

중앙차선 버스 정류장과 주변지역의 대기오염 특성 비교

Comparison of Air Pollution Characteristics in the Center Lane-Bus Stop and the Surrounding Areas

이용기 · 김웅수 · 홍순모 · 신은상^{1)*}

경기도보건환경연구원, ¹⁾동남보건대학교 환경보건과

(2014년 5월 21일 접수, 2014년 7월 2일 수정, 2014년 7월 31일 채택)

Yong-Ki Lee, Woong-Soo Kim, Soon-Mo Hong and Eun-Sang Shin^{1)*}

Gyeonggi-do Institute of Health and Environment

¹⁾*Department of Environmental Health, DongNam Health University*

(Received 21 May 2014, revised 2 July 2014, accepted 31 July 2014)

Abstract

The use of bus stop in the center lane has reduced the emissions of exhaust gas on the road due to the improvement of the traffic speed but has caused a health problem for the citizens who are waiting for the bus in the platform, and thus the air pollution control of bus stop in the center lane is emerging as a more important part. This study was conducted to investigate the air pollution degree for the center lane-bus stops in four regions using mobile air measuring vehicle, and to evaluate the characteristics of air pollution by comparing with the data measured at the urban air monitoring site close to the bus stops. In addition, the correlation analysis was performed to analyze the impact to neighboring region by vehicle exhaust gas. The regional mean concentration of nitrogen dioxide in the center lane-bus stops ranged from 0.025 to 0.043 ppm which shows from 2.5 times to 5.3 times higher than the values of urban air monitoring site selected as a control group. The regional mean concentration of ozone in the center lane-bus stops ranged from 0.023 to 0.034 ppm which shows from 3% to 28% lower than the values of urban air monitoring site selected as a control group. The concentrations of nitrogen dioxide and ozone for the sampling regions did not exceed one hour-air quality environmental standard (0.1 ppm).

The mean concentration of particulate matter for four center lane-bus stops was $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ which shows about 27% higher than the values of urban air monitoring site selected as a control group, and that of particulate matter did not exceed one day-air quality environmental standard ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In the results of correlation analysis between data from center lane-bus stops and data from urban air monitoring sites, the correlation coefficient (r) of nitrogen dioxide was relatively low as 0.316 to 0.416, and the correlation coefficient was high as the distance was close and vice versa. However, the correlation coefficient of ozone ranged from 0.167 to 0.658 and the correlation coefficient was high as the distance was far and vice versa.

Key words : Center lane, Urban air monitoring, Nitrogen dioxide, Ozone, Particulate matter

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-249-6454, E-mail : sylphs@dongnam.ac.kr

1. 서 론

대도시 대기오염의 주원인은 도로이동오염원인 자동차가 대부분을 차지한다고 알려져 있다.

그러므로 도시인들은 자동차로 인한 대기오염 영향을 가장 많이 받고 있다고 할 수 있다. 특히 도시 교통의 원활한 소통을 위하여 시행하고 있는 버스중앙차선제 통행 방법은 정류장이 도로 중앙에 위치하고 있어 자동차 배출가스의 영향이 더욱 크다고 할 수 있다. 대중교통 중심의 교통인프라 확충을 위한 버스중앙차선제는 1997년 서울 천호대로를 대상으로 시범운영을 마치고 2004년부터 본격적으로 운영되고 있다. 2012년 현재 13개 구간(122.1 km)에서 운영되고 있으며 이중 4개 구간(25.3 km)이 경기도 도로와 연결되어 있다(Seoul Statistical Yearbook, 2012).

서울의과과 도입을 잇는 간선도로 중앙에 버스전용차선을 설치하여 버스운행에 철도시스템의 개념을 도입한 BRT(Bus Rapid Transit: 간선급행버스체계)는 운행속도, 정시성, 수송능력을 제고하여 통행시간 감축 등 저렴한 비용으로 서비스를 향상시킨 새로운 대중교통수단으로 각광받고 있다(SDI, 2004). 또 버스중앙차선제는 대기환경 측면에서 보면 버스 통행속도의 향상으로 인해 버스의 배가스 배출량을 감소시키는 효과가 있다. 하지만 버스 승강장이 도로 중앙에 위치함으로써 승강장에서 버스를 기다리는 시민들의 건강 보전은 우려가 되는 실정이다. 최근 세계보건기구(WHO, World Health Organization)에서는 경유차 배출가스 중 일부를 1급 발암물질로 지정하여 인체 위해도가 높다고 설명하고 있다(Straif *et al.*, 2012). 그러나 수도권 대기환경개선을 위한 특별법 시행으로 기본계획이 수립되고 이에 따라 자동차에 의한 대기오염 저감정책으로 저공해 자동차보급, 대기오염물질 저감장치 부착, LPG엔진 개조 등을 시행하고 있지만 개선효과는 뚜렷하게 나타나지 않고 있다(GIHE, 2011). 버스중앙차선을 운행하는 대형버스는 2006년부터 CNG 버스로 대체되기 시작하여 현재는 CNG 버스 보급률이 80%에 달하지만 아직까지도 시내버스를 제외한 대다수의 대형버스는 경유를 사용하고 있으며(Jeon *et al.*, 2010), 특히 경유버스는 대도시를 중심으로 주로 운행되고 있기 때문에 이들 차량에서 배출되는 대기오염물질 배출특성이나 배출

량 산출은 대기환경 개선정책의 중요한 관리 자료로 활용된다.

이와 같이 버스중앙차선제는 대도시의 전체적인 대기오염물질 배출량 측면에서는 감소 효과가 있지만 버스 정류장이 중앙차선에 위치하여 이를 이용하는 시민들은 자동차 배출가스에 가깝게 노출되면서 건강에 많은 영향을 미치고 있을 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 먼저 경기도에서 버스중앙차선제가 시행되고 있는 4개 노선의 정류장에 대한 대기오염 현황을 실시간으로 조사하여 대기환경기준 초과여부 등 항목별 특성을 분석하였다. 둘째로 조사한 자료를 가장 인근에 위치하고 있는 주거지역 도시대기측정소의 같은 시간 자료와 비교하여 버스중앙차선 정류장과 주변지역 대기오염 사이에 어떤 특성이 있는지를 비교·분석하였다. 셋째로 중앙차선 버스 정류장에서 배출된 대기오염물질과 주변지역 대기오염물질의 상관관계를 분석하여 자동차 배출가스가 주변지역에 어떤 영향을 나타내는지 알아보고자 하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

2.1 대상지역 선정

버스중앙차선 정류장의 대기오염특성을 주거지역에 위치한 도시대기측정소에 비교 분석하기 위해 선정할 측정지점 및 구간은 그림 1 및 표 1과 같다. 고양시 중앙로는 서울시 수색 성산로와 연결되는 구간으로 서울시 경계로부터 약 15.6km를 버스중앙차선



● Sampling site
Fig. 1. Location of sampling site.

Table 1. The study area and measurement period.

City	Road name (Distance, km)	Sample sites
Goyang	Chungangro (15.6)	Ilsan fire station
Guri	Kyeongchunro (3.1)	Guri station
Namyangju	Kyeongchunro (2.3)	Donong station
Hanam	Hanamdaero (4.3)	Jangji station

제로 운영하고 있다. 측정지점은 일산소방서 정류장이며 측정결과는 직선거리 약 3.5 km 떨어진 식사동 도시대기측정소에서 자동측정된 자료와 비교 분석하였다. 구리시 경춘로는 서울시 망우 왕산로와 연결되는 구간으로 서울시 경계로부터 약 3.1 km를 버스중앙차선제로 운영하고 있다. 측정지점은 구리역 정류장이며 측정결과는 직선거리 약 1.6 km 떨어진 교문동 측정소에서 자동측정된 자료와 비교 분석하였다.

남양주시 경춘로는 구리시 경춘로와 연결되는 구간으로 구리시 경계로부터 약 2.4 km를 버스중앙차선제로 운영하고 있다. 측정지점은 도농역 정류장이며 측정결과는 직선거리 약 4.0 km 떨어진 금곡동 도시대기측정소에서 자동측정된 자료와 비교 분석하였다. 하남시 하남대로는 서울시 천호대로와 연결되는 구간으로 서울시 경계로부터 약 4.3 km를 버스중앙차선제로 운영하고 있다. 측정지점은 장지마을 정류장이며 측정결과는 직선거리 약 0.6 km 떨어진 신장동 도시대기측정소에서 자동측정된 자료와 비교 분석하였다.

2.2 측정방법

버스중앙차선에서 대기오염 농도 측정은 경기도보건환경연구원이 보유하고 있는 대기오염 이동측정차량(Mobile Air Monitoring Vehicle)을 이용하였다. 측정차량은 가스상 및 입자상 대기오염물질을 측정할 수 있는 측정기기를 탑재한 것으로 현장에서 실시간으로 측정이 가능하며 이동성이 뛰어나고 환경오염물질 피해 현장 등에 적용하기에 탁월하다. 측정항목 및 측정방법은 표 2와 같으며 모든 측정 장비는 환경 분야 시험검사에 관한 법률에 의거 매년 정도검사를 시행하여 신뢰성 있는 자료를 생산할 수 있다. 측정기간은 2012년 9월과 2013년 9월 각 1일씩 2회 측정하였으며 1회 측정시간은 지점별로 오전 10시부터 16시까지 5~6시간동안 가스상 물질은 5분, PM₁₀

Table 2. Items and methods of mobile air monitoring vehicle.

Items	Methods
Nitrogen dioxide (NO ₂)	Chemiluminescent methods
Ozone (O ₃)	U.V. Photometric method
Particulate matter (PM ₁₀)	β-ray Absorption methods

은 1시간 간격으로 측정하여 같은 시간 가장 인접한 도시대기 자동측정소 자료와 비교분석하였다. 비교대상 항목은 최근 대기 농도가 개선되지 않고 자동차 배출가스의 영향을 비교적 많이 받고 있는 이산화질소(NO₂)와 오존(O₃) 및 미세먼지(PM₁₀)를 대상 항목으로 선정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 이산화질소(NO₂) 오염특성

이산화질소(NO₂)는 일반 대기오염물질 중에서 가장 제어하기 힘들고 저감기술이 어려운 물질로 잘 알려져 있다. 대부분 연료의 연소과정에서 배출되지만 아무리 청정한 연료라 하더라도 배출되는 특징이 있다. 이것은 공기 중의 질소와 산소가 고온의 연소 과정에서 생성되는 열적 질소산화물(Thermal NO_x) 때문이다.

대도시에서 질소산화물의 배출은 대부분 이동오염원에서 배출된다. 우리나라의 경우 이동오염원의 질소산화물 배출비율은 국가 전체로는 전체배출량의 56%이며 서울과 같은 대도시는 69%를 차지하는 것으로 알려져 있다(MOE, 2011).

중앙차선 버스 정류장에서 측정한 이산화질소의 오염특성은 표 3과 같다. 측정기간 중 지역별 평균 농도 범위는 0.025~0.043 ppm으로 대조군으로 선정한 도시대기측정소 농도보다 최소 2.5배에서 최고 5.3배까지 높은 농도를 나타냈다. 평균 농도 차이가 가장 큰 지역은 하남시 하남대로 장지마을 버스 정류장으로 약 0.6 km 떨어진 신장동 도시대기 측정소에서 자동측정된 농도와 비교하여 5.3배 높은 결과를 나타냈다. 반면 가장 낮은 농도 차이를 나타낸 지역은 구리시 경춘로 구리역 버스 정류장으로 0.025 ppm을 나타내 약 1.6 km 떨어진 교문동 자동 측정소에서 측정된 0.010 ppm보다 2.5배 높은 농도를 나타

Table 3. NO₂ in urban air monitoring station and center lane-bus stop in Gyeonggi-Do.

	Goyang		Guri		Namyangju		Hanam	
	UAMS	CLBS	UAMS	CLBS	UAMS	CLBS	UAMS	CLBS
Average (ppm)	0.016	0.043	0.010	0.025	0.011	0.033	0.007	0.037
SD (ppm)	0.006	0.018	0.004	0.012	0.005	0.013	0.003	0.013
Max. (ppm)	0.030	0.097	0.021	0.065	0.025	0.067	0.013	0.068
Min. (ppm)	0.009	0.015	0.005	0.008	0.004	0.003	0.003	0.011
No. of Valid data	82	78	98	97	90	96	90	86

UAMS: Urban air monitoring station
CLBS: Center lane bus stop

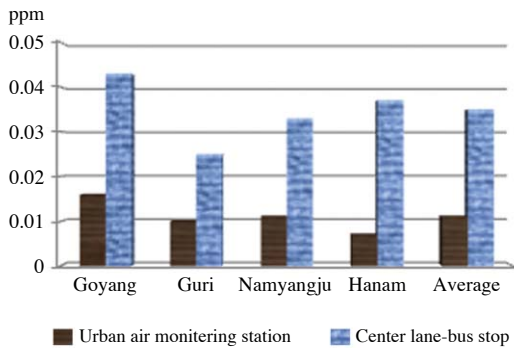


Fig. 2. Average of NO₂ (ppm) in urban air monitoring station and center lane bus stop.

났다. 측정지역 4개소 중 평균 농도가 가장 높은 중앙차선 버스 정류장은 고양시 중앙로 일산 소방서 정류장으로 0.043 ppm을 나타냈으며, 연구대상 4개 지역 평균 0.034 ppm보다 약 23% 높은 결과를 나타냈다(그림 2). 연구대상 모든 지역에서 도시대기측정소보다는 높은 농도를 나타냈지만 국가 단기 환경기준(0.1 ppm/h)을 초과한 지역은 없었다. 본 연구에서 측정된 이산화질소 평균 농도는 Oh *et al.* (2006)이 서울시에서 조사한 0.065~0.083 ppm보다는 낮은 농도를 나타냈다. 이것은 교통량이 많은 서울시내와 외곽도시에서 자동차에 의한 오염물질 배출경향이 다르기 때문으로 판단된다.

도로내부로 배출되는 질소산화물(NO_x)은 대부분 자동차의 엔진 내 연소과정에서 발생하며, 배출되는 NO_x 중 NO₂가 차지하는 비율은 최대 67%이며(Alvarez *et al.*, 2008), 런던의 도로변 관측결과에서는 평균 11%(최소 3%, 최대 24%)로 알려진 바 있다(Carlaw and Beevers, 2005). Ha (2011)가 연구한 자료에 의하

면 NO₂는 인도가 도로 중앙보다 평균 28% 낮았고 NO₂ 1시간 기준 0.100 ppm을 초과하는 횟수는 도로변 인도가 도시 대기보다 8.4배 많았다. 본 연구에서 나타난 결과를 보면 주거지역이나 상업지역에 위치하고 있는 도시대기측정소보다 중앙차선 버스 정류장의 NO₂ 농도가 훨씬 높게 나타나는 것은 선행 연구자들의 연구결과와 같은 양상을 보이고 있다. 따라서 중앙차선 정류장을 이용하는 시민이나 도로 주변에 거주하거나 보행하는 사람들의 NO₂로 인한 건강 영향이 우려된다고 할 수 있다.

3. 2 오존(O₃) 오염특성

VOCs와 NO_x가 풍부한 대도시에서는 과다한 양의 O₃이 생성되어 대기질을 저하시키며 인체 호흡기에 악영향을 미치고 온실기체로서 기후변화에도 크게 기여하는 것으로 판명되었다(IPCC, 2007, 2001). 오존은 지표 근처의 여러 오염원에서 배출되는 NO_x와 휘발성 유기화합물(VOCs)이 광화학 반응에 의하여 생성 된다는 것은 잘 알려져 있다. 또 오존 생성에 기여하는 NO_x의 대부분은 이동오염원인 자동차로부터 배출되기 때문에 중앙차선 버스 정류장의 오존농도 특성을 알아보는 것은 오존의 생성과 소멸과정을 이해하는데 매우 유용하다고 할 수 있다.

중앙차선 버스 정류장에서 측정된 오존의 오염특성은 표 4와 같다. 측정기간 중 지역별 평균 농도 범위는 0.023~0.034 ppm으로 나타나 대조군으로 선정한 도시대기측정소 농도보다 3~28% 낮은 농도를 보였다. 농도 편차가 가장 크게 나타난 지역은 하남시 하남대로 장지마을 버스 정류장으로 약 0.6km 떨어진 신장동 도시대기 측정소에서 자동측정 된 농도와 비교하여 28% 낮은 결과를 나타냈다. 반면 가장 낮은 농도 편차를 나타낸 지역은 구리시 경춘로 구리역 버

스 정류장으로 0.032 ppm을 나타내 약 1.6km 떨어진 교문동 자동 측정소에서 측정된 0.033 ppm보다 3% 낮은 농도를 나타냈다. 4개 대상지역 중 평균 농도가 가장 높은 중앙차선 버스 정류장은 고양시 중앙로 일산 소방서 정류장으로 0.034 ppm을 나타냈으며 4개 지역 평균 0.029 ppm보다 약 17% 높은 결과를 나타냈다(그림 3). 조사한 모든 지역에서 도시대기측정소보다는 낮은 농도를 나타냈으며 국가 단기 환경기준(0.1 ppm/hr)을 초과한 지역도 없었다.

중앙차선 버스 정류장이 일반 도시대기 측정소보다 오존 농도가 낮은 것은 차량에서 배출된 NO가 NO₂로 산화되는데 오존이 사용되었기 때문인 것으로 판단된다. 오존생성률(ozone production efficiency)은 NO₂/NO 비에 의존하며 대기 중에서 오존 농도 축적에 따른 고농도의 오존은 대부분의 NO가 NO₂로 전환된 후에 일어난다(Boubel *et al.*, 1994). 중앙차선 버스 정류장과 주변지역의 NO₂/NO 비를 조사한 결과는 그림 4와 같다. 중앙차선 버스 정류장은 자동차 배출가스의 영향으로 NO₂/NO 비가 매우 낮

게 나타난 반면 도로에서 멀리 떨어진 주변지역은 NO가 NO₂로 충분히 전환되어 NO₂/NO 비는 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 또 오존농도는 NO₂/NO 비와 비례적인 결과를 나타내는 특성을 보였다. 즉 NO₂/NO 비가 낮은 중앙차선 버스 정류장의 오존 농도는 낮게 나타났고 NO₂/NO 비가 높은 도시대기측정소는 높은 오존농도를 나타냈다. 또 중앙차선 버스 정류장의 NO₂/NO 비가 낮을수록 주변지역의 오존 농도가 높게 나타나는 특성을 보였다. 이것은 중앙차선 버스 정류장에서 자동차 배출가스에 의해 배출된 많은 양의 NO가 NO₂로 전환되어 주변지역으로 이동하면서 광분해 되어 O 라디칼을 거쳐 오존이 생성되기 때문인 것으로 판단된다. 우리나라 대기 중 오존과 NO₂ 농도를 비교하면 2005년을 기점으로 후반 7년 동안 오존은 증가하였으나 NO₂ 농도는 감소하였다. 이는 오존의 증가가 NO₂의 감소와 관련되며 이러한 결과는 오존의 광화학적 생성의 복잡성(non-linearity)을 보여주는 것이다(Han *et al.*, 2013).

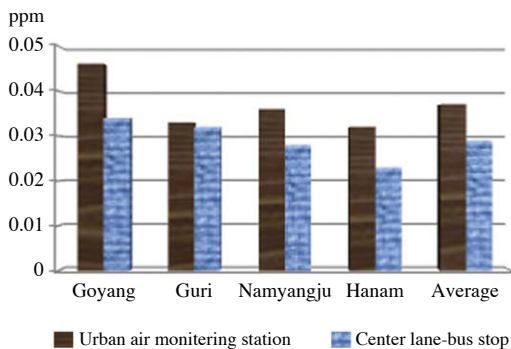


Fig. 3. Average of O₃ (ppm) in urban air monitoring station and center lane bus stop.

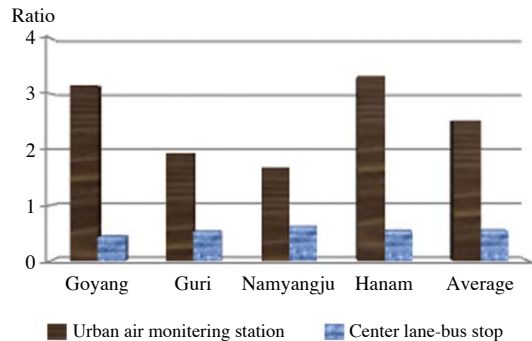


Fig. 4. Average of NO₂/NO ratio in urban air monitoring station and center lane bus stop.

Table 4. O₃ in urban air monitoring station and center lane bus stop in Gyeonggi-Do.

	Goyang		Guri		Namyangju		Hanam	
	UAMS	CLBS	UAMS	CLBS	UAMS	CLBS	UAMS	CLBS
Average (ppm)	0.046	0.034	0.033	0.032	0.036	0.028	0.032	0.023
SD (ppm)	0.009	0.009	0.008	0.007	0.009	0.007	0.004	0.005
Max. (ppm)	0.072	0.062	0.047	0.050	0.048	0.045	0.041	0.036
Min. (ppm)	0.030	0.013	0.020	0.017	0.011	0.015	0.017	0.013
No. of Valid data	86	86	98	99	87	87	94	94

UAMS: Urban air monitoring station
CLBS: Center lane bus stop

3. 3 미세먼지 (PM₁₀) 오염특성

대도시 대기오염물질의 대부분은 도로를 운행하는 차량에서 배출되고 있는 것으로 알려져 있다. 지난 50년간 세계 차량 증가율(약 10배 이상)은 인구 증가율(2배)을 훨씬 능가하였다. 우리나라의 경우 2012년도 자동차 등록대수가 자가용 17,747 천대, 영업용 차량 1,052 천대, 판용차량 7.1 천대로 총 18,871 천대를 넘어섰다(Ministry of environment, 2013). 인구밀도가 높고 자동차 운행대수가 많은 서울과 수도권은 지방보다 대기질의 악화 정도가 상대적으로 심각하다고 할 수 있다. 이러한 이동오염원에서 발생하는 미세먼지는 시민들과 매우 가까운 위치에 존재하고, 실제로 인체에 직접적인 영향을 미치고 있다(Lim *et al.*, 2009). 자동차의 통행량이 많은 도심의 도로중앙에 위치한 중앙차선 버스 정류장은 일반자동차와 버스 같은 대형자동차에서 배출되는 미세먼지의 영향을 직접 받을 수 있으며, 정류장을 이용하는 시민들은 건강에 악영향을 초래할 수 있기 때문에 자동차 영향을 가장 많이 받는 중앙차선 버스 정류장에서 미세먼지 오염특성을 파악하는 것은 매우 중요하다.

중앙차선 버스 정류장에서 측정한 미세먼지의 오염특성은 표 5 및 그림 5와 같다. 연구대상 4개 지역의 미세먼지 평균 농도는 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대조군으로 선정한 도시대기측정소 평균 농도 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약 27% 높은 농도를 나타냈다. 농도범위는 최대 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 최소 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 연구대상 모든 지역에서 도시대기 측정소 보다 높은 값을 나타냈지만 국가 단기환경기준(100 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{일}$)을 초과한 지역은 없었다. Ha(2011)가 연구한 자료에 의하면 PM₁₀은 도로변 인도가 도로 중앙보다 평균 11% 낮았고 PM₁₀ 일평균 대기환경기준 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하는 횟수는 도로변 인도가 도시 대기보다 2.4배 많았다. 본 연구에서 나타난 결과와 비교하면 농도 차이는 크지는 않았지만 대기환경기준 초과횟수는 비교적 크게 나타났다. 이것은 측정기간과 횟수(2009년 분기별 1~2주 15지점)가 다르기 때문에 나타나는 차이로 판단된다.

중앙차선에서 미세먼지 농도가 높아지는 이유는 자동차 배출가스의 영향과 차량이 이동할 때 발생하는 비산먼지의 영향이 크기 때문이다. 정부에서는 DPF(Diesel Particulate Filter) 부착을 의무화 하는 등 최선의 정책을 내놓고 있지만 대도시미세먼지 오염도는 개선되고 있지 않는 실정이다. 특히 본 연구에서

Table 5. PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in urban air monitoring station and center lane bus stop in Gyeonggi-Do.

	UAMS	CLBS
Average ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	22	28
SD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7	8
Max. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	39	48
Min. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9	10
No. of Valid data	32	31

UAMS: Urban air monitoring station
CLBS: Center lane bus stop

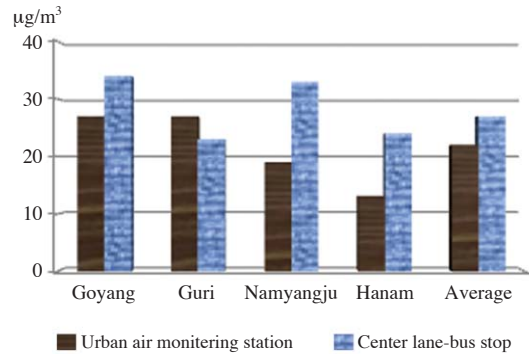


Fig. 5. Average of PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in urban air monitoring station and center lane bus stop.

도 나타난 바와 같이 대도시의 중앙차선 버스 정류장의 미세먼지 오염도는 일반 도시대기질보다 훨씬 심각한 것으로 파악되었다. 따라서 자동차로 인한 화석연료의 소비량을 줄이고 디젤 차량을 CNG 차량으로 점차 바꾸어 나가야 하며 전기 자동차, 하이브리드 자동차의 확대와 태양에너지, 풍력 등과 같은 자연 에너지를 사용하는 기술을 발전시켜 미세먼지 배출량을 줄이는 근본적인 대책이 필요하다고 하겠다.

3. 4 지점별 대기오염물질 상관 분석

중앙차선 버스 정류장과 가장 인접한 도시대기측정소에서 측정한 대기오염 자료에 대한 상관성을 지역별로 분석하였다. 그림 6에 나타난 바와 같이 이산화질소 상관계수는 두 지점간의 거리가 가장 가까운(0.6 km) 하남지역의 상관계수가 0.416으로 가장 높게 나타났으며 떨어진 거리가 가장 긴(4.0 km) 남양주시 지역의 상관계수는 0.316으로 가장 낮았다. 이것은 도로 중앙 자동차에서 배출된 NO가 오존의 적정(titration)

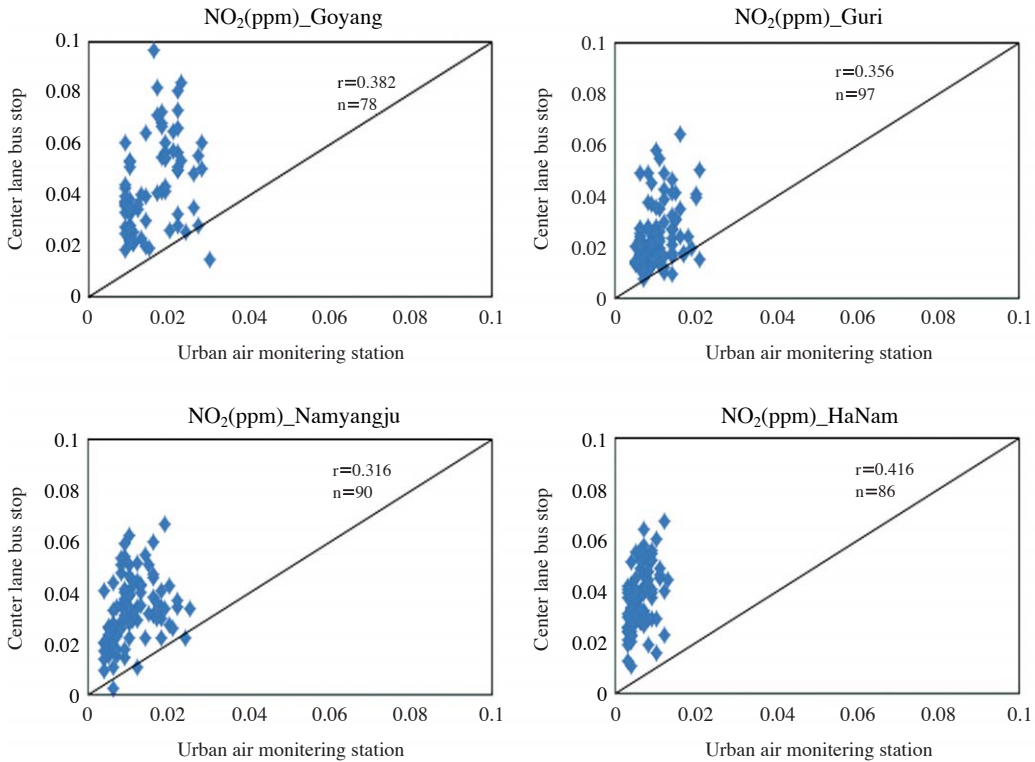


Fig. 6. Correlation analysis of NO₂ in urban air monitoring station and center lane bus stop.

반응에 의해서 빠르게 NO₂로 산화하면서 가까운 지역에는 직접적인 농도 증가 현상이 나타나지만 거리가 멀어질수록 NO₂가 광분해하면서 농도가 감소하기 때문인 것으로 판단된다. Sillman(1999)이 연구한 자료에 의하면 오존 농도가 감소하는 현상인 NO 적정 (titration)에 의해 낮 시간대에 NO_x 배출량이 많은 오염원 인근 지역에서 O₃ 농도가 감소될 수 있다고 하였다. 즉 감소된 오존과 NO의 영향으로 도로를 인접하고 있는 지역의 NO₂ 농도는 증가하며 도로에서 거리가 멀어질수록 감소한다는 것이다.

그림 6의 상관관계 분석 그래프를 보면 두 지점의 측정값이 같은 값을 나타내는 1:1 직선을 중심으로 대부분의 자료가 왼쪽 위에 분포하는 것을 알 수 있다. 이는 일반 도시대기측정소에서 측정한 자료에 비해 중앙차선 버스 정류장에서 측정한 자료의 대부분이 큰 값을 나타내는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 이유는 광역적 오염원(global source)보다 국지적 오염원(local source) 영향을 더 많이 받고 있다고 추정

할 수 있다.

반면 오존에 대한 상관분석 결과(그림 7)는 이산 화질소와 정반대의 결과를 나타냈다. 상관계수는 측정지점간의 거리가 긴(4.0 km) 남양주지역의 상관계수가 0.658로 가장 높았으며, 두 지점간의 거리가 가까운(0.6~1.6 km) 구리, 하남지역의 상관계수가 각각 0.167, 0.223로 낮게 나타났다. 그림 7과 같이 상관분석 그래프에 나타난 두지점간의 측정값도 1:1 직선을 중심으로 대부분의 자료가 왼쪽 아래에 분포하여 일반 도시대기측정소에서 측정한 자료에 비해 중앙차선 버스 정류장에서 측정한 자료의 대부분이 적은 값을 나타내는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

중앙차선 버스 정류장 4개 지역과 인접한 일반 도시대기측정소의 대기오염 측정 자료를 비교하여 지

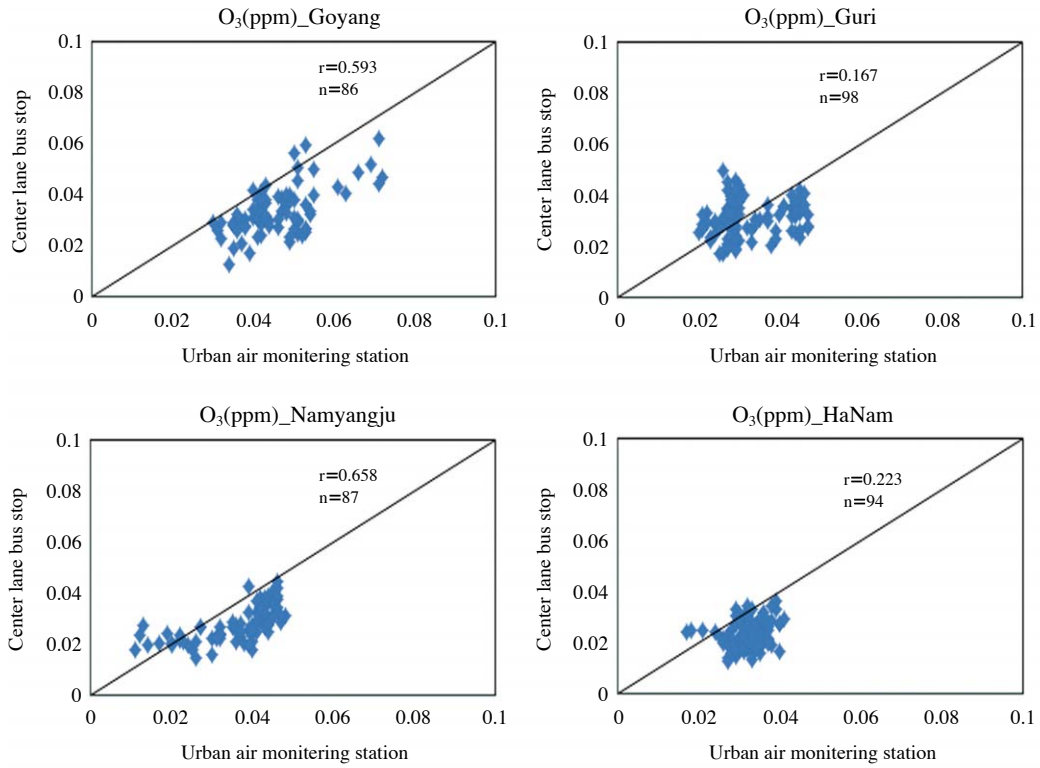


Fig. 7. Correlation analysis of O₃ in urban air monitoring station and center lane bus stop.

역별, 항목별 오염특성과 대기환경기준 초과 여부를 분석하였다. 또 두 지점에서 측정한 자료의 상관성을 분석하여 자동차 배출가스에 의한 주변 지역의 대기 오염 영향과 버스 정류장을 이용하는 시민의 건강에 미치는 영향을 알아보려고 연구한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 이산화질소의 지역별 평균 농도는 0.025~0.043 ppm으로 대조군으로 선정한 도시대기측정소 농도보다 최소 2.5배에서 최고 5.3배까지 높은 농도를 나타냈으며 1시간 대기환경기준(0.1 ppm/h)을 초과한 지역은 없었다.
2. 오존의 지역별 평균 농도는 0.023~0.034 ppm으로 대조군으로 선정한 도시대기측정소 농도보다 3~28% 낮은 농도를 나타냈으며 1시간 대기환경기준(0.1 ppm/h)을 초과한 지역은 없었다.
3. 미세먼지의 4개 지역 전체 평균 농도는 28 µg/m³으로 대조군으로 선정한 도시대기측정소 평균 농도보다 약 27% 높은 농도를 나타냈으며 일평균 대기환

경기준(100 µg/m³)을 초과한 지역은 없었다.

4. 중앙차선 버스 정류장과 도시대기측정소에서 측정한 대기오염 자료에 대한 상관분석 결과 이산화질소의 상관계수(r)는 지역에 따라 r=0.316~0.416으로 비교적 낮았으며 두 지점간의 거리가 가까울수록 높고, 멀수록 낮게 나타났다. 반면 오존의 상관계수(r)는 지역에 따라 r=0.167~0.658으로 거리에 따라 차이가 크게 나타났으며 거리가 멀수록 높고 가까울수록 낮게 나타났다.

결론적으로 중앙차선 버스 정류장의 대기오염물질 농도는 일반 도시대기질보다 훨씬 높고 주변 대기오염에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 따라서 디젤 차량의 매연 배출 저감 장치의 인증조건 준수에 대한 철저한 확인과 하이브리드 및 전기차량의 사용으로 자동차로 인한 화석연료의 소비량을 줄이고 태양에너지, 풍력 등과 같은 자연 에너지를 사용하는 기술을 발전시켜 대기오염물질 배출량을 줄이는 근본적인 대책이 필요한 시점이라 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 동남보건대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Alvarez, R., M. Weilenmann, and J.-Y. Favez (2008) Evidence of increased mass fraction of NO₂ within real-world NO_x emissions of modern light vehicles-derived from a reliable online measuring method, *Atmos. Environ.*, 42, 4699-4707.
- Boubel, R.W., D.L. Fox, D.B. Turner, and A.C. Stern (1994) *Fundamentals of air pollution - Third Edition*, Academic Press.
- Carslaw, D.C. and S.D. Beevers (2005) Estimations of road vehicle primary NO₂ exhaust emission fractions using monitoring data in London, *Atmos. Environ.*, 39, 167-177.
- GIHE (2011) The Report of Gyeonggi-do air pollution assessment.
- Ha, H.J. (2011) Comparative evaluation of the air quality at the center lane and road side in the exclusive median bus lane, Department of Environmental Engineering, Graduate School, the University of Seoul. (in Korean with English abstract)
- Han, J.H., H.Y. Kim, M.H. Lee, S.Y. Kim, and S.W. Kim (2013) Photochemical Air Pollution of Seoul in the Last Three Decades, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 29(4), 390-406. (in Korean with English abstract)
- IPCC (2001) *Climate Change 2001: The Scientific Basis (Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp. Cambridge University Press, New York.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis (Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change)*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge Univ. Press, New York, 131-217.
- Jeon, S.W., M.D. Eom, and J.H. Hong (2010) A Study on the Comparison of Emission Characteristics of In-Use Urban Bus by Test Modes, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 26(4), 403-411. (in Korean with English abstract)
- Lim, Y.U., W.Y. Sun, Y.J. Lee, H.J. Kim, and M.S. Park (2009) Health Risk Assessment of PM Reduction from Diesel Particulate Filter, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 541-542.
- Ministry of Environment (2011) *White Paper of Environment*, Seoul.
- Ministry of environment (2013) *Environmental statics year-books - The Number of Vehicle Registered by kind*, 375.
- Oh, H.J., J.H. Jung, S.J. Cho, C.H. Park, H.G. Im, and J.H. Kim (2006) The Survey on Gaseous Contaminants on the Median Bus-only Lanes in Seoul, Report of S.I.H.E., 42, 409-418.
- SDI (2004) The Research on atmospheric environmental impact with accordance Conducted in bus center lanes, PR-42.
- Seoul Statistical Yearbook (2012).
- Sillman, S. (1999) The relation between ozone, NO_x and hydrocarbons in urban and polluted rural environments, *Atmos. Environ.*, 33, 1821-1845.
- Straif, K., L. Tallaa, N. Gaudin, and F. Chaib (2012) IARC : Diesel engines exhaust carcinogenic, International Agency for Research on Cancer (WHO).