

ORIGINAL ARTICLE

서울시 도로변지역과 인근 주거 밀집지역의 실시간 대기 중 PM_{2.5} 농도 비교

윤동민 · 김보경 · 이동재 · 이선엽 · 김성렬*
순천향대학교 환경보건학과

Comparison of Ambient Real-Time PM_{2.5} Concentrations at Major Roadside with on those at Adjacent Residential Sites in Seoul Metropolitan City

Dongmin Yun, Bokyeong Kim, Dongjae Lee, Seonyeob Lee, Sungroul Kim*
Department of Environmental Health Sciences, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

Abstract

In 2013, International Agency for Research on Cancer (IARC) concluded that outdoor air pollution is carcinogenic to humans, with the particulate matter component of air pollution most closely associated with sufficient evidence of increased cancer incidence by exposure to particulate matter component of air pollution. Motor vehicles are one of a major emission sources of fine particle (PM_{2.5}) in urban areas. A large number of epidemiological studies have reported a positive association of morbidity or mortality with distance from the roadside. We conducted this study to assess the association of PM_{2.5} concentrations measured at roadside hotspots with those at adjacent residential sites using real-time PM_{2.5} monitors. We conducted real-time PM_{2.5} measurements for rush hour periods (08:00~10:00 and 18:00~20:00) at 9 roadside air monitoring Hotspot sites in metropolitan Seoul over 3 weeks from October 1 to 21, 2013. Simultaneous measurements were conducted in residential sites within a 100 m radius from each roadside air monitoring site. A SidePak AM510 was used for the real-time PM_{2.5} measurements. Medians of roadside PM_{2.5} concentrations ranged from 9.8 µg/m³ to 38.3 µg/m³, while corresponding median values at adjacent residential sites ranged from 4.4 µg/m³ to 37.3 µg/m³. PM_{2.5} concentrations of residential sites were 0.97 times of hotspot roadside sites. Distributions of PM_{2.5} concentrations in roadside and residential areas were also very similar. Real-time PM_{2.5} concentrations at residential sites, (100 m adjacent), showed similar levels to those at roadside sites. Increasing the distance between roadside and residential sites, if needed, should be considered to protect urban resident populations from PM_{2.5} emitted by traffic related sources.

Key words : PM_{2.5}, Roadside, Residential, Distance

1. 서론

세계보건기구 산하 국제 암 연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)는 2013년 10월, 대기

중 입자상 물질을 1급 발암물질로 발표하였다(IARC, 2013). 도시환경의 경우, 대기 중 입자상 물질의 배출은 50% 이상이 이동오염원 및 연료 연소에 의해 주로 발생된다고 알려져 있다(WHO, 2004). 그 중 PM_{2.5}는 이전

Received 26 January, 2015; Revised 21 April, 2015;

Accepted 6 May, 2015

*Corresponding author : Sungroul Kim, Department of Environmental Health Sciences, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea
Phone: +82-41-530-1249
E-mail: sungroulkim@gmail.com

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 여러 연구에서 차량엔진을 통한 배출이 PM_{2.5} 배출의 20~50% 정도를 차지한다는 결과가 있다(Guo 등, 2009; Ho 등, 2006; Lee 등, 2006; Yuan 등, 2006).

세계보건기구에서 발표한 세계 각 도시의 PM_{2.5} 연평균 농도자료에서 2011년 우리나라 대도시의 PM_{2.5} 연평균 농도는 서울에서 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 인천에서 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 부산에서 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났는데, 이는 2011년 유럽의 대도시(프랑스 파리: 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 독일 베를린: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 이탈리아 로마: 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 농도 수준과 비교하여 비슷하거나 약간 높은 수준이었으며, 2012년 미국의 대도시(뉴욕: 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 워싱턴: 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)의 농도 수준보다 약 2배 높은 농도 수준을 나타냈었다(WHO, 2014).

경기개발연구원에 의하면, 국내의 경우 수도권 지역은 미세먼지로 인한 조기사망자수가 연간 2만 여명, 관련 질환으로 인한 조기 사망자수가 80만 여명 정도로 추정되고 있다(GRI, 2013). 이렇게 유해한 초미세먼지로부터 국민을 보호하기 위해 우리나라는 2015년부터는 PM_{2.5}의 대기농도 기준치를 적용하여 PM_{2.5}의 관리 및 농도 저감을 목표로 하고 있다(MoE, 2012).

최근 도로변에서 거리에 따른 PM_{2.5} 농도 수준에 대한 역학연구가 진행되고 있다. Health Effects Institute (HEI)의 연구에 의하면, 미국 고속도로 및 지역 주요도로에서 최대 300~500 m 범위 까지 차량관련 배출물의 영향을 받는 노출지역으로 확인되었으며(HEI, 2010), 도로변 30 m 이내에서는 도로변의 농도의 90% 이상의 수준이라고 보고된바 있다(Giang과 Oanh, 2014). 또한 국내에서도 2011년에 버스 중앙 차로제 시행 구간에서 차도와 인도의 대기질을 비교 평가한 연구 결과가 있었으나(Ha, 2011), 이는 도로중앙이 도로변 공기질의 미치는 영향에 대한 연구였으며, 현재까지는 도로변 및 도로변 근접 주거지역의 PM_{2.5} 실시간 농도를 정량적으로 비교한 연구는 국내에서는 아직 흔하지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구에서는, 교통량이 많은 도로변 지역과 100 m 떨어진 근접 주거지역에서 출퇴근 시간대에 동시 측정된 두 지점의 PM_{2.5} 실시간 측정결과를 비교하여, 도로변과 근접 주거지역의 PM_{2.5} 농도 관련성을 평가하고 관련 건강 영향 기준치와 비교하여, 초미세먼지 농도 저감 정책 도출에 필요하다고 사료되는 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구 및 방법

2.1. 측정 장소 및 방법

본 연구는 2013년 10월 중 3주 동안 진행하였다. 측정 장소는 서울시 대기오염측정망 지점별로 도로변과 근접 주거지역 측정 장소를 선정하여, 두 장소에서 동시 측정을 실시하였으며, 지점별로 1회 측정하였다. 도로변 측정 장소는 교통오염원에 의한 대기오염 수준 평가에 활용되고 있는 서울시 대기오염측정망 설치 장소 주변의 도로변 중 흡연 등 다른 오염원의 영향이 가장 적을 것으로 판단되는 위치로 선정하였다. 도로변 측정 장소로부터 반경 100 m 내의 주거지역을 연구진이 무작위로 선정하여 근접 주거지역 측정 장소로 선정하였다(Fig. 1.). 도로변 측정 장소와 마찬가지로 주거지역에서도 흡연의 영향이 최소인 지점으로 선정하고자 하였다. 본 연구에서는 서울시 대기오염측정망 15개 지점 가운데 무작위로 강남 4개 지점과 강북 5개 지점을 선정하였으며, 선정된 지점은 다음과 같이 강남구 논현동(신사동), 서초구 양재동(양재), 동작구 사당동(동작대로), 강동구 길동(길동), 중구 을지로(동대문), 성동구 성수동(강변북로), 종로구 종로4가(종로), 마포구 노고산동(신촌), 성북구 정릉3동(내부순환)이었다.

측정시간은 교통량이 많을 것으로 예상되는 출퇴근 시간(08~10시, 18~20시)을 선정하여 도로변과 근접 주거지역을 동시 측정하였으며, 주중 평소 교통량의 변화가 상대적으로 많을 잠재성이 있는 월, 금요일은 피하고, 화, 수, 목요일을 이용하였다. 측정 전날이나 당일 새벽에 기상상태를 확인하여 바람이 불거나, 비가 오거나 박무, 연무 등 습도가 높은 날은 측정을 실시하지 않아 기상상태로 인한 영향을 줄이고자 하였다.

도로변과 근접 주거지역에서 PM_{2.5} 농도의 동시 측정을 위해 광산란 방식을 사용하는 실시간 PM_{2.5} 측정 장비인 SidePak Model AM510(TSI Inc., Shoreview, MN)을 사용하였다. Sidepak AM510은 미국 TSI사에서 개발된 개인 에어로졸 모니터로 실시간 PM_{2.5} 질량 농도를 결정하기 위해 광산란 기술을 사용하여 측정하는 장비이다. Sidepak AM510은 측정된 에어로졸을 내부로 유입시켜 내부에서 발생하는 레이저 광으로 분산시켜 그 분산된 에어로졸을 광검출기를 통해 측정하는 장비로, 크기가 작고 가벼워 간단한 측정이 가능하여 국내·외에서

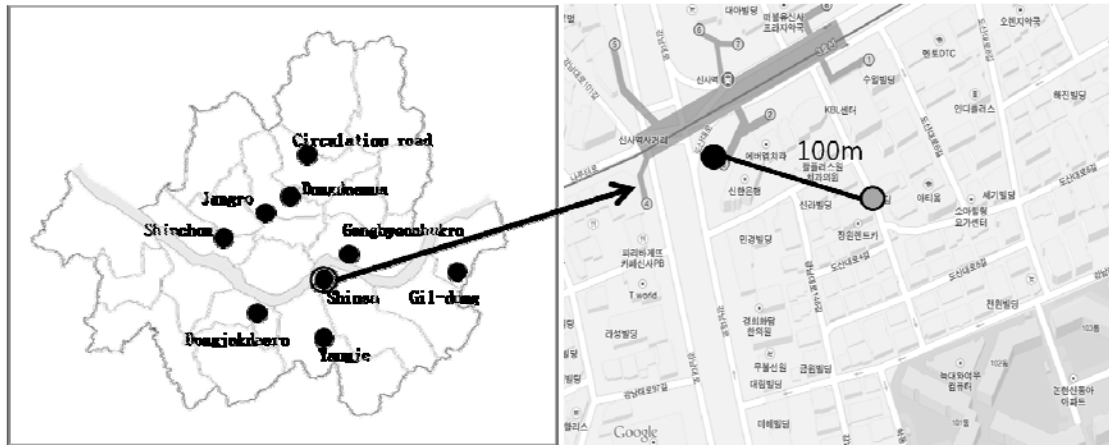


Fig. 1. Sampling sites of this study and an example of sampling points for roadside and corresponding adjacent (100m) residential areas:

Dongdaemun (135-5, Gwanghui-dong 2-ga, Jung-gu, Seoul), Gangbyeonbukro(642-25, Seongsu1-ga1-dong, Seongdong-gu, Seoul), Jongro (32-8, Jongno 4-ga, Jongno-gu, Seoul), Shinchon (31-6, Nogosan-dong, Mapo-gu, Seoul), Circulation Road (998, Jeongneung 3-dong, Seongbuk-gu, Seoul), Shinsa (1, Nonhyeon 1-dong, Gangnam-gu, Seoul), Yangjae (19-14, Yangjae-dong, Seocho-gu, Seoul), Dongjak Daero (739, Sadang-dong, Dongjak-gu, Seoul), Gil-dong (417, Gil-dong, Gangdong-gu, Seoul).

PM_{2.5} 측정에 활용되고 있다(TSI, 2012; Padro'-Martinez 등, 2012). Sidepak AM510의 유량은 1.7 L/min로 고정하였고, 1초 단위로 저장하였다. 광산란 측정기기의 농도 보정계수로는 0.38로 하였다(Karagulian 등, 2012).

2.2. 자료 분석

Sidepak Model AM510은 측정기기 제조사에서 제공하는 전용소프트웨어 TrakPro Version 4.5.1.0을 이용하여 자료를 다운로드하였고, 1초 단위로 측정된 측정값을 1분 단위로 변환 후 도로변과 근접 주거지역 PM_{2.5}의 시간별 농도 값을 µg/m³로 도출하여 사용하였다. 그래프의 농도 값은 모두 중앙값으로 나타내었다.

또한, 도로변과 근접 주거지역의 1분 단위의 실시간 PM_{2.5}농도의 상호관계를 파악하기 위해 두 지점의 PM_{2.5} 농도를 회귀분석을 사용하여 관련성을 평가하였다. 그리고 도로변 결과를 독립변수로, 근접 주거지역 결과는 대응변수로 사용하여, 회귀분석의 기울기를 활용하여 도로변 농도의 근접 주거지역 농도에 대한 정량적 기여도를 평가하였다. 도로변 농도와 근접 주거지역의 농도의 차이를 비교하기 위해 각 측정지역의 농도를 1시간 평균으로 변환하여 비모수 대응표본 검정인 Wilcoxon 검정을

실시하였다.

또한, 해당 측정 날짜에 서울시보건환경연구원에서 측정된 도로변 대기오염측정망의 24시간 평균 농도와 본 연구에서 러시아워 시간에 해당하는 4시간동안 측정된 자료의 평균 농도를 비교하기 위하여, 비모수 대응표본 검정인 Wilcoxon 검정을 실시하였다. 2015년부터 시행하고 있는 국내 PM_{2.5} 24시간 평균 대기환경 기준치와 서울시 초미세먼지 주의보 및 경보 기준, 세계보건기구의 PM_{2.5} 24시간 평균 권고 기준치를 통하여 측정된 자료와 비교를 실시하여 측정된 자료의 농도 수준을 파악하였다. 자료의 통계분석은 정규성 검정을 실시한 후 진행하였으며, SPSS v. 20.0을 활용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 각 측정 지점별 PM_{2.5} 농도 수준 비교 : 도로변 vs 주거지역

본 연구에서 측정된 각 지점의 도로변 및 근접 주거지역에서 PM_{2.5} 농도 수준은 Fig. 2에 나타났다. 도로변과 근접 주거지역의 농도 수준을 비교한 결과, 전체 지역의 도로변 PM_{2.5} 농도의 중앙값 (사분위수범위)은 19.9

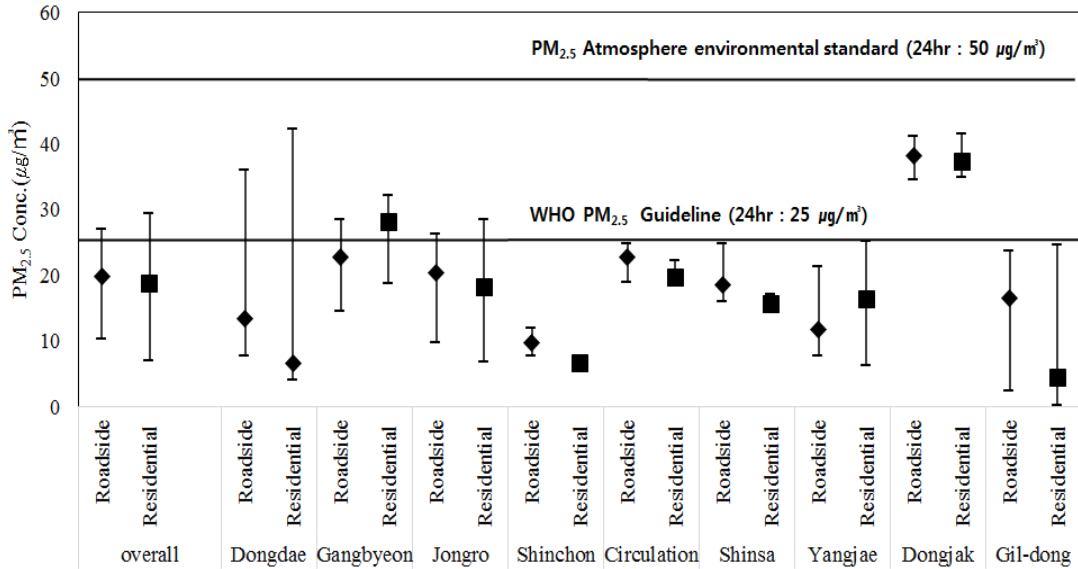


Fig. 2. Median and inter quartile range (IQR) of PM_{2.5} concentrations measured at each sampling site.

(10.3~27.1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며, 전체 주거지역의 PM_{2.5} 농도의 중앙값(사분위수 범위)은 18.7 (7.0~29.4) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 전체 도로변 지역의 PM_{2.5} 농도 수준이 근접 주거지역의 PM_{2.5} 농도보다 1.1배 높은 농도 수준을 보였다($p < 0.05$).

측정 지역별로 나누어 살펴본 결과 (Fig. 2), 9개 측정 지역 도로변 지역의 농도의 중앙값(사분위수 범위)은 동대문 13.5 (7.8~36.1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 강변북로 22.7 (14.5~28.5) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 종로 20.4 (9.8~26.2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 신촌 9.8 (7.7~12.0) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 내부순환 22.7 (18.9~24.8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 신사 18.5 (16.0~24.8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 양재 11.8 (7.8~21.3) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 동작대로 38.3 (34.6~41.1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 길동 16.5 (2.4~23.7) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도결과를 보였다. 근접 주거지역의 PM_{2.5} 농도 중앙값(사분위수 범위)은 동대문 6.7 (4.1~42.2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 강변북로 28.1 (18.8~32.1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 종로 18.2 (6.8~28.5) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 신촌 6.7 (5.5~7.5) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 내부순환 19.7 (18.3~22.2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 신사 15.6 (14.3~17.1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 양재 16.3 (6.3~25.1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 동작대로 37.3 (34.9~41.5) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 길동 4.4 (0.2~24.6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도결과를 보였으며, 측정지역별로는 차이가 있었다.

각 측정지점의 자료를 활용하여, 도로변과 근접 주거 지역의 회귀분석결과와 회귀방정식을 Fig. 3에 나타내었

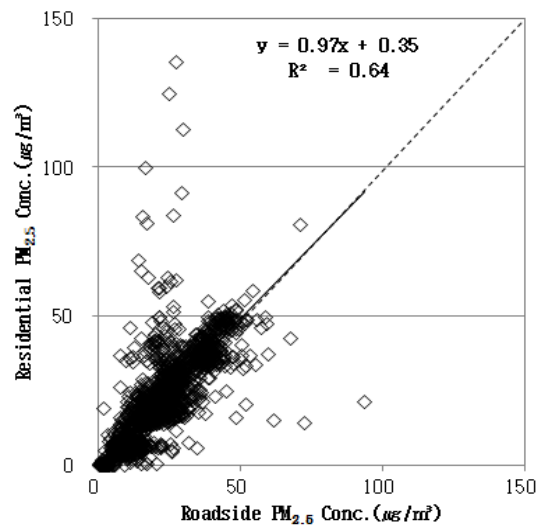


Fig. 3. Association of PM_{2.5} concentrations in roadside with those in adjacent residential areas.

다. 도로변의 농도와 근접 주거지역의 PM_{2.5} 농도비는 0.97이었으며, 이때 결정계수는 0.64이었다. 임의로 선정된 도로변에서 100 m 떨어진 주거지역의 농도 수준이 비슷한 것을 확인할 수 있었다. 도로변의 1시간 평균 농도 값과 근접 주거지역의 1시간 평균 농도 값을 비모수

대응표본 검정인 Wilcoxon 검정을 실시한 결과, 도로변과 근접 주거지역(n=36)의 농도차이는 유의한 결과가 나타나지 않았다(p=0.43). 이러한 결과는 도시의 미시 대기환경 조건에서 도로변의 PM_{2.5} 농도 수준이 주거지역에 직접적인 영향을 미치는 것으로 해석할 수도 있을 것으로 판단되었다. 향후 측정 장소의 확대를 통하여, 도로변 및 근접 주거지역의 농도 비교 및 100 m 이상 이격 거리에 따른 차이에 대한 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

해외에서 진행된 선행연구와 비교한 결과, Wang 등(2006)의 연구에서는 2개 측정 장소에서 도로변과 155 m 떨어진 장소에서 1.2배, 75 m 떨어진 장소에서 1.3배 높은 결과가 나타났다. Harrison 등(2004)의 연구에서는 런던의 도로변에서 200 m 떨어진 지점의 농도는 도로변의 56% 수준으로 확인할 수 있었다. 또한, Health Effects Institute(HEI)의 연구에 의하면, 미국 고속도로 및 지역 주요도로에서 최대 300~500 m 범위 까지 차량 관련 배출물의 영향을 받는 노출지역으로 확인되었으며, 북미지역 대도시에서 차량 관련 배출물의 영향을 받는

인구는 전체 인구의 30~45% 수준으로 보고된바 있다(HEI, 2010). 본 연구와 선행연구를 통하여 100 m 이내의 거리에서는 도로변의 PM_{2.5} 농도의 직접적인 영향이 상당부분 있을 수 있으며, 100 m 이상 이격된 거리에서도 영향을 받음을 추정할 수 있었다. 그러나 측정 당시의 기상 및 도로 상황, 지역적 차이에 의해 상이한 결과가 나타날 수도 있다고 판단된다.

3.2. 실시간 측정 자료와 대기환경 기준치 농도 비교

추가적으로, 해당 측정 날짜에 서울시보건환경연구원이 측정한 도로변 대기 오염측정망의 24시간 평균 농도와 본 연구에서 러시아워 기간에 해당하는 4시간 동안 측정된 실시간 측정치의 평균 농도 결과와 차이를 비교하기 위해 비모수검정인 Wilcoxon 검정을 실시한 결과를 Table 1에 나타냈다. 도로변 4시간 평균 농도(p=0.31)와 근접주거지역의 4시간 평균 농도(p=0.52)를 측정망 24시간 평균 농도와 비교하였을 때, 각각 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 본 연구에서는 러시아워 기간 동안의 노출 정도와 24시간 대기환경 기준과 비교 가능하다고 판단되었다.

Table 1. Comparison of PM_{2.5} concentrations (Mean ± Std) measured at roadside and residential sites to corresponding PM_{2.5} concentrations obtained from stationary monitoring sites of Seoul Metropolitan Government according to sampling site and date

	Data from Seoul Metropolitan Government (Stationary site)		Data from this study (Real-time measurement at each sampling site)	
	Roadside site (µg/m ³)		Roadside site (µg/m ³)	Residential site (µg/m ³)
Overall	16.8 (12.8~18.0) ^a	17.1 ± 5.5	19.9 (10.3~21.7) ^a	18.7 (7.0~29.4) ^a
Shinsa	16.8 ± 8.0		20.9 ± 5.6	16.1 ± 2.2
Dongdaemun	21.2 ± 13.2		22.5 ± 17.3	22.1 ± 21.3
Gangbyeon	28.7 ± 5.8		23.3 ± 9.7	26.5 ± 9.0
Jongro	11.7 ± 4.3		18.3 ± 9.4	20.9 ± 15.6
Yangjae	18.0 ± 8.2		15.2 ± 8.7	18.5 ± 13.6
Dongjak	17.9 ± 1.8		37.0 ± 2.3	38.7 ± 3.2
Gildong	15.9 ± 8.4		13.8 ± 12.3	12.9 ± 14.3
Shinchon	11.0 ± 5.5		10.4 ± 2.6	6.7 ± 0.6
Circulation	12.8 ± 2.0		22.7 ± 3.6	20.7 ± 2.7
p-value* (Ref. Stationary site)			0.31	0.52

^a Median(IQR)

* The results of Wilcoxon test

또한, 본 연구에서 측정된 도로변 근접 주거지역의 PM_{2.5} 농도 수준과 2015년부터 시행하고 있는 국내 PM_{2.5} 24시간 평균 대기환경 기준치인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (MoE, 2012)와 비교해 보았다. PM_{2.5} 농도의 중앙값이 24시간 평균 대기환경 기준을 초과한 측정 장소는 없었지만, 지역에 따라 사분위수 범위가 대기환경 기준에 근접하는 경우도 있었다(동작대로: 34.9~41.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 동대문: 4.1~42.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Fig. 2 참조). 반면 세계보건기구의 PM_{2.5} 24시간 평균 권고 기준치인 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 비교를 하였을 때 동작대로, 강변북로, 내부순환로에서 가이드라인 농도보다 높거나 비슷한 수준을 보였다(WHO, 2009). 본 연구의 목적이 지점별로 대표 농도값을 산출하는 것이 목적이 아니고, 도로변-주거지역을 짝지어 측정하여, 두 지점 간의 농도 변화 추이를 1분 단위의 자료로 비교하는 것이 목적이었기 때문에, 동일한 지점을 여러 번 측정하기 보다는, 농도 수준이 다를 것으로 판단되는 여러 지점을 선정하여 측정된 결과를 취합하는 형태를 보이고 있다. 비록 본 연구에서는 총 9개의 측정장소에서 1회, 4시간씩 측정하였다는 제한점이 존재하지만, 본 연구의 결과는 PM_{2.5}의 고농도가 예상되는 러시아워에서 측정된 결과로, 도로변 근접 주거지역의 주민들에게 고농도의 노출이 발생할 가능성이 있음을 시사하고 있다.

추가적으로, 본 연구가 진행되었던 서울시는 초미세먼지 주의보 및 경보를 발령하여, 시민들의 행동 요령을 제공하고 있다(Seoul Air Quality Information, 2015). PM_{2.5} 농도가 시간평균 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상으로 2시간 이상 지속될 때, '주의보 예비' 단계를 발령하며, 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 2시간 지속 되면 '주의보', 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상이 2시간 이상 지속되면 '경보'가 발령 된다. 본 연구에서 오전과 오후 러시아워에 해당하는 총 4시간 동안 측정하여 도출한 근접 주거지역의 시간평균 농도와 비교한 결과, 오전 출근시간대에서 동대문 (41.0 \pm 9.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 강변북로 (34.0 \pm 8.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 종로 (34.1 \pm 27.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 동작대로 (36.9 \pm 4.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 지점과 오후 퇴근시간대의 양재 (30.2 \pm 13.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 동작대로 (40.5 \pm 5.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에서 주의보 및 경보가 발령되는 지속적인 고농도 수준은 없었지만, 2014년 10월 미국의 대도시에서 측정된 결과(로스앤젤레스 : 14.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 뉴욕 : 9.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 휴스턴 : 9.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)보다는 높은 농도의 PM_{2.5}가 관측되었다(US

EPA., 2015). 본 연구에서 관측된 근접 주거지역의 PM_{2.5} 농도 수준은 미국 EPA의 PM_{2.5} Air Quality Index (AQI)의 분류 그룹 중 'Unhealthy for sensitive groups'에 속하는 35.5~55.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 해당하는 농도 수준이었으며, 이 수준은 어린이, 노약자, 호흡기, 심혈관계 질환자 등 민감 집단에게 건강영향을 줄 수 있다고 알려져 있다(US EPA, 2013). 특히, 도시 활동이 활발한 시간대에는 기준치 농도 이상의 PM_{2.5} 수준에 노출될 가능성이 있으므로, 도로변에 근접하여 주거하는 사람들에게 노출위험이 발생할 수 있다고 판단된다. 또한, 대기환경 기준치와 초미세먼지 주의보 및 경보와의 비교에서 언급한 것처럼 도로변에 거주하는 사람들에게 차량 배출물에 의한 건강영향이 과소평가 될 수 있다는 것을 나타낼 수 있다.

앞에서 언급한 세계보건기구의 권고 기준치 외에도 미국 (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 일본 (35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 호주 (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)와 같은 선진국의 PM_{2.5} 농도 24시간 대기환경 기준치가 2015년 시행되는 국내 대기환경 기준치보다 70%수준 이하로 낮게 설정되어 있다. Pope III 등(2004)의 연구에 따르면 PM_{2.5} 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하면, 사망 위험이 8~10% 증가한다는 결과가 보고된 바 있는데, 선진국 및 세계보건기구의 기준치와 비교를 통해 우리나라에서도 보다 강한 기준치 설정과 PM_{2.5}농도 저감 대책을 통한 관리가 동시에 필요하고 판단된다.

4. 결론

본 연구는 2013년 10월 중 3주간 서울시 도로변 측정소가 위치한 지역과 인접(100 m) 주거지역을 선정하여 교통량이 많은 오전 및 오후의 출퇴근 시간대의 PM_{2.5} 농도 수준을 파악하고 비교분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

각 측정지점의 도로변 및 근접 주거지역에서 PM_{2.5} 농도 수준을 살펴보면, 서울시 9개 전체 지역의 도로변 PM_{2.5} 농도의 중앙값 (IQR)은 19.9 (10.3~27.1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다. 전체 주거지역의 PM_{2.5} 농도의 중앙값 (IQR)은 18.7 (7.0~29.4) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

도로변과 근접 주거지역의 농도 수준을 비교한 결과, 도로변 근접 주거지역의 PM_{2.5} 농도가 도로변 PM_{2.5} 농도의 97% 수준으로 나타났다. 이는 100 m 떨어진 주거지역의 농도 수준이 근접한 도로변의 농도 수준과 비슷

한 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 측정된 도로변지역 및 근접 주거지역의 러시아워 중 PM_{2.5} 농도 수준과 2015년부터 시행하고 있는 국내 대기환경 PM_{2.5} 24시간 농도 기준치인 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 세계보건기구의 PM_{2.5} 24시간 농도 가이드라인의 농도인 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 비교를 한 결과 국내 기준치 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높은 수준의 농도는 나타나지 않았지만, 동작대로, 강변북로, 내부순환로에서 세계보건기구 가이드라인 농도보다 높은 결과를 보이거나, 비슷한 수준의 농도를 보일 수 있는 잠재성이 있는 것으로 판단되었다.

하지만, 본 연구는 교통량이 많은 출퇴근 시간으로 측정시간이 한정되어 있어, 차량이 적은 시간 및 밤 시간의 농도 수준과 변화 등 일반적인 변화를 파악하기에 어려움이 있었다. 그러므로 추후 기상조건 및 차량이 적은 시간의 농도 수준, 다른 오염원의 가능성을 고려한 연구가 필요하다고 판단된다.

그러나 본 연구의 결과를 24시간 측정된 도시 환경자료와 비교한 결과 두 평균치는 차이가 없다고 나타나, 도시 활동이 활발한 출퇴근시간대에는 높은 농도의 PM_{2.5} 수준의 노출이 유지될 가능성이 있음을 시사한다. 또한, 선진국 및 세계보건기구(WHO)의 기준치와 비교를 통해 우리나라에서도 보다 강한 기준치 설정과 PM_{2.5}농도 저감 대책을 통한 관리가 필요하고 판단된다.

본 연구에서 실시한 도로변과 근접 주거지역의 자료는 우리나라 대기환경 기준안 설정과 서울시 도로변 대기질 현황에 참고가 될 PM_{2.5}에 대한 정보를 제공하며, 또한 PM_{2.5}에 대한 시민들의 인식수준 고취와 도로변 인근 거주민들의 건강영향 예방을 위한 관리정책 도출의 기반을 제공하는 것으로 사료된다.

REFERENCE

- Guo, H., Ding, A. J., So, K. L., Ayoko, G., Li, Y. S., Hung, W. T., 2009, Receptor modeling of source apportionment of Hong Kong aerosols and the implication of urban and regional contribution, *Atmos. Environ.*, 43, 1159 - 1169.
- Gyeonggi Reasearch Institute (GRI), 2013, Introducing ultrafine particle (PM_{2.5}) forecasting system Gyeonggi-do, Suwon, <https://www.gri.re.kr/%ec%a0%95%ec%b1%85%eb%b8%8c%eb%a6%ac%ed%94%84/?brno=4658&prno=4122>
- Ha, H. J., 2011, Comparative evaluation of the air quality at the center lane and roadside in the exclusive median bus lane, Ph. D. Dissertation, University of Seoul, Seoul.
- Harrison, R. M., Jones, A. M., Barrowcliffe, R., 2004, Field study of the influence of meteorological factors and traffic volumes upon suspended particle mass at urban roadside sites of differing geometries, *Atmos. Environ.*, 38, 6361-6369.
- Health Effects Institute (HEI), 2010, New HEI report on exposure to traffic finds evidence of health effects in children near major roads, and continuing data gaps, Boston, USA.
- Ho, K. F., Cao, J. J., Lee, S. C., Chan, C. K., 2006, Source apportionment of PM_{2.5} in urban area of Hong Kong, *Hazard. Mater.*, B138, 73-85.
- Giang, N. T. H., Oanh, N. T. K., 2014, Roadside levels and traffic emission rates of PM_{2.5} and BTEX in Ho Chi Minh City, Vietnam, *Atmos. Environ.*, 94, 806-816.
- IARC, 2013, Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths, Lyon, France.
- Karagulian, F., Belis, C. A., Lagler, F., Barbiere, M., Gerboles, M., 2012, Evaluation of a portable nephelometer against the tapered element oscillating microbalance method for monitoring PM_{2.5}, *Environ. Monit.*, 14, 2145-2153.
- Lee, S. C., Cheng, Y., Ho, K. F., Cao, J. J., Louie, P. K., Chow, J. C., 2006, PM_{1.0} and PM_{2.5} characteristics in the roadside environment of Hong Kong, *Aerosol. Scie. Technol.*, 40, 157-165.
- Ministry of Environment (MoE), 2012, Proposal for Amendment of the Basic Environmental Policy Act ("BEPA"), South Korea. <http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=129965&efYd=20130101#AJAX>
- Padró-Martínez, L. T., Patton, A. P., Trull, J. B., Zamore, W., Brugge, D., Durant, J. L., 2012, Mobile monitoring of particle number concentration and other traffic-related air pollutants in a near-highway neighborhood over the course of a year, *Atmos. Environ.*, 61, 253-264.
- Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Godleski, J. J., 2004, Cardiovascular mortality and long-term exposure to

- particulate air pollution, epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease, *Am. Heart. Assoc.*, 109, 71-77.
- Seoul Air Quality Information, 2015, Fine particulate matter, http://cleanair.seoul.go.kr/safety_guide.htm?method=dust2.
- TSI Inc., 2012, SIDEPAK™ Personal aerosol monitor model AM 510 user guide, http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Manuals/SidePak_AIM510_US_1980456-web.pdf.
- US EPA, 2013, 40 CFR Parts 50, 51, 52, 53 and 58, national ambient air quality standards for particulate matter; final rule. *Federal Register*, 78(10), 3086-3287, EPA-HQ-OAR-2007-0492; FRL-9761-8
- US EPA, 2015, Annual Summary Data, Particulates, daily_88101_2013, http://aqsdrl.epa.gov/aqsweb/aqstmp/airdata/download_files.html#Daily.
- Wang, J. S., Chan, T. L., Ning, Z., Leung, C. W., Cheung, C. S., Hung, W. T., 2006, Roadside measurement and prediction of CO and PM_{2.5} dispersion from on-road vehicles in Hong Kong, *Transportation Research Part D*, 11, 242-249.
- WHO, 2014, Ambient air pollution database, http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_database_results_2014.pdf.
- WHO, 2009, World health organization, Department of public health and environment, international programme on chemical safety, Development of a WHO Risk Assessment Toolkit (RA Toolkit).
- Yuan, Z., Lau, A. K. H., Zhang, H., Yu, J. Z., Louie, P. K. K., Fung, J. C. H., 2006, Identification and spatiotemporal variations of dominant PM₁₀ sources over Hong Kong, *Atmos. Environ.*, 40, 1803-1815.