

地下 電鐵區間의 汚染物質 測定에 關한 研究

A Measurement of the Air Pollution Substances in Subway

○ 김 기 훈* 양 치 용** 박 수 진** 이 언 구***
Kim, Ki-Hoon Yang, Chi-Yong Park, Soo-Jin Rhee, Eon-Ku

Abstract

The purpose of this study is to analyze the subway environment by measuring temperature, humidity, PM-10, carbon dioxide. The measurement is performed in whole subway lines in Seoul, line No.1 through Line No.8. The results of this study can be summarized as follows. (1) The increase of temperature in subway lines is caused by heat generated by various train equipments and fraction rather than people. (2) The concentration range of PM-10 is between 0.14~0.2mg/m³, and the value is related to people movement and outdoor air input. (3) The concentration of carbon dioxide is below the standard.

키워드 : 지하철, 오염물질, 측정

Keywords : Subway, Pollution Substance, Measurement

1 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

인구의 도시집중화에 따른 교통문제는 현대 도시가 당면한 대표적인 문제로서 토지 이용효율을 높이기 위한 지하공간의 활용은 필연적이다. 특히 지하철은 지상교통이 복잡해짐에 따라 효율적으로 공간을 이용할 수 있다는 장점이 있어 국내 대도시에서는 보편화되어 있는 교통수단이다.

국내의 경우에도 지하철은 40% 이상의 높은 수송분담율을 기록하는 대표적인 교통수단으로 정착되어 일평균 400만명 이상이 이용하고 있다.

그러나 최근에는 지하철 환기시설의 노후화 및 환기관련 대책의 미흡으로 인해 오염물질이 지하공간에 축적되고 실외 오염공기가 지하로 유입되는 등 지하철 내부의 공기질이 심각하게 악화되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 지하 전철구간에 있어서 열차의 이동과 이용객의 활동에 따른 오염물질의 농도를 측정함으로써 서울시 지하철 구간의 전반적인 공기환경 현황을 파악하고자 하였다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 먼저 지하공간의 오염물질에 대한 기본이론을 기존의 자료를 토대로 조사하고, 다음으로 실제 지하철구간에서의 오염물질을 측정하였다.

조사단계에서는 지하철 환경을 열환경과 공기환경으로 구분하여 지하철 실내환경에 영향을 미칠 수 있는 여러 인자에 대하여 조사하였다.

측정단계에서는 서울지역 1~8호선 지하철 전 구간을 대상으로 열환경 및 공기환경에 주된 오염원이 될 수 있는 PM-10, CO₂ 및 온·습도를 측정하였다.

2. 지하철 환경의 오염인자에 관한 고찰

2.1 열환경

(1) 지하 전철구간의 열적 특성

지상의 일반건물과 비교해 보았을 때 지하에 건설되는 지하 전철구간의 열적 특성은 다음과 같다.

- 일사의 영향을 직접적으로 받지 않는다.
- 열차운행에 따른 시간대별 발생부하의 변화가 크다.
- 지중에 건설되므로 연중온도가 안정상태다
- 외기의 유입과 배기에 의해 열이동이 생긴다.
- 열차풍에 의한 열이동이 발생한다.

이상의 특성에 따라 지하 전철구간은 다양한 요소로 인한 열취득 혹은 손실이 발생하게 되며, 세부적인 열취득 및 손실요소를 정리하면 표 1과 같다.

표1. 지하철 냉방시 열취득과 손실의 주요요소

열취득요소	열손실요소
<ul style="list-style-type: none"> • 차량운행에 따른 전력 소비 • 차량내부 공조를 위한 냉방기의 배열 • 외기유입에 따른 현열성분 • 이용승객과 직원들의 인체열 	<ul style="list-style-type: none"> • 주위의 토양과 지하수로 전도되는 열 • 물의 증발에 따른 잠열성분 • 배기에 따른 현열성분 • 냉방장치에 의한 실내 열제거

* 정희원, 중앙대 대학원 건축학과 박사과정

** 정희원, 중앙대 대학원 건축학과 석사과정

*** 정희원, 중앙대 건축학과 교수, 건축학박사

(2) 발생열의 구성

열차운행시 발생하는 열은 차량의 종류, 선로조건, 운행과 운전 조건등에 따라 달라지게 된다. 열차발생열의 구성요소는 표2와 같다.

표2. 열차발생열의 구성 요소

종류	에너지원	발생열원	발열시각
열차저항열	전기, 운동위치	차량의 바퀴, 궤도, 전동기어, 차체의 표면, 공기	주행시
역행손실열	역행손실열	주전동기, 제어기기, 집전선	주행시
제동열	제동열	차량바퀴, 주전동기, 제어기기	제동시
보조기기열	전기	전기동력발전기, 공기압축기, 냉방기, 난방기, 환풍기, 조명	주행,역행,제동,정지
인체열	신체대사	승객,승무원,지하철근로자	

(3) 온열환경의 변화

지하철 개통초기에는 실내의 발생열이 지중에 축열될 수 있는 축열용량이 확보됨에 따라 냉방시설 없이도 쾌적한 공간이 유지될 수 있다. 그러나 사용기간이 경과함에 따라 승객의 증가와 열차 운행횟수의 증가, 지하수 개발에 의한 지하수위의 저하, 지하수맥의 단절과 터널내 축열에 의한 지하수의 고갈, 도시의 에너지 소비의 증가에 의한 공해 등의 이유로 지하철 역사와 터널의 온열환경은 악화되어 승객들에게 불편감을 주게 된다.

2.2 공기환경

지하 전철구간의 공기는 지하철 내에서 발생하는 오염물질과 오염된 외부공기의 유입에 의해 오염되며, 오염된 실내공기는 승객들의 건강을 해치고 불편감을 유발시킨다. 지하 전철구간의 공기를 오염시킬 수 있는 대표적인 오염물질에는 PM-10 및 CO₂를 들 수 있다.

(1) 분진

미세 먼지인 PM-10은 대기오염물질 중 입자크기 10µm이하인 먼지의 농도를 말하며, 크게 외부에서 유입되는 분진과 지하철 내부에서 발생하는 분진으로 분류할 수 있다.

오염물질들은 대부분 바닥에 가라앉은 후 실내기류의 이동에 따라 공중으로 부유하게 되며, 이 부유먼지는 실내공간에서 제2의 오염원으로서의 역할을 하게 된다.

표3. 지하철의 분진발생원

발생원	오염원
외기도입	· 먼지,꽃가루
승객	· 신발,피복에서 먼지발생, 피부의 비듬발생
열차	· 장시간 사용한 윤활유에서 유기물 발생 · 모터의 부러위에서 흑연분진 발생 · 전력가공선에서 철분발생 · 차체표면에 의한 먼지 유입

1) 차길현, 지하철의 열차풍이 승강장내 공기환경에 미치는 영향에 관한 연구. 한양대학교 석사논문 p3-21

(2) 이산화탄소(CO₂)

이산화탄소는 대기중의 기본성분으로서 인간의 호흡과 연소과정으로부터 배출되며, 청정상태의 공기중에 약 350 ppm이 존재한다. 실내오염 물질로서의 CO₂는 인간의 활동정도에 비례하므로 실내공기의 환기상태를 평가하는 대표적인 지표로 이용된다.

3. 지하철 구간의 환경측정

3.1 측정개요

(1) 측정구간

서울시 지하철 공사의 제 1기 지하철(1~4호선)과 도시철도공사의 제 2기 지하철 (5~8호선, 6호선은 미개통)을 대상으로 온습도, PM-10, CO₂의 농도를 측정하였다.

표4. 측정 대상구간

호선	전체	지상	지하	구 간	지상구간 역사	
1호선	9	-	9	청량리→서울역	-	
2호선	43	11	32	순환노선	성수, 건대입구, 구의, 강변, 신림, 신대방, 구로공단, 대림, 당산, 한양대, 독섬	
3호선	30	1	29	구과발 → 수서	옥수	
4호선	26	5	21	당고개→남태령	동작, 창동, 노원, 상계, 당고개	
5호선	A	43	-	43	방화 → 상일동	-
	B	8	-	8	마천 → 강동	-
7호선	19	1	18	건대입구→장암	도봉산, 장암	
8호선	17	-	17	암사 → 모란	북정-남한산성	

* 6호선 미개통

(2) 측정기기 및 위치

대상구간의 온·습도, PM-10, CO₂를 측정하기 위한 기기 및 위치는 표5와 같다.

표5. 측정기기 및 위치

항목	기기	측정위치
온습도	Thermo Recoder RH-TR-72S	열차 내에 탑승하여 열차 창을 통하여 외부와 연결된 센서 및 튜브를 차내의 측정기에 연결하여 터널 및 승강장의 온·습도를 동시 측정
PM-10	DUSTTRAK (Model 8520, TSI)	
CO ₂	GASTEC CO·CO ₂ DETECTOR	

(3) 측정방법 및 기간

측정은 연구자가 지하철에 탑승하여, 전동차 중앙부분 (5번째 칸)의 선반 위에 측정기기를 설치하는 방법으로 이루어졌다. 기기와 연결된 측정센서는 지하철 창문을 통하여 지하철 외부차체에 설치하였으며, 지하철 이동에 따른 전구간의 승강장과 터널의 현황을 직접 측정하였다.

측정의 정확성을 높이기 위하여 기기의 ON/OFF 시간 및 각 역의 도착시간과 출발시간을 기록하였으며, 두 세트

의 기기를 양 측에 설치하여 자동기록계에 10초간격으로 저장한 후 두 값을 평균하여 분석하였다.

본 측정은 2000년 7월 20일부터 7월 24일까지 주말을 제외한 3일간에 걸쳐 수행하였다.

표6. 서울시 지하철환경 측정 일자

날 짜	시 간	호 선
7. 20 (목)	14:06:44 ~ 14:34:13	7호선
	17:19:15 ~ 18:39:05	2호선
7. 21 (금)	10:28:56 ~ 11:15:20	4호선
	12:41:50 ~ 13:01:30	1호선
	15:41:05 ~ 16:40:11	3호선
7. 24 (월)	10:21:10 ~ 11:33:05	5호선 A
	12:32:54 ~ 12:46:47	5호선 B
	14:54:40 ~ 15:25:08	8호선

3.2 측정결과 및 분석

(1) 온·습도

1호선은 측정 전구간이 지하에 위치하고 있음에 따라 온도 32~34℃, 습도 50~60%의 비교적 고른 분포를 보였다. 2호선은 평균온도는 32~34℃, 습도는 50~65%의 분포를 보였고, 지상구간에서도 별다른 차이가 나타나지 않았다. 3호선의 평균온도는 28~33℃, 습도는 60~70%인 것으로 나타났으며, 4호선은 온도 27~32℃, 습도 65~85%의 분포를 보였다. 5호선 A구간은 평균온도 23℃, 습도 50~55%로 노선들 중 유일하게 쾌적범위 내에 포함되는 것으로 나타났다. B구간의 평균온도는 26℃로 다른 구간에 비해 낮은 분포를 보였으나, 습도는 75~90%로 높은 분포를 나타냈다. 7호선의 경우는 모든 역의 온도분포가 25~30℃의 범위를 나타내었으며 습도는 60~85% 범위로 나타났으며, 8호선은 온도 25~30℃ 범위, 습도는 50~80% 범위로 나타났다. 5호선의 온도가 다른 구간에 비해 낮은 이유는 공조시설이 미비한 타구간에 비해 5호선 구간은 공조시설을 완비하여 지속적인 공조냉방을 하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

또한, 지상역사 구간과 지하역사 구간의 온습도는 거의 차이가 없었는데, 이는 지하철 내부에서의 발열로 인한 온도상승 때문으로 판단되며, 이러한 결과로부터 지하철 역사의 심도가 온도변화에는 큰 영향을 주지 못함을 알 수 있었다. 그림1. 온 심도깊이와 온도변화의 관계를 나타낸다.

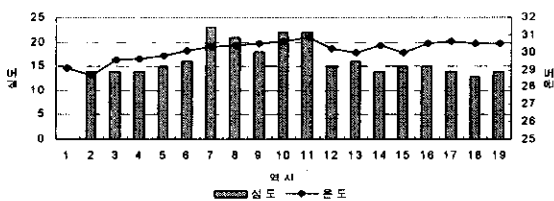


그림1. 심도에 따른 온도 변화

환승역과 같이 사람들이 집중되는 장소에서는 인체발열에 의한 온도상승이 예상되었으나, 이 또한 역사의 온도상승에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 지하철 역사의 온도상승은 지형의 영향이나 승객의 인체발열보다는 열차 주행시 차량의 바퀴, 궤도, 전동기어 차체의 표면, 공기 등에서 발생하는 열차의 저항열과, 주전동기, 제어기기, 집전선에서 발생하는 역행 손실열, 열차 제동시 차량의 바퀴, 주전동기, 제어기기에 의해 발생하는 제동열들이 더욱 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 또한 전기동력발전기, 공기압축기, 냉방기, 난방기, 환풍기, 조명등에서 발생하는 보조기기열에 의한 온도상승도 원인이 될 수 있으리라 판단된다.

(2) PM-10

PM-10의 농도변화는 전동차가 승강장에서 출발하면서 증가하다가 터널 중간부터 감소하여 다음 승강장에 도착하면 거의 최저수준을 보이는 경향을 거의 모든 호선의 승강장과 터널에서 일정하게 보이고 있다. 이는 전동차가 일정한 양의 분진을 터널 내에서 승강장으로, 승강장에서 터널 내부로 이동시키는데, 터널내의 단면적이 승강장의 단면적보다 상대적으로 작기 때문에 농도치가 높아진 때문으로 판단된다.

1호선 PM-10의 경우 종각역~서울역의 일부구간을 제외한 거의 모든 구간에서 기준치인 0.15mg/m³을 넘는 평균 0.18mg/m³의 농도를 나타내었으며 최대치는 0.227mg/m³으로 동대문역~종로5가역의 구간에서 나타났다.

2호선 PM-10은 평균 0.1126mg/m³로서 전체적으로는 기준치보다 낮은 양호한 상태인 것으로 분석되었으나 방배역~사당역 구간 0.241mg/m³, 서울대입구역~신림역구간 0.22mg/m³, 이대입구역~시정역구간 0.237mg/m³ 등으로 일부 구간에서는 높은 농도치를 보이고 있다. 반면 건대입구역~성내역, 신대방역~대림역의 지상구간은 평균 0.057mg/m³의 낮은 농도치를 보였다.

3호선 PM-10은 평균 0.217mg/m³으로 노선들 중 가장 높은 농도를 보이고 있다. 구과발역~연신내역, 경복궁역~안국역의 일부 구간을 제외한 거의 모든 구간에서 기준치 0.15mg/m³을 넘고 있으며 특히 을지로3가역~학여울역의 구간은 평균 0.267mg/m³의 높은 농도치를 보이고 있어 이 구간에 대한 오염도가 심각한 것으로 분석되었다. 최고치는 교대역에서 0.376mg/m³으로 나타났다.

4호선 PM-10은 평균 0.167mg/m³으로 비교적 양호한 농도분포를 보였다. 최대 농도치는 이수역~동작역구간에서 0.328mg/m³로 나타났는데 이 구간이 지상구간과 연결되는 구간임에도 불구하고 농도치가 높은 이유는 이수교차로에서 고가도로를 설치하는 공사가 진행중이기 때문인 것으로 판단된다.

5호선A 구간의 PM-10은 평균 0.147mg/m³으로 전구간이 비교적 고르게 양호한 것으로 나타났으며, 송정~우장산,

오목교~여의도, 충정로~서대문, 청구~답십리의 일부 터널구간에서 0.2mg/m³ 정도로 기준치보다 다소 높은 수치가 나타났다. 5호선 B구간도 평균 0.149mg/m³로 전구간이 기준치보다 낮은 양호한 상태를 보인 것으로 나타났다.

7호선 PM-10은 평균 0.1129mg/m³으로 태릉입구의 0.174mg/m³, 수락산역 이후 0.2mg/m³의 수치를 제외하고 전구간에서 기준치 보다 낮은 양호한 상태인 것으로 나타났다. 수락산역에서 수치가 갑자기 높아진 이유는 7호선 수락산역이 1호선 수락과의 환승역이기 때문인 것으로 사료된다.

8호선 PM-10은 평균 0.153mg/m³으로 잠실~송파구간의 0.21mg/m³의 수치를 제외하고, 전구간에서 기준치 정도의 양호한 상태인 것으로 나타났다.

전 노선에서 PM-10의 농도치가 가장 높은 곳은 3호선 교대역에서 0.376mg/m³인 것으로 나타났으며 이는 2호선과의 환승역인 관계로 유동인구가 많은 것이 원인인 것으로 사료된다. 평균 분진농도가 가장 높은 곳은 3호선구간인 것으로 나타났는데 이는 3호선이 구파발에서 시내를 관통하여 분당까지 연결하는 장거리 노선임에도 지상구간이 옥수역~압구정역의 한구간 밖에 없기 때문에 외기의 영향이 상대적으로 적고, 또한 이용객의 수가 많은 것이 이유라고 판단된다.

(3) CO₂

지하철 1~8호선 전구간의 CO₂ 값은 지하 공기질기준인 1000ppm 미만으로 나타났으며, 따라서 지하철내의 CO₂ 값은 양호한 수준인 것으로 나타났다.

1호선 CO₂는 평균 414.17ppm으로 나타났으며, 동대문역~종로3가역에서 476 ppm으로 최고치를 보였는데, 이는 동대문 승강장이 환승역이며, 또한 재래시장이 인접한 관계로 사람들의 활동이 활발하여 혼잡이 심한 곳이기 때문인 것으로 사료된다.

2호선 평균CO₂는 483.92ppm으로, 지하구간(평균 476.65ppm)보다 지상구간(평균535.13ppm)에서 상대적으로 높게 나타났다. 특히 신대방~충정로의 구간은 평균 551.427ppm의 높은 농도를 보였다.

3호선 평균 CO₂는 515.97 ppm으로 다소 높게 나타났으며, 가장 높은 구간은 신사역~잠원역의 구간과 교대역, 남부터미널역, 도곡역~대치역구간에서 600ppm으로 나타났다. 최저치는 연신내역~불광역에서 360ppm으로 나타났다.

4호선 평균CO₂는 599.7ppm으로 지하철 구간중 가장 높은 평균치를 나타내었고, 최대값은 충무로역에서 782ppm, 동대문역에서 769ppm으로 나타났는데 이는 이 두 역이 환승역인 관계로 유동인구가 많은 것이 원인인 것으로 판단된다.

5호선 구간의 평균CO₂는 A구간에서 332.7ppm, B구간에서 296.77ppm으로 다른 호선과 비교하여 비교적 낮은 농도를 나타내었다. 7호선 CO₂는 평균 449.765ppm의 농도를 보였고, 중계역~마들역구간에서 494.130ppm의 상대적으로

다소 높은 농도를 보였다.

8호선 CO₂는 평균 270.786ppm으로 지하철 노선구간중 가장 낮은 수치를 나타내었으며 최대치는 몽촌토성~잠실역구간에서 372ppm으로 나타났다.

표7. 서울시 지하철 오염측정 결과(PM-10, CO₂, 온도, 습도,)

호선	평균 온도·습도	평균 PM-10 (mg/m ³)	PM-10 최고·최저(mg/m ³)		평균CO ₂ (ppm)
			최고	최저	
1호선	34℃ 50~60%	0.18	0.227	동대문~종로5가	414.17
	0.114		시청~서울역		
2호선	33℃ 50~65%	0.1126	0.241	방배~사당	483.92
	0.034		구의~강변		
3호선	28~33℃ 60~70%	0.217	0.376	교대	515.97
	0.074		구파발~연신내		
4호선	27~32℃ 65~85%	0.167	0.328	이수~동작	599.7
	0.108		숙대~서울역		
5호선	A 23℃ 50~55%	0.147	0.21	천호~강동	332.7
			0.07	영등포시장~신길	
	B 26℃ 75~90%	0.149	0.149	개봉~오금	
			0.06	거여	
7호선	25~30℃ 60~85%	0.1129	0.174	떡골~태릉입구	449.765
	0.05		면목~상봉		
8호선	25~30℃ 50~80%	0.153	0.21	잠실~석촌	270.786
	0.09		암사		

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 지하철역사는 대부분 지하에 위치하고 있으므로 이론상 여름철의 경우 지상보다 온도가 낮아야 함에도 불구하고 지상·하의 온도차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 지하철역사 온도 상승의 주된 원인이 지형(심도깊이)이나 이용자들의 인체열에 의한 것이 아니라 열차저항열, 제동열, 보조기기열등의 영향인 것으로 판단되며, 이를 줄이기 위한 냉방설비 등의 대안이 필요할 것으로 판단된다.
- (2) PM-10의 전반적인 분포범위는 0.14~0.2mg/m³로 나타났으며, 유동인구가 많은 환승역에서 높은 농도치를 나타냈다. 또한 외기의 유입여부와도 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.
- (3) CO₂의 농도치는 전반적으로 기준치보다는 낮은 양호한 상태인 것으로 나타났다.

본 연구에서 분석된 자료를 바탕으로 차후 지하철 공기질 오염의 주된 원인과 문제점 확인 및 개선술 위한 대안 연구가 이루어질 예정이다.

참고문헌

1. 서울시립대학교 외, 지하 전철구간의 환경관리방안 및 오염도 저감에 관한 연구-1차년도 중간보고서, 건설교통부, 2000.
2. 차길현. 지하철 열차풍이 승강장내 공기환경에 미치는 영향에 관한 연구. 한양대학교 석사논문, 1995.
3. 김종태. 서울시 지하철 승강장내 기류오염에 관한 연구. 숭실대학교 석사논문, 1990.