

유치원 여교사(女教師)와 전업주부(主婦)의 이산화질소 노출비교 및 평가

양원호 · 김순복 · 배현주 · 이영미 · 정문호 · 정문식
서울대학교 보건대학원 환경보건학과

Comparative Study on Nitrogen Dioxide Exposure of Female Teachers from Kindergarten and House Wives

Won Ho Yang · Sun Bok Kim · Hyun Joo Bae · Young Mi Lee ·
Moon Ho Chung · Moon Shik Zong

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

Abstract

Since most people spend over 80% of their time indoor, indoor air quality tends to be the dominant contributor to personal exposure. In this study, indoor and outdoor NO₂ concentrations were measured and compared with simultaneously personal exposures of 27 house-wives and female workers of kindergarten. Time activity patterns and house characteristics were used to determine the effects of these factors on personal exposure. Since house-wives students spent most their times in indoor with mean of 89.8%, their NO₂ exposure was associated with indoor NO₂ level($r=0.92$) rather than outdoor NO₂ level($r=0.87$). Female workers were also associated with indoor NO₂ level($r=0.70$) though sample number were small. Using time-weighted average model, NO₂ exposures of house-wives were estimated by NO₂ measurements in indoor home and outdoor home levels. Estimated NO₂ personal exposures were significantly correlated with measured NO₂ personal exposures ($r=0.90$). These results might mean that air pollutants exposure of old and feeble persons, and infants could be estimated by measuring concentrations of indoor home.

I. 서 론

오늘날 산업사회는 일상 생활의 대부분을 여러 형태의 실내 공간에서 유지되며 변천하고 있다. 새로운 환경 분야인 실내 환경 문제는 인간이 주체가 되는 생활 속에서 다양하게 나타날 수 있으며,

인간 활동에 의해 발생하는 각종 오염물질들이 실내에 방출되어 실내 환경을 오염시키는 현상으로 실내오염(indoor pollution)은 대표적으로 인간의 건강까지 위협하고 있다¹⁾.

최근에는 실내오염의 건강영향(health effect)을 보다 정확히 분석하기 위하여 개인의 하루 24시간

별 활동에 따른 특정 오염물질에 노출되는 양을 측정하고 있다²⁾. 따라서, 주요 오염물질별 개인 노출량을 측정하기 위한 기구가 개발되어 실내공기 오염에 대한 건강 위해성평가(risk assessment) 방법이 시도 되고있다³⁾.

인간이 생명을 유지하기 위해서는 항상 신선한 공기를 충분하게 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 상태이다⁴⁾. 그러나, 대부분의 사람들은 실내오염이 인체에 미치는 영향이 실외 대기오염보다 더욱 중요하다는 사실을 거의 인식하지 못하며, 실내 오염물질의 성질과 농도에 대해서도 확실히 파악하지 못하는 실정이다⁵⁾. 실내오염의 중요성이 인식되기 시작된 배경을 보면 다음과 같다. 첫째, 인간은 하루 24시간 중 80%이상을 실내(가정, 일반사무실, 실내작업장, 공공건물, 지하시설물, 상가 음식점 자동차 지하철 등)에서 생활하는 것으로 조사보고 되었다^{6, 7)}. 둘째, 대기오염은 자연적인 희석률이 크고, 사회적 인식 확대, 각종 규제 등으로 인하여 대기오염이 억제되고 있으나, 실내공기는 한정된 공간에서 인공적인 설비를 통하여 오염된 공기가 계속적으로 순환되면서 그 농도가 인체에 영향을 미칠 수 있을 정도로 증가될 수 있다⁸⁾. 셋째, 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 경제수준이 향상으로 다양한 생활용품의 사용이 증가하는데 이같은 생활용품에서도 이외의 오염물질이 방출된다⁹⁾. 넷째, 에너지 절감률을 높이기 위해 건물의 밀폐화가 진행되면서 건물내 거주자들이 일시적 또는 만성적인 건강과 관련된 증상을 호소하는 사례가 증가되고 있다. 따라서, 실내에서의 오염물질 노출이 실외(대기) 노출 보다 실제적 영향을 야기하고 알 수 있다. 또한 실내의 오염물질의 농도가 낮더라도 장기간 노출됨에 따라 전체 노출량을 보면 매우 커다란 영향을 미치는 것으로 알려져 있다¹⁰⁾.

이산화질소(NO_2)는 고온의 연소과정에서 발생하는 부산물로서 차량, 발전소와 산업장 등에서 발생되고 있다. 실내에서 이산화질소의 농도는 가스렌지, 케로센(kerosene) 난방기, 흡연에 주로 영향을 받는다¹¹⁾. 이산화질소에 노출되면 냄새 감지, 코의 자극, 호흡곤란, 급성호흡곤란, 폐수종(肺水腫) 발병 등의 영향이 나타나며, 심하면 사망에 이르게 된다. 인간에 대한 NO_2 의 체감양상은 1~3 ppm에서 냄새를 감지하고, 13 ppm 정도의 농도에서 눈의 고통과 코의 자극이 심하며, 100 ppm 이상의 농도에서는 치명적이고 폐수종과 사망에까지 이르게 된다^{12, 13)}.

본 연구는 한 유치원을 섭외하여 유치원생의 모(母)인 전업주부와 여교사를 대상으로 NO_2 노출을 비교하였고 시간 가중평균치 모델을 이용하여 개인노출량을 예측하였다. 특히 한국에서는 취사용으로 거의 모든 가정들이 가스렌지를 사용하기 때문에 가스렌지 연소에 의한 전업주부의 NO_2 노출에 대한 연구가 필요하며, 더불어 유아(幼兒) 및 노약자들은 다른 집단에 비해 주택 실내에서 많은 시간을 보내기 때문에 그에 대한 노출정도를 예측하는데 도움이 될 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 지역

조사기간은 2000년 여름철 8월말에 2일 동안 유치원생의 전업주부 10명, 유생원 교사 8명, 다른 지역의 전업주부 20명 총 38명의 주택 실내·실외 및 개인의 이산화질소(NO_2) 농도를 측정하였다. 섭외된 유치원은 인천시 만수동에 위치하였으며, 다른 지역은 경기도 및 서울지역 이었다.

2. NO_2 농도측정 및 분석방법

모든 NO_2 의 농도측정은 수동식 시료채취기(passive monitor)가 이용되었다¹⁴⁾. 수동식 시료채취기는 자연적인 기류를 이용하여 확산(diffusion)과 투과(infiltration)라는 물리적인 과정과 반응에 의한 화학적 반응을 이용하여 실내와 실외의 NO_2 를 측정하는 장치이다. 수동식 시료채취기는 작으며(5x4x1cm) 가볍다(15g). 수동식 시료채취기 안

에 셀룰로우스 여과지에는 triethanolamine 용액에 NO₂가 흡수된다. Sulfanilic acid 5g, phosphoric acid(85%) 50ml과 NEDA(N-(1-Naphtyl) ethylene-diamine dihydrochloride, 98%) 0.05g을 이용하여 color reagent (azodye-forming) 1 l 를 제조하였다.¹²⁾ 수동식 시료채취기를 NO₂가 존재하지 않는 chamber에서 분해하여 셀룰로우스 여과지를 시험관(16x100mm)에 넣고, color reagent 10.0ml를 시험관에 주입하였다. 정량분석은 photospectrometer(SHIMADZU UV-1201)를 이용하여 545nm 파장에서 측정 하였다. NO₂ 농도 계산식에 이용된 물질 전환 계수 값은 0.10cm/sec를 이용하였다.¹⁵⁾

수동식 시료채취기는 가정에서 사람들이 가장 잘 모이는 거실에 설치가 되었으며, 측정 위치는 연소 장치 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.

3. 전업주부 개인노출 예측

주택특성(housing characterization) 및 전업주부 개인의 생활양식(lifestyle)에 관한 설문지가 NO₂ 노출과 관련하여 이용되었으며, 시간활동표(time-activity diary)는 30분 단위로 표시하도록 하였다.⁷⁾ 시간별 활동과 각 실내환경 농도의 시간 가중 평균치(time-weighted average) 모델을 이용하여 전업주부의 개인노출을 예측하였다.¹⁶⁾ 공기 오염물질의 누적 개인 노출량은 각 개인이 어떤 장소의 농도와 그 장소에서 머무른 시간을 곱하여 식 (1) 과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_c = \int_{t_1}^{t_2} C(t) dt \quad (1)$$

(식 1)을 이용하여 누적 노출량은 개인 주택 실내 및 실외의 농도와 각 장소에서 머무른 시간을 곱하여 (식 2)로 나타낼 수 있다. (식 2)는 시간 가중치평균 모델로 정의할 수 있다. 개인 각자의 모든 환경에서 농도를 측정할 수는 없지만, 전업주부의 NO₂ 개인노출은 주택의 실내·외에서 농도를

이용하여 다음과 같이 예측될 수 있다.^{21,22)}

$$P_i = (IH_i \cdot I_i + OH_i \cdot O_i) / (IH_i + OH_i) \quad (2)$$

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, I_i= measured average indoor NO₂ concentration for participant i, and O_i= measured average outdoor NO₂ concentration for participant i.

식 (1)에서 예측된 NO₂ 농도와 실측된 NO₂ 농도를 비교하여 그 차이를 다음의 식 (2)에 의해서 분석할 수 있다.¹⁷⁾

$$P - P_i = b_{IO} \cdot F_{IO} + b_T \cdot F_T \quad (3)$$

여기서, P = measured personal NO₂ exposure (ppb), F_{IO} = fraction of hours spent inside other than home and F_T = fraction of hours spent on transportation.

III. 결과 및 고찰

1. 주택특성

본 연구의 참여자는 총 38명이었고, NO₂ 측정기 손실과 시간활동표 기록 부실로 등으로 34명의 참여자의 자료가 수거되었으며 주택 특성은 Table 1에 나타내었다. 설문지를 이용하여 조사된 가족의 평균수는 3.9명이었고, 전업주부의 자녀수는 평균 1.3명이었다. 단독주택에 살고있는 주택은 5곳이었으며, 다른 29 주택은 아파트(27주택) 및 연립주택(2주택)이었다. 실내벽의 주요 물질은 시멘트였으며 모든 주택에서 벽지를 사용하였다.

NO₂ 실내 발생원으로 고려되는 취사용 가스렌지는 모든 주택에서 사용하였다. 가스렌지에서 점화장치로 pilot light를 사용하는 주택은 없었으며

Table 1. House characteristics in 34 houses

	Number of house with the house characteristic	Number of house without the house characteristic
House type (single detached house)	5	29
Presence of inside smoker	15	16
Gas range	34	0
Window open	30	4

모두 가스렌지 자체의 불꽃 점화장치를 이용하였다¹⁸⁾. 또한 측정기간동안 하루의 가스렌지 사용기간은 대략 1.5시간이었고, 주택 실내 흡연자가 존재하는 곳은 15주택이었다. 소유 자동차의 주차공간은 대부분 주택과 떨어진 공동주차장과 집 앞 도로였다. 측정기간동안 여름철 이어서 대부분의 주택은 자주 창문을 열고 있는 상태였다.

2. 시간활동 행태

전업주부 27명과 직장여성 7명의 2일 동안의 시간대별 활동을 조사하였다(Table 2.). 전업주부는 2일 동안 평균적으로 주택에서 보내는 시간은 40.0시간(81.8%) 이었으며 다른 실내공간에서 보낸 시간까지 포함하면 약 43.9시간(89.8%)을 실내환경에서 보내는 것으로 나타났다. 따라서, 전업주부의 NO₂를 포함한 공기 오염물질의 개인노출은 각 주

택의 실내공기 농도와 연관성이 높을 것으로 사료되었다. 상대적으로 적은 수치만 유치원에서 선생님으로 일을 하는 직장여성은 평균적으로 주택에서 보내는 시간은 20.5시간(38.4%) 이었으며, 유치원 실내 및 다른 실내공간에서 보낸 시간까지 포함하면 전체활동에서 약 78.8%를 실내환경에서 보냈다. 또한 유치원 선생님의 출퇴근에 이용되는 교통시간은 평균 2.9시간 이었으며 전체활동에서 약 5.4%를 차지하였다.

3. 개인 NO₂ 노출의 상관성 분석

3-1. 실내 및 실외 NO₂ 농도

본 연구의 참여자 전업주부 27명과 직장여성 7명 총 34명의 2일 동안 주택 실내의 NO₂ 평균농도는 35.8±13.6 ppb 였으며, 각 주택의 실외농도는 평균 38.3±13.1 nnh 였다 (Table 3) 평균 실내/실외의 농도비는 0.9±0.2였으며, NO₂의 개인노출은 평균 36.7±14.4 ppb 였다. 이용된 수동식 시료채취기의 정확성의 문제도 고려할 수 있지만¹⁹⁾, 고정측정소에서 측정된 1999년 서울시 NO₂의 1년간 평균농도가 32ppb, 그리고 인천은 28ppb인 점을 고려할 때 고정측정소에 측정된 농도가 개인노출을 적절히 나타내지 못할 수 있음을 알 수 있다⁴⁾. 또한 대부분의 NO₂ 개인노출 농도는 각 주택의

Table 2. Fraction of time each house wife and female worker for 2 days

		Indoor			Outdoor		Transport	
		Home	Other	Near home	Other			
House wives (n=27)	Mean hours	40.0	3.9	1.3	2.2	1.5		
		(±4.9)	(±5.3)	(±1.2)	(±2.4)	(±2.0)		
	%	81.8	8.0	2.7	4.5	3.1		
	Total %	89.8			7.2		3.1	
		Home	Kinder-garten	Other	Near home	Near kinder-garten	Other	Transport
Female worker (n=7)	Mean hours	20.5	18.7	2.9	2.1	3.0	3.3	2.9
		(±3.4)	(±2.3)	(±0.3)	(±1.7)	(±2.6)	(±2.5)	(±1.6)
	%	38.4	35.0	5.4	3.9	5.6	6.2	5.4
	Total %	78.8			15.7		5.4	

Table 3. Measured NO₂ levels of house wives and female workers for 2 days

	Indoor	Outdoor	Indoor/ outdoor	Personal
House wives (n= 27)	37.3±14.4	38.6±14.0	0.9±0.2	37.6±15.7
Female workers (n= 7)	30.3±9.2	36.8±9.5	0.8±0.2	33.5±8.4
Average (n= 34)	35.8±13.6	38.3±13.1	0.9±0.2	36.7±14.4

실외농도와 실내농도 사이의 농도값을 나타내었다²⁾. 직장여성인 선생님들의 근무처인 유치원의 실내 및 실외 NO₂ 농도는 각각 30.6±1.3 ppb 및 35.5±2.5 ppb를 나타내었다.

전업주부 27명의 NO₂ 개인노출은 평균 37.6±15.7 ppb 였으며, 유치원 선생님의 개인노출은 33.5±8.4 ppb 였다. 참여한 전업주부와 유치원 선생님의 수가 차이가 있지만 전업주부가 상대적으로 NO₂의 개인노출이 높았다. 그 이유는 전업주부는 많은 시간을 주택 내에서 보냈고, 전업주부의 주택 실내의 NO₂ 농도는 평균 37.3(±14.4)ppb로 유치원 선생님의 주택 실내의 NO₂ 평균농도(30.3±9.2ppb)

와 비교할 때 상대적으로 높았기 때문이라고 생각된다.

NO₂ 실내농도는 실내 발생원인 가스렌지의 고온 연소(thermal NO_x)에 의한 발생 및 흡연, 그리고 환기에 의한 실외공기 유입에 영향을 받는다.²⁰⁾ 실내 흡연자 유무에 의한 실내 NO₂ 농도는 비흡연자 주택 실내 농도는 37.9ppb 및 흡연자 주택 실내 농도는 33.7ppb를 나타내어, 간접흡연에 의한 전업주부의 NO₂ 노출에 영향을 주었을 것으로 고려되었다.

3-2. 실내 및 실외 농도와 개인노출의 상관성

이산화질소의 개인노출과 전업주부의 개인주택 실내 및 실외 NO₂ 농도와 상관성을 분석하였다(Fig. 1, 2). 전업주부의 NO₂ 개인노출은 전업주부의 주택 실외 (r= 0.87) NO₂ 농도보다 주택 실내 (r= 0.92) NO₂ 농도와 더 상관성이 높았다. 전업주부들은 대부분의 시간을 주택 실내에서 보내기 때문에, NO₂ 개인노출은 각 주택 실내 NO₂ 농도와 높은 연관성을 보였다 (p<0.001). 또한 유치원 선생님인 직장여성 NO₂ 개인노출도 주택 실외 (r= 0.70) NO₂ 농도보다 주택 실내 (r= 0.66) NO₂ 농도와 상관성이 더 높았다. 전업주부들의 주택 실내에

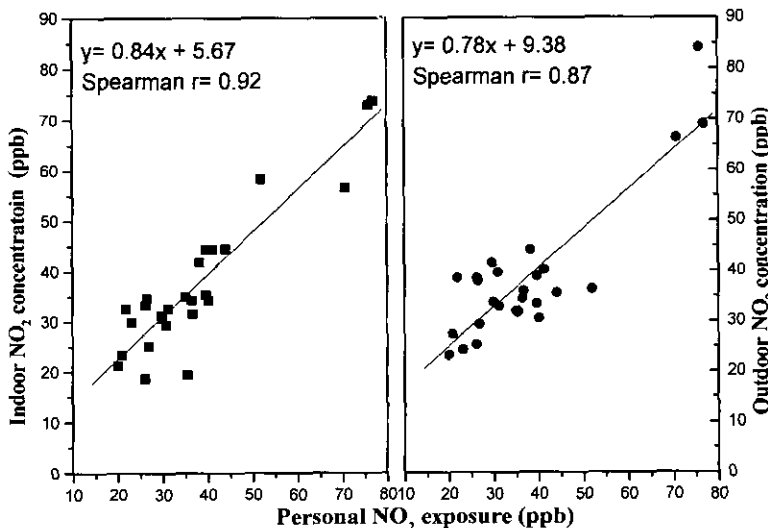


Fig. 1. Relation between personal NO₂ exposures and indoor & outdoor levels of house wives.

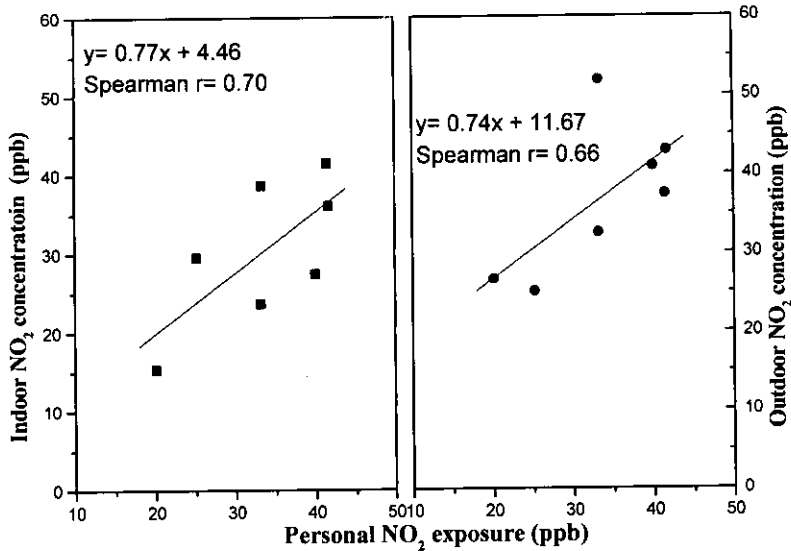


Fig. 2. Relation between personal NO₂ exposures and indoor & outdoor levels of female workers.

서 보내는 시간이 유치원 교사들에 비해 상대적으로 많았기 때문에 상관성이 높은 값을 나타내었다.

양 등^{7,21)}의 연구에 의하면 일반 사무직 근로자와 같은 NO₂ 발생원이 없는 사무실 직업군은 각자의 주택 실내 NO₂ 농도와 NO₂ 개인노출은 높은 상관계수 값을 갖지만, 식당종업원 및 영업운전자들과 같은 직업군의 NO₂ 개인노출은 각 주택보다 직장 실내의 NO₂ 농도와 높은 상관성을 가지고 있었다. 마찬가지로 전업주부를 가사에 근무하는 근로자로 고려할 때 가스렌지 등과 같은 NO₂ 발생원이 있는 곳에서 일을 하기 때문에 높은 상관성을 가지고 있는 것으로 생각할 수 있다.

4. 전업주부의 NO₂ 개인노출 예측

시간 가중평균치 모델 (식 2)을 이용하여 전업주부 및 직장여성의 NO₂ 개인노출을 예측한 농도는 평균 35.6±13.3 ppb 였으며, 실제로 수동식 시료채취기를 이용하여 측정된 농도는 36.7±14.4 ppb 였다. 예측한 농도와 실측한 농도의 Spearman r 값은 0.90 였으며, 통계학적으로 유의한 상관성을 나타내었다 (p<0.01) (Fig. 4). 예측된 이산화질소 개인노출 농도와 실측된 개인노출 농도의 차이가 보

인 것은 모든 실내환경 농도를 측정하지 않았기 때문이며, 전업주부는 대부분의 시간을 주택 실내에서 보내기 때문에 주택 실내의 농도 측정으로 개인노출이 예측 가능하였다. 유아(幼兒)나 노약자는 일반적으로 각 가정 주택 실내에서 대부분의 시간을 보내기 때문에 각 가정의 실내농도를 측정하여 공기 오염물질의 노출평가 및 위해성평가가 가능할 것이다²²⁾. 식(3)을 이용하여 개인노출(Pi)과 실측된 개인노출(P)의 차이를 시간활동표에서 측정된

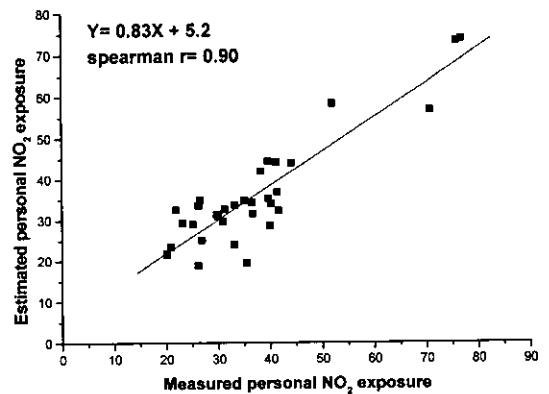


Fig. 4. Relation between measured and estimated personal NO₂ exposures.

다른 환경에 의해서 설명될 수 있을 것으로 생각했으나, 다중회귀분석 결과 통계학적으로 유의한 회귀계수(b) 값을 나타내지 않았다. 따라서, 측정되지 않은 환경에서 개인 NO₂ 노출에 영향을 주는 것은 없었으며 각 주택 실내의 NO₂ 농도가 개인노출에 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다.

IV. 결 론

본 연구는 2000년 8월말에 2일 동안 유치원을 대상으로 전업주부 10명, 유생원 교사 8명, 다른 지역의 전업주부 20명 총 38명의 주택 실내·실외 및 개인의 이산화질소(NO₂) 노출 평가 및 예측을 하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전업주부는 2일 동안 평균적으로 주택에서 보내는 시간은 40.0시간(81.8%) 이었으며 다른 실내공간에서 보낸 시간까지 포함하면 약 43.9시간(89.8%)을 실내환경에서 보내는 것으로 나타났다.
2. 참여자 전업주부 27명과 직업여성 7명 총 34명의 2일 동안 주택 실내의 NO₂ 평균농도는 35.8 ± 13.6 ppb 였으며, 각 주택의 실외농도는 평균 38.3 ± 13.1 ppb 였다. 전업주부 27명의 NO₂ 개인노출은 평균 37.6 ± 15.7 ppb, 유치원 선생님의 개인노출은 33.5 ± 8.4ppb를 나타내었다.
3. 전업주부의 NO₂ 개인노출은 전업주부의 주택 실외(r= 0.87) NO₂ 농도보다 주택 실내(r= 0.92) NO₂ 농도와 더 상관성이 높았다. 또한 상대적으로 전업주부보다 적은 시간을 각자의 주택에서 생활하지만, 유치원 선생님인 직장여성 NO₂ 개인노출도 주택 실외(r= 0.70) NO₂ 농도보다 주택 실내(r= 0.66) NO₂ 농도와 더 상관성이 높았다.
4. 시간가중치 모델을 이용하여 전업주부 및 직장여성의 NO₂ 개인노출을 시간가중치 모델을 이용하여 예측한 농도는 평균 35.6 ± 13.3 ppb 였으며, 실제로 수동식 시료채취기를 이용하여 측정된 농도는 36.7 ± 14.4ppb를 나타내었다. 예측한 농도와 실측한 농도의 Spearman r 값은 0.90 였으며, 통계학적으로 유의하였다 (p<0.01). 따라서, 다른 집단에 비해 노약자나 유아는 실

내에서 생활하는 시간이 많기 때문에 공기 오염물질 개인노출은 가정의 주택 실내농도 측정값으로 예측 가능할 것으로 고려될 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 재단법인 교보생명교육문화재단의 환경연구 및 사업지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. Seifert B. : Indoor air science: past and future. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate-Indoor Air '96, Vol. 2, pp 3-8, 1996.
2. Dimitroulopoulou C. et al : Modelling of indoor exposure to nitrogen dioxide in the UK, Atmospheric Environment, Vol. 35, pp. 269-270, 2001.
3. Hoddinott K. B. and Lee A. P. : The use of environment risk assessment methodologies for indoor air quality investigation, Chemosphere, Vol. 41, pp 77-84, 2000.
4. 환경부 : 환경백서, 2000.
5. Sohn J. Y. : Research activities on indoor air quality in Korea. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate-Indoor Air '96, Vol. 1, pp 17-26, 1996.
6. Lee K., et al. : The Boston residential nitrogen dioxide characterization study : classification and prediction of indoor NO₂ exposure, Journal of Air and Waste Management Association, Vol. 48, pp 736-742, 1998.
7. Yang W. H., Lee K. Y., Son H. S. and Chung M. H. : Estimation of personal exposure on nitrogen dioxide using time activity, 대한위생학회지, 제 15권 제 2호, pp 10-17, 2000.
8. Esman, N. A. : The status of indoor air pollution, Environmental Health Perspectives, Vol. 62, 259-265, 1985.

9. 한국공기청정협회 : 2000년 실내 VOCs 토론회 자료집, 2000.
10. Dockey D. W., Spengler J. D., Speizer F. E., Ferris B. G., Ware J. H. and Brunekreef B. : Associations of health status with indicators of indoor air pollution from an epidemiological study in six U.S. cities, In proceedings of the 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 2, 203-207, 1987.
11. Spicer C. W., Coutant R. W., Ward G. F., et al. : Rates and mechanisms of NO₂ removal from indoor air by residential materials, *Environment International*, Vol. 15, pp 643-654, 1992.
12. World Health Organization (WHO), Air Quality Guidelines for Europe. European Series No.23. WHO, Copenhagen, Denmark, 297-310, 1987.
13. 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.*, Vol. 134, 1203-1208, 1986.
14. Yanagisawa Y., Nishimura H. : A badge-type personal sampler for measurement of personal exposure to NO₂ and NO in ambient air, *Environment International*, Vol. 8, pp 235-242, 1982.
15. Lee K., Yanagisawa Y., Spengler J. D., et al. : Sampling rate evaluation for NO₂ badge : (I) in indoor environment. *Indoor Air*, Vol. 4(2), pp 124-130, 1993.
16. Levy J. I., et al. : Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure : An international study, *Journal of Air and Waste Association*, Vol. 48, pp 553-560, 1998.
17. Lee K., Yang W. and Bofinger N. : Impact of microenvironmental nitrogen dioxide concentrations on personal exposure in Australia, *Journal of Air & Waste Management Association*, Vol. 50, pp 1739-1744, 2000.
18. Traynor G. W., Apte J. F., Dillworth, C. D., et al. : The effects of ventilation on residential air pollution due to emissions from a gas-fired range, *Environment International*, Vol. 8, pp 447-452, 1982.
19. Heal M. R., O'Donoghue M. A., Agius R. M., et al. : Application of passive diffusion tubes to short-term indoor and personal exposure measurement of NO₂, *Environment International*, Vol. 25(1), pp 3-8, 1999.
20. 김민영 외3인 : 이산화질소의 개인노출량에 관한 연구 - 서울시내에 거주하는 주부를 대상으로 한 조사결과 -, *한국대기보전학회지*, 제 2권 제 1호, pp 55-72, 1986.
21. 양원호 외5인 : 비흡연 음식점 종업원의 간접 흡연 노출량 지표로써 이산화질소 이용, *대한위생학회지*, 제15권 제3호, pp 1-7, 2000.
22. Ott W. R. : Total human exposure : Basic concepts, EPA field studies, and future research needs, *Journal of Air & Waste Association*, Vol. 40(7), 1990.