

시간가중치 평균모델을 이용한 이산화질소의 노출평가 및 예측

Exposure Assessment and Estimation of Personal Exposure for Nitrogen Dioxide Using Time Weighted Average Model

양 원 호* · 이 선 화 · 백 도 명

서울대학교 보건대학원 환경보건학과

(2001년 1월 2일 접수, 2001년 5월 21일 채택)

Won-Ho Yang, Sun-Hwa Lee and Do-Myoung Paek

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

(Received 2 January 2001; accepted 21 May 2001)

Abstract

Indoor and outdoor nitrogen dioxide (NO₂) concentrations of 122 houses were measured and compared with measurements of personal NO₂ exposure simultaneously. Time activity patterns were used to determine the impacts on NO₂ exposure assessment and time weighted average model to estimate the personal NO₂ exposure. Most people spent their times more than 80% of indoor and more than 50% in home, respectively. Personal NO₂ exposure was found to be significantly associated with both indoor NO₂ concentration ($r=0.70$) and outdoor NO₂ concentration ($r=0.68$). Using time weighted average model, personal NO₂ exposure was estimated with NO₂ measurements in indoor home, indoor workplace and outdoor home. The estimated NO₂ measurements were significantly correlated with measured personal exposures ($r=0.69$, $N=122$). For the difference between measured and estimated NO₂ exposures by multiple regression analysis showed that NO₂ concentrations in near workplace and other outdoors of no NO₂ measurements affected the personal NO₂ exposures ($p=0.023$).

Key words : exposure assessment, time weighted average model, nitrogen dioxide, time activity pattern

1. 서 론

인간은 태어나서 죽을 때까지 주위 환경의 여러 요인과 상호작용을 하면서 살아간다. 따라서 인간의 건강은 그러한 요인들에 의해 영향을 받게 되므로

원인 인자의 위해 (hazard) 가능성과 정도를 결정하는 것은 환경보건학적 측면에서 매우 중요하다. 그러나, 환경요인과 건강 장애를 평가하는데는 다른 복합적인 요인들의 존재하기 때문에 상관성을 밝히는 데 많은 어려움이 있다 (Gordis, 1988). 이런 환경 요인에 따른 건강장애의 영향을 밝히는 것은 어려움이 많지만, 공기오염이 인간의 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있다는 결과가 여러 나라에서 발표되

* Corresponding author

Tel : +82-(0)2-740-8870, E-mail : yangwonho@hotmail.com

고 있다(Lee *et al.*, 1999; Nielsen *et al.*, 1995; Xu *et al.*, 1991).

공기오염은 대기에 노출되는 실외공기와 건축물 등의 실내공기로 나눌 수 있다. 현대 생활에서 대부분의 사람들은 80% 이상을 실내(가정, 일반사무실, 실내작업장, 공공건물, 지하시설물, 상가, 음식점, 자동차, 지하철 등)에서 생활하기 때문에 실내공기질(indoor air quality)은 개인의 공기오염 물질의 노출에 있어 중요한 인자이다(Levy *et al.*, 1998). 특히, 어떤 공기오염 물질들은 실외보다 실내에서 높기 때문에 더 큰 건강 위험을 줄 수도 있다(Esman, 1985).

노출은 오염원과 인간 사이의 접촉으로 정의 될 수 있으며 노출평가(exposure assessment)는 평가대상 물질에 대한 개인이나 집단의 환경 중 노출강도, 빈도 및 기간을 측정 또는 평가하는 과정이다(EPA, 1997). 노출평가는 위해성평가의 필수적인 과정으로 효과적인 위해성 평가를 위해서는 정확한 노출평가가 요구된다. 공기오염 물질의 노출평가는 직접적 또는 간접적으로 결정될 수 있다. 직접적인 방법으로 개인의 호흡기 근처에서 측정하는 방법과 생체지수(biomarkers)를 이용할 수 있으며, 간접적인 방법으로는 실내 및 실외 공기농도를 측정하여 이용한다.

공기오염 물질의 농도, 노출시간, 노출빈도의 변수들은 인간의 시간별 활동에 영향을 받으며, 개인의 총 노출은 수학적 모델 같은 간접적 방법을 이용하여 예측될 수도 있다(Lee *et al.*, 2000). 이런 간접적 접근 방법도 또한 활동 형태에 따른 시간 자료를 요구한다. 이와 같이, 개인 또는 집단의 시간활동(time activity)은 환경으로 유입된 유해한 공기오염 물질에 접촉하기 전까지는 개인 또는 집단에게 해를 끼칠 수 없기 때문에 잠재적 노출의 중요한 결정사항이다.

최근 국내에서도 일반 시민들을 대상으로 하루 중 시간별 활동범위에 관한 연구가 수행되었다(통계청, 2000). 개인의 시간대별 활동 형태 및 범위는 직업, 취미, 문화, 장소, 성, 연령과 개인 성향에 따라 변할 것이며, 교육 정도와 사회경제적 지위도 또한 영향을 줄 것이다. 하지만, 개인 또는 집단의 시간대별 활동 행태는 공기 오염물질에 대한 고노출(high exposure) 또는 저노출(low exposure)을 결정할 수 있기 때문에 중요하다. 따라서, 개인 또는 집단의 시간대별 활동과 공기오염 물질의 농도를 조합하면,

노출의 빈도 분포를 제공할 수 있다. 또한 몬테카를로 시뮬레이션(Monte-Carlo simulation) 같은 확률모델을 이용하여 비슷한 지역의 노출 정도를 예측할 수 있다(Smith, 1994).

본 연구의 목적은 서울시 Y구청 직원을 대상으로 공기 오염물질과 연관된 노출평가시 중요한 요인인 시간대별 활동 범위 및 형태를 조사하였다. 동시에 참여자들을 대상으로 이산화질소(NO₂)의 개인노출, 개인주택의 실내 및 실외의 NO₂ 농도를 측정하여 개인노출에 영향을 주는 주된 요인을 분석하였다. 그리고, 시간대별 활동과 측정된 NO₂ 농도 자료에 시간가중치 평균모델을 적용하여 개인의 NO₂ 노출을 예측하였다. 선진국에서는 공기오염 물질 노출평가와 관련된 사람들의 시간대별 활동에 대하여 많은 연구가 활발히 진행되고 있으나, 국내에서는 이에 관한 연구가 부족한 편이다(Schwab *et al.*, 1990; Quackenboss *et al.*, 1986). 이 연구의 결과는 공기오염 물질의 노출평가와 위해성평가에 도움을 줄 것이다.

2. 연구 및 방법

2.1 연구대상

조사기간은 1999년 10월 21일 오전 6시부터 10월 22일 10시까지 약 28시간 동안이었다. 조사대상은 서울시 Y구청의 직원과 그 가족 이었으며, 각 직원의 가족 중 한 명이 참여하였다. Y구청 직원 142명에게 시간활동표(time-activity table)와 NO₂ 측정기를 직접 설명하며 배포했고 우편으로 수거하였다. 시간활동표는 오전 6시(06:00)부터 오후 12시(24:00)까지는 30분 단위로 표시(V)하고, 오후 12시부터 오전 6까지는 1시간 단위로 표시(V)하였다. 시간활동표에서는 실내는 모든 집, 상점, 또는 백화점 등의 실내공간을 의미하였으며, 실외는 실외공간을 의미하였다. 실내에는 집, 사무실, 실내의 다른 공간 3부분으로 나누어 표시하도록 하였으며, 실외는 집근처, 사무실 근처, 실외의 다른 장소 3부분으로 나누었다. 또한 출퇴근 때 이용하는 버스, 개인 승용차와 지하철을 이용할 때는 차량부분에 표시하도록 하였다. 또한 시간단위가 30분 또는 1시간이기 때문에 참여자가 30분 또는 1시간 동안 두 장소에 있었다면 두 장소 모두에 표시하도록 하였다. 수거한

시간활동표의 각 장소별로 표시한 곳을 계수하여 참여자 각각의 각 장소별 보낸 시간을 산출하였다.

2.2 측정 및 분석방법

모든 NO₂의 농도측정은 수동식 시료채취기 (passive monitor)가 이용되었다(양원호 등, 2000). 수동식 시료채취기는 자연적인 기류를 이용하여 확산(diffusion)과 투과(infiltration)라는 물리적인 과정과 화학적 반응을 이용하여 실내와 실외의 NO₂를 측정하는 장치이다. 수동식 시료채취기는 옷깃에 부착되어 개인적 활동을 할 수 있을 정도로 작으며(5×4×1 cm³) 가볍다(15 g). 수동식 시료채취기 안의 셀룰로우스 여지에는 triethanolamine 용액에 NO₂가 흡수된다. Sulfanilic acid 5 g, phosphoric acid (85%) 50 ml와 NEDA (N-(1-Naphtyl) ethylene-diamine dihydrochloride, 98%) 0.05 g을 이용하여 color reagent (azodye-forming) 1 l를 제조하였다. 수동식 시료채취기를 NO₂가 존재하지 않는 챔버(chamber)에서 분해하여 셀룰로우스 여지를 시험관(16×100 mm)에 넣고, color reagent 10.0 ml를 시험관에 주입하였다(Yanagisawa and Nishimura, 1982). NO₂ 농도 계산식에 이용된 물질전환계수 값은 0.10 cm/sec를 이용하였으며(Lee et al., 1993), 정량분석은 photo-spectrometer (SHIMADZU UV-1201)를 이용하여 545 nm 파장에서 측정하였다.

수동식 시료채취기는 가정에서 사람들이 가장 잘 모이는 거실에 설치되었고, 측정 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.

2.3 시간가중치 평균모델

공기오염물질의 누적 개인 노출량은, 각 개인이 어떤 장소의 농도와 그 장소에서 머무른 시간을 곱하여 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_c = \sum C_K \cdot T_K$$

(K=1, ..., N microenvironment types) (1)

여기서, C_K = concentration for each microenvironment type and T_K = time allocation for each microenviron-

ment type.

식(1)을 이용하여 참여자의 공기 오염물질의 누적 노출량은 개인 주택 실내 및 실외의 농도와 사무실 실내의 농도 및 각 장소에서 머무른 시간을 곱하여 식(2)로 나타낼 수 있다. 식(2)는 시간가중치 평균모델로 정의할 수 있다.

$$P_i = (IH_i \cdot I_i + OH_i \cdot O_i + WI_i \cdot W_i) / (IH_i + OH_i + WI_i)$$

(2)

여기서, P_i = estimated time-weighted average personal pollutant exposure for participant i, IH_i = hours spent inside the home for participant i during sampling period, OH_i = hours spent outside the home for participant i during sampling period, WI_i = hours spent inside the workplace for participant i during sampling period. I_i = measured average indoor pollutant concentration for participant i, O_i = measured average outdoor pollutant concentration for participant i, and W_i = measured average workplace pollutant concentration for participant i.

3. 결과 및 고찰

3.1 인구특성

본 연구의 참여자는 총 142명이었으며, 20명이 시간활동표에 표시를 하지 않거나 수동식 시료채취기를 분실했기 때문에 분석된 참여자는 122명이었다. 성별로 남자가 85명(69.7%), 여자는 37명(30.3%)이었다. 연령은 평균 40.4세(±9.9)였고, 범위는 3세부터 60세까지였다.

3.2 실내 및 실외 시간활동

3.2.1 참여자 전체 시간활동

참여자 122명은 주택(53.2%)에서 가장 많은 시간을 보냈다. 사무실에서는 일하는 시간은 평균 6.5시간으로 하루 활동 행태의 27.3%였다. 출퇴근에 사용하는 시간은 하루 평균 1.5시간이고, 24시간 활동 행태의 6.1%였다(표 1). 참여자 중 전업주부가 14명, 자녀는 10명이었기 때문에 사무실에서 보낸 시간이 상대적으로 작은 값으로 나타났다. 주택, 사무실, 다른 실내공간을 실내로, 집근처, 사무실 근처,

Table 1. Fraction of time of 122 subjects in each microenvironment.

	Indoor			Outdoor			Travel
	Home	Workplace	Other	Near home	Near workplace	Other	
Total hours	1,540.9	790.0	102.9	79.2	134.4	71.9	175.6
Mean hours	12.7	6.5	0.9	0.7	1.1	0.6	1.5
%	53.2	27.3	3.6	2.7	4.6	2.5	6.1
Total %	84.1 ± 11.4			9.8 ± 9.2			6.1 ± 5.6

Table 2. Fraction of time of male and female in indoor, outdoor, and travel.

	Male (85 subjects)	Female (37 subjects)
Indoor (%)	82.9 (± 12.9)	86.8 (± 9.7)
Outdoor (%)	10.5 (± 9.9)	8.4 (± 7.5)
Travel (%)	6.6 (± 5.8)	4.8 (± 4.9)

(), standard deviation

Table 3. Fraction of time of workers and house wives in indoor, outdoor, and travel.

	Workers (98 subjects)	House wives (14 subjects)
Indoor (%)	83.5 (± 11.8)	87.6 (± 5.9)
Outdoor (%)	9.8 (± 9.8)	10.0 (± 5.6)
Travel (%)	6.7 (± 5.5)	2.4 (± 3.5)

(), standard deviation

다른 실외공간을 실외로, 그리고 차량이동으로 나누어 각각의 하루 중 보낸 시간을 계산하였다. 전체 참여자들은 실내에서 하루 24시간 중 평균 84.1%, 실외에서 평균 9.8%의 시간을 보냈다.

3. 2. 2 남성과 여성의 활동

총 참여자 122명 중에서 남성과 여성 각각의 실내, 실외와 차량이동으로 보낸 시간을 하루 24시간을 기준으로 백분율(%)로 나타내었다(표 2). 남성과 여성 참여자 수의 차이와 전업주부의 참여가 있지만, 여성이 남성에 비해서 상대적으로 실내에서 보낸 시간이 높았다. 남성과 여성의 직업으로 인한 사무실 근무 시간이 동일한 것을 고려하면, 여성들은 가사일 등으로 실내에서 보내는 시간이 많은 것으로 판단된다.

3. 2. 3 직장인과 전업주부

총 참여자 122명 중 직장인 98명과 전업주부인 14명의 실내, 실외와 차량이동에 보낸 시간을 하루 24시간을 기준으로 백분율(%)로 나타내었다(표 3). 직장인의 출·퇴근을 고려할 때, 상대적으로 전업주부들이 차량으로 보낸 시간이 적었다. 전업주부들은 상대적으로 각자의 주택에서 활동하는 시간이 많은 것을 고려하면, 공기 오염물질에 대한 노출은 주택의 실내공기와 연관성이 높을 것으로 생각된다(김민영 등, 1986).

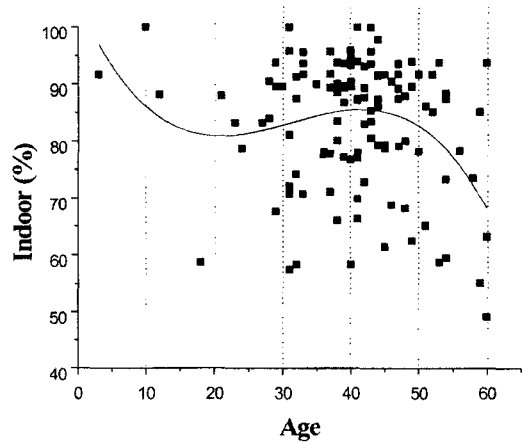


Fig. 1. Fraction (%) of spent time in indoor by age.

3. 2. 4 연령별 실내활동

참여자 122명의 연령별 실내에서 보낸 시간을 백분율을 이용하여 그림 1에 나타내었다. 참여자들의 평균 연령이 40.4세임을 고려할 때, 40세 전후에 많이 분포하였고, 자료가 적은 20세 이전을 제외하면 주로 실내에서 보내는 시간이 많음을 알 수 있다. 20대의 참여자는 활동력이 높은 시기임을 고려할 때 실외에서 보내는 시간이 상대적으로 높았다. 또한 50대 후반도 실내에서 보내는 시간이 상대적으로 낮았다.

3.3 시간대별 활동도

3.3.1 시간별 실내환경 활동빈도

참여자 총 122명의 24시간 동안 시간대별로 빈도 분포를 그림 2에 나타내었다. 주택에서 보내는 시간은 출근 전과 퇴근 후에 주로 분포하고 있으며, 사무실에서 보내는 시간은 오전 8시부터 오후 6까지 높은 분포를 보였다. 차량이용은 출·퇴근 시간과

관련이 있고, 주로 오전 7시부터 9시까지, 그리고 5시부터 8시까지 차량에서 보낸 시간이 많았다.

3.3.2 실내, 실외 및 차량의 활동빈도

실내, 실외와 차량에 의한 교통 세 가지로 구분하여 그림 3에 나타내었다. 대다수의 사람들이 실내에서 많은 시간을 보내고 있음을 알 수 있다. 출·퇴근 시간에 실내에서 보낸 시간이 상대적으로 줄어

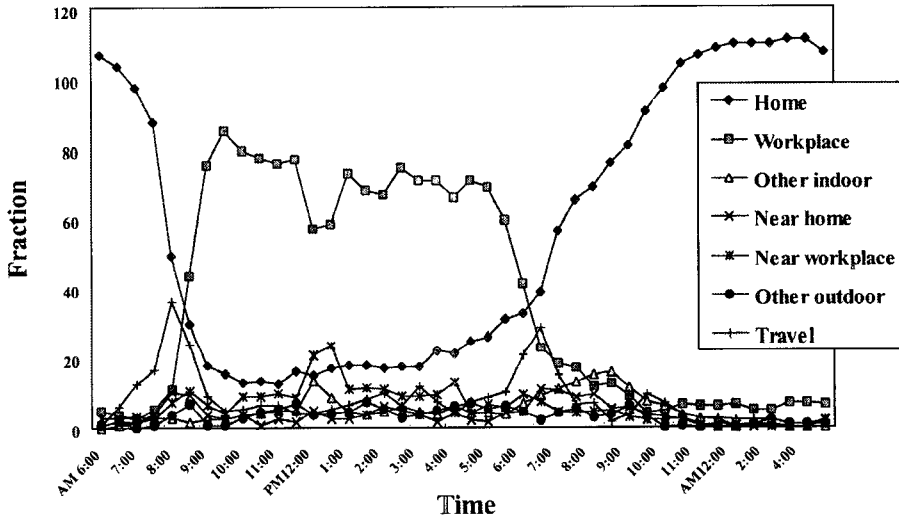


Fig. 2. Fraction of seven microenvironments by time of the day.

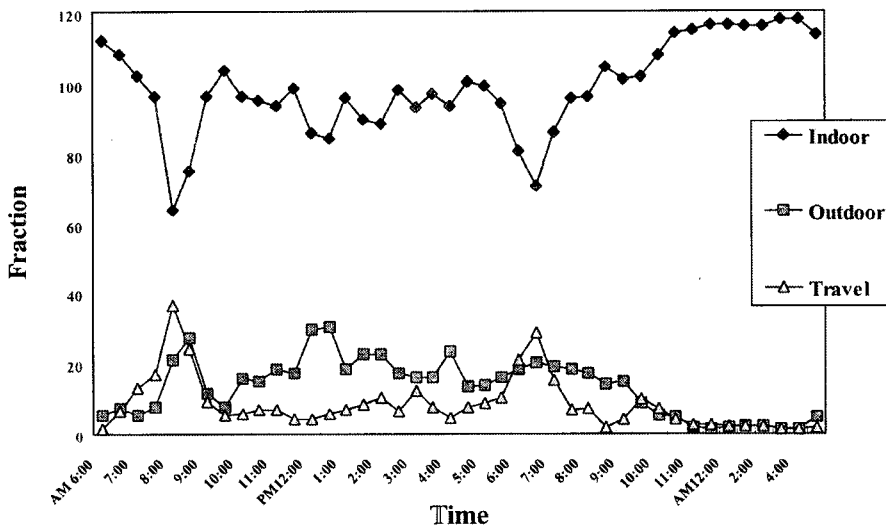


Fig. 3. Fraction of indoor, outdoor, and travel by time of the day.

들어 있음을 알 수 있다.

3.4 실내·실외 이산화질소 농도 및 개인노출

측정된 122명의 실내와 실외의 NO₂ 농도는 각각 40.4 ppb와 49.9 ppb로 나타났다(표 4). 개인 노출 NO₂ 평균 농도는 40.4 ppb였고 사무실 농도는 평균 농도는 38.0 ppb였다. 실내/실외의 농도비는 평균 0.8을 나타내어 실내 농도가 실외농도보다 전반적으로 낮은 값을 보였다.

개인 NO₂ 노출과 실내 및 실외의 NO₂ 농도와 상관성을 분석하였다. 참여자 122명 개인의 NO₂ 노출은 참여자가 평균적으로 실내에서 보내는 시간이 많기 때문에 실내 NO₂ 농도와 상관성이 실외의 NO₂ 농도 보다 높을 것으로 예상되었으나, 주택의 실외 NO₂ 농도(r=0.68) 보다 실내 NO₂ 농도(r=0.70)와 상관성이 다소 높았으나 통계학적으로 차이를 보이지 않았다(그림 4). Levy *et al.*(1998)의 연구에서 실내 NO₂ 농도가 개인 NO₂ 노출에 실외 NO₂ 농도와

비교하여 통계학적으로 높은 연관성을 갖고 있는 것과 다른 결과를 보이고 있지만, 본 연구의 개인노출 기간이 약 1일로써 짧고 또한 측정된 실외의 NO₂ 농도는 각 가정의 건물 밖의 농도이기 때문에 근무지 근처의 실외와 차량이동에 의한 실외 활동의 따른 NO₂ 농도가 개인 NO₂ 노출에 영향을 주었을 것으로 고려될 수 있다.

3.5 오염물질 개인노출 예측

측정된 모든 측정값과 시간활동 자료에 시간가중 평균모델에 적용하였다. 식 (2)에서 예측된 평균 NO₂는 39.6(±10.3) ppb였으며, 수동식 시료채취기를 이용하여 실측된 개인노출은 평균 40.4(±14.0) ppb이었다. 본 연구에서 참여한 사람들이 시간을 보낸 모든 실내환경 및 실외환경의 NO₂ 농도가 측정된 것은 아니었지만, 식(2)에서 예측된 개인노출과 실측된 개인노출의 Spearman 계수 값(r)은 0.69였으며 통계학적으로 유의한 연관성이 있었다(p<0.001)(그림 5).

본 연구에서 예측된 개인노출(Pi)과 실측된 개인노출(P)의 차이는 시간활동표에서 측정된 다른 미세환경에 의해서 설명될 수 있는데, 이를 위해 다중회귀방정식의 회귀계수(b)를 이용하였다(식 3).

Table 4. Indoor and outdoor NO₂ measurements, and personal NO₂ exposure.

	Indoor	Outdoor	Indoor/ outdoor	Personal	Office
Mean	40.4	49.9	0.8	40.4	38.0
(±std)	(±16.7)	(±17.5)	(±0.2)	(±14.0)	(±6.9)

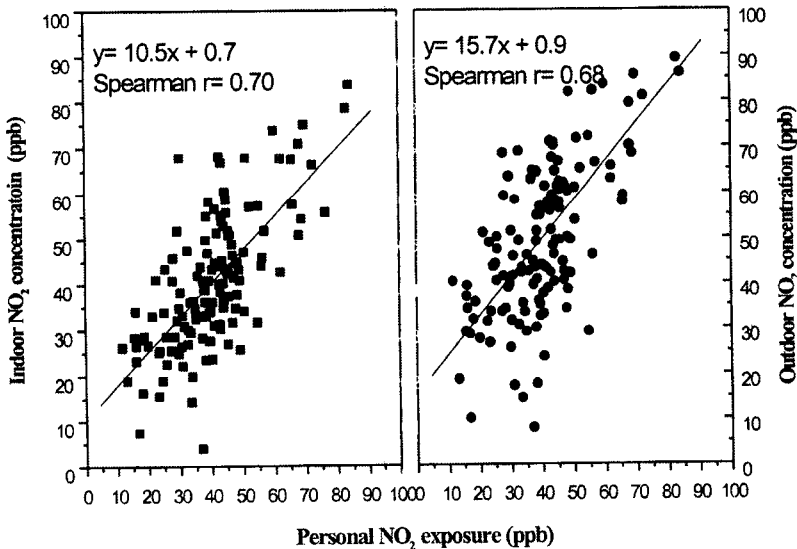


Fig. 4. Relation between personal exposure and indoor & outdoor NO₂ level.

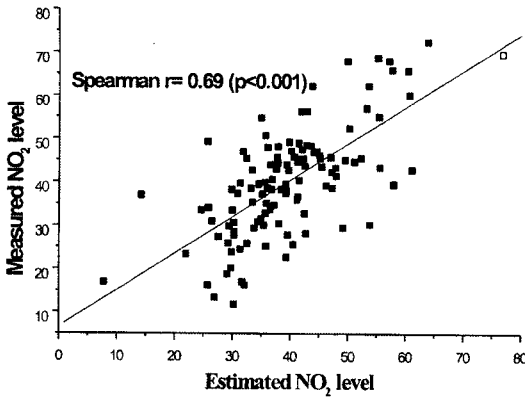


Fig. 5. Relation between measured NO₂ level and estimated NO₂ level.

Table 5. Multi-regression analysis by fraction of time in three environments.

	Regression coefficient ±SE	Fraction of time (%)	Sig.
Indoor other than home and workplace	-0.19±0.2	3.1±5.8	0.249
Outside other than near home	0.34±0.1	5.9±6.7	0.023
Transportation	9.99E-02±0.2	6.8±5.5	0.569

$$P - P_i = b_{I0} \cdot F_{I0} + b_{(SO+OO)} \cdot F_{(SO+OO)} + b_T \cdot F_T \quad (3)$$

여기서, P = measured personal NO₂ exposure (ppb), F_{I0} = fraction of hours spent inside other than home and workplace, F_(SO+OO) = fraction of hours spent outside other than near home, and F_T = fraction of hours spent on transportation.

참여자 전체의 다중회귀분석에서는 유의한 회귀계수 값을 나타내지 않았지만, 직장인만을 고려한 다중회귀분석 결과에서는 각 가정 이외의 실외에서 활동에 의한 회귀계수가 통계학적으로 유의하였다(p = 0.023)(표 5). 본 연구의 전체 참여자 중 직장인의 경우 측정되지 않은 미세환경(microenvironments)에서 개인 NO₂ 노출에 영향을 주는 것은 사무실 근처의 실외와 기타 다른 실외 지역에서 영향을 받은 것으로 해석될 수 있다. 이것은 Lee *et al.* (2000)이 차량이동에 의한 영향이 통계학적으로 유의한 회귀계수 값을 보인 것과는 다른 결과를 나타내었다. 그 이유는 참여 직장인은 주로 전철을 이용하여 출·

퇴근을 하였으며, 그리고 직장인 중 근무시간에 실외근무가 가능하거나 주로 실외근무를 하는 환경위생과(7명), 교통지도과(7명)와 청소과의 미화원(18명)의 참여 때문인 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 서울시 Y구청 직원과 그 가족을 대상으로 공기 오염물질의 노출평가지 중요한 요인인 시간활동과 이산화질소(NO₂)를 실내, 실외 및 개인 노출을 동시에 측정하였다. 한 개인 또는 그 집단의 시간활동은 공기 오염물질에 고농도 또는 저농도에 노출될 수 있기 때문에 중요하며, 어떤 지역 사람들의 시간활동은 오염물질 농도와 조합될 때 노출의 빈도 분포를 제공한다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전체 참여자 122명은 하루 24시간 동안 보내는 시간은 실내에서 84.1%, 실외에서 9.8%와 교통이동으로 6.1%였다. 실내환경 중에서 주택(53.2%)과 사무실(27.3%)에서 많은 시간을 보내고 있었다.

2. 남성(82.9%)보다 여성(86.8%)이 하루 24시간 동안 더 많은 시간을 실내에서 보내고 있으며, 참가자 중 전업주부(14명)는 하루 중 실내에서 87.6%를 보냈다. 연령에 의한 시간활동은 30~40대에서 20대 이하와 50대 후반 보다 더 많은 시간을 실내에서 보냈다.

3. 참여자 122명 개인의 NO₂ 노출은 각 주택의 실외 NO₂ 농도(r = 0.68) 보다 실내 NO₂ 농도(r = 0.70)와 상관성이 다소 높았으며, 실내/실외 농도비는 평균 0.8±0.2를 나타내었다.

4. 시간가중 평균모델을 이용하여 예측된 평균 NO₂는 39.6±10.3 ppb였으며, 수동식 시료채취기를 이용하여 실측된 개인노출은 평균 40.4±14.0 ppb이었다. 예측된 개인노출과 실측된 개인노출의 Spearman 계수 값(r)은 0.69였으며 통계학적으로 유의하게 연관성이 있었다(p < 0.001).

5. 시간가중치 평균모델을 이용하여 예측된 NO₂ 개인노출과 수동식 시료측정기를 이용하여 실측된 개인노출의 차이는 측정되지 않은 실내환경과 실외 환경 중에서 다중회귀분석 결과 사무실 근처와 기타 실외 지역에서 영향을 받았다(p = 0.023).

감사의 글

본 연구는 환경부에서 주관하는 G7 “환경오염물질의 인체 노출지표를 이용한 건강영향 예측기법 개발”의 연구비 지원으로 수행된 연구중의 일부이며, 연구비를 지원하여 준 환경부에 감사드립니다.

참고 문헌

- 김민영, 유영식, 박상현, 박성배 (1986) 이산화질소의 개인 노출량에 관한 연구(서울시내에 주거하는 주부를 대상으로 한 조사결과), 한국대기보전학회지, 2(1), 55-72.
- 양원호, 이기영, 백도명 (2000) 실내 및 실외 공기중 이산화질소의 개인 노출량 측정을 위한 수동식 시료 채취기의 성능평가, 한국대기환경학회지, 16(6), 625-631.
- 통계청 (2000) 생활시간조사보고서, 제1권 생활시간량편.
- Esmen, N.A. (1985) The status of indoor air pollution, *Environmental Health Perspectives*, 62, 259-265.
- Gordis, L. (1988) *Epidemiology and Health Risk Assessment*, Oxford University Press.
- Lee, J.T., D. Shin, and Y. Chung (1999) Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea, *Environmental Health Perspectives*, 107(2), 149-154.
- Lee, K., Y. Yanagisawa, and J.D. Spengler (1993) Sampling rate evaluation for NO₂ badge: (I) in indoor environment, *Indoor Air*, 4(2), 124-130.
- Lee, K., W. Yang, and N.D. Bofinger (2000) Impact of micro-environmental nitrogen dioxide concentrations on personal exposure in Australia, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50, 1739-1744.
- Levy, J.I. *et al.* (1998) Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure: An international study, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 48, 553-560.
- Nielsen, O.R., M.L. Nielsen, and J. Gehhl (1995) Traffic-related air pollution: exposure and health effects in Copenhagen street cleaners and cemetery workers, *Archives of Environmental Health*, 50(3), 207-213.
- Quackenboss, J.J., J.D. Spengler, M.S. Kanarek, R. Letz, and C.P. Duffy (1986) Personal exposure to nitrogen dioxide: Relationship to indoor/outdoor air quality and activity patterns, 20(8), 775-783.
- Schwab, M., D.C. Steven, J.D. Spengler, and P.B. Ryan (1990) Activity patterns applied to pollutant exposure assessment: data from a personal monitoring study in Los Angeles, *Toxicology and Industrial Health*, 6(6), 517-532.
- Smith, R.L. (1994) Use of Monte Carlo simulation for human exposure assessment at a Superfund site, *Risk Analysis*, 14(4), 433-439.
- USEPA (1997) *Exposure Factors Handbook I, General Factors*, EPA/600/P-95/002Fa.
- Xu, X., D.W. Dockery, and L. Wang (1991) Effects of air pollution on adult pulmonary function, *Archives of Environmental Health*, 46(4), 198-206.
- Yanagisawa, Y. and H. Nishimura (1982) A badge-type personal sampler for measurement of personal exposures to NO₂ and NO in ambient air, *Environment International*, 8, 235-242.