

아산지역에 있어서의 NO₂ 개인 피폭량에 미치는 각종 생활행동 패턴의 영향

손부순 · 김대선* · 정문식**

순천향대학교 환경보건학과 · 국립환경연구원* · 서울대학교 보건대학원**

Effects of Human Activity Patterns on Personal Exposure Levels of Nitrogen Dioxide in A-San Area

Bu-Soon Son · Dae-Seon Kim* · Moon-Shik Jung**

Department of Environmental Health Science, SoonChunHyang University.
National Institute of Environmental Research*.
School of Public Health, Seoul National University**.

Abstract

Personal exposure levels of NO₂ for office workers and housewives Living in A-San and neighboring prefectures were measured in two seasons with NO₂ filter badge.

NO₂ concentrations in indoor and outdoor air in their offices and houses were also measured in the same periods.

Personal exposure levels in winter ranged from 13 to 132 ppb and its distribution pattern was remarkably different from the other seasons (15.2-17.9 ppb). This fact suggests that use of heating apparatus affects largely NO₂ indoor air pollution in winter seasons. Actually, NO₂ exposure levels of subjects used Kerosene heater (43.6ppb) and gas heater (33.4ppb) were higher than those of subjects unused heating apparatus (18.0ppb). Personal exposure levels of NO₂ for man and woman Living in the same houses were correlated well each other.

The time spent indoors for office workers and housewives were both longer than 22 hour a day. Home staying time was about 60% of total indoor staying time for office workers and 90% or more for housewives. Personal exposure levels were significantly related to indoor exposure levels at home all seasons. Furthermore, personal exposure levels could be estimated from NO₂ concentrations and staying times in various Living environment.

I. 서 론

공기오염이 건강에 미치는 영향을 고려할 경우, 우선 문제가 되는 오염물질에의 폭로량을 알 필요가 있다. 우리들은 하루의 대부분을 실내에서 생활하고 있다. 실내공기는 외기에 포함된 오염물질의 실내침입에 의해서 오염되기도하고, 室內獨自의 오염원, 즉 흡연, 난방, 조리, 가구나 건축재료에서 발산되는 물질에 의해 오염된다. 또 이들 오염물질의 일부는 실내 공기중에서 분해 된다든지, 실내 구성물질 등에 흡착 함으로 인해 제거 되기도 한다. 이산화질소(NO_2)는 최근 커다란 관심을 불러 일으키고 있는 오염물질의 하나이며, 환경대기중의 농도에 관해서는 많은 측정점에서의 Data가 集積되어, 환경기준 適否의 평가와 공해방지 계획등의 책정에 활용되고 있다. 또, 실내공간에 관해서도, 주방연소기구나 스토브등의 오염원에서의 실내오염^{1,2)} 이나 실내와 실외의 NO_2 농도 관계등에 대한 연구가 이루어져 왔다.^{3,4)} 그러나, 우리들은 하루 대부분을 실내에서 보내고 있다고 하지만, 충남지역을 중심으로 그 실태를 조사한 예는 거의 없는 실정이다. 본 연구는 아산지역에서의 질소 산화물 폭로농도에 대해, 개인 폭로량, 실내 및 실외농도를 측정하고 그 대상자의 생활행동을 상세히 조사하여, 개인폭로량에 미치는 각 생활공간의 기여를 검토하는 것에 목적을 두고 실시했다.

II. 방 법

1 시약류 및 장치

이산화질소표준원액 : 105~110 °C에서 3시간 건조된 아질산 나트륨(특급) 0.0345 g을 증류수에 녹여 100 ml가 되게 한다. 이 용액을 50배로 희석하여, 1.0×10^{-7} mole NO_2^-/ml 의 표준원액을 조제했다.

발색액 : sulfanilic acid(특급) 5 g을 약 800 ml 증류수에 녹인후, 50 ml H_3PO_4 (특급)을 넣어 혼합하고, 여기에 0.1 wt%N-1-Naphthylethlenediamine · 2HCl(특급)용액 50 ml를 첨가한 후, 증류수를 넣어 1 l로 만든 것을 발색액으로 使用했다.

검량선용표준액 : 이산화질소 표준원액을 발색액으로 $0.02 \sim 0.20 \times 10^{-7}$ mole NO_2^-/ml 의 범위로 희석하여 이용했

다.

NO_2 포집제 : NO_2 포집은 NO_2 filter-Badge(東洋濾紙製)를 이용했다.

분석용장치 : 자기 CARY 219型 분광광도계

2 조사 방법

조사는 1995년 여름(8월)과 1996년 겨울(2월)에, 아산지역(간선도로변)에서 매회 38~46名の 지원자를 대상으로, 조사시작日 오전 9時에서 익일 9時까지의 NO_2 농도와 생활행동시간을 조사하였다. NO_2 측정은 filter badge를 사용하여 행하였고, 개인용, 실내용(주택·직장), 실외용(주택·직장)의 3종류를 동시에 폭로 시켰다. 개인용은 옷깃(수면중은 비개머리)에 달고, 실내용은 방의 중심부에, 실외용은 배란다나 현관밖의 환풍기를 피하여 설치하도록 의뢰 했다. 조사기간의 생활행동시간에 대하여는, 자택내 및 직장내의 在居시간, 외출시간, 이밖의 室內在居시간, 喫煙本數(직장내), 난방기구의 使用시간(冬期) 및 종류, cooler의 使用시간(夏期), 환기시간을 기입용지에 5분단위로 기입 받았다.

3 분석방법

회수한 NO_2 badge에서, Triethanolamine을 함침시킨 셀룰로즈 여지를 꺼내어, 共栓 삼각플라스크에 넣어, 여기에 발색액을 70 ml 가하여, 때때로 가볍게 흔들고, 발색시킨 다음 약 1시간 후, 545 nm의 파장에서 흡광도 측정했다. NO_2 농도의 산출은 柳擇⁵⁾등의 방법에의해 24시간 평균치로서 산출했다. 각 생활행동 시간에 관해서는 일일총시간으로 계산 하였다. Data의 해석은 주로 통계 Package HALBAO를 이용했다.^{6,7)}

III. 결과 및 고찰

1. 개인 NO_2 피폭농도

Table 1에 겨울(2월)과 여름(8월), 아산지역에서의 개인 NO_2 피폭농도의 평균치, 표준 편차 및 농도 범위 등을

나타낸다. 겨울의 개인 NO₂ 농도 분포는 13 ppb~130 ppb까지의 큰 변동을 보이고 있다. 계절적 평균 폭로 농도를 보면 2월 (35.7ppb)이 8월 (15.2ppb)보다 약 2배 이상 높게 나타나 있다. 이와같이 겨울의 NO₂ 개인 폭로 농도가 높은 것은 난방의 영향과⁸⁹⁾ 겨울의 실내환기율이 일반적으로 낮기 때문인 것으로 생각된다.

따라서, 겨울의 자택에서의 난방종류별로 NO₂ 자택내 농도와 개인 폭로 농도를 조사했다. 그 결과 Table 2에 나타난 대로 자택실내의 NO₂ 농도 평균치는 석유스토브 사용자群에서 64.0 ppb, 가스스토브 사용자群에서 39.6 ppb, 전기스토브 사용자群, 미사용자群의 순서로 되어 있다. 이것은 장곡천등²⁾의 보고와 같은 흐름을 보이는 것으로, 난방이 NO₂의 실내농도에 크게 영향을주고 있는 것이 나타났다. 또, 개인폭로 농도는 석유 스토브 사용자群에서 43.6 ppb, 가스스토브 사용자群 33.4 ppb, 난방기구 미사용자群 18.0 ppb 의 순으로 나타나, 개인 폭로에 대한 실내오염의 영향을 강하게 시사하고 있다. 그러나 전기 스토브 사용자群의 개인 폭로농도의 평균치는 예상 이상으로 낮았다.

그 원인으로서, 전기 스토브 사용자 4명 중 3명의 직장내에서의 NO₂ 농도가 90 ppb 이상으로 꽤 높아 직장내에서의 NO₂ 폭로가 개인 폭로농도에 크게 영향을 주는 것이 나타난 것으로 생각된다.

Table 3은 여름과 겨울의 흡연 상황별 NO₂ 개인 피폭량을 나타낸다. 흡연자와 비흡연자의 NO₂ 개인폭로 농도의 평균치는 거의 차이가 없었다. NO₂의 개인 폭로 농도에 대한 간접흡연의 영향은 인정되지 않았다. 이는 실내오염에 대하여 흡연은 陰(-) 인자인 것을 나타낸다. 또, 흡연에 동반되어 흡입하는 연기(신선한 主流煙) 중에는 NO₂는 포함되어 있지 않다고 보고 되어있다.¹⁰⁾

이번에 실시한 2회의 조사에는 동일가정에서 생활을 공유하고 있는 남녀 36쌍의 피험자가 포함되어 있다. Fig. 1는 이들 남녀 36쌍의 NO₂ 개인 피폭농도의 관계를 나타내고 있다.

Table 1. Distributions of personal exposure levels to NO₂(ppb).

	N	Range	Mean	S.D
February	44	13-130	35.7	25.1
August	37	6-28	15.2	4.3

Table 2. Relation between Personal exposure NO₂ and Indoor NO₂ Levels in the home using Various kinds of heating devices.

	Indoor (ppb)			Personal (ppb)		
	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.
Kerosene heater	12	64.0	36.6	18	43.6	34.5
Gas heater	9	39.6	30.8	12	33.4	15.9
Electric heater	4	25.8	25.3	4	51.2	12.2
Unuse	3	14.5	9.3	4	18.0	3.4

回歸式은

(여성의 NO₂ 피폭농도) = 1.253 × (남성의 NO₂ 피폭농도) - 3.494이 되며, 상관계수는 0.827로 유의한 상관 (p < 0.001)을 보였다.

이와같은 사실은 남성, 여성 모두 NO₂ 개인 피폭량에 가정내의 NO₂ 농도가 크게 관여 한다는 것, 주부쪽이 남성 쪽보다도 개인폭로량이 크다는 것을 나타내며, 이것은 冬期에 보여지는 점으로부터 생각한다면 난방과 조리등에 의한 가정내의 NO₂ 오염은 무시 될수 없다는 것이 시사되고 있는 것이다.

2. 실내와 옥외의 NO₂ 농도관계

Table 4에 冬期의 자택실내와 자택옥외의 NO₂ 농도 관계를 나타낸다. 冬期의 실내 NO₂ 농도(평균 47.6 ppb)는 옥외의 NO₂ 농도(평균 21.0 ppb)보다 꽤 높고, 표준편차도 옥외농도보다 크며, 양농도사이의 상관관계는 인정되지 않았다. 이와같이 冬期의 실내 NO₂ 농도가 옥외의 NO₂ 농도와 무상관인 것, 실내 NO₂ 농도의 흠여점이 크다는 것, 그리고 실내 체제시간이 긴것이, III. 1에서 서술했던 개인 폭로 농도의 큰 변동에 관여한 것으로 추측·관찰된다.

Table 3. Personal NO₂ Exposure levels for smoker and non-smoker (nit: ppb)

	February			August		
	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.
non-smoker	30	61.1	39.0	30	24.2	7.5
smoker	14	58.8	44.7	7	24.8	4.7

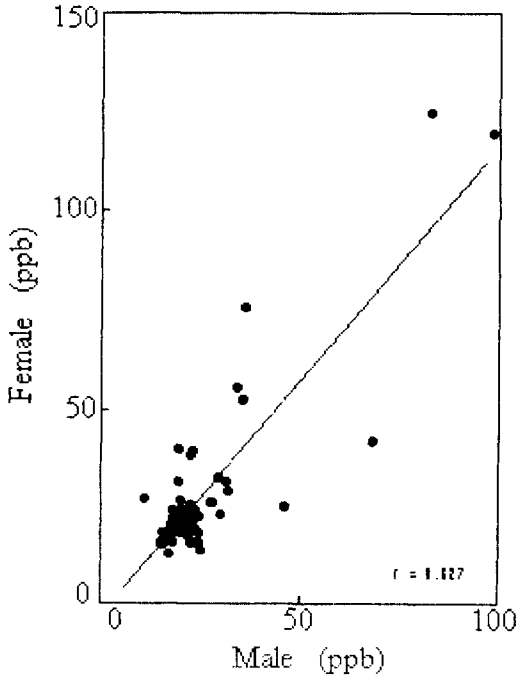


Fig 1. Relation between Personal exposure levels of male and female to NO₂ in a family

한편, 夏期의 실내 NO₂ 평균농도는 옥외의 값(19.1 ppb)보다 낮고 표준편차도 실내에서 3.7 ppb, 옥외에서 4.5 ppb로 작아 비슷한 경향으로 나타났다. 이처럼 여름에 실내의 NO₂ 농도가 옥외 농도에 비해 낮은 것은 난방등의 실내오염원의 영향이 작기 때문에 실내의 NO₂ 농도는 주로 외기의 농도에 의해 지배 된다는 점과, 실내 NO₂의 일부는 마루나 이밖의 실내 구성물에 의해 흡착제거되며, cooler 등의 제습 작용에 동반되는 NO₂ 제거의 영향이 있었던 것이 아닌가 추찰 된다.

한편, 부역의 NO₂ 농도는 평균치로 冬期는 59.2 ppb, 夏期는 19.1 ppb인데 Table 4에 나타난 주택 거실의 각각 평균 NO₂ 농도에 비하여 4.4~11.6 ppb 정도 높아, 조리가 실내 NO₂ 농도 상승에 기여하고 있는 것이 인정된다.

Table 4. NO₂ Levels in Home indoor and outdoor Air.

	Home Indoor*			Home Outdoor		
	Range	Mean	S.D.	Range	Mean	S.D.
Winter	8.0-12.9	47.6	35.0	9.0-32.2	21.0	5.4
Summer	6.6-19.5	14.7	3.7	10.1-32.2	19.1	4.5

3. 생활행동시간

Table 5(a)는 사무직의 冬期, 夏期에 있어서의 생활행동 시간을 나타내고 있다. 조사기간동안 각 생활공간에서의 일일평균체제시간은 계절에 의해 큰 변동이 없이, 자택 실내 13.6~13.8 시간, 직장의 실내 6.2~6.5 시간, 택시·버스등 교통수단 1.6~1.8 시간, 레스토랑, 커피숍 등의 시설에서의 체제시간은 1.2 시간에 불과하다는 것이 나타나 있다.

Table 5(b)는 가정주부의 생활행동시간을 나타낸 것이다. 각 생활공간의 계절별 평균체제시간은 자택실내에서 일일당 20.1~21.5 시간으로 가장 길며, 이중 부엌 체제시간은 3.4~4.2 시간이었다. 또 백화점, 레스토랑등의 시설에 체제한 시간은 0.3~0.5 시간이고, 문 밖에서 보낸 시간은 0.8~1.5 시간에 불과한 것이 인정되었다. 이와같이 가정주부도, 생활행동시간의 계절에 의한 차는 적지만, 노동자와 비교한 경우, 자택체제시간은 冬期는 길고 夏期에 짧으며, 冬期の 외출시간이 짧은 것이 하나의 특징이라고 말할 수 있다고 생각한다.

이상의 조사결과는, 연평균으로 볼때 가정주부는 일일중 20.8 시간, 노동자는 20.0 시간이나 실내에서 생활하고 있으며, 준 실내 공간이라고 생각할 수 있는 교통시설에서의 체제시간도 포함시키면 노동자는 21.7 시간, 가정주부의 경우는 21.2 시간이 되어, 일일의 대부분을 실내에서 생활하고 있는 것을 나타내고 있다.

우리들은 자신이 놓여진 공간의 공기를 끊임없이 마시면서 생활하고 있다. 따라서, 공기오염의 생체영향을 상세히 조사하기 위해서는, 실내공간에서의 오염상태를 정확하게 파악할 필요가 있다는 것을 이 조사결과는 강하게 시사하고 있다. 또, 체제시간으로 부터 생각 할 경우에는, 각종실내중, 특히, 자택과 직장의 실내오염상태 파악이 필요할 것이다.

Table 5. Time spent in Various Living Environments.

(A) Office workers

Location	February*			August*		
	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.
Indoor						
Home	29	13.6	1.9	20	13.8	2.1
Office	29	6.5	1.4	20	6.2	1.6
Vehicles	29	1.8	1.0	20	1.6	1.0
Others	29	1.2	1.3	20	1.2	1.5
Total	29	23.1		20	22.8	
Outdoor						
Total		24.0			24.0	

* Home

(B) Housewives

Location	February*			August*		
	N	Mean	S.D.	N	Mean	S.D.
Indoor						
Home	8	21.5	1.9	14	20.1	1.7
Office		(4.2)	(3.0)		(3.4)	(1.4)
Vehicles	8	0.3	0.3	14	0.5	0.5
Others	8	0.8	0.8	14	1.5	0.5
Total	8	22.6	22.6	14	22.1	
Outdoor						
Total		24.0			24.0	1.0

* Home

4. 개인 NO₂ 폭로량과 실내 및 옥외의 NO₂ 폭로량과의 상관

Table 6에 冬期, 夏期의 개인 NO₂ 폭로량과 자택실내 피폭량, 자택옥외 피폭량, 직장실내 피폭량, 직장옥외 피폭량 및 부엌내 피폭량과의 상관계수를 나타낸다. 여기서 피폭량이라는 것은 각각의 공간에서의 일일당 체재시간과 그 체재환경의 NO₂ 농도와와의 합을 의미하고 있다. 계절에 걸쳐서, NO₂ 개인 피폭량과 통계적으로 유의한 상관을 나타낸 것은, 자택실내에서의 피폭량이다.(겨울. p<0.001, 여름. p<0.01)

冬期의 경우, 옥외 환경에서의 NO₂ 피폭량과 개인피폭량과의 사이에는 상관성이 인정되지 않았지만, 夏期는 자택옥외의 피폭량과의 사이에서는 통계적으로 유의한 상관을 나타냈다.(p<0.01) 이것은 여름의 실내 NO₂ 농도가

Table 6. Relation between Personal NO₂ exposure level and home indoor, home outdoor, office indoor, office outdoor and kitchen indoor levels of NO₂

Location	N	C.C
February		
Home indoor	44	0.607***
Home outdoor	42	0.202
Office indoor	29	0.110
Office outdoor	30	-0.267
Kitchen indoor	13	0.548
August		
Home indoor	37	0.419**
Home outdoor	36	0.506**
Office indoor	19	0.108
Office outdoor	18	-0.112
Kitchen indoor	19	0.337

C. C : Correlation Coefficient

** : p < 0.01 *** : p < 0.001

주로 옥외의 농도에 지배되고 있는 것으로 추정된다.

이상의 결과를 종합하면, NO₂의 개인피폭농도에 영향을 주는 요인중에서 실내의 NO₂ 농도의 기여가 크고, 이 중에서도 자택실내의 영향이 컸다. 자택실내의 오염인자로서는 외기중의 NO₂의 실내침입 이외에 실내 독자의 NO₂ 오염원이 있지만, 창외 개방정도가 작은 冬期에서는, 난방, 특히 석유 스토브의 사용에 의한 영향이 컸으며, 거꾸로 창이 개방되는 기회가 많은 夏期에서는 외기의 영향이 컸다. 또, 在室시간도 실내농도의 개인 피폭량의 영향에 크게 관여하며, 특히, 동일가정에서 일일의 반이상을 함께 생활하고 있는 남녀의 NO₂ 폭로량의 상관은 높았다. 따라서 NO₂의 피폭에 대해서는 실내환경의 영향은 크고, 이것의 인체 영향의 해명에 있어서는, 실내오염의 상황을 정확히 파악할 필요가 있는 것이 강하게 시사되었다.

IV. 결 론

아산지역에서의 이산화질소 오염실태를 명확히 파악함과 동시에 조사지역 주민의 NO₂ 개인 피폭량에 미치는 생활공간의 기여를 검토하기 위해, 1995년 8월과 1996년

2월에 NO₂ Badge를 이용하여 옥내·외 및 개인폭로량 농도측정을 실시했다.

결과는 다음과 같다.

- 1) 개인폭로농도의 계절적 평균 분포를 보면, 겨울(35.7ppb)이 여름(15.2ppb)보다 2배이상 높게 나타났다. 난방 종류별 개인폭로농도는 석유스토브 사용자군이 43.6 ppb, 가스스토브 사용자군 33.4 ppb, 미사용자군 18.0 ppb 순으로 나타나 실내오염 즉, 난방의 영향을 강하게 시사하고 있다.
- 2) 실내와 실외 NO₂ 농도의 계절적 분포는, 冬期の 실내가 47.6 ppb, 실외 21.0 ppb로 실내농도가 높았으나 통계적 유의성은 인정되지 않았고, 夏期の 경우는 실내농도 14.7 ppb, 실외농도가 19.1 ppb로 실내의 NO₂ 농도가 실외농도보다 낮았다.
- 3) 생활행동 시간의 분포를 보면, 주부는 21.2 시간, 노동자는 21.7 시간으로 모두 일일의 대부분을 실내에서 생활하고 있는 것으로 나타났다. 이는 공기오염의 인체영향을 상세히 조사하기 위해서는, 실내공간의 오염상태를 정확하게 파악할 필요가 있다는 것을 이번 조사 결과는 시사하고 있으며, 체재시간을 생각할 경우에는 각종 실내증, 특히 자택과 직장의 실내오염상태 파악이 필요할 것이다.
- 4) 각 계절에 걸쳐서 NO₂ 폭로량과 통계적으로 유의한 상관관을 나타낸 것은, 자택실내에서의 폭로량이었다(겨울 : P<0.0001, 여름 : P<0.01). 그리고, 夏期の 경우에는, 자택 실외피폭량과 개인 폭로량과의 사이에서도 통계적으로 유의성을 보여(P<0.01), 여름의 실내 NO₂ 농도가 주로 옥외의 농도에 지배되고 있는 것으로 추정된다.

참고 문헌

1. 渡邊 弘, 金子ふさ : 石油ストーブ 暖房の衛生學的 考察, 日公衛誌, 13, 293~299, 1966.
2. 長谷川利雄, 小猿和男 : 住居内 空氣汚染に關する研究, 公害と對策, 12, 1192~1202, 1976.
3. Derham, R. L, Peterson, G, Sabersky, R. H, Shair, F. H : Onthe relation between the indoor and outdoor concentrations of nitrogen oxides, *J. Air Pollut. Control Assoc*, 24, 158~161, 1974.
4. Spengier, J.D, Ferris, Jr, B. G, Dockry, D. W : Sulfur dioxide and nitrogen dioxide levels inside and outside homes and the implications on health effects research, *Environ. Sci. Technol.*, 13, 1276~1280, 1979.
5. 柳澤達雄, 西村, 啓 : 生活環境中 濃度測定用 NO₂ パーソナル・サンブラー, 大氣汚染學會誌, 15, 316~323, 1980.
6. Yanai, HR, Takaki, HM : 統計學 Package HALBAU, 1988.
7. Yanai, HR, Takaki, HM : 多변량 해석 HandBook, 1986.
8. Palmes, E. D, Tomszyk, C : Relationship of indoor NO₂ concentrations to use of unvented gas appliances, *J. Air Pollut. Control Assoc*, 29, 392~393, 1979.
9. Traynor, G. W, Girman, J. R, Apte, M. G, Dillworth, J. F : Indoor air pollution due to emissions from unvented gas-fired space heaters, *J. Air Pollut. Control Assoc*, 35, 231~237, 1985.
10. Norman, V, Keith, C. H : Nitrogen Oxides in Tobacco Smoke, *Nature*, 205, 915-916, 1965.