실내외비 0.9 - 1.0과 유사한 결과를 나타낸 것으로 실내외간의 기류확산이 원활하게 이루어지고 있는 것으로 사료된다.

Table 2. Mean concentrations of nitrogen dioxide by region in Ulsan(1999)

Region	Measurement point	Nitrogen dioxide concentration(ppb)				I/O ⁴⁾
		Mean	S.D. ¹⁾	Min. ²⁾	Max. ³⁾	
A (n=15)	Indoor(n=14)	23.1	25.8	2.9	75.9	0.9
	Outdoor(n=14)	24.4	21.7	4.5	86.0	
	Personal(n=14)	21.0	17.4	2.9	55.5	
B (n=13)	Indoor(n=13)	29.2	22.2	6.3	74.2	1.3
	Outdoor(n=13)	22.4	16.4	7.0	59.4	
	Personal(n=11)	42.0	23.3	15.0	97.6	
C (n=22)	Indoor(n=16)	43.7	35.8	12.3	154.5	1.1
	Outdoor(n=16)	39.9	13.6	18.6	60.6	
	Personal(n=14)	34.9	39.7	7.1	153.5	
Total (n=50)	Indoor(n=43)	32.6	29.8	2.9	154.5	1.1
	Outdoor(n=43)	29.6	18.8	4.5	86.0	
	Personal(n=39)	32.0	29.4	2.9	153.5	

1) Standard deviation.

2) Minimum concentration of nitrogen dioxide.

3) Maximum concentration of nitrogen dioxide.

4) Indoor nitrogen dioxide concentration / outdoor nitrogen dioxide concentration.

Table 3. Mean concentrations of nitrogen dioxide by region in Yeochon(1999)

Region	Measurement point	Nitrogen dioxide concentration(ppb)				I/O ⁴⁾
		Mean	S.D. ¹⁾	Min. ²⁾	Max. ³⁾	
A (n=15)	Indoor(n=12)	8.1	3.5	3.0	15.0	0.9
	Outdoor(n=12)	9.0	2.5	3.0	12.7	
	Personal(n=12)	13.9	8.9	5.1	29.5	
B (n=13)	Indoor(n=16)	11.1	4.8	4.0	22.0	0.9
	Outdoor(n=16)	11.9	4.1	4.9	18.3	
	Personal(n=16)	13.8	5.2	4.3	21.8	
C (n=22)	Indoor(n=22)	13.3	6.2	5.0	30.0	0.9
	Outdoor(n=22)	14.9	5.1	3.0	26.4	
	Personal(n=22)	17.6	11.6	4.8	57.4	
Total (n=50)	Indoor(n=50)	11.4	5.6	3.0	30.0	0.9
	Outdoor(n=50)	12.5	4.8	3.0	26.4	
	Personal(n=50)	15.5	9.2	4.3	57.4	

1) Standard deviation.

2) Minimum concentration of nitrogen dioxide.

3) Maximum concentration of nitrogen dioxide.

4) Indoor nitrogen dioxide concentration / outdoor nitrogen dioxide concentration.

2. 여천의 이산화질소 농도

1999년 겨울철 여천의 실내 이산화질소 농도 및 개인노출농도는 Tab. 3와 같다.

실내 이산화질소 평균농도는 광양제철소가 위치한 내륙지역인 A지역과, 여수 화력발전소 및 울촌 공업단지가 위치한 B지역 및 해상분지로 이루어진 C지역 각각 8.9 ± 3.5 ppb, 11.1 ± 4.8 ppb, 13.3 ± 6.2 ppb로 해상분지로 이루어진 C지역이 다른 두 지역에 비해 높은 평균농도를 나타냈다.

실외 이산화질소 평균농도는 A, B, C지역 각각 9.0 ± 2.5 ppb, 11.9 ± 4.1 ppb, 14.9 ± 5.1 ppb로 실내 이산화질소 농도와 같이 C지역의 실외 이산화질소 평균농도가 다른 두 지역에 비해 높은 평균농도를 보였다. 이러한 결과는 분지지역 내에서 발생된 오염물질이 다른 지역으로의 확산이 원활히 이루어지지 않고 정체함으로써 높은 농도를 나타낸 것으로 여겨지며, 이러한 지역적 특성에 의한 주요 대기오염 사건의 실례로 1950년 멕시코 포자리카(Poza Rica)에서 발생한 대기오염사건을 들 수 있다.¹⁹⁾

이산화질소의 평균 개인노출농도는 또한 C지역(17.6 ± 11.6 ppb)이 A지역(13.9 ± 8.9 ppb) 및 B지역(13.8 ± 5.2 ppb)에 비해 높게 조사되었다.

겨울철 여천지역의 실내·외 이산화질소 평균농도는 각각 11.4 ± 4.8 ppb, 12.5 ± 4.8 ppb로 조사되었고, 이산화질소의 평균 개인노출농도는 15.5 ± 9.2 ppb로 나타났다.

겨울철 여천지역 이산화질소 농도의 실내외비는 A, B, C지역 모두 0.9로 조사되어 울산 지역과 마찬가지로 실외 공기의 실내에의 유입이 적은 것을

나타낸 것으로 생각된다.

3. 이산화질소 농도 비교

3.1 울산의 계절에 따른 이산화질소 농도 변화

우리나라 제1의 석유화학공업단지가 조성되어 있는 울산지역의 여름철 및 겨울철 이산화질소 농도는 표 3과 같다.

여름철 및 겨울철 실내 이산화질소의 평균농도는 각각 28.9 ± 14.8 ppb, 32.6 ± 29.8 ppb로 겨울철의 실내 이산화질소 농도가 여름철 실내 이산화질소 농도에 비해 높게 조사되었고, 실외 이산화질소의 여름철 및 겨울철 평균농도는 각각 23.2 ± 10.5 ppb, 29.6 ± 18.8 ppb로, 겨울철 실외 이산화질소의 농도가 여름철 이산화질소의 농도에 비해 높은 분포를 보였다.

여름철 및 겨울철 이산화질소의 개인노출농도 역시 각각 24.83 ± 11.76 ppb, 31.95 ± 29.39 ppb로 조사되어 겨울철 개인노출농도가 여름철 개인노출농도보다 높게 나타났다.

이러한 연구결과는 신동천²⁰⁾, Lebret²¹⁾이 보고한 연구와 부합되는 결과로 여름철의 경우 대기중의 이산화질소의 상당량이 겨울철에 비해 활발한 광화학반응을 하는 등의 강산성물질로 변화함으로써, 겨울철 대기 중 이산화질소의 농도가 여름철 대기 중의 이산화질소의 농도에 비해 높은 농도를 나타내고 있는 것으로 사료된다.

3.2 울산과 여천의 이산화질소 농도 비교

석유화학공업단지가 조성되어 있는 울산과 여천

Table 4. Indoor, outdoor and personal concentrations of nitrogen dioxide during summer time and winter time in Ulsan.

Measurement point	Mean (ppb) ± S.D. ¹⁾		t-value	Significance
	Summer(1997)	Winter(1998)		
Indoor	28.9 ± 14.9	32.61 ± 29.8	0.9	0.39
Outdoor	23.3 ± 10.5	30.00 ± 18.8	2.0	0.05
Personal	24.8 ± 11.8	32.0 ± 30.0	1.6	0.11

1) Standard deviation.

Table 5. Indoor, outdoor and personal concentrations of nitrogen dioxide between Ulsan and Yeochon.

Measurement point	Mean (ppb) ± S.D. ¹⁾		t-value	Significance
	Ulsan	Yeochon		
Indoor	32.6 ± 29.8	11.4 ± 5.6	3.8	0.00
Outdoor	30.00 ± 19.0	12.5 ± 4.9	6.0	0.00
Personal	32.0 ± 30.0	15.5 ± 9.2	5.1	0.00

1) Standard deviation.

의 이산화질소의 농도를 비교한 결과는 Tab. 5와 같다.

울산 및 여천의 실내 이산화질소의 농도는 각각 32.6 ± 29.8 ppb, 11.4 ± 5.6 ppb로 조사되어 울산지역의 실내 이산화질소의 농도가 여천지역의 이산화질소의 농도에 비해 약 3배정도 높은 것으로 나타났다.

실외 이산화질소의 평균농도는 각각 29.6 ± 18.8 ppb, 12.5 ± 4.8 ppb로 조사되어 역시 울산이 여천에 비해 약 2배정도 높은 농도를 나타내었고 이들 결과에 대한 독립 t 검정 분석결과 유의수준 0.05에서 통계적으로 울산과 여천간의 이산화질소 농도에 대해 유의한 차를 보였다.

울산 및 여천의 이산화질소의 평균 개인노출농도는 각각 32.0 ± 29.4 ppb, 15.5 ± 9.2 ppb로 조사되어 이 또한 실내·외 이산화질소 농도와 같이 약 2배정도 울산지역의 평균 개인노출농도가 여천지역의 평균 개인노출농도에 비해 높은 것으로 조사되었으며, 이 결과 역시 독립 t 검정 분석 결과 유의수준 0.05에서 유의한 결과를 나타냈다.

이러한 연구결과는 울산과 여천의 도시화 및 산업화의 시점에 의한 차이로 나타난 결과로 여겨진다. 울산의 경우 1962년 석유화학공업단지가 조성된 이후 급속한 산업화도시로 발전하였으며, 이에 반해 여천의 경우 1968년 제 2 석유화학공업단지가 건설되어 울산에 이어 제2의 석유화학공업도시로 발전하였다. 이러한 산업화 도시의 발전시기의 차는 두 지역간의 산업화과정에 의해 발생하는 대기중의 이산화질소 농도에 영향을 준 것으로 생각되어, 이는 Jo¹⁶⁾에 의해 수행되어진 실외 이산화질소의 발생량은 도시화 및 산업화에 따라 증가한

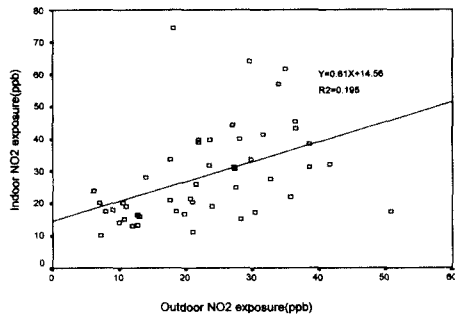
다는 연구와 일치되는 결과를 나타냈다. 또한 이산화질소의 주요 배출원인 두 지역의 자동차 등록현황을 살펴보면 울산의 경우 총 293,000대의 자동차 등록현황²⁰⁾을 나타냈으며, 여천은 총 21,000대의 자동차 등록현황²⁰⁾을 나타내 울산이 여천에 비해 대략 14배에 달하는 차량을 가지고 있어 이로 인한 두 지역간의 이산화질소 농도차이가 무관하지 않은 것으로 사료된다. 이는 Christopher²⁰⁾가 보고한 실외 이산화질소 농도의 주요 요인은 교통량이라는 연구결과와 일치하는 것이다.

울산과 여천의 실내외비는 각각 1.1과 0.9로 조사되어 울산은 실내 이산화질소 농도가 실외 이산화질소 농도보다, 여천은 실외 이산화질소농도가 실내 이산화질소 농도보다 높은 것으로 조사되었으나, 두 지역 간의 실내외비의 차이는 미비한 수준으로 두 지역 모두 기류의 확산이 원활하게 이루어지고 있어 실외 공기의 실내에의 유입이 적은 것으로 생각된다.

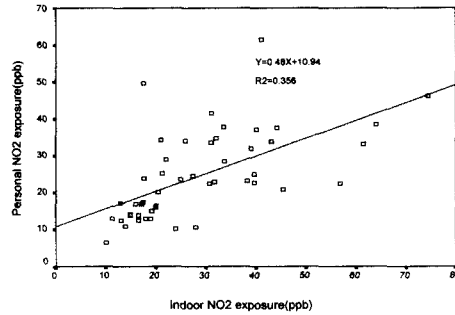
3.3 실내·외 농도 및 개인노출농도의 관계

울산 및 여천의 실내·외 이산화질소의 농도 및 이산화질소의 개인노출농도간의 상관관계를 조사한 결과는 Fig. 5, 6에 나타나 있다.

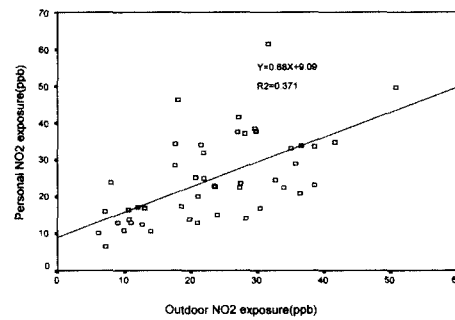
Fig. 5는 1998년 여름에 울산에서 조사된 실내·외 이산화질소농도 및 개인노출농도간의 상관성을 나타낸 것으로 실내 이산화질소농도와 실외 이산화질소 농도간의 r값이 0.44 ($p < .01$)로 약한 정상관계를 나타내고 있으며, 실내 이산화질소농도와 개인노출농도와의 관계는 r값이 0.60 ($p < .01$)로 다소 높은 정상관계를 보였다. 또한 실외 이산화질소농도와 개인노출농도와의 관계는 r값이



(a)



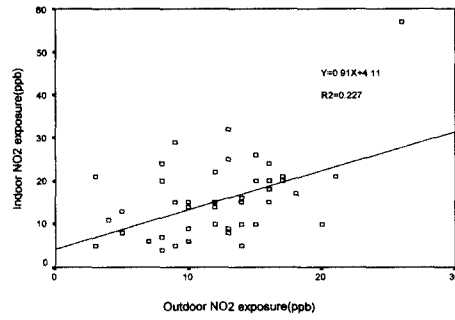
(b)



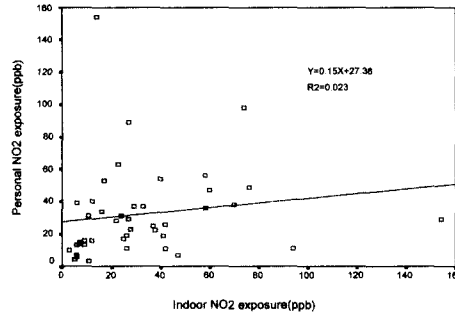
(c)

Fig. 5. Correlations among indoor, outdoor and personal concentrations nitrogen dioxide in Ulsan, 1997. (a) indoor vs Outdoor; (b) Personal vs indoor; (c) Personal vs Outdoor

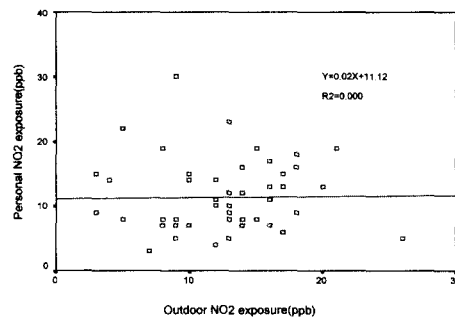
0.61(p <.01)로 높은 정상관관계를 보여 여름철 울산지역의 실내·외 이산화질소 및 개인노출농도 간의 관계는 서로 정상관관계를 나타냈다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6. Correlations among indoor, outdoor and personal concentrations nitrogen dioxide in Yeochon, 1998. (a) Indoor vs Outdoor; (b) Personal vs Indoor; (c) Personal vs Outdoor

Fig. 6은 1999년 겨울철 여천의 실내·외 이산화질소 농도 및 개인노출농도간의 관계를 나타낸 것으로 울산지역에서 조사된 연구결과와 같이 실

내 이산화질소농도와 실외 이산화질소 농도간의 r 값은 0.48 ($p < .01$)으로 약한 정상관관계를 나타냈으며, 실내외 이산화질소농도와 개인노출농도간의 상관관계는 통계적으로 유의성을 나타내지 않았다.

이상의 연구결과는 Linaker²⁶⁾에 의해 보고된 바와 같이 실외 이산화질소농도와 개인노출간에 관련성이 없다는 연구결과와 양¹⁷⁾에 의해 수행되어진 이산화질소의 개인노출농도는 실외농도보다 실내농도에 많은 영향을 받는다는 결과를 고려하여 볼 때, 본 연구 대상지역인 여천과 울산의 이산화질소의 개인노출농도의 경우는 실외 이산화질소 농도보다 실내 이산화질소 농도에 크게 영향을 받고 있음을 나타내고 있는 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 1998년 여름과 1999년 겨울에 울산과 여천에 위치한 일반가정 각각 50가구, 총 100가구를 대상으로 이산화질소의 실내·외 농도 및 개인노출농도를 측정·분석한 연구로 그 결과는 다음과 같다.

1. 울산의 여름철 이산화질소의 실내·외 평균 농도 및 개인노출농도는 각각 28.9 ± 14.8 ppb, 23.2 ± 10.5 ppb, 24.8 ± 11.8 ppb, 겨울철은 각각 32.6 ± 29.8 ppb, 29.6 ± 18.8 ppb, 32.0 ± 29.4 ppb로 나타나 겨울철 농도가 여름철보다 각각 높았다.

2. 여천의 겨울철 이산화질소의 실내·외 평균 농도 및 개인노출농도는 각각 11.4 ± 5.6 ppb, 12.5 ± 4.8 ppb, 15.5 ± 9.2 ppb이었다.

3. 울산과 여천간의 이산화질소 농도를 비교하기 위해 독립 t 검정 분석을 실시한 결과 울산의 대기 중 이산화질소의 농도가 여천의 대기 중 이산화질소 농도에 비해 약 2배 가량 높은 농도분포를 나타냈다.

4. 여름철 울산지역의 실내·외 이산화질소 및 개인노출농도간의 상관관계는 모두 정상관관계를 보였으며, 이는 모두 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

이상의 연구결과 울산공단지역의 경우, 이산화질소 농도는 석유화학공단지역이 기타 자동차·조선공단 지역 및 주거지역 등에 비해 높은 농도를 보인 반면, 여천공단지역의 경우에는 해상분지 지역이 공업지역보다 높게 나타나, 향후 공단지역을 대상으로 한 구체적인 연구수행의 필요성이 제기되었다. 또한 공단지역의 이산화질소 농도는 공단내 오염발생원, 지역적 특성, 보유 차량대수 및 공단의 조성 시기에 따라 영향을 받는 것으로 나타나 보다 체계적이고 장기적인 공단지역내 이산화질소의 발생원 규명 및 행정적 규제가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 순천향대학교 연구비 지원에 의해 수행되었으며 지원에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 환경부 : 대기오염물질의 위해성 평가 및 관리 기술, 1998.
2. U.S. EPA Science Advisory Board. : Reducing Risk : Setting Priorities and strategies for Environmental Protection. Report SAB-EC 90-021, U.S. EPA Washington, D.C., 1987
3. Spengler, J. D., Schwab, M., McDermott, A., Lambert, W. E., and Samet, J. M. : Nitrogen dioxide and respiratory illness in children. Part IV: Effects of housing and meteorologic factors on indoor nitrogen dioxide concentrations. Res. Rep. Health Eff. Inst. 58, 1-29, 1996.
4. Hoek, G., Brunekreef, B., and Hofschreuder, P. : Indoor exposure to airborne particles and nitrogen dioxide during an air pollution episode. J. Air Pollut. Control Assoc. 39, 1348-1349, 1989.
5. Kiyong Lee, Yukio Yanagisawa, John D. Spengler, and Haluk Özkaynak. : Sampling rate evaluation for NO₂ badge:(II) in personal monitoring, Environmental Interna-

- tional, 19, 3-7, 1993.
6. 백성옥 : 도시지역 실내환경 유형별 공기질 독성평가, 한국대기환경학회지, Vol. 14, No. 4, pp.343-360, 1998.
 7. EPA : 1990 연간보고서.
 8. 통계청 : 1996년 울산시 통계연보, 1997.
 9. 김영성, 송철한, 심상규, 김용표, 문길주 : 여천 공업단지 봄, 가을 대기 중 휘발성 유기화합물 농도 비교 연구, 한국대기보전학회지, Vol. 14, No. 2, pp.153-160, 1998.
 10. Yanagisawa. Y., and Nishimura, H. : A badge-type personal sampler for measurement of personal exposure to NO₂ and NO in ambient air. Environ. Int. 8, 235-243, 1983.
 11. Kim, Y.S., Spengler J.D. and Yanagisawa : Measurement of Indoor and Personal Exposure to Nitrogen Dioxide in Korea, Environ. Int., 12, 401-406, 1986.
 12. 박상희 : 이산화질소의 실내농도 및 개인피폭량에 관한 연구, 한양대 석사학위논문, 1989.
 13. 김윤신, 전준민, 홍승철 : 서울시 택시기사의 이산화질소 개인피폭량에 관한 연구, 한국환경위생학회지, Vol 17(2), pp.9-16, 1991.
 14. Yocom, J. D. : Indoor outdoor air Quality relationship-A critical review -, JAPCA, 32, 500-520, 1982.
 15. 장지훈 : 호흡성분진 중 금속성분의 실내외농도에 관한 조사 연구, 한양대학교 석사학위논문, 1994.
 16. W. K. Jo., I. H. Yoon., C. W. Nam : Analysis of air pollution in two major korean cities ; trends seasonal variations, daily 1-hour maximum versus other hour-based concentrations, and standard exceedances, Environmental Pollution, 110, 11-18, 2000.
 17. 양원호, 이기영, 손현석, 정문호 등 : 시간활동도를 이용한 이산화질소 개인노출예측, 대한위생학회지, Vol, 15, No. 2, pp.10-17, 2000.
 18. 손부순, 장봉기, 김영규 등 : 서울시 버스터미널의 이산화질소 및 아황산가스농도, 대한위생학회지, Vol. 12, No. 3, pp.51-59 1997.
 19. 우원기 : 대기오염개론, 동화기술, 1989.
 20. 신동천, 이효민, 김종만, 정용 등 : 일부지역의 실내공기오염도와 건강에 미치는 영향에 관한 연구, 한국대기환경학회지, Vol. 6, No. 1, pp.73-84.
 21. Erik Lebret, David Briggs, Hans van Reeuwijk et al : Small area variations in ambient NO₂ concentrations in four European areas, Atmospheric Environment 34, 177-185, 2000.
 22. 울산시 통계연보, 울산시청, 1998.
 23. 여천시 통계연보, 여천시청, 1998.
 24. Christopher Y. H., Chao, Anthony Law : A study of personal exposure to nitrogen dioxide using passive samplers, Building and Environment 35, 545-533, 2000.
 25. Linaker C. H., Chanhan A. J., Inskip H. M., Holgate S. T : Coggon D. : Personal exposure of children to nitrogen dioxide relative to concentrations in outdoor air, Occupational and Environmental Medicine, 57, 472-476, 2000.