

주택특성에 관련된 실내 이산화질소 농도에 관한 연구

양원호 · 배현주 · 김현용 · 정문식 · 정문호
서울대학교 보건대학원

A Study on Concentration of Indoor Nitrogen Dioxide in Relation to House Characteristics

Won-Ho Yang · Hyun-Joo Bae · Hyun-Yong Kim · Moon-Shik Zong · Moon-Ho Chung
Graduate School of Public Health, Seoul National University

Abstract

Indoor air quality tends to be the dominant contributor to personal exposure, because most people spend over 90% of their time indoors. For some contaminants, exposure to indoor air poses a potentially greater health threat than outdoor air exposures. Indoor nitrogen dioxide (NO₂) levels are mainly affected gas range, flue gas spillage, kerosene heaters, wood-burning appliances and cigarette smoke. In addition, indoor NO₂ levels are influenced by such house characterization as surface reaction and air exchange rate.

In this study, the measurements of indoor and outdoor NO₂ concentrations were taken using identical protocols, and information was collected on housing characteristics using identical questionnaires in 14 houses out of 15 houses for daily 30 days in Brisbane, Australia. The usage of gas range was the most contributing factor in indoor NO₂ concentration in relation to house characteristics. Average indoor and outdoor ratios of NO₂ concentration in electronic and gas cooking houses were 0.6 ± 0.1 and 0.9 ± 0.2 , respectively. The frequency distributions of NO₂ concentration in each house were approximately log-normal. Geometric mean of indoor NO₂ concentrations of electronic and gas cooking houses for daily 30 days ranged from 2.5 ppm to 11.5 ppm with a mean 6.8, and from 4.7 ppm to 28.6 ppm with a mean 15.6 ppm, respectively. The NO₂ concentrations between electronic and gas cooking houses were significantly different ($p < 0.05$). Since each house has different life-style and house characteristics, sampling interval to measure the NO₂ levels was recommended above 7 days.

Key words : Indoor air quality, Nitrogen dioxide, House characteristic, Indoor/outdoor ratio

I. 서 론

현대 생활에서 대부분의 사람들은 90% 이상을

실내(가정, 일반사무실, 실내작업장, 공공건물, 지하시설물, 상가, 음식점, 자동차, 지하철 등)에서 생활하기 때문에 실내공기질(indoor air quality)은

개인이 오염물질에 노출되는 주요한 요인이다.¹⁾ 특히, 어떤 오염물질들은 실외보다 실내에서 높기 때문에 더 큰 건강위해를 줄 수도 있다.²⁾

대기오염은 자연적인 희석률이 크고, 사회적 인식 확대 및 각종 규제 등으로 인하여 대기오염 수준은 억제되고 있으나, 실내공기는 한정된 공간에서 인공적인 설비를 통하여 오염된 공기가 계속적으로 순환되면서 오염 농도가 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있을 정도로 증가될 수 있다.³⁾ 또한, 1970년대 이후 에너지 보존을 위한 다양한 산업기술이 만들어 낸 새로운 건축자재가 공공건물 뿐만 아니라 일반주택에도 사용되고 있는데, 이와 같은 새로운 건축자재에서 여러가지 오염물질이 방출되고 있으며, 또한 경제 수준이 향상되면서 다양한 생활용품의 사용함에 따라 오염물질의 방출이 증가되고 있다.⁴⁾ 에너지 절감률을 높이기 위해 건물의 밀폐화가 진행되면서 특히 1970년대 초에 들어선 각국에서도 사무실에서 일하는 직장인들 가운데, 일시적 또는 만성적인 건강과 관련된 증상을 호소하는 사례가 증가되고 있다. 이들의 증상 중에 두통, 안질, 후두염, 알레르기성 질환, 어지러움 등의 각종 증세는 실내공기오염에 의한 것으로 밝혀지고 있으며, 이것을 일명 빌딩증후군(sick building syndrome) 또는 빌딩 관련 질병이라 한다.⁵⁾ 또한 실내의 오염물질의 농도가 낮더라도 장기간 노출됨에 따라 전체 노출량을 보면 매우 커다란 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.⁶⁾

이산화질소(NO_2)는 고온의 연소과정에서 발생하는 부산물로서 차량, 발전소와 산업장 등에서 발생되고 있다. 실내에서 이산화질소의 농도는 가스레인지를, 케로센(kerosene) 난방기, 흡연에 주로 영향을 받는다.⁷⁾ 그리고, 실내 이산화질소의 농도는 공기환기량(air exchange rate)과 실내 표면 반응과 같은 집특성에 영향을 받는다. 또한, 이산화질소는 호흡기 증상과 관련된 각종 질환을 유발시키는 것으로 보고 되고 있다.^{8,9)}

따라서, 환경역학과 관련하여 개인 오염물질의 정확한 노출평가가 요구되고 있다. 개인의 노출평가는 직접적으로 또는 간접적으로 결정될 수 있다. 직접적인 방법으로 개인의 호흡기 근처에서 측정하는 방법과 생체지수(biomarkers)를 이용할 수 있

으며, 간접적인 방법으로는 실내 및 실외 공기농도를 측정하여 이용한다.¹⁰⁾ 그러나, 개인의 활동범위가 다양하여 매일의 생활범위가 다르기 때문에 공기 오염물질과 연관된 위해성평가에서 정확한 노출평가는 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 30일 동안 매일 이산화질소 농도를 측정하여, 집특성과 관련된 실내에서의 이산화질소 발생 특성을 파악하여, 위해성평가에 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 조사지역 및 방법

1. 조사지역 및 대상지역

조사기간은 1999년 4월 23일부터 5월 30일까지였으며, 조사대상지역은 호주 브리스베인(Brisbane)의 일반 가정집 15가구를 30일 동안 매일 연속해서 실내 및 실외의 NO_2 농도를 수동식 시료채취기(passive sampler)를 이용하여 측정하였다. 실내에서 취사용으로 가스레인을 사용하는 주택 6가구, 전기레인을 사용하는 주택 6가구, 전기레인을 사용하고 실내에서 흡연을 하는 주택 2가구와 가스레인을 사용하고 실내에서 흡연을 하는 주택 1가구였다.

2. 측정 및 분석방법

NO_2 의 측정은 수동식 시료채취기를 사용하였다.¹¹⁾ 수동식 시료채취기는 자연적인 기류를 이용하여 확산(diffusion)과 투과(infiltration)라는 물리적인 과정에 의해 실내와 실외의 NO_2 농도를 측정하는 장치이다. 수동식 시료채취기는 부품(badge case, spacer)을 이용하여 Queensland University of Technology에서 직접 제조하였으며, 수거 후 spectrophotometer (Beckman DU 640)를 이용하여 정량분석을 하였다.

수동식 시료채취기는 15명에게 프로토콜(protocol)과 기록지(data-logger)를 함께 나누어주었으며, 설치 방법과 주의 사항을 15명 각각에게 직접 설명하였다. 수동식 시료채취기는 1주일 단위로 분배 및 수거를 하였다. 수동식 시료채취기의 정밀도를 분석하기 위해서 수요일마다 실내 및 실외에 각각 이중측정(duplicate measurement)하였다. 수

동식 시료채취기는 가정에서 사람들이 가장 잘 모이는 거실에 설치가 되었으며, 샘플링 위치는 연소장치 발생원에서 3m 이상 그리고 창문 또는 문으로부터 2m 이상이 되도록 하였다. 실외에 설치될 수동식 시료채취기는 지면으로부터 1m 이상이 되도록 하고, 비나 눈으로부터 보호될 수 있도록 했으며, 환기가 잘되는 곳에 위치하도록 하였다. 측정과 함께 집특성과 관련된 설문지가 함께 조사되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 집 특성

본 연구는 15명의 참가자가 자발적으로 지원하였으며, 참가자: Queensland University of Technology의 직원이었다. NO₂의 농도측정은 참가자 15명중에서 한 집이 1주일 후 개인 사정으로 제외되어 주택 총 14가구에서 수행되었다. 가스레인지, 흡연, 집과 연결된 차고, 침대수, 집안 재질과 창문의 사용빈도가 실내 NO₂ 농도에 영향을 줄 수 있기 때문에, 이와 관련된 집특성 설문지를 작성하여 함께 조사하였다. 조사된 집특성은 Table 1에 나타내었다.

모든 집에서 평균 가족수는 3.4명이었고, 침대수는 평균 3.4이었다. 실내의 주된 재질은 나무(주택 8가구)와 플라스터(plaster, 주택 6가구)였다. 취사용으로 가스레인지를 사용하는 주택은 7가구였으며, NO₂의 주요 발생원인인 Pilot-light¹²⁾를 사용하는 집은 없었다. 케로센 난방기나 석탄을 사용하는 곳도 없었다. 호주의 브리스베인은 계절의 연간 기온차가 8°C 정도이며, 조사기간의 4~5월은 남반구

Table 1. House characteristics in 14 houses

	Number of house with the house characteristic	Number of house without the house characteristic
House type (single detached house)	10	4
Attached garage	8	6
Smoker	1	13
Gas range	7	7
Window open	13	1

이기 때문에 가을철이었지만, 조사 기간동안 기온은 22~25°C였다. 또한, 조사된 주택의 13가구(93%)는 샘플링동안 자주 창문을 열고 있었다. 공기 정화기와 환기시설은 갖고 있는 주택은 없었다.

2. 상대정밀도

이중측정(duplicate measurement)을 이용하여 상대정밀도를 분석하였다. 매주 수요일마다 실행된 이중측정의 상대정밀도는 각 이중측정의 절대 차이의 표준편차를 총 평균농도로 나누어 계산하였다. NO₂의 측정은 모든 수동식 시료채취기에서 8.3%의 상대정밀도를 보였다. 샘플링 장소에 따른 측정은 실내에서 6.8%와 실외에서 10.3%를 나타내었다. 이중측정된 수동식 시료채취기 사이의 상관계수(r)는 0.95였다(Fig. 1).

3. 실내 및 실외 이산화질소 농도

측정된 각각의 14가구에서 NO₂의 농도는 근사적으로 Log-normal 분포를 보였다(p<0.05). 실내 NO₂ 농도는 흡연, 가스레인지의 사용, 차고, 침대수 및 실내 주된 재질 등과 같은 주택특성과 관련이 있다^{13,14)}. 이 연구에서는 주택특성과 관련하여 취사용 가스레인지의 사용유무가 실내 NO₂ 농도에 가장 큰 영향을 주는 요인 이었다(Table 2). 이

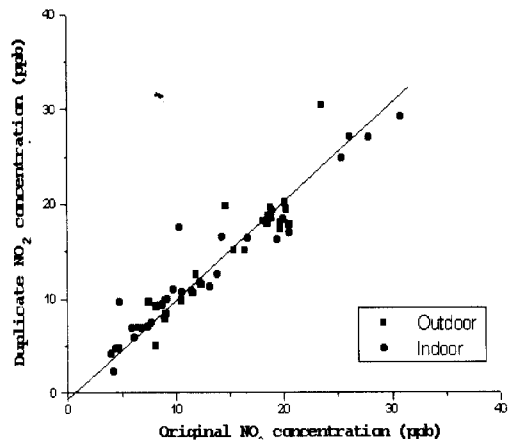


Fig. 1. Relationship between original NO₂ concentration and duplicate NO₂ concentration.

Table 2. House characteristic associated with indoor NO₂ concentration

	Mean indoor NO ₂ with characteristics (ppb)	Mean indoor NO ₂ without characteristics (ppb)	t-value	p-value
Gas range	15.6 ± 8.7	6.8 ± 3.3	-2.0330	0.04

Table 3. Geometric mean concentrations of indoor and outdoor concentration, and indoor/outdoor ratios of daily NO₂ measurements for 30 days in 14 houses

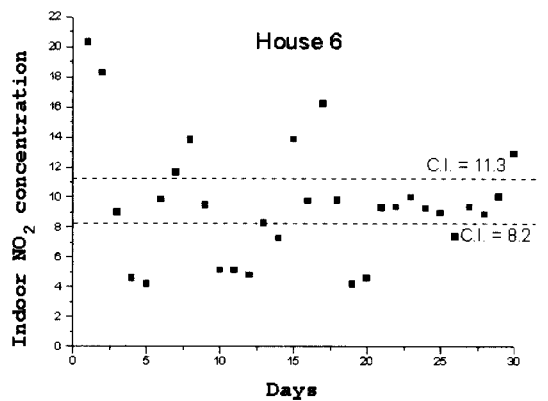
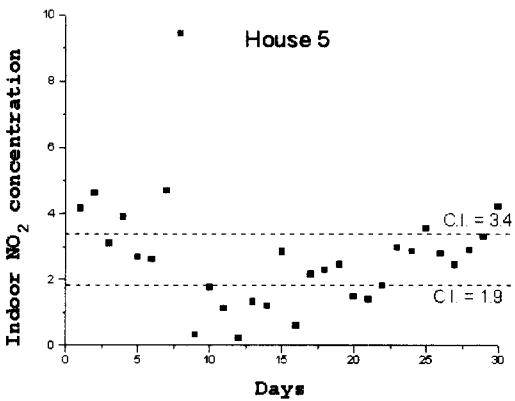
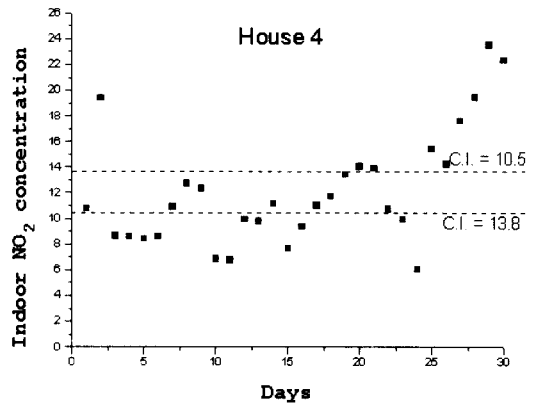
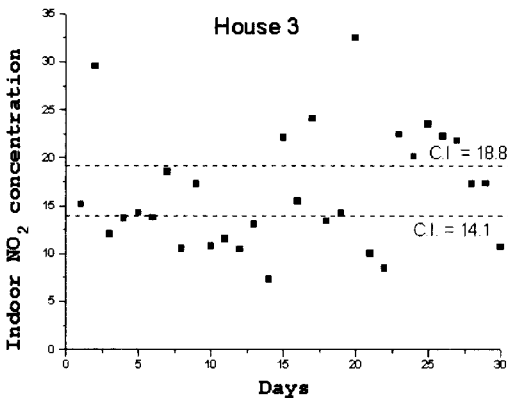
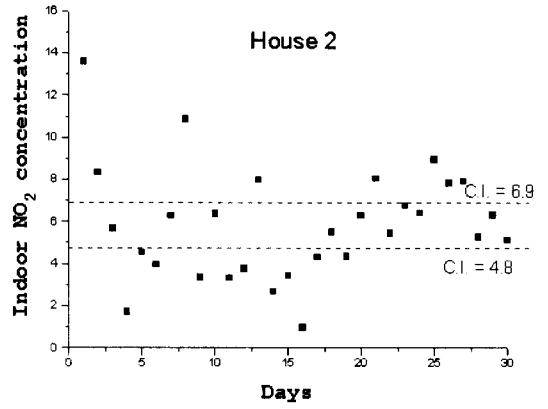
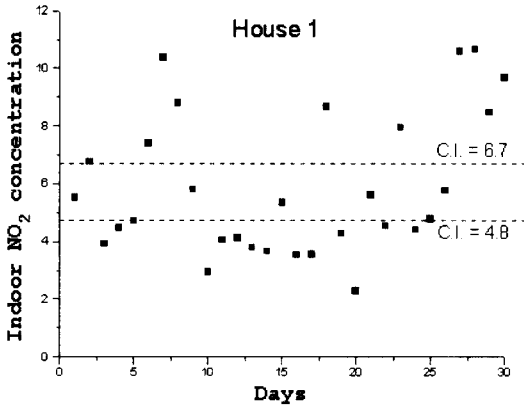
		Indoor (ppb)	Outdoor (ppb)	Indoor/outdoor
Electronic range	House 1	5.3 ± 2.4	8.8 ± 4.4	0.6
	House 2	5.2 ± 2.7	7.8 ± 4.1	0.7
	House 3	7.8 ± 4.1	15.4 ± 6.2	0.5
	House 4	11.4 ± 4.4	18.4 ± 6.6	0.6
	House 5	2.1 ± 1.7	2.8 ± 3.0	0.7
	House 6	8.9 ± 4.1	12.6 ± 6.5	0.7
Gas range	House 7	21.9 ± 7.7	25.1 ± 10.5	0.9
	House 8	6.5 ± 3.5	8.2 ± 5.3	0.8
	House 9	4.7 ± 5.2	5.7 ± 7.1	0.8
	House 10	15.1 ± 7.2	14.8 ± 8.4	1.0
	House 11	28.6 ± 10.0	23.2 ± 11.0	1.2
	House 12	11.5 ± 4.7	12.6 ± 6.6	0.9
Smoking	House 13	16.7 ± 3.2	19.4 ± 4.3	0.7
Gas range and smoking	House 14	20.9 ± 6.8	17.1 ± 4.3	1.2

런 결과로부터 주택 14가구 각각 NO₂의 평균 실내와 실외농도 및 실내/실외 농도비를 가스레인지 사용여부에 따라 Table 3.에 나타내었다.

각 가구에서 실내 및 실외의 표준편차를 비교해 보면, 실내보다는 실외에서 더 높은 값을 보였다. 그 이유는 일반적으로 실외 바람의 속도가 실내보다 크기 때문인 것으로 생각된다.¹¹⁾ 가스레인지를 사용하는 집들과 전기레인지를 사용하는 집들의 표준편차를 보면 가스레인지를 사용하는 집들에서 NO₂의 농도 변화가 더 크음을 알 수 있다. 그 이유는 그날의 가스레인지 사용량과 강도 및 사용시간에 의존하여 실내 발생량의 변이가 크기 때문인 것으로 생각된다.

실내/실외 NO₂ 농도비는 전기레인지를 사용하

는 집들이 0.5에서 0.7의 범위를 가지며, 평균 0.6 (±0.1)이었다. 가스레인지가 없는 주택에서 연간 NO₂의 실내/실외 농도비가 약 0.6으로 추정된 미국주택의 결과와 비슷한 값을 나타내었다.¹⁵⁾ 반면에 본 연구에서는 가스레인지를 사용하는 집들은 0.8에서 1.2까지의 범위를 가지며, 평균 0.9(±0.2)이었다. 가스레인지의 연소과정에서 NO₂ 발생으로 상대적으로 높은 실내/실외 농도비를 보였다.¹⁶⁾ 이 값은 다른 연구에 비해서 다소 적은 값을 나타내었는데¹³⁾, 샘플기간 동안 자주 창문을 열어 놓았기 때문인 것으로 생각된다. 따라서, 대기환경 역학연구에서 대상 오염물질을 선정할 때, NO₂와 같이 실내 발생원이 있는 것은 노출평가에 오차를 초래할 수 있을 것이다.¹⁷⁾



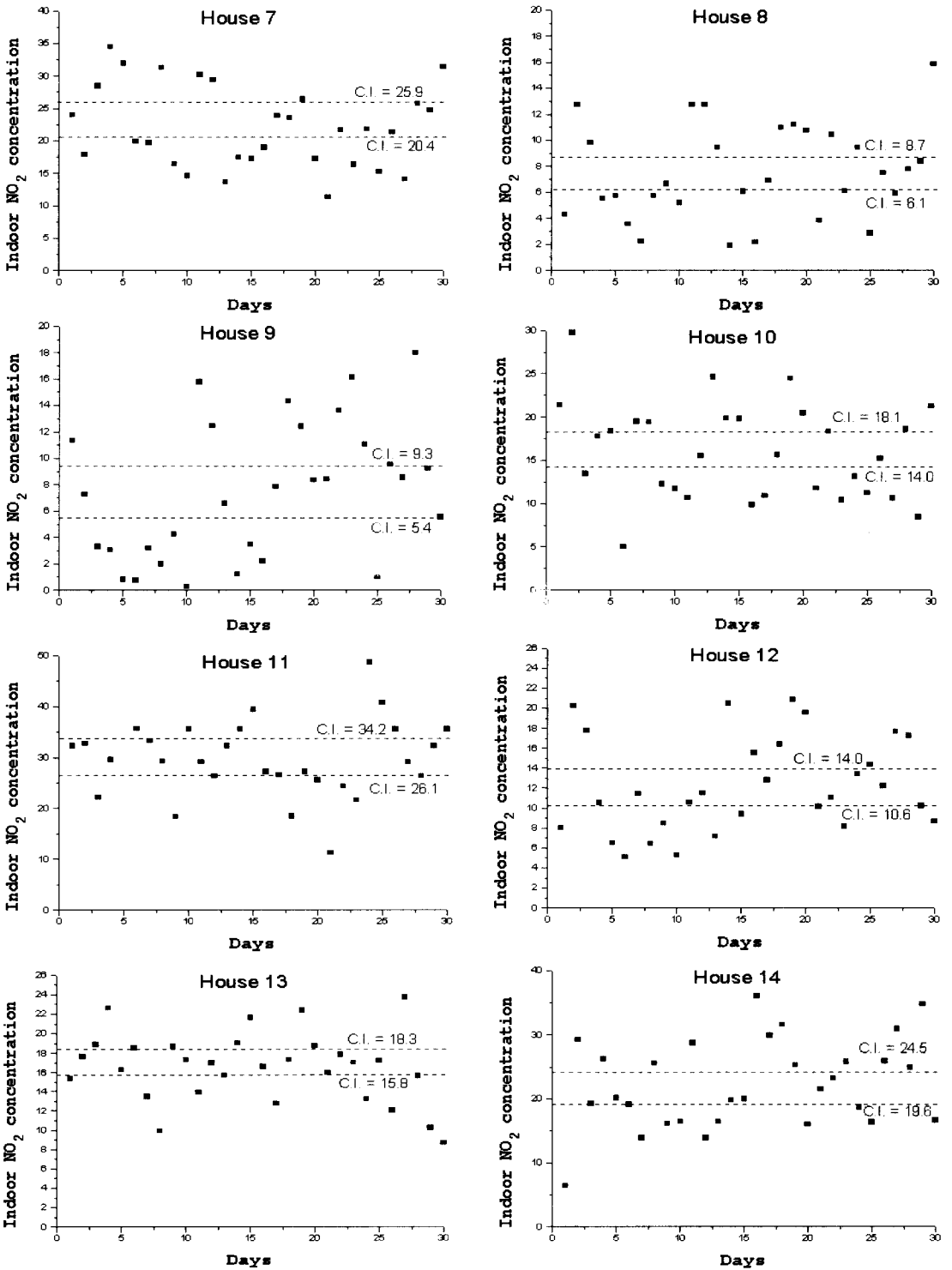


Fig. 2. Indoor NO₂ concentrations for daily 30 days in 14 each house.(C.I.: Confidence interval at 95%)

4. NO₂ 농도변화

각 주택에서 30일 동안의 NO₂ 농도의 변화를 신뢰구간과 함께 나타내었다(Fig. 2). 오염물질에 대한 노출평가지 직접적 또는 간접적 방법을 사용하며, 측정의 어려움 등으로 주로 1일 또는 2일, 7일 또는 14일 정도의 측정기간을 많이 이용한다.^{13,19,20)} 30일 동안 매일의 측정결과를 보면 전기레인지와 같이 발생원이 없는 것으로 가정되는 집에서조차 매일마다 농도의 차이가 있었다. 이것은 실외 NO₂ 농도 변화와 환기량으로 매일마다 실내로 유입되는 NO₂ 농도가 차이가 나고 있기 때문으로 생각된다.

주택 14가구에서 30일 동안 매일의 NO₂ 농도를 3일씩 10개의 군으로 나누고, 10개 군의 평균농도를 One-way Anova test를 하였다. 각 주택 14가구에서 주택 5가구가 신뢰도 95%에서 유의한 차이를 보였다. 같은 방법으로 4일씩, 5일씩, 6일씩, 7일씩 그리고 8일씩으로 나누어 NO₂의 평균농도를 비교하였다. 4일씩에는 주택 3가구, 5일씩에는 주택 3가구, 6일씩에는 주택 1가구가 유의한 차이를 보였으며, 7일씩과 8일씩에는 유의한 차이를 보이는 가구는 없었다. 실내공기에 영향을 주는 많은 요인들이 있지만, 일반 가정에서는 생활주기를 1주일로 볼 수 있기에 이런 결과를 보인 것으로 생각된다. 따라서, 실내에서 오염물질의 측정은 일반가정의 생활주기(life-cycle)를 고려하여 7일 이상 측정하는 것이 노출측정의 오차를 줄일 수 있는 방법이라 생각된다.

IV. 결 론

호주 브리스베인의 주택특성과 관련하여 일반 가정집 14가구를 30일 동안 매일 연속해서 실내 및 실외의 이산화질소를 측정하여 NO₂의 농도변화를 살펴보았다. 본 연구는 한국 가정에서 취사용으로 가스레인지의 사용이 일반적인 것을 고려하면, 실내의 NO₂ 및 다른 오염물질에 관한 연구에 기초자료가 될 것이다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. NO₂ 측정에 이용된 수동식 시료채취기는 8.5%의 상대정밀도를 보였다. 실내에서 6.8%와 실외에서 10.3%를 나타내었다. 이중측정된 수동식 시료채취기 간의 상관계수(r)는 0.95였다.
2. 주택 14가구에서 각각의 NO₂ 농도는 근사적으로 log-normal 분포를 보였다 (p<0.05).
3. 주택특성과 관련하여 취사용으로 가스레인지의 사용유무가 실내 NO₂ 농도에 가장 큰 영향을 주는 요인이었다(p=0.04). 가스레인지를 사용하는 가구에서 평균 NO₂ 농도는 15.6 ppm (± 8.7)이었으며, 전기레인지를 사용하는 가구에서는 6.8 ppm (± 3.3)이었다.
4. 실내/실외 농도비는 전기가스레인지를 사용하는 가구들이 평균 0.6(± 0.1)이었으며, 가스레인지를 사용하는 가구들이 0.9(± 0.2)였다.
5. 일반 가정주택 실내공기 측정은 생활주기를 고려하여 7일 이상을 측정해야 비교적 오차가 없는 실내평균농도를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 Korea-Australia Fellowship에 의하여 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. Esmen, N. A. : The status of indoor air pollution, Environmental Health Perspectives, 62, 259-265, 1985.
2. 환경부 : 실내공기질 관리방안에 관한 연구, 1999.
3. Wood, J. E. : An Engineering approach to controlling indoor air quality, Environmental Health Perspectives, 95, 15-21, 1991.
4. Fellin, P. and Otson, R. : Assessment of the influence of climatic factors on concentration levels of volatile organic compounds(VOCs) in Canadian homes, Atmospheric Environment, 4(22), 3581-3386, 1994.
5. Godish, T. : Indoor air pollution control, New York, Lewis, 6-12, 1991.

6. Xiping, X. U. and Wang, L. : Effects of air pollution on adult pulmonary function, *Archives of Environmental Health*, 46(4), 198-206, 1991.
7. Wikes, C.R., Koontz, M.D. and Billick, I.H. : Analysis of sampling strategies for estimating annual average indoor NO₂ concentrations in residence with gas appliance, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 46, 853-860, 1996.
8. World Health Organization (WHO) : Air Quality Guidelines for Europe. European Series No. 23. WHO, Copenhagen, Denmark, 297-310, 1987.
9. Bauer, M. A., Utell, M. J., Morrow, P. E., Speers, D. M., and Gibb, H. P. : Inhalation of 0.3 ppm nitrogen dioxide potentiates exercise-induced bronchospasm in asthmatics, *Am. Rev. Respir. Dis.*, 134, 1203-1208, 1986.
10. Monn, C., Brandli, O., Schindler, C., Ackermann-Liebrich, U., Leuenberger, P., and SAPALDIA Team : Personal exposure to nitrogen dioxide in Switzerland, *The Science of the Total Environment*, 215, 243-251, 1998.
11. Yanagisawa, Y. and Nishimura, H. : A badge-type personal sampler for measurement of personal exposures to NO₂ and NO in ambient air, *Environment International*, 8, 235-242, 1982.
12. Spengler, J. D., Schwab, M., Ryan, P. B., Colome, S., Wilson A. L., Billick, I. H., and Becker, E. J. : Personal exposure to nitrogen-dioxide in the Los-Angeles basin, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 44, 39-47, 1994.
13. Levy, J. I., et al. : Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure : An international study, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 48, 553-560, 1998.
14. Spicer, C. W., Coutant, R. W., Ward, G. F., and Joseph, D. W. : Rates and mechanisms of NO₂ removal from indoor air by residential materials, *Environmental International*, 15, 634-654, 1989.
15. Sexton, K., Letz, R., and Spengler, J. D. : Estimating human exposure to nitrogen dioxide : an indoor/outdoor modeling approach, *Environmental Research*, 32, 151-166, 1983.
16. Barry, P., Soczek, M. I., Spengler, J. D., and Billick, I. H. : The Boston residential NO₂ characterization study : I. preliminary evaluation of the survey methodology, *JAPCA*, 38, 22-27, 1988.
17. Lee, J. T., Shin, D., and Chung, Y. : Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea, *Environmental Health Perspective*, 107, 2, 1999.
18. Lee, K., Yanagisawa, Y., Spengler, J. D., and Billick, I. H. : Determination of nitrogen generation and decay rates using mass balance model, *Proceedings of Indoor Air '93*, 3, 171-176, 1993.
19. Lee, K., Levy, I. V., Yanagisawa, Y., and Spengler, J. D. : The Boston residential nitrogen dioxide characterization study : classification and prediction of indoor NO₂ exposure, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 48, 736-742, 1998.