

碩士學位論文

대전도시철도 역사 및 전동차내
이산화탄소 농도조사에 대한 연구

2007年

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

尹 汝 運

碩 士 學 位 論 文
指導教授 朴杜用

대전도시철도 역사 및 전동차내
이산화탄소 농도조사에 대한 연구

Study on Evaluation of Air Quality using a parameter of
CO₂ concentrations inside of the Subway and the Subway
Stations in the Line 1 in Daejon City

2006年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

尹 汝 運

碩 士 學 位 論 文
指導教授 朴杜用

대전도시철도 역사 및 전동차내
이산화탄소 농도조사에 대한 연구

Study on Evaluation of Air Quality using a parameter of
CO₂ concentrations inside of the Subway and the Subway
Stations in the Line 1 in Daejon City

위 論文을 産業衛生工學 碩士學位論文으로 提出함

2006年 12月

漢城大學校 安全保健經營大學院

産業保健工學科

産業衛生工學專攻

尹 汝 運

尹汝運의 産業衛生工學碩士學位論文을 認准함

2006年 12月

심사위원장 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

심 사 위 원 _____(인)

목 차

표 목 차	iii
그림목차	iv
I. 서 론	1
1. 연구배경 및 목적	1
II. 조사대상 및 방법	3
1. 조사대상	3
2. 조사방법	3
3. 전동차 공조환기방식	4
4. 정거장 공조환기방식	5
1) 대합실의 공조	5
2) 승강장의 공조	5
3) 승강장의 환기방식 비교	6
5. 국내외 대중운송수단 관련 공기질 관련 연구 현황	7
1) 국내	7
2) 국외	8
III. 연구결과	9
1. 역사 및 전동차 내 CO ₂ 농도	9
1) 역사 층별 CO ₂ 농도 비교	9
2) 시간대별 전동차 내 CO ₂ 농도 비교	12
2. 영향인자별 분석	13
1) 전동차	13

(1) 승차인원	13
(2) 배경농도(Back-ground)보정 후 승차 인원과의 관계	14
2) 역사(대합실1층, 대합실3층, 승강장5층)의 CO ₂ 농도	17
(1) 환기시스템 가동유무에 따른 CO ₂ 농도	17
(2) 열차풍	19
3) 기타요인	19
(1) 습도	19
(2) 시간대별 도어 열림 시와 닫힘 시 CO ₂ 농도 비교	27
3. 승차인원이 CO ₂ 증가에 미치는 영향분석	31
 IV. 결 론	 33
 참고문헌	 34
 ABSTRACT	 35

표 목 차

표 1. 승강장의 환기방식 비교	6
표 2. 역사 층별 CO ₂ 농도	9
표 3. 시간대별 전동차 내 CO ₂ 농도	12
표 4. 배경농도(Back-ground) 보정 후 CO ₂ 농도	15
표 5. 시간대별 전동차 내 CO ₂ 농도와 습도의 관계	20
표 6. 출근시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 전동차 내 CO ₂ 농도	28
표 7. 점심시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 전동차 내 CO ₂ 농도	29
표 8. 퇴근시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 전동차 내 CO ₂ 농도	30

그림목차

그림 1. 전동차 내부 환기시스템.	4
그림 2. 대합실(B1F) CO ₂ 농도.	10
그림 3. 대합실(B3F) CO ₂ 농도.	10
그림 4. 승강장(B5F) CO ₂ 농도.	11
그림 5. 지하철외기 CO ₂ 농도.	11
그림 6. 시간대별 전동차 내 CO ₂ 농도.	13
그림 7. 출근시간대 승객수와 CO ₂ 농도 비교.	13
그림 8. 점심시간대 승객수와 CO ₂ 농도 비교.	14
그림 9. 퇴근시간대 승객수와 CO ₂ 농도 비교.	14
그림 10. 보정 후 출근시간대 승객수와 CO ₂ 농도 비교.	15
그림 11. 보정 후 점심시간대 승객수와 CO ₂ 농도 비교.	16
그림 12. 보정 후 퇴근시간대 승객수와 CO ₂ 농도 비교.	16
그림 13. 대합실(B3F) 환기시스템 가동 유무에 따른 CO ₂ 농도 비교. ·	17
그림 14. 대합실(B3F) 시간대별 환기시스템 가동 유무에 따른 CO ₂ 농도 비교.	17
그림 15. 승강장(B5F) 환기시스템 가동 유무에 따른 CO ₂ 농도 비교. ·	18
그림 16. 승강장(B5F) 시간대별 환기시스템 가동 유무에 따른 CO ₂ 농도 비교.	18
그림 17. 전동차 진·출입과 환기시스템 가동 시 CO ₂ 농도 비교.	19
그림 18. 출근시간대 CO ₂ 농도와 습도의 비교.	21
그림 19. 출근시간대 CO ₂ 농도와 습도의 상관관계.	21
그림 20. 점심시간대 CO ₂ 농도와 습도의 비교.	22
그림 21. 점심시간대 CO ₂ 농도와 습도의 상관관계.	22
그림 22. 퇴근시간대 CO ₂ 농도와 습도의 비교.	23
그림 23. 퇴근시간대 CO ₂ 농도와 습도의 상관관계.	23

그림 24. 대합실(B1F) CO ₂ 농도와 습도의 비교.	24
그림 25. 대합실(B1F) CO ₂ 농도와 습도의 상관관계.	24
그림 26. 대합실(B3F) CO ₂ 농도와 습도의 비교.	25
그림 27. 대합실(B3F) CO ₂ 농도와 습도의 상관관계.	25
그림 28. 승강장(B5F) CO ₂ 농도와 습도의 비교.	26
그림 29. 승강장(B5F) CO ₂ 농도와 습도의 상관관계.	26
그림 30. 외기(Outdoor) CO ₂ 농도와 습도의 비교.	27
그림 31. 외기(Outdoor) CO ₂ 농도와 습도의 상관관계.	27
그림 32. 출근시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 CO ₂ 농도비교.	29
그림 33. 점심시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 CO ₂ 농도비교.	30
그림 34. 퇴근시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 CO ₂ 농도비교.	31
그림 35. 퇴근시간대 승객수와 CO ₂ 농도 비교.	32
그림 36. 퇴근시간대 시간차를 고려한 승객수와 CO ₂ 농도 비교.	32

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

현대인들의 실내 생활시간 증가, 건축자재의 화학물질 사용 확대 등으로 인한 실내오염 발생원 증가, 그리고 부적절한 환기 등으로 실내공기오염이 심화되고 있다. 이에 국내외적으로 많은 연구가 진행되고 있고, 최근 국민들의 Well-being 의식 확대로 “새집증후군”등 실내공기와 관련된 환경문제에 대한 관심도 증가하고 있다.

현대 도시인들의 하루 동안 활동시간을 분석한 결과, 실내에서 80~90%의 시간을 소비하고 있다고 한다. 24시간 중 가장 많은 시간을 소비하는 곳은 주거, 업무, 교육 등에 관련된 시설로서 주택, 사무실, 학교 등의 시설이고, 다음으로는 이동을 위한 운송수단 내이다. 우리나라 사람들의 일일 시간 활동양상을 조사한 결과(환경부, 2001)에 의하면, 실내의 경우 집안(13.2시간), 사무실 실내(3.7시간), 학교(1.3시간)에서 소비하고, 실외에서 125분(2.1시간), 교통수단 내 70분(1.2시간)이었다. 미국 EPA는 성인의 실내 거주 시간을 21시간, 실외 거주시간을 1.5시간, 교통수단내 있었던 시간을 1.3시간으로 제시하고 있고, 독일의 GerES II 연구 결과에서는 실내 1,202분(20시간), 실외 178분(3시간), 교통수단 52분(0.9시간)으로 나타나고 있다.

현재 환경부에서는 국내 실내환경 분야를 통합하기 위하여 2004년 관련법을 개정하여 기존의 “지하생활공간공기질관리법”을 중심으로 하여 각 기관에서 별도로 관리되고 있던 대상을 포함하여 “다중이용시설등의 실내공기질관리법”을 제정하여 건설교통부와 보건복지부의 실내오염 관리대상을 포함하였으나 아직도 대중교통수단, 특히 지하철 내 실내공기질 조사 및 이용객의 건강 위해성 평가 등의 연구 수행은 부족한 실정에 있다.

외국의 경우 Pfeiff et al.(1999)과 Adams et al.(2001)은 시민들의 교통방법 이용형태별로 개인노출평가를 하였는데 지하철 이동 시민그룹이 다른 육상교통 방법(자전거, 버스, 자동차 등)보다 노출정도가 약3

배~8배 정도 더 높은 것으로 파악되었으며, 프랑스 파리에서 진행된 Dor et al.(1995)의 연구에 의하면 객차 내 오염물질의 농도는 주변 차량에서의 배출이 자연적으로 또는 환기에 의해 침투하여 영향을 받는다고 보고한 바 있다. 이는 지하철에서의 오염물질은 크게 가스상물질과 입자상 물질로 분류할 수 있으며, 이들 농도는 환기에 따른 실외 공기질 뿐만 아니라 실내배출원에 의하여 영향을 받는다고 보고와 같은 결과이기도 하다(Phillips et al, 1993).

특히 가스상 물질의 하나인 이산화탄소의 경우 무색, 무미, 무취의 기체로 주로 실내공기질 또는 환기상태의 척도로 사용되는 공기오염물질로 실내공간에서 농도가 증가하면 호흡에 필요한 산소의 양이 부족하게 되어 중요한 실내공기오염 물질중의 하나로 취급되고 있다. 이산화탄소가 증가하면 호흡운동을 증대하여 폐포 내 환기를 증대하며, 폐포 내의 이산화탄소량을 일정하게 유지한다. 호흡중의 이산화탄소가 30,000ppm이 되면 호흡이 커지며, 40,000ppm이 되면 폐포 내의 이산화탄소가 증가하기 시작하여 호흡곤란, 두통 등의 증상을 일으킨다. 단시간 동안의 노출의 경우 50,000ppm까지 인내가 가능하나 그 이상이면 호흡곤란을 초래하는 등의 건강영향을 나타내는 것으로 알려져 있다. 실내공간에서 경우에 따라서는 3,000~4,000ppm(0.3~0.4%) 수준까지 상승하나, 불쾌감을 느끼는 수준인 3%의 1/10정도 수준으로 인체에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석된다.

따라서 이산화탄소는 건강장해를 직접 일으키는 요인은 아니라고 할 수 있다. 그러나 이산화탄소는 실내환경의 공기 질을 평가하는 주요 지표로 활용되고 있다. 따라서 많은 경우, 실내오염에 대한 기준으로 이산화탄소의 농도를 설정하고 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 대전시 지하철 역사 및 전동차 내 분포하고 있는 이산화탄소의 농도분포를 파악하고 지하철 전동차 내 이산화탄소 농도와 승객수와 상관성을 평가하여 지하철 역사 및 전동차내의 공기 질을 평가하고자 하였다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사대상

대전도시철도 1호선을 대상으로 2006년 10월 11일부터 10월 25일까지 2주간 조사하였다. 대전도시철도의 경우 1호선 22개 역중 2006년 3월 16일 1단계 12개 역사에 대해서 개통하여 운행되고 있으며, 2007년 상반기 중으로 10개역을 완전개통예정이다.

본 연구에서는 지하5층 역사인 대전역(지하1층 대합실, 지하3층 대합실, 지하5층 승강장)과 전동차의 경우 시발역에서 종착역까지의 운행시간이 21분으로 짧아 왕복운행에 대하여 3회씩 연속하여 조사가 이루어졌다.

측정시간의 경우 대전역은 1일 8시간(09:30~17:30)을 2회 연속하여 조사가 이루어졌으며, 전동차는 일일 출·퇴근시간대와 비교적 이용자가 적을 시간대를 고려하여 아침 07시부터 09시 및 18시부터 20시까지를 첨두 시간으로, 12시부터 14시까지를 비첨두 시간으로 구분하여 총 3개의 시간대로 나누어 이루어 졌으며, 각각에 대하여 3회 연속하여 측정하였다.

2. 조사방법

이산화탄소 농도를 측정하기 위하여 비분산적외선 분석법을 적용한 휴대용 측정장비(IAQ-CALC, TSI Incorporated)를 이용하였다.

역사의 경우 8시간 측정 data를 1분 간격으로 연속 측정하였고, 전동차의 경우 운행시간 동안 10초 간격으로 연속 측정하였다.

전동차 4량 기준 시 중앙에서 이루어 졌으며, 전동차 내 이산화탄소에 대한 영향인자를 조사하기 위해 기록자가 탑승하여 운행 시 출입문의 개폐시간, 승객수의 변화를 조사하였다.

3. 전동차 공조환기방식

객실천장에 설치되어 있는 객실송풍기(Line Flow Fan)에 의하여 실내공기를 교반하여 실내온도를 균등히 하고, 냉방을 필요로 하지 않을 때에는 객실송풍기만을 작동시키면 선풍기와 같은 역할을 한다.

겨울철이나 봄 및 가을 등 냉방장치를 운전하지 않는 때에는 강제적으로 신선한 공기를 흡입하여 창문 및 출입문 등의 틈으로 배출시킴으로써 실내의 환기가 이루어지도록 한다.

냉방장치는 1량당 2개가 지붕위 중앙에 설치되어 있어 냉풍을 천장덕트로 토출하게 되어 있다.

객실송풍기는 1량당 4대가 설치되어 있고, 천장중앙에 일렬로 매립되어 있다. 차내 전체에 간헐송풍을 행하고, 풍속에 의한 냉감 효과를 증가하고, 승객에게 청정감을 주는 목적으로 사용한다.

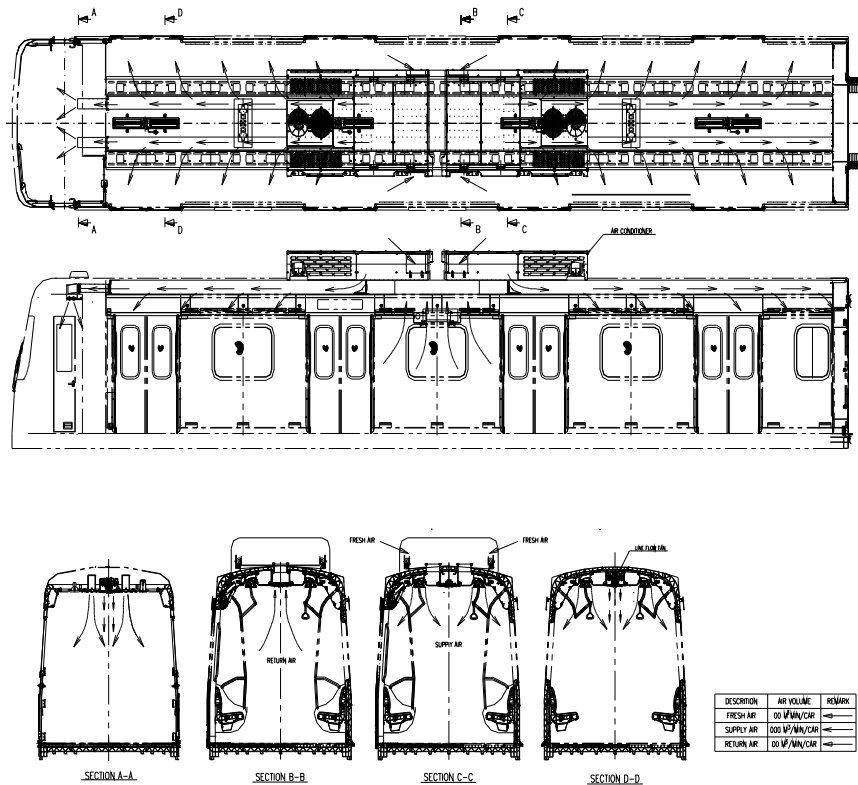


그림 1. 전동차 내부 환기시스템.

4. 정거장 공조환기방식

1) 대합실의 공조

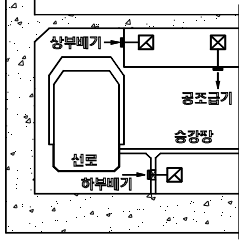
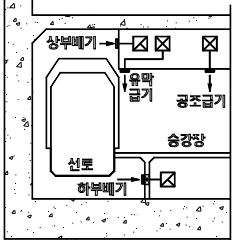
여름철 공조방식은 단일덕트 방식을 채택하며 겨울철에는 대합실지역이 외기보다 온화하고 승객들의 복장이 외출용이며 통로의 개념으로서 잠시 머무르는 공간이므로 난방은 고려하지 않으며. 봄, 가을철에는 전 외기 운전방식으로 외기 냉방이 가능토록 한다.

2) 승강장의 공조

선로부에서 발생하는 열차 냉방기의 열량, 하부발생 열량, 열차제동에 의한 열량 등의 배출을 효과적으로 제거토록 하며 승강장 지역은 100% 전외기 방식을 채택하며, 승강장 선로부에서 발생하는 열차의 발열부하를 승강장내 침입을 효과적으로 방지 하고 승강장의 쾌적한 환경을 유지하기 위하여 환기방식을 선정한다.

3) 승강장의 환기방식 비교

표 1. 승강장의 환기방식 비교

승강장 환기 방식	공조급기 + 승강장 상부배기 + 승강장 하부배기방식	공조급기 + 승강장 유막급기 + 승강장 상부배기 + 승강장 하부배기방식
환 기 계 념 도		
장 점	• 외기풍량이 적어 공기반송 동력이 작고 경제적인 운전이 가능하다. • 공조계통 및 덕트 구성이 단순하다. • 천정 상부의 고온공기의 배출과 하부 제동 등 발열 배기 효과가 좋다. • 차량상부 냉방기 탑재에 적합한 방식이다. • 중간기 외기냉방 효과시간이 길어진다	• 열차풍 영향 일부 감소 • 열차하부에서 발생하는 제동 발생열, 보조기기 발생열의 승강장으로의 침입방지를 위한 선로부 하부 방식을 채택하여 효율
단 점	• 열차풍의 영향이 커지게 된다. • 선로부에서 승강장부로 흐르는 열을 차단하지 못함.	• 덕트의 설치가 복잡해진다. • 시설비가 많이 들어간다. • 시스템이 복잡해진다.
타시도 적용예	• 부산지하철 1,2호선 실시설계 • 일본 京都市 交通局 • 일본 東京都 交通局	• 대구지하철 1호선 • 인천지하철 1호선
적 용	○	

5. 국내외 대중운송수단 관련 공기질 관련 연구 현황

1) 국내

교통수단을 사용하는 목적을 조사한 결과, 서울을 포함한 수도권(서울시, 인천시, 경기도)의 경우, 2003년도 전체 출근목적에 따른 분석을 보면 통행수단 분담율은 승용차 48.6%, 버스 21.01%, 지하철 15.93%, 택시 1.36%, 도보 2.45%, 기타 2.45%로 조사되었다. 수도권에서 가장 선호하는 교통수단은 승용차이었으며, 택시를 제외한 대중교통의 경우 36.94%를 차지하고 있었고, 버스가 지하철보다 많은 분담을 하는 것으로 조사되었다. 버스 및 지하철의 이용비율은 출근 시 7.04%이며, 등교는 45.26%이고, 업무는 0.82%, 쇼핑이 1.05%, 귀가는 16.52%, 기타 5.05%로 조사되었다. 출근할 때 평균 통행시간은 승용차 39분, 버스 38분, 지하철 49분, 택시 25분, 도보 14분, 기타 25분이었으며, 지하철이 가장 길었다.

수도권의 경우 버스와 지하철이 37.76%를 차지하고 있었으나 부산/울산권은 29.79%, 대구 30.70%, 대전 27.85%, 광주 30.73%였다. 지하철/철도의 경우 수도권을 제외한 전 광역권의 경우 부산/울산 1.4%, 대구 1.08, 대전 0.07%, 광주 0.05%로서 매우 낮은 이용 수치를 나타내고 있다. 그러나 버스의 경우 전 권역에서 26.65~30.68%로 승용차와 함께 이용률이 매우 높았다.

CO₂의 경우, 김윤신(1994)은 도시형버스 662.5ppm, 좌석버스 2511.1ppm, 지하철 1986.9ppm으로, 좌석버스에서의 실내농도가 가장 높은 것으로 보고하였다. 지하철의 경우 2002년도 전도차 내 이산화탄소 농도 측정결과(한국건설기술연구원, 2002) 전 구간 평균치는 실내기준치인 1000ppm 이하였다. 그러나 이는 전 구간 편균치로서 구간별 또는 시간대별로 차이가 많이 나기 때문에 이를 전동차 내 농도가 1000ppm 이하로 평가하는 것은 무리가 있다. 2004년 KBS는 출근시간대인 07:27~08:28에 2호선 일부 구역에 대하여 객차 내 CO₂농도를 평가하였다. 이 결과 전동차 내 평균 농도는 1,667ppm으로 조사되었다. 송희봉(2001)의 경우 열차 내 CO₂는 실제이용객수에 따라 저녁(977ppm) > 오후(884ppm) > 오전(871ppm)로 조사되었다. 박동욱(2005)의

연구에서는 지하철 5~8호선 승무원석에서 측정한 이산화탄소의 농도는 $989 \pm 271\text{ppm}$, $1,063 \pm 433\text{ppm}$, $1,415 \pm 502\text{ppm}$, $1,218 \pm 518\text{ppm}$ 으로, 지하철 5호선을 제외하고는 평균 농도가 1,000ppm을 상회하는 것으로 보고하였다.

2) 국외

미국 EPA는 성인의 실내 거주 시간을 21시간, 실외 거주시간을 1.5시간, 교통수단내 있었던 시간을 1.3시간으로 제시하고 있고, 독일의 GerES II 연구결과 실내 1,202분(20시간), 실외 178분(3시간), 교통수단 52분(0.9시간)으로 제시하고 있어, 선진국에서 교통수단 사용은 우리나라 사람의 교통수단 사용시간인 1.2시간과 비슷하였다.

Chow(2002)는 홍콩 대중운송수단 이산화탄소 농도의 지침인 0.25% ($2,500\text{ppm}$: level 1)을 유지하기 위하여 $9.6\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{person}$ 을 공급하고 있다고 밝히고 있으며, 이는 실제 사람들이 0.22% ($2,200\text{ppm}$)에 대하여 노출될 수 있다고 밝히고 있다. 그러나 전동차에서 국내 다중이용시설의 이산화탄소 실내공기질 기준과 같은 1,000ppm을 유지하기 위하여 승객 1인당 25.2m^3 을 제공해야 한다고 제안하고 있으나, 출·퇴근시간대에 1,000ppm으로 낮추기는 매우 어렵다고 설명하고 있다.

Ⅲ. 연구결과

1. 역사 및 전동차 내 CO₂농도

1) 역사 층별 CO₂농도 비교

역사 내에서의 이산화탄소의 농도에 대한 평가는 비분산적외선방식(NDIR)의 측정 장비를 이용하여 같은 장소에서 1일 9시간 2회 반복하여 측정하였다. 각 측정결과는 [표 2]와 같으며, 9시간 동안 측정한 대합실(지하1층) 이산화탄소의 평균농도는 404.9 ± 9.56 ppm, 대합실(지하3층) 이산화탄소의 평균농도는 414.3 ± 10.15 ppm, 승강장(지하5층) 이산화탄소의 농도는 409.1 ± 6.55 ppm, 외기 이산화탄소의 평균농도는 358.4 ± 14.77 ppm 으로 나타났다.

표 2. 역사 층별 CO₂농도 (ppm)

측정시간(hr)	대합실(B1F)	대합실(B3F)	승강장(B5F)	외기
9~10	426.6	434.8	419.9	390.7
10~11	402.3	423.1	417.7	369.7
11~12	392.0	413.5	413.2	360.8
12~13	402.8	402.5	404.7	346.9
13~14	401.5	403.3	401.4	342.2
14~15	400.1	407.0	405.8	348.2
15~16	401.8	411.9	405.2	350.7
16~17	407.2	415.5	403.6	356.0
17~18	410.6	416.7	410.2	360.6
MEAN $\pm$ SD	404.9 ± 9.56	414.3 ± 10.15	409.1 ± 6.55	358.4 ± 14.77

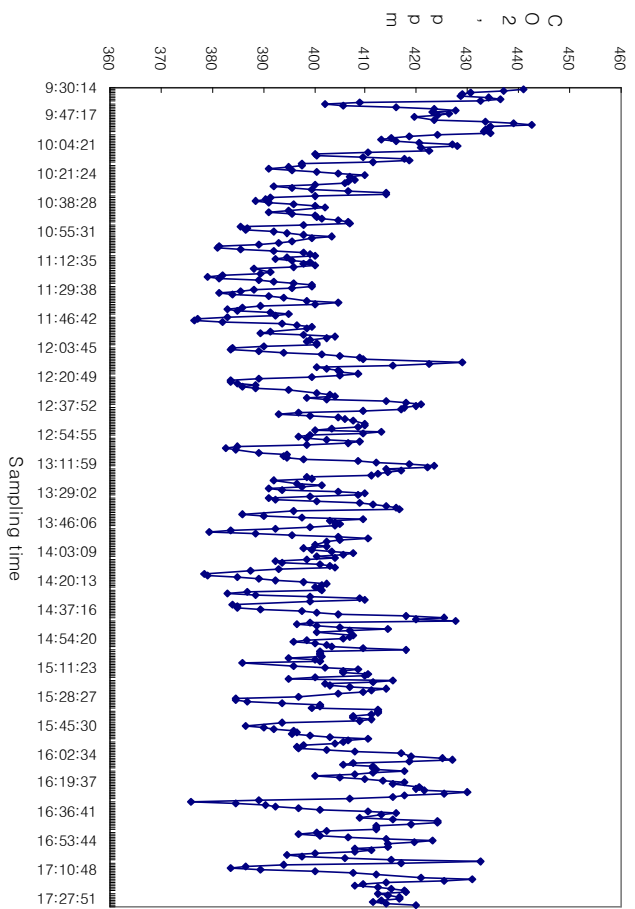


그림 2. 대합실(BIF) CO₂농도.

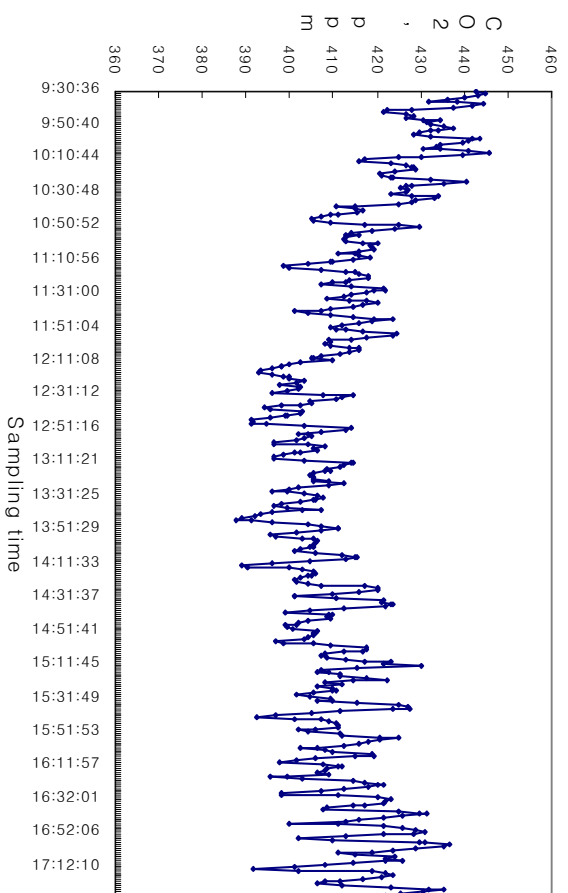


그림 3. 대합실(B3F) CO₂농도.

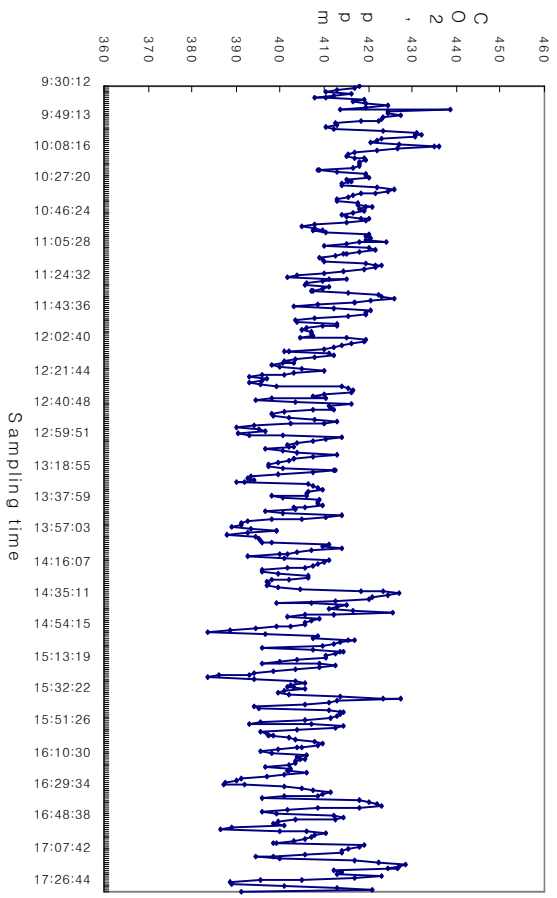


그림 4. 승강장(B5F) CO₂농도.

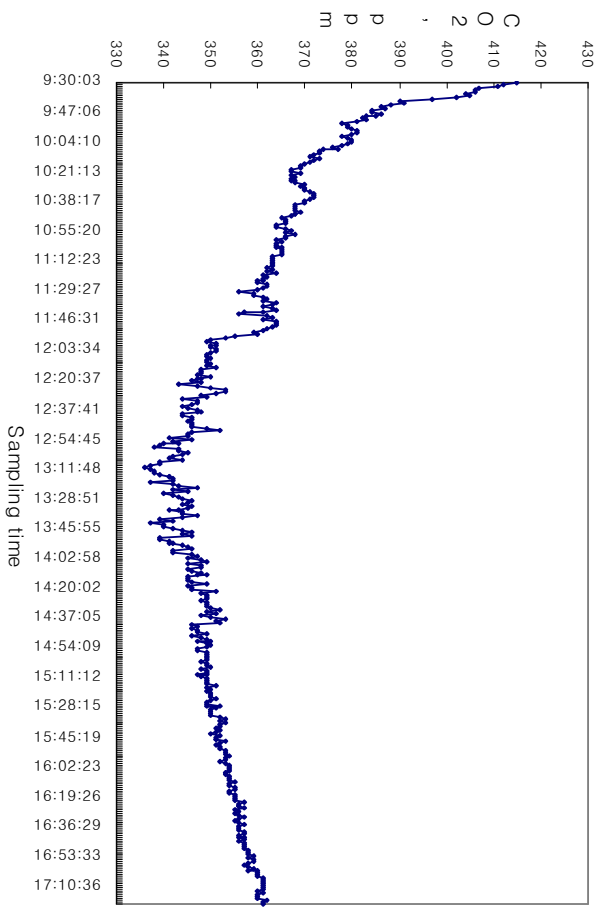


그림 5. 지하철외기 CO₂농도.

2) 시간대별 전동차 내 CO₂농도 비교

대전지하철의 경우 오전 05:30부터 오후 24:00까지 지하철터널을 운행중인 전동차 내에서 이산화탄소의 농도에 대한 평가는 비분산적외선방식(NDIR)의 측정 장비를 이용하여 같은 장소에서 시간대별로 3회 반복하여 측정하였다.

실내공기 중 이산화탄소는 승객이 발생원으로서 호흡에 의해 발생된다. 출근시간대(08~09시) 이산화탄소 평균농도는 $854.85 \pm 160.15\text{ppm}$, 점심시간대(12~14시) 이산화탄소 평균농도는 $667.62 \pm 130.09\text{ppm}$ 이고, 퇴근시간대(18~19시) 이산화탄소 평균농도는 $1070.4 \pm 292.36\text{ppm}$ 으로 나타났다.

표 3. 시간대별 전동차 내 CO₂농도 (ppm)

역명	출근	점심	퇴근
판암	621.9	539.0	673.2
신흥	539.9	474.8	609.2
대동	601.8	474.2	650.2
대전	620.8	483.9	702.9
중앙로	686.2	511.2	806.4
중구청	748.2	563.7	985.2
서대전네거리	782.0	618.1	1177.7
오룡	825.9	659.8	1341.2
용문	872.0	679.0	1404.0
탄방	917.6	669.9	1389.7
시청	964.9	684.5	1365.8
정부청사	970.8	652.5	1204.0
정부청사	981.8	724.8	793.8
시청	837.1	624.8	758.1
탄방	861.1	685.3	905.2
용문	902.2	792.3	1131.1
오룡	973.1	817.9	1294.4
서대전네거리	1034.8	854.4	1338.9
중구청	1079.9	876.9	1418.3
중앙로	1077.8	893.4	1461.3
대전	1060.7	856.8	1366.0
대동	992.3	716.5	1193.7
신흥	829.3	604.0	934.1
판암	734.3	565.1	785.1
MEAN $\pm$ SD	854.85 ± 160.15	667.62 ± 130.09	1070.4 ± 292.36

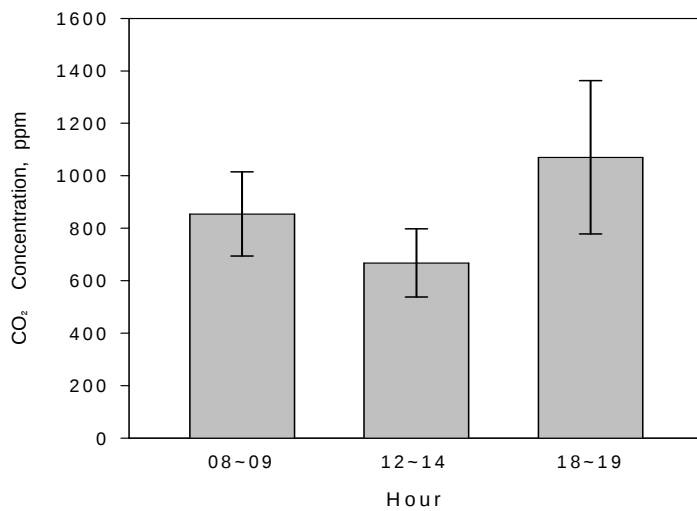


그림 6. 시간대별 전동차 내 CO₂농도.

2. 영향인자별 분석

1) 전동차

(1) 승차인원

실내공기중 이산화탄소는 승객이 발생원으로서 호흡에 의해 발생된다. 아래 [그림 7], [그림 8], [그림 9]에서는 전동차 내 승객 수에 따른 이산화탄소 농도 변화를 나타내고 있다.

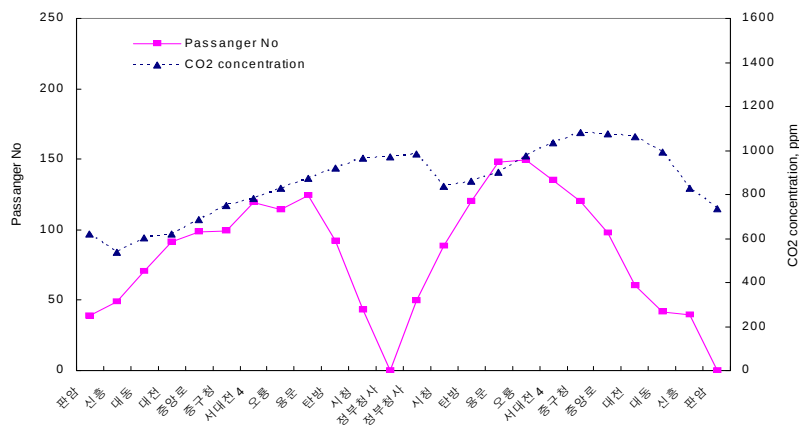


그림 7. 출근시간대 승객수와 CO₂농도 비교.

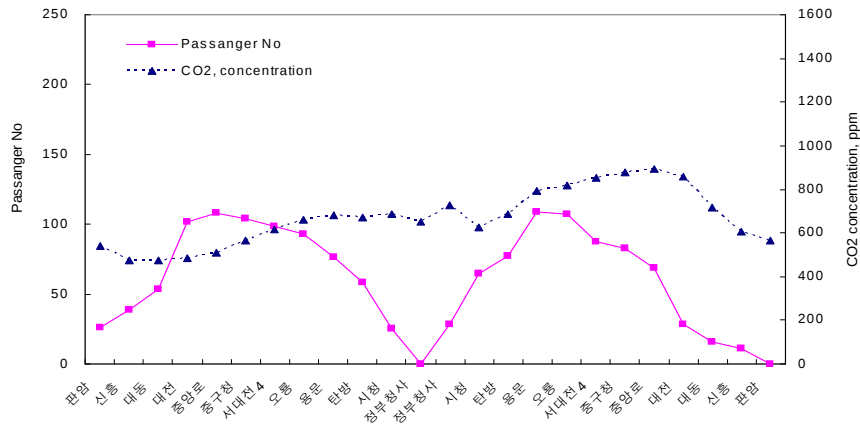


그림 8. 점심시간대 승객수와 CO₂농도 비교.

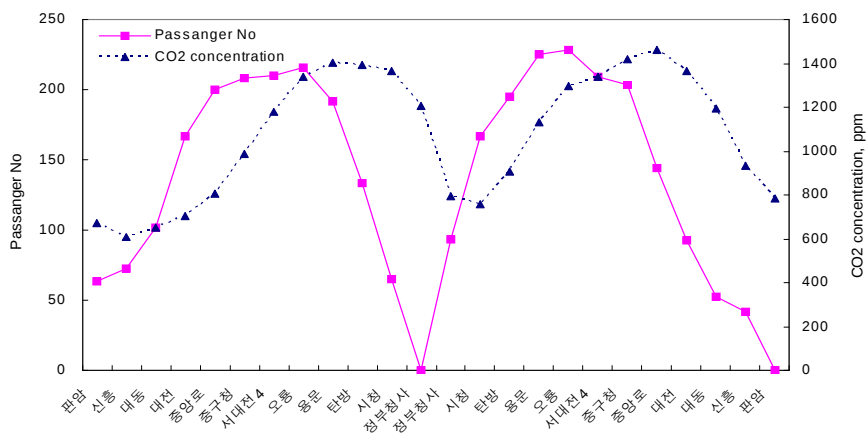


그림 9. 퇴근시간대 승객수와 CO₂농도 비교.

(2) 배경농도(Back-ground)보정 후 승차 인원과의 관계

역사 승강장내 이산화탄소 평균농도가 약 400ppm 이므로 전동차 출입문 열림 시(14~16초) 영향 받는 것을 가정하여 배경농도(Back-ground)를 보정 후 승객 수 변화에 따른 시간대별 이산화탄소 농도 변화는 [표 4]와 같다.

퇴근시의 경우 승객 수가 100명 이상부터 전동차 내 이산화탄소 농도 변화도 증가하므로 승객수와 관계가 있음을 의미한다.

표 4. 배경농도(Back-ground) 보정 후 CO₂농도 (ppm)

역명	출근		점심		퇴근	
	보정전	보정후	보정전	보정후	보정전	보정후
관암	621.9	221.9	539.0	139.0	673.2	273.2
신흥	539.9	139.9	474.8	74.8	609.2	209.2
대동	601.8	201.8	474.2	74.2	650.2	250.2
대전	620.8	220.8	483.9	83.9	702.9	302.9
중앙로	686.2	286.2	511.2	11.2	806.4	406.4
중구청	748.2	348.2	563.7	163.7	985.2	585.2
서대전네거리	782.0	382.0	618.1	218.1	1177.7	777.7
오룡	825.9	425.9	659.8	259.8	1341.2	941.2
용문	872.0	472.0	679.0	279.0	1404.0	1004.0
탄방	917.6	517.6	669.9	269.9	1389.7	989.7
시청	964.9	564.9	684.5	284.5	1365.8	965.8
정부청사	970.8	570.8	652.5	252.5	1204.0	804.0
정부청사	981.8	581.8	724.8	324.8	793.8	393.8
시청	837.1	437.1	624.8	224.8	758.1	358.1
탄방	861.1	461.1	685.3	285.3	905.2	505.2
용문	902.2	502.2	792.3	392.3	1131.1	731.1
오룡	973.1	573.1	817.9	417.9	1294.4	894.4
서대전네거리	1034.8	634.8	854.4	454.4	1338.9	938.9
중구청	1079.9	679.9	876.9	476.9	1418.3	1018.3
중앙로	1077.8	677.8	893.4	493.4	1461.3	1061.3
대전	1060.7	660.7	856.8	456.8	1366.0	966.0
대동	992.3	592.3	716.5	316.5	1193.7	793.7
신흥	829.3	429.3	604.0	204.0	934.1	534.1
관암	734.3	334.3	565.1	165.1	785.1	385.1

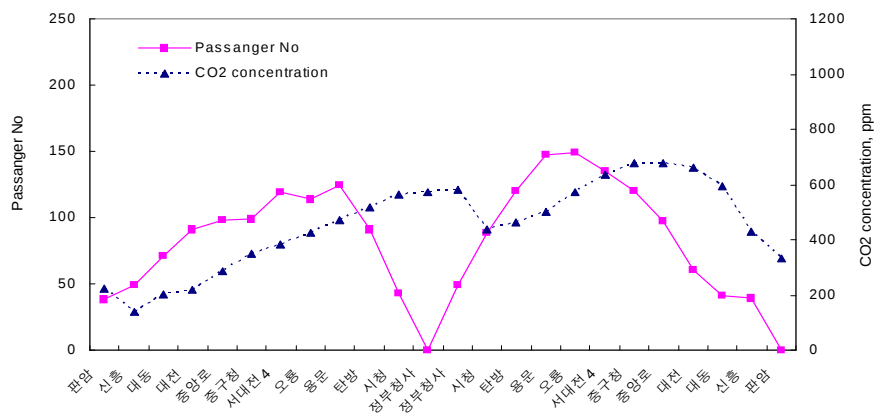


그림 10. 보정 후 출근시간대 승객수와 CO₂농도 비교.

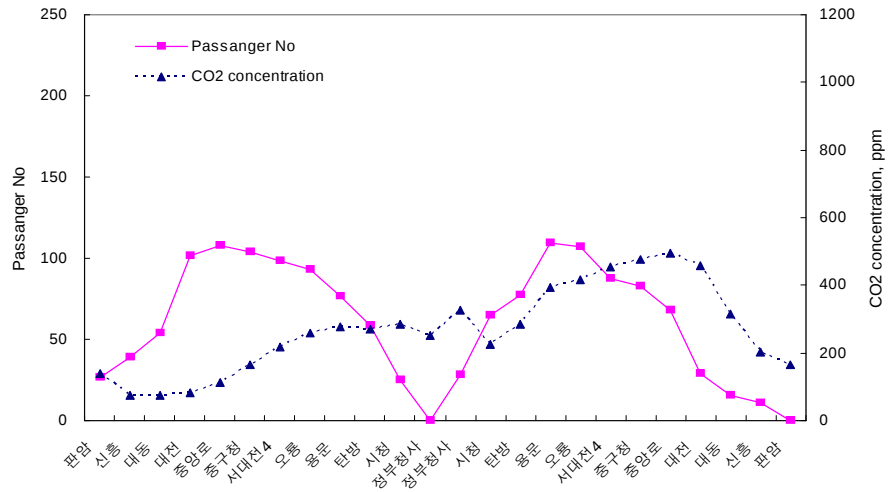


그림 11. 보정 후 점심시간대 승객수와 CO₂농도 비교.

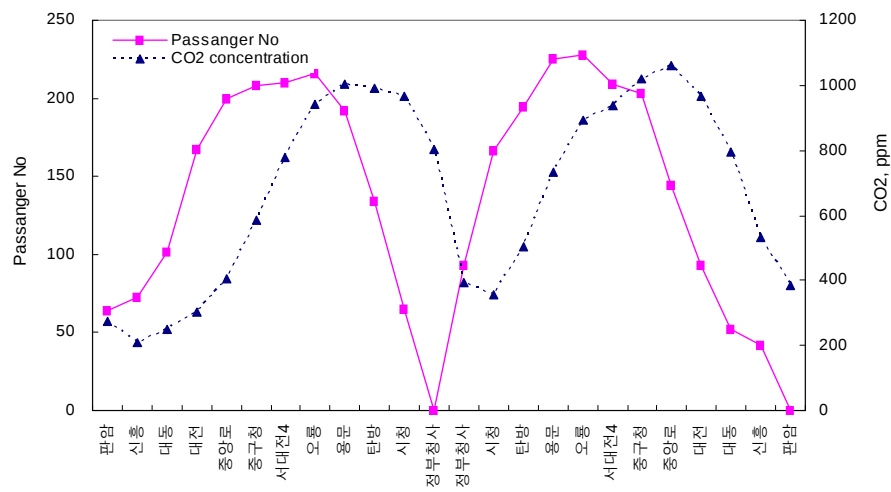


그림 12. 보정 후 퇴근시간대 승객수와 CO₂농도 비교.

2) 역사(대합실1층, 대합실3층, 승강장5층)의 CO₂농도

(1) 환기시스템 가동유무에 따른 CO₂농도

역사 내 환기방식의 경우 열차운행시간 동안 가동계획(10분 가동, 20분 정지)에 의한 환기시스템으로 실내공기를 환기시키고 있다. 공조기의 댐퍼 개도율을 조정하여 외부공기 30% 유입 및 배출, 나머지 순환공기 70%는 환기시킨다. 아래 [그림 13]에서 보듯이 환기시스템을 가동하여도 이산화탄소 농도가 증가하거나, 가동하지 않는 시간대엔 이산화탄소 농도가 감소하고 있다.

따라서, 대합실의 이산화탄소 농도가 환기시스템에 크게 영향을 받지 않고 다른 요인이 있는 것 같다.

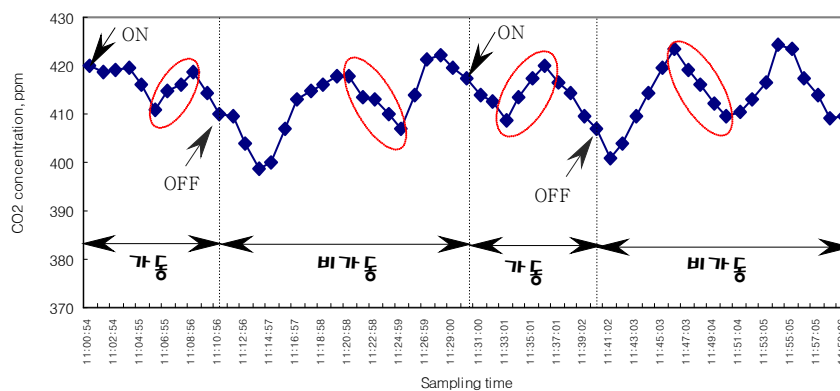


그림 13. 대합실(B3F) 환기시스템 가동 유무에 따른 CO₂농도 비교.

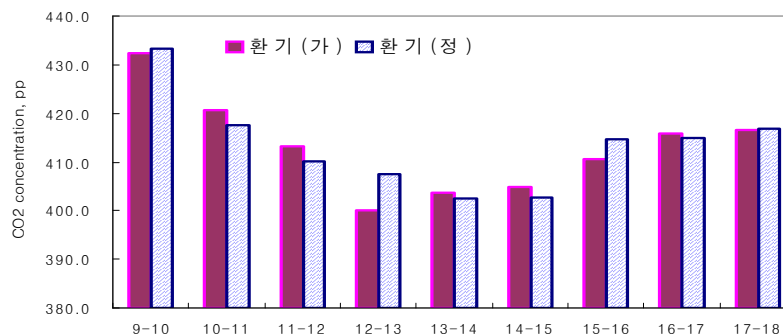


그림 14. 대합실(B3F) 시간대별 환기시스템 가동 유무에 따른 CO₂농도 비교

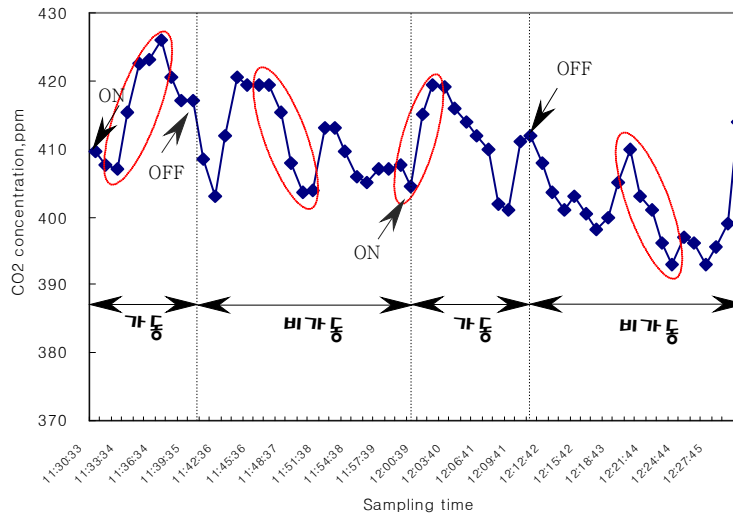


그림 15. 승강장(B5F) 환기시스템 가동 유무에 따른 CO₂농도 비교

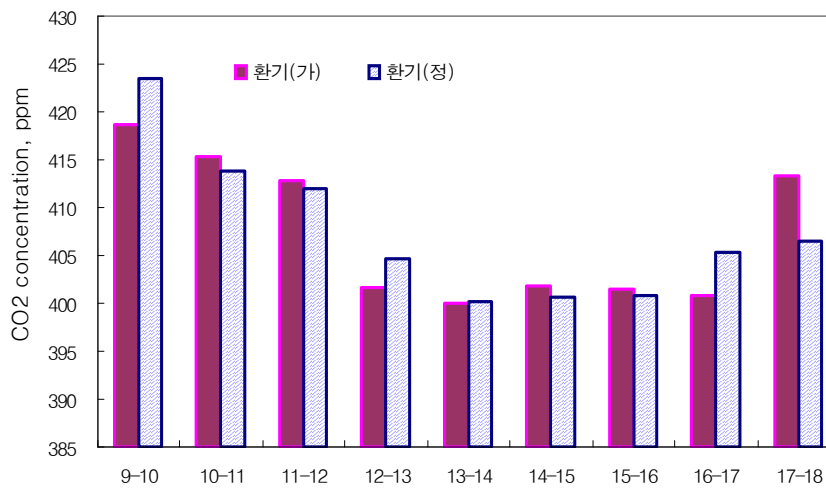


그림 16. 승강장(B5F) 시간대별 환기시스템 가동 유무에 따른 CO₂농도 비교

(2) 열차풍

대합실(B3F)에서의 환기시스템 가동 시에도 이산화탄소 농도가 상승하여 전동차 진·출입 시 발생하는 열차풍 으로 인한 영향이 적은 것으로 나타났다.

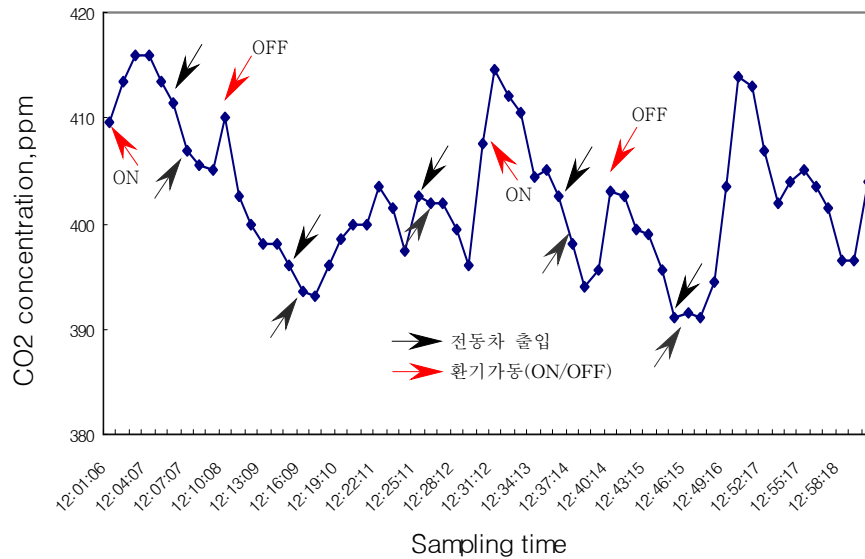


그림 17. 전동차 진·출입과 환기시스템 가동 시 CO₂농도 비교.

3) 기타요인

(1) 습도

전동차 내에서의 출·퇴근 및 점심시간대 습도와 이산화탄소 농도 간 상관성을 분석한 결과 출근 시 $R^2=0.9594$, 점심 $R^2=0.8828$, 퇴근 시 $R^2=0.7887$ 로 나타났다.

또한 역사 내 층별 습도와 이산화탄소 농도 간 상관성을 분석한 결과 대합실(B1F) $R^2=0.1131$, 대합실(B3F) $R^2=0.1344$, 승강장(B5F) $R^2=0.3926$, 외기 $R^2=0.5384$ 로 나타났다.

따라서, 전동차의 경우 습도와 이산화탄소 농도는 상관성을 나타내고 있고, 역사의 경우 승강장과 외기만 상관성을 나타낸다.

표 5. 시간대별 전동차 내 CO₂농도와 습도의 관계

역명	출근		점심		퇴근	
	CO ₂ (ppm)	습도(%)	CO ₂ (ppm)	습도(%)	CO ₂ (ppm)	습도(%)
관암	621.9	43.8	539.0	44.2	673.2	47.3
신흥	539.9	42.2	474.8	43.8	609.2	47.2
대동	601.8	42.6	474.2	44.1	650.2	47.7
대전	620.8	43.0	483.9	44.3	702.9	48.0
중앙로	686.2	43.9	511.2	44.7	806.4	48.6
중구청	748.2	44.5	563.7	45.1	985.2	49.6
서대전네거리	782.0	44.9	618.1	45.3	1177.7	51.0
오룡	825.9	44.5	659.8	45.8	1341.2	51.7
용문	872.0	45.8	679.0	45.7	1404.0	51.4
탄방	917.6	46.3	669.9	45.5	1389.7	51.2
시청	964.9	46.8	684.5	45.5	1365.8	50.6
정부청사	970.8	46.7	652.5	45.0	1204.0	49.1
정부청사	981.8	46.4	724.8	46.1	793.8	46.4
시청	837.1	45.2	624.8	45.2	758.1	46.3
탄방	861.1	45.4	685.3	45.5	905.2	47.7
용문	902.2	45.7	792.3	46.1	1131.1	49.4
오룡	973.1	46.0	817.9	46.0	1294.4	50.5
서대전네거리	1034.8	46.7	854.4	46.2	1338.9	50.6
중구청	1079.9	47.3	876.9	46.5	1418.3	51.1
중앙로	1077.8	47.2	893.4	46.8	1461.3	51.3
대전	1060.7	47.2	856.8	46.7	1366.0	49.8
대동	992.3	46.6	716.5	45.4	1193.7	49.1
신흥	829.3	45.3	604.0	44.3	934.1	46.7
관암	734.3	44.7	565.1	44.2	785.1	46.2

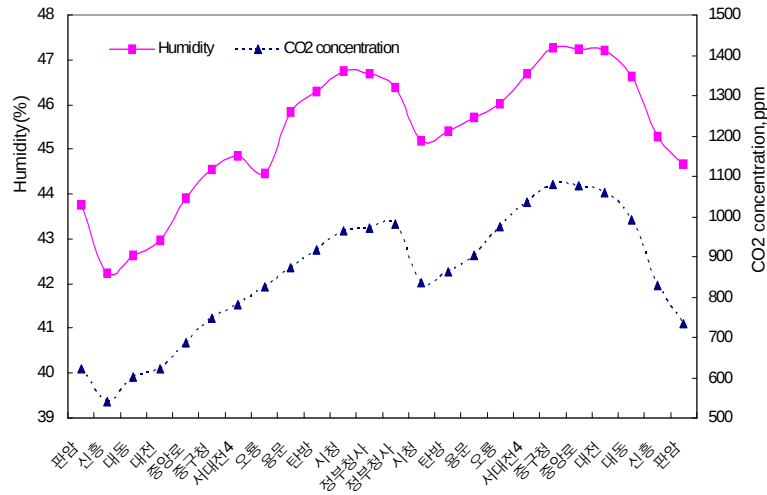


그림 18. 출근시간대 CO₂농도와 습도의 비교.

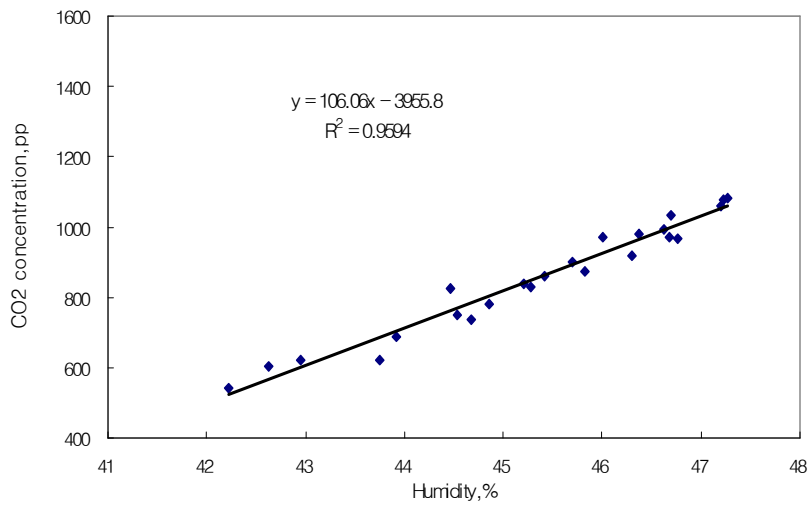


그림 19. 출근시간대 CO₂농도와 습도의 상관관계.

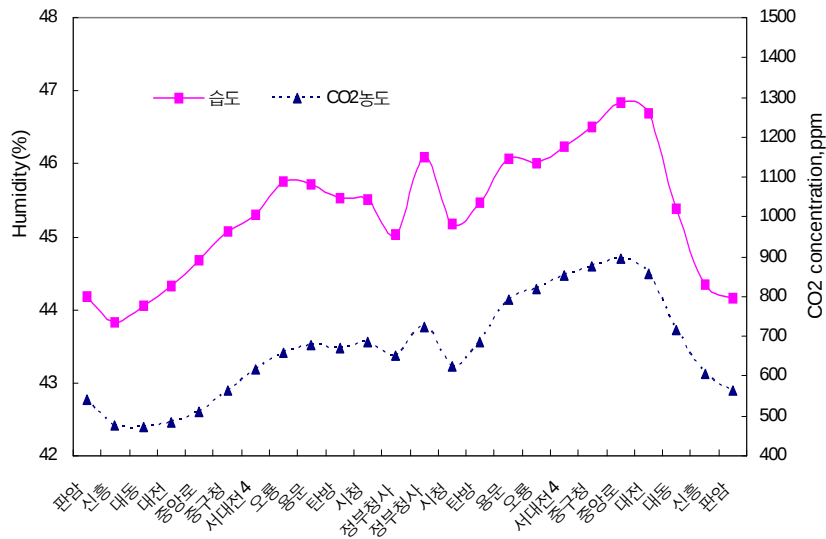


그림 20. 점심시간대 CO₂농도와 습도의 비교.

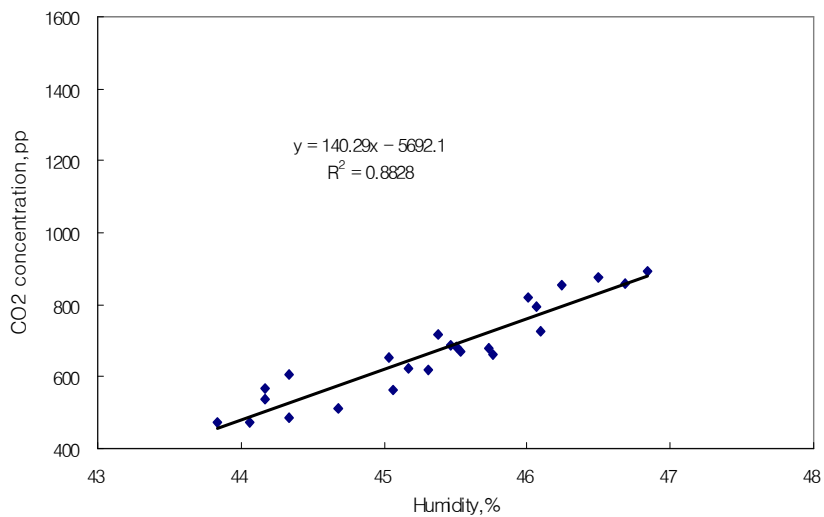


그림 21. 점심시간대 CO₂농도와 습도의 상관관계.

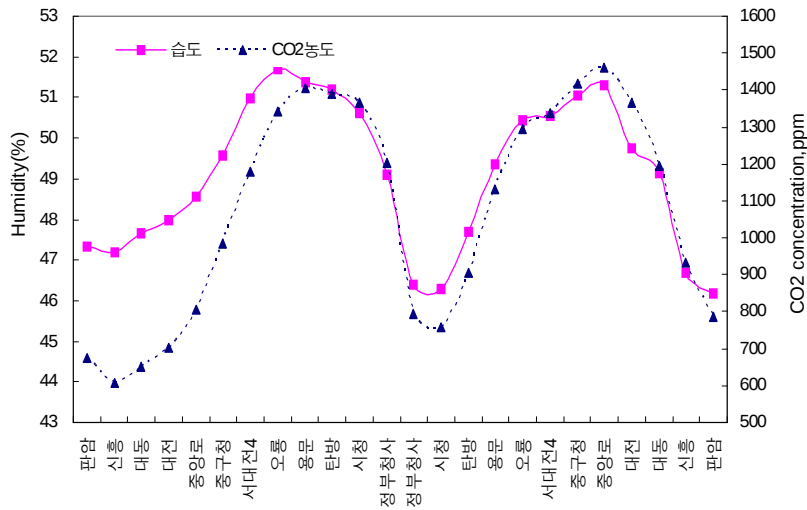


그림 22. 퇴근시간대 CO₂농도와 습도의 비교.

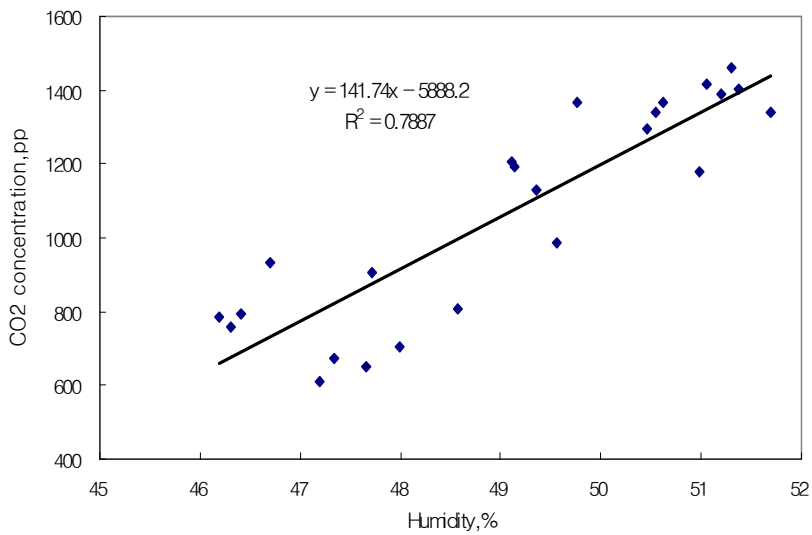


그림 23. 퇴근시간대 CO₂농도와 습도의 상관관계.

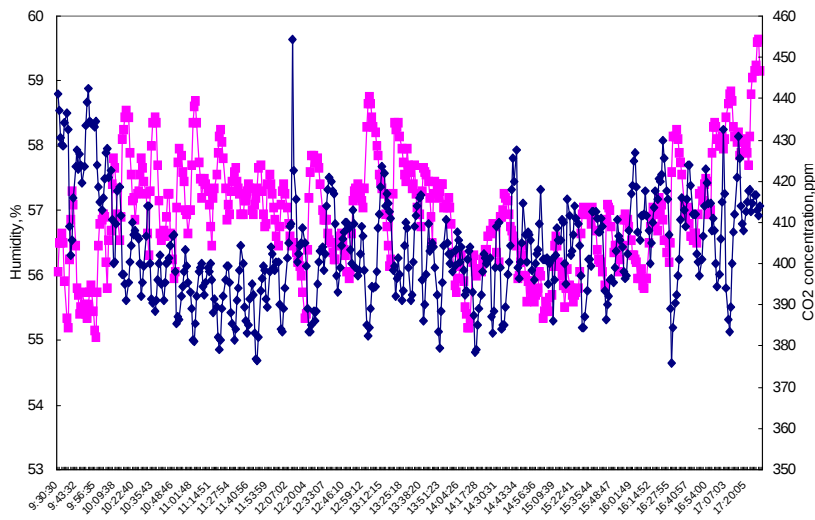


그림 24. 대합실(B1F) CO₂농도와 습도의 비교.

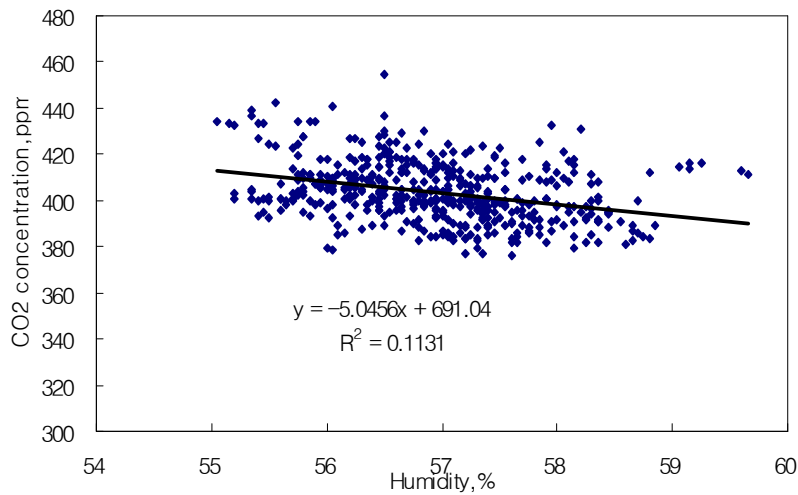


그림 25. 대합실(B1F) CO₂농도와 습도의 상관관계.

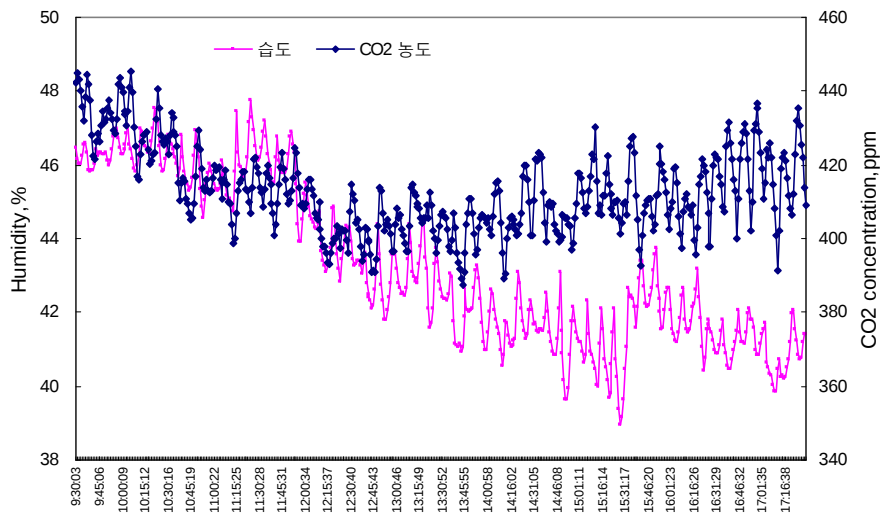


그림 26. 대합실(B3F) CO₂농도와 습도의 비교.

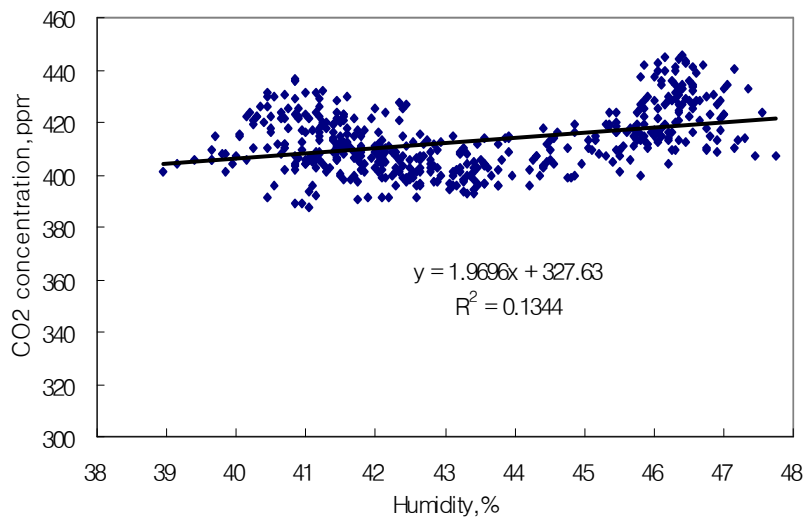


그림 27. 대합실(B3F) CO₂농도와 습도의 상관관계.

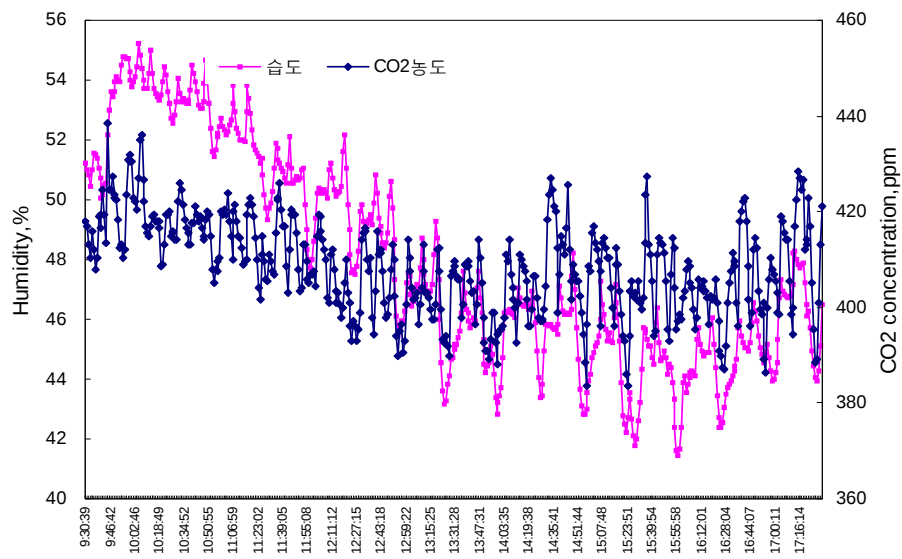


그림 28. 승강장(B5F) CO₂농도와 습도의 비교.

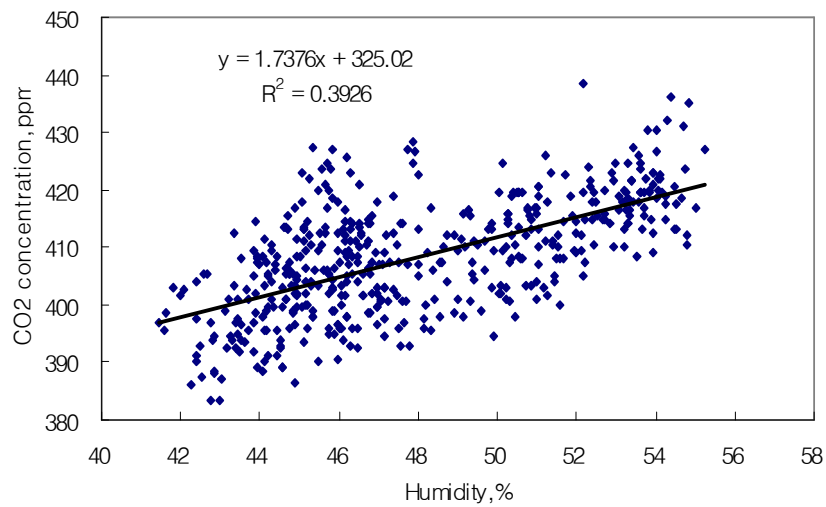


그림 29. 승강장(B5F) CO₂농도와 습도의 상관관계.

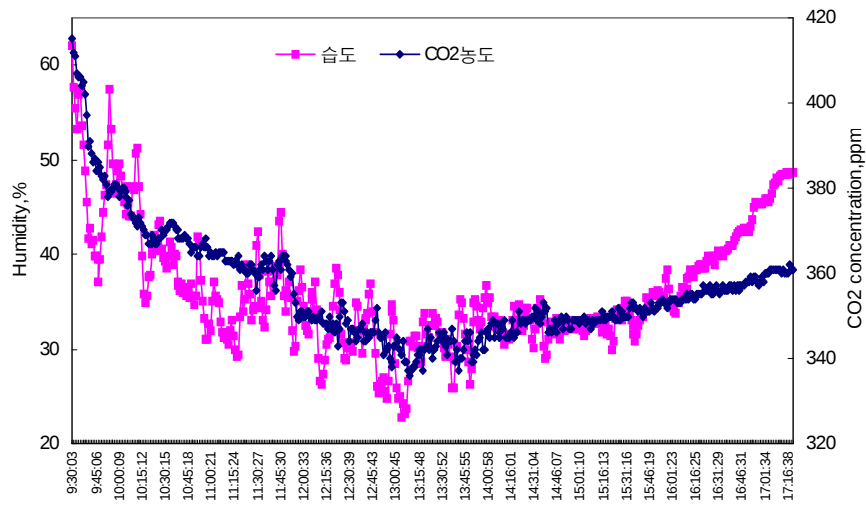


그림 30. 외기(Outdoor) CO₂농도와 습도의 비교.

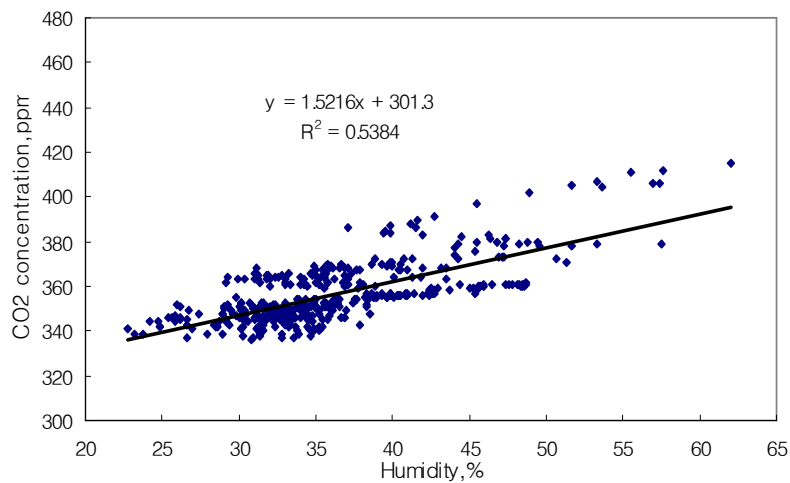


그림 31. 외기(Outdoor) CO₂농도와 습도의 상관관계.

(2) 시간대별 도어 열림 시와 닫힘 시 CO₂농도 비교

전동차의 경우 환기방식이 차량 내 공기를 순환시켜 환기시키거나, 역에 도착하여 전동차 출입문이 개방(14~16초)되었을 때 역사내 공기가 유입되어 환기가 된다.

출근시간대 도어 열림 시 이산화탄소 평균농도는 $841.8 \pm 161.1\text{ppm}$, 도어 닫힘 시 $846.8 \pm 163.9\text{ppm}$, 점심시간대 도어 열림 시 이산화탄소 평균농도는 $665.2 \pm 130.5\text{ppm}$, 도어 닫힘 시 $663.3 \pm 132.7\text{ppm}$, 퇴근시간대 도어 열림 시 이산화탄소 평균농도는 $1068.3 \pm 301.6\text{ppm}$, 도어 닫힘 시 $1070.5 \pm 295.5\text{ppm}$ 으로 나타났다.

표 6. 출근시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 전동차 내 CO₂농도 (ppm)

측정시간(hr)	출근	
	열림	닫힘
07:58 ~ 08:00	632.6	602.1
08:00 ~ 08:02	527.3	528.2
08:02 ~ 08:04	578.3	595.1
08:04 ~ 08:06	610.0	608.2
08:06 ~ 08:08	659.5	669.4
08:08 ~ 08:09	710.2	726.8
08:09 ~ 08:11	763.2	764.6
08:11 ~ 08:13	778.3	827.0
08:13 ~ 08:15	856.0	852.8
08:15 ~ 08:17	911.3	896.8
08:17 ~ 08:19	929.3	942.6
08:19 ~ 08:21	961.3	944.8
08:21 ~ 08:26	901.7	968.8
08:26 ~ 08:28	848.3	833.9
08:28 ~ 08:29	841.8	864.8
08:29 ~ 08:31	886.7	905.1
08:31 ~ 08:34	943.5	979.7
08:34 ~ 08:35	1009.8	1040.3
08:35 ~ 08:37	1050.8	1087.2
08:37 ~ 08:39	1088.3	1075.5
08:39 ~ 08:41	1050.8	1063.1
08:41 ~ 08:43	1034.0	985.0
08:43 ~ 08:45	893.2	818.3
08:45 ~ 08:47	736.8	742.1

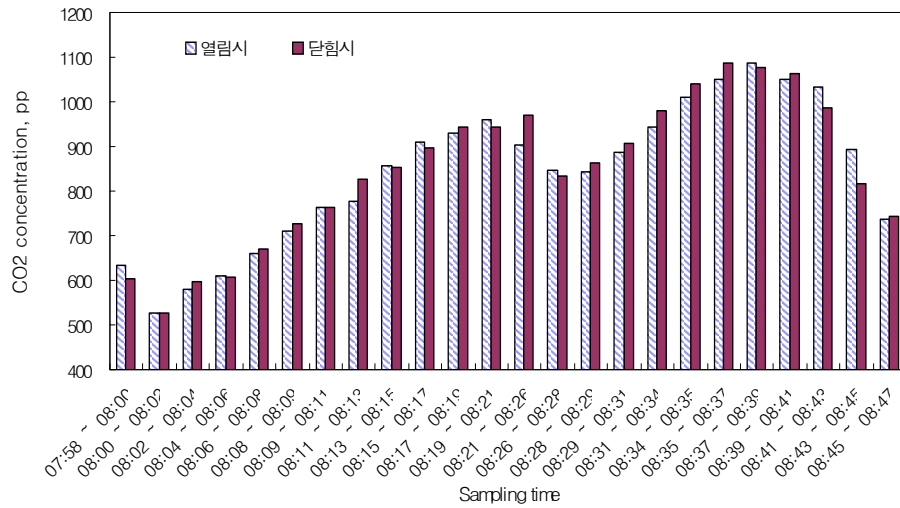


그림 32. 출근시간대 도어 열람 시와 단합 시 CO₂ 농도비교.

표 7. 점심시간대 도어 열람 시와 단합 시 전동차 내 CO₂농도 (ppm)

측정시간(hr)	점심	
	열람	단합
12:58 ~ 13:00	564.3	492.7
13:00 ~ 13:02	466.3	476.2
13:02 ~ 13:04	476.5	473.7
13:04 ~ 13:06	476.3	473.0
13:06 ~ 13:08	503.3	513.2
13:08 ~ 13:09	550.3	566.8
13:09 ~ 13:11	616.2	618.5
13:11 ~ 13:13	646.7	662.1
13:13 ~ 13:15	690.2	676.8
13:15 ~ 13:17	674.0	669.0
13:17 ~ 13:19	672.7	686.7
13:19 ~ 13:21	669.4	647.4
13:21 ~ 13:27	653.7	676.7
13:27 ~ 13:29	619.5	626.1
13:29 ~ 13:30	641.7	693.2
13:30 ~ 13:32	757.7	798.6
13:32 ~ 13:35	819.0	817.6
13:35 ~ 13:36	823.7	861.2
13:36 ~ 13:38	877.8	876.7
13:38 ~ 13:40	885.0	895.2
13:40 ~ 13:42	887.7	850.4
13:42 ~ 13:44	784.5	704.8
13:44 ~ 13:46	644.2	596.2
13:46 ~ 13:48	565.0	565.4

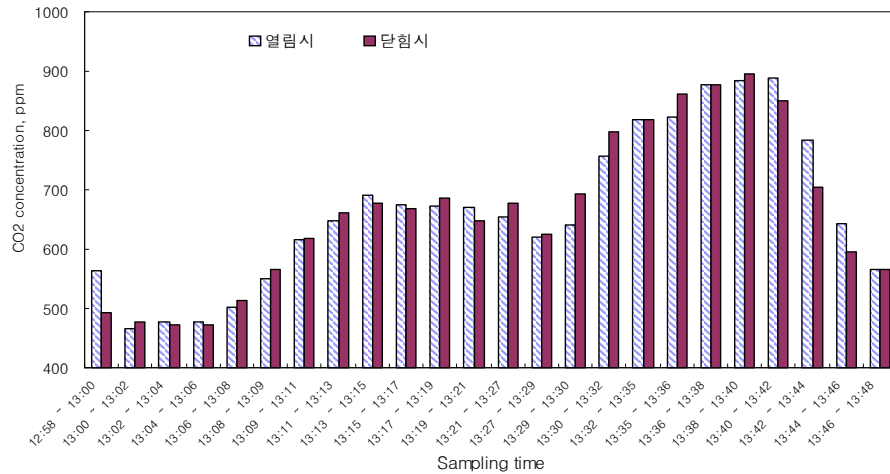


그림 33. 점심시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 CO₂ 농도비교.

표 8. 퇴근시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 전동차 내 CO₂농도 (ppm)

측정시간(hr)	퇴근	
	열림	닫힘
18:04 ~ 18:06	699.3	640.5
18:06 ~ 18:08	607.0	609.4
18:08 ~ 18:10	624.2	656.0
18:10 ~ 18:12	680.0	708.0
18:12 ~ 18:14	752.0	820.0
18:14 ~ 18:15	902.5	1003.0
18:15 ~ 18:17	1119.2	1190.7
18:17 ~ 18:19	1282.7	1351.8
18:19 ~ 18:21	1375.3	1409.2
18:21 ~ 18:23	1402.8	1386.4
18:23 ~ 18:25	1416.3	1355.7
18:25 ~ 18:27	1307.1	1181.4
18:27 ~ 18:33	829.4	769.6
18:33 ~ 18:35	735.0	763.8
18:35 ~ 18:36	834.5	918.4
18:36 ~ 18:38	1038.5	1147.9
18:38 ~ 18:41	1258.5	1302.3
18:41 ~ 18:42	1321.3	1342.8
18:42 ~ 18:44	1391.2	1425.1
18:44 ~ 18:46	1442.3	1465.6
18:46 ~ 18:48	1455.8	1377.1
18:48 ~ 18:50	1301.3	1175.8
18:50 ~ 18:52	1045.0	912.6
18:52 ~ 18:54	818.9	778.7

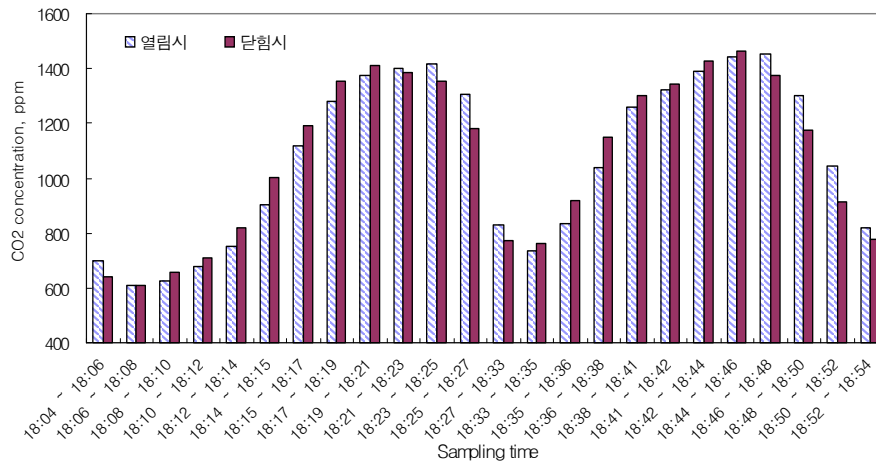


그림 34. 퇴근시간대 도어 열림 시와 닫힘 시 CO₂ 농도비교.

3. 승차인원이 CO₂증가에 미치는 영향분석

전동차 내 이산화탄소는 승객 호흡으로 인하여 발생한다. [그림 12]에서 보면 승객수의 변화와 이산화탄소 농도 변화가 역사로는 3개역, 시간차는 약 5분 나타났다.

아래 [그림 35] 퇴근시간대 역별로 탑승한 승객 수 변화에 따른 이산화탄소의 농도에 대하여 단순회귀분석 결과 $R^2=0.0846$ 이었다.

[그림 36]의 경우 시간차를 고려한 전동차 내 이산화탄소 농도에 대하여 단순회귀분석 결과 $R^2=0.8835$ 로 나타났다. 따라서 승객수가 증가하면서 시간이 지날수록 이산화탄소 농도는 증가하고 승객수가 감소하면 이산화탄소 농도도 감소한다.

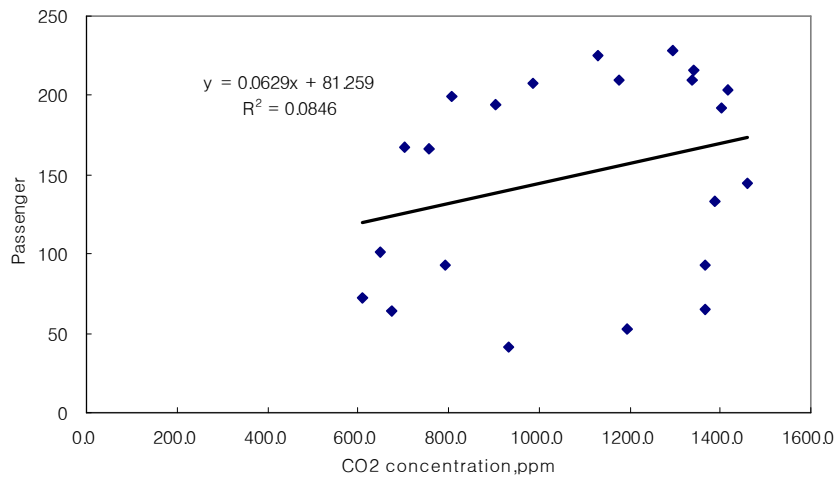


그림 35. 퇴근시간대 승객수와 CO₂농도 비교.

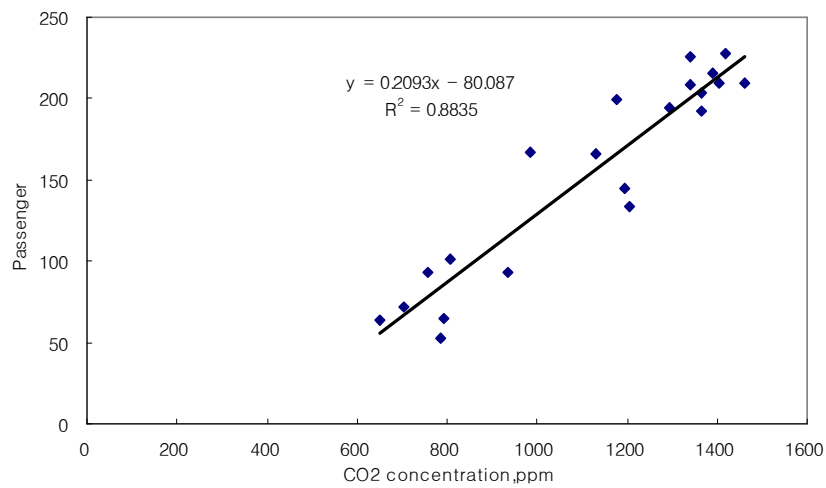


그림 36. 퇴근시간대 시간차를 고려한 승객수와 CO₂농도 비교.

IV. 결 론

대전도시철도 1호선을 대상으로 실내공기오염의 중요한 지표인 이산화탄소를 역사와 전동차 내에서 측정한 결과를 분석하였으며 다음과 같다.

1. 대전시 지하철 전동차 내 이산화탄소의 전체 평균농도는 $864.0 \pm 260.7 \text{ppm}$ 으로 환경부의 ‘다중이용시설등의 실내공기질관리법’에서 정하고 있는 다중이용시설내의 이산화탄소 농도 기준인 1,000ppm을 초과하지 않는 것으로 조사되었다.

2. 측정시간대별로 나타난 대전시 지하철 전동차 내 이산화탄소의 경우 지하철을 이용하는 승객수가 증가하는 출·퇴근시간대인 오전(854.8ppm), 저녁(1070.4ppm)이 승객수가 감소되는 승객이 비교적 적은 시간대인 점심(667.6ppm)보다 더 높게 나왔으며, 이는 전동차내의 승객수의 수는 이산화탄소 농도 변화에 크게 기여하고 있음을 알 수 있다.

3. 역사의 경우 강제 환기 방식을 이용한 환기스케줄 운전에 의해 환기를 시키므로 환기시스템 가동유무에 따른 이산화탄소 농도변화, 전동차 진·출입 시 발생하는 열차풍을 조사 하였으나, 관계가 적은 것으로 판단되었다.

4. 전동차 내 승객수와 이산화탄소 농도의 상관성을 보면 승객수가 많을수록 이산화탄소 농도가 높은 것으로 나타났고, 또한 습도와의 상관성에서도 관계가 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 송희봉, 신동철, 황승만, 박연준, 홍성희, 문영훈, 백성옥 : 대구지역 지하철 역사의 실내공기질 특성평가, 대한환경공학회지, 21(9): 1673-1688, 1999.
2. 건설교통부, 한구건설기술연구원 : 지하철 구간의 환경관리방안 및 오염도 저감에 관한 연구, 2002.
3. 서울특별시 지하철공사 지하공기오염 저감방안에 관한 연구, 2003.
4. 이희관, 김신도 : 모델링을 이용한 지하역사내 공기질 관리방안에 관한 연구, 대한환경공학회추계학술대회, 591-596, 2003.
5. 조영민, 박덕신 : 객차의 공기질 현황 및 쾌적성 연구, 한국대기환경학회 춘계학술대회, 225-257, 2004.
6. 박화미, 노영만, 이철민, 김윤신, 박동선, 장봉기, 원영재 : 서울시 지하철 객차내에서의 이산화탄소 농도조사, 한국실내환경학회지, 3(1): 8-15, 2006.
7. 환경부 : 지하철등 대중운송수단의 실내공기질 실태조사 및 관리방안, 2006.

ABSTRACT

Study on Evaluation of Air Quality using a parameter of CO₂ concentrations inside of the Subway and the Subway Stations in the Line 1 in Daejon City

Youn, Yeo Woon

Major in Industrial Hygiene Engineering

Department of Industry and Health Engineering

Graduate School of Occupational Safety and Health

Hansung University

This study was conducted to evaluate indoor air quality by measuring CO₂ concentrations inside the subway vehicle and in the subway station in the subway line 1 in Daejon city from October 11 to 25, 2006.

The results of this study were as follows.

1. Geometric mean of CO₂ concentration inside the subway vehicle was 864 ± 260.7 ppm that was below the indoor air quality standard of 1000 ppm for CO₂ set by the Korean Ministry of Environment.

2. It shows 1070.4 ppm of CO₂ concentration in the afternoon

(18:00~20:00) which the highest concentration level. It was believed that the number of passengers was increased. The CO₂ concentration was 854.8 ppm in the morning(7:00~9:00) and 667.6 ppm in the day time(12:00~14:00).

3. It was found that there was a statistical correlations between CO₂ concentrations and the number of passengers.

4. No statistical correlations were found between CO₂ concentration and the variables such as ventilation system on-off schedule, strong wind induced by the train, and out-door CO₂ concentrations.