

자동차와 공기청정

배귀남 | 한국과학기술연구원 환경기술연구단
 책임연구원
 E-mail : gnbae@kist.re.kr

1. 머리말

근래에 빈번하게 발생하는 황사로 인해 미세먼지에 대한 일반인의 관심이 매우 높고, 대부분의 황사는 건조한 봄철에 발생하므로 일상생활의 중요한 화제가 되고 있다(김민영, 2006). 최근에도 황사로 인해 학교가 임시 휴교하는 사태가 발생하였다. 대기 중 미세먼지의 농도가 높아지면 시정거리가 짧아지고, 미세먼지는 호흡기로 흡입되어 폐포나 기관지에 침착하여 인체의 건강에 나쁜 영향을 미치게 된다(김윤신, 2002).

그림 1은 서울의 연평균 미세먼지(PM₁₀) 농도의

변화를 나타낸 것인데, 도시대기의 미세먼지 농도가 2003년부터 뚜렷하게 감소하는 경향을 나타내고 있다(Bae et al., 2007). 황사의 영향이 컸던 2001년, 2002년 및 2006년의 경우 황사로 인해 연평균 미세먼지 농도가 뚜렷하게 증가하였다. 그리하여 최근에는 도시대기의 연평균 미세먼지 농도를 산출할 때 자연재해에 해당하는 황사의 영향을 배제하여야 하는 주장이 제기되고 있다.

그림 2는 2005년 서울의 월평균 미세먼지(PM₁₀) 농도의 변화를 나타낸 것인데, 미세먼지 농도는 4월에 가장 높고 9월에 가장 낮음을 알 수 있다(Bae et al., 2007). 즉, 기본적으로 4월은 미세먼지의 농도

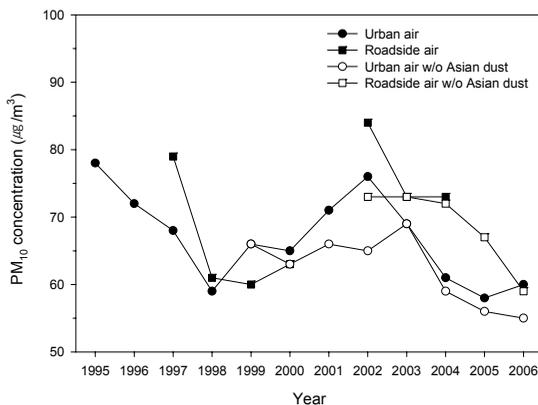


그림 1. 서울의 도시대기와 도로변대기의 연평균 미세먼지(PM₁₀) 농도의 변화

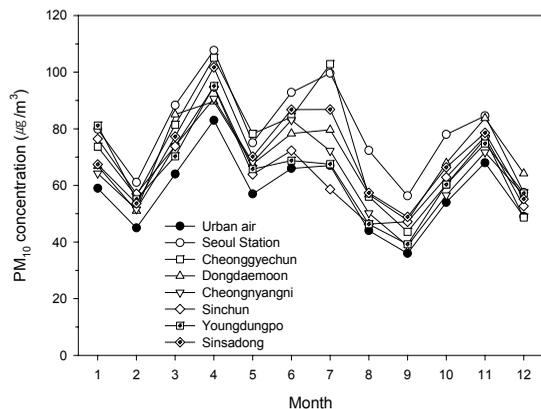


그림 2. 2005년 서울의 도시대기와 도로변대기의 월평균 미세먼지(PM₁₀) 농도의 변화

가 높는데, 황사도 빈번하게 발생되므로 다른 시기에 비해 미세먼지에 대한 주의가 더 많이 요구된다.

황사는 불시에 많은 미세먼지를 갖고 우리를 찾아오지만, 일상적으로 우리 주위에서 대기 중으로 미세먼지를 배출하는 오염원이 자동차이므로, 황사와 더불어 자동차로 인한 미세먼지 오염에 많은 관심을 갖고 대처할 필요가 있다. 정부와 지방자치단체에서도 자동차로 인한 대기오염에 많은 관심을 갖고 있으며, 특별히 대도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산)에 도로변대기 측정망을 운영하여 자동차 인접오염을 모니터링하고 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 도로변대기의 연평균 미세먼지(PM₁₀) 농도는 일반 도시대기의 농도에 비해 뚜렷하게 높다. 또한, 그림 2에 나타난 바와 같이 서울의 7개 도로변대기 측정망의 월평균 미세먼지(PM₁₀) 농도도 대부분 도시대기 농도에 비해 뚜렷하게 높다. 이것은 자동차로 인해 도로변의 대기가 일반 도시대기에 비해 더 많이 오염되어 있다는 것을 의미한다. 즉, 도로인접 대기오염에 더 많은 관심을 갖고 대처할 필요가 있음을 시사한다.

도시에 인구가 집중되어 있고, 경제적 여건이 나은 도시에 사는 사람들이 자동차를 많이 보유하고 있기 때문에 도시에서 교통 혼잡은 대표적인 사회 문제이다. 도시의 대기오염 현상인 스모그는 주로 자동차에서 배출되는 오염물질에 의해 생기는데, 시정장애로 인해 멀리 볼 수 없어 경제활동에 지장을 초래하여 사회적 비용도 증가한다. 또한, 오존(O₃), 미세먼지로 인해 어린이, 노인 등 민감 계층의 환경성 질환을 유발하여 의료비용의 지출이 증가하게 된다.

우리나라의 자동차 등록대수는 1970년대 13만대에 불과하였으나, 그 후 급속한 경제성장에 따라 국민소득이 높아지면서 2002년 초에 100배에 해당하는 1300만대에 도달하였다. 2006년 12월말 기준으로 우리나라의 자동차 등록대수는 거의 1600만대에 이르렀고, 이 중에서 서울, 경기, 인천을 포함한 수도권 지역이 730여만 대로 전체의 약 46%를 차지하고 있다. 이러한 자동차의 증가는 대기오염물질뿐만 아니라 이산화탄소(CO₂)의 배출량을 증가

시켜 대기오염의 악화와 더불어 기후변화를 촉진시키는데 기여하게 된다.

우리는 일상적으로 많은 자동차를 접하면서 생활하고 있는데, 자동차는 휘발유, 경유, 가스(LPG, CNG)와 같은 연료를 연소시켜 생기는 힘을 이용하므로 연소과정에서 대기오염을 유발시키는 오염물질이 배출된다. 자동차에서 직접적으로 배출되는 대기오염물질로는 탄화수소(휘발성 유기화합물, VOCs), 질소산화물(NO_x), 일산화탄소(CO), 미세먼지(입자상 물질, 매연, PM₁₀), 황산화물(SO_x), 중금속(납), 알데히드(포름알데히드) 등이 있고, 지구온난화에 기여하는 이산화탄소도 자동차에서 배출되고 있다.

2001년 기준으로 수도권의 연료별 자동차 구성비를 보면, 휘발유 자동차가 62%, 경유 자동차가 27%, LPG 자동차가 11%를 차지하고 있다. 휘발유 자동차에서는 탄화수소와 일산화탄소가 많이 배출되고, 경유 자동차에서는 미세먼지와 질소산화물이 많이 배출된다. 이륜차에서도 상당한 양의 일산화탄소와 탄화수소가 배출되고 있다.

자동차에서 배출되는 대기오염물질은 사용하는 연료와 밀접하게 관련되어 있다. 우리나라는 1987년부터 무연 휘발유를 공급하기 시작하였고, 1996년에 유연 휘발유의 판매를 중지하였다. 이러한 연료 정책에 힘입어 대기 중 납(Pb) 농도는 지속적으로 감소하였으며, 2003년 서울의 납 농도는 0.058 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 1991년에 비해 1/6 수준으로 낮아졌다. 저황유, LNG 등 청정 연료의 공급을 확대하여 아황산가스(SO₂) 농도도 크게 감소하였으며, 2003년 서울의 SO₂ 농도는 5 ppb로 1990년에 비해 1/10 수준으로 낮아졌다. 난방 연료인 연탄을 등유, 도시가스 등으로 대체하고, 1987년부터 자동차에 삼원촉매장치를 의무적으로 부착하도록 하여 일산화탄소의 농도도 지속적으로 감소하였으며, 2003년 서울의 CO 농도는 0.6 ppm으로 1990년에 비해 1/4 수준으로 낮아졌다.

정부의 지속적인 대기질 개선 노력에도 불구하고 미세먼지는 미국, 일본, 유럽국가 등 선진국에 비해 2배 이상 높은 수준이어서 중점 관리대상 오

염물질로 취급하고 있다(백성욱과 구윤서, 2008). 즉, 환경부에서는 2007년부터 미세먼지의 연평균 기준치를 종전의 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로, 이산화질소는 0.05 ppm에서 0.03 ppm으로 기준을 강화하여 점차 선진국 수준으로 개선하고자 노력하고 있다.

자동차로 인한 대기오염은 크게 2가지 측면에서 접근할 수 있다. 첫 번째 거시적 접근방법으로 자동차가 오염 배출원으로서 도시 평균 대기질에 얼마나 기여하는가를 평가하여 다른 배출원과 비교하여 중요성에 따라 관리하는 것이다. 즉, 배출량을 조사하여 기준성 대기오염물질인 미세먼지(PM₁₀), 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스, 휘발성 유기화합물에 기여하는 정도를 산출하는 것이다. 이러한 방법은 장기적으로 대기질 관리 목표치를 달성하는데 효과적이지만, 자동차에서 주로 배출되는 미세먼지의 크기가 $1 \mu\text{m}$ 이하이고, 시정장애를 일으키는 미세먼지의 크기가 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ 범위인 것을 감안하면, 자동차 오염을 정확하게 평가하는데 한계가 있고 대기오염의 체감지표인 시정개선과 직접적으로 연결시키기에도 무리가 있다.

두 번째 미시적 접근방법은 인체 건강 측면에서 도로를 주행하는 자동차 배기관에서 고농도로 배출되는 오염물질이 확산되면서 일반 도시대기 농도 수준으로 낮아지는 과정에서 영향을 받는 지역의 오염도를 조사하여 고농도 노출로 인한 건강 위험을 감소시키기 위한 관리방안을 마련하는 것이다. 즉, 환경보건 측면에서 자동차 오염을 관리하는 방법으로 경유 자동차에서 배출되는 디젤입자는 대표적인 발암물질로 규정되어 있으므로(신동천, 2005), 후처리장치의 보급 등을 통해 원천적으로 배출량을 줄이고(김중춘과 권상일, 2008), 실제 도로인접 지역에서 이러한 디젤입자가 어떻게 확산되어 사람들에게 영향을 미칠 수 있는지 국소적 관점에서 현상을 규명하고 관리방안을 마련하는 것이다(배귀남, 2005, 2008). 최근 유럽을 중심으로 경유 자동차에서 배출되는 디젤 나노입자에 대한 규제방안이 활발하게 논의되어 질량과 더불어 개수로 자동차 배출가스를 규제하는 것이 EURO 5에 반영되어

2011년부터 적용될 예정이다(박심수, 2005; 박심수와 권상일, 2008).

대기 중 미세먼지로 시달리는 봄철, 황사와 더불어 생활필수품인 자동차로 인한 미세먼지의 오염 현상을 이해하고 대응방안을 모색할 필요가 있다. 따라서 이 글에서는 미세먼지를 중심으로 자동차 배출가스가 우리 생활환경을 어떻게 오염시키고 있는지 살펴보고, 실내에서 공기청정기의 사용으로 인한 미세먼지의 저감 가능성을 검토하고자 한다.

2. 자동차로 인한 도로인접 대기오염

미국, 일본 등에서는 1970년대에 자동차의 배출가스를 규제하기 시작하였지만, 우리나라는 1990년에 대기환경보전법을 제정하여 자동차의 배출가스를 규제하기 시작하였고, 2003년에 수도권 대기환경에 관한 특별법을 제정하여 자동차 배출가스의 규제를 강화하였다. 차종에 따라 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소, 입자상 물질, 매연의 배출허용기준을 다르게 설정하여 새로 생산하는 제작차가 이러한 기준을 만족하여야 판매될 수 있도록 관리하고 있다.

정부에서는 매연(미세먼지)을 많이 배출하는 경유 버스를 미세먼지를 거의 배출하지 않는 천연연료인 CNG를 사용하는 천연가스버스로 교체하는 사업을 실시하고 있다. 천연가스버스는 경유 버스에 비해 일산화탄소와 질소산화물을 적게 배출하는 반면에 탄화수소는 더 많이 배출하고, 미량의 포름알데히드도 배출하는 것으로 알려져 있다. 서울시의 생활권내에서 운행되고 있는 지선버스와 마을버스에도 천연가스버스의 도입을 검토하고 있다. 또한, 경유 자동차의 관리를 강화하고, 노후 자동차의 조기 폐차를 지원하고 있다.

이러한 노력에도 불구하고 자동차에 인접한 지역의 대기오염도는 일반 대기에 비해 높다. 자동차로 인한 대기오염이 가장 심한 곳이 도로터널이다. 그러므로 운전 중 터널을 지날 때 오염에 노출되지 않으려고 많은 주의를 기울인다. 다음으로 가장 빈번하게 접하는 대표적인 생활공간이 도로변이다.

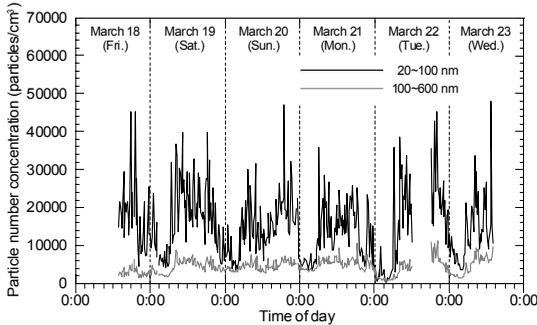


그림 3. 2005년 3월 서울 성산로 도로변 미세먼지의 수농도 변화

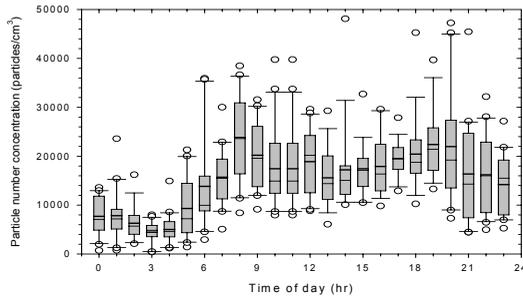


그림 4. 2005년 3월 서울 성산로 도로변 극미세입자의 수농도 일변화

도로변은 자동차에서 배출된 오염물질이 확산되기 시작하는 위치이므로 오염도가 상대적으로 높다.

그림 3은 2005년 3월 서울 성산로의 연세대 정문 앞 도로변에서 6일 동안 측정된 입자의 수농도 변화를 나타낸 것이다(배귀남 등, 2007). 도로변은 자동차 배출가스의 영향을 직접적으로 받는 곳이므로, 입자의 수농도가 짧은 시간 동안 매우 큰 폭으로 변화했다. 특히, 20~100 nm 범위인 극미세입자는 100~600 nm 범위인 미세먼자에 비해 수농도가 높았고, 수농도 변화를 주도하였다. 일변화 특성을 살펴보기 위하여 그림 3의 측정자료로부터 극미세입자(20~100 nm)의 1시간 평균 수농도를 구하여 그림 4에 나타냈다.

극미세입자는 새벽 3~5시 사이에 수농도가 가장 낮았고, 이후로 아침 출근시간대에 급격히 높아

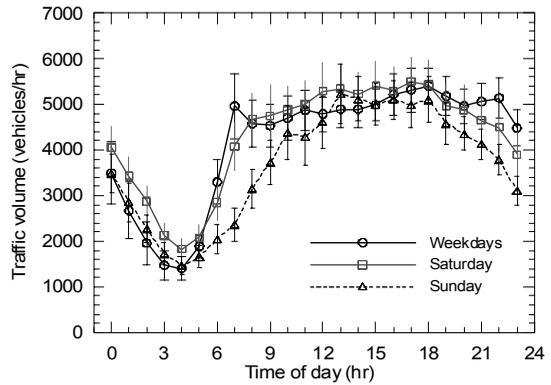


그림 5. 2005년 3월 서울 성산로 교통량의 일변화

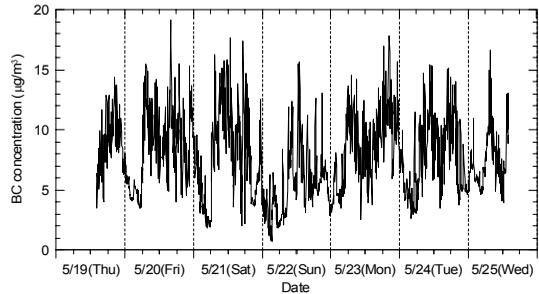


그림 6. 2005년 5월 서울 성산로 도로변 검댕의 질량농도 변화

져 8~9시 사이에 최고농도를 나타냈다. 또한, 저녁 퇴근시간대인 19~21시 사이에 높은 농도를 나타내었고, 21시 이후부터 새벽까지 감소하는 경향을 나타냈다. 도로변 극미세입자와 교통량의 관계를 살펴보기 위하여 성산로의 연희교차로에서 관측한 2005년 3월 교통량의 일변화를 주중, 토요일, 일요일로 구분하여 그림 5에 나타냈다. 교통량도 새벽 3~5시 사이에 가장 적었고, 출근시간대에 급속히 증가하였다. 저녁 늦게부터 아침 출근시간대 사이의 교통량과 극미세입자의 수농도 변화가 거의 비슷한 경향을 나타내는 것으로 보아 이 시간대의 도로변 대기오염은 교통량에 지대한 영향을 받는 것으로 판단된다.

검댕(black carbon, BC)은 경유 자동차에서 배출

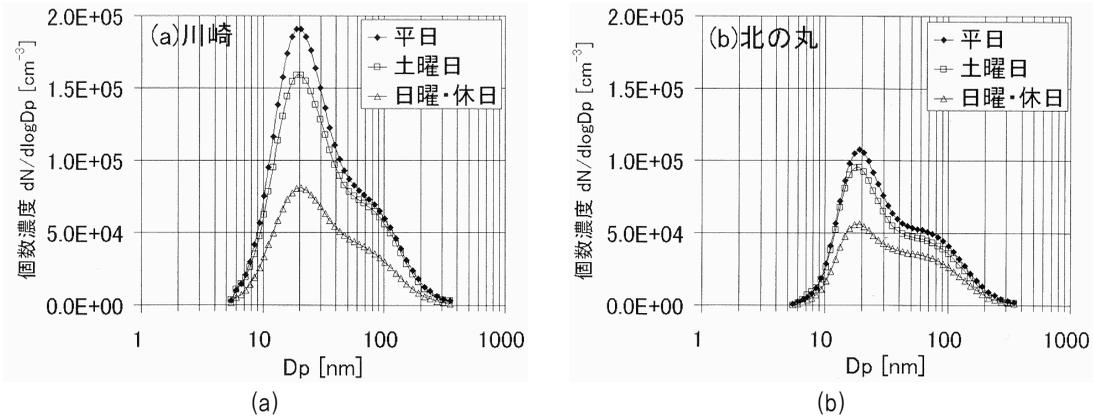


그림 7. 일본의 도시 도로변에서 관측된 입자의 크기분포

되는 대표적인 미세먼지이므로, 2005년 5월 서울 성산로의 연세대 정문 앞 도로변에서 7일 동안 측정한 검댕의 질량농도 변화를 그림 6에 나타냈다(이승복 등, 2007). 앞에서 언급한 극미세입자의 수농도 변화와 비슷하게 급격한 농도 변화를 나타냈다.

일본에서도 자동차 인접 대기오염에 대한 연구가 활발하게 수행되고 있는데, 川崎와 동경의 北の丸 도로변에서 관측된 입자의 크기분포를 그림 7에 나타냈다(Hasegawa et al., 2005). 두 지역에서 관측된 입경분포는 매우 유사하고, 평일에 비해 토요일의 농도가 약간 낮고 일요일이나 공휴일의 농도는 현저하게 낮음을 알 수 있다. 즉, 도로변은 자동차

오염을 직접적으로 받는 것이므로 교통량에 따라 농도 수준은 다르나 입경분포가 거의 비슷하게 나타났다.

도로 주행중 자동차 배기관으로부터 배출된 오염물질은 바람을 따라 주위로 확산되면서 이동한다. 이러한 이동 현상은 풍향, 풍속 등 기상요소의 영향을 크게 받는다. 도로변에서 입자의 이동 현상을 살펴보기 위하여 2006년 12월 서울 성산로 연세대 정문 앞 도로변과 이곳으로부터 100 m 떨어진 내부도로변에서 5일 동안 동시에 측정한 입자의 수농도 변화를 비교하여 그림 8에 나타냈다(Lee et al., 2007). 도로에서 100 m 떨어진 곳의 입자 수농도가 도로변에 비해 낮아졌고, 20~100 nm 범위의 극미세입자가 100~600 nm 범위의 미세입자에 비해 더 많이 감소함을 알 수 있다. 이것은 도로에서 멀리 떨어질수록 자동차 오염의 영향을 덜 받는다는 것을 의미한다.

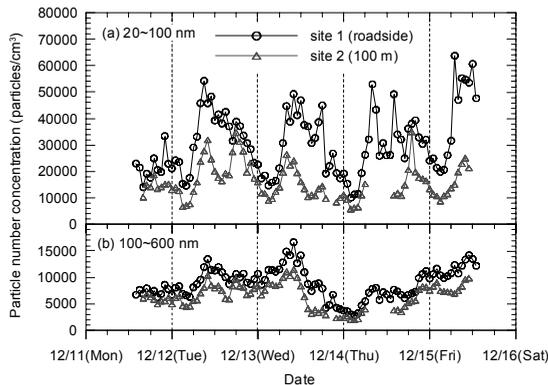


그림 8. 2006년 12월 서울 성산로 도로변에서 입자의 이동 현상

3. 도로변 실내오염과 공기청정

산업구조의 변화로 많은 사람들이 도시에 살게 됨에 따라 우리의 주거형태도 아파트와 같은 공동주택으로 크게 변모하고 있다. 또한, 이동성을 고려하여 교통이 편리한 곳에 거주하길 원한다. 이에 따라 그림 9에 나타낸 바와 같이 도로에 인접한 곳에



그림 9. 도로에 인접한 우리의 주거환경

주택이 자리하고 있어 자동차 오염에 심하게 노출될 가능성이 높다.

2006년 6월 서울 도로변에 위치한 공동주택의

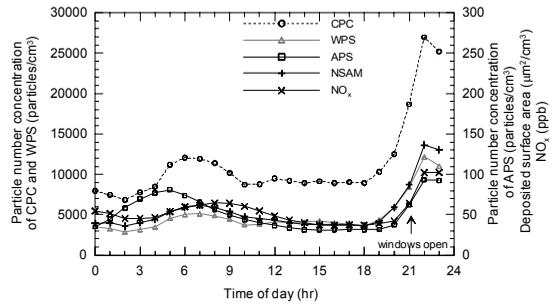


그림 10. 2006년 6월 서울 도로변 공동주택의 실내에서 측정된 입자 및 질소산화물(NOx)의 1시간 평균 농도의 변화

실내에서 다양한 기기를 이용하여 측정된 입자와 질소산화물(NOx)의 1시간 평균 농도 변화를 그림 10에 나타냈다(Lee and Bac, 2007). 실제로 생활하는 공동주택에서 사람이 없는 동안 먼저 창문이 닫힌 상태에서 4가지 입자측정기(CPC, WPS, APS,

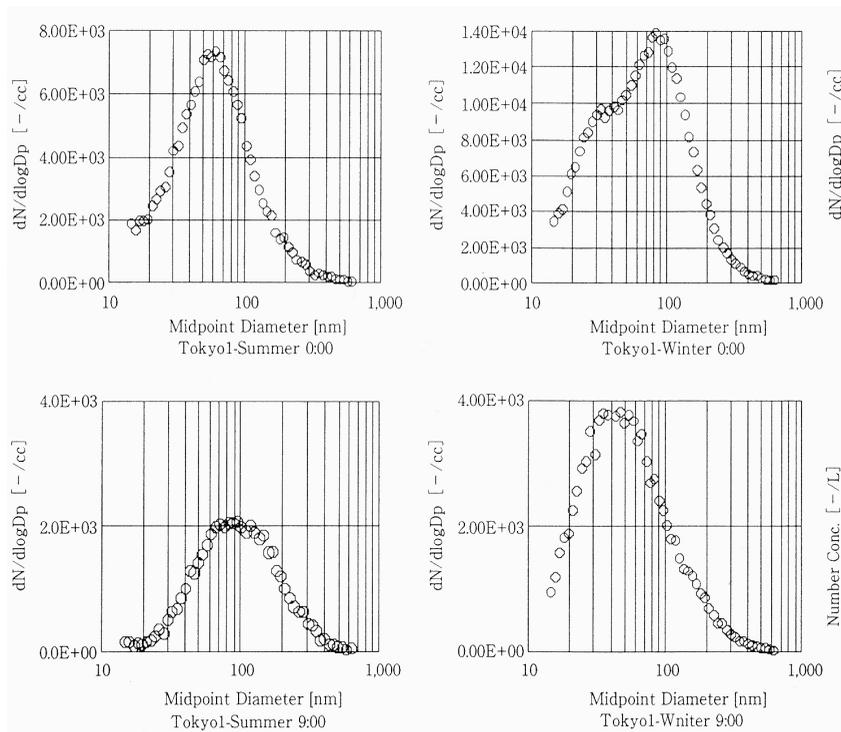


그림 11. 2005년 일본 동경 시내 사무소 건물의 실내에서 측정된 입자의 크기분포

NSAM)와 질소산화물 분석기로 입자와 NO_x 농도를 연속적으로 측정하다가 저녁 9시경 창문을 열고 계속 측정한 결과이다. 창문이 닫힌 상태이지만 아침 출근시간대에 입자 농도(CPC, WPS)와 NO_x 농도가 약간 증가하는 것을 볼 수 있다. 창문을 열면 입자 농도와 NO_x 농도가 모두 급격히 상승하였다. 이것은 자동차로 인하여 심하게 오염되어 있는 공동주택 주위의 공기가 실내로 유입되었다는 것을 의미한다.

새집증후군으로 불리는 실내공기오염에 대처하는 방안으로 신축 공동주택의 경우 건축자재로부터 방출되는 오염물질을 외부로 배출하기 위하여 환기를 권장하고 있는데, 도로변 대기는 자동차 배출가스로 오염되어 있으므로 환기시 이러한 문제를 고려하여야 한다.

일반 사무소 건물에는 냉난방을 위한 공조설비가 갖추어져 있고, 공조설비에는 미세먼지를 제거하기 위한 집진필터로 보통 중성능 필터가 설치되어 있다. 경우 자동차에서 배출되는 대기 중 극미세 입자가 사회적 관심사로 대두되면서 실내의 극미세 입자에 대해서도 연구가 시작되고 있다. 그림 11은 2005년 일본 동경 시내에 위치한 사무소 건물의 실내에서 여름철과 겨울철에 공조설비의 가동 여부에 따라 측정한 입자의 크기분포를 비교하여 나타낸 것이다(西村 直也, 2007). 왼쪽 2개 그림이 여름철에 측정한 것이고, 오른쪽 2개 그림은 겨울철에 측정한 것이다. 위쪽 2개 그림은 비공조시간대, 아래쪽 2개 그림은 공조시간대에 각각 측정한 것이다. 공조설비를 가동하면 실내 입자 농도가 감소하고, 입경분포도 약간 달라짐을 알 수 있다.

새집증후군으로 불리는 실내공기오염 문제에 대응하여 정부에서 추구하는 실내공기질의 관리방안은 크게 3가지로 구분된다. 첫째, 건축자재 등의 오염원을 사전에 관리하는 오염원 제어, 둘째, 환기설비의 설치 등을 통한 환기 제어, 셋째, 공기청정기의 관리 강화를 통한 제거 제어이다. 공기청정기는 실내공기에 존재하는 오염물질을 적극적으로 제거할 수 있는 강력한 수단이다. 공기청정기는 원래 미세먼지를 제거하기 위하여 고안된 것인데, 실내에

서 냄새, 미생물 등이 문제로 대두됨에 따라 탈취, 향균 기능을 추가로 갖춘 제품이 개발되어 시판되고 있다.

자동차로 인한 도로변 실내공간의 미세먼지 오염에 대처하기 위한 방안으로 공기청정기의 가능성을 살펴보기 위하여 2008년 3월 서울의 간선도로에 인접한 미입주 저층 공동주택의 실내에서 공기청정기의 현장시험을 실시하였다. 체적이 약 19 m³이고 창문이 도로에 접한 작은 침실의 구석 바닥에 공기청정기를 설치하고, 침실의 중앙에서 입자의 수농도를 연속적으로 측정하였다.

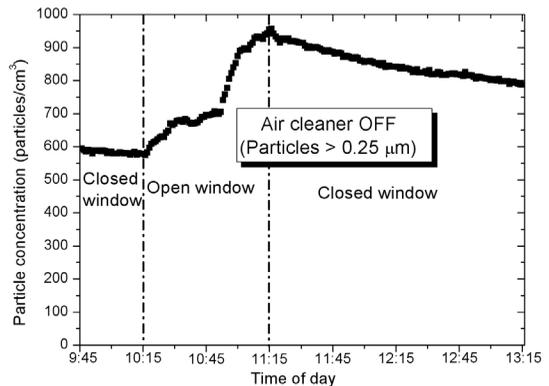


그림 12. 2008년 3월 서울 시내 도로인접 실내에서 측정한 입자의 수농도 변화(공기청정기를 가동하지 않은 경우)

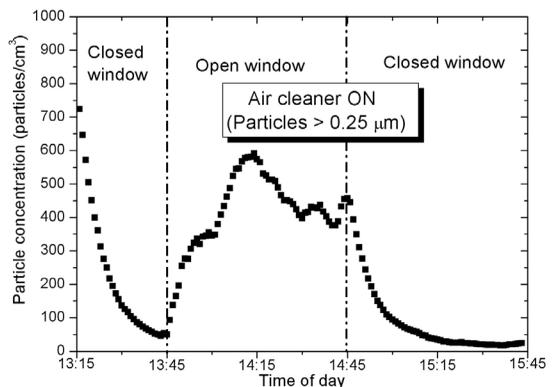


그림 13. 2008년 3월 서울 시내 도로인접 실내에서 측정한 입자의 수농도 변화(공기청정기를 가동한 경우)

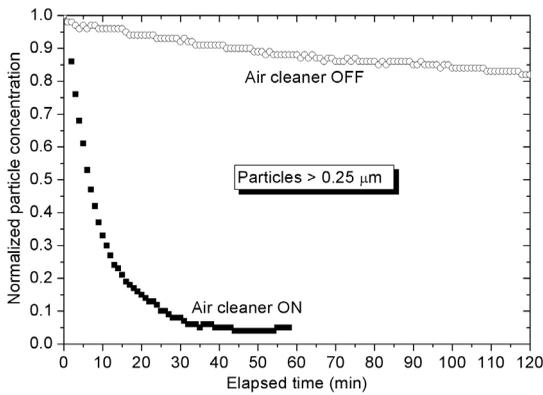


그림 14. 실내 입자 수농도의 감소 특성 비교

그림 12는 공기청정기를 가동하지 않은 경우 처음에 창문이 닫힌 상태에서 측정하다가 창문을 열어 실내를 오염시킨 후 다시 창문을 닫아 실내에서 0.25 μm 이상인 입자의 수가 자연적으로 감소하는 현상을 나타낸 것이다.

그림 13은 공기청정기를 가동한 상태에서 동일한 방법으로 시험한 결과를 나타낸 것이다. 창문을 열어 실내공기를 오염시킨 후 창문을 닫았을 때 공기청정기를 가동하지 않은 경우 입자의 대류확산, 중력침강 등으로 인해 입자가 벽면, 바닥 등에 부착되어 실내 입자의 수농도는 자연적으로 서서히 감소하지만, 공기청정기를 가동한 경우 매우 빠르게 감소함을 알 수 있다. 감소 정도를 상대적으로 비교하기 위하여 창문을 닫은 후 초기 농도로 정규화시켜 그림 14에 나타냈다. 공기청정기를 가동하지 않은 경우 2시간이 경과하여도 실내 입자가 초기 농도의 80% 수준을 유지하지만, 공기청정기를 가동시키면 10분만 경과하여도 30% 수준으로 크게 낮아짐을 알 수 있다. 이러한 시험결과는 공기청정기가 도로변 실내의 미세먼지를 제거하는데 매우 효과적으로 작용할 수 있다는 것을 의미한다.

공기청정기의 부가적인 기능에 대한 불신과 오존 발생 등 부작용으로 인해 공기청정기의 가장 중요한 기능인 집진성능이 소홀하게 다루어지고 있는데, 집진성능이 우수한 공기청정기를 사용하여

봄철 실내 미세먼지 오염에 대처하는 현명한 선택이 필요한 때라고 생각된다.

4. 맺음말

에너지와 환경이 이 시대의 중요한 문제로 부각되고 있으며, 수자원 확보와 더불어 경제적 수준에 부합되는 대기질 개선이 당면과제로 인식되어 정부, 지방자치단체, 기업, 연구기관 등에서 다각적으로 문제를 해결하기 위해 노력하고 있다. 또한, 선진사회일수록 환경·보건·안전이 중요한 키워드로 다루어지고 있는데, 과거와 달리 보건 측면에서 환경 문제에 접근하는 방향으로 연구개발이 이루어지고 있고 정부의 정책도 수립되고 있다.

우리나라는 지금까지 자동차로 인한 대기오염을 주로 대기질 개선 측면에서 다루어 왔는데, 이제 보건환경 개선 측면에서 문제를 보는 시각도 확보하여야 할 시점에 이르렀다. 즉, 거시적인 접근과 더불어 미시적인 접근을 통해 문제의 본질을 파악하여 현명하게 대처하는 지혜가 필요하다.

현대인들은 바쁜 생활로 대부분 무의식적으로 살아가고 있지만, 우리가 편리하게 이용하는 자동차에 의해 생활환경은 많이 오염되어 있다. 현재 우리가 살고 있는 주거시설, 도로망 등을 대기환경 관점에서 획기적으로 개선하려면 많은 비용과 긴 시간이 필요하다. 우선 개인적으로 생활하면서 자동차 오염에 노출되지 않도록 노력하는 자세가 필요하고, 공기청정기와 같은 수단을 이용하여 실내 생활공간의 미세먼지를 적극적으로 제거하는 방법도 우리의 건강을 지키는데 보탬이 될 것이다.

- 참고문헌 -

1. 김민영, 2006, “황사 발생시 서울 대기 미세먼지의 농도 변화,” 설비저널, 35권, 4호, pp.16~20.
2. 김종춘, 권상일, 2008, “수도권 지역 운행 경유 차량내 후처리장치 적용 현황,” 오토저널, 30권, 1호, pp.36~43.

3. 김윤신, 2002, "미세먼지의 인체영향," 공기청정기술, 15권, 1호, pp.29~37.
4. 박심수, 2005, "국제 PMP의 동향," 오토저널, 27권, 4호, pp.4~8.
5. 박심수, 권상일, 2008, "UN/ECE/GRPE and PMP Activity," 제2회 자동차 극미세입자와 환경보건 워크샵, 2월 15일, 한국과학기술연구원, 서울, pp.3~25.
6. 배귀남, 2005, "디젤 극미세 입자의 대기환경 영향 연구," 오토저널, 27권, 4호, pp.16~20.
7. 배귀남, 2008, "자동차 배출 극미세입자의 추적," 제2회 자동차 극미세입자와 환경보건 워크샵, 2월 15일, 한국과학기술연구원, 서울, pp.103~121.
8. 배귀남, 허선영, 이승복, 안민하, 박동호, 황정호, 2007, "봄철 서울 도로변의 초미세 입자 오염 특성," Particle and Aerosol Research, 3권, 1호, pp.29~40.
9. 백성욱, 구윤서, 2008, "수도권 대기환경 개선사업-진단과 제언," 한국대기환경학회지, 24권, 1호, pp.108~121.
10. 신동천, 2005, "디젤 극미세 입자의 인체 영향," 오토저널, 27권, 4호, pp.21~25.
11. 이승복, 배귀남, 박수미, 정상근, 2007, "봄철 서울 도로변의 검댕 오염 특성," 한국대기환경학회지, 23권, 4호, pp.466~477.
12. 西村 直也, 2007, "建築室内環境における超微粒子の分布 - 事務所ビルにおける実測例 -, " クリーンテクノロジー, 17卷5号, pp.52~55.
13. Bae, G. N., Lee, S. B., and Park, S. M., 2007, "Vehicle-related Fine Particulate Air Pollution in Seoul, Korea," Asian Journal of Atmospheric Environment, Vol. 1, pp.1~8.
14. Hasegawa, S., Kobayashi S., Fushimi, A., and Tanabe, K., 2005, "Observation of Nanoparticles in Roadside Atmosphere," Journal of Japan Air Cleaning Association, Vol. 43, No. 2, pp.111~119.
15. Lee, S. B. and Bae, G. N., 2007, "Characterization of Particle Contamination in an Apartment near the Road in Summer Using Five Aerosol Instruments," Abstracts Book from the Air & Waste Management Association 100th Annual Conference & Exhibition, June 26-29, Pittsburgh, PA, USA, pp.82~83.
16. Lee, S. B., Bae, G. N., Huh, S., Park, D., and Hwang, J., 2007, "Transport of Traffic-related Particles near the Roadside," Proceedings of the 18th International Symposium on Transport Phenomena, 27-30 August, Daejeon, Korea, pp.578~581.