

도로변 아파트 높이별 PM, NO_x 분포 연구

자동차공해연구팀

하현주 · 신도철 · 윤호균 · 고한성 · 조수석 · 정종흡 · 엄석원

Variation of Atmospheric Concentrations of PM and NO_x at Different Floors for Three Roadside Apartments

Automobile Pollution Research Team

**Hyun-ju Ha, Do-chul Shin, Ho-kyun Yoon, Han-sung Go,
Soo-seock Cho, Jong-heub Jung and Seok-won Eom**

Abstract

This study was carried out to investigate the variability in atmospheric concentrations of traffic-related pollutants at the 1st, 5th, and top floor of three roadside apartments. Residents who live in apartments located on the roadside tend to be concerned about negative health effects of automobile exhaust gas. We chose to determine which floor of the apartment was affected by automobile-related air pollutants, and whether ventilation of the air improves indoor air quality. We took into account three(A, B, and C) roadside apartments adjacent to roads of more than eight-lanes, each apartment having corridor access. The corridor was used as a place to install the equipment. The atmospheric levels of PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0}, NO₂, and NO_x were measured simultaneously at the 1st, 5th, and top(14th, 15th, or 17th) floor of the apartment over a period of several days. The results revealed that air pollutant concentrations varied depending on the apartment sampled. There was no difference in PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0}, or NO₂ concentration according to height(floor) for apartments B or C, whereas for apartment A, there was no difference of PM₁₀ concentration with height but PM_{2.5}, PM_{1.0}, NO₂, and NO_x decreased with height. The decrease rate of PM_{2.5}, PM_{1.0}, NO₂, and NO_x from at the 1st floor to at top(14th) floor was 7%, 8%, 37%, 39%, respectively. Especially NO₂ at the 1st floor of apartment A exceeded the national daily mean air quality guideline of NO₂ on all of four days.

Key words : PM(Particulate Matter), NO_x, roadside apartments, floor

서론

서울과 같은 대도시 대기오염은 주로 자동차와 같은 이동오염원으로부터 기인된다고 알려져 있고 대부분의 건물들이 도로와 인접하여 있어 자동차 관련 대기오염물질에 직접으로 노출되어 있는 실정이다. 그래서 서울시에서는 교통량이 많은 도로변에 대기오염측정망을 설치, 운영하여 대기오염도를 실시간 공개하고 있으며 이동대기질 측정차량을 이용하여 국지적인 대기질을 측정하기도 한다. 시민들도 서울시 전체의 대기오염도보다는 거주하는 동네 등 국지적인 지역의 대기오염도를 제공받기를 위하여 버스 차고지 주변의 아파트에서 대기오염도 측정 민원이 제기되기도 하였다.

도로로부터 수평거리에 따른 대기오염도 변화 조사는 주로 고속도로 인근 지역에서 많이 시행되었으나(1~4) 서울과 같은 대도시에서는 건물들로 막혀있고 이면도로 등 또 다른 도로들로 건물이 둘러싸여 거리에 따른 대기오염도 조사를 실시하기가 어려운 실정이다. 또한 높이별 대기오염도 조사 연구는 동시에 측정하지 않고 시간차를 두어 측정하거나(5), 동시 샘플링 후 실험실 분석 등의 방법(6)으로 실시되었다.

서울시 아파트 주거 비율은 2010년 현재 전체 244만여 주택 중 144만여 주택으로 59%를 차지하고 있으며 이는 1990년의 35%에 비해 해마다 증가하고 있다(7). 이에 본 연구에서는 아파트, 빌딩 등 고층건물이 많아지고 여기에서 주거, 근무하는 사람들이 많아지는 추세에 따라 높이에 따른 대기오염도 변화를 조사하고자 하였다.

시민들은 도로에서 발생한 자동차 배출가스에 의한 대기오염물질이 거주하고 있는 높이(층)에 어느 정도 영향을 미치는지, 실내 공기질 개선을 위해 환기를 하는 것이 적절한지, 특히 대기오염 취약 계층인 노약자나 호흡기 질환자, 심장병 질환자가 있는 경우 실생활과 밀접한 대기환경 상태에 대해 많은 관심을 가지고 있다. 이처럼 아파트 높이별 대기질 실태 조사가 필요함에도 불구하고 현실적인 제약점 즉 높이별 동시 측정에 필요한 다수의 측정 장비, 측정 지점 선정, 장소 협조 문제 등으로 인하여 조사가 실시되기까지 많은 시간

과 협의 과정 등이 필요하였다.

근거리 사이의 대기질 비교 측정은 짧게는 수 m 이내의 대기질을 비교 측정하는 경우가 있으므로 측정지점간의 대기질 차이가 유효한 값으로 인정받기 위해서는 일정 수 이상의 유효 데이터 확보 및 측정에 사용된 장비들에 대한 정확한 정도관리가 이루어져야 한다. 도로변 아파트 높이별 대기질 조사 업무도 비교 측정지점 간의 거리가 10 m 내외인 경우도 있어 산출된 측정 데이터의 신뢰도 확보를 위한 장비 정도관리가 중요한 부분을 차지하게 된다.

따라서 본 연구에서는 정도관리를 실시한 다수의 측정기기를 아파트 1층, 5층, 최상층에 동시에 설치하여 도로변에 인접한 아파트의 높이에 따른 대기질 분포 특성을 파악하고자 하였다.

연구방법

1. 조사 방법

조사 대상 아파트를 선정하기 위해서 지도상 사전 조사 및 현장 답사를 실시하였다. 조사 아파트 선정 요건은 아파트가 8차선 이상의 도로와 인접하고 장비 설치 공간으로 이용할 비상계단이 외부에 오픈되어 있는 복도식 아파트로 하였다. 아파트 관리사무실과 전기 공급 및 장비 설치 공간에 대해 협의한 결과 3개 아파트에 대해서 측정 협조를 얻어서 조사를 실시하였다. 표 1은 조사 대상 아파트 및 측정 기간을 나타냈다. 아파트 높이에 따른 대기질 조사는 3개 층에서 동시 측정하였으며 1층, 5층, 최상층이다. 최상층은 아파트에 따라서 14층 또는 15층, 17층이다. 인접한 도로 상황은 A 아파트가 8차선이며 교통량은 B, C 아파트에 비해서는 작았다. B와 C 아파트는 인접한 도로가 A 아파트 보다 차선과 교통량이 많은 변화한 지역에 위치하고 있다.

측정 항목은 PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0}, NO, NO₂, NO_x이며 기상인자는 기온, 풍향, 풍속, 일사량이다. 측정 장비는 입자상물질(PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0})은 Portable Aerosol Spectrometer(Model 1.109, Grimm, Germany) 광산란 미세먼지 측정기이며

Table 1. Measurement site details

Apartment	Sampling floor	Description of the adjacent road	Period
A	1F, 5F, 14F	eight-lane	04/14/2012~04/18/2012
B	1F, 5F, 15F	fourteen-lane	04/19/2012~04/25/2012
C	1F, 5F, 17F	eight-lane and freeways with different elevation	04/26/2012~05/02/2012

질소산화물은 Model AC 32M 2대, MMS 복합 측정기 2대(Environnement S.A. France)이다.

분석 자료의 통계 처리에는 SPSS Version 17.0을 이용하였다. 층간 자료 비교를 위한 통계 처리는 ANOVA 분석(유의수준 0.05)을 실시하였다.

2. 장비 정도관리 방법

장비 간 정도관리는 현장 측정 전·후 장비 비교 시험 및 현장 측정 중 표준 시료 값 비교 시험의 2 가지 방법으로 실시하였다. 현장 측정 전 비교 시험은 실험실 내에서 비교테스트를 수행하였으며 현장 측정 후 비교시험은 실외 즉, 본 연구원 지하 주차장 입구에서 수행하였다.

비교테스트 수행 후 장비 간 차이가 있는지 없는지의 기준이 필요한데 “장비 간 차이 없음”의 기준으로는 입자상물질은 제조사에서 명시한 장비 측정 허용오차 ±3%이지만 저농도 범위에서는 허용 오차가 작아지므로 다음과 같이 기준을 정하였다.

평균값 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 미만 :
 장비 간 차이 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이내
 평균값 (50~100) $\mu\text{g}/\text{m}^3$:
 장비 간 차이 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이내
 평균값 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과 :
 장비 간 차이 ±3% 이하

질소산화물은 각 장비의 측정 기간 평균값들의 표준편차가 0.005 ppm이하로 나타나면 장비 간 차이가 없는 것으로 하였다(환경측정기기의 형식 승인·정도검사 등에 관한 고시에 규정된 환경측정기기의 성능시험방법에서 반복성 기준값 적용).

$$\text{평균값 표준편차} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i)^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n C_i)^2}{n-1}}$$

C_i = 각 장비의 평균값

n = 측정 장비 개수

기준 : 0.005 ppm

현장 측정 중 표준 가스를 주입하여 중간 점검을 실시하였다. 대상 장비는 질소산화물 측정장비 4 대이며 적정 농도의 표준가스를 주입하여 지시값을 확인하며 기준은 주입한 표준가스의 5% 이하로 하였다.

결과 및 고찰

입자상 물질 및 가스상 물질 측정 장비의 정도 관리 결과 및 대기질 측정결과는 다음과 같다.

1. 정도 관리 결과

1) 입자상물질 측정 장비

현장 측정 전 실험실에서 22번, 42번, 52번 장비에 대해 비교 테스트를 실시한 결과, 52번 장비의 측정값이 다른 두 장비와 달라서 현장 측정 장비로 사용하기에 부적합하다고 판정되어 장비 업체에 요청하여 새 장비(67번)로 교체하여 현장 측정에 사용하였다. 22번, 42번 장비는 ‘장비 간 차이 없음’ 기준에 적합하였다.

장비 간 비교테스트를 실험실 내에서 실시한 결과 실내 대기질의 변화가 거의 없고 데이터가 낮아서 대기질 변화가 있고 데이터가 높은 현장과는

차이가 있어 현장 측정 완료 후 연구원 지하 주차장 입구에서 장비 간 비교 테스트를 실시하였다. 비교 테스트 결과 측정 기간 중 1분 자료 전체 평균값이 PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0} 3개 항목에서 2 μg/m³ 이하 차이로 나타나 장비 간 차이가 없는 것으로 판명되었다.

2) 질소산화물 측정 장비

현장 측정 전 실험실 비교 테스트 결과 장비 4대 평균값들에 대한 표준편차는 NO 0.001 ppm, NO₂ 0.005 ppm으로 기준에 만족하였다.

현장 측정 중 표준 가스(200 ppb) 확인 시험 결과 주입 가스 200 ppb의 5%인 10 ppb이하로 나타나

Table 2. Average(min.~max.) concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM_{1.0} in indoor comparison test for three analyzers

Unit (μg/m ³)	Name of analyzer		
	# 22	# 42	# 52
PM ₁₀	57(40~87)	58(40~91)	35(22~49)
PM _{2.5}	19(13~36)	19(12~38)	18(12~31)
PM _{1.0}	8(5~16)	8(5~17)	14(9 ~28)

1) Measurement interval : 1 min., N=374

2) Range given in parenthesis.

Table 3. Average(min.~max.) concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM_{1.0} in outdoor comparison test for three analyzers

Unit (μg/m ³)	Name of analyzer		
	# 22	# 42	# 67
PM ₁₀	60(5~254)	58(6~271)	60(5~259)
PM _{2.5}	35(4~127)	35(4~140)	33(4~134)
PM _{1.0}	28(3~123)	29(3~134)	27(3~127)

1) Measurement interval : 1 min., N=6,065

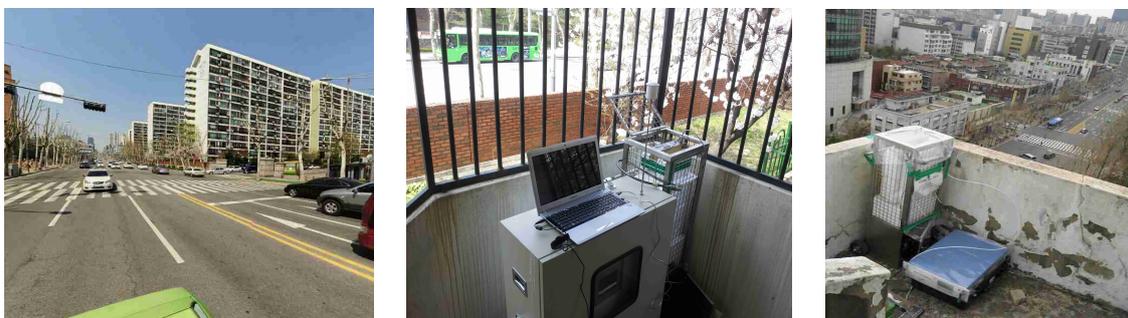


Fig. 1. The photographs of a roadside apartment(left), sampling site of the 1st floor(middle), and the 14th floor(right).

Table 4. Average(min.~max.) concentrations of NO and NO₂ in indoor comparison test for four analyzers

Unit (ppm)	Name of analyzer			
	MMS-1	MMS-2	AC-1	AC-2
NO	0.002 (0.000~0.007)	0.001 (0.000~0.006)	0.001 (0.000~0.008)	0.003 (0.001~0.010)
NO ₂	0.018 (0.014~0.029)	0.029 (0.023~0.044)	0.024 (0.018~0.039)	0.021 (0.016~0.037)

1) Measurement interval : 5 min., N=430

Table 5. The concentrations of NO in calibration check test

Unit (ppb)	Name of analyzer		
	1F(MMS-2)	5F(AC-1)	17F(AC-2)
NO	204.5	202.2	202.8

- 1) Standard gas : NO(100 μmol/mol), N₂ Balance
- 2) Calibrator : Sabio 2010 Gas Dilution Calibrator
- 3) Zero air generator : Sabio 2020 Zero Air Source

Table 6. Average(min.~max.) concentrations of NO and NO₂ in outdoor comparison test for four analyzers

Unit (ppm)	Name of analyzer			
	MMS-1	MMS-2	AC-1	AC-2
NO	0.070 (0.000~0.622)	0.066 (0.000~0.568)	0.063 (0.000~0.564)	0.064 (0.000~0.561)
NO ₂	0.081 (0.040~0.187)	0.065 (0.036~0.109)	0.063 (0.034~0.103)	0.062 (0.034~0.115)

1) Measurement interval : 5 min., N=468

장비 측정값이 유효함을 입증하였다.

현장 측정 완료 후 연구원 지하 주차장 입구에서 비교 테스트를 실시한 결과 4개 장비 각 평균값의 표준편차가 NO 0.003 ppm, NO₂ 0.009 ppm으로 나타나 기준(0.005 ppm)에 불만족하였다. 평균값의 차이가 큰 MMS-1을 제외한 3개 장비에 대해 각 평균값의 표준편차를 구한 결과 NO 0.002 ppm, NO₂ 0.002 ppm으로 기준(0.005 ppm)이하로 나타나 현장 측정 자료는 3개 장비

측정값만 사용하였다.

장비 간 비교테스트를 실시한 결과 지점 간 데이터 비교 측정 시에는 장비 간 차이가 없음을 입증하는 것이 중요한 요소임을 알 수 있다. 또한 데이터의 변화가 거의 없는 실내보다는 실제 측정 환경과 비슷한 곳에서 비교 테스트를 실시하여 장비 간 차이가 없음을 입증한 후 지점 간 비교 측정을 실시하여야 할 것이다.

2. 기상 상황

기온은 세 아파트 모두 1층, 5층, 최상층으로 갈수록 0.1℃ 감소하거나 0.1℃ 증가하는 것으로 나타나 높이에 따른 기온 감소율이 건조단열감률 (0.01 ℃/m)보다 작아 대기가 안정하다고 할 수 있다. 즉, 하층 공기가 상층으로 활발히 이동하지 못하고 하층에 억제되어 있음을 의미한다. 풍속은 A, B 아파트는 최상층에서 풍속이 높았으며, C 아파트는 전체 층에서 모두 풍속이 높았다. 이것은 수평방향으로 공기의 이송이 활발함을 의미한다. 일사량은 세 아파트 모두 상층으로 갈수록 일사량이 높았다(표 7).

3. 입자상 물질

측정 자료는 1분마다 산출되었으며 자료 해석에는 1시간 평균값을 이용하였다.

A 아파트의 경우 PM₁₀은 1층, 5층, 14층에서 (68 ± 8) μg/m³, (67 ± 8) μg/m³, (69 ± 9) μg/m³로 나타났으며 세 지점 간에 통계적으로 유의한 차이가 없어서(p=0.397) 높이에 따른 PM₁₀ 농도 차이가 없다고 할 수 있다. PM_{2.5}는 1층, 5층, 14층에서 (44 ± 6) μg/m³, (46 ± 6) μg/m³, (41 ± 6)

μg/m³로 나타났으며 통계적으로 14층이 1층과 5층에 비해서 낮았고 1층과 5층간의 차이는 없었다. PM_{1.0}은 1층, 5층, 14층에서 (38 ± 6) μg/m³, (39 ± 6) μg/m³, (35 ± 5) μg/m³로 나타났으며 PM_{2.5}와 마찬가지로 통계적으로 14층이 1층과 5층에 비해서 낮았고 1층과 5층간의 차이는 없었다. 14층이 1층보다 PM_{2.5}는 7%, PM_{1.0}은 8% 낮게 나타났다.

B 아파트의 경우 측정기간 중 박무시간이 많았으며 PM₁₀이 20시간 연속 100 μg/m³ 이상, 최대 179 μg/m³까지 기록하였다. 기간 평균은 PM₁₀이 1층, 5층, 15층에서(73 ± 43) μg/m³, (72 ± 44) μg/m³, (72 ± 51) μg/m³로 나타났으며 세 지점 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으며(p=0.796) PM_{2.5}는 1층, 5층, 15층에서 (54 ± 37) μg/m³, (56 ± 38) μg/m³, (50 ± 41) μg/m³로 세 지점 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.335). PM_{1.0}은 1층, 5층, 15층에서 (46 ± 30) μg/m³, (45 ± 29) μg/m³, (40 ± 31) μg/m³로 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.182). B 아파트의 경우 PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0}에서 아파트 높이에 따른 차이가 없음을 알 수 있다(표 8).

Table 7. The results of meteorological parameters observed at each site

Parameter	A Apt.			B Apt.			C Apt.		
	1F	5F	14F	1F	5F	15F	1F	5F	17F
Temperature(℃)	13.8	13.7	13.6	16.0	15.9	15.8	19.9	20.0	20.1
Wind velocity(m/s)	-	0.7	1.2	0.3	0.2	0.9	1.2	1.2	1.1
Solar radiation(W/m ²)	15	61	173	6	10	23	14	36	79

Table 8. The average PM₁₀, PM_{2.5}, and PM_{1.0} concentrations at different floors for three roadside apartments

Unit (μg/m ³)	A Apt.			B Apt.			C Apt.		
	1F	5F	14F	1F	5F	15F	1F	5F	17F
PM ₁₀	68 ± 8	67 ± 8	69 ± 9	73 ± 43	72 ± 44	72 ± 51	38 ± 17	40 ± 19	41 ± 19
PM _{2.5}	44 ± 6	46 ± 6	41 ± 6	54 ± 37	56 ± 38	50 ± 41	23 ± 12	24 ± 13	22 ± 12
PM _{1.0}	38 ± 6	39 ± 6	35 ± 5	46 ± 30	45 ± 29	40 ± 31	17 ± 10	18 ± 11	16 ± 10

C 아파트 측정 기간 중에는 시정거리가 20 km 로 쾌청한 날씨가 계속되어 다른 아파트 측정결과에 비해 입자상물질 농도가 낮아서 PM₁₀은 1층, 5층, 17층에서 (38 ± 17) μg/m³, (40 ± 19) μg/m³, (41 ± 19) μg/m³로 나타났으며 세 지점 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었으며(p=0.221) PM_{2.5}는 1층, 5층, 17층에서 (23 ± 12) μg/m³, (24 ± 13) μg/m³, (22 ± 12) μg/m³로 세 지점 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.155). PM_{1.0}은 1층, 5층, 17층에서 (17 ± 10) μg/m³, (18 ± 11) μg/m³, (16 ± 10) μg/m³로 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.087). C 아파트의 경우도 PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0}에서 아파트 높이에 따른 차이가 없음을 알 수 있다.

도로변에 인접한 세 아파트에 대해 높이별 입자상물질을 측정하여 비교한 결과 측정 기간 전체 평균값은 높이에 따라 유의한 차이가 없었다. 또한 매 시간별 측정값에서도 높이에 따른 차이가 없었다. 이것은 입자상물질의 경우 도로 차량 통행에 따라 높이별 차이를 나타내지 않음을 확인할 수 있었다.

4. 이산화질소, 질소산화물

일산화질소(NO), 이산화질소(NO₂) 측정 자료는 5분 자료이며 자료 해석에는 1시간 평균값을 이용하였다. 또한 질소산화물(NO_x)은 일산화질소와 이산화질소의 합이다. 측정 자료는 5분마다 산출되었으며 자료 해석에는 1시간 평균값을 이용하였다(표 9). A 아파트는 NO₂가 1층, 5층, 14층에서

각각 (0.071 ± 0.015) ppm, (0.053 ± 0.012) ppm, (0.045 ± 0.012) ppm으로 고층으로 갈수록 농도가 낮았으며 14층은 1층에 비해 37% 감소하였다. NO_x는 1층, 5층, 14층에서 각각 (0.114 ± 0.044) ppm, (0.083 ± 0.033) ppm, (0.069 ± 0.030) ppm으로 NO₂와 마찬가지로 고층으로 갈수록 농도가 낮았으며 14층은 1층에 비해 39% 감소하였다. 특히 1층은 유효 측정일 4일 모두 NO₂ 일평균 기준 0.060 ppm을 초과하였으나 5층, 14층은 초과하지 않았다. A 아파트는 5층이나 14층에 비해 1층이 고농도 NO₂에 노출되어 있음을 알 수 있다.

B 아파트는 NO₂가 1층, 5층, 15층에서 각각 (0.038 ± 0.022) ppm, (0.041 ± 0.020) ppm, (0.036 ± 0.020) ppm으로 세 지점 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.099). NO_x는 1층, 5층, 15층에서 각각 (0.075 ± 0.050) ppm, (0.071 ± 0.054) ppm, (0.057 ± 0.051) ppm으로 1층과 5층은 통계적으로 유의한 차이가 없었고 15층은 1층, 5층에 비해 낮았다. 15층은 1층에 비해 24% 낮았다.

C 아파트는 NO₂가 1층, 5층, 17층에서 각각 (0.039 ± 0.016) ppm, (0.038 ± 0.017) ppm, (0.037 ± 0.017) ppm으로 세 지점 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.598). NO_x는 1층, 5층, 17층에서 각각 (0.046 ± 0.026) ppm, (0.047 ± 0.027) ppm, (0.045 ± 0.025) ppm으로 NO₂와 마찬가지로 세 지점 간에 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p=0.627).

B아파트의 경우 같은 기간 1층, 5층, 15층 외에 도로 중앙과 인도에도 측정기기를 설치하여 동시

Table 9. The average NO₂ and NO_x concentrations at different floors for three roadside apartments

Unit : ppm		Center lane	Roadside	1F	5F	Top Floor
A Apt. (N=112)	NO ₂	-	-	0.071 ± 0.015	0.053 ± 0.012	0.045 ± 0.012
	NO _x	-	-	0.114 ± 0.044	0.083 ± 0.033	0.069 ± 0.030
B Apt. (N=137)	NO ₂	0.065 ± 0.029	0.051 ± 0.026	0.038 ± 0.022	0.041 ± 0.020	0.036 ± 0.020
	NO _x	0.190 ± 0.114	0.115 ± 0.095	0.075 ± 0.050	0.071 ± 0.054	0.057 ± 0.051
C Apt. (N=96)	NO ₂	-	-	0.039 ± 0.016	0.038 ± 0.017	0.037 ± 0.017
	NO _x	-	-	0.046 ± 0.026	0.047 ± 0.027	0.045 ± 0.025

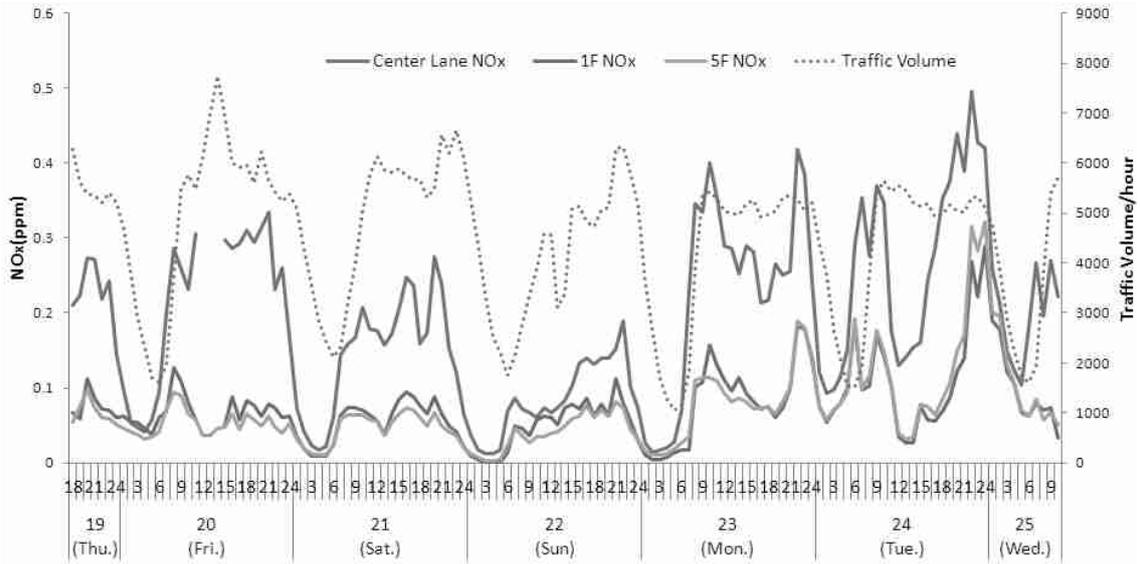


Fig. 2. The hourly variations of traffic volume and NOx at the center lane, the 1st, and the 5th floor for B apartment.

측정하였다. 도로 중앙과 인도에는 같은 기종의 장비가 장착된 이동측정차량을 주차하여 측정하였으며 장비 간 비교는 실시하지 못하였다. 측정 결과 NO₂는 도로 중앙과 인도에서 (0.065 ± 0.029) ppm, (0.051 ± 0.026) ppm을 나타내 1층보다 71%, 34% 높았다. B 아파트는 높이에 따른 NO₂ 감소율보다 수평방향의 거리에 따른 NO₂ 감소율이 더 크게 나타났다.

그림 2는 측정 기간 중 도로 중앙에서 측정된 상행과 하행의 총교통량 및 NOx 시간별 변화를 나타낸 것이다. 교통량은 일요일과 월요일이 비교적 낮았으나 시간당 4,500여 대로 요일별 비슷하게 나타났다. 그러나 도로 중앙과 아파트 1층, 5층에서의 NOx는 일변화가 크게 나타났다. 도로 중앙의 NOx 농도가 21일(토), 22일(일)이 각각 0.145 ppm, 0.085 ppm으로 낮았고 23일(월), 24일(화)이 각각 0.229 ppm, 0.267 ppm으로 높았다. 아파트 1층, 5층에서의 NOx도 도로 중앙과 비슷한 패턴으로 토요일은 1층 0.053 ppm, 5층 0.046 ppm 일요일은 1층 0.049 ppm, 5층 0.041 ppm이었으나, 월요일은 1층 0.081 ppm, 5층 0.079 ppm, 화요일은 1층 0.110 ppm, 5층 0.124 ppm으로 높게 나타났다. 이 기간 동안 기상인자

를 보면 21일(토), 22일(일)은 서울 지역 강우량이 각각 47.5 mm, 9 mm를 기록하였고 23일(월), 24일(화)은 박무가 지속되어 이의 영향으로 농도가 낮거나 높았던 것으로 보인다. 이처럼 대기 중 질소산화물 농도는 자동차 배출가스와 연관성이 크지만 본 연구에서와 같이 강우나 박무와 같은 기상인자에 의해 NOx의 일평균 변화가 크게 영향을 받을 수 있다.

결론

8차선 이상의 도로와 인접해 있는 복도식 아파트에 대해 1층, 5층, 최상층(14층 또는 15층 또는 17층)에서 입자상 및 가스상 대기오염물질의 높이에 따른 농도 변화에 대해 조사를 실시하였다. 조사 결과 아파트에 따라서 상이한 결과를 얻었다. B와 C 아파트의 경우 PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0}, NO₂가 아파트 높이에 따른 농도 차이가 없었다. 이것은 자동차 통행으로 인해 도로에서 발생하거나 비산하는 미세먼지 또는 이산화질소가 지역적 기류 특성에 의해 아파트 최상층 정도 높이까지 지면의 대기오염물질이 빠르게 확산되고 있는 것으로 보이며 이

런 지역에서는 아파트 높이별 대기질 차이가 크지 않는 것으로 보인다. 반면 A 아파트의 경우 PM₁₀은 높이에 따른 차이가 없었으나 PM_{2.5}, PM_{1.0}, NO₂, NO_x는 높이에 따라 감소하였다. 최상층인 14층의 대기오염도가 1층보다 PM_{2.5}, PM_{1.0}의 경우 7%~8% 낮았고 NO₂, NO_x의 경우 37%~39% 낮았다. 특히 1층은 측정일 모두 NO₂ 일평균을 초과하여 A 아파트 1층은 고층보다 대기오염도에서 취약함을 알 수 있고 NO₂가 높은 낮 시간은 가급적 실내 환기를 자제하는 것이 바람직할 것이다.

본 연구 결과는 특정 시기에 특정 아파트에 대해서 측정된 결과로서 도로변 아파트의 높이에 따른 대기오염도 분포에 대한 일반적인 결론을 도출하지는 못하지만 일부분이나마 분포 특성을 확인하는 데 그 의의가 있다고 할 수 있다. 향후 다양한 지역이나 기상을 포함한 조건에서 연구를 한다면 보다 일반적인 특성을 도출할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Hagler GSW, Baldauf RW, Thoma ED, Long TR, Snow RF, Kinsey JS, Oudejans L and Gullett BK : Ultrafine particles near a major roadway in Raleigh, North Carolina _ Downwind attenuation and correlation with traffic-related pollutants. Atmospheric Environment, 43:1229~1234, 2009.
2. Hitchins J, Morawska L, Wolff R and Gilbert D : Concentrations of submicrometre particles from vehicle emission near a major road. Atmospheric Environment, 34:51~59, 2000.
3. Zhu Y, Hinds WC, Kim S and Sioutas C. : Concentration and size distribution of ultrafine particles near a major highway. Journal of the Air and Waste Management Association, 52:1032~1042, 2002.
4. Zhu Y, Hinds WC, Kim S, Shen S and Sioutas C. : Study of ultrafine particles near a major highway with heavy-duty diesel traffic. Atmospheric Environment, 36:4323~4335, 2002.
5. 권오열, 안영상 : 도로 주변의 PM₁₀, NO_x 및 O₃의 시공간적 농도 분포 연구. 한국대기환경학회지, 22(4):440~450, 2006.
6. 천만영, 최민규, 여현구 : 대기 중 유기염소계 살충제(OCPs)와 PCB의 높이별 농도 변화. J. ENVIRON. TOXICOL., 23(3):201~211, 2008.
7. KOSIS 총조사 주택총괄, 통계청 조사관리국 인구총조사과, 2012.