

# 철도차량 객실의 공기질 현황 및 공기청정장치 개발동향

철도차량 객실의 공기오염 현황과 최근 공기청정장치의 개발동향을 소개하고자 한다.

박덕신

한국철도기술연구원 궤도토목연구본부(dspark@krri.re.kr)

철도차량 공조시스템의 주된 기능은 승객에게 안락함, 편안함, 쾌적함을 제공하는 것이다. 객실 공기 환경과 공조시스템의 부적절한 관리는 객실공기오염의 원인이 되어 이용 승객의 건강을 위협하게 된다. 쾌적한 실내 환경을 위해서는 신선하고 깨끗한 외기의 공급이 필요하며, 이를 위해서는 집진장치나 필터 등을 이용하여 오염물질을 분리·제거해야 한다. 최근 환경부에서 버스, 전동차, 객차 등 특수 실내 환경에 대한 실내 공기질 관리 가이드라인의 제정을 언급한 바 있으므로 이에 대한 연구와 대책이 필요한 시점이다.

## 실내 공기질 (Indoor Air Quality; IAQ)

삶의 질이 향상되면서 실내공기오염을 또 다른 환경문제로 인식하게 되면서 새로운 관심사로 떠오르고 있다. 일반적으로 실내공기는 외기와는 달리 희석, 확산 공간이 크지 않아 한번 오염이 되면 정화가 어려워 비교적 쉽게 악화될 수 있으며, 실내공간에서의 체류시간이 증가함에 따라 실내 환경이 인간에게 미치는 영향도 매우 커 그 중요성이 점차 부각되고 있다.

실내공기는 통풍에 의한 자연환기나 공기조화설비에 의한 기계 환기에 의해 어느 정도 개선될 수는 있으나, 오염물질의 발생과 누적이 계속되면 호흡기질환을 유발할 수도 있다. 실내공기오염이 인체

에 미치는 영향은 새집증후군만 보더라도 그 심각성을 쉽게 알 수 있다. 이것은 건물의 거주자들이 일시적이거나 혹은 만성적으로 건강과 관련된 여러 증상을 호소하게 되는 현상으로, 다양한 형태의 실내 활동과 건축마감재, 기타 일상생활용품 등에서 배출되는 물질들에 원인이 있다고 할 수 있다. 실내공기를 악화시키는 요인에는 온도, 습도, 미세먼지(PM10), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 중금속, 아황산가스(SO<sub>2</sub>), 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO), 석면, 라돈, 휘발성유기화합물(VOCs), 포름알데히드(HCHO), 악취 등이 있다. 전 세계적으로 건강에 대한 관심이 높아지고 있는 현 상황으로 볼 때, 보다 쾌적한 공간에서 건강하게 활동할 권리에 대한 요구의 증가로 이에 대응할만한 구체적인 정책마련이 시급한 실정이다.

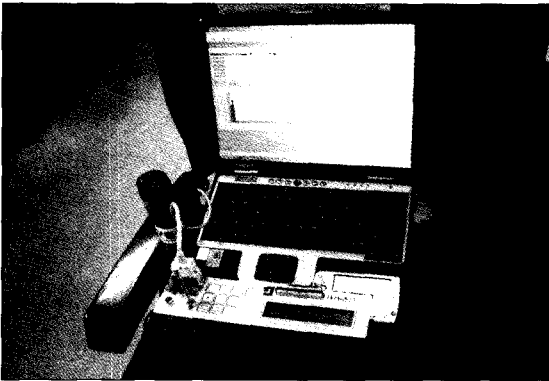
이에 우리나라는 실내공기질과 관련하여 환경부가 1989년 지하공간 환경기준치를 설정한 이후, 1995년도에 실내공기질통합관리법의 입법화를 추진하였으나 무산되었고, 2003년 5월에는 “지하생활공간공기질관리법 개정법률(다중이용시설등의실내공기질관리법)”을 공포하였다. 철도의 경우 그 동안 전동차, 객차 등이 실내공기질 관련 규제를 받지 않았으나 2004년 12월 8일 환경부 보도자료(실내공기질 관리 기본계획 수립·확정)에 따르면 2008년 이후부터 특수 실내 환경으로 분류되어 다중이용시설등의실내공기질관리법의 규제대상이 될 전망이다.



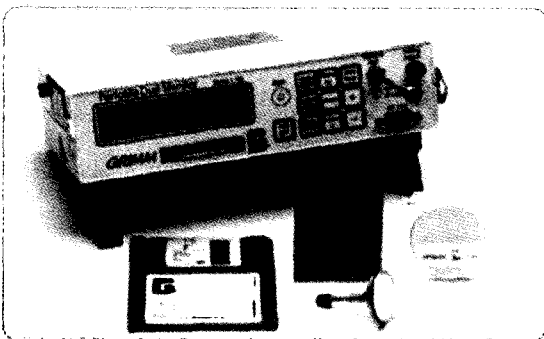
## 객실에서의 공기질 측정방법

객실 공기질을 대표하는 온·습도, 미세먼지, 일산화탄소, 이산화탄소 및 휘발성유기화합물 등을 측정하여 분석하였다. 그림 1에 나타난 것과 같이 측정 기기는 승객들에게 불편을 주지 않고, 객실의 공기질을 가장 잘 대표할 수 있는 승객용 좌석의 중앙으로 하였다. 기기의 공기 유입구는 바닥으로부터 0.5~1 m 떨어진 곳에 위치하게 하여 오염물질의 바닥에 의한 반사에 의한 영향을 배제하였다. 측정은 열차의 운행 중에 실시하였다.

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 의



[그림 1] 철도차량 객실에서의 공기질 측정 장면



[그림 2] 미세먼지 측정용 dust monitor

부의 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 객실에서의 미세먼지 농도변화를 알아보기 위해 독일 Grimm사의 dust monitor (model: 1108)(그림 2)를 이용하여 미세먼지의 농도를 실시간으로 측정하였다. 이 장비는 16 채널 먼지측정기로서 PM1.0, PM2.5, PM10을 동시에 측정할 수 있다.

이산화탄소는 농도는 실내공기의 환기상태를 평가하는 지표로 이용된다. 환기가 불량하면 이산화탄소의 농도가 높아지기 때문이다. 환기가 불량한 실내 온도나 습도의 상승으로 불쾌감을 유발할 수 있으며, 공기 중의 분진이나 세균 수의 증가 등으로 인하여 실내 공기질이 악화되기 때문에 환기가 반드시 필요하다. 일반적으로 이산화탄소의 농도가 1,000 ppm 또는 1,500 ppm 이상이 되면 실내의 환기는 불량한 것으로 간주된다. 객실에서 이산화탄소와 이산화탄소의 농도는 그림 3에 나타난 미국 WolfSense사의 IAQ 모니터 (model: IQ410)를 이용하여 측정하였다. IAQ 모니터는 습도와 온도를 함께 측정할 수 있으며, 컴퓨터와 연결하여 농도 값을 실시간으로 확인할 수 있다. 측정 범위는 이산화탄소가 0~



[그림 3] IAQ 모니터

500 ppm, 이산화탄소가 0~10,000 ppm이다.

휘발성유기화합물의 채취에는 미국 Entech사의 6 l 크기의 캐니스터 캔을 사용했으며, 전처리장치 (Entech 7100)가 연결된 GC(HP6980N)/ MSD(HP5973)를 이용하여 분석하였다.

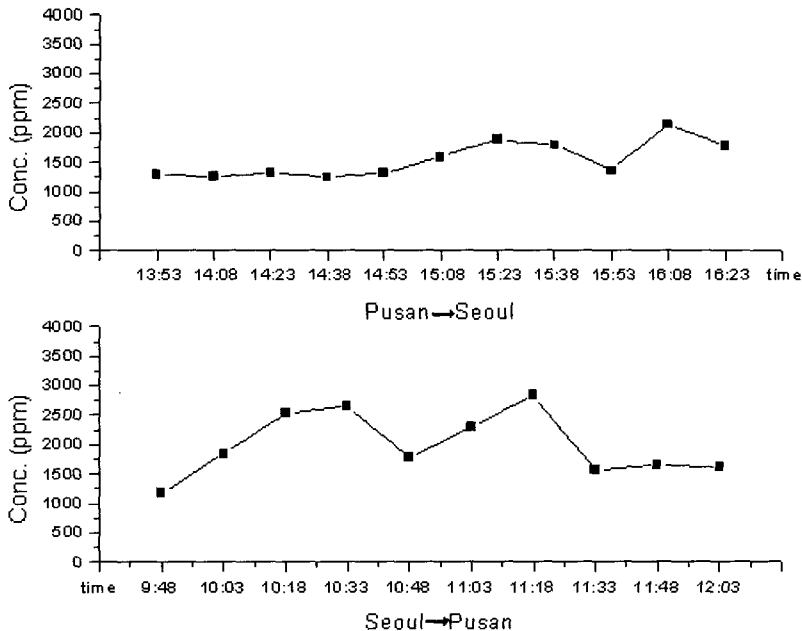
### 객실의 공기질 현황

KTX 서울-부산 구간에서 온도와 습도를 측정한 결과, 온도는 하행선의 경우 최대 25.7℃, 평균 25.5℃를, 상행선의 경우 최대 28.0℃, 평균 26.3℃로 조사되었다. 습도의 경우 하행선에서 최대 58.0%, 평균 51.1%를, 상행선에서 최대 55.7%, 평균 48.4%로 계측되었다. 보건복지부는 공중 위생기준에서 적정 온도를 17~28℃, 적정 습도를 40~70%로 규정하고 있는데, 상·하행선 모두 공중 위생기준에 적합한 것으로 조사되었다.

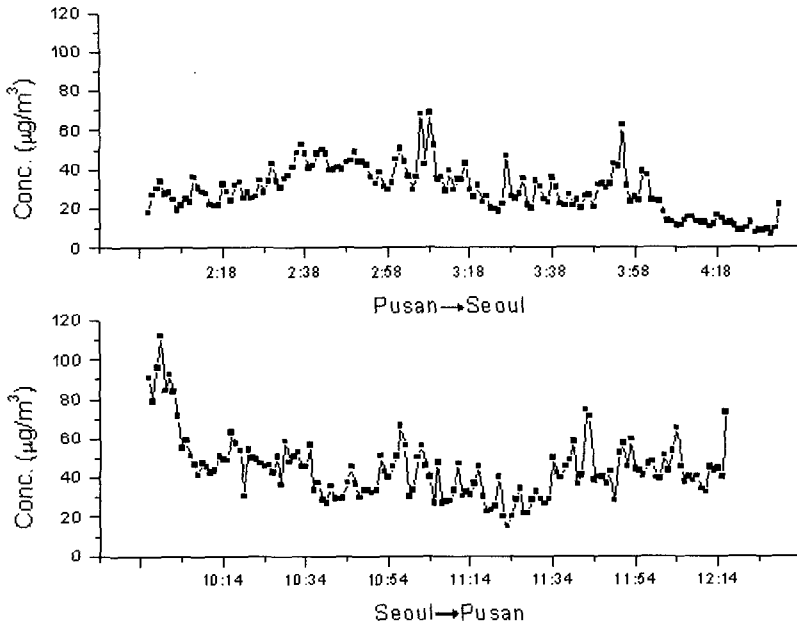
일산화탄소의 경우 특별한 오염원이 없기 때문에 저농도로 검출되었다. 이산화탄소의 경우 측정결과 그림 4에서와 같이, 하행선에서 최대 2,385 ppm,

평균 1991 ppm 이었으며, 상행선에서 최대 2,145 ppm, 평균 1544 ppm로 조사되었다. 우리나라의 실내공기질 유지기준이 일산화탄소는 10 ppm이고, 이산화탄소는 1,000 ppm이다. 철도차량 객실이 아직 까지 관련 법규의 규제대상은 아니지만 이용 승객의 건강보호 측면을 고려할 때 공조시스템과 공기청정 장치에 대한 보다 심도 있는 검토가 필요한 것으로 사료된다.

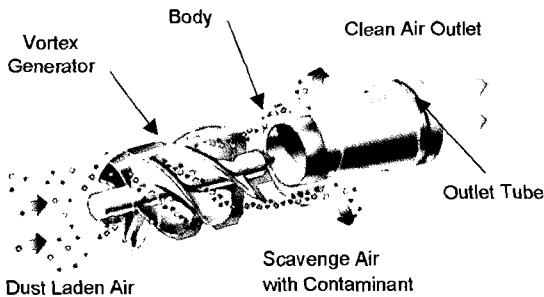
KTX 객실에서의 미세먼지 측정결과, 하행선에서의 최대농도는 122.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 평균농도는 44.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이었고, 상행선의 경우, 최대농도는 68.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 평균농도는 29.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났다(그림 5). 현재 우리나라의 실내공기질 유지기준이 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (24시간 평균)에 대해 전 구간에서 기준치 이하로 나타났다. KTX 차량은 도입된 지 얼마 안 된 신차로서 닥트와 객실의 청소상태가 양호했다. 실내공간의 미세먼지 농도변화 원인은 외부와 연결된 창문이나 출입구를 통한 유입, 내부에서의 발생, 그리고 기류의 변화와 인간 활동에 의한 재비산 등을 고려해 볼 수 있다. 열차의 경우에는 정차했을 때 출입구의 개방이



[그림 4] KTX 객실에서의 이산화탄소 농도 측정결과



[그림 5] KTX 객실에서의 미세먼지 (PM10) 측정결과



[그림 6] 사이클론 집진장치 튜브의 작동원리

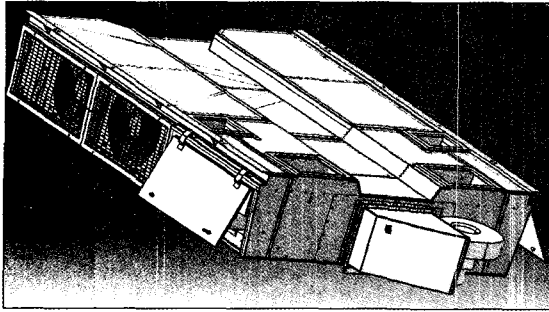
나 탑승객에 의한 미세먼지의 유입, 승객의 이동에 의한 재비산 등의 요인에 의해 미세먼지의 농도가 변화하는 것으로 나타났다.

KTX 객실에서 채취하여 미국 EPA Method TO-14에서 규정한 40여종의 휘발성유기화합물을 측정하여 분석한 결과, 휘발성유기화합물의 농도는 매우 낮은 것으로 나타났다. 각 물질별 측정 농도를 살펴보면, 다른 물질에 비해 톨루엔(toluene)이 9.51 ppb로 다소 높게 조사되었지만 기타 주요 물질인 벤젠, 에틸벤젠, 자일렌 등은 저농도로 검출되었다.

## 객차용 공기청정장치 개발동향

사이클론 집진장치의 원리를 이용한 센트리셉(Centrisep)은 1960년대 초반 헬리콥터 가스터빈의 엔진을 보호할 목적으로 PALL사에 의해 개발된 엔진 흡입공기 중의 먼지 분리기이다. 사이클론 집진장치는 개발 당시 먼지 분리효율이 70% 수준(중량 기준)이었으나 이후 30여년간 많은 설계 및 제작기술의 향상을 통해 현재는 표준입자에 대하여 95~97% 수준의 먼지 분리효율을 발휘한다. 장치의 작동원리는 먼지나 이물질이 포함된 공기가 튜브로 유입되면 그림 6과 같이 내부에 고정된 와류 생성기(vortex generator)에 의해 선회유동이 발생된다. 이러한 선회 유동에 의해 먼지나 이물질, 수분 등은 차중에 의한 원심력으로 튜브 바깥 방향으로 밀려나서 튜브 외측으로 배출되며 깨끗한 공기만이 객실로 유입된다.

그림 7에서와 같이 사이클론 집진장치를 객차 HVAC 시스템 유입 덕트의 입구에 설치하면 먼지와 이물질로 인한 에어컨의 마모를 상당부분 줄일 수 있다. 그리고 수명이 반영구적이고, 압력손실이 12 mbar로 적어서 적용이 용이한 장점이 있다. 비용 측

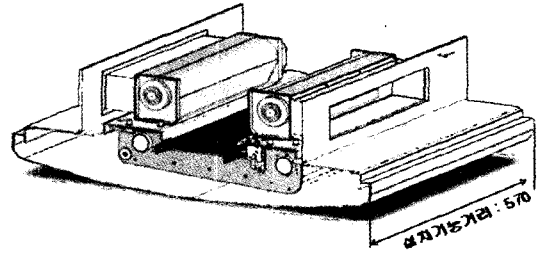


[그림 7] 사이클론 집진장치의 장착 개념도

면에서 초기 투자비가 많이 소모되는 단점이 있지만 투자비 회수 관점에서 볼 때 사이클론 집진장치를 적용하면 마모를 야기하는 외부 이물질을 대폭 감소시켜 줄 수 있으며, 객실에 유입되는 4  $\mu\text{m}$  이상의 미세먼지를 차단하여 객실의 미세먼지 농도를 근원적으로 줄여주어 객실의 공기질 향상에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

철도차량 객차의 경우 노후화와 주기적인 닥트의 청소가 이뤄지지 않아 각종 오염물질이 닥트에 쌓이는 경우도 많다. 이를 위해 현재 와이어 메시로 된 평판한 필터를 냉난방 닥트에 설치하였으나 필터가 쉽게 막혀 냉난방효과가 떨어지는 문제점이 있다. 또한, 필터의 교체가 주기적으로 이루어지지 않아 실내 공기질이 악화되는 경우가 발생하기도 한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 유지보수가 용이하고, 교체주기가 6개월 이상인 롤 타입의 필터가 개발되고 있다.

롤 필터는 먼지가 쌓이게 되면 일정간격으로 필터를 감아 자동 교환해 주기 때문에 필터의 수명이 길고, 통기저항이 적게 걸려 객실에서 공기순환에 무



[그림 8] 객실 공기정화용 롤 필터 시스템

리가 없다. 그림 8에 롤 필터의 설계 도면을 나타내었다. 장치는 필터의 교체를 쉽게 하기 위해 롤 필터 가이드와 snatch lock을 사용하였으며, 필터를 교환할 때 snatch lock을 눌러서 필터부를 분리한 다음 롤 필터 부분을 당겨서 가이드를 분리하고 필터를 교체하면 된다. 그림에서 객실의 공기 유입을 쉽게 하기 위해 크로스 팬을 좌, 우측에 2개를 설치하였고, 크로스 팬에 의해 유입된 공기는 롤 필터로 송풍되며, 필터에 의해 실내의 오염된 공기는 정화되어 객실로 토출되게 된다.

최근 정부의 실내공기질 규제 대상의 확대와 기준의 강화 전망에 따라 한국철도기술연구원을 중심으로 철도차량에서의 공기질을 보다 쾌적한 수준으로 유지하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 앞서 언급한 기술들을 적용한 실내 공기질의 개선과 열적 쾌적성을 향상시키기 위한 종합적인 접근이 시도되고 있으므로 관련 연구가 완료되고, 결과물이 상용화되면 열차를 이용하는 승객들이 보다 쾌적한 환경에서 여행을 즐길 수 있을 것으로 기대된다. ㉔