

전주시 중심가를 주행중인 승용차내 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도 변화에 대한 연구 A Study on the PM_{2.5} Concentration in the Car in Jeonju Downtown

문형석 · 김종수* · 김인수[†]

Hyung Suk Moon · Jong Soo Kim* · In Soo Kim[†]

한국해양대학교 대학원 토목환경공학과 · *전주대학교 탄소융합공학과

Department of Civil and Environmental Engineering, Korea Maritime University

*Department of Carbon Fusion Engineering, Jeonju University

(2013년 8월 2일 접수, 2013년 10월 15일 채택)

Abstract : The Korea Ministry of Environment prepares some particulate matter eliminate measures for national health protection, as the Particulate Matter (PM_{2.5}) exceeds the standard at more than half of the monitoring posts installed in the nation's big cities. At the center of Jeonju, when measuring the ultrafine particles of inner car at the different driving conditions, at the condition of the Actuator of inner recirculation mode and the Blower of 2-speed, the reduction speed of the ultrafine particles is most fast and the concentration stays low. When the windows are opened during driving, outer pollutants enter the car and also inner particulate matter flies in all direction, and the increase of passengers causes the scattering of the ultrafine particles. As the filter for air cleaning, the using of polypropylene non-woven fabric (used commonly now) is most excellent, but for the removal of volatile organic substance as well as the particulate matter, it is thought that the using of activated carbon fiber filter, carbon adsorbent, is even more excellent.

Key Words : Particulate matter (PM_{2.5}), Jeonju, Car, Air cleaning filter

요약 : 대한민국 환경부는 전국 대도시 측정소의 절반 이상에서 초미세먼지(Particulate Matter, PM_{2.5}) 농도가 기준치를 초과함으로써 국민의 건강보호를 위한 초미세먼지 제거대책을 추진 중에 있다. 전주시 중심가에서 여러 가지 주행조건을 달리하고 주행 중에 승용차내 초미세먼지를 측정하고 공기순환모드(Actuator)를 내기모드로, 송풍기(Blower)를 2단으로 조절한 경우에 초미세먼지의 감소속도가 가장 신속하고 낮은 농도를 유지하였다. 주행중에 창문을 열면 외부의 오염원 진입과 더불어 내부 먼지의 비산이 발생하였으며 탑승인원의 증가도 초미세먼지의 비산을 유발하였다. 공기 청정용 필터는 현재 사용중인 절곡 폴리프로필렌 부직포가 가장 우수했으나, 초미세먼지와 함께 휘발성 유기물질의 제거를 위하여는 탄소흡착제인 활성탄소섬유(Activated Carbon Fiber Filter) 부직포 필터의 사용이 훨씬 효과적일 것으로 판단된다.

주제어 : 초미세먼지(PM_{2.5}), 전주시, 승용차, 공기청정용 필터

1. 서론

최근 에너지사용량의 증가와 자동차의 증가로 화석연료 사용이 많아지면서 대기오염이 심화되고 있는 추세이다. 우리나라 환경부¹⁾는 세계보건기구의 보고를 인용하여 세계에서 대기오염으로 매년 3백만 명이 사망한다고 보고하고 있는데, 이는 전체 사망자수인 5천5백만 명의 5%에 해당하는 수치이다. 신²⁾의 연구에 의하면 천식환자의 30~40%, 호흡기 질환환자의 20~30%가 대기오염이 원인이라고 한다. 서³⁾는 2006~2010년(5년간) 서울, 울산, 천안의 아파트에 거주하는 산모 658명을 대상으로 미세먼지(Particulate Matter, PM₁₀) 농도에 따른 태아와 태어난 아이들의 성장 상태를 장기간 조사한 결과 PM₁₀이 산모의 몸 안으로 들어가 염증을 유발하고 혈액을 끈적거리게 만들어 태반을 통한 태아의 영양공급을 방해하여 태아의 성장과 지능을 저하시킨다는 결과를 발표하였다. 이처럼 대기오염으로 인한 사망자수의 증가 및 피해의 증가 원인으로 실내거주시간의 증가를 들 수 있다. 김⁴⁾의 전국 성인 838명을 대상으로 조사한 자

료에 따르면 1일 평균 실내 거주시간은 약 20.3시간이며, 교통수단 등 실내공간에서 거주하는 시간까지 합산한다면 하루 중 97%에 해당하는 23.3시간을 실내에서 보낸다고 하였다. 그는 또한 실내공기 중 PM₁₀ 농도를 측정하였고, 미세먼지의 70% 이상이 PM_{2.5}이며 특히 차량 실내의 공기 오염물질 농도는 실외 대기오염물질 농도보다 높다고 보고하였다. 권⁵⁾이 실시한 서울지역 운전환경조건에 따른 승용자동차 내의 실내공기 오염도 조사에서 탑승자들은 외부환경에 비하여 높은 농도의 PM₁₀에 노출되고 있다고 보고 하였다. 광⁶⁾은 자동차 오염원 중에는 주행 시 발생하는 PM₁₀이 주 오염원으로 기여한다고 보고하였고, 김⁷⁾은 고속버스의 승객 수에 따른 차량연식과 PM₁₀과의 농도 관련성을 보고 하였으며, 김⁸⁾은 지하철 차량내 공기질 관리방안에 대하여 연구하였고, 양⁹⁾은 실내공기 수준을 개선시키면 운전자뿐만 아니라 탑승자의 건강 위해성을 감소시킬 수 있다고 보고한 바 있다.

그동안 우리나라는 PM₁₀을 중심으로 공기질을 측정하여 왔다. 그러나 현재 선진국(미국, 일본) 중심으로 PM_{2.5}의 심

[†] Corresponding author E-mail: iskim@hhu.ac.kr Tel: 051-410-4416 Fax: 051-410-4415

각성을 인식하고, PM_{2.5} 제거방안을 강구 중에 있다. 이에 우리나라 환경부¹⁰⁻¹²⁾도 실내공기질 관리법과 2006년 12월에 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인을 제정하여 대중교통수단의 공기질 평가지표를 세우고, 관리하기 시작하였으며, 2011년-2012년(2년간) 수도권, 백령도, 중부권, 남부권, 제주지역의 PM_{2.5}농도를 측정하고 제거 대책을 연구 중에 있다.

PM_{2.5}는 대기 중에 떠다니는 직경 2.5 μm보다 작은 먼지로 머리카락 직경(약 50~70 μm)의 최대 1/30에서 최소 1/200 수준이다. 특히, 자동차 배기가스 및 도로의 먼지 등으로부터 발생하는 PM_{2.5} 및 승용차 실내의 PM_{2.5}는 그 크기와 성분이 매우 복잡하고, 다양하며, 그의 화학적 조성 또한 인간의 건강에 중대한 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로 이러한 PM_{2.5}가 오늘날 많은 시간을 승용차 내에서 보내고 있을 인체의 몸 안으로 노출되지 못하게 대처할 필요성이 증대되었다.

한편, 그동안의 공기질 관련 연구는 주로 대도시(서울지역, 경기도지역, 광역시) 중심으로 이루어졌다. 이현우¹³⁾이 국내·외 자동차 실내공기질 관련 연구 동향을 조사한 바 있으나, 수도권에 한정되어 있다. 하지만 이제는 인구가 60만 명 이하인 중소도시도 대도시와 마찬가지로 차량 내 PM_{2.5}의 농도를 조사할 필요성이 제기된다. 전주는 서울로부터 서남방 250 km 떨어진 역사적인 도시로서 그동안은 농업 중심으로 전통문화를 중시하는 사회이었으나 최근에 산업화로 도시환경이 점차 나빠지고 있으며, 특히 도심지는 차량의 증가로 PM_{2.5}를 비롯한 공기 오염도가 급속도로 증가하고 있다. AIR KOREA¹⁴⁾가 전라북도 보건환경 연구원에 의하여 전주의 금암동, 팔복동, 삼천동, 태평동 지점의 PM₁₀을 측정하고 있으나 PM_{2.5}에 대한 측정자료는 발표되지 않고 있는 실정이다. 따라서 인구 65만의 전주시 도심지를 중심으로 움직이는 차량 내 PM_{2.5}의 농도를 측정함과 동시에 이를 효과적으로 제거하는 연구가 필요하게 되었다.

그러므로, 본 연구의 목적은 전주시 도심지역을 주행하는 승용차 내 PM_{2.5}의 거동을 조사하고 관리하는데 있다. 이 목적을 달성하기 위하여 i) 측정 장소, 탑승인원, 창문개폐, 필터 등의 조건을 달리하면서 전주시내의 차량 내 PM_{2.5}의 농도를 측정하고, ii) 이를 바탕으로 주행조건과 실내오염과의 상관관계를 밝혀 실내오염원농도를 효율적으로 저감시킬 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 실험차량 및 측정장치

실험에 사용된 승용차는 2종류로 2010년 출고되어 현재까지의 주행거리가 70,000 km인 중고차(Kia의 K5)와 2012년에 출고된 주행거리가 25,000 km인 중고차(Hyundai의 Avante MD)이다. Table 1에 실험에 사용된 자동차의 제원을 나타내었다.

Table 1. Specifications of test car

Unit: mm	K5 (2000 cc-Midsize car)	MD (1600 cc-Small car)
Whole length	4,845	4,530
Whole piece	1,835	1,775
Overall height	1,455	1,435
Wheel base	2,795	2,700

PM_{2.5} 측정은 광산란식 미세먼지 측정장치(독일 Grimm Co., Model 1.109 Type)를 사용하였고, Dust Monitor는 뒷좌석에, Probe는 앞좌석 룸미러에서 10 cm 하단에 설치하였다. 자동차 배터리에 DC-AC Trans1000A를 설치하여 Dust Monitor를 연결하였으며, Probe를 노트북에 연결하여 측정 자료를 저장하였다. PM_{2.5} 제거용 Filter는 3종류로서 현재 차량에 상용되고 있는 (a) 순정품(Mobis-40 g) PP 부직포 필터, (b) Combination 필터(127 g) 및 새로이 준비한 순정품(Mobis)과 동일한 크기의 (c) 활성탄소 섬유(Activated Carbon fiber Filter, KF 1500) 부직포 필터(76 g)이다.

2.2. 실험방법

실험은 이¹³⁾가 제시한 조건을 참조하여 2013년 4월중에 비가 오지 않는 날을 택하여 하루에 13차례씩 주행 조건별로 7일 동안 총 91차례에 걸쳐 실시하였다. 즉, KIA의 K5 차량 기준으로 하루 8~9시간 동안 전주 시내·외 구간을 주행하였다. 미세먼지 측정은 전주 시내·외 지역, 창문 개폐, 탑승 인원, 차종, 송풍기(Blower) 작동 유무, 공기순환모드(Actuator)의 내기/외기 모드, 및 필터의 종류를 달리하여 실시하였다. Fig. 1은 전주시내 중심가 및 시외의 주행경로를 나타내었다. 주행거리의 시내·외 모두 약 15 km로서 시내의 시속 30 km로, 시외는 시속 70 km로 주행하면서 측정하였다. 실험차량은 동일한 환경 조건으로 측정하기 위하여 시험 전 5분간 환기하였고, 모니터 작동후 주행을 시작하면서 1분 간격으로 Data를 수집하여 총 30회 측정하였다. 각 실험조건에 따라 운전자 외 1인이 각각 차량 앞좌석 주변

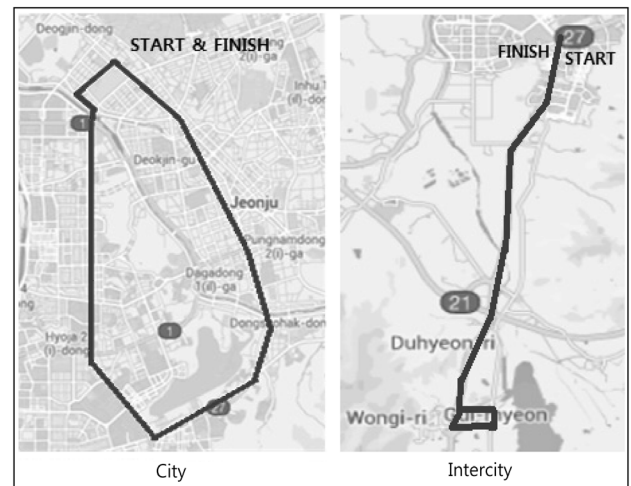


Fig. 1. City-intercity driving interval.

Table 2. Experimental condition

No	Time	Actuator	Window	Persons	Jeonju area	Blower	Filter	Model
A	AM	Inside air	Close	2	Down town	Off	Non-woven	K5
B	PM	Inside air	Close	2	Down town	Off	Non-woven	K5
C	PM	Outside air	Close	2	Down town	Off	Non-woven	K5
D	PM	Outside air	Close	2	Down town	2	Non-woven	K5
E	PM	Inside air	Close	2	Down town	2	Non-woven	K5
F	PM	Inside air	Front windows open	2	Down town	Off	Non-woven	K5
G	PM	Inside air	All windows open	2	Down town	Off	Non-woven	K5
H	PM	Inside air	Close	4	Down town	Off (Probe front)	Non-woven	K5
I	PM	Inside air	Close	4	Down town	Off (Probe rear)	Non-woven	K5
J	PM	Inside air	Close	2	Down town	Off	Non-woven	MD
K	PM	Inside air	Close	2	Suburb	Off	Non-woven	K5
L	PM	Inside air	Close	2	Down town	2	Combination	K5
M	PM	Inside air	Close	2	Down town	2	ACF	K5

PM_{2.5} 농도를 측정하였다. Table 2는 여러 가지 다른 실험조건을 정리한 것이다. 각 실험조건에 따른 PM_{2.5} 농도의 평균치는 조건별로 제일 높은 값과 제일 낮은 값을 제외한 나머지 5개 측정치의 평균값으로 정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 오전(AM), 오후(PM)에 따른 승용차 내 PM_{2.5}의 농도 변화

Fig. 2에 전주 시내 중심가를 주행했을 때 승용차내 PM_{2.5}의 시간에 따른 농도변화의 평균치를 도시하였다. 그림으로부터 승용차내 모니터가 작동한 후의 PM_{2.5}의 초기농도는 각각 오전(AM)에는 70±12% µg/m³, 오후(PM)에는 73±12% µg/m³으로서 큰 차이가 없었다. 환경부¹⁰⁾의 조사에 의하면 2011년 수도권의 PM_{2.5} 연평균 농도는 약 29.3 g/m³, 2012년에

는 25.2 µg/m³ 정도이었고, 남부권의 PM_{2.5} 연평균 농도는 2011년에는 30.9 µg/m³, 2012년에는 24.1 µg/m³ 정도라고 보고하였다. 비록 Fig. 2의 결과가 환경부의 보고와 차이는 있지만 환경부 보고에서 남부권의 농도가 서울과 비슷하다고 발표한 점을 고려할 때 전주시내 중심가도 이제는 공기청정에 주력해야 할 시점에 이르렀음이 분명하다.

AIR KOREA¹⁴⁾가 조사한 전주시내 PM₁₀의 4월 평균농도는 78.6 µg/m³이나 PM_{2.5}의 농도는 발표되지 않아 본 연구의 결과와 비교는 불가능하였다. 환경부는 대도시 PM_{2.5}의 농도는 대체로 PM₁₀의 40~80%로 추정할 수 있다고 하지만 정확도가 떨어져 신뢰성에 문제가 될 수 있다. 따라서 PM_{2.5}를 공개 하고 있는 인천시와의 비교를 통해 신뢰성을 높였다. 인천시 신흥 지역 4월초의 PM_{2.5} 농도는 평균 56.7 µg/m³이었는데 이는 환경부 보고보다 높았다. 이번엔 측정한 전주시내 중심가의 오전 및 오후 PM_{2.5} 측정치가 매우 높았음은 몹시 우려되는 바이다. 물론 측정시간이나 측정장소 및 여러 가지 조건에 따라 측정치가 달라 직접 비교하기는 쉽지 않지만 앞으로 지속적인 측정에 의하여 신뢰할만한 정보를 얻을 수 있다고 판단된다.

전주 시내 중심가를 주행하면서 승용차내 PM_{2.5}의 농도변화를 측정한 결과, 오전에는 처음 6분동안은 PM_{2.5} 농도가 약 30 µg/m³까지 신속하게 감소하다가 그 이후는 아주 서서히 감소하고 약 20분 이후부터는 약 25 µg/m³ 정도를 유지하였다. 이는 내기 모드에서는 외부 대기중의 영향이 없기 때문에 승용차내의 실내 PM_{2.5}에 영향을 주는 공기의 유동이 적어 시간이 지날수록 농도가 떨어지기 때문이다. 오전 주행시 승용차내 PM_{2.5}의 초기 감소속도를 원점에서 접선을 그어 구한 결과 15.6 µg/m³/min이었다. 이에 반하여 오후의 주행에서는 처음부터 서서히 감소하면서 역시 20분 후에는 오전 주행과 마찬가지로 약 25 µg/m³ 정도를 유지하였다. 오후 주행시 승용차내 PM_{2.5}의 초기 감소속도는 5 µg/m³/min로서 오전 중 PM_{2.5}의 초기 감소속도가 오후보다 약 3배 이상 빨랐다. 한편, 전체적으로 오전 주행에서 PM_{2.5} 농

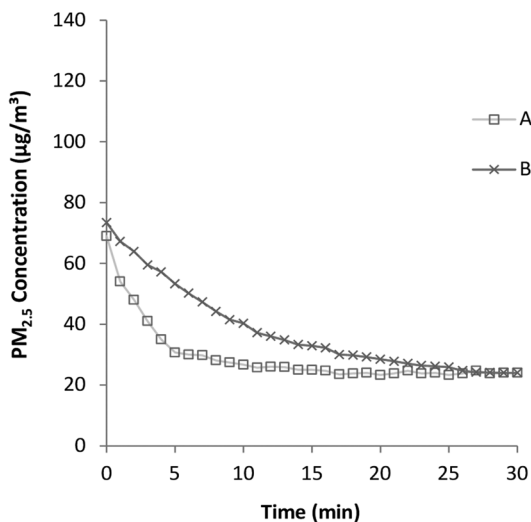


Fig. 2. PM_{2.5} concentration in the car during the (A) morning and (B) afternoon in Jeonju downtown.

도가 낮았던 것은 승용차가 내기 모드라 해도 외부의 영향을 덜 받았기 때문으로 판단된다. 권오열⁵⁾이 실시한 서울지역 운전환경조건에 따른 승용자동차내의 실내공기 오염도 조사에서 PM₁₀ 농도는 승용차 밖이 약 150 µg/m³이며 승용차 안이 약 300 µg/m³으로 탑승자들은 외부환경에 비하여 실내에서 더 높은 농도의 PM₁₀에 노출되고 있다고 보고하였고, 김태근⁸⁾도 실내 PM₁₀ 농도는 주변 환경에 따라 달라질 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 오전 주행과 오후 주행의 승용차내 PM_{2.5} 농도에서 차이가 거의 없었으므로 A 조건 이후의 실험은 오후 주행을 기준으로 실시하였다.

3.2. 공기순환모드(Actuator) 및 송풍기(Blower) 작동에 따른 승용차 내 PM_{2.5}의 농도 변화

Fig. 3에 공기순환모드 및 송풍기 작동(실험번호: B, C, D, E)을 달리한 승용차 내 PM_{2.5}의 시간에 따른 농도변화를 도시하였다. 그림으로부터 공기순환모드를 내기 모드로 고정하고, 송풍기를 2단으로 조절했을 때 (E)의 미세먼지 농도는 처음 5분 동안은 급격하게 감소하고, 이어서 서서히 감소하다가 15분 이후부터는 약 6-7 µg/m³ 정도로 일정하게 유지되었다. 이 경우 PM_{2.5}의 초기 감소속도는 분당 18.25 µg/m³로서 (B)의 경우보다 약 3.6배나 빨랐다. 초기 공기순환모드를 외기 모드로 고정하고, 송풍기를 작동하지 않았을 때에도 처음에는 급격히 감소하고 이어서 서서히 감소하다가 15분 이후부터는 PM_{2.5}의 농도의 변동이 심하며 오히려 서서히 증가하는 경향을 보였다. 이 경우 PM_{2.5}의 초기 감소속도는 분당 10.42 µg/m³로서 (B)의 경우보다 약 2.1배 빨랐다. 그러나 공기순환모드가 내기 모드일 때보다는 승용차내 PM_{2.5}의 농도가 훨씬 컸다. 반면에 외기 모드에서 송풍기를 작동하지 않았을 때는 실내에 공기 필터가 장착되어 있음에도 승용차 내의 PM_{2.5} 농도가 거의 감소하지 않고 있다. 즉, 승용차 내 PM_{2.5} 농도의 감소에는 공기순환모드의 역할이 매우 중요함을 알 수 있다. 즉, 공기순환 작용이 내기모드인

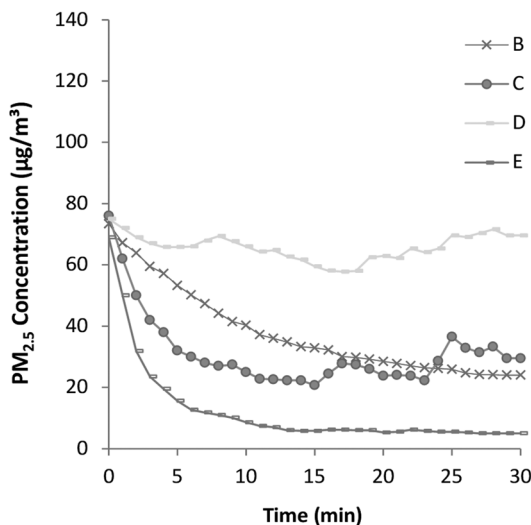


Fig. 3. PM_{2.5} concentration in the car with respect to actuator and blower functioning.

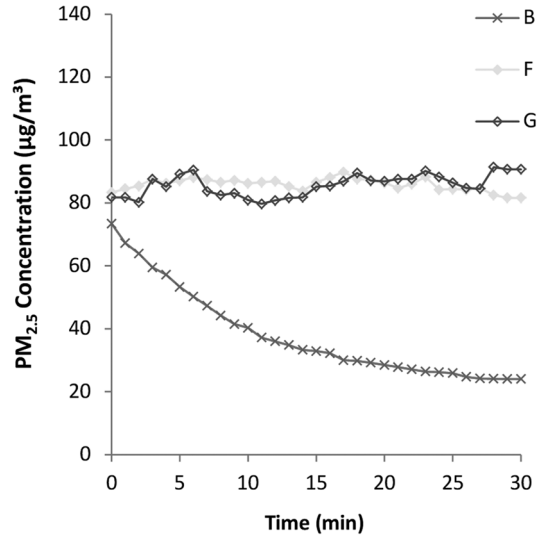


Fig. 4. PM_{2.5} concentration in the car with respect to window opening and closing.

경우 외부의 PM_{2.5} 유입이 훨씬 감소하였기 때문이며 권오열⁵⁾의 연구에서도 유사한 결과가 보고된 바 있다. 이러한 결과는 이제부터 중·대도시 지방자치단체는 시민의 건강을 보호하기 위하여 시내 중심가에서 발생하는 PM_{2.5}의 농도를 격감시키는 노력을 경주하여야 하겠다.

3.3. 창문개폐에 따른 승용차 내 PM_{2.5}의 농도 변화

Fig. 4에는 주행 중에 승용차의 창문을 열고, 닫았을 때의 내부 PM_{2.5}의 농도 변화를 살펴 본 결과이다. 창문을 닫았을 때는 30분 동안 실내 PM_{2.5}의 농도가 서서히 감소함을 알 수 있다. 이는 공기순환모드가 내기 모드로, 송풍기가 2단으로 조절된 상태에서 외부의 먼지와 매연 등이 진입하지 않았기 때문이다. 그러나 창문을 앞 쪽 2개만 연 경우와 4개를 모두 연 경우에는 실내 PM_{2.5}의 농도가 전혀 감소하지 않고 있다. 이는 내부에서 공기순환모드와 송풍기가 모두 작동해도 외부에서 진입하는 오염원 때문에 감소하지 않는 것이다. 이로부터 승용차 내부에 설치된 오염원 제거용 공기 정화용 필터 등은 능력 발휘에 앞서 짧은 시간 내에 무용지물로 바뀔까 봐 걱정된다. 그러므로 오염이 심한 시내 중심가를 주행할 때는 승용차의 창문을 열어서는 안된다는 결론을 얻을 수 있다. 이러한 결과는 양원호¹⁵⁾의 자동차 실내 공기질 현황에 관한 보고서에서도 밝혀진 바 있다.

3.4. 탑승 인원수에 따른 승용차 내 PM_{2.5}의 농도 변화

Fig. 5는 탑승 인원수에 따른 승용차 내 PM_{2.5}의 영향을 조사한 결과이다. 그림으로부터 2인이 탑승하였을 경우에는 PM_{2.5}의 농도가 서서히 감소하였다. 그러나 4인이 탑승하였을 경우에는 운전석에서 측정하든, 뒤쪽 승객좌석에서 측정하든 초기 8분까지는 급격히 감소하다가 그 이후부터는 농도가 감소하지 않고 오히려 다소간 증가하는 추세를 보이고 있다. 이러한 결과는 승용차 내 여러 시설과는 별도로

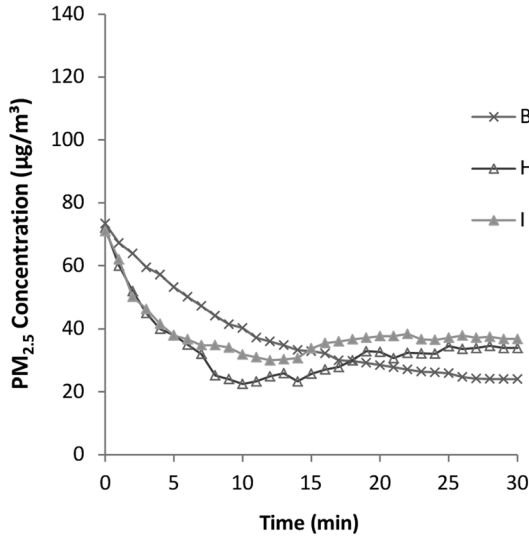


Fig. 5. PM_{2.5} concentration in the car with respect to number of person.

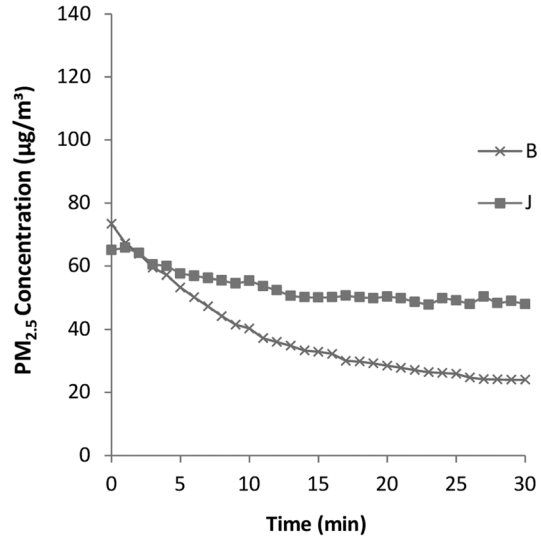


Fig. 6. PM_{2.5} concentration in the car with respect to type of car.

4인이 함께 호흡하는 동안 초기 PM_{2.5}의 상당량이 인체에 흡입되다가 약 7-8분 후부터는 인체로부터 배출되는 PM_{2.5}의 양이 증가하면서 승용차 내 PM_{2.5}의 평형상태를 유지시키는 것으로 판단된다. 또한 4인이 뒤척이는 과정에서 승용차 내 안착되어 있던 먼지들이 교대로 부유하는 것으로도 판단된다. 김⁸⁾도 오염물질의 농도는 승차인원과 매우 밀접한 상관성이 있을 것으로 보고한 바 있다. 그러나 김⁷⁾은 주행 중인 고속버스 내에서 승객 수에 따른 PM₁₀의 농도를 비교해 보아도 어떤 경향을 발견하지 못했다고 보고하였다. 탑승인원이 제한되어 있는 작은 공간의 승용차 내에서는 탑승인원에 따라 PM_{2.5}의 농도가 크게 변하는 것으로 판단된다.

3.5 차종에 따른 승용차 내 PM_{2.5}의 농도 변화

Fig. 6은 차종에 따른 승용차 내 PM_{2.5}의 농도 변화를 측정 한 결과이다. 그림으로부터 일반 중형 승용차(K5-2000 cc) 내 PM_{2.5}의 농도는 처음에는 신속히 그리고 시간이 지나면서 서서히 감소하지만 소형 승용차(MD-1600 cc)의 경우는 시간이 지남에 따라 매우 서서히 감소하고 있다. 이는 공간이 넓은 중형 승용차의 경우는 여러 가지 제거 기능에 의하여 PM_{2.5} 농도가 주행시간에 따라 선형으로 감소하지만 공간이 작은 소형 승용차의 경우에는 PM_{2.5}의 밀집이 더 심하여 주행시간에 따라 감소 추세가 둔화되고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 소형 승용차의 경우에는 탑승인원이 적을수록 PM_{2.5}의 농도를 신속히 감소시킬 수 있음을 뜻한다. 한편, 김⁷⁾의 연구에서는 승객수에 따른 PM₁₀의 농도를 비교해 보더라도 어떤 경향을 발견할 수 없다고 보고하였으며, 김⁸⁾이 보고한 서울시 지하철도 내에서의 PM₁₀ 변화는 탑승인원이 많음에도 큰 차이가 없었다고 보고하였다. 이는 탑승공간이 넓고 외부 PM₁₀의 영향을 덜 받기 때문으로 판단된다.

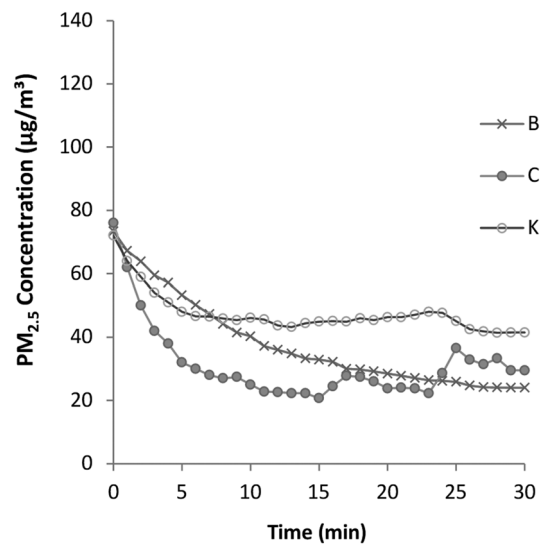


Fig. 7. PM_{2.5} concentration in the car with respect to downtown and suburb.

3.6. 지역에 따른 승용차 내 PM_{2.5}의 농도 변화

Fig. 7은 전주시내 중심가를 시속 30 km로, 전주 시외를 시속 70 km로 주행했을 때의 승용차 내 PM_{2.5} 농도의 변화를 측정 한 결과이다. 시내를 저속으로 주행할 경우에는 비록 외부의 PM_{2.5} 농도가 커도 승용차 내 PM_{2.5}의 농도가 서서히 그리고 꾸준히 감소하고 있으나 시외를 주행할 경우에는 처음 7분 동안은 감소속도가 시내보다는 빨랐으나 이어서 감소속도가 평형에 이르고 8분 이후부터는 외부의 PM_{2.5}가 훨씬 적음에도 불구하고 승용차 내 PM_{2.5}의 농도가 시내 주행 시보다도 높았다. 이는 승용차 내 PM_{2.5}의 농도와 감소추세는 외부의 PM_{2.5} 농도 보다는 승용차의 주행 속도에 더 크게 의존하고 있음을 뜻한다. 즉, 주행 속도가 커질수록 내부에 안정화되어 있던 PM_{2.5}들의 유동이 더 심해짐을 알 수 있다. 양원호¹⁵⁾의 연구에서는 측정주변 도로의 조건환경에 따

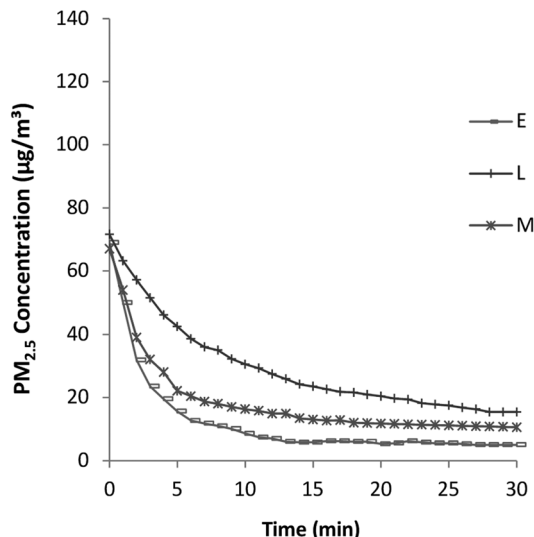


Fig. 8. PM_{2.5} concentration in the car with respect to kind of filter. (a) non-woven-filter, (b) combination filter, and (c) ACF filter.

라 영향을 받을 수 있다고 보고 하였다. 이는 도로 조건뿐만 아니라 날씨나 속도 등의 조건에 따라 농도의 변화가 생길 수 있다고 판단된다.

3.7. 승용차 내 공기정화 필터 종류별 PM_{2.5} 농도 변화

Fig. 8에 승용차 내 공기정화 필터의 종류별 PM_{2.5} 농도 변화를 측정된 결과를 도시하였다. 그림으로부터 3가지 필터가 모두 주행의 초기에는 PM_{2.5}를 신속히 제거하다가 일정한 시간이 경과하면 제거능력이 일정해지며 따라서 PM_{2.5}의 농도도 일정한 수준을 유지하고 있다. 그중에서도 PP 부직포 필터는 사용량(40 g)이 훨씬 적은데도 초기 15분 동안에 승용차 내 PM_{2.5}의 약 90%를 제거하고 이후에는 초기농도의 약 10%의 PM_{2.5} 농도를 유지하면서 흡착능력을 발휘하고 있다. 활성탄소섬유(ACF) PP 부직포 필터의 PM_{2.5} 제거 활동은 PP 부직포 필터와 유사한 형태이나 평형에 도달하면 초기농도의 약 20%를 유지함으로써 PP 부직포 필터에 비하여 우수하지는 않았다. 반면에 Combination 필터의 경우는 사용량이 127 g이나 되는데도 PM_{2.5}의 제거능력은 다른 부직포 필터에 비하여 뒤떨어지고 있다. 그러므로 승용차 내 PM_{2.5} 제거용 필터로는 현재에 많이 사용되고 있는 PP 부직포 필터가 가장 우수하다고 판단된다. 그러나 박재홍¹⁶⁾의 연구처럼 ACF 필터 본래의 연구목적은 휘발성 유기물질의 흡착에 있으므로 PM_{2.5}와 더불어 화학적 휘발성 물질을 함께 제거하기 위해서는 ACF 필터로 적절히 처리하여 사용하는 것도 추천할 만하다.

4. 결론

전주시 도심지역을 주행하는 승용차 내 PM_{2.5} 농도를 측정 장소, 탑승인원, 창문개폐, 필터 등의 조건을 달리하면서

측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 공기순환모드를 내기와 외기모드로 조절하면 내기모드가 훨씬 안정적이었다. 외기 모드시에는 외부에서 들어오는 PM_{2.5}가 필터에 걸리지 않거나 내부의 PM_{2.5}가 외부에서 들어오는 오염공기에 의하여 비산되면서 다시 증가하는 것으로 판단되었다.
- 2) 송풍기를 내기모드에서 2단으로 조절하면 PM_{2.5} 제거가 매우 효과적이었다. 그러나 외기모드 2단으로 조절하면 PM_{2.5} 농도가 오히려 증가하였는데 이는 외부 공기의 높은 PM_{2.5} 농도 및 실내 PM_{2.5}의 비산 때문으로 판단된다.
- 3) 중심가 주행 중에 창문을 열면 빠른 흐름의 외부 공기에 의하여 내부 PM_{2.5}가 비산할 뿐만 아니라 외부의 PM_{2.5}가 실내로 들어와 승용차 내 PM_{2.5}의 농도가 오히려 증가하는 경향을 보이며, 탑승인원의 증가에 의하여도 PM_{2.5} 농도는 크게 감소하지 않는데 이는 역시 인원이 많아짐에 따라 움직임도 많아져서 발생한 결과로 판단된다.
- 4) 공기청정용 필터를 사용하여 PM_{2.5} 제거능력을 분석할 경우, 현재 많이 사용되고 있는 PP 부직포(Non-woven) 필터가 가장 우수한 제거 능력을 보이고 있다. 그러나 새차에서 발생하는 휘발성 유기물질을 함께 제거할 목적이라면 활성탄소섬유 부직포의 사용이 점차 유효할 것으로 보여진다. 즉, 보건 환경 위생을 위한 승용차 내 PM_{2.5}와 유해물질의 효과적 제거를 위하여는 부직포에 의한 여과공정에 탄소흡착제에 의한 흡착공정이 더해진 새로운 타입의 공기청정 필터가 요망된다.

KSEE

참고문헌

1. EOM, "Environmental Health Guide for Mothers and Infants," (2012).
2. Sin, D. C., "Health effects caused by pole/fine dust," *Proc. Fall KSEE*, p. 45(2006).
3. Seo, J. H., "The effect of prenatal PM10 exposure on fetal growth and pregnancy outcome," PhD thesis, Ewha Womans University, (2010).
4. Kim, B. E., Sa, Y. S. and Kim, H. G., "Dust measurement survey in indoor air research," *RIST Study*, **18**(3), 241~250 (2004).
5. Gwon, O. Y. and Ahn, Y. S. "In-vehicle Pollution under Various Driving Conditions," *J. Kor. Soc. Atmos. Environ.*, **43**(6), 564~565(2006).
6. Kwok, J. H., Kim, H. S. Woo, S. J. and Lee, S. H., "Physical characterization of traffic-generated PM10 and PM2.5," *J. Kor. Soc. Atmos. Environ.*, **51**(2), 45~45(2012).
7. Kim, D. H., Sin, I. C., Lee, J. H. and Kim, J. Y., "A study on Investigation of Indoor Air Quality of Public Transportation System (Express, Intercity bus)," *J. Kor. Soc. Odor. Res. Eng.*, **9**(2), 108~117(2010).

8. Kim, T. G., "The Study on Management Methods for Air Quality of Subway Train Space," Master's Thesis, University of Seoul(2008).
9. Yang, W. H., Kim, D. W. and Kim, M. H., "Potential Exposure to Air Pollutants for Driver and Its Control Using Commercial Air Cleaning Device Inside Vehicle," *Kor. Soc. Environ. Health*, **30**(5), 481~486(2004).
10. EOM, "Indoor Air Quality Management Act as a multi-use facility,"(2004).
11. EOM, "Indoor air quality of public transport management guidelines,"(2006).
12. EOM, "PM2.5 Reduction and public health protection measures,"(2013).
13. Lee, H. W., Choi, Y. T. Lee, G. B., Lee, J. G., Kim, G. I., Lee, J. H., Im, J. S. and Sin, Y. B., "Status of Worldwide Auto-Cabin Air Quality Study," *Proc. Fall KSAE*, pp. 495~500(2006).
14. AIR KOREA, "Real-time air pollution,"(2013).
15. Yang, W. H., "Car Indoor Air Quality Status," *J. Kor. Air Clean Assoc.*, **21**(2), 1~8(2008).
16. Park, J. H., Byeon, J. H., Hwang, J. H. and Jee, J. H. "Adsorption and Desorption Characteristics of ACF (activated carbon fiber) Filter to Gaseous Benzene," *Proc. KOSHEP Conference*, pp. 66~72(2006).