

지하역사 내 스크린도어 설치에 따른 미세먼지 농도 저감 효과

○ 김인원¹, 김조천², 김서진¹

건국대학교 화학공학과¹, 환경공학과²
E-mail : inwon@konkuk.ac.kr

1. 서론

사회가 발전하고 도심지역 인구유입이 급속도로 증가함에 따라 대중교통의 이용이 중요시되고 있다. 많은 사람들이 버스와 지하철 등의 대중교통을 이용하는데, 특히 지하철의 경우 상대적으로 정체 시간이 짧고 저렴하여 수요가 큰 대중교통 수단이다. 지하철은 거의 대부분이 지하 터널로 이동한다는 지리적 여건 때문에 자연환기가 쉽게 이루어지지 않아 공기오염도를 낮추기 위한 노력이 계속되고 있다.¹⁾ 이에 서울시내 D역사에서 3년간 측정한 공기질 데이터를 바탕으로 플랫폼 스크린도어(Platform Screen Door, PSD)가 지하역사의 공기질에 미치는 영향에 대해 연구하였다.

1) 서울시 실내공기질 관리현황²⁾

서울시에서는 표 1과 같이 기준을 정하여 실내공기질을 관리하고 있다. 이 중 미세먼지(PM)와 이산화탄소, 포름알데히드, 일산화탄소는 표 1의 a와 같이 유지기준을 설정하여 이 농도를 초과할 시에는 개선명령과 과태료부과가 시행되며, 상대적으로 실내에서 위험도가 적은 이산화질소와 라돈, 휘발성 유기화합물, 석면, 오존은 표 1의 b와 같이 권고기준을 설정하여 2년에 한 번씩 그 농도를 조사하고

있다. 특히 미세먼지는 대기에서의 권고기준이 연간 평균 농도 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 최근에 들어 위험성이 점차 대두되고 있으며, 미국 등에서는 그 기준을 점차 강화하고 있는 실정이다. 서울시에서도 이러한 문제점을 인식하고 있으며, 지하의 공기질 개선을 위해 여러 방면으로 노력하고 있다.

표 1. 실내공기질 기준

(a) 유지기준(년 1회)

구분	항목	PM	CO ₂	HCHO	CO	총 부유세균
유지 기준	기준치 (단위)	140 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,000 (ppm)	100 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9 (ppm)	해당 없음

(b) 권고기준(2년 1회)

구분	항목	NO ₂	라돈	휘발성 유기화합물	석면	O ₃
권고 기준	기준치 (단위)	0.05 (ppm)	4.0 (pCi/l)	500 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.01 (개/cc)	0.06 (ppm)

그러한 노력들 중 첫째로, 그림 1과 같이 지하철 승강장에 스크린도어를 설치하였으며, 2009년 말 서울시내 289개 전 역사에 스크린도어가 설치되었



(a) 스크린도어 설치전



(b) 스크린도어 설치후

그림 1. 스크린도어 설치



(a) 에어클리너 설치전



(b) 에어클리너 설치후

그림 2. 고성능 에어클리너 설치

다. 스크린도어는 열차풍에 의해 발생하는 불쾌감 해소 및 전동차 운행시 발생하는 소음저감을 목적으로 설치되었으며, 이용시민에게 보다 쾌적한 공간을 제공하고 있다. 실제로 한 연구에서 스크린도어의 설치로 인해 소음이 25~31% 감소되었다는 결과를 발표했으며, 불쾌감 유발을 근본적으로 감소시켰다고 평가하였다.³⁾

다음으로 그림 2와 같이 고성능 에어클리너를 설치하고 있다. 역사 및 터널 외기 도입부 환기구에도 고성능 공기여과 장치를 추가로 설치하여 미세먼지 농도 저감에 기여하고 있으며, 현재 역사 냉방공사와 병행하여 지속적으로 추진 중에 있다.

또한, 미세먼지 발생요인 중 하나인 자갈 및 철로의 마모를 방지하기 위해 그림 3과 같이 자갈도상을 콘크리트 도상으로 교체하여 터널 내 공기질

개선에 기여하고 있다.

이와 더불어 환기구 설비에도 노력을 기울이고 있는데, 자연환기가 쉽게 되지 않는 지하의 위치적 여건을 극복하기 위해 환기 송풍기를 교체하고 공기 여과장치 교체 및 신설 등 역사 내의 환기용량을 증대시키기 위한 노후환기설비 개량 공사가 이루어지고 있다. 환기를 할 때에 외부의 공기를 유입하고 터널내의 공기를 외부로 유출하게 되는데, 지상에 가까운 공기보다 높은 곳의 공기일수록 공기가 깨끗하기 때문에, 그림 4와 같이 환기구 높이를 높여서 양질의 공기를 지하역사로 유입하기 위한 공사를 진행 중이다. 이에 일부지역에서는 상인들이 광고효과 저하 등을 이유로 반대하여 공사가 지연되고 있으나, 여러 가지 방법을 검토하여 지속적으로 공사를 추진하고 있다.



(a) 도상개량 전



(b) 도상개량 후

그림 3. 콘크리트 도상 개량



(a) 조형화 인상전



(b) 조형화 인상후

그림 4. 환기구 조형화인상



(a) 분진 흡인차 운영



(b) 고압살수차 운영



(c) 역사 물청소

그림 5. 미세먼지 제거를 위한 운영

이러한 여러 가지 공사들 이외에 쾌적한 환경을 위해 다양한 방법으로 청소를 하고 있는데, 그림 5와 같이 분진 흡인차 운영과 고압살수차 운영, 역사 물청소가 그 예이다. 지하철을 운행하지 않는 새벽 시간대에 이러한 청소 작업을 수행하고 있으며, 분

진 흡인차의 경우 터널 및 역사 내의 각종 오염물질 및 미세먼지 제거, 고압살수차의 경우 터널 및 궤도 시설에 고착된 먼지와 부유분진을 제거하여 지하 환경 개선 및 미세먼지 제거에 크게 기여하고 있다.



그림 6. 밀폐형 스크린도어



그림 7. 반밀폐형 스크린도어



그림 8. 개방형 스크린도어

2) 승강장 스크린도어

승강장 스크린도어는 최근 서울시에서 전 역사에 설치되어 가동되고 있으며, 각 역사의 특징에 맞게 설비되었다.

스크린도어는 1987년 싱가포르에서 처음으로 지하철에 사용되기 시작하였으며, 가장 큰 이용 목적은 승객의 추락 및 전동차 접촉 방지 등의 안전을 위한 것이었다. 하지만 이 밖에도 역무원 인력의 절감, 열차의 무인 운전 가능, 승객 유동성 향상 및 고속 통과 운전 가능 등의 효율성 증가와 차량 강풍 방지와 방음·방진 효과를 통한 승강장의 쾌적성 유지, 열차 화재 시 방연 효과, 역 환기탑 및 기계실의 축소 가능 등 여러가지 효과를 보이고 있다.

스크린도어에는 밀폐형, 반밀폐형, 개방형의 세 종류가 있다. 밀폐형 스크린도어는 그림 6과 같으며 대부분의 지하역사에 이용된다. 이러한 완전밀폐형 스크린도어의 경우 초기투자비와 유지관리비가 높다는 단점이 있지만, 열차주행소음 및 기계적인 환기 소음의 차단과 공조효율 향상에 가장 적합하다.

그림 7의 반밀폐형과 그림 8의 개방형 스크린도어의 경우 지상역사에 이용되는 것으로 완전밀폐형에 비해 초기투자비가 낮다는 장점이 있다. 이러한 종류의 스크린도어는 열차풍과 소음 차단보다는 이용승객의 안전 확보가 가장 큰 목적이며 공조 시스템은 부가적으로 가동되지 않는다. 표 2에 각 스크린도어의 종류에 따른 목적과 장·단점 등을 나타내었다.

표 2. 스크린도어 형식에 따른 분석⁴⁾

구분	완전밀폐형	반밀폐형	난간형
목적	이용승객의 안전 확보, 열차 진출입시 승무원의 업무경감, 공조효율 향상과 열차풍 완전 차단	이용승객 안전 확보, 열차 진출입시 승무원의 업무 경감, 열차풍의 일부 차단	이용승객 안전 확보, 열차 진출입시 승무원 감시업무 경감
장점	열차주행소음 및 기계적인 환기소음 차단, 승강장의 공기질 및 쾌적성 향상	열차주행소음 및 기계적인 환기소음 일부 차단	초기투자비 저렴
단점	초기투자비 증대, 유지관리비 증대	초기투자비 증대, 유지관리비 증대	열차주행소음 및 기계적인 환기소음 차단 불가
적용	지하정거장	지상정거장	지상정거장
공조시스템	가동	비가동	비가동
시공성	구조적강화, 천장마감	구조적강화, 천장마감 없음	외부 환경 요인 영향 우려

표 3. 사고(장애포함)발생 통계 현황⁹⁾

연 도 별		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
철도 사고	총 돌	-	-	-	-	-	-	-
	탈 선	-	-	-	-	-	1	-
	화 재	-	-	1	-	-	-	-
	기 타	-	-	-	-	-	-	-
	소 계	-	-	1	-	-	1	0
여객 교통 사상사고(명)		37	26	32	22	26	23	18
합 계		37	26	33	22	26	24	18
운 행 장 애		7	8	5	8	6	4	5
열차주행거리(천km)		21,635	21,642	21,535	19,201	18,761	18,928	19,012

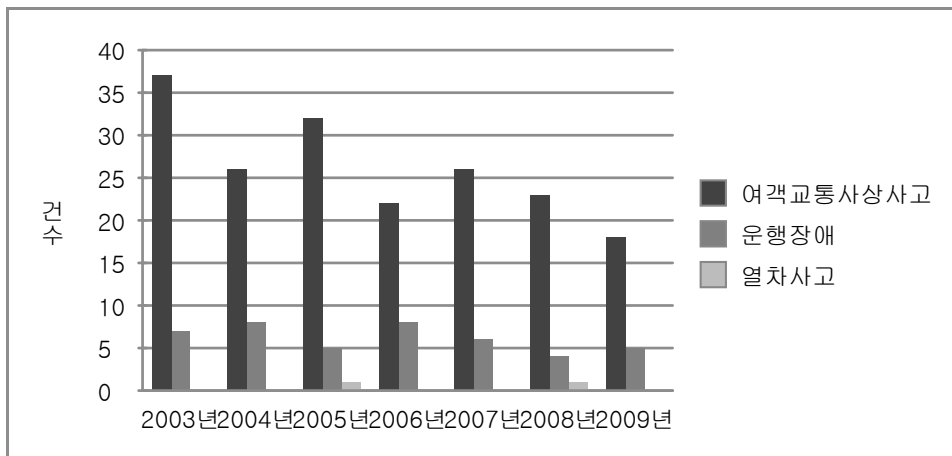


그림 9. 연도별 사고 발생현황 추이

서울시는 지속적으로 스크린도어를 설치한 결과, 2009년 말에 서울 지하철 1~8호선 265개 모든 역사와 9호선 24개역 등 289개 역에서 스크린도어가 설치되어 정상 가동 중이라고 밝혔다. 이 덕분에 서울 지하철에서 월 평균 4~6 건에 이르던 사상사고가 한 건도 발생하지 않았다고 한다.⁹⁾ 이는 표 3에도 나타나 있으며 철도사고 중 여객교통 사상사고가 꾸준히 감소하고 있음을 알 수 있고 그림 9의 그래프에서 6년 사이에 50% 가량 감소했음을 확인할 수 있다. 또한 스크린도어는 미세먼지와 소음 감소 등

환경 면에서도 효과를 발휘하고 있다고 밝혔다.

3) 미세먼지의 위험성

그렇다면 서울시에서 이렇게 관심을 가지고 제거를 위해 노력하는 미세먼지란 무엇이고 어떤 요인에 의해서 발생하며 인체에 어떤 영향을 미치는지 살펴보아야 할 것이다.

미세먼지란 것은 사람의 눈에 보이지 않을 정도로 가늘고 작은 먼지 입자로 PM10의 경우 지름이

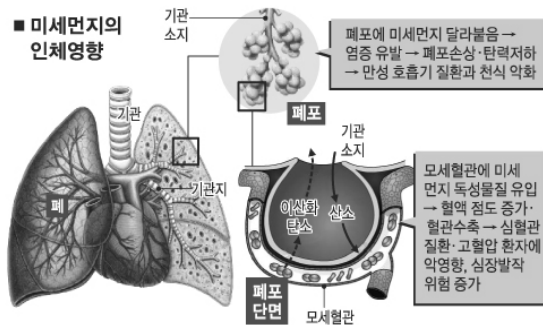


그림 10. 미세먼지가 인체에 미치는 영향

10 μ m 이하이다. 실내에 부유하는 미세먼지 발생원인은 차량에서 발생한 미세먼지가 외부에서 들어오거나 사람 몸에 묻어 들어오는 것이 대부분이며, 담배연기에 의해서나 지하터널에서 철로와 자갈의 마모 등에 의해 발생하게 되는 것이다.

이러한 미세먼지는 사람의 폐포까지 깊숙하게 침투해 기관지와 폐에 쌓이게 되며 각종 호흡기 질환의 직접적인 원인으로 몸의 면역 기능을 떨어뜨린다. 또한 대기 중에 부유하면서 빛을 흡수, 산란시키

기 때문에 시야를 악화시키기도 하고, 식물의 잎 표면에 쌓여 광합성 동화작용, 호흡작용과 증산작용 등을 저해하여 식물 성장에도 악영향을 미친다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 모세혈관에 미세먼지 독성 물질이 유입될 경우 각종 심혈관 질환을 유발한다.⁷⁾

미세먼지 입자의 크기가 작을수록 더 위험하다고 판단되고 있으며, 인체에 유해하다는 것을 보이는 연구 결과가 계속해서 발표되어 그 위험성은 실로 심각하다고 할 수 있다. 따라서 미세먼지를 줄이기 위한 노력이 대기와 실내 모두에서 이루어지고 있으며, 그 효과가 점차 나타나고 있다.

2. 공기질 측정현황

서울시에서는 그림 11과 같이 에어코리아 웹사이트(www.airkorea.or.kr)에 27 곳 측정소에서 대기 중 각종 오염물질의 농도를 측정하여 계산한 통합 대기환경지수(CAI)를 실시간으로 보여주고 있다. 측정하는 물질은 SO₂, PM10, O₃, NO₂, CO 다섯 가지이며, 각 물질의 농도가 속하는 영역으로 점수를 계산하여 민감군영향 수치를 초과하면 초과한 물



그림 11. 대기오염도실시간공개시스템 (www.airkorea.or.kr)



(a) 승강장에 설치된 TMS 측정기



(b) 대합실에 설치된 TMS 측정기

그림 12. D역에 설치된 TMS 측정기

질의 수에 따라 가산점을 주게 되고, 이렇게 계산된 값을 통합대기환경지수(CAI)라 한다. 통합대기환경지수는 각 측정소에서의 대기 오염 정도를 나타내는 것이라고 할 수 있고, 각 등급을 색깔로 구분하여 시민들은 한눈에 쉽게 파악할 수 있게 되어있다.

서울시의 대기질 뿐만 아니라 지하역사 내의 공기질 측정 또한 이루어지고 있는데, 승강장과 대합실에 설치된 TMS 측정기의 사진을 그림 12에 나타내었다. 서울메트로에서 특정 역사 몇 곳에 TMS 측정기를 설치하고 NO, NO₂, NO_x, 승강장의 PM10과 PM2.5, 대합실의 PM10과 PM2.5, CO, CO₂, 온도, 습도를 실시간으로 측정하여 공기질 제어를 위한 노력을 기울이고 있다.

3. 서울시 대기질 변화

서울시 27 곳 측정소 중 H동의 최근 3년간 측정 데이터를 대상으로 각 오염물질의 농도 변화를 확인하였다. H동을 선정한 이유는 상업지구에 속하는 곳이라 인구의 유동이 많고 대기오염 물질의 변화에 민감할 것이라고 판단했기 때문이며, 또한 분석할 지하역사로 선정한 D역과 가장 가까운 위치에 있는 측정소이기 때문이다. 각 물질의 3년간 농

도 변화량을 표 4에 나타내었다.

SO₂는 2008년에 약간 증가하였으나 2009년에 크게 감소하였다. 하지만 SO₂의 권고기준은 연간평균 0.02ppm이하로, 측정된 농도는 그보다 훨씬 낮아 안전한 범위에 해당됨을 알 수 있다. NO₂는 약 2.7% 씩 감소하였으며, CO는 2008년에 감소하였으나 2009년에 다시 증가하였다. CO의 권고기준은 1시간 평균 농도 25ppm 이하, 8시간 평균 농도 9ppm 이하인데, 최근 3년간 H동의 CO농도는 0.10ppm도 채 되지 않아 안전한 범위에 속하는 것을 알 수 있다. 반면 O₃는 3년간 약 11.1% 증가하였다. O₃의 권고기준인 8시간 평균 농도 0.06ppm 이하, 24시간 평균 농도 0.10ppm 보다는 측정 농도가 낮아 아직 위험한 수치는 아니지만 오존층 파괴로 인해 오존 농도가 계속 증가하고 있기 때문에 이에 대한 대책이 필요할 것이다.

PM10의 경우에는 2008년에 전년에 비해 12%가량 감소하였고 2009년에는 1.9% 증가하였다. PM10의 농도가 크게 감소하였음에도 불구하고 그 수치가 권고기준인 연간 평균 농도 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 넘는 약 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도인 것을 봤을 때 그 문제가 심각하다고 할 수 있다.

실제로 미세먼지가 인체에 매우 유해한 성분이

표 4. 측정물질의 농도 변화 추이

	2007년	2008년	2009년
SO ₂ (ppm)	0.0076	0.0080	0.0068
	5.26% 증가		15.00% 감소
NO ₂ (ppm)	0.037	0.036	0.035
	2.70% 감소		2.78% 감소
CO (ppm)	0.729	0.629	0.691
	13.72% 감소		9.86% 증가
O ₃ (ppm)	0.018	0.019	0.020
	5.56% 증가		5.26% 증가
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	59.10	51.98	52.97
	12.05% 감소		1.90% 증가

라는 연구 결과가 계속해서 발표되고 있으며, 각 나라에서 미세먼지 농도 기준을 강화하고 있는 실정이다. 다른 측정 오염물질들이 그 기준치보다 한참 낮은 것에 비하면 PM10의 농도의 위험성은 매우 큰 것이다.

이것은 3년간의 통합대기환경지수(Comprehensive Air Index, CAI)를 살펴봐도 알 수 있다. 그림 13에서 H동의 측정변수별 민감군 영향력을 살펴보면 PM10이 56%로 가장 대기오염에 큰 영향을 미치고 있으며, NO₂가 40%, O₃가 3% 미만의 영향을

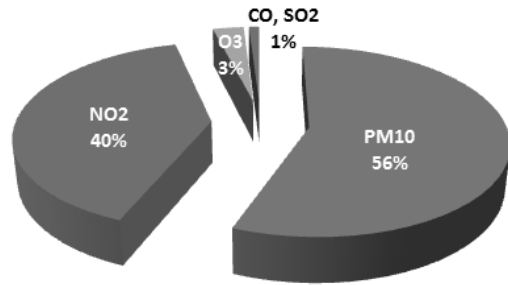
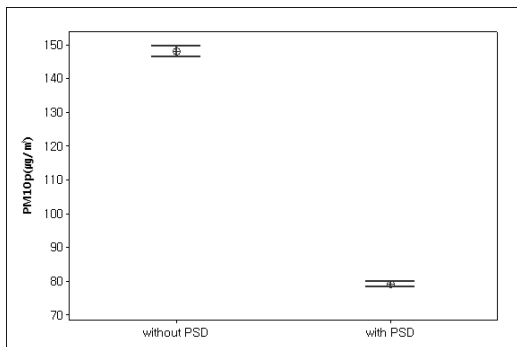


그림 13. H동의 측정변수별 민감군 영향력 ('07~'09)

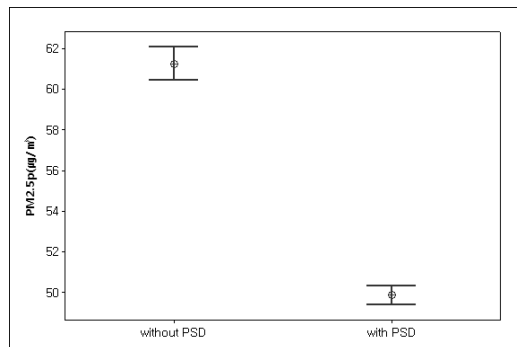
미치고 있다. 이는 통합대기환경지수를 나타내는 기준치 중 PM10의 24시간 평균 농도가 민감군 영역인 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상인 횟수가 가장 많음을 보여주며, 미세먼지의 위험성을 보여주는 또 하나의 결과라고 할 수 있다.⁸⁾

4. 스크린도어 설치 후 미세먼지 농도 변화

지하역사는 H동과 약 800m 떨어진 D역을 대상으로 하였다. H동의 대기질 변화와 비교하여 D역사의 미세먼지 농도 변화를 확인하였으며, D역사는 2007년 12월부터 스크린도어가 가동된 곳으로



(a) 승강장 내 PM10 농도 변화



(b) 승강장 내 PM2.5 농도 변화

그림 14. 스크린도어 설치전후의 승강장 미세먼지 농도 구간그림

표 5. 스크린도어 설치전후의 승강장 미세먼지 농도 변화

	PM10				PM2.5			
	N	평균	표준편차	SE평균	N	평균	표준편차	SE평균
PSD 설치전	5105	148.1	57.3	0.80	5105	61.3	29.9	0.42
PSD 설치후	15188	79.2	53.0	0.43	15188	49.9	29.5	0.24
T-값	75.70				23.63			
P-값	0.000				0.000			
차이의 95% CI	(67.162, 70.630)				(8.48, 13.94)			

*N : 데이터의 수; SE평균 : 표본평균의 표준오차(Standard Error); CI : 신뢰구간(Confidence Interval);

스크린도어가 지하역사 내의 미세먼지 농도의 감소에 영향을 미쳤는지 확인하였다. 그림 14와 표 5에서 보이듯이 승강장의 PM10 농도는 148 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 47% 감소하였고, 승강장의 PM2.5 농도는 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 18% 감소하였다. 이는 H동의 대기 중 미세먼지 농도가 약 10% 가량 감소한 것에 비해 매우 큰 수치이며 스크린도어가 지하역사 승강장에서의 미세먼지 농도 저감에 효과가 있음을 보여주는 결과이다.

통계학적 가설검정 방법인 2표본 t검정을 수행해보면 이것이 통계학적으로 유효하다는 것을 알 수 있는데⁹⁾, 표 5의 차이의 95% 신뢰구간(Confidence Interval, CI) 값을 확인해보면 PM10과 PM2.5 모두 0을 포함하고 있지 않아 두 값이 같지 않다는 가설을 채택하게 되며, 두 값이 다르다는 통계학적 결론을 내릴 수 있다. 또한 계산된 T-값이 각각 75.70과 23.63으로 기각역인 1.96 (t(0.025,20291)보다 크기 때문에 가설 채택을 뒷받침 하는 근거가 된다.

따라서 스크린도어 설치 전과 후의 미세먼지 농도가 같지 않다는 가설이 성립되며 P-값이 0.05보다 작은 0.000으로 가설을 채택할 수 있는 근거가 되므로, 스크린도어의 가동이 미세먼지 농도 변화에 영향을 주었음을 확인할 수 있다.

이러한 결과는 다변량통계분석 방법의 하나인 주성분분석 결과에서도 알 수 있다. 주성분분석은 다량의 변수를 몇 개의 차원으로 축소시켜 데이터 정보의 대부분을 파악하는 방법으로,¹⁰⁾ 본 연구에서는 전체 데이터의 69.83%를 나타내는 두 개의 축을 설정하였다.

그림 15에서 볼 수 있듯이 스크린도어 설치 전과 설치 후의 데이터 경향이 다르게 나타나고 있다. 오른쪽의 ▼ 표시가 스크린도어 설치 전의 데이터이고 왼쪽의 * 표시가 스크린도어 설치 후의 데이터이며, 타원은 각 데이터의 95% 신뢰구간을 나타낸다. 이것은 데이터의 경향이 다르기 때문에 전반적으로 구분되는 모습을 보이고 있는 것이며, 스크린도어의 설치가 D역사 승강장에서의 미세먼지 농도를 변화시켰다는 것을 알 수 있다.

앞서 밝힌 스크린도어 설치전후 승강장에서의 미세먼지 농도 평균 변화량과 주성분분석 결과를 종합해보면, 스크린도어 가동을 기점으로 미세먼지 농도 양상에 변화가 생겼으며, PM10 농도와 PM2.5 농도가 각각 47%, 18% 감소하였기 때문인 것으로 보인다.

따라서 스크린도어가 열차풍을 막아 승강장의 미세먼지 농도 감소 효과를 일으켰다는 것을 알 수 있다.

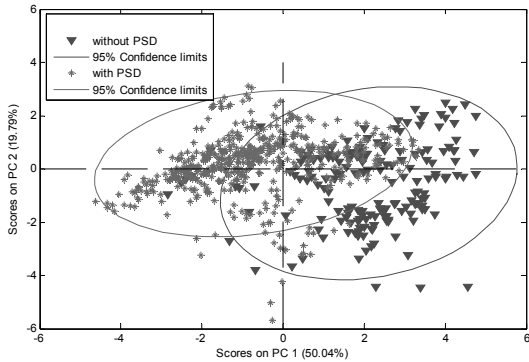


그림 15. 주성분분석 결과 Scores Plot

또한 D역사의 스크린도어 가동시기에 해당하는 2008년과 2009년의 측정데이터를 최근 한 연구에서 제안한 통합실내공기질지수인 CIAI@KU (Comprehensive Indoor Air Index@KU)로 표현하면 그림 16과 같이 민감군 영향력을 확인할 수 있다.⁸⁾ 현재 사용되는 통합대기환경지수의 각 등급별 기준을 수정하고 PM2.5를 추가하여 표현한 새로운 통합실내공기질지수로, D역사의 경우 PM2.5의 민감군 영향력이 52%로 가장 크고 PM10이 11%로, 미세먼지 농도가 매우 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이것은 실내에서의 미세먼지 위험성이 매우 크다는 것을 보여주는 결과이다. 특히 PM2.5는 2009년에 국립환경과학원에서 열린 공청회에서 환경부가

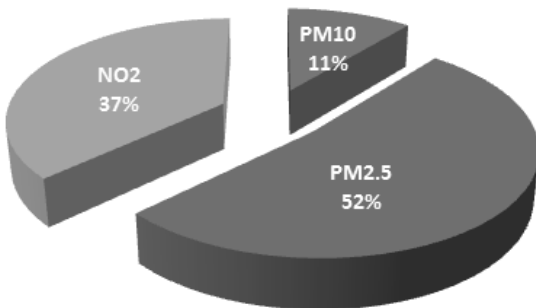


그림 16. D역사의 측정변수별 민감군 영향력 ('08~'09)

2012년에 대기의 연간기준을 설정할 것을 확정함에 따라 그 위험성에 대한 연구의 중요도가 커지고 있기 때문에 실내에서도 무시할 수 없는 오염인자라고 할 수 있다.

5. 향후 지하역사 내 공기질 관리 방향

H동의 대기질 변화와 D역사의 공기질 변화에 대한 연구 결과에서 보이듯 스크린도어는 승강장에서 미세먼지 농도 저감에 효과가 있다. 하지만 스크린도어 설치 전 열차풍에 의해 승강장으로 유입되던 미세먼지가 스크린도어에 의해 유입되지 않았기 때문이며, 상대적으로 터널 내의 미세먼지 농도가 증가하였을 것임을 추측할 수 있다. 따라서 터널 내의 미세먼지 농도 역시 지속적으로 측정하고 효율적인 환기시스템을 적용하여 미세먼지를 감소시키는 노력이 계속되어야 할 것이다.

이를 위해 센서모듈, 센서 데이터 관리 시스템, 센서 이상 진단 및 데이터 보정 시스템, 설비제어 호출 시스템 등의 관련 시스템들을 통합시키는 인공지능형 통합관리 시스템의 개발이 진행되고 있으며¹¹⁾, 이것은 기존의 시스템과 데이터들을 통합 상호 연동 및 관리를 하며 지하역사의 현장 조건별로 환기 시스템의 진단, 제어, 최적화, 안정화 및 통계학적 모니터링 등의 서비스를 제공할 것으로 기대한다. 이와 더불어 실내공기질을 보다 쉽게 관리하기 위한 통합실내공기질지수의 지속적인 개발도 필요할 것이다.

● 감사의 글

본 연구는 서울시에서 지원하는 과제(CS070160)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

- 참고문헌 -

1. Kim, S.J. *et al*, “단변량 분석을 통한 지하철 승강장 공기오염 정도와 PSD설치 효과에 관한 연

- 구”, *Theories and Applications of Chem. Eng.*, 2009, Vol. 15, No. 1, pp.196.
2. 서울메트로, “공기질 개선”, www.seoulmetro.co.kr, 2009.
3. Kim, S.W. *et al.*, “The Study of Introducing the Screen Door in Subway Station”, *한국의료복지시설학회지*, 2004, Vol. 10, No.2, pp.51~58.
4. 장병선, “지하철 승강장 내에 스크린도어 도입 배경 및 국내현황”, *설비저널*, 2003.
5. 박철웅, “서울 지하철 스크린도어 설치 완료, 1월 사고 ‘제로’”, *이데일리*, 2010.
6. 서울도시철도 지도조사팀, “사고발생 통계현황”, 2009.
7. 신동천, “미세먼지의 건강영향”, *대한의사협회지*, 2006, pp.175~182.
8. 강호성 등, “지하역사의 공기질 관리를 위한 통합실내공기질지수의 제안”, *Proceeding of the 50th Meeting of KOSAE*, 2010, pp.329~330.
9. An, H.G., “Statistical Considerations in Medical Journals”, *Korean Journal Otorhinolaryngol-Head Neck Surg*, 2010.
10. Qin, S.J, “Statistical process monitoring: basics and beyond”, *Journal of Chemometrics*, 2003, Vol. 17, pp.480~502.
11. 김조천, “지하역사 및 터널의 인공지능형 공기질 제어 및 관리시스템 개발: 1단계 사업 최종 보고서”, *건국대학교 산학협력단*, 2007.