

터널구간 운행시 KTX HVAC-여압장치 작동에 따른 CO₂와 PM10 변화연구

A Study on CO₂ and PM10 Changes by Operation of KTX HVAC-Pressurization Equipment in Tunnel Sections

소진섭[†] · 유성연^{*}

Jin-Sub So · Seong-Yeon Yoo

Abstract The Ministry of Environment established a guide line in December 2006, "Indoor Air Quality Management guidelines in Public Facilities." As the items of the guideline, CO₂ (Carbon dioxide) and PM10 (particulate matter) is shown to Level 1 and 2. Therefore trains and subways are included. There are a lot of tunnels by the lay of mountains on KTX (Korean Train Express) service. HVAC (Heating Ventilating and Air-conditioning)-pressurization equipment on KTX is various functioning flaps blocking outside pressure waves. At that time, the fresh air is blocked by flap operation and the air is circulated by return air. In this study, we measured the time series of CO₂ and PM10 concentrations in the KTX passenger cabin during the train service of Gyongbu line (Seoul-Busan) and Honam line (Yongsan-Mokpo) from July 2006. Also, analyzed the air quality by operation of KTX HVAC-pressurization equipment in tunnel passing point. As a result, PM10 concentration was totally lower than the regulation values. However, CO₂ was highly correlated with several tunnels, such as Oksan-Otan, Godeung-Hyudae and Gaechak-Ijik tunnel. but, the indoor air quality of KTX train have been proved satisfy the recommendation the Ministry of Environment guidelines.

Keywords : KTX, HVAC, Pressurization, CO₂, PM10

요 지 환경부는 2006년 12월에 「대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인」을 마련하였다. 관리항목으로 이산화탄소(CO₂)와 미세먼지(PM10)에 대해 각각 Level 1(평상시)과 Level 2(혼잡시)로 가이드라인을 제시하였다. 이에 따라 현재는 법적 기준이 아니지만, 열차와 전동차에 대해 실내공기질 관리가 필요하게 되었다. KTX는 터널 진입시 발생하는 고압의 압력파로 인한 이명현상을 방지하기 위해 여압장치가 설치되어 있다. 외부 신선공기는 플랩의 작동에 의해 공기 순환이 이루어진다. 본 연구는 2008년까지 진행되고 있는 코레일 기본연구과제로, 2006년 7월에 KTX가 운행하는 경부선(서울-부산)과 호남선(용산-목포)을 대상으로 실내공기청정도를 측정하였다. 터널구간에서 KTX 여압장치 작동에 따른 실내공기질 변화를 측정하고, KTX ATESS 레코더 기록파일과 비교 분석하였다. 측정결과 미세먼지 농도는 환경부 가이드라인에 매우 양호하였고, 이산화탄소 농도는 터널 일부구간으로 옥산-오탄, 고등-휴대, 개작-일직 터널에서 변화가 있지만, KTX 객실 공기청정도는 환경부에서 제시하고 있는 가이드라인에 만족한 수준으로 나타났다.

주요어 : 고속철도, 공기조화장치, 여압장치, 이산화탄소, 미세먼지

1. 서론

KTX 2004년 4월 1일 개통이후 열차를 이용하는 승객은 꾸준히 증가하고, 특히 주말에는 더 많은 승객이 이용하고

있다. 철도차량 공기조화장치(HVAC-Heating, Ventilating and Air-conditioning)는 환경과 에너지효율은 물론 고객의 쾌적함과 건강을 유지시켜주는 종합적인 시스템으로 그 중요성이 매우 크다[1,4].

환경부는 가톨릭대학교 산학협력단 주관으로 2006년에 대중운송수단인 열차, 지하철, 버스에 대해 실내공기질을 조사하였다[2]. 이를 토대로 「대중교통수단실내공기질관리가이드

† 책임저자 : 정희원, 한국철도공사, 철도연구원, 기술연구팀
E-mail : sojin71@korail.com
TEL : (042)609-3991 FAX : (042)609-3720
* 비회원, 충남대학교, 기계설계공학과, 교수

라인이 기존의 규제대상인 철도역사의 대합실(연면적 2천제곱미터이상)과 함께 열차와 도시철도차량에 대해서도 2006년 말에 발표되었으며, 이 가이드라인은 향후 더욱 강화될 것으로 보인다. 관리항목은 이산화탄소(CO₂)와 미세먼지(PM10)로 Table 1과 같고, 신조차량의 차량설계 제작시 고려사항으로 Table 2와 같다[3].

KTX 공기조화장치는 차량하부 패널에 설치되어 있다. Fig. 1과 같이 외기 유입구로부터 유입된 신선공기(fresh air)는 차량 하부에서 덕트를 통해 창문 옆의 그릴로 공급된다.

KTX 운행하는 구간에는 터널이 많다. 그래서 터널 진입시 발생하는 고압의 압력파가 객실 내로 유입되어 승객들의 이명현상을 방지하기 위해 여압장치(Pressurization)가 설치되어 있다. 이는 외부와 연결된 차량의 각종 플랩이 터널 입구에 설치된 감지 장치에 의해 터널의 존재가 확인하면, 자동으로 플랩이 닫도록 Fig. 2와 같이 설치되어 있다.

KTX 실내공기청정도 측정은 한국철도공사의 자체연구과제로 한국철도기술연구원의 지원을 받았고, 기 학술대회에서 측정결과 및 터널구간과 CO₂ 농도의 상관관계 등을 밝힌 바 있다[5-8]. 하지만 KTX 운행 중 운행속도와 터널통과속도, 신호, 차량조건 등 장애가 발생시 터널지점이 다를 수 있어서 정확한 터널지점을 밝히기는 힘들었다. 따라서 본 연구에서는 KTX 동력차에 위치한 ATESS의 레코더 기록파일(열차속도, 발견된 신호, 열차상태 등)을 분석하였고, KTX 운행키로 보정은 차륜회보정치에 따라 적게는 1~2km, 많게는 5km까지도 차이가 날 수 있으므로, 운행구간 총거리 차이에서 킬로미터당 오차와 ATESS기록 파일 시간체크 시점을 비교하여 실제주행키로를 계산하여 오차가 1km내외가 되도록 하였다. KTX가 터널구간을运行时 HVAC-여압장치 작동으로 HVAC 운전은 정상적으로 운전이 되지만, 한편으로는 외부 신선공기공급이 차단되므로, KTX의 ATESS 기록파일을 통하여 여압장치 작동에 따른 터널구간의 어느 지점에서 CO₂와 PM10의 농도 변화에 영향을 미치는지 분석하였다.

2. 측정방법

KTX 실내 공기청정도 측정방법은 Fig. 3 및 Table 3과 같다. 2006년 7월18일~7월19일(경부선, 서울→부산), 7월24일~7월25일(호남선, 용산→목포)에 00호 객차 객실 중간지점인 가족동반석에 설치하였다. 7월25일 상행선은 승차 인원수가 적어 운행시를 달리하여 측정하였다[5-8]. 측정기기는 Fig. 3과 같이 이산화탄소(CO₂)는 IAQ monitor(model : IQ410, 미국 Wolfscence)로, 미세먼지(PM10)은 Dust monitor(model : 1108, 독일 Grimm)의 장비를 사용하였다.

Table 1. The Ministry of Environment guidelines

Pollutants	Facility	Level 1	Level 2
Carbon dioxide (CO ₂ , ppm)	Subway	under 2,500	under 3,500
	Train	under 2,000	under 3,000
Particulate matter (PM10, µg/m ³)	Subway	under 200	under 250
	Train	under 150	under 200

Table 2. A Consideration of Vehicle specification

Facility	Consideration matter
Subway	m ³ /h = Design capacity × 12m ³
Train	m ³ /h = Design capacity × 20m ³

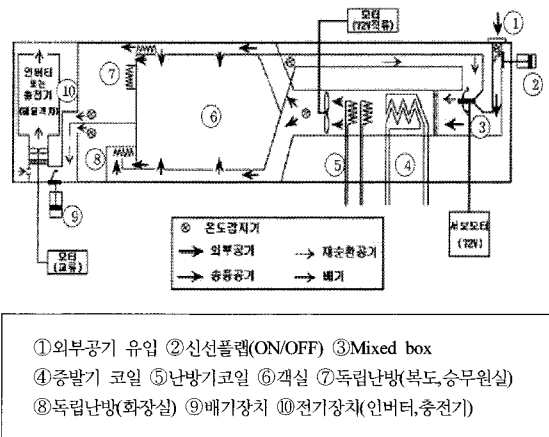


Fig. 1. Schematic of HVAC system in KTX

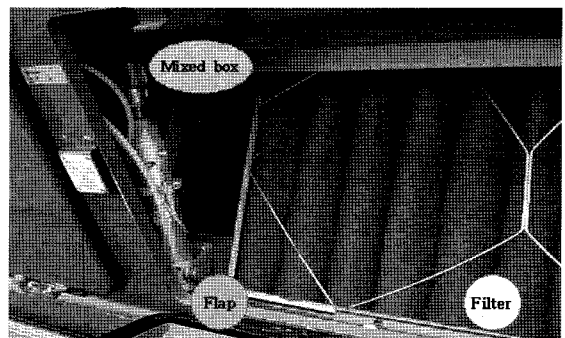


Fig. 2. Photo of flap system in KTX car body

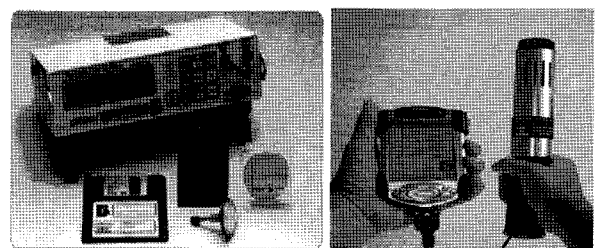


Fig. 3. Photos of instrumentations for measurement PM10 (left) and CO₂ (right)

3. 측정결과

터널구간 운행시 KTX HVAC-여압장치 작동에 따른 CO₂와 PM10 농도 변화 측정결과를 보면 다음과 같다. 경부선은 Table 4, Fig. 4, Fig. 5, Fig. 8, Fig. 9와 같이 조사되었고, 호남선은 Table 5, Fig. 6, Fig. 7, Fig. 10, Fig. 11과 같이 조사되었다. 경부선의 경우 정월(60명)에 근접한 최고 57명이 승차하였고, 반면에 호남선은 최고 33명이 승차하였다. 환경부 가이드라인에 제시된 CO₂ 농도를 보면, 경부선은 7월18일 상행선에서 1,452ppm으로 가이드라인(2,000ppm)에 72%, 호남선은 7월24일 상행선에서 1,012ppm으로 가이드라인에 50% 수준으로 조사되었다. 이는 실내 승객인원수와 관계가 있음을 확인하였다. 반면에 PM10 농도를 보면, 경부선은 7월18일 하행선에서 14 μ g/m³으로 가이드라인(150 μ g/m³)에 9%, 호남선은 7월25일 하행선에서 33 μ g/m³으로 가이드라인에 22%수준으로 조사되었다. 이와 같이 PM10 농도는 가이드라인에 매우 낮은 수치로 양호한 것으로 조사되었다.

터널구간 운행시 CO₂농도 변화와 KTX ATESS파일에 의한 터널지점을 보면 다음과 같다. 경부선 상행선은 Fig. 4 (a), (b)와 Table 6과 같다. Fig. 4 (b)의 A는 7월18일 207.26km에서 상승하여 191.57km까지, 7월19일 236.16km에서 상승하여 198.02km까지로 옥산에서 오탄터널 구간에서 변화가 있었다. Fig. 4 (c)의 B는 7월18일102.86km에서 상승하여 96.12km에서, 7월19일 105.63km에서 상승하여 100.25km로 고등에서 휴대터널 구간에서 변화가 있었다. Fig. 4 (d)의 C는 7월18일 23.48km에서 상승하여 21.84km에서, 7월19일 25.40km에서 상승하여 22.08km로 개착1에서 일직터널 구간에서 변화가 있었다.

Table 3. Measuring date, train number, car number, seat number, time table, position and number of passenges in KTX lines

Date	Train No.	position and number of passengers	Weather
7.18	00#	서울46명→대전44명→동대구29명	cloud rain
	00#	부산31명→구포52명→밀양52명→동대구57명→대전57명→천안아산56명→광명48명	
7.19	00#	서울40명→대전33명→동대구25명	cloud
	00#	부산23명→구포29명→밀양44명→동대구56명→대전55명→천안아산55명→광명44명	
7.24	00#	용산22명→광명30명→서대전31명→익산25명→정읍24명→송정리20명→나주18명	cloud
	00#	목포21명→송정리23명→익산33명→서대전28명	
7.25	00#	용산19명→광명26명→서대전24명→익산23명→정읍16명→송정리23명→나주21명	clear
	00#	목포15명→나주16명→송정리20명→정읍22명→익산27명→서대전27명→광명18명	

Table 4. Measurement results of temperature, humidity, CO₂ and PM10 in KTX Gyongbu line (Seoul↔Busan)

Section		Temperature (°C)	Humidity (%)	CO ₂ (ppm)	PM10 (μ g/m ³)
July 18 cloud rain	down line	24	63	1255	14
	up line	24	59	1452	13
July 19 cloud	down line	25	62	1134	8
	up line	24	60	1359	13

Table 5. Measurement results of temperature, humidity, CO₂ and PM10 in KTX Honam line (Yongsan↔Mokpo)

Section		Temperature (°C)	Humidity (%)	CO ₂ (ppm)	PM10 (μ g/m ³)
July 24 cloud	down line	25	56	1012	27
	up line	25	59	895	20
July 25 clear	down line	26	58	774	33
	up line	25	56	897	29

Table 6. Specific data of tunnel sections from Busan to Seoul in KTX Gyongbu line(July 18, 19)

Section	Tunnel	Starting point(m)	Stop Point (m)	Extend (m)
A	Oksan	234,238	235,958	1720
	Wolgok	231,763	232,203	440
	Hwanghak	208,822	218,793	9971
	Hwasin 5	200,721	206,968	6247
	Hwasin 4	200,211	200,313	102
	Hwasin 2	199,786	199,998	212
	Hwasin 1	199,328	199,504	176
	Yeongdong	195,498	197,218	1720
	Otan	194,218	195,058	840
B	Godeung	107,421	108,891	1470
	Hyudae	97,892	98,619	727
C	Gaechak 1	25,421	25,780	359
	Iljik	22,641	25,421	2780

Table 7. Specific data of tunnel sections from Seoul to Busan in KTX Gyongbu line (July 18, 19)

Section	Tunnel	Starting point (m)	Stop Point (m)	Extend (m)
A	Jangsang	29,849	32,452	2603
B	Simok	141,554	141,949	395
	Sinbu	146,257	147,767	1510
C	Sindae	153,024	153,079	55
	Seokjeok	256,123	258,207	2084
	Maewon	259,633	260,133	500
	Songjeong 1	261,886	263,923	2037

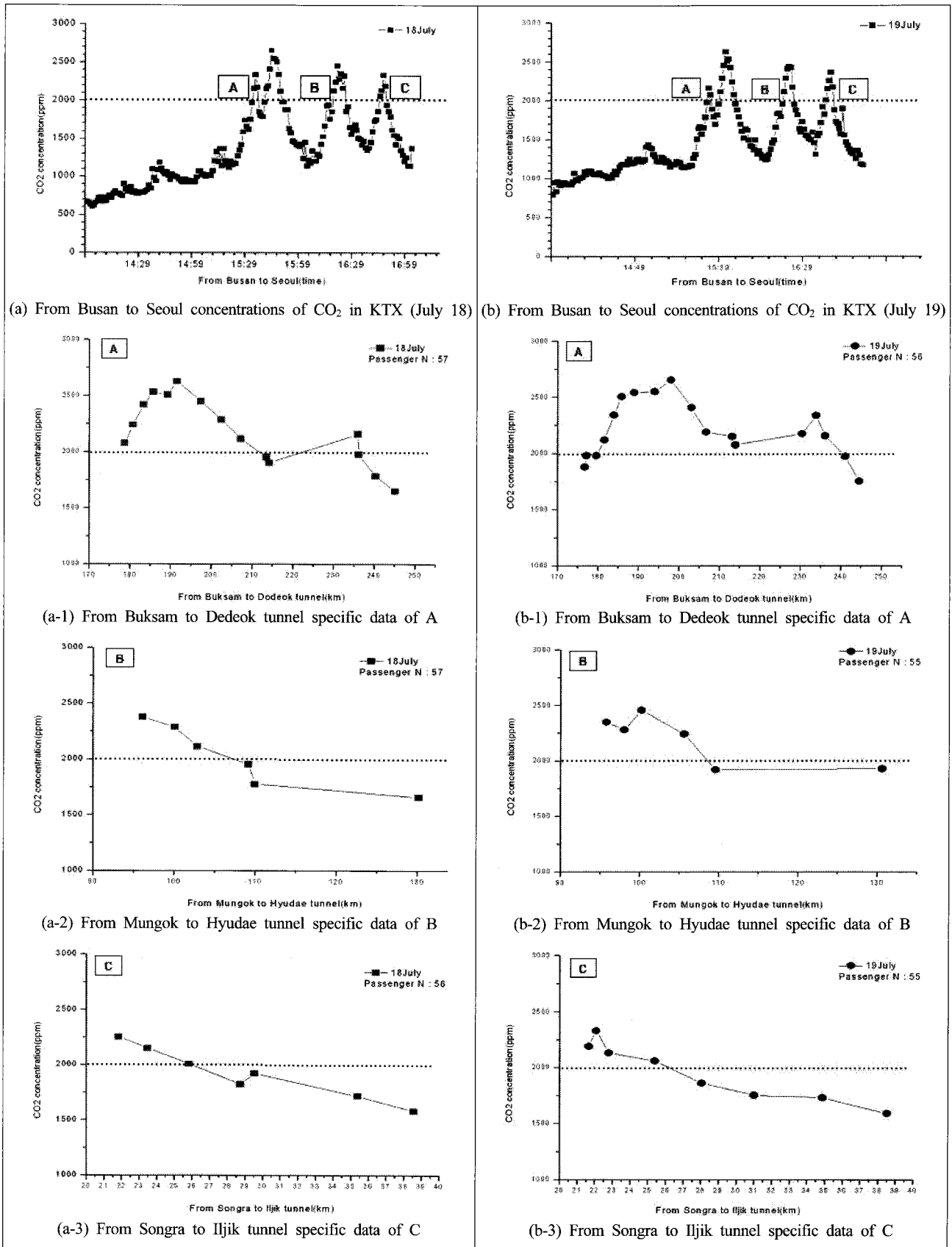


Fig. 4. Changes in CO₂ concentration during the train service from Busan to Seoul in KTX passenger cabin at tunnel sections (July 18, 19)

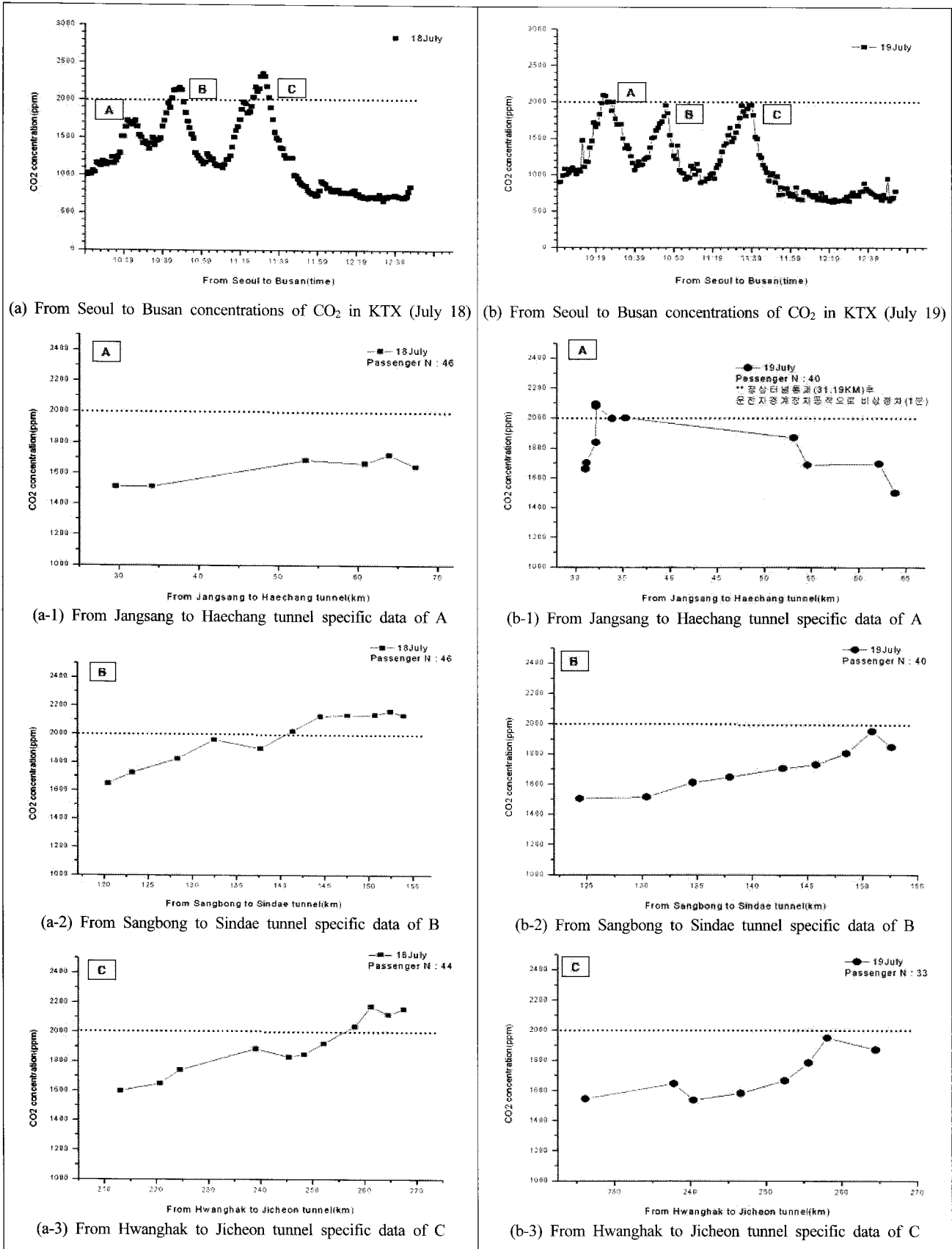


Fig. 5. Changes in CO₂ concentration during the train service from Seoul to Busan in KTX passenger cabin at tunnel sections (July 18, 19)

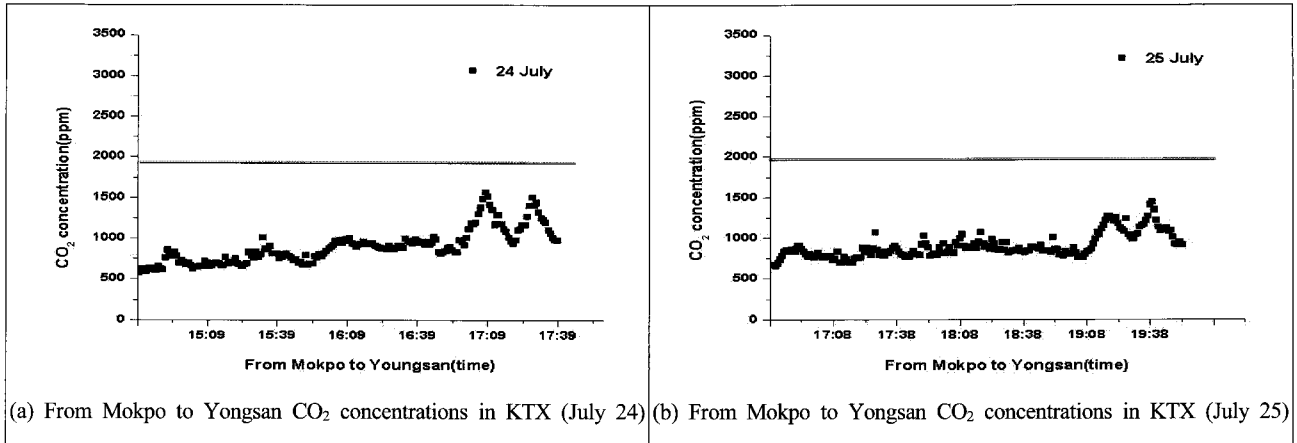


Fig. 6. Changes in CO₂ concentration during the train service from Mokpo to Yongsan in KTX passenger cabin (July 24, 25)

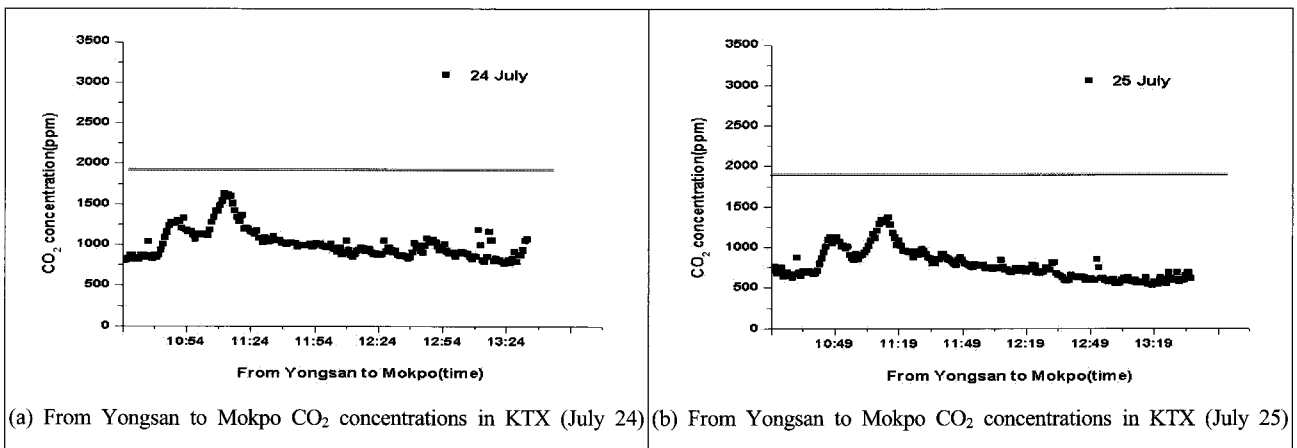


Fig. 7. Changes in CO₂ concentration during the train service from Yongsan to Mokpo in KTX passenger cabin (July 24, 25)

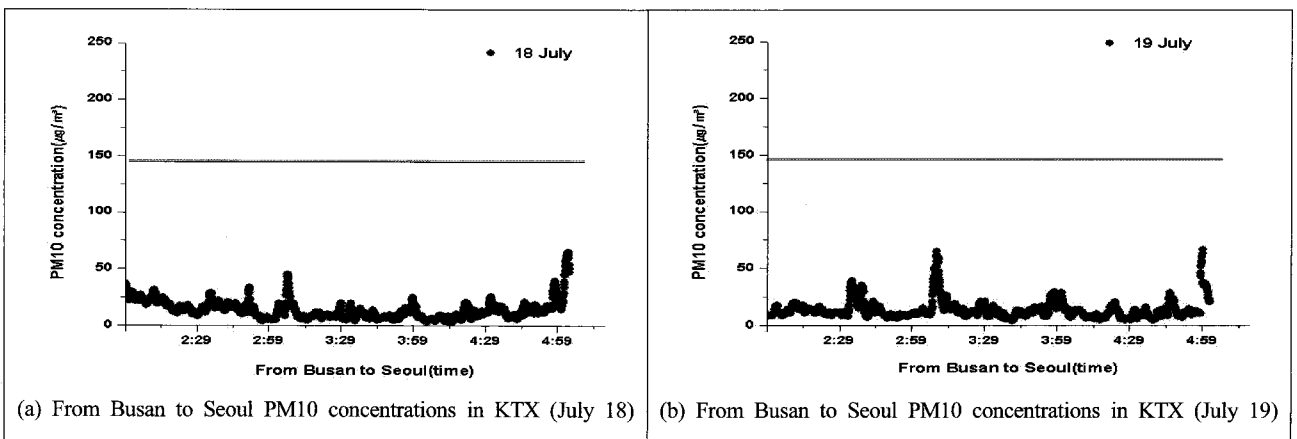


Fig. 8. Changes in PM10 concentration during the train service from Busan to Seoul in KTX passenger cabin (July 18, 19)

경부선 하행선은 Fig. 5 (a),(b)와 Table 7과 같다. Fig. 5 (b)의 A는 7월18일은 낮게 조사되었고, 7월19일 32.19km로 장상터널로 터널통과(31.19km)후 운전자 경계장치 동작으로

비상정차 한 영향으로 사료된다.

Fig. 5 (c)의 B는 7월19일에 다소 가이드라인에 근접하였고, 7월18일에는 141.36km에서 상승하여 152.40km로 시목에

서 신대터널 구간에서 변화가 있었다.

Fig. 5 (d)의 C는 7월 19일은 다소 가이드라인에 근접하였고, 7월18일은 258.14km에서 상승하여 261.29km로 석적에서 송정1터널 구간에서 변화가 있었다. 반면에 호남선은 Fig. 6, Fig. 7과 같이 가이드라인에 매우 낮게 나왔다.

호남선은 경부선 보다는 승차 인원수가 적은 영향으로 환경부에서 제시한 가이드라인에 낮게 조사되어 양호하였다.

4. 결론

KTX 경부선(서울-부산)과 호남선(용산-목포)을 대상으로 2006년 7월18일-19일, 7월24일-25일 실내 공기청정도를 측정하였다. 또한 터널구간 운행시 KTX HVAC-여압장치 작동으로 CO₂와 PM10의 농도변화를 KTX ATESS파일의 실제 주행키로를 적용하여 터널지점을 확인하였고, 특히 환경부 가이드라인 CO₂농도(2,000ppm) 기준치를 초과하는 터널지점을 분석하였다.

CO₂농도측정 1회 운행 평균치 중에서 최고 기록치를 보면, 경부선은 7월18일 상행선에서 1,452ppm으로 가이드라인에 72%, 호남선은 7월24일 상행선에서 1,012ppm으로 가이드라인에 50%수준으로 조사되었다. 반면에 PM10농도는 경부선은 7월18일 하행선에서 14 μ g/m³으로 가이드라인(150 μ g/m³)에 9%, 호남선은 7월25일 하행선에서 33 μ g/m³으로 가이드라인에 22%수준으로 조사되었다. 따라서 PM10농도는 경부선과 호남선 모두 가이드라인에 매우 낮은 수치로 양호하였다. 다만, 서울역에서 부산역까지 운행하는 경부선으로, 하행선보다는 상행선의 터널이 연속되거나 장대터널구간인 옥산-오탄터널, 고등-휴대터널, 개착1-일직터널에서 CO₂농도 변화가 있음을 알 수 있었다. 이는 장대터널과 터널 연속구간 운행시 KTX-여압장치 작동에 따른 신선 플랩이 닫히고, 이에 따른

외부의 신선공기 유입이 적어져 승객 인원수에 비례하여 CO₂가 증가 하였다. 향후 본 연구는 KTX, 새마을호, 무궁화호와 전동차를 대상으로 환경부에서 제시하고 있는 혼잡시에 실내 공기청정도 측정을 계속 진행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 한국철도공사 철도연구원의 기본연구과제 일부로, KTX 실내 공기청정도 측정에 협조해 주신 한국철도기술연구원 환경·화재연구팀원께 깊은 감사드립니다.

참고 문헌

1. 소진섭(2006), “철도차량 객실내 실내공기환경(IAQ)의 효율적 관리방안”, 한국철도기술 1-2월호, pp.40-43.
2. 환경부(2006), “지하철 등 대중운송수단의 실내공기질 실태조사 및 관리방안”, 가톨릭대 예방의학교실, 대한산업보건협회.
3. 환경부(2007), “대중교통수단 실내공기질 관리 가이드라인”.
4. 소진섭, 강성해(2006), “열차 객실 공기질 향상 방안 연구”, 한국철도학회, 학술발표대회논문집, pp.7-10.
5. 소진섭, 이성욱, 박덕신, 유성연(2006), “KTX 객실내 공기청정도 측정”, 한국철도학회, 학술발표대회논문집, pp.27-30.
6. 권순박, 조영민, 박덕신, 박은영(2006), “KTX 객실의 CO₂ 농도와 승객 수 및 터널구간과의 상관관계”, 한국철도학회, 학술발표대회 논문집, pp.41-44.
7. 조영민, 박덕신, 권순박, 박은영(2006), “고속철도 운행시 객실 실내공기질 변화 연구”, 한국대기환경학회, 학술대회논문집, pp.553-554.
8. 한국철도공사(2006), “열차 객실 공기청정도 향상 방안 연구”, 철도연구개발센터, 1차년도 보고서(KRDC-종-06-12).

(2007년 7월 12일 논문접수, 2007년 12월 5일 심사완료)