

PG2) 철도차량에서의 공기질 현황 및 PM10 오염원 분석

Air Pollution and Source Analysis on the Railway Vehicles

박덕신 · 조영민 · 권순박 · 박은영 · 김동술
한국철도기술연구원 환경화재연구팀

1. 서 론

건설교통부 통계연감에 따르면 2005년 한 해 동안 버스 이용객수는 48억 명이며, 철도 여객 수는 9억 명, 지하철 등 도시철도 이용객수는 20억 명으로 하루 평균 약 2천만 명 이상의 국민이 대중교통수단을 이용하고 있는 것으로 조사되었다. 철도차량의 경우 승객이 탑승하여 1시간 이상 여행을 하기 때문에 안락함과 편안함 이외에 쾌적한 환경이 요구된다. 객실의 환경이 나쁠 경우 공기오염의 원인이 되어 공기청정도에 심각한 영향을 미치게 되지만 아직까지 우리나라의 경우 대중 교통수단의 실내공기질에 관한 기준이 없을 뿐 아니라 관련 연구도 거의 이루어지지 않고 있다. 또한, 이용 승객의 쾌적성도 여러 요소가 복합적으로 작용하므로 이를 한마디로 정의하고 정량적으로 평가하기가 용이하지 않아서 객실의 종합적인 쾌적성 평가 지표는 아직 뚜렷하게 확립되어 있지 않다. 일찍부터 교통수단의 환경에 많은 관심과 집중적인 투자를 하기 시작한 몇몇 국가들의 경우는 이미 여러 가지 신기술을 객차에 실제 적용하는 단계에 있다. 따라서 객실 공기오염으로 건강상 위해 요소에 대한 저감 방안 및 오염원에 대한 종합적인 관리방안 마련이 시급하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 버스, 항공기, 선박, 철도 등 여러 가지 대중교통수단 중 KTX, 새마을호, 무궁화호 객차 등 철도차량을 연구 대상으로 하여 최근 대중교통수단에서 실내공기질을 적정한 수준으로 관리하기 위한 국내외의 연구동향을 정리하고, 공조와 관련된 철도 이용승객의 쾌적성에 영향을 미치는 인자를 분석하였다. PM10, CO, CO₂, HCHO 등 실내공기질 유지기준과 실내공기질 권고기준인 VOCs 등을 측정하여 실내공기질 수준을 파악하였으며, 필터에 포집된 미세먼지 중의 중금속을 분석한 후 데이터를 분석하여 군집분석법 중의 한 방법인 응집위계분석법을 이용하여 철도 객실의 오염 원인을 분석하였다.

2. 연구 방법

온도와 습도는 열차를 이용하는 승객이 온열의 쾌적함을 느끼는데 있어서 가장 중요한 환경요인 중의 하나이다. 객실의 온·습도는 계절에 따라 냉·난방 시스템의 가동에 의한 영향이 가장 크다. 그리고 외부의 기상조건과 정차 시 객실 출구를 통한 외부공기의 도입도 온·습도의 변화에 영향을 줄 수 있다. 미국 GrayWolf사의 DirectSense IAQ(IQ-410)를 사용하여 객실에서의 온·습도를 측정하였다. 열차의 운행 중 객실에서 PM10의 농도변화를 측정하기 위해 Grimm사의 dust monitor(model: 1108)를 이용하였다. 이 장비는 16 채널 먼지측정기로서 PM1.0, PM2.5, PM10을 동시에 계측할 수 있다.

객실에서 CO와 CO₂의 농도는 IAQ 모니터를 이용하여 측정하였다. IAQ 모니터는 습도와 온도를 함께 측정할 수 있으며, 컴퓨터와 연결하여 농도 값을 실시간으로 확인할 수 있다. 측정 범위는 CO가 0~500ppm, CO₂가 0~10,000ppm이다. VOCs의 채취에는 미국 Entech사의 6ℓ 크기의 캔истер 캔을 사용했으며, 전처리장치(Entech 7100)가 연결된 GC(HP6980N)/MSD(HP5973)를 이용하여 분석하였다.

철도차량 중 새마을호, KTX, 신형 및 구형 무궁화호 객차 등을 대상으로 두 차례에 걸쳐서 공기질을 측정하였다. 1차 측정은 2004년 1월 12일부터 14일까지 3일간 기존선 객차 중 새마을호와 무궁화호 신형 및 구형 차량을 대상으로, 2차 측정은 2006년 7월 18일 고속열차인 KTX 객차를 대상으로 경부선 서울-부산 구간에서 수행하였다. 새마을호의 경우 서울-부산 구간의 운행시간은 4시간 10분가량, 무궁화호는 5시간 20분가량이 소요된다. KTX는 최고속도 300km/h로 운행되는 고속열차로 서울-부산 구간의 운행에 2시간 40분가량이 소요된다. 고속열차의 경우 정차 역은 2~7개 정도이며, 저속열차인 무궁화호는

최대 19개 역에 정차한다.

3. 결과 및 고찰

일반적으로 도시인들은 하루생활 중 대부분을 실내에서 생활하고 있다. 이 경우 실내공기 오염은 실내에서 머무는 시간이 많은 사람들에게 여러 건강상의 영향을 미치게 될 것으로 예상된다. 특히 장시간 밀폐된 공간에 노출되어야 하는 열차를 이용하는 승객의 경우에 그 영향은 무시할 수 없다.

현재 국내에서 운행되고 있는 철도차량의 경우 냉난방 시스템과 환기설비에 대한 지속적인 연구로 객실의 공기질이 점차 개선되고는 있으나 관련 연구가 부족한 실정이다. 지금까지 유럽과 일본 등에서는 객실 공기오염에 의한 인체 영향에 대하여 많은 연구와 조사가 이루어졌다. 국내에서는 2004년 4월 고속철도가 개통되면서 철도를 이용하는 승객에 대해 관심을 가지기 시작했으며, 최근 정부에서도 객차, 전동차, 버스 등 대중교통수단에서의 공기질 관리를 강화하고자 가이드라인을 제정한 바 있다.

본 연구에서는 대중교통수단 중 KTX, 새마을호, 무궁화호 등 철도 객실을 대상으로 철도를 이용하는 승객의 쾌적성에 영향을 미칠 수 있는 요인을 분석하고, PM10, CO₂, HCHO, VOCs 등의 대기오염물질을 측정, 분석하여 공기질 수준을 파악하였다. 객차는 고속으로 운행되기 때문에 밀폐를 하고, HVAC 시스템으로 강제 환기를 실시하므로 공기질을 적절한 수준으로 관리하기 위해서는 오염원을 파악하고, 오염원에 맞는 저감장치를 설계하여 장착해야 한다. 오염패턴 분석을 위해 8량의 객차에 대해 미세먼지를 포집하고, 중금속을 분석하였다. 군집분석 중 응집위계분석법을 이용하여 정성적인 평가를 하여 오염원을 확인하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 공기질 측정결과 PM10의 경우 평균 50.5~83.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대체로 농도가 낮았으나 역에서 승하차를 위해 승객이 움직일 때 미세먼지의 재비산으로 농도가 높아지는 것으로 추정된다. CO₂는 1,411~1,768ppm의 수준으로 환경부의 열차에 대한 가이드라인 값인 2,000ppm 보다는 낮은 수준이지만 운행시 승객의 수에 따라 가이드라인 값을 초과하기도 하여 지속적인 관리가 필요한 것으로 판단된다. 그 이외 CO, 포름알데하이드, 휘발성유기화합물의 경우 유의할만한 농도 수준을 보이지 않았다.

군집분석을 수행한 결과 4개의 군집으로 분류할 수 있었다. 군집 1은 Na, Al, Fe, Pb 등이 많이 포함되어 있어 주로 토양성분에 의해 오염되었음을 알 수 있었다. 군집 2는 Mg와 Ca가 높게 나타났으며, 토양과 디젤의 연소 배출물이 혼합된 형태로 볼 수 있다. 군집 3은 모든 object들이 무궁화호 열차였으며, Ba와 Fe 및 Cu가 많이 포함되어 있어 주로 철로의 마모, 마찰에 의해 영향을 받는 것으로 판단된다. 군집 4는 Zn, Mn, Ni 등이 높게 나타났으며, 디젤 연소에 의한 배출물의 영향과 오염원에 직접 노출이 되었거나 기관차의 배출가스에 의해 극심하게 오염된 형태로 볼 수 있다.

객실은 대략 144m³의 좁은 공간에 다수의 승객이 승차하여 장시간 여행을 하므로 공기질 관리에 세심한 주의가 요구된다. 최근 열차가 고속화되고 조망권 확보를 위해 개별 창문을 없애는 추세여서 환기는 HVAC 시스템을 이용해서만 가능하다. 객실 공기질을 쾌적한 상태로 유지하기 위해서는 내부의 공기를 수시로 신선한 외부공기로 치환해야 한다. 이를 위해서는 객실에 공기질 센서를 두어 객실 공기질 농도가 일정 수준 이상이면 출력 데이터를 환기시스템과 연동하여 자동 동작하게 하여야 한다. 또한, 철도 내장재에서 오염물질의 방출을 최소화할 수 있는 내장재를 사용해야 한다. 또한 객실의 상부와 하부에 장착된 닥트 내부를 주기적으로 청소하여 공기의 순환에 의한 먼지의 재비산을 방지해야 할 것이다. 향후 대기오염저감장치의 개발에 대한 연구를 지속적으로 추진할 계획이다.

참 고 문 헌

한국철도기술연구원 (2002) 실내 쾌적성 향상기술 개발 연차보고서.

한국철도기술연구원 (2007) 차세대 객차용 청정시스템 개발 4차년도 연차보고서.