

평일과 주말의 활동변화에 따른 대학생들의 이산화질소 노출

양원호[†] · 손부순* · 박종안* · 정문호

서울대학교 보건대학원 환경보건학과
*순천향대학교 자연과학대학 환경보건학과

Determination of Nitrogen Dioxide Exposure for University Students by Activity Pattern of Weekday and Weekend

Won Ho Yang[†], Bu Soon Son*, Jong An Park* and Moon Ho Chung

Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University

*Department of Environmental Health Science, College of Natural Sciences, Soonchunhyang University

(Received 8 November 2000 ; Accepted 15 December 2000)

ABSTRACT

Indoor air quality tends to be the dominant contributor to personal exposure, because most people spend over 80% of their time indoors. In this study, indoor and outdoor NO₂ concentrations were measured and compared with simultaneously personal exposures of 21 university students in weekday and weekend. House characteristics and activity pattern were used to determine the impacts of these factors on personal exposure. Since university students spent most of their times in indoor, their NO₂ exposure was associated with indoor NO₂ level rather than outdoor NO₂ level both weekday and weekend in spite of different time activity. Using time-weighted average model, NO₂ exposures of university students were estimated by NO₂ measurements in indoor home, indoor school, and outdoor home levels. Estimated NO₂ personal exposures were significantly correlated with measured NO₂ personal exposures ($r^2=0.87$). However, estimated personal NO₂ exposures by time-weighted average model were underestimated, comparing with the measured personal NO₂ exposures. Using multiple regression analysis, effect of personal NO₂ exposure for transportation was confirmed.

Keywords : Personal exposure, Nitrogen dioxide, Time-weighted average, Transportation

I. 서 론

인간이 생명을 유지하기 위해서는 항상 신선한 공기를 충분히 공급받아야 함에도 불구하고 세계의 주요 도시는 대기오염이 심각한 실정이며, 우리나라도 1970년대 이후 산업 구조의 대형화로 에너지 소비가 급증함으로써 대기 오염물질의 발생량이 증가하여 최근에는 주요 대도시의 대기오염이 심각한 상태이다.¹⁾ 대기오염은 자연적인 희석률이 크고, 사회적 인식 확대 및 각종 규제 등으로 인하여 대기오염 수준은 억제되고 있으나, 실내공기는 한정된 공간에서 오염 농도가 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있을 정도로 증가될 수 있다.²⁾

그러나, 대부분의 사람들은 실내오염이 인체에 미치는 영향이 실외 대기오염보다 더욱 중요하다는 사실을 거의 인식하지 못하며, 실내 오염물질의 성질과 농도에 대해서도 확실히 파악하지 못하는 실정이다.³⁾

이산화질소(NO₂)는 고온의 연소과정에서 발생하는 부산물로서 실외 대기에서는 차량과 산업장 등에서 발생되며, 실내에서는 가스레인지, 케로센(kerosene) 난방기, 흡연과 같은 연소 과정에서 발생된다.⁴⁾ 그리고, 실내 NO₂의 농도는 환기량(air exchange rate)과 실내 표면 반응과 같은 주택특성에 영향을 받는다.⁵⁾ NO₂는 호흡기 증상과 관련된 각종 질환을 유발시킬 수 있는 것으로 보고되고 있으며,⁶⁾ 인간에 대한 NO₂ 체감양상은 1~3 ppm에서 냄새감지, 코의 자극, 호흡곤란, 급성호흡곤란, 폐수종(肺水腫) 발병 등의 영향이 나타나며 심하면 사망에 이르게 된다.⁷⁾

인간은 하루 24시간 중 대략 80% 이상을 실내(가정, 사무실, 실내작업장, 공공건물, 지하시설물, 상가,

[†]Corresponding author : School of Public Health, Seoul National University 28, Yunkeun-Dong, Chongro-ku Seoul 110-799, KOREA
Tel: 02-740-8870, Fax: 02-3672-1140
E-mail: yangwonho@hotmail.com

음식점, 자동차 등에서 생활하기 때문에 실내공기질은 개인이 오염물질에 노출되는 주요한 요인이다.⁸⁾ 따라서, 공기 오염물질 노출은 각 개인의 실내환경(집, 학교, 차량 등)에서 활동시간과 그 실내환경의 농도의 곱으로 예측할 수 있다.⁹⁾

개인의 노출평가는 직접적으로 또는 간접적으로 결정될 수 있다. 직접적인 방법으로 개인의 호흡기 근처에서 측정하는 방법과 생체지수(bio-markers)를 이용할 수 있으며, 간접적인 방법으로는 실내 및 실외 공기농도를 측정하여 이용한다.¹⁰⁾ 직접적인 개인노출의 방법은 측정기구의 정확성 및 개인생활의 간섭 등으로 어려움이 있기 때문에, 간접적 방법으로 개인노출을 예측하지만 개인의 활동범위가 다양하여 매일의 생활범위가 다르기 때문에 공기 오염물질과 연관된 위해성평가(risk assessment)에서 정확한 노출평가는 어려운 형편이다.

또한 오염물질의 개인노출은 계절적 요소와 연령별에 따라 활동형태(activity pattern)가 다르기 때문에 다양한 계층의 폭 넓은 연구가 요구된다. 그 동안 평일에 일상적으로 활동하는 직장인에 대한 오염물질의 노출연구는 있었으나,¹¹⁾ 가장 활동력이 왕성하며 수강과목에 따라 비교적 일정하지 않은 활동시간을 갖고 있는 대학생들에 대한 오염물질의 노출연구는 부족한 실정이다. 본 연구는 대학생을 대상으로 평일 2일과 주말 2일의 NO₂ 개인노출을 측정하고 동시에 시간활동도를 조사하여 대학생들의 노출정도 평가하고 시간가중치 평균 모델을 적용하여 예측하였다.

II. 연구방법

주택의 실내 및 실외 이산화질소(NO₂) 농도 측정과 동시에 대학생들의 NO₂ 개인노출을 측정하였다. 또한 대학생들의 시간에 따른 활동을 함께 조사함으로써 대학생들 각 개인의 활동에 따른 NO₂ 노출정도를 파악하였다. 또한 설문지에 의한 주택특성 및 대학생들의 생활양식(life-style)을 조사함으로써 실내 NO₂ 농도 발생의 연관성 및 요인을 파악하였다.

1. 연구대상

충청남도 S대학교 학생을 대상으로 수동식 시료채취기(passive sampler)를 이용하여 참여자 각 주택의 실내 및 실외의 NO₂ 농도를 각각 측정하였으며, 동시에 대학생 개인 NO₂ 노출을 측정하였다. 학교의 강의실, 복도 1층 2층 3층 및 도서관과 학교 실외의 NO₂ 농도를 측정하였으며, 강의시간을 고려하여 학교의 실내 및 실외 측정은 오전 9시부터 오후 5시까지 측정하였다.

취업준비 등으로 많은 시간을 도서관 등의 실내에서 보낼 수 있는 4학년은 제외하였으며, 측정기간은 기말시험이 없는 평일 2000년 5월 30일과 31일, 주말 6월 3일과 4일 각 2일 동안이었다.

수동식 시료채취기는 흡연에 의한 영향을 제어하기 위하여 비흡연자를 중심으로 자원자인 25명에게 시료채취기 사용법(protocol)과 기록지(data-logger)를 함께 나누어 주었으며, 설치 방법과 주의 사항을 직접 설명하였다. 설문지는 주택특성(house characterization) 및 대학생들 개인의 생활양식(life-style)에 관한 내용이었다. 시간활동표는 오전 6시(06:00)부터 오후 12시(24:00)까지는 30분 단위로 표시(√)하도록 설명하였으며, 오후 12시부터 오전 6까지는 1시간 단위로 표시(√)하였다. 시간활동표에서 실내는 모든 집, 상점, 또는 백화점 등의 실내공간을 의미하였으며, 실외는 실외공간을 의미하였다. 시간활동표는 NO₂ 개인노출과 동시에 측정되었으며, 수거한 시간활동표는 각 장소별로 표시한 곳을 계수하여 참여자 각자의 각 장소별 보낸 시간을 계산하였다.

2. 측정 및 분석방법

모든 NO₂의 농도측정은 수동식 시료채취기(passive monitor)가 이용되었다. 수동식 시료채취기는 자연적인 기류를 이용하여 확산(diffusion)과 투과(infiltration)라는 물리적인 과정과 반응에 의한 화학적 반응을 이용하여 실내와 실외의 NO₂를 측정하는 장치이다. 수동식 시료채취기는 작고(5×4×1 cm) 가볍다(15 g). 수동식 시료채취기 안에 셀룰로우스 필터에는 triethanolamine 용액에 NO₂가 흡수된다. Sulfanilic acid 5g, phosphoric acid(85%) 50 ml과 NEDA(N-(1-Naphtyl) ethylenediamine dihydrochloride, 98%) 0.05 g을 이용하여 color reagent(azodye-forming) 1 l를 제조하였다.¹²⁾ 수동식 시료채취기를 NO₂가 존재하지 않는 chamber에서 분해하여 셀룰로우스 필터를 시험관(16×100 mm)에 넣고, color reagent 10.0 ml를 시험관에 주입하였다. NO₂ 농도 계산식에 이용된 물질전환계수 값은 0.10 cm/sec를 이용하였다.¹³⁾ 정량분석은 photospectrometer(SHIMADZU UV-1201)를 이용하여 545 nm 파장에서 측정하였다.

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

3. 시간가중치 모델

이산화질소의 개인노출은 시간활동도와 각 실내환경 (micro-environment) 농도의 시간 가중평균치를 이용하여 예측될 수 있다.¹⁴⁾ 모든 실내환경이 본 연구에서 측정된 것은 아니지만, 개인 NO₂ 노출은 식 (1)과 같이 참여자 각 개인의 주택의 실내 및 실외 농도, 학교의 실내 및 실외의 농도를 측정하여 예측되었다.

$$P_i = \frac{(IH_i \cdot I_i + OH_i \cdot O_i + SI_i \cdot S_i + SO_i \cdot SO_i)}{(IH_i + OH_i + SI_i + SO_i)} \quad (1)$$

여기서, P_i=estimated time-weighted average personal NO₂ exposure for participant i, IH_i=number of hours spent inside the home for participant i during sampling period, OH_i=number of hours spent outside the home for participant i during sampling period, SI_i=number of hours spent inside the school for participant i during sampling period, SO_i=number of hours spent outside the school for participant I during sampling period, I_i=measured average indoor NO₂ concentration for participant i, O_i=measured average outdoor NO₂ concentration for participant i, S_i=measured average indoor school NO₂ concentration for participant i and SO_i=measured average outdoor school NO₂ concentration for participant i.

III. 결과 및 고찰

1. 주택특성 및 개인성향

총 참여 대학생은 25명이었고, NO₂ 측정기 손실과 시간활동도의 기록 부실 등으로 21명의 참여자의 자료

가 수거되었다. 참여 대학생의 평균 나이는 만 19.6세 이었으며, 남성 11명과 여성 10이었다. 주택특성에 관한 내용은 Table 1에 나타내었다. 한 가정의 평균 가족 수는 3.8명이었다. NO₂ 발생원의 하나인 취사용 가스 렌지의 사용은 기숙사 생활을 하는 2명을 제외한 모든 집에서 사용하였으며, 측정기간 동안 하루 평균 가스렌지의 사용량은 2.1시간이었다. 참여자들의 통학 등에 의한 차량(버스 또는 지하철)에서 보낸 시간은 평균 2.3 시간이었다. 측정기간의 초여름의 상태여서 참여자들의 대부분은 집안의 창문을 자주 열고 있었다.

2. 평일과 주말의 시간활동도

참여자 21명의 시간활동도를 보면 하루 24시간 동안 평균적으로 평일에 72.9% 주말에 82.8%로 실내에서 많은 시간을 보내고 있었다(Table 2). 실내의 오염원으로는 담배, 연소기구, 건축자재 등으로 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx), 포름알데히드(HCHO), 휘발성 유기화합물(VOCs) 등이 발생할 수 있다.¹⁵⁾ 따라서, 개인의 오염물질 노출은 실외보다 실내에 상관성이 있을 것으로 생각된다. 일반 직장인이 80~90% 이상을 실내에서 시간을 보내는 것과 비교할 때 대학생들은 상대적으로 실외에서 보낸 시간이 높은 것으로 나타났다.¹¹⁾ 대학생들의 주말의 활동도는 각 참여자들이 주택과 학교 외에 기타 실내에서 보낸 시간이 비교적 높았다. 차량이용은 통학 등을 고려할 때 평일에 보낸 시간이 주말보다 높았다.

3. 실내·실외 이산화질소 농도 및 개인노출

1) 실내·실외 이산화질소 농도

평일 2일 동안 측정된 21가구에서 실내 및 실외의

Table 1. House characteristics in 21 houses

	Number of house with the house characteristic	Number of house without the house characteristic
House type (single detached house)	3	18
Presence of smoker	8	13
Gas range	19	2
Commuting with per day (<60 min)	10	11

Table 2. Fraction of time each weekday and weekend (n=21)

		Indoor			Outdoor			Transportation
		Home	School	Other	Near home	Near School	Other	
Weekday (2 days)	%	40.4(±11.7)	25.1(±9.4)	7.4(±8.9)	4.4(±5.1)	11.8(±5.3)	3.1(±4.5)	7.9(±7.4)
	Total %	72.9			19.3			7.9
Weekend (2 days)	%	69.0(±20.3)	0.7(±3.3)	13.1(±14.0)	6.2(±7.3)	0.7(±1.8)	5.6(±7.7)	4.7(±5.8)
	Total %	82.8			12.5			4.7

Table 3. Indoor and outdoor NO₂ concentrations, and personal exposure in weekday (2 days) and weekend (2 days) (Unit: ppb)

	Indoor	Outdoor	Indoor/outdoor	Personal	Indoor of school	Outdoor of school
Weekday(2 days)	26.1 ± 10.6	32.9 ± 14.5	0.8 ± 0.2	29.7 ± 10.1	19.5 ± 5.2	21.9 ± 3.2
Weekend(2 days)	38.1 ± 11.4	39.6 ± 12.4	0.9 ± 0.2	44.3 ± 13.0	17.6 ± 2.3	20.3 ± 2.5

NO₂ 농도는 각각 평균 26.1 ppb과 38.1 ppb이었고, 주말은 각각 평균 38.1 ppb과 39.6 ppb이었다(Table 3). 일반적으로 도심지역에서는 주말의 차량이 평일보다 적기 때문에 실외 공기 오염물질의 농도는 평일에 비하여 주말의 농도가 적지만, 본 연구에서는 실외 NO₂ 농도가 높게 나타났으며 그 이유는 다른 NO₂ 발생원이 측정기간 동안 실외에 존재하였을 것으로 사료된다. 바람 등의 기류 영향을 고려할 때 실외 NO₂ 농도의 표준편차가 실내보다 높았다. 실내/실외의 농도비는 평일과 주말에 각각 평균 0.8(±0.2)과 0.9(±0.2)였으며 주말의 값이 다소 높았다. 개인의 NO₂ 노출은 평균 평일과 주말에 각각 평균 29.7 ppb와 44.3 ppb로 나타났다. 평일에 비해 주말에 가족이 함께 모여 식사 등의 원인으로 NO₂ 발생원의 하나인 가스렌지 사용의 증가가 실내 NO₂ 농도의 증가와 실내 및 실외 농도비의 증가를 야기한 것으로 생각된다. 학교의 강의실 등의 실내 및 실외의 농도는 상대적으로 각 참여자 주택의 실내 및 실외 농도보다 낮았다.

2) 실내 및 실외 농도와 개인노출의 상관성

실외 NO₂ 농도를 독립변수로 실내 NO₂ 농도를 종속변수로 가정하여 회귀방정식을 구하였다(Fig. 1). 평일 실외와 실내의 NO₂ 농도의 결정계수(r²)는 0.84 (p<0.001)였으며, 주말에는 0.82(p<0.001)였다. 실내의 NO₂ 농도는 실외 NO₂ 농도의 평일과 주말의 평균적으로 83%로 설명될 수 있다. 초여름의 계절적 요인과 창문 등의 열고 닫음 등의 개인성향에 따라 각 주택의 공기 환기량이 클 것으로 예상되며 따라서 결정계수의 값이 높은 값을 나타내었다. 비록 측정된 주택의 수가 적지만 실내의 NO₂ 농도는 주로 실외 NO₂ 농도에 크게 영향을 받았으며, 실내 NO₂ 농도의 약 17%는 실내 발생원인 취사도구의 가스렌지와 흡연 등으로 설명될 수 있을 것이다.

개인 NO₂ 노출과 실내 및 실외의 NO₂ 농도와 상관성을 분석하였다(Fig. 2). NO₂의 개인노출은 평일에 실외(Spearman r=0.74)보다는 실내 NO₂ 농도(Spearman r=0.76)에 연관성이 다소 높았다. 주말의 개인 NO₂ 노출은 실외와 실내에서 Spearman r 값은 각각 0.57와 0.64을 나타내었다. 평일의 상관계수는 주말보다 높았다. 주말에 실내에서 보낸 시간이 평일보다 높은 것을 고려할 때, 주말의 상관계수 값이 평일보다 낮은 이유

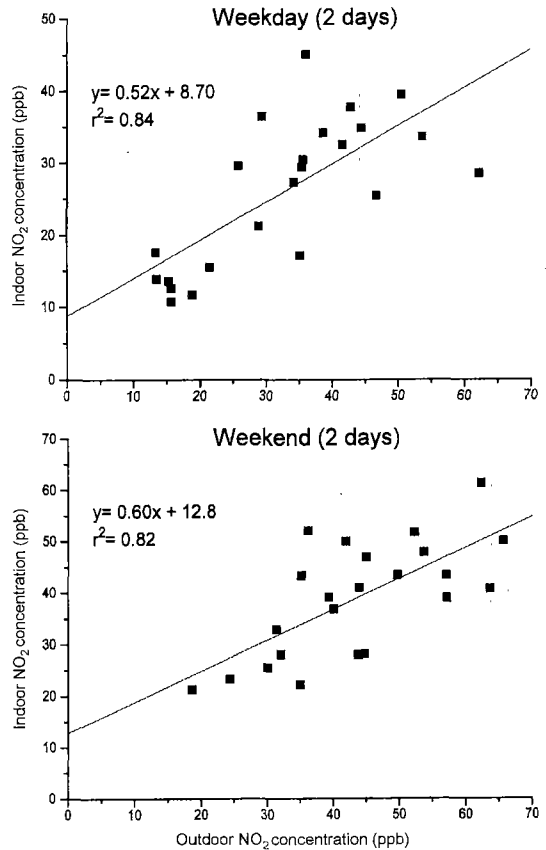


Fig. 1. Relation between indoor and outdoor NO₂ measurements in weekday (2 days) and weekend (2 days).

는 주말에 다른 실내에서 보낸 시간이 평일보다 상대적으로 높은 것으로 설명될 수 있다.

4. 시간가중치 모델을 이용한 개인노출 예측

평일과 주말의 모든 자료를 통합하여 시간가중치 모델을 적용하였다. 식 (1)에서 예측된 평균 NO₂ 개인노출은 31.1(±11.8)ppb였으며, 수동식 시료채취기를 이용하여 실측된 개인노출 평균 33.8(±11.5)ppb이었다. 본 연구에서 모든 미세환경 및 외부환경의 NO₂ 농도가 측정된 것이 아니지만, 식 (1)에서 예측된 개인노출과 실측된 개인노출의 상관계수 값(R²)은 0.87였으며 통계

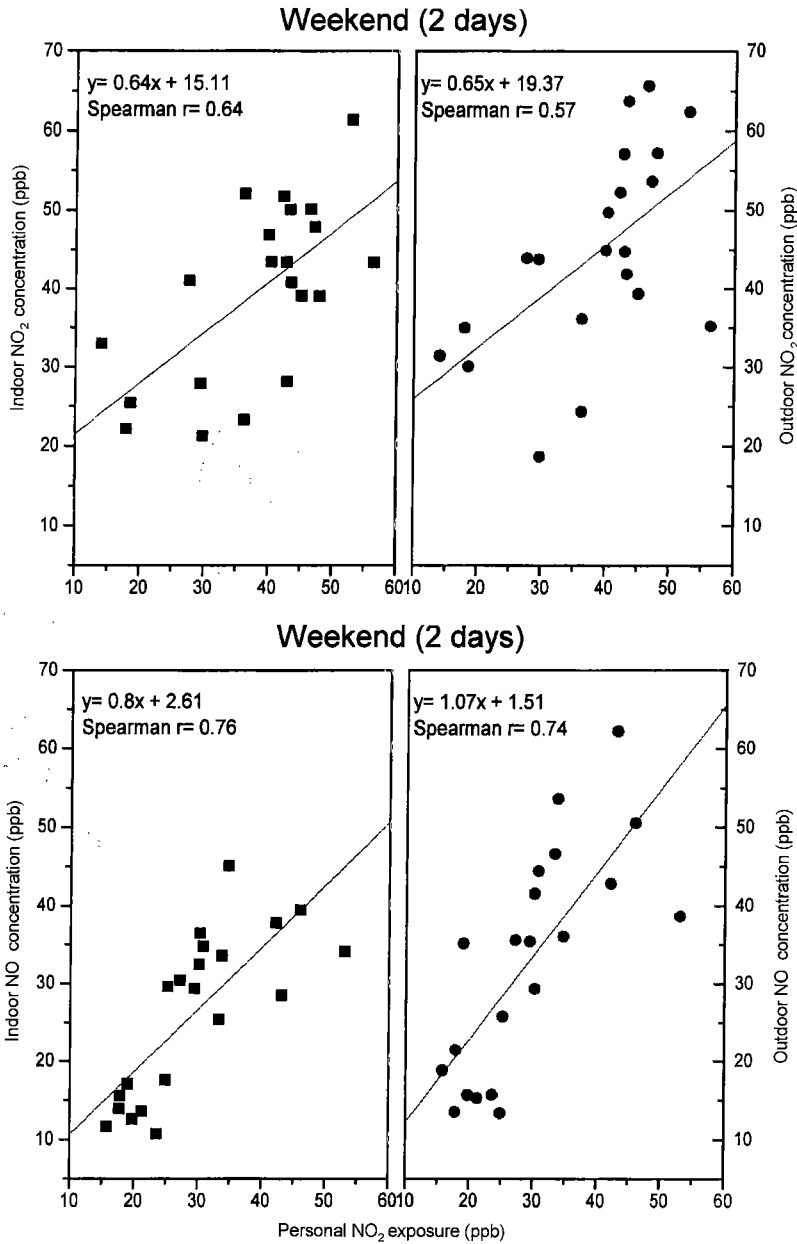


Fig. 2. Relation between personal exposure and indoor & outdoor NO₂ measurements of weekday (2days) and weekend (2days).

학적으로 유의하였다($p < 0.01$). 예측된 NO₂ 개인노출(P_i)과 실측된 개인노출(P)의 차이를 시간활동표에서 측정된 다른 실내환경 및 외부환경에 의해서 기술될 수 있으며, 다중회귀분석의 회귀계수(b)를 이용하였다(식 2).

$$P - P_i = b_{iO} \cdot F_{iO} + b_{(SO+OO)} \cdot F_{(SO+OO)} + b_T \cdot F_T \quad (2)$$

여기서, P = measured personal NO₂ exposure (ppb),

F_{iO} = fraction of hours spent inside other than home and school, $F_{(SO+OO)}$ = fraction of hours spent outside other than near home and near school, and F_T = fraction of hours spent on transportation.

다중회귀분석의 결과를 Table 4에 나타내었다. 차량이동에 의한 회귀계수가 통계학적으로 유의하였다

Table 4. Estimated NO₂ concentrations and fraction of time in three environments

	Regression coefficient±SE	Fraction of time(%)	Significant
Indoor other than home and school	-0.07±0.3	10.2±11.9	0.825
Outside other than home and school	-0.43±0.5	4.3±6.3	0.415
Transportation	1.33±1.3	6.3±6.8	0.015

($p=0.015$). 즉 측정되지 않은 환경에서 개인 NO₂ 노출에 영향을 주는 것은 참여 대학생들의 통학 등에 의한 차량에 의해서 영향을 받은 것으로 해석될 수 있으며, 차량에 의한 공기 오염물질의 노출평가에 대한 많은 연구가 필요한 것으로 생각된다.

IV. 결 론

본 연구는 대학생을 대상으로 주택의 실내 및 실외 NO₂ 농도 측정과 동시에 대학생들의 NO₂ 개인노출을 측정하였다. 그리고, 대학생들의 시간활동 행태를 함께 조사함으로써 대학생들 각 개인의 활동에 따른 NO₂ 노출정도를 파악하였다. 시간활동도와 각 실내환경에서 측정된 NO₂ 농도를 시간가중치 평균 모델에 적용하여 대학생들의 NO₂ 개인노출 정도를 예측하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 참여 대학생들은 다른 평일 2일과 주말 2일 각각 72.9%와 82.8%를 실내에서 시간을 보냈으며 이 결과는 직장인과 같은 다른 그룹이 80~90% 이상을 실내에서 시간을 보내는 것과 비교할 때 대학생들은 상대적으로 실외에서 보낸 시간이 높은 것으로 나타났다.

2. 실내 및 실외의 농도비는 평일과 주말에 각각 평균 $0.8(\pm 0.2)$ 과 $0.9(\pm 0.2)$ 였으며 주말의 값이 다소 높았다. 개인의 NO₂ 노출은 평균 평일과 주말에 각각 평균 29.7 ppb와 44.3 ppb였으며 그 이유는 주말에 실내에서 보낸 시간이 평일보다 높기 때문일 것으로 고려되었다.

3. NO₂의 개인노출은 평일에 실외($r=0.74$)보다 실내 NO₂ 농도($r=0.76$)에 연관성이 다소 높았으며, 주말의 개인 NO₂ 노출은 실외와 실내에서 Spearman r 값은 각각 0.57와 0.64을 나타내었다. 대학생들의 평일과 주말의 다른 활동에도 불구하고, NO₂ 개인노출은 각 개인 주택의 실내 NO₂ 농도와 연관성이 높았다.

4. 시간가중치 평균 모델을 이용한 개인 NO₂ 노출 예측값은 $31.1(\pm 11.8)$ ppb와 수동식 시료채취기에 의하여 측정된 개인 노출농도 $33.8(\pm 11.5)$ ppb와 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였다($r^2=0.87$, $p<0.01$).

5. 시간가중치 평균 모델에서 측정되지 않은 실내환경과 실외환경에서 개인 NO₂ 노출에 영향을 주는 것은

다중회귀분석 결과 차량에 의해서 영향을 받은 것으로 나타났다 ($p=0.015$).

감사의 글

본 연구는 대학생들의 자발적 참여에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 환경부 : 환경백서, 1999.
- 2) 환경부 : 실내공기질 관리방안에 관한 연구, 1999.
- 3) Woods, J. E.: An engineering approach to controlling indoor air quality. *Environmental Health Perspective*, **95**, 15-21, 1991.
- 4) Wikes, C. R., Koontz, M. D. and Billick, I. H. : Analysis of sampling strategies forestimating annual average indoor NO₂ concentrations in residence with gas appliance, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, **46**, 853-860, 1996.
- 5) 양원호, 배현주, 김현용, 정문식, 정문호 : 주택특성에 관련된 실내 이산화질소 농도에 관한 연구, *대한위생학회지*, **14**(4), 85-92, 1999.
- 6) 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.
- 7) World Health Organization (WHO), Air Quality Guidelines for Europe. European Series No. 23. WHO: Copenhagen, Denmark, WHO; pp. 297-310, 1987.
- 8) Esmen, N. A.: The status of Indoor Air Pollution, *Environmental Health Perspectives*, **62**, 259-265, 1985.
- 9) Lee, K., Yang W. H. and Bofinger N. D.: Impact of Microenvironmental Nitrogen Dioxide Concentrations on Personal Exposures in Australia, *Journal of the Air & Waste Management Association*, **50**, 1739-1744, 2000.
- 10) Lee, K., Levy, J. I., Yanagisawa, Y., et al.: The Boston residential nitrogen dioxide characterization study: classification and prediction of indoor NO₂ exposure. *Journal of Air and Waste Management Association*. **48**, 736-742, 1998.
- 11) Yang, W. H., Lee K. Y., Son H. S. and Chung M. H.: Estimation of Personal Exposure on Nitrogen Dioxide

- Using Time Activity -Comparative study between Seoul, Korea and Brisbane, Australia-, *대한위생학회지*, **15**(2), 10-17, 2000.
- 12) Yanagisawa, Y., Nishimura, H.: A badge-type personal sampler for measurement of personal exposure to NO₂ and NO in ambient air. *Environment International*, **8**, 235-242, 1982.
 - 13) Lee, K., Yanagisawa Y., Spengler J. D. and Billick I. H.: Wind Velocity Effects of Sampling Rate of NO₂ Badge, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **2**, 207-219, 1992.
 - 14) Levy, J. L., Lee, K. *et al.*: Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure: An international study. *Journal of Air & Waste Management Association*, **48**, 553-560, 1998.
 - 15) Tichenor, B. A.: Overview of source/sink characterization methods. American Society for Testing and Materials, pp. 9-19, 1996.