

차세대 객차용 청정시스템 개발

Development of Air Cleaning System for Railroad Vehicles

박덕신¹⁾ 조영민²⁾ 권순박²⁾ 박은영³⁾ 김세영²⁾ 정미영²⁾
Park, Duckshin Cho, Youngmin Kwon, Soonbark Park, Eunyong Kim, Seyoung Jung, Miyoung

ABSTRACT

As the standard of living is higher, the passengers using public transportations desire better qualities of environment as well as more comfortable indoor environment. In case of train, the passengers' comfort in passenger cabin is one of the most important elements to be competitive with other transport systems.

The indoor air quality of the cabin should be managed properly, because many passengers travel for a long time in the small space of 144 m³. For proper management of the air quality, the heating, ventilation and air conditioning (HVAC) system is required for the ventilation of the compartment. To maintain comfortable environment in the compartment, the automatic ventilation system is needed to exchange the indoor air with fresh air or clean indoor air.

In this study, we investigated the indoor air quality (PM-10, CO₂, and VOCs) in the compartment of train. In addition, type and pattern of PM-10 has been analyzed through the clustering analysis. Based on the analysis, we could found that the fine particulate matters in the compartment can be a serious hazard to human. To control the concentration of PM-10 and CO₂ air cleaners were developed. Through this study, it is expected that people who take a train will be in a more comfortable environment.

1. 서 론

2003년 5월부터 한국철도기술연구원 주관으로 (주) ADS rail, (주) 성창에어텍, (주) Anytech 등이 협동기관으로 참여하여 국토해양부 미래철도기술개발사업의 일환으로 차세대 객차용 청정시스템 개발* 과제를 수행하고 있다.

본 사업에서는 철도를 이용하는 국민들의 건강영향을 고려하여 철도차량용 공기청정시스템을 개발하고 있으며, 2007년 1월부터 적용되는 표 1의 '대중교통수단실내공기질관리 가이드라인'에서 정하고 있는 CO₂, PM10 등을 제어하기 위하여 미세먼지 분리장치, 롤필터시스템, 이산화탄소 흡착장치 등을 개발하였으며, 객실 위치별 온도편차를 줄이기 위해 닥트, 디퓨저 등의 성능을 보완하여 상업노선에서 시험 중에 있다.

본 사업에서는 청정열차에 대한 사회적 요구에 부응할 수 있도록 객차용 청정시스템을 개발하고 있다. 연구의 최종목표는 객실의 쾌적성을 향상시키고, 이산화탄소와 미세먼지 등 오염물질의 농도와 연동되어 제어가 가능하도록 하여 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인에서 정하고 있는 환경기준을

1) 한국철도기술연구원 정회원, E-mail : dspark@krii.re.kr, TEL : (031)460-5367 FAX : (031)460-5319

2) 한국철도기술연구원 정회원.

3) 한국과학기술연합대학원 대학교 박사과정

Table 1. Indoor air quality guideline for public transportations in Korea.

Parameter	Classification	Level 1*	Level 2**
CO ₂	Electric rail car	2,500 ppm	3,500 ppm
	Railway passenger cabin, bus	2,000 ppm	3,000 ppm
PM10	Electric rail car	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Railway passenger cabin, bus	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(Average value during a route) * Level 1 : normal times, ** Level 2 : rush hours.

만족시키는 청정시스템을 개발하는 것이다. 공기조화시스템은 객실을 객실의 온도, 습도, 풍량 등을 외부 조건에 상관없이 항상 쾌적한 상태로 제어하게 하는데, 청정공기조화시스템은 오염물질 농도까지 종합적으로 제어하여 실내 환경을 최적의 상태로 유지시켜 줌으로써 장시간 밀폐된 공간에서 여행하는 승객의 쾌적성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 외부에서 유입되는 먼지입자 제거를 위한 사이클론(cyclone) 집진장치 개발, 객실에 대한 적절한 신선 공기 및 냉·난방 공급을 위한 객차용 디퓨저 (diffuser) 개발, 객실 내에 유입된 먼지입자 제거를 위한 객차용 공기청정장치 개발, 객실 내부의 열 쾌적성 향상을 위한 온열환경해석 등의 연구를 수행하여 열차의 쾌적성을 향상시키고자 하였다. 객차용 사이클론 집진장치 개발에서는 객실의 외부공기 유입부에 사이클론 집진장치를 적용하여 유입공기 중의 조대먼지 및 미세먼지를 제거하여 분리함으로써 실내로 청정공기가 공급할 수 있도록 하는 시스템을 개발하였다. 여기에는 풍량, 소음, 집진 성능, 인터페이스 등이 모두 고려되었으며, 설계와 시제품 제작, 그리고 시운전까지 수행하였다.

객차용 디퓨저 개발에서는 객실 내부에 공기를 공급하는 덕트 (duct)의 형상을 객실에 최적화하여 객실 전체에 대해 고르게 신선 공기 및 냉·난방을 공급할 수 있도록 하였다. 이를 위해 다양한 형상의 덕트 그릴 형상을 디자인하고, 실제 열차에 적용되는 것과 같은 크기의 덕트 시제품을 제작한 후, 여기에 사이클론 집진장치가 추가된 냉·난방 공급장치를 연결하여 실제로 덕트에 공기를 공급할 수 있도록 시운전을 수행하였다. 이 때 객실과의 인터페이스는 물론 풍량의 분포, 풍향의 변화 등까지 모두 연구범위에 포함시켰다.

객차용 공기청정장치 개발에서는 객실에 유입된 먼지입자를 제거할 수 있으며, 필터의 청정도 유지를 위한 별도의 유지보수가 필요하지 않은 롤 필터 시스템을 적용하였다. 롤필터 시스템은 객실의 천정에 장착되도록 설계하였으며, 객차 1량에 세 개의 시스템을 장착하도록 하였다. 폴리프로필렌(PP) 수지 재질의 필터를 적용한 롤 필터 시스템의 시제품을 제작하였으며, 이 때 시제품의 크기 및 인터페이스는 실제 신형무궁화호 열차에 적용이 가능하도록 하였다. 본 연구에서는 필터의 메쉬와 감기는 속도 등에 따른 미세먼지의 포집효율과 유지보수 주기 결정 등을 연구범위로 하였다.

온열환경해석에서는 객실의 열 쾌적성 향상을 위하여 난방 또는 냉방 시에 객실 내부의 온도 분포를 실험적으로 측정하고, 이를 모사하여 온도와 습도, 풍량 등에 따른 객실 내부의 열 쾌적성 해석을 연구범위로 하였다. 2006년 12월 제정된 전동차, 객차, 버스 등을 포함하는 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인에서 정하고 있는 CO₂의 농도를 제어하기 위해 CO₂ 흡착시스템에 대한 연구를 추가로 수행

하였으며, 올해는 연구의 제5차년도로 개발된 제품을 장착한 개조차량과 대조차량 등 2량을 2007년 11월부터 5개월가량 운행하면서 시제품의 효율을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 객실 공기질 현황

KTX 서울-부산 구간에서 온도와 습도를 측정한 결과, 이산화탄소의 경우 측정결과 그림 1에서와 같이, 하행선에서 최대 2,385 ppm, 평균 1991 ppm 이었으며, 상행선에서 최대 2,145 ppm, 평균 1544 ppm로 조사되었다. 이 값은 가이드라인의 Level 1(2,000ppm)과 Level 2(3,000ppm)와 비교했을 때 다소 낮지만 근접하는 값이다. 미세먼지의 경우, 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 $29.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로서 가이드라인에서 미세먼지의 Level 1($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Level 2($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 훨씬 못 미치는 낮은 농도 수준인 것으로 조사되었다.

3.2 사이클론 집진장치

그림 2에서와 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 측면에서 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.

3.3 롤필터 시스템

철도차량 객차의 경우 노후화와 주기적인 덕트의 청소가 이뤄지지 않아 각종 오염물질이 덕트에 쌓이는 경우도 많다. 이를 위해 현재 와이어 메시로 된 평판한 필터를 냉난방 덕트에 설치하였으나 필터가 쉽게 막혀 냉난방효과가 떨어지는 문제점이 있다.

또한, 필터의 교체가 주기적으로 이루어지지 않아 실내 공기질이 악화되는 경우가 발생하기도 한다. 이런 문제점을 해결하기 위해 그림 3에 나타낸 것과 같이 유지보수가 용이하고, 교체주기가 6개월 이상인 롤 타입의 필터를 개발하였다.

3.4 CO₂ 흡착시스템

최근 철도차량이 고속화되면서 터널을 통과할 때 승객이 느끼는 이명감을 최소화하기 위해 댐퍼를 단아서 객실을 밀폐한다. 고속선의 경우 터널이 전체 구간의 50% 이상을 차지하므로 댐퍼가 닫혀서 신선공기가 유입되지 않으면 객실의 CO₂ 농도가 일시에 급격히 상승하므로 이를 제어하기 위해서는 CO₂를 흡착하여 제거할 수 있는 장치의 개발이 요구된다. 본 과제에서는 객실의 천정부에 장착할 수 있는 CO₂ 흡착시스템을 개발하여 그림 4의 시험용 차량에 장착한 후 시험을 하고 있다. 그림 5에 CO₂ 흡착시스템을 장착한 모습을 나타내었다.

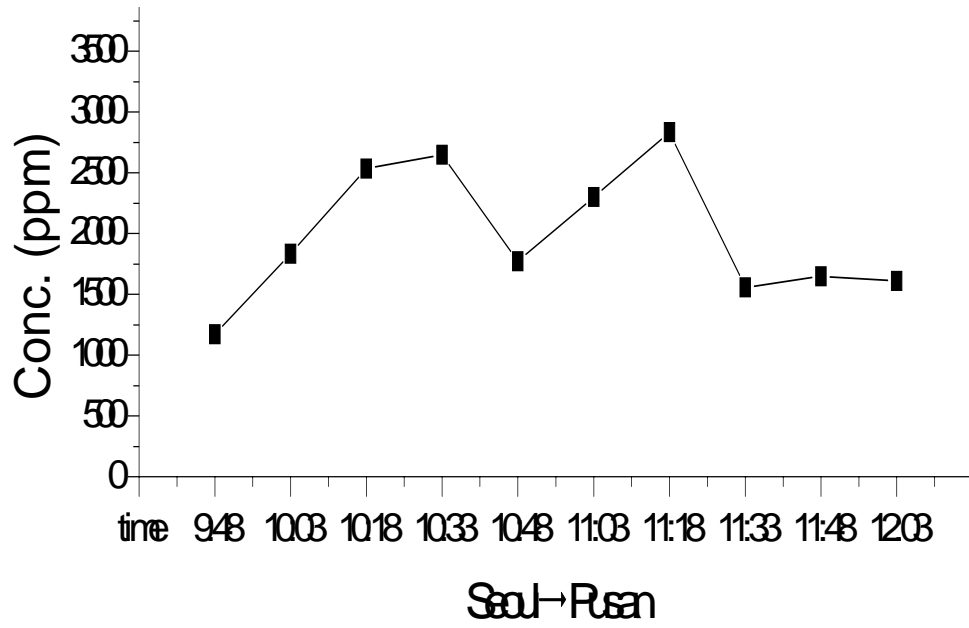


Fig. 1. Concentrations of CO₂ in the KTX passenger cabins.

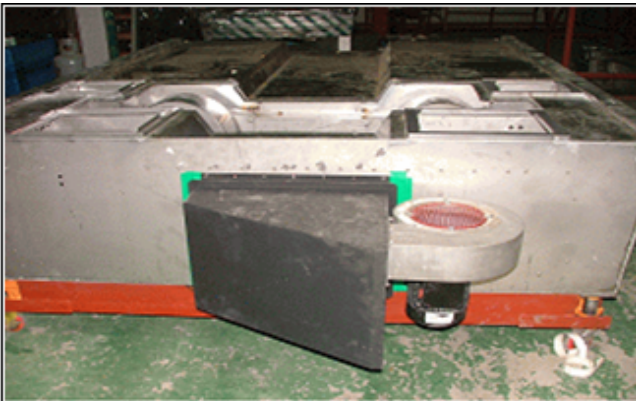


Fig. 2. Cyclone type dust separator.

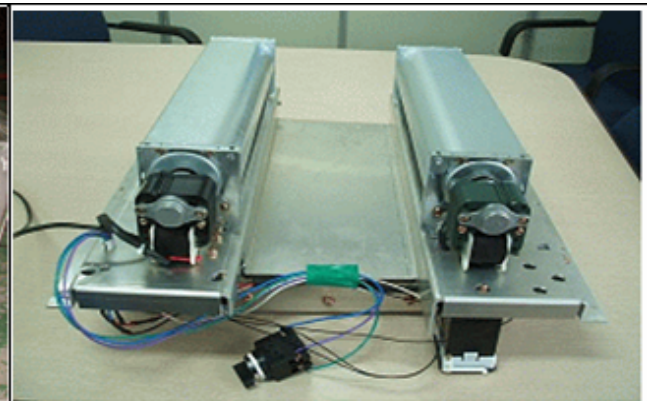


Fig. 3. Roll filter system.



Fig. 4. Test cabin for this project.



Fig. 5. CO₂ absorption system.

3.5 온열환경평가

본 과제에서는 유동해석 전용 프로그램인 Fluent를 이용해서 객실의 온열환경 해석과 예상만족감 (PMV), 예상불만족감(PPD) 등 승객의 열 쾌적성 평가를 수행하고 있으며, 그림 6에 객실 좌석 위치에 따른 온열환경 해석 결과를 나타내었다. 그림에서 오른쪽이 열차의 진행방향으로서 좌석위치에 따라 온도분포에 편차가 있는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

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.

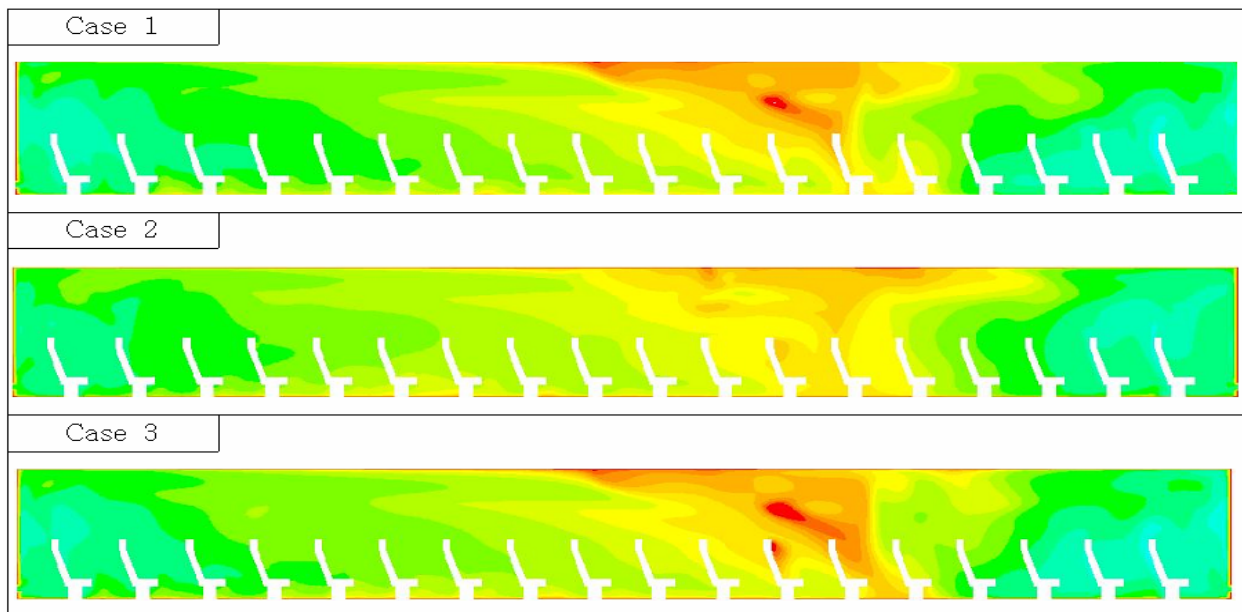


Fig. 6. Temperature distribution by the position in the cabin.

5. 참고문헌

- 1) 한국철도기술연구원(2007) 차세대 객차용 청정시스템 개발, 4차년도보고서.
- 2) 한국철도기술연구원(2005) 「지하공기질정화용 접촉면적증대 촉매 및 시스템 개발」, 1차년도보고서.