

정전기식 실내공기청정장치

김 용 진
 염 한 길
 흥 원 석
 한국기계연구원
 열유체시스템연구부

1. 서론

최근의 실내 및 지하공간 등의 건물내의 환경에 관한 관심이 전세계적으로 점차 고조되고 있으며, 국내에서도 이러한 건물내의 공기정화용 청정기의 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 이에 관한 중요성과 공기청정장치에 관하여 지난 2년동안의 본 기술지에서 논의된 바가 있으나, 여기서는 정전기를 이용하는 공기청정 시스템의 종류와 원리등에 관하여 기술하고자 한다.

전기식, 전자식, 정전식 등의 여러 가지로 불리는 정전공기청정시스템은 정전기의 강력한 흡인력을 이용하는 공기청정장치로써, 이 장치의 가장 큰 잇점은, 다른 장치에서는 제거하기가 어려운 1μ 이하의 미세한 입자는 물론, 구조를 개선시킬 경우, $0.1\sim 0.01\mu$ 이하의 미세한 입자까지도 효과적으로 제거할 수 있다는 것이다. 그리고 박테리아와 같은 비교적 입경이 큰 것은 물론 유해물질로 알려진 중금속산화물, 여과성 병원체 등의 초미립자의 포집에도 최적의 장치이다. 그리고 방전극과 집전극사이에 하전되는 전압에 의해

여 적당한 간격이 형성되어 있으므로 통과하는 공기류의 압력손실이 다른 기계식(Mechanical) 방식과 비교하여 매우 작고, 장시간의 사용에 대하여도 부착분진에 의한 압력손실의 증가는 거의 문제가 되지 않는다. 그리하여 송풍동력비는 물론이거니와 장치 자체에 소비되는 전류도 미세하기 때문에 유지비는 매우 작지만, 초기설비비는 비교적 고가이다. 이 장치는 다른 방식으로서는 포집이 곤란한 미세입자의 제거를 목적으로 하는 경우에 효과적인 시스템이기 때문에, 입경이 큰 분진 등을 제거하는 목적으로 또는 처리 분진량이 많을 경우에는 적당하지 않다. 즉, 공장내에서 발생하는 oil mist와 같은 입경이 미세할지라도 푸른색을 띠는 경우에는 함진량이 통상 $30\text{mg}/\text{m}^3$ 을 초월하기 때문에 공장용 전기집진장치를 별도로 설계하여 사용하지 않고서는 무리이다. 그러나 보통의 실내 또는 사무실 내와 같은 함진량이 작은 경우에서도 장시간의 유지보수를 하지 않기 위해서는 전처리 또는 후처리 필터와의 조합으로 대부분 사용되고 있다.

이러한 정전식 공기청정장치는 일반적으로

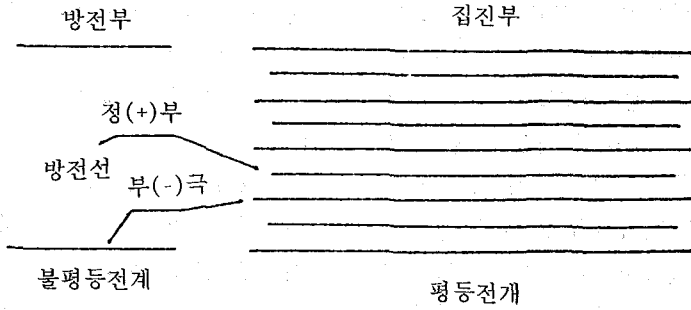


그림 1 2단하전식 정전공기청정장치 이론

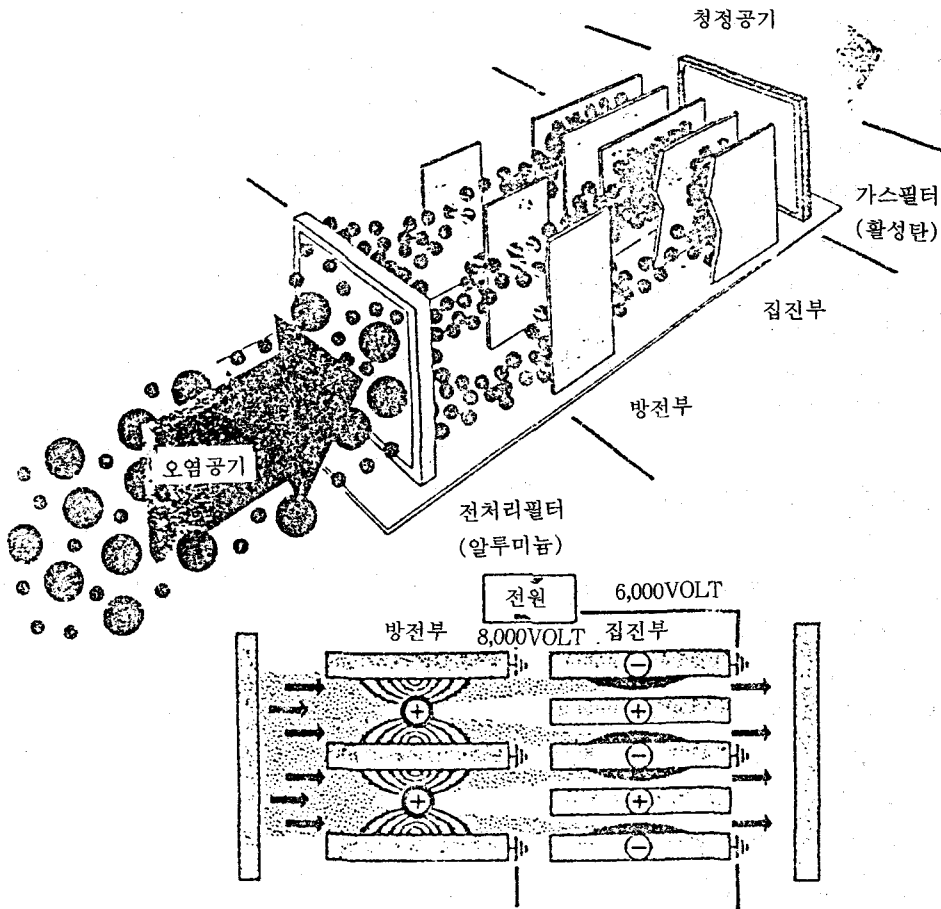


그림 2 상용 2단하전식 정전공기청정장치 개략도

회사에 따라 공급되어지는 교류전원을 변압기로서 5000~6000V로 승압시켜, 정류기를 통과시키면서 전압을 상승시켜, 이것의 고전압 정(+)극은 방전극에, 중간 전압의 정(+)극을 집진부에서 마주보는 방전판에 공급하고 음극을 이온화부의 접지전극과 집진 전극판에 접속시킨다. 이 방법은 다음에 언급하는 2단하전식이라고 부르는 것으로 가장 일반적으로 사용되어지는 방식이다. 또한 공업용의 정전식 집진장치는 거의 대부분이 음극을 방전극으로 하여 사용하는데 대하여 실내용의 정전식 공기청정장치는 예외없이 양극방전이다. 이것은 직류고전압 방전에 대하여 발생되는 오존의 발생을 작게하기 위한 시스템이다. 양극 방전의 경우에는 음극방전과 같은 전류일 때 오존의 발생을 약1/10로 감소시킬 수 있다. 따라서 이와같은 정전식 장치는 미량의 오존발생이 있지만, 잘 설계될 경우, 벼락중 또는 해안등에서 존재하는 오존량 정도의 농도에도 달하지 않기 때문에, 그다지 문제되지 않는다고 보고되어 있다.

2. 2단하전식 정전공기청정장치

이 방식은 정전기를 응용하는 공기청정장치 가운데서 가장먼저 실용화된 기본적인 방식이며, 이론적으로도 거의 완전하기 때문에 현재의 가장 많은 제품이 이 방식을 채택하고 있다. 이러한 2단하전식 공기청정장치는 1935년 미국의 캘리포니아 대학의 베이 박사가 종래의 코트렐 방식의 공업용 전기집진장치의 강력한 집진효과를 실내의 공기정화용으로 응용함으로써 실현되었다. 코트렐방식에서 오존발생량이 작은 정(+)극 전극과 그의

불평등전계의 하류측에 정부(+,-)양극의 대립된 평등전계를 설치하는 형식으로 개선하여 오존 특유의 냄새와 자극을 감지할 수 있는 0.02mm 이하에서 제어함으로써 실용화 되었다. 그림 1은 이것의 집진원리를 평면도에 나타낸 것이며, 그림 2는 실제 시판되고 있는 시스템으로, 1단의 전처리필터와 2단하전식 공기청정장치로 구성된 제품의 개략도를 보여주고 있다. 그림 1의 왼쪽에 있는 방전부는 금속판(알루미늄판)으로 제작된 평판을 등간격으로 배치한 부(-)극으로 하여, 이것의 중심부에 미세한 양극선을 길게 설치하는 것으로, 이때의 양(+)극선은 가능한 한 가는 것이 이상적이며, 기계적 강도와 산화 등에서 강한 텅스텐 와이어가 일반적으로 사용되어진다. 어두운 암실에서 방전부에 직류 또는 표준전압을 인가할 경우, 방전선 표면에서 음극판으로 향하여 코로나 방전이 발생되며 방전선의 표면이 푸른백색광으로 보인다. 그리고 방전선의 길이 방향의 장력이 약할 경우, 음극판으로의 힘에 의한 진동과 소음이 발생한다. 따라서 방전선이 긴 경우에는 그림 3과 같은 진동방지법이 사용되어 질 수도 있지만, 500mm 이하의 경우에는 거의 필요하지 않다. 그리고 전압을 지나치게 높이 상승시킬 경우에는 스파크 불꽃 방전으로 오히려 효율이 떨어진다.

집진부라고 부르는 정부양극이 평행하게 등간격으로 배치되는 부분은, 방전부의 하류측에 통상 일체로 되어 구성된다. 2단하전식의 거의 대부분이 배전압방식의 고전압 직류 발생기를 사용하고 있으며, 그의 중심에서 공급된 약 5000~6000V의 전압이 인가된다. 그리고 정부양극의 판 간격은 10~20mm 전후이

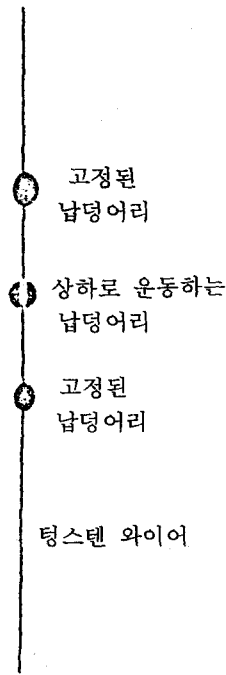


그림 3 진동방지시스템

다. 정극판은 부극집진판보다 작으며, 보통 이를 양극간 거리의 1.5배 정도의 차이로 구성, 조립 한다. 정극판의 4면은 스파크 방전을 방지하기 위하여 가능한한 매끄럽게 마무리하며, 모서리는 원형으로 할 필요가 있다. 이러한 정부양극간은 정확한 거리를 유지시키고, 판면은 거의 완전한 평행이 유지되도록 하는 것이 매우 중요하다.

3. 1단하전식 정정공기청정장치

1단하전식 시스템은 원래, 공업용의 집진장치로 통칭되는 코트렐방식이라 불리는 것은 현재까지 사용되는 형식이다. 가스 유동에 대하여 평행하게 등간격으로 설치된 집진부의

중심부에 일정한 간격으로 방전선을 설치한 것으로 방전극을 부극으로 하고 집진극이 접지된 정극으로 되어있는 것이 보통이다. 이것은 스파크방전을 일으키지 않는 부(-)극의 특성을 이용하여 가능한 높은 전압을 인가하여 전기집진 효과를 높이기 위한 것이다. 이러한 방식의 거의 대부분이 실내 공기청정용으로 사용되지 않는 이유로는 전술한 바의 오존의 발생량이 많기 때문이다. 실내 공기청정용으로 1단하전식(그림 4)의 경우가 발표된 것은 1935년 경으로 엄밀하게 말하면 1단하전 유전형이라고 부른다. 이것은 그림 4에 표시된 바와같이, 방전부의 접지전극이 평판으로 되며, 방전선을 중심으로 그의 일부분이 동심원으로 되어 후단부가 집진극판으로 연장되어 한 세트가 된다. 하류측의 집진부는 2단하전식보다도 좁은 간격으로 된 집진극판에 평행하게 절연된 부유판이 배치된다. 또한 이러한 부유판은 내부적으로 전기적인 접속이 되고, 그 가운데 한조가 중심에서 배치된다. 전반부의 방전부에서, 방전극을 중심으로 하는 동심원 내에 일부를 돌출시키고, 이러한 돌출부분이 전리부 방전극선의 방전계 내에 있으므로 고압의 방전이 유도되며, 이러한 부유극판은 대전됨으로써 집진부에 필요한 평



그림 4 1단 하전/유전형 공기청정장치

등전계가 외부에서의 도선에 의한 전압의 인가없이 집진에 필요한 전위차를 얻을 수 있다.

이상과 같이 방전부의 방전선의 1단하전에 의한 유전으로 집진부에 전압을 인가시키는 방법인 본 시스템의 잇점은, 집진부에 강제적인 전압인가를 하지 않으므로, 집진부내에서 spark 단락이 발생되지 않으며, 또한 집진부내에서 분진의 침착이 진행되어 판간 거리가 변화하여도 이에따른 적절한 대전압이 자동적으로 조정된다. 또한 집진부의 접지극과 마주보는 정(+)전극의 간격을 좁힐 수 있으므로 가스유동에 대한 장치의 길이를 단축시킬 수 있는 효과를 얻을 수 있기 때문에 장치를 소형화 할 수 있는 잇점 등이 있다.

4. 정전공기청정장치 설치

4.1 공조장치 연결형

이상에서 서술한 바와같은 장치들은 단일시스템으로는 $30\text{m}^3\sim 60\text{m}^3/\text{min}$ 정도의 풍량을 풍속 $2.5\sim 3.7\text{m/s}$ 에서 사용될 수 있는 것으로, 이러한 유니트를 병렬로 연결하여 요구하는 풍량의 장치로 설계될 수 있다. 현재 시판되고 있는 기종은 수천종에 이르는 것으로 풍량은 $40\text{m}^3/\text{min}\sim 7500\text{m}^3/\text{min}$ 까지 판매되어지고 있다. 건물내의 공기를 청정화하기 위하여는 창문이 밀폐되어 있으므로 반드시 공조장치와 병행하여 사용되어야 하기 때문에 플랜지에 의하여 공조장치와의 연결을 할 수 있게 된다.

소형의 시스템은 compact한 unit에 전원부, 집진부, 조작반의 모두가 설치 되어진다. 그

리고 극히 소형인 경우는 가정용의 package 된 냉온방기 등의 return측에 간단히 부착할 수 있도록 하며, 세정은 collecting cell을 떼어내어 할 수 있으며 세정장치는 별도로 설치하지 않는다.

4.2 송풍기 내장형 정전식 공기청정장치

이미 공기조화를 행하고 있는 실내의 공기청정용으로 package화로 된 unit를 실내에 설치하는 것으로, 콘센트로 부터의 전원공급에 의하여 사용될 수 있으며, 풍량은 $15\text{m}^3\sim 30\text{m}^3/\text{min}$ 정도가 많이 사용된다.

담배연기에 오염된 지하다방, 술집, 회사의 회의실, 병원등의 오염방지, 작업장의 환경개선 등에 편리하다. 최근에는 단순히 공기등의 분진 또는 담배연기 및 병원균등을 제거하는 것에서부터 문제시 되는 유해가스 및 악취까지도 제거할 수 있도록 한 장치가 사용되어지고 있다. 그림 5에 표시된 시스템은 살균램프 및 특수화학필터, 활성탄 필터 등을 정전식 공기청정 장치내에 조립하여 이온교환 수지와 특수표면 활성제로부터 구성된 화학필터 등에 의하여 전기적으로 이온교환을 행하여 SO_x 및 NO_x 등의 유해가스를 제거하며, 활성탄에 의하여 흡착할 수 있게 하는 것으로, 사양(Spec.)에서는 매우 훌륭하지만 이러한 기능을 완전히 발휘하게 하기 위하여는 유지보수를 철저히 하지 않으면 안된다.

5. 정전식 공기청정장치의 세정방법

이상에서 언급된 정전식 공기청정장치들은 누적된 분진을 정기적으로 세정할 필요가 있

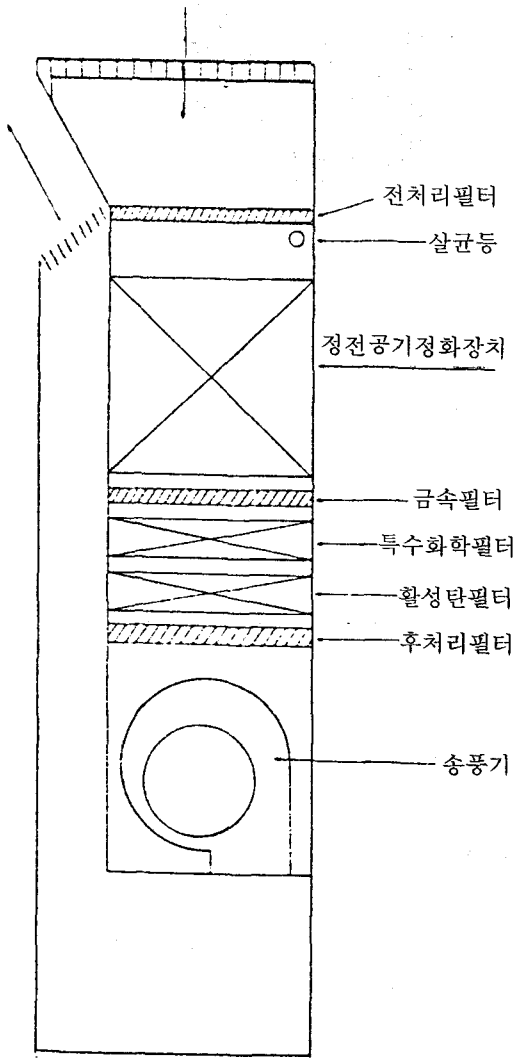


그림 5 송풍기 내장형

다. 장시간 세정을 하지 않으면 분진이 누적되고 집진효율이 저하될 뿐만 아니라, 불꽃방전을 일으켜 가연성의 먼지로부터 인화될 수도 있다. 장치에서 2차 고전압 전류계가 설치되어 있으면 그 수치의 변화로 이상유무를 발견할 수가 있지만, 단락의 표시등 밖에 없

는 것도 있다. 그리고 대형의 장치에서는 보통 경보부저를 작동시키고 있다.

세정방식은 고정식과 자동주행식의 2종류가 있는데 전자는 소형용으로써, 후자는 대형 장치에 설치된다. 때에따라 물(Water)등을 가압 펌프로써 2~4kg/cm²으로 가압하여 특수 스프레이에 의하여 집진부를 향하여 수분 동안 분사시켜 세정한다. 대형장치의 자동주행식인 경우는 통상 수직으로 부착된 파이프에 필요로 하는 갯수 만큼의 분사노즐을 설치하여 좌우로 주행할 수 있는 레일위를 동력에 의하여 왕복하면서 세정하는 것으로 집진극에 대하여 세정수액의 분사각도가 변화하여 구석구석까지 깨끗이 세정할 수 있다. 이에 반하여 소형의 장치는 고정식이 대부분이며 노즐에서 분사되는 각도가 변화하지 않기 때문에 그림자 부분을 세정하기 어려운점이 있으므로 노즐의 위치선정 및 갯수를 잘 검토해야만 한다.

그리고 특히 중요한 것은 세정수의 배출(Drain)이 먼지를 포함하는 오수를 처리하는 것인데 보통때의 물이 흐르지 않기 때문에 배수관이 막히기가 쉬우므로 파이프 내부의 청소를 용이하게 할 수 있는 시스템이 요구되어 진다.

6. 기타의 정전식 공기청정장치

6.1 여재 자동권취형

정전식 공기청정장치의 하류측에 롤(roll)상의 자동권취형의 부(-)대 전성의 폴리프로필렌 부직포 여재를 설치한 구조의 시스템이다(그림 6). 먼지는 최종적으로 분진지지능력

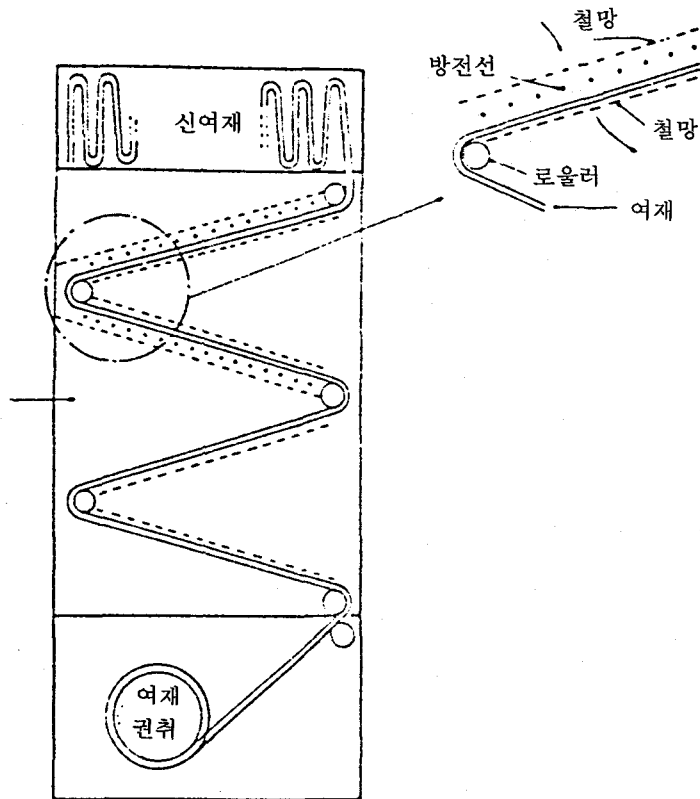


그림 6 자동여재권취형

이 큰 자동권취형 여재에 포함됨으로써, 장시간 동안의 유지보수가 필요하지 않을 수 있다.

이 방식은 공기중에 부유하는 미세한 먼지를 상류측에 설치한 정전집진장치로써 포집한 다음, 집진부에 누적된 분진입자가 여러겹으로 뭉쳐서 큰 입자로 되어 재비산 현상과 같은 방법으로 집진극 판에서 이탈하여 바로 후단에 설치된 여재에 포집되게 하는 것이다. 여재의 분진지지능력이 크기 때문에 장시간의 연속사용이 가능하다. 여재의 분진지지능력의 한계점 부근에서는 압력손실이 증가하

기 때문에 그것을 자동적으로 감지하여 권취시키는 방법과 공기중의 분진농도에 따라 초기에 설정된 타이머에 의하여 권취하는 방법이 사용되고 있다.

응집된 분진입자는 입경이 크게 변화하기 때문에 포집효율은 여재의 대전성에는 그다지 관계하지 않고, 정(+)대전성의 유리섬유필터·매트도 많이 사용되고 있다. 그림 7은 유전여재를 권취하게 하고, 이 여재면의 부근에 방전선을 설치한 것이다. 이러한 장치는 여재의 사용후 새로운 여재와 교환하는 기간이 매우 긴 거의 이상적인 것으로, 분진지지능력

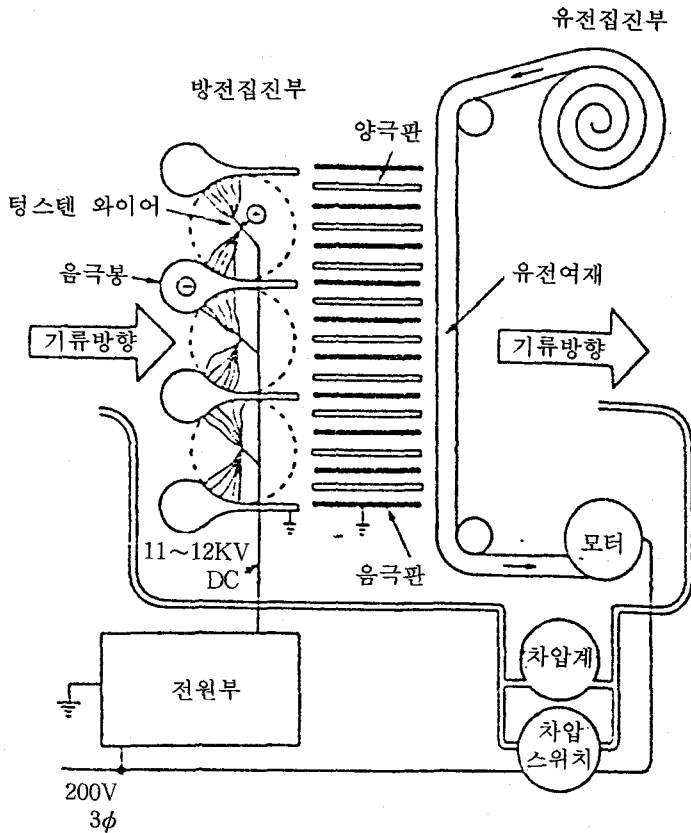


그림7 유전여재권취형

이 큰 가능한 긴 여재를 사용하면서 교환을 간단히 할 수 있는 시스템의 개발이 요망된다. 처리공기등의 분진함유량에 따라서 다르겠지만, 대체적으로 1~3개월에 1회 정도의 교환이 요구되어진다.

6.2 필터백(Filter-Bag)식 정전공기청정장치

이 방식은 전향의 자동전취식과 같은 원리로써 하류측에 백 필터를 사용하는 점에서 다르다. 특징으로, 후단에 백필터를 사용함으로써 가스의 통과면적에서 roll상 여재에 비

하여 약 25배로 증가되어 통과속도가 roll전취식의 2.5m/s에 비하여 0.1m/s로 매우 저속이기 때문에 고성능 필터에 근접하는 고효율의 집진효율을 얻을 수 있다. 대표적인 방식으로는 그림 8(a)에 나타난 바와같이 1단 하전의 필터를 설치할 경우와 그림 8(b)에서와 같이 2단 하전식을 설치한 방식이 있다. 집진효율은 후자의 방식이 더욱더 좋다. 이러한 시스템들은 2량의 백필터를 사용할 경우보다 3~4배의 수명이 연장되는데, 이것은 분진이 앞의 하전(집진)단에서 응집되어 입경이 크게 되기때문에 여재에서의 눈막힘이 일어나

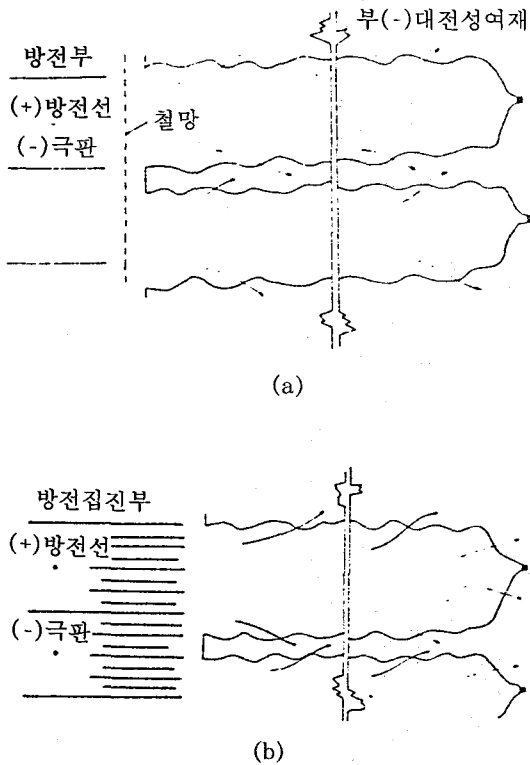


그림 8 필터백(filter-bag)방식

지 않기 때문이다. 대기진에 대한 효과는 집진효율 90% 이상에서 0.1 μ 까지 포집가능하다고 알려져 있다. 백필터의 수명은 1일 10시간 사용에 대하여 일반 메이커들에서 약 1년으로 발표되고 있지만, 계절과 장소에 따라 대기중의 함진량에 큰 차이가 있으므로 유지관리에 관한 주의가 요망된다.

필터의 압력손실은 초기 3m/s의 풍속에서 약 5mmH₂O, 백의 청소 또는 교환이 필요로 하는 시점에서는 약 20mmH₂O이다. 동시에 정

전응집부의 전리부 방전선에도 다소의 분진이 부착되어 비대할 경우 방전이 방해되기 때문에 이 부분의 청소도 수개월에 1회 정도는 행할 필요가 있다.

7. 결론

약 0.01에서 20미크론까지의 광범위한 입경범위를 가지는 실내오염물질 가운데서도 인체에 유해한 1미크론 이하의 미세한 입경의 오염분진을 효과적으로 제거하기 위하여는, 이상에서 언급된바와 같은 여러 종류의 정전식 공기청정장치가 필수적이다. 정전식 공기청정방식의 가장 큰 약점인 오존문제와 부착분진의 재비산 방지 등의 문제가 극복될 경우, 이들의 수요는 향후 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 먼저, 오존발생의 문제에서, 앞에서도 언급된바와 같이, 방전부와 집진부의 인가전압과 여러가지 기하학적인 형상 개조 설계를 위한 기술개발을 통하여 이미 해결되고 있으며, 재비산문제의 해결을 위하여도 한국기계연구원 등에서 지속적인 연구개발을 수행하고 있다.

아울러 이러한 실내오염제어 장치들에 관한 정확한 성능평가는 오염문제의 해결 및 오염제어 장치개발에서 매우 중요한데, 현재 한국기계연구원에서 보유하고 있는 ASHRAE 52-76의 미국규격의 시험장치로부터, 국내의 실내오염 현실에 적합한 성능기준 및 방법 정립과 국제적인 성능시험 장치의 개발에 관한 연구가 병행되어야 할 것이다.