

# 틸팅열차 실내 쾌적성 향상 연구

## Study to improvement of the interior comfort in the Tilting train

김현식\*  
Kim, Hyun-Shik,

장창윤\*\*  
Jang, Chang-Yun

장재승\*\*\*  
Jang, Jae-Seung

---

### ABSTRACT

This paper introduces the methode to improve the indoor air quality for Korea Tilting train express(TTX). TTX operates more than 80,000km in commercial line and in the near future service is expected. To improve air quality effective heat and cooling system is proposed. Also according to the ministry of environment guide line, major factor component are selected to Co2(carbon dioxide) and Pm10(particle matter). The database of the vital factor was accumulated by the various case of operation environment. Finally, optimal air condition controlling device is developed and installed.

---

## 1. 서 론

한국형틸팅열차가 산악지형과 터널이 많은 구간에 영업운행이 예상됨에 따라 이 구간 운행에 적합한 틸팅열차 실내쾌적성향상방안에 대하여 연구하였다. 우선 승객의 쾌적성 향상에 필요한 실내공기질 개선 및 가장 효율적인 냉난방 시스템을 적용할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 환경부에서 공고한 대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인에 의거하여 평가 기준인 이산화탄소와 미세먼지(PM10)를 주요 쾌적성 관련 주요인자로 설정하고 이를 저감할 수 있는 방안에 대해서도 제시하였다. 또한 이들 주요 인자를 통합적으로 관리할 수 있는 저감장치를 개발하여 틸팅열차내에 장착함으로써 계절별, 운행과 정차, 터널 내 등 각종 조건에서 승객 개개인이 느낄 수 있는 최적 안을 제시하였다.

## 2. 본 문

### 2.1 실내쾌적성 관련 주요인자 설정

기존선의 고속화를 위하여 개발된 한국형틸팅열차는 곡선이 많은 산악지형에 운행을 목표로 하고 있으므로 터널과 교량 등이 많은 이 구간을 고속으로 운행 할 경우 승객에게 불쾌감을 줄 수 있다. 특히 긴 터널 통과할 경우 터널의 미세먼지 등이 차내로 유입되어 2006년 12월 말 환경부에서 제정한 '대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인' 보다 높은 수치를 보일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 승객의 쾌적성 향상에 필요한 실내공기질 개선을 위한 이산화탄소( $CO_2$ )와 미세먼지(PM10)를 주요 인자로 설정하또한 산악지형을 운행 할 경우 외부와 열차 내의 온도와 습도차가 커 쾌적성에 저해 요소가 되므로 온도와 습도를 주요인자로 설정하고 가장 효율적인 냉난방 시스템을 틸팅열차에 적용할 수 있는 방안에 대한 연구를 수행하였다.

---

\* 코레일 연구원 기술연구팀 부장 Tel : 042-609-3990

\*\* 에이디에스 레일 차장 Tel : 031-453-6431

\*\*\* 코레일 연구원 기술연구팀 Tel : 042-609-3920

## 2.2 온도편차 분석

틸팅열차의 실내쾌적성 향상을 위해 열차내 온도 변화를 측정하고 분석하였다. 계절별로 냉방 및 난방의 온도변화를 계측하기 위하여 실내 승객이 위치한 좌석별로 온도를 측정했으며 보다 객관적인 자료를 얻기 위해 실시간으로 온도를 측정하였다. 열차가 정차중일 때와 운행 중일 때, 그리고 운행 구간별, 외부조건(계절별) 등에 따른 다양한 측정을 수행 하였다. 또한 좌석에 위치한 승객이 느낄 수 있는 신체 부위별 측정과 의자별 온도를 측정하기 위해서 무선온도 송수신 장치(그림1)와 무선온도 전용시스템(그림2)을 개발하였다. 이장치는 열차내 온도 분포 값을 무선으로 모니터링 할 수 있으며 무선송신장치에서 온도 및 습도 값을 전송하면 무선 수신 장치에서 데이터 값을 전송받아 전용 프로그램으로 이를 디스플레이하는 방식으로 저장된 데이터는 엑셀 또는 전용해석프로그램을 통해 사용함으로써 자료의 신뢰성을 높였다.

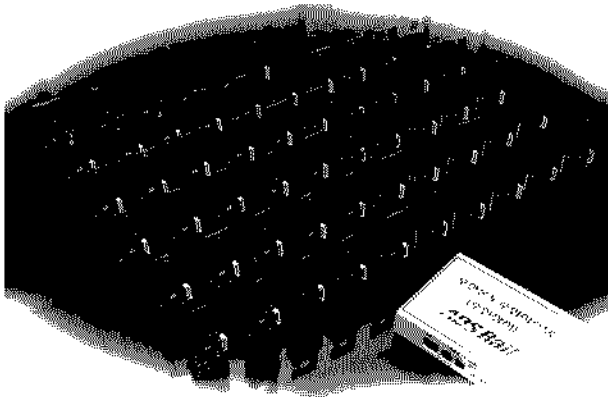


그림 1. 무선온도송수신장치

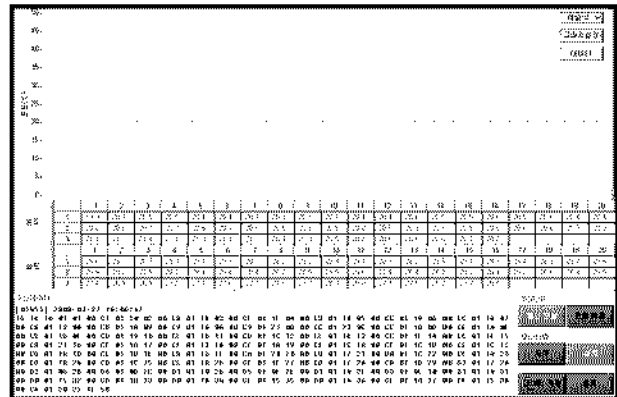


그림 2. 무선온도수집시스템 전용프로그램

한국형틸팅열차의 내부공기 흐름은 그림3.과 같이 객실 중앙에 흡입구가 있어 이 흡입구를 통하여 실내공기를 흡입하며 이렇게 흡입된 공기는 공기정화 장치를 거친 후 천정전체의 덕트를 통하여 배출하도록 되어 있다. 따라서 실내의 공기 흐름 및 KS R 9198 “철도차량의 냉방 및 난방의 온도측정 방법”을 고려하여 그림3.과 같이 한국형틸팅열차 2호차 내 모든 좌석에 가로 4등분, 세로 14등분 위치에 온도센서와 무선 송수신 장치를 부착하고 객실 내 냉·난방 송풍장치의 가동상태에 따라 송풍 없음, 저속(30Hz), 고속(43Hz)의 3가지 조건하에서 실시간으로 객실내 온도분포를 측정한 후 측정된 데이터는 전용 프로그램을 사용하여 그림5, 6, 7과 같이 분석 할 수 있었다.

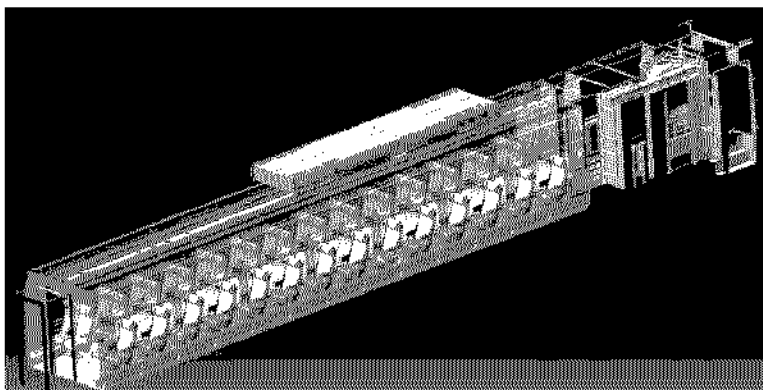


그림 3. 틸팅열차의 객실공기 흐름

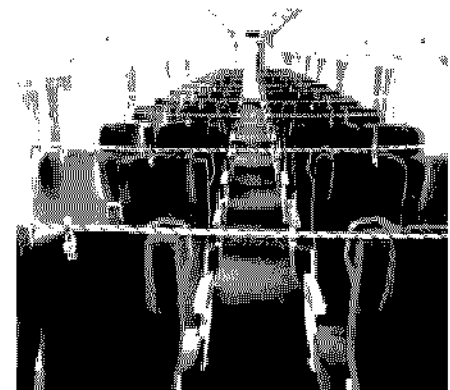


그림 4. 무선온도수집장치

틸팅열차의 시이즈 히터방식의 난방을 가동시킨 후 실내에 온도 분포를 측정한 결과 (그림5, 6, 7)과

같은 결과를 얻을 수 있었다. 그래프의 색상은 노란색이 진할수록 높은 온도, 파랑색이 진할수록 낮은 온도로 표현하여 분석한 결과 객실 중앙부분의 온도가 출입문 쪽보다 높게 나타났다. 또한 송풍장치를 3 단계(송풍 없음, 저속-30Hz, 고속-43Hz)로 구분하여 가동 시킨 결과 송풍장치 가동이 강할수록 실내 중앙부와 출입문 부근과의 온도 편차가 심하게 나타났다. 즉, 그림5.와 같이 송풍장치를 가동 시키지 않았을 경우가 실내 온도의 편차가 적었고 고속 송풍(43Hz)시에는 저속 송풍(30Hz)보다 온도 편차가 심했다. 이러한 결과로 볼 때 1단계(송풍 없음)가 가장 이상적인 온도 분포를 보이고 있으므로 실내 쾌적성을 유지시킬 수 있는 최적의 상태로 볼 수 있으나 이는 실내 공기 순환이 이루어 지지 않아 이산화탄소 및 미세먼지가 증가될 수 있는 요인이 되므로 실내 쾌적성이 최적상태라고 판단하기는 어렵다. 따라서 비교적 온도 편차와 열손실이 적은 저속송풍(30Hz)을 채택하여 사용하는 것이 최적 조건을 가진 냉난방 시스템을 구축하고 에너지 효율성 면에서도 효율적인 방안이 될 것이다.

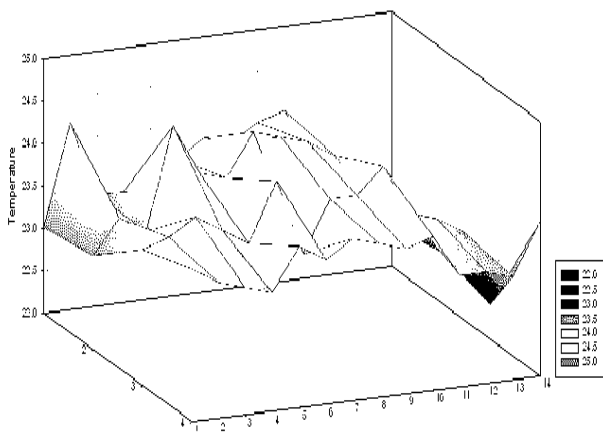


그림 5. 난방온도분포-송풍 없음

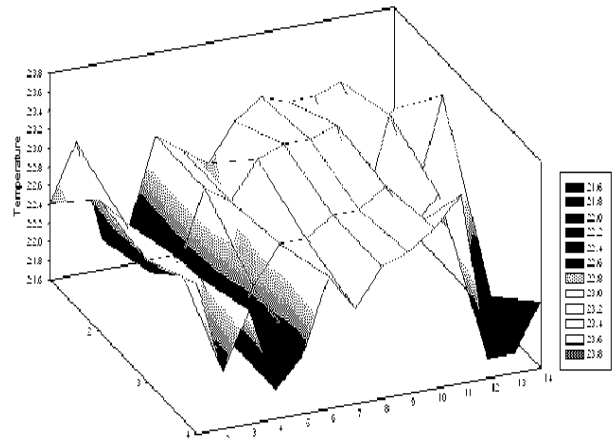


그림 6. 난방온도분포-송풍 30Hz

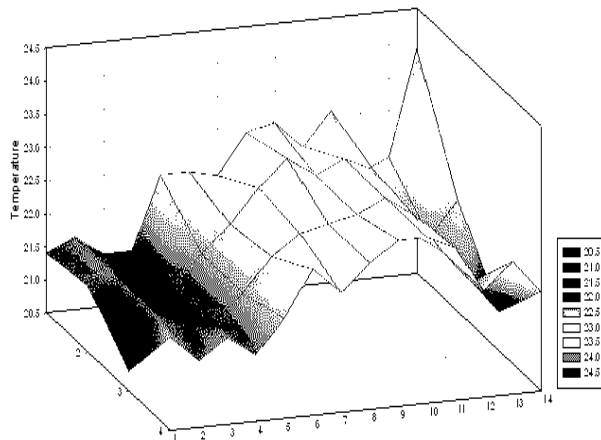


그림 7. 난방온도분포-송풍 43Hz

### 2.3 미세먼지 저감시험

한국형 텀링열차는 터널이 많은 산악지형을 고속으로 운행할 수 있도록 설계 되어 있다. 따라서 터널 내에 잔류한 미세 먼지 등이 차내로 유입될 경우 환경부에서 지정한 대중교통수단 가이드라인을 초과함은 물론 승객에게 불쾌감을 줄 수 있으므로 미세먼지를 텀링열차 실내 쾌적성 향상의 주요 인자로 설정하고 이를 기준치 이하로 저감하기 위한 연구를 수행하였다.

미세먼지를 저감시키기 위하여 차량 내부 중앙 지점에서 높이 1m 이상인 곳에 그림8.과 같은 PARTICLE MASS MONITOR GT-311(광산란 방식의 미세먼지 농도 측정기)을 설치하고 객차내부에

분진 및 에어로졸을 미세먼지(PM10) 분사장치(그림9)를 이용하여 일정 농도가 되도록 분사시킨 후 자연적으로 환기되는 시간과 틸팅열차 닥트에 장착된 저감장치를 가동시켜 미세먼지가 감소되는 시간을 비교 측정하였다.



그림 8. PARTICLE MASS MONITOR GT-311

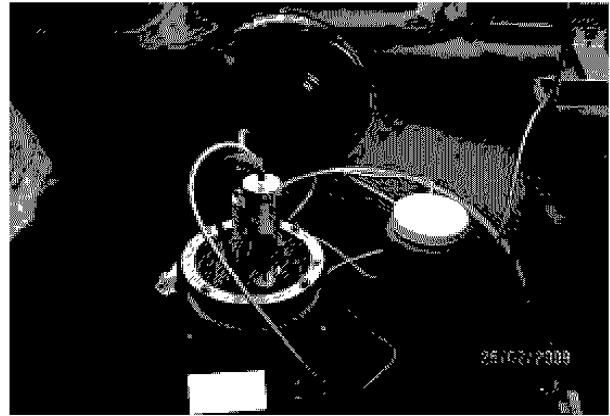
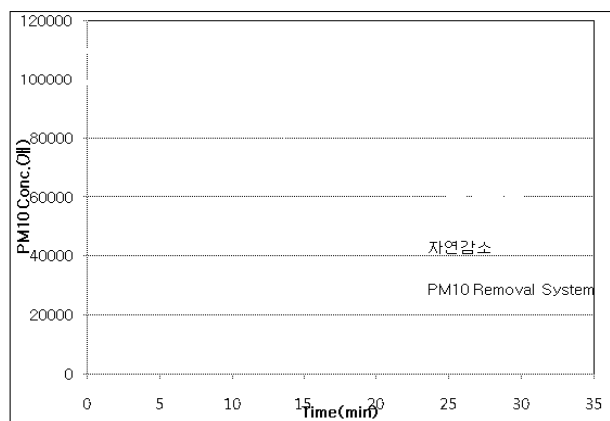


그림 9. 미세먼지(PM10) 분사장치

미세먼지를 틸팅열차 실내에 분사한 후 20분을 경과하여 측정한 결과 미세먼지 감소량은 미세먼지저감장치를 가동하지 않았을 경우 746ppm, 미세먼지저감장치를 가동했을 경우 33,561ppm이 감소(표2)되어 미세먼지저감장치를 가동했을 경우가 가동하지 않았을 때 보다 44배가 빠르게 감소되는 것을 알 수 있다.

표 2. 미세먼지 저감시험-1 결과

시 간	자연감소	저감장치	저감효율 (%)
5분	109445	97409	11.6
10분	109996	94442	14.1
15분	109695	75052	31.6
20분	110191	63848	42.1



## 2.4 CO<sub>2</sub> 저감시험

이산화탄소는 열차내 쾌적성에 많은 영향을 끼치는 것으로 실제적으로 최근에 발표된 보고서에서는 KTX를 비롯한 철도객차나 고속버스의 실내공기 중 이산화탄소 농도가 1,094ppm에서 2,372ppm까지 분포하는 것으로 밝혀졌다. 따라서 이산화탄소를 실내 쾌적성 향상의 인자로 설정하여 이를 기준치(1,000ppm) 이하로 유지하기 위한 연구를 수행하였다.

틸팅열차내에 있는 이산화탄소 저감시험을 위하여 틸팅열차 내에서 NDIR-type(정량 흡입식)의 이산화탄소 분석 장치(그림10)를 객차 내 중앙, 높이 1m 이상 인 곳에 설치하고 열차승객이 배출하는 이산화탄소량을 환산한 후 환산된 양 만큼의 시료(그림11)를 임의로 열차내에 살포하여 자연적인 환기상태와 틸팅열차 닥트에 장착된 저감장치를 가동시켜 이산화탄소량이 허용치 이하로 감소되는 시간을 비교 측정하였다.

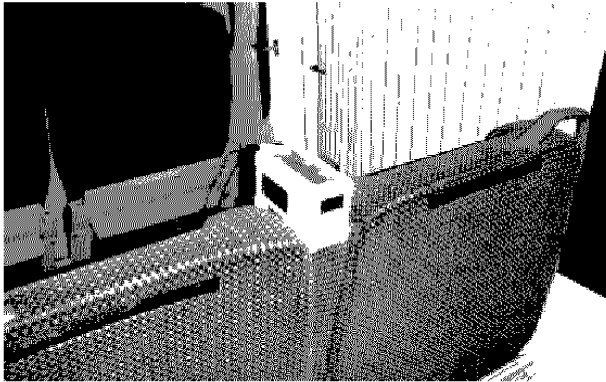


그림 10. NDIR-type의 이산화탄소 분석장치

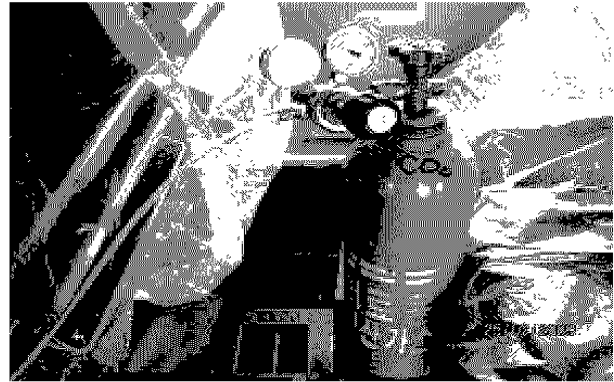
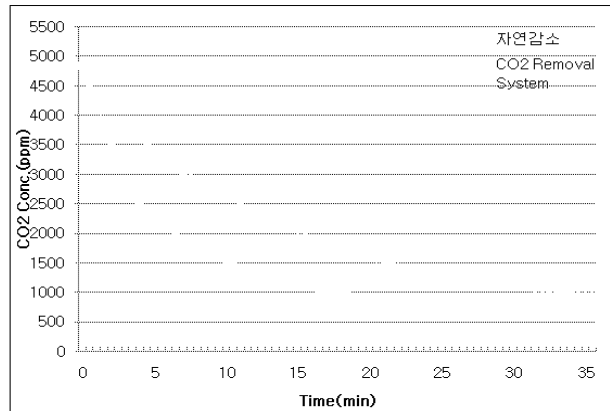


그림 11. 의료용 탄산가스

시료를 실내에 살포한 후 저감장치를 가동시켰을 경우와 자연 상태에서  $CO_2$ 농도 감소량을 표3.과 같이 표시하였다. 표3.에서는 이산화탄소 5,000ppm 살포한 후 20분경과 시점에서 자연감소 되는 양은 1,750ppm, 저감장치를 동작 시켰을 경우 880ppm으로 저감장치를 동작 시켰을 경우가 1.78배 빠르게 감소되는 것을 알 수 있다. 또한 저감장치 동작 시에 5분에서 15분 사이에 빠른 속도로  $CO_2$ 농도가 감소되다가 20분 이후 자연 감소 때와 비슷한 것으로 분석되었다. 이는 향후 여러 가지 조건에서 시험을 반복하여 객관성을 확보하고, 냉·난방 및 환기 실내 온도편차 등을 각종 데이터를 분석하여 향후 제작 되는 틸팅열차에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

표 3.  $CO_2$  저감시험 결과 (5000ppm 기준)

시 간	자연감소 (ppm)	저감장치 (ppm)	저감효율 (%)
5분	3320	2180	34.3
10분	2616	1510	42.3
15분	2030	1150	43.3
20분	1570	880	43.9



### 3. 결 론

틸팅열차는 산악지형을 고속으로 주행하기 하기 때문에 각종 쾌적성에 대한 많은 문제점이 제기되어 왔다. 소음 및 진동은 물론 먼지 등의 틸팅열차를 승차함으로써 발생하는 많은 문제점을 쾌적성 인자로 설정하고 연구를 진행 중이다. 하지만 본문에서는 쾌적성 인자 중 미세먼지와  $CO_2$ 농도, 온도 분포 등의 쾌적성 인자만을 대상으로 이를 통합적으로 관리하는 장치를 개발한 후 틸팅열차에 설치함으로써 쾌적성향상 방안에 대해 제시하였다. 실내 쾌적성 향상이란 본 연구의 목적을 달성하기 위해서는 세 가지 장치간의 연관성과 틸팅열차의 시험운전 중 운전구간별, 외부온도조건별 등 보다 다양한 조건에서 시험되어야 하고, 이렇게 얻어진 데이터를 바탕으로 승객이 탑승했을 경우를 가상 시뮬레이션화 함으로써 틸팅열차가 실용화 될 경우 보다 쾌적하고 안락한 서비스를 제공하는데 있다.

## 참고문헌

1. 국토해양부(2007), “틸팅열차 운행을 위한 운영관리방안 연구보고서”, 미래철도기술개발사업 1차년도 중간보고서.
2. 환경부(2006), “대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인”
3. 한국공기청정협회(2006), 시험규격.
4. 한국철도공사(2006), “열차 객실 공기청정도 향상 방안 연구”, 철도연구개발센터.
5. 한국철도공사(2007), “열차 객실 공기청정도 조사 분석 연구”, 철도연구원.