

고속도로 톨게이트 부스 내 공기 중 PM₁₀의 노출평가

남미란 · 피영규^{1*}

대구한의대학교 대학원, ¹대구한의대학교 보건학부

Exposure Assessment of PM₁₀ in Expressway Toll Booths

Mi Ran Nam · Young Gyu Phee^{1*}

Graduate School of Daegu Haany University

¹Faculty of Health Science, Daegu Haany University

ABSTRACT

Objectives: This study was conducted in order to evaluate PM₁₀ concentrations at eight highway tollgate booths from July to September 2017.

Methods: A total of 16 samples were collected from eight toll booths. Each PM₁₀ sample was collected using a 37 mm PTFE filter attached to a Personal Environment Monitor.

Results: The geometric mean concentrations of PM₁₀ in the toll booths was 83.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The mean PM₁₀ concentrations measured on freight roadways were much higher than those of measured on general roadways (102.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 68.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively). PM₁₀ was revealed to be higher in the morning (105.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) than at dawn or in the afternoon (71.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 61.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively). The mean PM₁₀ concentration in toll booths ventilated through an air conditioner was higher than that for those using a window or no ventilation. The rate of exceeding the Ministry of Environment Maintenance Limit (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) was 6.25%, and the rate of exceeding the Ministry of Labor Recommended Limit (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) was 12.5%.

Conclusions: In order to protect the health of toll booth workers exposed to airborne dust, it is necessary to check the exposure level from indoor air quality on a regular basis and to manage it appropriately according to the results.

Key words: expressway, concentration, PM₁₀, toll

I. 서 론

톨게이트란 요금소 또는 고속도로 및 유료도로의 요금을 징수하기 위해 설치된 도로의 시설물을 말하며, 2016년 기준 한국도로공사의 고속도로 운영노선은 28개 노선(총 3,989 km)과 비운영노선 7개 노선(총 448 km)이고, 고속도로 영업소 수는 수탁운영 민자노선 영업소 16개를 포함하여 한국도로공사 운영 노선의 345개 영업소와 비수탁운영 민자노선 45개 영업소를 운영하고 있다(KEC, 2016).

최근 자동차에 의한 이동오염원이 도시 대기오염에 상대적으로 커다란 비중을 차지하고 있으며, 그 비중

은 해마다 증가하고 있는 추세이다(Lee et al., 2004). 고속도로 톨게이트에서는 대부분의 운전자들이 요금 수납을 위해 감속하여 정차 후 시동을 켜 상태로 요금정산을 하고 급출발하기 때문에 톨게이트 부스 주변은 물론 부스 내부의 근로자들에게 노출되는 자동차 배기가스는 건강장해 등의 커다란 위험을 초래할 수 있다(Roh et al., 1990).

미세먼지는 오랜 시간동안 대기 중에 부유하면서 매우 복잡한 성분을 갖게 되며, 대부분 자동차 배기가스나 도로의 먼지 등으로 부터 발생한다(Shin et al., 2007). 대기 중 미세먼지의 입자 크기, 농도, 밀도, 흡습성 등의 물리적 특성과 중금속, 수용성, 구성성분의

*Corresponding author: Young Gyu Phee, Tel: 053-819-1590, Fax: 053-819-1209, E-mail: yphee@dhu.ac.kr

Faculty of Health Science, Daegu Haany University, 1 Hannydae-ro, Gyeongsan-si, Gyeongbuk 38610

Received: June 3, 2018, Revised: June 15, 2018, Accepted: June 17, 2018

© Mi Ran Nam <https://orcid.org/0000-0003-0042-2003>

© Young Gyu Phee <https://orcid.org/0000-0003-2011-7591>

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.

함량 등 화학적 특성이 다양한 형태로 존재하고 있다. 이는 인체 내 건강영향을 결정하는 것으로 알려져 있으며 미세먼지의 노출은 호흡기 및 심혈관계 질환의 발생에 큰 영향을 끼칠 뿐만 아니라 사망률의 증가와도 깊은 관련성을 가지고 있다(Schwartz, 1994). 또한 미세먼지는 입자의 공기역학적 직경이 10 μm 이하로 PM_{10} (particulate matters)이라 통칭되며, 입경이 10 μm 이상의 입자들은 체내 호흡 시 구강이나 코에서 대부분 걸러지지만, 10 μm 이하의 입자들은 비표면적이 크므로 다량의 유해성분을 함유하고 호흡기계를 통해 폐포 깊숙이 침투되거나 흡착되는 경향이 있으므로 인체에 악영향을 가중시켜 위해성이 매우 크다고 할 수 있다(Chow, 1994; Lee et al., 1996; Choi et al., 1999). 이러한 이유로 미국 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)에서는 1997년부터 PM_{10} 에 대한 기준을 설정하고, 국가대기질기준(National Ambient Air Quality Standards, NAAQS)으로 관리하고 있다(EPA, 2018). 우리나라의 경우 1995년에 PM_{10} 을 환경기준으로 제정하여 일평균 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 연평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 관리하고 있다(MoE, 2017).

그 동안 고속도로 톨게이트를 대상으로 한 연구는 톨게이트 근로자 건강유해성 연구(Cha et al., 1988; Park et al., 1990)와 요금수납원 근로환경 실태조사(Kim et al., 2015)가 진행되었다. 또한 노출평가와 관련된 연구로는 톨게이트 도로주변 대기오염(Kim et al., 2008; Lee et al., 2004)과 톨게이트 부스 및 주변 자동차 배기가스로 인한 납 및 가스상 물질에 대한 농도평가(Lee et al., 1988; Roh et al., 1990)가 이루어졌으나 실외 대기환경의 오염물질이 대상이었다. 더욱이 선진외국의 경우 톨게이트를 대상으로 PM_{10} 등 먼지에 대한 노출평가를 수행한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 고속도로 톨게이트 부스에서 근무하는 근로자를 대상으로 공기 중 PM_{10} 의 노출평가를 수행하고, 주변환경에 따른 농도 차이를 파악하여 동종 업종 근로자의 건강보호를 위한 관리방안을 마련하고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 고속도로 톨게이트 부스에서 발생하는 PM_{10} 농도를 파악하기 위하여 2017년 7월부터 2017

년 9월까지 고속도로 톨게이트를 대상으로 경기 지역 4곳과 경상 지역 4곳을 임의 선정하고 현장조사를 실시하였다. 고속도로 톨게이트 부스의 PM_{10} 농도 차이를 확인하기 위하여 차량의 통행량, 차로특성, 환기방법 등에 대하여 근로자와 면담을 통해 확인하였다.

2. 연구방법

1) 공기 중 PM_{10} 의 채취

톨게이트 부스 안 PM_{10} 은 PEM(Personal Environmental Monitor, SKC, USA) 시료채취기를 활용하였다. 포집에 사용된 PTFE(polytetrafluoroethylene) 여과지는 직경 37 mm, 공극 2.0 μm 이고, 여과지를 PEM에 장착한 후 충돌판에 입자 퇴적현상을 방지하기 위한 기름을 도포한 후 자연건조 시켰다. 그 후 PEM을 유량 2.0 ℓ/min 으로 설정된 개인시료채취기(Personal air sampler, Gillian, USA)에 연결하였다. 채취위치는 근로자의 근무반경에서 바닥면으로부터 1~1.2 m 높이에 설치하여 포집하였고 시료채취시간은 근로자 1일 근무시간동안 측정이 이루어지도록 하였다.

2) 시료의 분석

공기 중 채취된 시료는 포집기와 분리하고 여과지의 수분 영향을 제거하기 위하여 Dry Keeper(OH-3S, AS ONE, Japan)에서 24시간 이상 항습 시킨 후 중량분석법을 이용하여 농도를 확인하였다. 채취한 시료의 분석은 10⁻⁶ g까지 칭량할 수 있는 Micro balance(MSE3.6P-000-DM, Sartorius, Germany)를 이용하였으며, 시료 측정 전·후 3회 칭량한 후 평균값을 활용하여 중량차를 구하고 공시료(blank samples)의 무게를 보정한 후 농도값을 계산하였다.

3) 자료의 분석

자료의 분석은 SPSS(Version 23.0K, USA) 프로그램을 이용하였다. PM_{10} 의 농도는 Sapiro-Wilk의 정규성 검정결과 대수정규분포를 보여 기하평균과 기하표준편차로 제시하였고, 결과의 이해를 돕기 위하여 산술평균과 표준편차도 함께 수록하였다. 차로특성, 지역 및 일간형태 등 두 군 간의 공기 중 PM_{10} 의 농도 비교는 Mann Whitney U test를 활용하였고, 통행량, 시간대 및 환기방법 등의 세 군 이상간의 농도비교는 Kruskal-Wallis test를 수행하였다.

III. 연구결과

1. 공기 중 PM₁₀의 농도

1) 톨게이트 부스의 일반적 특성

고속도로 톨게이트 부스 내 PM₁₀의 농도 차이를 확인하기 위하여 측정시간동안 톨게이트를 통과한 차량의 통행량을 기준으로 750대 미만(5개소), 750대 이상 1,500대 미만(7개소), 1,500대 이상(4개소)으로 구분하였다(Table 1). 차로특성의 경우 화물차가 주로 다니는 화물차로

8개소와 일반차로 8개소로 구분이 가능하였으며, 지역은 경기 지역 8개와 경상 지역 8개소로 분류하였다. 일간 형태는 평일에 6개소를 방문하였고, 주말에 10개소에서 시료를 채취하였다. 시간대 별 농도 차이를 확인하기 위하여 출근시간이 포함된 시간인 새벽은 4개소, 출근시간이 포함되지 않은 오전은 8개소, 퇴근시간이 포함된 오후의 경우 4개소로 구분할 수 있었다. 그리고 톨게이트 부스 안의 환기방법은 에어컨을 통한 환기 9개소, 창문환기는 3개소가 있었고, 4개소는 환기를 별도로 하지 않고 있었으며 이는 근로자와 면담을 통해 확인하였다.

Table 1. General characteristics of subjects

Classification	Number of samples	Percentage(%)
Traffic volume		
< 750	5	31.50
750~1499	7	43.50
≥ 1500	4	25.00
Roadway		
General	8	50.00
Freight	8	50.00
Area		
Gyoung-gi	8	50.00
Gyoung-sang	8	50.00
Daytime		
Weekday	6	37.50
Weekend	10	62.50
Time slot		
Dawn	4	25.00
Morning	8	50.00
Afternoon	4	25.00
Ventilation type		
Air conditioner	9	56.25
Window	3	18.75
None	4	25.00

2) 차량 통행량에 따른 PM₁₀의 농도

고속도로 톨게이트의 차량 통행량에 따른 PM₁₀의 기하평균 농도는 부스 안의 경우 1500대 이상이 109.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높았고, 750대 이상 1500대 미만 81.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 750대 미만 69.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다(Table 2). 고속도로 톨게이트의 차량 통행량에 따른 PM₁₀의 관리기준 초과율을 환경부 실내공기질관리법의 유지기준 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 고용노동부의 사무실 공기관리 지침의 사무실 권고기준 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 비교한 결과 톨게이트 부스 안 PM₁₀의 관리기준 초과율은 각각 6.25%, 12.5%로 나타났다.

3) 차로특성에 따른 PM₁₀의 농도

차로특성에 따라 일반차로와 화물차로로 구분하여 PM₁₀의 농도를 확인한 결과 고속도로 톨게이트 부스 안의 기하평균 농도는 일반차로(68.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비해 화물차로(102.46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)가 높았다(Table 3). 고속도로 톨게이트의 차로특성에 따른 화물차로에서 PM₁₀의 관리기준 초과율은 환경부 실내공기질관리법의 유지기준의 6.25%를, 고용노동부의 사무실 공기관리 지침 권고기준의 12.5%를 초과하는 것으로 나타났으며, 일반차로에서 초과는 발생되지 않았다.

Table 2. PM₁₀ concentrations of expressway tollgate by traffic volume

(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

No. of cars	N*	GM** (GSD [†])	Mean±S.D. [‡]	Min	Max	ER [§] (%)	ER (%)	P-value
< 750	5	69.55(1.62)	76.92±41.91	47.44	146.15	0	0	
750~1499	7	81.38(1.62)	90.11±46.86	38.46	185.904	0	6.25	0.503
≥ 1500	4	109.84(1.97)	133.97±109.45	65.38	297.44	6.25	6.25	
Total	16	83.51(1.69)	96.96±65.29	38.46	297.44	6.25	12.50	

* N: Number of samples, **GM: Geometric Mean, [†]GSD: Geometric Standard Deviation, [‡]S.D.: Standard Deviation

[§]Exceed Rate(%) : (No of samples over maintenance limit by MoE/No of samples)×100, ^{||}Exceed Rate(%) : (No of samples over recommend limit by MoEL/No of samples)×100

Table 3. PM₁₀ concentrations of expressway tollgate by roadway(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Roadway	N*	GM** (GSD [†])	Mean \pm S.D. [‡]	Min	Max	ER [§] (%)	ER (%)	P-value
General	8	68.05(1.36)	70.67 \pm 19.24	38.46	94.87	0	0	0.195
Freight	8	102.46(1.89)	123.24 \pm 84.77	47.44	297.44	6.25	12.50	

Table 4. PM₁₀ concentrations of expressway tollgate by area(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Area	N*	GM** (GSD [†])	Mean \pm S.D. [‡]	Min	Max	ER [§] (%)	ER (%)	P-value
Gyoung-gi	8	105.40(1.84)	125.00 \pm 83.28	50.00	297.44	6.25	12.50	0.130
Gyoung-sang	8	66.17(1.84)	68.91 \pm 20.07	38.46	100.00	0	0	

4) 지역에 따른 PM₁₀의 농도

고속도로 톨게이트 위치를 경기 지역과 경상 지역으로 구분하였을 때, 톨게이트 부스 안 PM₁₀의 기하평균 농도는 경기 지역이 105.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 경상 지역 66.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 높은 수준이었지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 4). 경기 지역의 PM₁₀의 관리기준 초과율은 환경부 실내공기질관리법 유지기준의 6.25%, 고용노동부의 사무실 공기관리 지침 권고기준의 12.5%를 초과하는 것으로 나타났으며, 경상 지역에서 초과하는 발생되지 않았다.

5) 일간형태에 따른 PM₁₀의 농도

톨게이트 부스에서 발생하는 PM₁₀의 농도를 평일과 주말로 구분했을 때 부스 안의 기하평균은 평일(86.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이 주말(81.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비해 높은 수준이었다(Table 5). PM₁₀의 관리기준 초과율은 고용노동부

의 사무실 공기관리 지침 권고기준과 환경부 실내공기질관리법의 유지기준을 적용할 경우 주중 및 주말에 각각 6.25%를 초과하는 것으로 나타났다.

6) 시간대에 따른 PM₁₀의 농도

PM₁₀의 기하평균 농도를 시간대별로 구분했을 때 오전 105.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 새벽 71.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 오후 61.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 나타났으나 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 6). PM₁₀의 초과율은 아침의 경우 환경부 실내공기질관리법 유지기준의 6.25%, 고용노동부의 사무실 공기관리 지침의 권고기준의 12.5%를 초과하는 것으로 나타났다.

7) 환기방법에 따른 PM₁₀의 농도

톨게이트 부스 내에서 환기방법에 따른 PM₁₀의 농도 확인 결과 기하평균은 에어컨 가동 시 102.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Table 5. PM₁₀ concentrations of expressway tollgate by daytime(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Daytime	N*	GM** (GSD [†])	Mean \pm S.D. [‡]	Min	Max	ER [§] (%)	ER (%)	P-value
Weekday	6	86.87(1.76)	99.36 \pm 56.36	47.44	185.90	0	6.25	0.875
Weekend	10	81.57(1.70)	95.51 \pm 73.04	38.46	297.44	6.25	6.25	

Table 6. PM₁₀ concentrations of expressway tollgate by time slot(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Time	N*	GM** (GSD [†])	Mean \pm S.D. [‡]	Min	Max	ER [§] (%)	ER (%)	P-value
Dawn	4	71.26(1.53)	75.64 \pm 26.52	38.46	100.00	0	0	0.164
Morning	8	105.59(1.84)	125.16 \pm 83.20	50.00	297.44	6.25	12.50	
Afternoon	4	61.22(1.19)	61.86 \pm 9.67	47.44	67.95	0	0	

Table 7. PM₁₀ concentrations of expressway tollgate by ventilation type(Unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Ventilation type	N*	GM** (GSD [†])	Mean \pm S.D. [‡]	Min	Max	ER [§] (%)	ER (%)	P-value
Air conditioner	9	102.52(1.77)	119.94 \pm 79.15	50.00	297.44	6.25	12.50	0.280
Window	3	66.63(1.64)	71.79 \pm 31.09	38.46	100.00	0	0	
None	4	62.37(1.31)	64.10 \pm 17.61	47.44	87.18	0	0	

m³, 창문환기 시 66.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 환기를 하지 않는 경우 62.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 순으로 나타났으나 그 차이는 유의하지 않았다(Table 7). 또한 PM₁₀의 초과율은 환경부 실내 공기질관리법의 유지기준을 적용할 경우 에어컨을 가동한 환기방법은 6.25%, 고용노동부 사무실 공기관리 지침의 권고기준은 12.5%를 초과하고 있었다.

IV. 고 찰

우리나라는 매년 중국발 황사로 인해 국민들이 미세먼지에 대한 관심이 고조되고 있으며, 실생활에서 느끼는 여러 가지 오염 중 대기오염에 관한 문제도 시사적으로 다뤄지고 있다. 차량에 의해 도로에서 발생하는 입자상 물질은 배출원에 따라 크게 exhaust PM과 non-exhaust PM으로 구분된다. non-exhaust PM은 타이어나 브레이크, 도로표면 등에 의한 마모 입자들과 차량 운행 시 재 비산 된 도로먼지를 포함하며, 과거에는 차량 배기가스에 중점을 두었지만 최근에는 배출가스의 감소로 non-exhaust PM의 중요성이 상대적으로 강조되고 있다(Alban et al., 2003). 또한 차량 주행 시 발생하는 도로의 먼지들은 다른 자동차의 주행이나 바람에 의해 주변으로 비산되고 중금속 등 유해한 물질들이 도로 먼지에 붙어 인체 내 기관지를 통해 흡입되어 심장병이나 폐질환, 천식 등과 같은 만성질환을 유발 시킬 수 있으며, 특히 호흡기 질환이 있는 노약자나 어린이에게 치명적인 피해를 입힐 수 있다(Fergusson & Kim, 1991). 이에 따라 도로먼지 및 자동차 배기가스로 인해 인체에 쉽게 노출될 수 있는 입자상 물질들은 건강상 유해한 물질로 널리 알려져 있어 노출평가 및 독성평가 연구가 활발히 수행되고 있다(Kim, 2011). 그동안 대기 중 오염물질이나 도로변 미세먼지 노출에 관한 연구는 일부 이루어져 왔지만 직업적으로 매일 도로의 오염원에 노출되고 있는 고속도로 톨게이트 부스 안에서 근무하는 요금소 수납원들을 대상으로 한 입자상 물질에 대한 노출평가를 수행한 연구는 찾아보기 어렵다. 특히 고속도로 톨게이트 부스안의 경우 우리나라 환경부의 「실내공기질관리법」과 고용노동부의 「산업안전보건법」의 대상여부도 불분명하여 법적관리도 미흡한 실정이다.

이러한 이유로 본 연구는 고속도로 톨게이트를 대상으로 근로자가 종사하는 부스 안에서 발생하는 공기

중 PM₁₀에 대한 노출평가를 수행하고 그 농도를 확인하였다. 그 결과 고속도로 톨게이트 부스 안 PM₁₀의 기하평균 농도는 83.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (38.46~297.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)로 나타났다. 이를 환경부의 「실내공기질관리법」의 다중이용시설 중 실내 주차장의 유지기준(200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 비교했을 때 PM₁₀의 농도 초과율은 6.25%이었으며, 고용노동부의 「사무실 공기관리 지침」에 따른 사무실 권고기준 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 대비 초과율은 12.5%로 나타나 PM₁₀ 농도 저감을 위한 노력의 필요성은 확인할 수 있었다(MoEL, 2015; MoE, 2017).

지금까지 톨게이트를 대상으로 수행된 PM₁₀의 노출평가에 관한 연구의 부족으로 그 농도의 차이를 직접적으로 비교할 수는 없었다. 다만, 학교의 PM₁₀의 농도와 비교해보면 Jung et al.(2015)은 학교 교실의 평균 PM₁₀ 농도를 초등학교 50.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (12.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~163.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 중학교 52.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (11.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~155.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 고등학교 49.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (22.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~148.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)으로 보고하였고, Kim et al.(2003)은 서울 및 경기 지역 초·중·고등학교 교실의 평균 PM₁₀ 농도를 36.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 발표한 바 있다. 비록 연구 대상의 차이는 있지만 전반적으로 고속도로 톨게이트 부스 안의 PM₁₀ 농도가 교실에 비해 높은 수준으로 나타나 PM₁₀ 농도에 대한 주기적인 확인 및 관리가 필요한 것으로 판단된다.

한편, Park(2011)은 울산지역 다중이용시설의 평균 PM₁₀ 농도를 찜질방 78.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대규모점포 69.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 보육시설 65.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 실내주차장 63.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 의료기관 62.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 보고하였다. 또한 Ryu et al.(2005)과 Kim & Lee(2004)도 평균 PM₁₀ 농도를 찜질방 57.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 130.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대규모점포 48.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 117.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 보육시설 61.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 123.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 실내주차장 73.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 183.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 의료기관 45.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 80.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 보고한 바 있다. 이처럼 고속도로 톨게이트 부스 내 PM₁₀ 농도 역시 여러 다중이용시설에 비해 다소 높은 경향을 보이고 있어 차량이동에 따라 톨게이트에서 발생하는 미세먼지 입자들이 외기의 영향으로 부스 안으로 유입되는 것을 방지하기 위한 노력이 필요하다.

본 연구는 일부 지역에 위치한 고속도로 톨게이트로 국한되어 수행됨에 따라 PM₁₀ 농도를 전체 톨게이트 안의 농도로 확대 해석하기에는 다소 무리가 있고, 시료 수도 적다는 제한점이 있다.

V. 결 론

본 연구는 2017년 7월부터 9월까지 8개의 고속도로 톨게이트 부스 내에서 근무하는 근로자를 대상으로 공기 중 PM₁₀의 노출평가를 수행하고, 농도에 영향을 미칠 수 있는 변수를 설정하여 그 수준을 비교하였다.

톨게이트 부스 내 PM₁₀의 기하평균 농도는 83.51 µg/m³이었다. 차량 통행량이 많을수록 PM₁₀은 높은 농도를 보였고, 차로특성은 일반차로보다 화물차로, 시간대는 새벽 및 오후에 비해 오전이 높은 수준이었다. 환기방법은 에어컨을 가동할 경우가 창문환기 및 환기를 안하는 경우보다 농도가 높았다. 또한 부스 안의 경우 실내공기질관리법의 유지기준, 사무실 공기관리 지침에 의한 권고기준 초과율은 각각 6.25%, 12.5%로 확인되었다.

PM₁₀의 노출평가 결과 대부분 차로특성은 일반차로보다 화물차로가, 일간특성은 평일보다는 주말이, 시간대별로는 새벽 및 오후보다 아침에 높은 수준을 보여 부스 창문에 설치된 에어컨튼을 작동하는 것이 권장되며, 에어컨이 가동되는 경우 PM₁₀ 농도가 높게 나타나 에어컨 필터의 주기적 청소 등의 적극적인 관리가 요구된다.

References

- AbuAlban M, Gilies JA, Gertler AW, Clayton R, Profit D. Tailpipe, resuspended road dust, and brake-wear emission factors from on-road vehicles,” *Amos Envir* 2003;37:5283-5293
- Cha CW, Yum YT, Kim YW. A study on the health effect of air pollution among the express-way tollgate workers in Seoul. *J KAPRA* 1988;4(1):71-75
- Choi JC, Cho HM, Kim JY, Kim S, Park KJ. A Comparison of Chemical Properties of TSP and PM₁₀ during the spring of 1998 in Seoul. *J of Kor Metro Soc* 1999;35(1):38-46
- Chow JC, Watson EM, Fujita Z, Lu DR, Lwson L, Ashbaugh, Temporal and spatial variations of PM_{2.5} and PM₁₀ aerosol in the southern California air quality study, *Amos Envir* 1994;28(12):2061-2080
- Environmental Protection Agency(EPA). Criteria Air Pollutants. NAAQS Table [cited 2018 Jun 5]; [screens]. Available from: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>
- Fergusson JE, Kim ND, Trace elements in street and house dusts: sources and speciation, *The Sci of Total Environ* 1991;100:125-150
- Jung JS, Park DS, Jeon HJ, Song HS, Lee MJ. A study of indoor air quality of school classrooms. *J of Kor Acad-Ind cooper Soc* 2015;16(5):3643-3652
- Ministry of Employment and Labor(MoEL). Guidelines for indoor air management of office(MoEL Public Notice No. 2015-43). 2015. p. 18
- Ministry of Environment(MoE). Indoor Air Quality Act, 2017. p. 56
- Kim HI, Kang DM, Kim JE, Kim SY, Kim SE et al. A survey on work environment of express tollgate workers. Korea Occupational Safety & Health Agency Report. 2015. p. 22
- Kim JY. Risk analysis of size-related airborne particulate matters in Urban area. Graduate school of Yonsei University. Seoul; Yonsei University Press. 2011. p. 8-11
- Kim WS, Lee HY. Study of indoor air quality in multi-use facilities and buildings in Seoul. Seoul Development Institute Report. 2004. p. 11-27
- Kim YS, Won SR, Choi YJ, Choi SH, Kim AR et al. Concentration variations in primary and secondary aerosols near a major road. *Korean Soc Atmo Environ* 2008;PB:173-174
- Kim YS, Lee CM, Moon JS, Kim SW. A Study on the indoor air pollution in the classrooms primary, middle and high schools in Seoul and Gyeonggi-Do. *J of Korean Soc of School Health* 2003;16(1):81-90
- Korea Expressway Corporation(KEC). Expressway traffic statistics, 2016. p. 4
- Lee BK, Jung EL, Kim DY, Kang JK, Kim IS, Kim JY et al. Concentration analysis of fine particles from the highway areas passing through Ulsan. *Proceeding of the Meeting of KOSAE. Korean Soc Atmo Environ* 2004;PB21:403-404
- Lee YJ, Kim JC, Kim KC, Song DB, Cha CH, Kwon YK. A Study on the status of air pollution around toll booth of expressway -Around Seoul and Suwon toll booth-. *KAPRA* 1988;4(1):76-83
- Lee HM, Kim DS, Lee JH. An assessment of the long-term concentration of heavy metals and associated risk in ambient PM-10. *J of Kor Soc Atmo Environ* 1996;12(2): 555-566
- Park SK. Characteristics of Indoor air quality in the public facilities, Ulsan. Graduate school of Ulsan University. Ulsan; Ulsan University Press. 2011. p. 14-22
- Park JI, Koo JW, Roh YM, Lee SH. Lead exposure of tollgate workers on Korean expressway. *The Kor J of Occup Med* 1990;2(2):134-141

Roh YM, Park JI, Chung CK, Lee KM, Min BK, Lee SH. A survey on the air pollution of expressway tollgate in Korea. The Kor J of Occup Med 1990;2(2):142-152

Ryu IC, Ok K, Ko HW, Han KM, Jeon JS, Lee SS, Shin JS. Characterization of indoor air quality in public facilities in Seoul. Proceeding of the 41st Meeting of KOSAE.

Korean Soc Atmo Environ 2006;PB:158-159

Schwartz J, What are people dying of on high air pollution days?. Environ Res 1994;64:26-35

Shin DC. Health effect of fine particles. Is this good? J of Kor Med Assoc 2007;50(2):175-185