

지하철 역사 공기조화기 에어필터 현황 및 신기술 동향

■ 권 순 박 / 한국철도기술연구원 철도환경연구실, sbkwon@krti.re.kr

지하철 역사 승강장과 대합실에 외부공기를 급기하고 내부공기를 배기하는 공기조화기에 대해 알아보고, 전국 지하철 역사에 적용되고 있는 공기조화기 에어필터의 현황을 분석하고자 한다. 그리고, 한국철도기술연구원에서 개발중인 교체 필요 없는 반영구적인 새로운 방식의 에어필터를 소개하고자 한다.

최근 다중이용시설 내의 실내공기질에 대한 관심이 증대되면서 주요 대중교통수단인 지하철 내 실내공기질의 쾌적성이 주목받고 있다. 지하철 내 실내공기는 외기를 도입하는 환기기와 도입된 외기와 실내공기를 혼합하여 다시 송풍하는 공기조화기(이하 공조기)로 구성되어 관리되고 있다. 외기의 도입은 실외에 설치되어 있는 환기구를 통해 이루어지는데, 도심지역의 혼잡도 및 상권의 시야확보를 이유로 인해 환기탑을 높게 설치하기 어려우며, 이에 따라 미세먼지 등의 오염물질이 쉽게 유입될 수 있는 문제점을 가지고 있다. 공조기에 설치되어 운영되는 에어필터 역시 유입공기

가 오염되어 있는 경우 쉽게 막힐 수 있으며 이에 따라 필터의 세척주기 혹은 교체주기가 짧아지는 문제로 운영상 애로사항을 가지게 된다.

공조기에 적용되는 에어필터는 재진원리와 보수 관리 측면에 따라 표 1과 같이 분류된다.

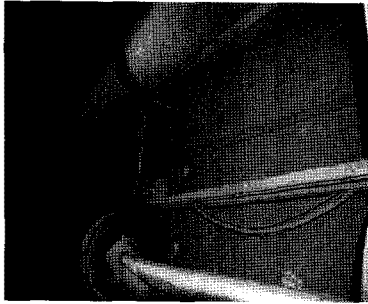
또한, 실제 지하철역사에 적용되는 에어필터를 크게 2가지로 구분하면 여재교환용 에어필터인 롤필터, 백필터, 부직포필터, 자동세척형 에어필터인 자동흡입형, 자동세정형 필터가 있다(그림 1 참조).

지하철 역사 공조기용 에어필터 운영현황

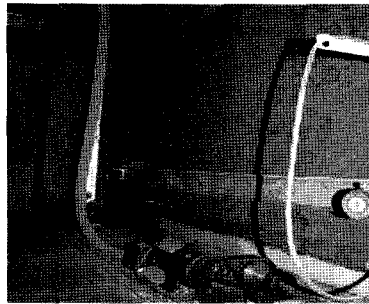
지하철역사의 경우 공조기는 승강장과 대합실을 구분하여 2구역으로 나뉘어 설치하여 외부에서 유입되는 공기와 내부 순환 공기를 정화하고 있다. 일반적으로 공조기용 에어필터는 통상 전단 프리필터와 후단 자동필터의 2단으로 구성된다. 전단 프리필터는 여재교환용 에어필터가 설치되고 있으며 후단 자동필터는 자동세정형, 자동흡입

<표 1> 공조기용 에어필터의 종류

재진원리	정전식(전기집진기) (electrostatic type)	분진을 함유하는 공기를 방전전장을 통해서 먼지를 대전시키고 이 대전된 먼지를 음극판에 흡입해서 제거
	건성여과(dry filtration type)	필터의 눈보다 큰 먼지를 걸러서 제거. 중성능 및 고성능은 대개 이 방식임
	점착식(viscous impingement)	필터를 통과하는 기류가 여재사이를 지나갈 때 여재표면에 부착되어 제거
보수관리	자동세정형	연속해서 여재가 세정유 탱크를 통과하거나(멀티패널필터), 주기적으로 여재면에 물을 분사하는 방법 등으로 여재를 재생하여 재사용
	자동흡입형	더러워진 여재면을 진공흡입청소로 재생하여 재사용(오토필터)
	자동갱신형	더러워진 부분의 여재는 자동적으로 감겨짐(롤형필터)
	여재교환형	더러워진 여재는 버리고 새것으로 교환(판넬형필터)
	유닛교환형	여재가 더러워지면 유닛자체를 교환(BAG필터)



롤필터



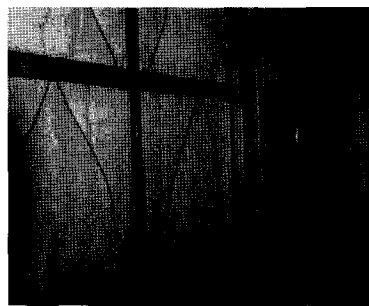
자동흡입형 필터



전기집진기



백필터



부직포필터



자동세정형 필터

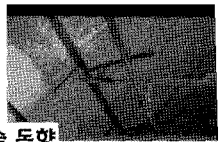
[그림 1] 기존 공조기용 에어필터의 현황

형, 자동복합형 등 다양한 종류의 에어필터가 사용되고 있다. 자동세정형 필터는 철망과 같은 메쉬필터를 설치하여 공기중의 미세먼지를 포집하며, 가동시간에 따른 필터 세척은 물을 분사하여 재생하는 방식이다. 자동흡입형필터(일명 오토필터, Auto filter)는 여재교환형필터(난연성 유모직포)를 설치하여 공기중의 미세먼지를 포집하며, 필터 세척은 진공청소기와 같은 흡입 장치를 설치하여 필터 표면을 X, Y축 방향으로 이동하면서 필터 표면에 부착된 미세먼지를 흡입하여 제거해준다. 자동복합형필터는 전단부에 자동세정형필터, 후단부에 전기집진기를 설치하여 운행하는 방식이다.

현재 운행중인 도시철도 운영기관의 에어필터 현황을 파악하기 위하여 각 지역별 운영기관을 대상으로 현장조사를 수행하였고, 각 운영기관의 역사규모, 설치연도에 따라 현장조사 대상 역사를 선정하였다. 서울메트로의 경우 전국도시철도 운영

기관중 가장 오래된 기관으로 각 역사별 적용된 에어필터의 종류가 매우 다양하다. 부직포, 백필터, 롤필터, 자동세정형필터 및 자동복합형필터(자동세정형+전기집진기+UV필터) 등이 적용되고 있다. 설치연도가 오래되고, 냉방공사가 이루어지지 않은 역사의 경우 여재교환형 필터인 부직포필터, 백필터 및 롤필터 등이 단일 시스템으로 설치가 되어 있었으며, 그 외 냉방공사가 완료된 역사의 경우 전단 프리필터로 부직포 필터, 후단 자동형 필터로 자동세정형필터 및 자동복합형 필터가 설치되어 운영되고 있다. 비교적 최근에 건설된 지하철을 운영하는 서울도시철도공사의 경우 전역사에 자동흡입형필터, 대전도시철도공사와 부산교통공사의 경우 자동세정형필터로 단일 종류의 에어필터가 적용되어 운행되고 있다.

에어필터의 세척 및 교체주기는 롤필터의 경우 매달 3~4회 감아주고, 자동세정형의 경우 매달 4~6회 물을 분사하여 세척하며, 백필터의 경우



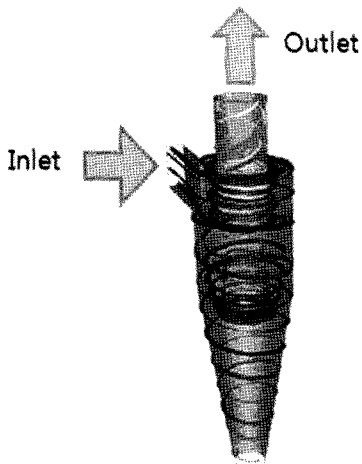
분기별로 필터 자체를 교체해주고 방식으로 관리되고 있다. 또한, 최근 신설되는 역사에는 주로 중급 철망필터를 물로 자동세정하여 재생하는 자동세정형 방식이 주로 도입되고 있는 실정이다.

하지만 패널필터와 같은 교체형 에어필터의 경우, 주기적인 교체비용이 크게 소모되고 장기간 사용시 패널간 간격이 벌어지면서 먼지저감효율이 나빠지는 단점이 있다. 자동세정형필터와 같이 물을 이용하여 에어필터를 세척하는 방식은 여름철 미생물 번식 등 위생적 문제 및 추가적인 2차설비인 폐수처리 장치와 겨울철 동파장치가 요구되어 초기설치비용이 높은 단점이 있다. 자동흡입형과 같이 진공흡입장치를 이용하여 재생하는 방식은 흡입부 이송장치로 사용되는 체이나 벨트가 먼지에 장기간 노출될 경우, 오작동을 발생시키는 경우가 많고, 흡입된 미세먼지의 이송관 내부에서 막힘 현상으로 인하여 잦은 고장 및 전력소모가 높은 단점이 있다. 전기집진기 방식의 경우, 입경이 작은 미세입자의 포집효율이 높은 장점이 있고, 세척방식도 간단하나 유속이 빠른 환경에서 전반적인 입자포집효율이 낮고, 초기 설치비용이 크게 소모되며, 전기를 지속적으로 이용해야하기 때문에 운영비가 크게 소요되는 단점이 있다.

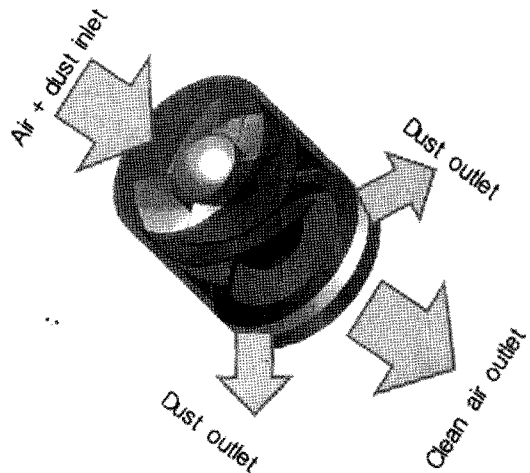
새로운 방식의 에어필터 기술

한국철도기술연구원에서는 유지보수 측면에서 문제점을 가지고 있는 기존 공조기용 에어필터를 대체할 수 있는 새로운 에어필터 기술을 개발하고 있다. 반영구적이며, 전기나 물을 사용하지 않고 초기 설치비용이 크게 소요되지 않는 방식으로 싸이클론을 이용하는 것이다.

공조기내에 설치가 가능한 축상유입식 싸이클론 방식은 구조가 간단하고, 기존 에어필터와 달리 공기 중 미세먼지를 원심력을 이용하여 분리한 후 분진통으로 이송하는 방식으로 교체비용이 없는 반영구적 방식이다. 뿐만 아니라, 기존 에어필터의 가동시간 증대에 따른 여과압력 증가현상이 없기 때문에 일정한 먼지포집효율을 가지는 장점이 있다. 싸이클론은 유입된 입자의 원심력을 이용하여, 주류(main flow)로부터 입자를 제거하는 장치를 말한다. 통상 접선식 싸이클론이 적용되는데, 이는 유입된 주류가 축을 접선방향으로 회전하며 상부로 빠져나가고, 일정 원심력 이상을 가진 입자가 주류에서 이탈하여 제거되는 방식으로 배기가스 중 유해입자 제거에 이용되고 있다(그림 2 a). 반면 축상유입식 싸이클론은 축류(axial flow)

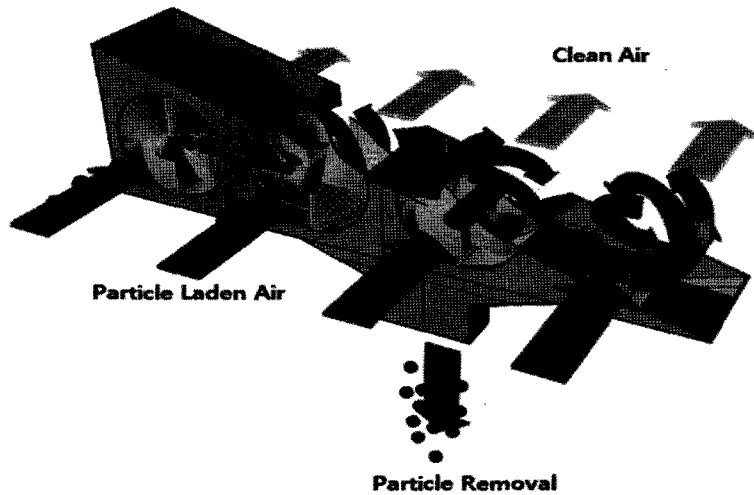


a) 접선식 싸이클론



b) 축상유입식 싸이클론

[그림 2] 싸이클론 원리



[그림 3] 축상유입식 사이클론 방식의 미세먼지 저감 시스템

방식으로, 주류의 흐름이 직선 형태로 접선식 사이클론에 비하여 입자포집효율은 다소 낮지만 차압손실이 적고, 설치면적이 작아 적용성이 높은 장점이 있다(그림 2 b). 또한, 축류방식이기 때문에 공조기와 같은 축류 설비 내부에 설치가 용이하며, 다수의 사이클론을 패널방식으로 장착하여 공조기 내부에 장착하여 미세먼지 저감 시스템으로 구성할 수 있다(그림 3 참조). 사이클론 패널 방식의 에어필터는 공조기내 송풍기에 의해 부가된 공기흐름을 그대로 적용하기 때문에 입자에 원심력을 부가하기 위한 동력장치가 필요치 않다. 또한, 하단부에 설치된 분진통으로 분리된 미세먼지를 이송하기 때문에 장기간 사용할 경우에도 에어필터를 교체할 필요가 없는 장점이 있다.

축상유입식 사이클론 성능평가

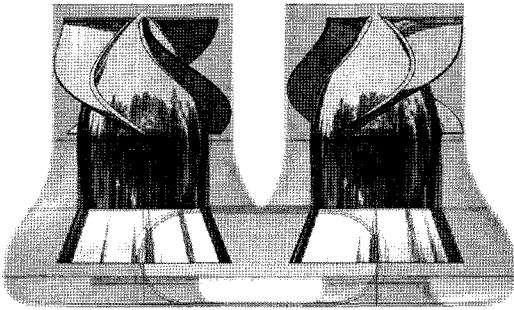
축상유입식 사이클론의 핵심유닛에 대한 성능평가 연구를 수행하였다. 성능평가는 수치해석적 방법과 실험적 방법에 대하여 압력강하와 입경별 입자포집효율에 대해 평가를 수행하였다. 성능평가에 적용된 모델은 그림 4의 a)와 같다. 수치해석적 성능평가를 통해 최적의 모델형상을 도출하였고 이에 대한 실험적 성능평가는 풍동실험을 통해

검증하였다. 그림 4의 b)는 수치해석을 통해 도출된 입자궤적의 모습이다.

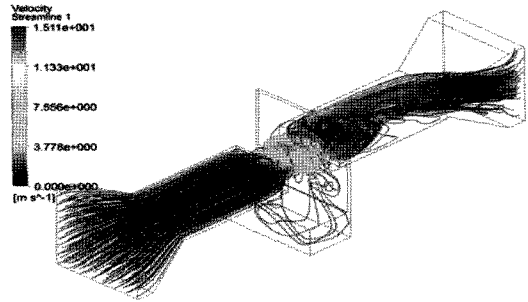
실험적 성능평가는 수치해석의 형상을 바탕으로 실제 목업(mock-up) 모델을 제작하였으며, 그림 4의 c)와 같이 ASHRAE 규격을 기준으로 제작된 풍동장치에 설치하여 입경별 입자포집효율과 압력강하를 측정하였다. 실험 조건은 에어필터 성능기준과 같은 조건으로 사이클론 입구의 면속도를 2.5 m/s로 설정하였으며, 표준시험입자는 DEHS 물질을 분무하여 액체입자를 발생시키는 MAG3000(Palاس社)을 이용하였다. 풍동장치는 600 mm × 600 mm 규격으로 풍동장치 중앙부에 시작품을 설치하고, 전 후단부에 압력측정 프로브 및 입경측정장비(Dust spectrometer, Grimm 1.108)와 연결되는 측정관을 삽입하여, 시작품 압력강하와 입자의 계수농도를 측정하였다. 실험결과 제작된 축상유입식 사이클론의 입경별 입자포집효율은 1.3 μm에서 41.2%, 2.5 μm에서 60.8%, 3.8 μm에서 68.4%, 5.8 μm에서 85.9%, 분리입경은 약 1.9 μm로 산출되었다.

시범역사 공조기 적용

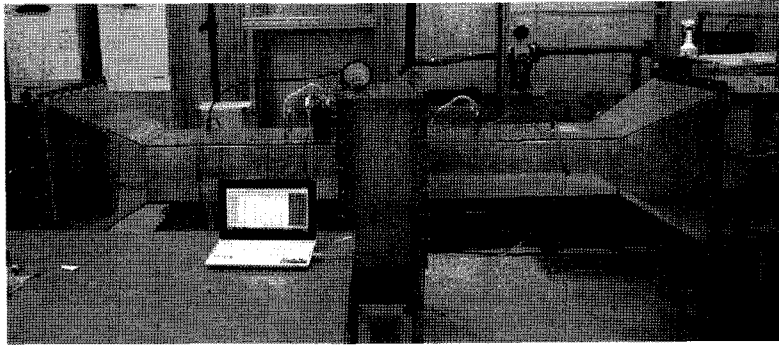
개발된 모델을 핵심유닛으로 하여, 대상 공조기



a) 수치해석 모델 형상



b) 수치해석 모델의 유선



c) 실험적 성능평가 방법

[그림 4] 수치해석적 방법과 실험적 방법을 통한 축상유입식 싸이클론의 성능평가

의 크기에 적합하도록 다수로 배열하여 판넬형 싸이클론을 구성하였다. 공조기 적용을 위한 싸이클론 패널방식의 에어필터는 축류형싸이클론 핵심 유닛이 다수로 배열되어 있으며, 먼지포집부를 위한 더스트트랩과 유지보수성 향상을 위한 부가적 시스템을 추가하였다. 공조기 적용을 위한 싸이클론 패널방식의 에어필터는 축류형싸이클론 핵심 유닛이 다수로 배열되어 있으며, 먼지포집부를 위한 더스트트랩과 유지보수성 향상을 위한 부가적 시스템을 추가하였다.

결론

최근 관심이 증대되고 있는 지하역사 공기질 문제에 있어 미세먼지는 가장 주요한 관심대상 오염물질로 지목되고 있다. 승강장 혹은 대합실과 대

규모 지하상가 등 지하공간에서의 체류시간이 증대되기 때문에 적절한 미세먼지 관리대책이 요구되고 있으나, 공기조화설비내 에어필터에 대한 개선기술 개발은 미흡한 실정이다. 또한 기설치되어 운영되고 있는 에어필터의 유지보수의 어려움과 비용증대로 인해 다수의 에어필터가 제대로 작동되지 못하고 있다. 본 연구에서 제안한 새로운 개념의 에어필터는 교체가 필요없으며 고장을 일으키지 않는 시스템으로 설계되어 현장적용성이 매우 높을 것으로 예상된다. 수치해석을 기반으로 먼지포집효율과 차압의 최적조건으로 설계를 하였으며, 시제품 모델을 제작하여 실험적으로 검증하였다. 향후, 공조기의 에어필터를 대체할 수 있는 필터시스템으로 구축하여, 실제 운영중인 공조기를 대상으로 한 추가연구를 수행할 예정이다.

