

기관차 배기가스 실내유입 검증 Locomotive Exhaust Fume Intake Validation

양보식*[†], 이상복*, 박재홍*

Bo Shik Yang*[†], Sang Bok Lee*, Jae Hong Park*

초 록 현대로템은 미국 보스턴 이층객차 75량 프로젝트 초도차 4량을 2012년 11월 10일에 납품하였다. 보스턴 이층객차는 현대로템이 필라델피아, 로스엔젤레스에 이어 미국지역 3번째 수주에 성공한 프로젝트로서 냉난방시스템의 신선공기 유입구는 각 차량 전면부 좌우측에 위치에 있으며, 순환공기 유입구는 실내 전후방 중간층 천장에 위치해 있다. 그리고, 공급공기 유출구(디퓨저)는 실내 1층, 2층, 중간층 천장에 각각 위치해 있다. 배출공기 유출구는 CTC의 경우 전후방 중간층 천장에 설치된 내부 배기그릴을 통하여 차량 지붕에 위치한 외부 배기그릴을 통해 배출되며, BTC의 경우, 전방 중간층은 화장실 배기팬을 통해 배출되며, 후방 중간층은 BTC와 동일하다. 여러 대가 연결된 차량이 선두에 위치한 디젤기관차에 의한 견인 운행될 경우, 각 차량 전면부 좌우측에 위치한 신선공기 유입구를 통해 디젤기관차가 내뿜는 배기가스가 실내로 유입될 수 있다.

주요어 : 배기가스, 기관차, 이층객차, 신선공기

1. 서론

고객인 MBTA(Massachusetts Bay Transportation Authority) 시행청의 공고사양에 따르면 배기가스 감지시스템을 사용하여 기관차 배기가스의 실내유입량을 측정하여 수용 가능한 수준 이하로 유지되어야 한다고 하였다.

† 교신저자: 현대로템(daniel21c@hyundai-rottem.co.kr) (11 pt)

* 현대로템 (11 pt)

2. 본론

2.1 연구 및 방법

2.1.1 차량 공기조화 시스템 설계 사양

냉난방시스템의 신선공기 유입구는 각 차량 전면부 좌우측에 위치에 있으며, 순환공기 유입구는 실내 전후방 중간층 천장에 위치해 있다.

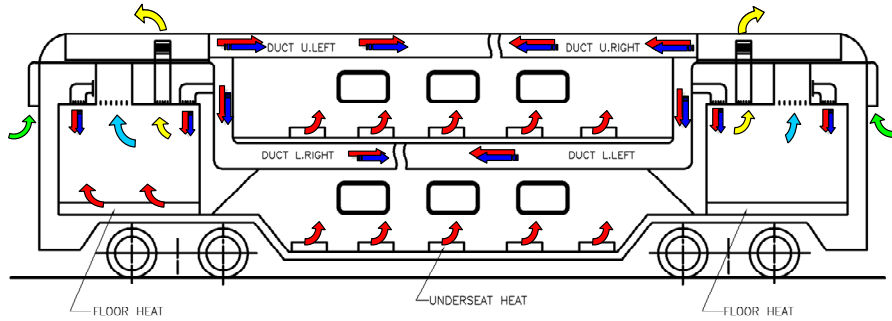


Fig.1 차량 공기 흐름도

다른 일반적인 냉난방 시스템의 경우 신선공기 유입구는 냉난방 시스템의 좌우측에 그릴 형태로 직접 유입하도록 구성되는 반면에, MBTA 이층객차 프로젝트는 시행청의 요구사항에 의해 기관차 배기가스의 유입을 차단하기 위해 차량 양단부에 위치해야 한다고 규정하고 있고, 이에 당사는 유입구를 최대한 밑으로 내려 배기가스의 유입 가능성을 최대한 낮추도록 위치했다. 전두부 신선공기 유입구의 경우 운전실의 전면창이 위치한 이유로 유입구가 약간 높은 곳에 위치해 있다.

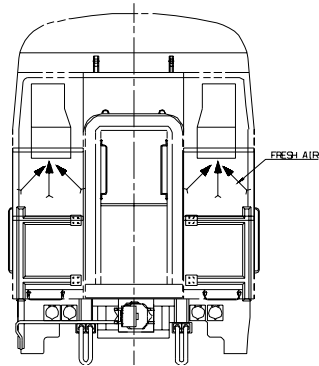


Fig.2 전두부 신선공기 유입구

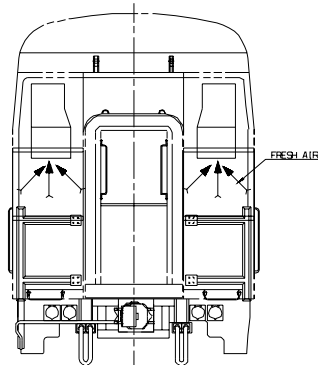


Fig.3 후두부 신선공기 유입구

2.1.2 냉난방 시스템 설계사양

차량당 2대의 차량 양단부 지붕 탑재형 독립적인 냉난방 시스템이 설치되어 있다. 냉난방 시스템의 주요 설계 사양은 아래와 같다.

항 목	사 양
냉방용량	24.5 ton(84kW) per car
신선공기량	1,200CFM(2,038CMH) per car
순환공기량	3,600CFM(6,116CMH) per car
공급공기량	4,800CFM(8,155CMH) per car

Table.1 냉난방 시스템 설계 사양

2.2 해석 및 측정

2.2.1 해석

실제 시험 실시 이전에 유효성, 안전성, 운행 조건등의 문제들을 고려하여 기관차와 시험차량을 3D 모델링으로 구현하여 CFD 해석을 실시하였다.

- 1차 해석 모델 : 기관차 뒤에 시험차량의 짧은 신선공기 유입구가 위치한 전면부 배치
- 2차 해석 모델 : 기관차 뒤에 시험차량의 긴 신선공기 유입구가 위치한 후면부 배치
- 공기 유속 : 90mph(145kmph)

- **Inflow to fresh-air port**
 - Streamline colored by ppm
 - Isosurface of mass fraction for pollutant

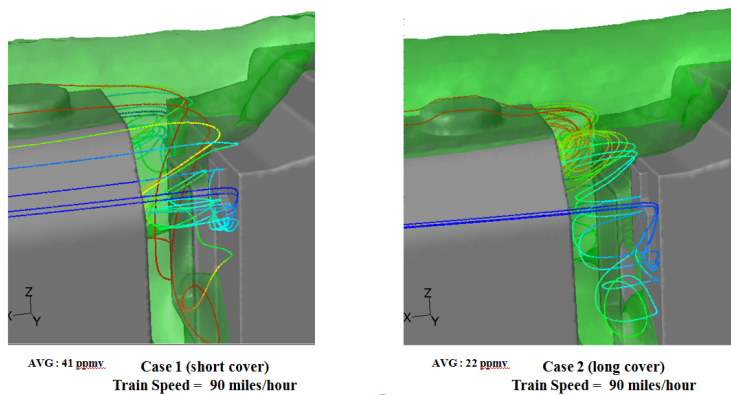


Fig.4 공기유동해석 결과

- **Estimation of pollutant to fresh-air port**
 - Effect of pollutant mass flow rate has been studied.
 - The results are as follows:

	Exhaust port		Fresh-air port			
	Pollutant mass flow rate (kg/s)	Air mass flow rate (kg/s)	Pollutant mass flow rate (kg/s)	Air mass flow rate (kg/s)	Pollutant component concentrations (ppmv)	
Case 1 (short) 90 mph	0.00625	2.798	13×10^{-6}	0.31828	41 ppmv	
					NOx	38.34
					PM	1.04
					HC	0.36
Case 2 (long) 90 mph	0.00625	2.798	7×10^{-6}	0.31998	22 ppmv	
					NOx	20.57
					PM	0.56
					HC	0.19
					CO	0.67

Table.2 공기유동해석 요소 및 결과 정리

상기 Fig.5에서 얻어진 해석결과의 수준을 판단할 철도차량에 적용되는 미국내 기준은 마련되어 있지 않은 것으로 조사되었다. 이에, 일반 건물이나 공장등에 적용되는 OSHA(Occupational Safety & Health Administration, 미연방 직업 안전 보건국)에서 정한 실내 공기질 기준과 비교해 볼 때, NOx(질소산화물)을 제외한 PM(미세먼지), HC(탄화수소), CO(일산화탄소)등은 기준치 이내로 문제 없다는 해석결과를 얻었다.

	IAQ (Indoor Air Quality, OSHA)	Rev. 0		Rev. 1		Result
		Long FA Duct Cover	Short FA Duct Cover	Long FA Duct Cover	Short FA Duct Cover	
NOx	5 ppmv	55.056	82.584	20.57	38.34	
PM		0.814	1.221	0.56	1.04	Ok
HC	20 ppmv	1.554	2.331	0.19	0.36	Ok
CO	50 ppmv	12.506	18.759	0.67	1.25	Ok

Table.3 OSHA의 실내 공기질 기준값과 참고 비교

2.2.2 차량 측정

공기 유동 해석 결과, 참고 비교 기준이었던 OSHA의 실내 공기질의 기준대비 높은 결과가 나왔던, NOx(질소산화물)에 대한 미국 보스턴 현지 시험차량편성을 이용하여 아래와 같이 측정 시험을 진행하였다.

- 장소 : 미국 메사추세츠주 보스턴 시험운전라인
- 목적 : MBTA 차량 객실에 대한 디젤기관차 배기가스(NOx) 유입 정도 측정
- 운행노선 : BET 정비기지 ~ North Billerica
- 차량 주행 속도 : 0mph~60mph(97kmph)

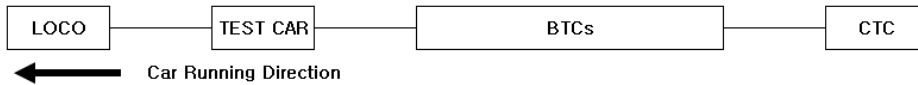


Fig.5 시험 차량 편성



Fig.6 기관차



Fig.7 시험 차량

- 측정장비 설치 :
시험차량 전면부 중간층에 배기가스 측정장비 설치
Thermo Scientific Model 42i (USA)- NOx Analyzer

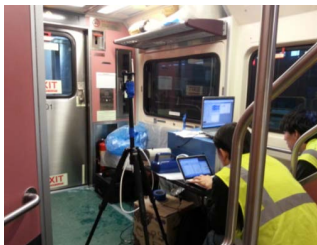


Fig.8 배기가스 측정장비 설치 위치



Fig.9 NOx Analyzer

● 기준 : 객실 내부 NOx 참고 기준값

■ NO2 : 5ppm

■ NO : 25ppm

3. 결론

3.1 측정시험결과

3.1.1 결과

아래 그림 10에 따르면, NO의 경우 차량 주행 속도에 따라 즉, 디젤 기관차의 출력이 커짐에 따라 늘어나는 배출 가스량과 비례하여 실내에서 측정되는 값이 증가하는 것을 알 수 있으며, 반면에, NO2의 경우 차량 주행 속도 즉, 디젤 기관차 출력이 커짐에 따라 비례하여 증가하는 배출 가스량과 무관하게 일정한 수준의 양이 실내에서 측정되고 있음을 알 수 있다.

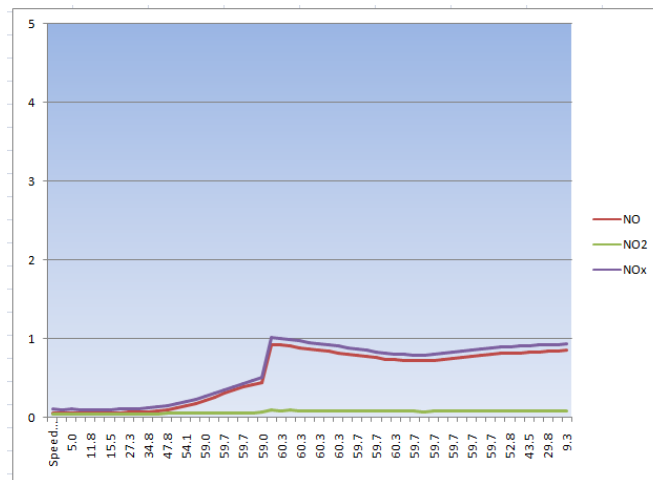


Fig.10 측정시험결과 그래프

No.	Test	Measuring	Criteria (Reference Only)	Result (Maximum)
1	Static	No2	Less than 5 ppm	0.117
		No	Less than 25 ppm	0.897
2	Dynamic	No2	Less than 5 ppm	0.161
		No	Less than 25 ppm	0.924

Table.4 측정시험결과 정리

최대값만 정리하여 OSHA에서 규정하는 실내 공기질 참고 기준치와 부합여부를 상기 테이블 4에 정리하였다. 정차 및 주행, 2차례 이상의 반복 측정시험 결과, 공기유동해석상에서 참고 기준치 5ppm보다 높은 38ppm 수준이었던 NOx(질소산화물) 값이 정차 중 0.897ppm과 주행 중 0.924ppm으로 및 OSHA 참고 기준치 보다 훨씬 낮은 값을 보였다.

3.1.2 경쟁사 비교

경쟁사가 제작한 차량에서의 측정결과와 비교했을 때, 당사 차량에서의 측정시험결과 NOx 1ppm과 유사한 수준임을 확인하였다.

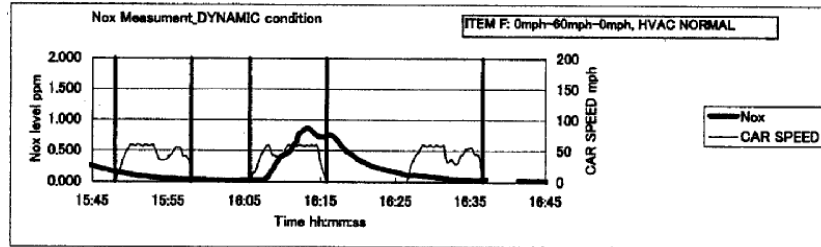


Fig.11 경쟁사 측정시험결과 그래프

3.1.3 결론

본 연구에서는 대중 교통 수단 중 객차등 디젤 기관차로 견인 및 운영되는 철도를 이용하는 승객의 쾌적성에 영향을 미칠 수 있는 요인을 NO와 NO2로 집중 분석하여 공기질 수준을 파악하였다.

여러 대가 연결된 차량이 선두에 위치한 디젤기관차에 의한 견인 운행될 경우, 각 차량 전면부 좌우측에 위치한 신선공기 유입구를 통해 디젤기관차가 내뿜는 배기가스가 실내로 유입될 수 있다. 이때, 실내로 유입되는 오염공기 혹은 배기가스의 성분 및 각 성분의 양을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

편성이 멈춘 상태와 60mph(96kmph)로 운행하는 상태에서 작동하는 기관차에서 배출되는 배기가스가, 냉난방 시스템이 환기모드로 작동할 때와 정상모드로 작동할 때 실내로 유입되는 양은 고객이 허용하는 수준 이하로 만족하였다.

참고문헌

- [1] Duckshin Park (2007) Air Quality and PM10 Source Analysis on the Railway Vehicles, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*
- [2] William F. LeLacheur (2005) Report of Diesel Gas Emission Measurement, Massachusetts Bay Transportation Authority
- [3] Diesel Exhaust Exposure Limits, Occupational Safety and Health Administration (OSHA)
- [4] James C. Paul, Application of CFD to Rail Car and Locomotive Aerodynamics