

서울시 도로변의 PM_{3.5}/NO₂ 농도비 및 구두수선대 근로자의 노출평가

배현주 · 양원호 · 김나리 · 정문호
서울대학교 보건대학원 환경보건학과

PM_{3.5}/NO₂ Concentration Ratio in Roadside and Exposure Assessment of Shoes Repairmen in Seoul

Hyun-Joo Bae · Won-Ho Yang · Na-Ri Kim · Moon-Ho Chung
Department of Environmental Health, School of Public Health, Seoul National University

Abstract

Vehicles, especially diesel-using, are a major source of airborne particulate matter(PM), nitrogen dioxide(NO₂) and so on in metropolitan cities such as Seoul. Therefore workers, who are mainly merchants, near roadside may be highly exposed to air pollutants from exhausted emissions of vehicles. This means that occupational type and location can affect the workers' health by exposure to outdoor pollutions of ambient as well as indoor pollutions of working condition, respectively.

In this study, we simultaneously measured the PM_{3.5} and NO₂ concentrations in indoor and outdoor of shoes repair shops in Seoul, which were generally located at roadside in Korea. Shoes repairmen were highly exposed to PM_{3.5} and NO₂ both indoor and outdoor of repair shops comparing with other sub-population groups. High exposure to air pollutants for shoes repairmen was considered to be outdoor source from exhausted emission of vehicles and indoor source from working condition. The PM_{3.5}/NO₂ concentration ratio was 1.17 ± 0.59 in roadside, of which ratio was higher than ratios of other studies. This result suggested that major air pollutant in Seoul was fine particle. Also, this PM_{3.5} to NO₂ ratio will be used in environmental exposure and risk assessment by estimation of PM_{3.5} concentration as measuring the only NO₂ concentration with small and accurate NO₂ passive sampler.

Keywords : PM_{3.5}, nitrogen dioxide, exposure, shoes repairmen

I. 서론

안락하고 윤택한 생활을 영위하기 위한 경제발전과 산업화 그리고 그에 따른 에너지 이용형태의

변화 및 자동차의 급격한 증가로 인해 인구가 집중된 도시지역에서는 각종 대기오염현상이 심각하게 나타나 쾌적한 도시환경을 유지하기 위해서는 적절한 대처방안이 절실히 요구되는 시점에 이르

게 되었다¹⁾. 따라서 정부에서는 대기환경기준을 설정하고 전국적인 대기질 측정망을 가동하고 각종 연료사용을 규제하는 등 적극적으로 대기질 관리를 위해서 노력하고 있다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 전국의 주요 대도시 지역의 대기오염도는 여전히 동절기에는 환경기준을 상회하는 수준을 나타내고 있으며, 시정장해 및 일반시민의 호흡기관련 증상이 증가되고 있는 실정이다²⁾. 서울시 대기오염의 주 오염원은 자동차, 산업장 및 난방시설의 연소 관련 오염원에 의한 것으로 추정하고 있다. 더욱이 이러한 오염된 외부공기가 유입되는 실내공기질에 대한 적절한 관리는 필수적이라 하겠다³⁾.

노출은 오염원과 인간 사이의 접촉으로 정의될 수 있다. 개인과 집단의 직업형태 및 직장위치의 공기 오염물질에 대한 고노출(high exposure) 또는 저노출(low exposure)을 결정할 수 있다⁴⁾. 직업형태에 따른 산업장의 실내환경에서 발생하는 공기 오염물질은 산업공정 및 국소배기 등을 이용하여 노출을 감소할 수 있지만, 직장위치에 의한 대기오염의 노출은 직장위치를 이동하는 것 외에는 적절한 대책이 없는 형편이다.

세계 여러 나라에서는 구두를 닦거나 수선하는 직업에 종사하는 사람들이 있고 우리 나라 역시 그렇다. 그러나 우리 나라 구두기능 미화원들의 작업환경은 독특한 형태로서, 우리 나라는 1991년 8월부터 서울시내 도로변(人道)에 구두수선대라는 명칭으로 구두수선박스가 곳곳에 점유하고 있다. 이러한 구두수선대는 본래 거리에서 작업하던 구두기능 미화원들을 위해 설치한 것으로, 그들의 작업환경을 실내로 옮겨주는 계기가 되었다. 현재 서울시내 22개 구에 구두수선대는 1728개(2001년 현재)가 도로변 점유공간으로 등록되어있다. 이처럼 많은 수의 구두수선대가 서울시내에 있지만 이들의 작업환경에 대한 오염물질 농도측정, 노출정도, 건강영향에 관한 조사가 이루어진 적은 없다.

특히 구두수선대는 도로와 인접하고 있어서 구두기능 미화원들은 작업시간 내내 도로 차량의 다환방향족탄화수소(PAHs : Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)를 포함한 매연과 미세먼지(PM), 그리고 NO_x나 SO_x 등과 같은 일반적 대기오염 물질

중에 고농도로 노출될 가능성이 있다⁵⁾. 또한 구두기능 미화원들의 작업환경은 구두먼지를 털고, 광을 내며, 굽을 가는 등의 작업에 의한 먼지, 그리고 고무창을 가는 작업을 할 때 연마기에서 나오는 고무분진(rubber dust)에 노출될 수 있다. 이러한 작업환경에서 실내공기 정화장치가 없는 상태에서 환기를 하더라도 주변 도로의 오염된 공기가 유입되어 고농도의 대기오염물질에 노출과 동시에 작업으로 인한 오염물질에 노출되어 구두기능 미화원들은 호흡기계에 많은 영향을 받을 가능성이 있다.

본 연구는 도시지역 대기오염의 주 요인이 차량임을 고려하여 도로변 구두수선대 실내 및 실외의 PM3.5와 이산화질소(NO₂)를 측정하였고, PM3.5/NO₂ 농도비를 계산하였다. 그리고 차후에 NO₂ 측정만으로 PM3.5를 추정할 수 있도록 하여 구두기능 미화원과 같은 도로변 근처에서 작업을 갖고 있는 사람들의 공기 오염물질의 노출평가 및 위해성평가를 할 수 있도록 하는 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 2000년 10월부터 2001년 5월까지 서울의 4개 구 도로변에 소재한 구두수선대를 대상으로 32곳을 방문하여 일반사항 및 직업·환경질 만족도 등을 직접 설문 조사하고, 구두수선대 실내·실외의 PM3.5 및 NO₂농도를 실측하였다.

2. 설문조사

설문내용은 대상자의 일반적 특성으로 연령, 결혼 여부, 흡연여부, 음주여부, 운동여부 등을 조사하였고, 작업환경으로는 공간, 공기오염, 소음 등의 만족도를 파악하였다. 설문지는 현장 조사시 구두기능 미화원에게 질문하여 조사자가 기입하도록 하였다.

3. 측정 및 분석

구두수선대의 작업환경측정을 위해서 작업장 크

기, 작업대 높이 등을 실측하고, 작업환경중의 공기오염도를 파악하기 위해 구두수선대 실내 및 실외의 PM3.5와 NO₂를 측정하였다. PM3.5 측정 분석법은 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health) 공정시험법을 이용하여 실시하였다. PM3.5는 시료채취 전 테시케이터에서 향량이 될 때까지 약 24시간 이상을 건조시킨 직경 37 mm, pore size 5 μm의 polyvinyl chloride 여과지(225-8-01, SKC, USA)를 공기포집기(high volume air sampler, Gilian, USA)에 연결하여 시료를 채취하였다. 이때 여과지는 PM3.5를 측정하기 위하여 알루미늄 싸이클론(SK : cut-point 3.5)을 장착하였고, 시료는 2.5 l/min의 유량으로 6시간이상 채취하였다. 펌프의 유량은 시료를 채취하기 전·후에 각각 보정하였으며, 평균값을 사용하였다. 시료채취 후에도 여과지를 다시 24시간 동안 테시케이터에서 건조시킨 다음 여과지 무게를 미량저울(microbalance, Satorious R200D)로 측정하여 여과지 전·후의 무게차를 이용한 중량법으로 호흡성 분진의 농도를 측정하였다.

NO₂ 농도 측정은 수동식 시료채취기(passive sampler)를 이용하였다(Toyo Roshi Kaisha, Ltd. Japan). NO₂ 수동식 시료채취기는 옷깃에 부착되어 개인적 활동을 할 수 있을 정도로 작으며(5×4×1 cm³) 가볍다(15 g)⁶⁾. 수동식 시료채취기 안에 셀룰로우스 여지의 TEA (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 시료채취기는 NO₂가 존재하지 않는 챔버(chamber)에서 분해하여 셀룰로우스 여지를 시험관(16×100 mm)에 넣고, color reagent 10.0 ml를 시험관에 주입하였다. 챔버는 실리카겔, 활성탄, Purafil filter(과망간산 칼륨, 활성 알루미늄과 활성탄으로 합성된 물질)를 연속으로 연결하여 대기 중 공기를 챔버로 유입시켜 NO₂를 포함한 공기오염물질이 없는 상태에서 분석하였다. NO₂ 농도 계산식에 이용된 물질전환계수 값은 0.10 cm/sec를 이용하였으며, 정량분석은 photo-

spectrometer (SHIMADZU UV-1201)를 이용하여 545 nm 파장에서 측정하였다⁷⁾.

III. 연구결과 및 고찰

1. 설문지 조사결과

서울지역의 4개 구를 중심으로 도로변에 소재한 32개 구두기능 미화원을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 조사대상의 구두수선대는 모두 1991년 서울시에 의해 구두수선대라는 명칭으로 일체 정비되어 세워졌다.

1-1. 조사대상자의 일반적 특성

설문조사 결과 일반적 특성을 Tab. 1에 나타내었다. 조사대상자 32명의 평균연령은 48.4세로 40대가 24명, 50대가 6명, 60대가 2명으로 각각 75%, 18.7%, 6.3%를 차지하였고, 남성이 30명 여성이 2명이었다. 전체 대상자중 78.1%가 이전에 다른 직

Tab. 1. General characteristics of participants in this study.

General Characteristics	Mean±SD, No(%)
Age(years)	48.38 ± 6.04
	40 - 49 24 (75.0)
	50 - 59 6 (18.7)
	60 - 69 2 (6.3)
Marriage status	Single 4 (12.5)
	Married 28 (87.5)
Daily working time(hrs)	10.11 ± 1.44
Job carrier(years)	17.69 ± 10.85
	≤ 10 10 (31.3)
	11 - ≤20 12 (37.5)
	21 - ≤30 7 (21.9)
	≥ 31 3 (9.4)
Drinking	Yes 16 (50)
	No 16 (50)
Smoking	Yes 21 (65.6)
	No 11 (34.4)
Exercise	Yes 13 (40.6)
	No 19 (59.4)

업을 가졌던 경력이 있었으며, 평균 근무 년 수는 17.7년으로 10년 이하가 31.3%, 11~20년 사이가 37.5%으로 가장 많았고, 21년 이상인 근로자는 31.2%이었다. 하루작업시간은 10시간이 31.3%로 가장 많았으며, 12시간 이상이 25%, 9시간이 21.8%, 8시간이 15.6%, 11시간이 6.3% 순 이었다. 일주일 중 근무일수에서 6일 근무는 78.1%으로 대부분을 차지하였으며, 7일 근무는 18.8%이었고, 5일 근무는 3.1%이었다. 하루 작업량에서는 구두닦기 30켤레 이하가 56.3%로 가장 많았으며, 31~60켤레 사이가 18.7%, 61~90켤레 사이가 9.4%, 100켤레 이상이 15.6%였다. 음주와 흡연습관을 보면 음주자가 50%, 비음주자가 50%이였으며, 흡연자가 65.5%였고, 비흡연자가 34.4%이었다.

1-2. 만족도 결과

현재의 직업에 대한 만족도 조사결과는 Tab. 2에 나타낸 바와 같이 '만족한다'가 56.3%였으며, '보통이다'가 31.2%, '불만족'인 경우가 12.5%이었다. 현재 소득에 대한 만족도에서는 '보통이다'가 43.8%로 가장 높았으며, '만족한다'가 31.2%였고, '불만족'인 경우가 25.0%이었다. 작업공간면적에 대해서는 만족, 보통 각각 18.8%, 15.6%이였으며, 불만족이 65.7%이였고, 작업환경 중 작업장 소음에 대한 만족도에서 불만족이 59.8%이었다. 작업장 공기오염에 대해서는 6.3%만이 만족하고 있었으며, 보통이 15.6%, 불만족이 78.1%으로 전체 만족도에서 작업장 공기오염에 대한 불만족이 가장 높은 것으로 나타났다. 평상시 생활 중 느끼는 스트레스는 '보통'이 56.3%, '거의 느끼지 않는다'가 34.3%, 그리고 '많이 느낀다'가 9.4%순 이였고, 스트레스의 주요원

인으로는 손님과 관계, 작업환경 등의 순 이었다. A, B, C, D구에서 구의 위치와 근무 년 수에 따라 직업, 소득, 작업환경에 따른 만족도에 있어서 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다.

1-3. 작업환경 특성

작업환경 특성에 대한 설문조사 결과는 Tab. 3에서와 같이 구두수선대의 면적은 1.3×1.5×1.8 m³ (=3.51 m³)가 46.9%, 1.5×1.8×1.8 m³ (=4.86 m³)가 53.1%이었다. 여러 가지 휘발성유기화합물 성분이 포함된 것으로 알려진 신너를 사용하는 작업장은 9곳으로 28.1% 이였으며, 본드에서 사용하는 솔을 녹이기 위해 벤젠을 사용하는 곳은 25곳으로 78.1%이었다. 구두약은 일주일에 5통 이하, 6-10통, 10-20통, 30통 이상 사용하는 양이 각각 21.9%, 37.5%, 28.2%, 12.5%였다. 조사대상 32곳 중 5곳을 제외한 84.4%에서 불광을 내기 위하여 부탄가스를 구두수선대내에서 사용하고 있었다. 구두수선대에서 겨울철에 사용하는 난방기구는 62.5%가 전기를 사용하고 있었으며, 석유, 가스가 각각 12.5%, 25%였다. 구두수선대의 환기는 10회 이상이 59.4%으로 가장 높았으며, 하루에 1~5회와 5~10회가 각각 21.9%, 9.4% 이였고 '전혀 하지 않는다'가 9.4%였다. 구두수선대 내에 환기장치가 설치된 곳은 18.8%였으나 대부분 작동하고 있지 않았으며, 작동하더라도 주변의 오염된 공기가 들어와 효과를 전혀 볼 수 없었다.

2. 이산화질소 측정

2-1. 구두수선대의 실내 및 실외 이산화질소

Tab. 2. Satisfaction degree of study subjects.

(Unit : %)

Factor	Good	Normal	Bad
Job	56.3	31.2	12.5
Income	31.3	43.7	25.0
Space	18.8	15.5	65.7
Noise	12.5	28.1	59.4
Air pollution	6.3	15.6	78.1
Stress	9.4	56.3	34.4

Tab. 3. Characteristics of working condition.

	Yes N(%)	No N(%)
Sinner	9(28.1)	23(71.9)
Benzene	25(78.1)	7(21.9)
Oil	24(75)	8(25)
Gas	27(84.4)	5(15.6)
Burner	23(71.9)	9(28.1)
Fan	6(18.8)	26(81.3)

Tab. 4. Measured indoor and outdoor NO₂ concentrations of shoes repair shops.

	Indoor (n=31)	Outdoor (n=31)	Indoor/outdoor
Mean (ppb)	58.4	58.1	1.08
STD	17.0	23.2	0.35
Range (ppb)	29.9~94.1	22.1~96.3	0.35~2.26

총 32 구두수선대의 실내 및 실외에서 측정된 NO₂ 농도를 Tab. 4에 나타내었다. 측정기간 동안 기상관계와 측정 중 분실로 실내에서 31개, 실외에서 31개의 농도가 측정되었다. 도로변 구두수선대 실내의 평균 NO₂ 농도는 58.4±17.0 ppb 이었으며, 실외는 58.1±23.2 ppb를 나타내었다. 구두수선대 실내/실외 NO₂ 농도비는 평균 1.1±0.4를 나타내어 실내 발생원이 존재하는 것으로 생각하며, 이것은 구두를 닦을 때 불광(火光)때문에 고온연소(thermal NO_x)로 인한 NO₂가 발생되는 것으로 생각할 수 있다⁸⁾. 구두수선대의 위치가 주로 도로변임을 고려할 때 실외의 NO₂ 발생원은 주로 차량에 의한 것으로 여겨지며, 연간 NO₂ 대기환경기준이 50 ppb임을 고려할 때 구두수선대에서 근무하는 근로자는 고농도의 NO₂에 노출되고 있음을 알 수 있다.

2-2. 구두수선대 실내 및 실외 이산화질소 상관성

실내공기는 계속적으로 실외의 공기오염물질에 영향을 받는다. 따라서 측정된 실내 및 실외 NO₂ 농도사이의 관련성을 Fig. 1에 나타내었다. 실내 NO₂ 농도는 실외 NO₂ 농도와 통계적으로 유의한 상관성을 나타내었다 (Pearson r= 0.803, p<0.01). 구두수선대 실외 NO₂ 농도가 대부분 차량에 의한 발생원임을 고려할 때, 구두수선대 실내 NO₂ 농도의 약 80%는 실외 NO₂ 농도에 영향을 받는 것으로 설명할 수 있으며 약 20%는 불광이나 흡연 등에 의한 실내 발생원 때문인 것으로 생각할 수 있다.

3. 미세먼지(PM3.5) 측정

3-1. 구두수선대의 실내 및 실외 PM3.5

NO₂와 동시에 측정된 PM3.5의 측정결과를 Tab. 5에 나타내었다. PM3.5 측정에서는 펌프의 오작동 및 기상관계로 실내에서 28개, 실외에서 30개의 샘플이 수거되었다. 구두수선대 실내의 PM3.5의 평균 농도는 123.6±45.5 µg/m³이었고, 실외는 129.4±43.0 µg/m³를 나타내었다. 이 농도는 박⁹⁾이 서울한성대 A동 옥상에서 측정한 PM10 농도와 비슷하고 PM2.5보다는 높은 결과를 나타내었다. 박이 측정한 장소가 옥상임을 고려할 때, 도로변은 높은 농도로 나타낸 것으로 생각할 수 있다. 한편, 김¹⁰⁾ 등이 한양대 옥상에서 측정한 PM10 농도는 평균 47.46 µg/m³, PM2.5 농도는 평균 25.12 µg/m³을 나

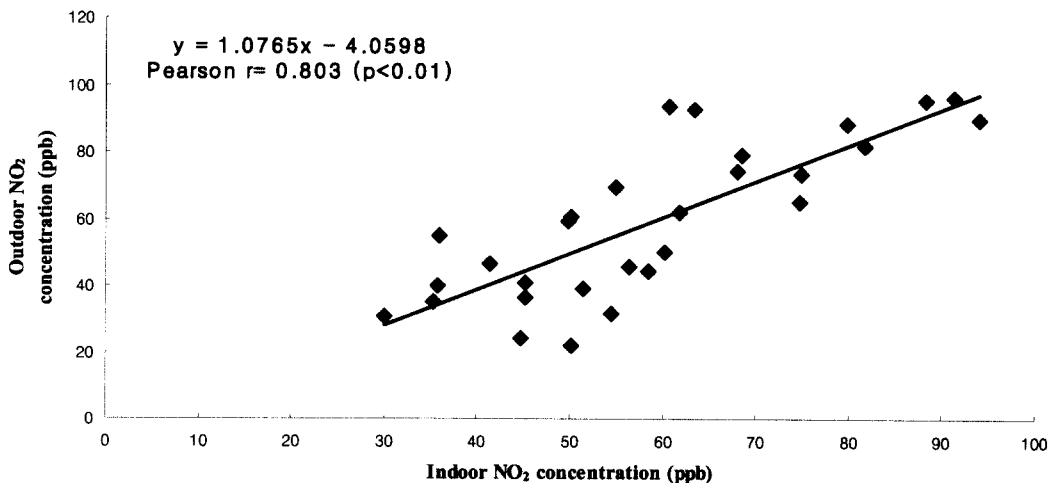


Fig. 1. Relationship between indoor and outdoor NO₂ concentrations of shoes repair shops.

Tab. 5. Measured indoor and outdoor PM3.5 concentrations in shoes repair shops.

	Indoor (n=28)	Outdoor (n=30)	Indoor/outdoor
Mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	123.6	129.4	0.94
STD	45.5	43.0	0.34
Range ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	44.7~198.5	25.8~204.1	0.29~1.88

타내어 큰 차이를 보였다. 이것은 측정장비, 측정 시간, 포집유량 등의 차이 때문일 것으로 생각되며, 미세먼지의 유해성을 고려할 때 심도 깊은 많은 연구가 필요할 것이다.

구두수선대의 실내/실외 PM3.5 농도비는 0.94 ± 0.34 를 나타내어 구두수선대 실내는 도로변 차량에 의한 실외 발생원 뿐만 아니라 구두에 부착되어있는 분진과 흡연으로 인한 실내 발생원도 영향이 있을 것으로 고려할 수 있다. 2001년부터 대기환경 기준에 포함된 미세먼진(PM10)의 기준이 24시간 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하와 연간 기준치 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 임을 고려할 때 상당히 높은 수준을 나타내어, 구두수선대의 구두기능비화원들은 NO_2 뿐만 아니라 PM3.5에도 상당히 높게 노출되고 있음을 알 수 있다.

3-2. 구두수선대 실내 및 실외 PM3.5 상관성

구두수선대 실내 및 실외 PM3.5 농도사이의 관련성을 Fig. 2에 나타내었다. 실내 PM3.5의 농도는

실외와 통계적으로 유의한 상관성을 나타내었다 (Pearson $r = 0.481$, $p < 0.01$). 구두수선대 실외 PM3.5 농도가 대부분 차량에 의한 발생원임을 고려할 때, 구두수선대 실내 PM3.5 농도의 약 48%는 실외 PM3.5 농도에 영향을 받는 것으로 생각할 수 있으며, 약 52%는 구두의 분진, 흡연 등에 의한 실내 발생원 때문인 것으로 생각할 수 있다.

4. 구두수선대 실내 및 실외 이산화질소와 PM3.5의 관계

구두수선대 실내 NO_2 농도와 실내 PM3.5의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 분석한 결과에 의하면 실내 NO_2 농도와 실내 PM3.5는 통계적 유의한 상관성을 나타내었다 (Pearson $r = 0.434$, $p < 0.05$). 이 결과는 구두수선대 실내의 공기오염물질 발생원을 실외에서 유입과 실내 발생의 두 가지로 고려할 때, 발생원에서 NO_2 및 PM3.5가 동시에 발생되고 있음을 나타낸다고 생각할 수 있다.

일반적으로 구두수선대의 실외는 도로변과 가깝게 접근하여 위치하고 있기 때문에 구두수선대 실외에서 측정된 NO_2 농도와 실외 PM3.5의 주 발생원은 도로를 통행하는 차량이다. 따라서, 구두수선대 실외의 NO_2 농도와 실외 PM3.5는 통계적인 상관성을 나타낼 것으로 생각되었으나 유의한 관계를

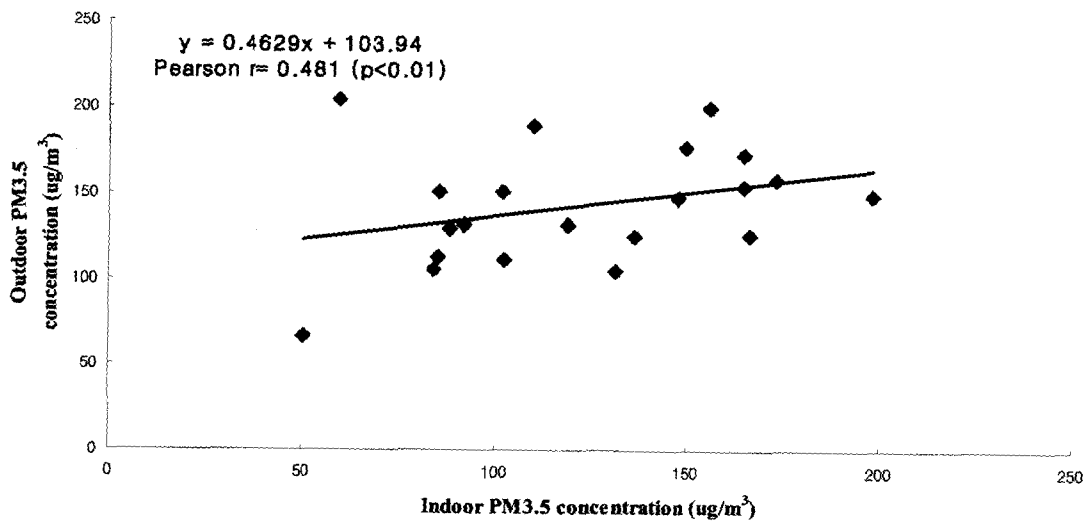


Fig. 2. Relationship between indoor and outdoor PM3.5 concentrations of shoes repair shops.

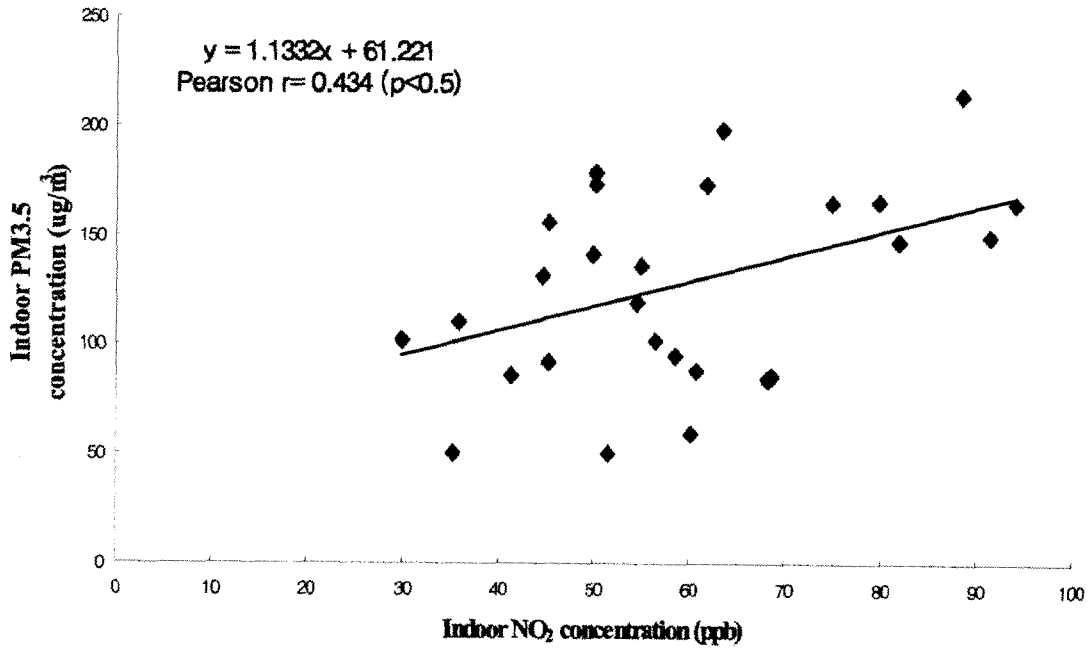


Fig. 3. Relationship between indoor NO₂ and PM3.5 concentrations of shoes repair shops.

나타내지 않았다 (Pearson $r = 0.269$). 이 결과는 두 가지로 해석이 가능하며, 첫 번째는 차량이외의 다른 NO₂ 또는 PM3.5의 발생원이 있을 수 있으며, 두 번째는 NO₂ 수동식 시료채취기의 정확도의 문제와 실내 또는 작업환경 실내 측정용인 PM3.5 측정기의 이용으로 해석할 수 있다. 그래서 본 연

구진은 실제 NO₂ 농도와 실제 PM3.5 농도값이 상당히 차이가 있는 5곳의 구두수선대를 제외하고 (outlier) 상관성을 분석하여 Fig. 4에 나타내었다. Outlier를 제외한 도로변 구두수선대 실제의 NO₂와 PM3.5는 통계적으로 유의한 연관성을 나타내었다 (Pearson $r = 0.338$, $p < 0.05$).

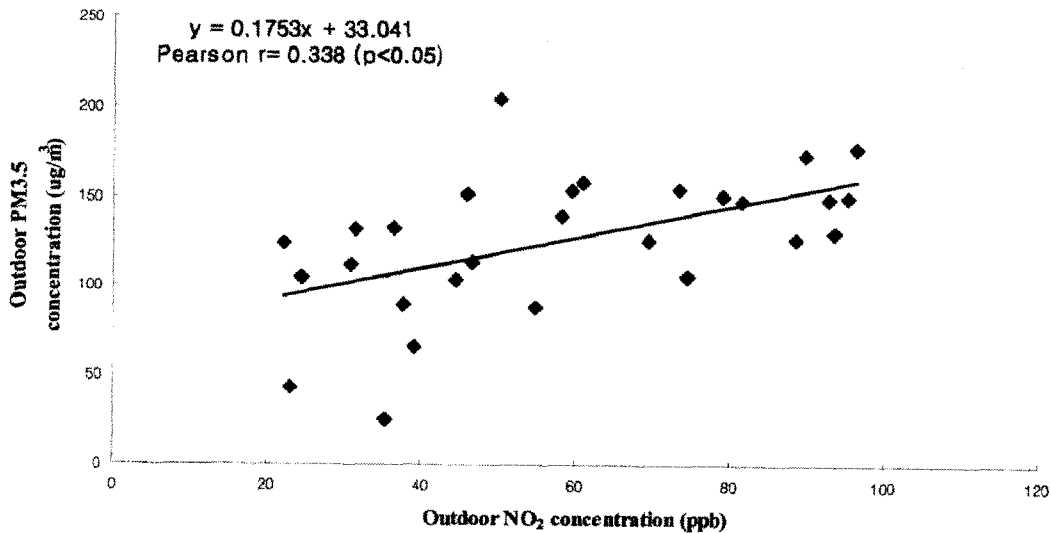


Fig. 4. Relationship between outdoor NO₂ and PM3.5 concentrations of shoes repair shops.

5. 구두수선대 실외의 PM3.5/NO2 농도비

NO₂ 측정용 사용된 수동식 시료채취기는 다른 종류의 공기오염물질의 수동식 시료채취기 중에서 현재까지 가장 정확도가 높아 많은 노출평가 연구에서 이용되고 있다^{11,12)}. 반면에 PM3.5와 같이 미세먼지의 측정은 펌프를 이용하여야 하는 비용적 측면을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서 측정된 PM3.5/NO₂ 농도비는 차후에 수동식 시료채취기를 이용하여 도로변 여러 곳을 NO₂ 농도를 동시에 측정하고, 이 결과를 이용하여 동시에 PM3.5를 추정가능 할 것이다.

본 연구에서 PM3.5/NO₂ 농도비는 2.47±1.12(μg/m³/ppb)를 나타내었다. 측정된 PM3.5 농도단위(μg/m³)와 NO₂ 농도단위(ppb)가 다르기 때문에 NO₂ 농도단위를 μg/m³로 환산하여 계산된 PM3.5/NO₂ 농도비는 1.17±0.59를 나타내어, Janssen¹³⁾ 등이 연구한 도로변 근처의 24곳의 초등학교 실외에서 측정한 PM2.5/NO₂ 평균 농도비 0.63보다 높았다(Tab. 6). 이 차이는 공기역학적 직경이 다른 PM3.5와 PM2.5 측정이었으며, 도로변인 구두수선대와 도로변에서 평균 400 m 이내의 초등학교들은 NO₂의 광화학반응과 2차 미세먼지로 전환을 고려할 때 차이가 있음을 나타내고 있다고 볼 수 있으며, 다른 한편으로는 서울시의 버스 등의 디젤차량에 의한 미세입자의 농도가 상대적으로 높을 수 있음을 나타낸다.

한편, 2000년 환경백서에서는 1998년 배출계수(emission factor)를 이용한 차종별 오염물질 배출량의 PM10(톤/년)/NO_x(톤/년) 비는 0.16이었다¹⁴⁾.

측정 대상 물질인 PM3.5와 NO₂ 농도로 차종별 오염물질 배출량의 PM10과 NO_x와 직접적으로 비교할 수 없지만, 간접적으로 본 연구의 결과와 큰 차이를 나타내었다. 또한 홍콩에서 배출계수를 추정하여 계산된 PM10/NO_x는 0.14로 나타났다¹⁵⁾. 환경기준 대기오염물질 중 최근에 특히 문제가 되는 것은 상대적으로 증가경향에 있는 미세먼지와 NO₂임을 고려할 때 차량과 연관한 위해성평가 및 자동차 공해저감대책¹⁶⁾ 등의 많은 연구가 수행되어야 할 것이다.

IV. 결론

직업 및 작업장 위치에 따른 대기오염물질의 저노출(low exposure)과 고노출(high exposure)은 양질의 환경을 누릴 수 있는 권리를 침해할 가능성이 있다. 본 연구에서 도로변에 근무하는 구두수선공은 고농도의 공기오염물질에 노출되는 것으로 나타났다. 따라서 도로변 주변에서 근무하는 근로자에 대한 공기오염물질의 노출을 고려하여 도시계획 및 차량계획에 활용해야 할 것이다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 도로변 구두수선대 실내의 평균 NO₂ 농도는 58.4±17.0 ppb 이었으며, 실외는 58.1±23.2 ppb를 나타내었다. 구두수선대 실내/실외 NO₂ 농도비는 평균 1.1±0.4를 나타내었다. 그리고, 실내 NO₂ 농도는 실외 NO₂ 농도와 통계적으로 유의한 상관성을 나타내었다(Pearson r = 0.803, p<0.01).

Tab. 6. PM3.5/NO₂ concentration ratios near roadside.

	PM (Mean)	NO ₂ (Mean)	PM3.5/NO ₂
This study (Roadside)	129.4 μg/m ³ (PM3.5)	119.3 μg/m ³	1.17±0.59
Janssen* (Netherlands)	24.8 μg/m ³ (PM2.5)	39.2 μg/m ³	0.63
Korea (Vehicle)	73,000 ton/year (PM10)	465,000 ton/yr (NO _x)	0.16
Hong Kong (Vehicle)	(PM10)	(NO _x)	0.14(w/w)

* Sample No.: 170.

2. 구두수선대 실내의 PM3.5의 평균 농도는 $123.6 \pm 45.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 실외는 $129.4 \pm 43.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 나타내었다. 그리고 구두수선대의 실내/실외 PM3.5 농도비는 0.94 ± 0.34 를 나타내었고, 실내 PM3.5의 농도는 실외 PM3.5 농도와 통계적으로 유의한 상관성을 나타내었다 (Pearson $r = 0.481$, $p < 0.01$).
3. 도로변 구두수선대 실내 NO₂ 농도와 실내 PM3.5는 통계적 유의한 상관성을 나타내었고 (Pearson $r = 0.434$, $p < 0.05$), 실외의 NO₂와 PM3.5도 통계적으로 유의한 연관성을 나타내었다 (Pearson $r = 0.338$, $p < 0.05$).
4. 측정된 PM3.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/NO₂(ppb) 농도비는 2.47 ± 1.12 ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{ppb}$)로 계산되었다. 계산된 PM3.5 농도단위와 NO₂ 농도단위가 다르기 때문에 NO₂ 농도단위를 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 환산하여 계산된 PM3.5/NO₂ 농도비는 1.17 ± 0.59 를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 발전기금에 의하여 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

1. 방용남, 손부순, 양원호, 박종안, 장봉기 : 시간행동 행태를 이용한 영업용 운전자들의 이산화질소 개인 노출량 예측, 한국환경위생학회지, 27(1), 20-26, 2001.
2. 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.
3. Lee, K., Levy, J.I., Yanagisawa, Y. and Spengler, J.D.: The Boston residential nitrogen dioxide characterization study: classification and prediction of indoor NO₂ exposure, Journal of the Air & Waste Management Association, 48, 736-742, 1998.
4. Stevenson, K. Bush, T. and Mooney, D. : Five years of nitrogen dioxide measurement with diffusion tube samplers at over 1000 sites in the UK, Atmospheric Environment, 35, 281-287, 2001.
5. 박찬구, 어수미, 기원주, 김기현, 모세영 : 황사가 서울시 대기 중 PAHs 농도에 미치는 영향, 한국대기환경학회지, 17(2), 179-192, 2001.
6. 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.
7. Lee, K., Yanagisawa, Y., Spengler, J.D. and Billick, I.H. : Wind velocity effects of sampling rate of NO₂ badge. J. Expos. Anal. Environ. Epi. 2, 207-219, 1992.
8. Levy, J.I., et al.: Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure : An international study, Journal of the Air & Waste Management Association, 48, 553-560, 1998.
9. 박두용 : 서울 일부지역에서 미세먼지 측정, 미세먼지 영향 및 저감방안 전문가 토론회, 국립환경연구원, 5-19, 2001.
10. 김윤신, 이홍석, 조용성, 이상복, 장기석 : 서울시 미세입자와 조대입자의 금속성분에 관한 연구, 한국환경위생학회 춘계학술대회 논문발표집, 25-27, 2001.
11. Lee, K., Yang, W. and Bofinger, N. : Impact of microenvironmental nitrogen dioxide concentrations on personal exposure in Australia, Journal of the Air & Waste Management Association, 50, 1739-1744, 2000.
12. 양원호, 이기영, 백도명 : 실내 및 실외 공기중 이산화질소의 개인노출량 측정을 위한 수동식 시료채취기 성능평가, 한국대기환경학회지, 16

- (6), 625-631, 2000.
13. Janssen, N.J., Vlet, P.H., Aarts, F., Harssema, H. and Brunekreef, B. : Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways, *Atmospheric Environment*, 35, 3875-3884, 2000.
 14. 환경부 : 환경백서, 2001
 15. Bently, S.T. : Estimation of PM10:NOx ratio for vehicular emissions in Hong Kong, 14th Clean Air & Environment Conference, Melbourne, Australia, 215-219, 1998.
 16. 한국환경정책·평가연구원, 자동차 공해저감대책의 비용효과분석 및 경제적 유인제도 적용방안, 1997.