

# 여과집진의 신기술 동향



정 상 현

(KIMM 열유체시스템연구부)

- '78-'83 부산대학교 기계설계과(학사)
- '85-'87 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '87-현재 한국기계연구원 선임연구원



김 용 진

(KIMM 열유체시스템연구부)

- '79-'83 부산대학교 기계설계과(학사)
- '84-'86 한국과학기술원 기계공학과(석사)
- '86-'91 한국과학기술원 기계공학과(박사)
- '91-현재 한국기계연구원 선임연구원

## 1. 머릿 말

대기중의 불순입자 및 유해한 미생물이 인간의 입과 코로 들어가는것을 방지하기위해 사용하기 시작한 여과방법으로부터 금속용융 및 정제 과정에서 발생하는 배출가스속의 유용한 금속성분의 회수에 이르기까지, 여과집진은 가장 오래된 대기오염 방지기술이며 매우 광범위한 응용범위를 가진다. 최근의 대기오염 방지법의 강화로 인하여 발전소 및 일반 산업체의 배출가스중에 직경 0.1-100 $\mu$ m 정도의 부유입자상물질(Suspended Particulate Matter ; SPM)은 인체에 침투하기 쉽고 건강상의 유해성이 크므로 대기오염 관점에서 중요하게 취급되고 있다. 그러나 부유입자상 물질의 환경기준 달성률은 매우 낮으며, 산업공정의 발달로 인하여 대기중으로의 방출은 더욱 심화될 것이다. 이와같은 분진배출의 방지시설로써 대표적인 것이 전기집진기와 여과집진기이다. 일반적으로 화력발전소 등에서 배출되는 대유량 가스의 처리에는 전기집진기가 널리 사용되어 왔으며, 중소규모의 산업체에서 배출되는 가스의 처리에는 여과집진기가 주로 사용되어 왔다. 그러나 전기집진기는 연료의 성상과 분진의 전기저항 및 연소조건의 변화에 따라 집진성능의 변동이 심하게 되며, 특히 배출규제의 강화 및 유황분이 많은 연료의 사용에서 저유황 연료사용으로 이행되는 과정에서 고저항 분진의 전기집진에 대한 역전리현상(Back Corona)이 문제가 된다. 이와같은 전기집진기의 문제점에 비하여 분진의 전기적 특성에 의존하지 않고 안정되며 높은 집진효율이 얻어지

는 여과집진의 집진특성에 착안하여 1973년 미국의 Pennsylvania Power & Light사의 Sunbury발전소의 석탄보일러에 여과포 집진장치가 처음으로 설치되어 초기에는 많은 문제점에 직면하였지만 뛰어난 집진성과 높은 신뢰성으로 종래의 전기 집진장치에 충분히 대체할 수 있는 가능성이 인정되었다. 이러한 여과집진에 대한 최근의 기술개발 및 연구동향은 정전여과포장치 등의 여과포 성능향상 방안에 대한연구, 고온, 고압 등의 극한 조건에서의 집진등 새로운 분야의 여과포 집진기술의 적용방안, 초음파등을 이용한 새로운 탈진기술의 개발 및 고효율 여과포재질의 개발 등에 대해 활발히 연구되고 있으며, 본 글에서는 이러한 새로운 분야중에서 성능향상 및 새로운 분야로의 적용기술에 대한 여러 연구사례와 함께 최근의 기술동향에 대하여 기술한다.

## 2. 여과성능 향상기술

여과포 성능을 증가시키기 위한 새로운 기술은 정전기력(Electrostatic Force)을 이용하는 기술과 합진가스에 화학약품을 첨가시키는 방법 등이 최근에 활발히 논의되고 있다.

### 2.1 정전기 이용기술

여과집진의 근본적인 문제점인 높은 압력손실과 매우 미세한 분진에 대한 집진성능 감소는 대형방출시설에 여과포 집진의 적용을 방해하는 요인으로 남아있다. 이와같은 여과집진의 근본적인 문제점을 해결하는 방안으로써 정전기력을 이용한 정전 여과포 집진장치(Electrostatic Bag House)의 개발에 대한 필요성이 대두되었으며 외국의 경우 많은 연구자들에 의해 기초 또는 응용연구가 활발히 행해지고 있다. 여과식 집진장치에 정전기력을 응용하는 방안에 대한 연구는 이미 약 50년 전부터 시작되었으며, 초기의 연구에서는 정전기력에 의한 집진효율의 증가에 목적이 있었지

만, 차츰 연구가 진행됨에 따라 정전 여과포의 경우 기존의 여과포 집진장치의 문제점인 압력손실 증가문제의 해결 가능성이 밝혀졌다. 이로인해 최근의 정전여과포 집진장치의 연구방향은 정전기력에 의해 입자 포집효과를 높이는것 이상으로 전기집진기의 경우와 비교하여 더커지는 여과집진의 압력손실을 저감 시키는것이 연구의 목표가 되고있는 경향이다.

일반적으로 여과포집진시 압력손실이 일어나는 원인은 입자가 여과포의 공극 틈에붙어 탈진시 여과포가 수축할때 반대면 방향으로 빠져나와 탈진되지 않고 여과포에 머물러 눈막힘 현상을 유발시키는데서 기인한다. 이경우 여과포면에 강한 전기장을 형성시키면 정전기력에 의해 여과포 표면에 형성되는 덴드라이트(Dendrite)구조의 분진층은 여과포 공극사이로 미세입자의 침투를 방지시켜 여과포의 눈막힘 현상을 감소시킴과 동시에 집진효율을 향상시킨다. 이에 비하여 분진을 예비하전 시키는 경우, 여과포는 하전된 분진의 정전기력에 의해 분극화 되고 하전된 분진과 분극화된 여과포 사이에 작용하는 전기적 쿨롱력(Coulombic Force)에 의해 분진은 여과포 표면에 포집된다[15]. 이경우 집진된 분진은 같은 극성을 띄어 분진전하에 의한 쿨롱력으로 서로 반발하나, 적절한 질량과 기류의 관성력에 비하여 분진사이에 작용하는 쿨롱력은 훨씬 작으므로 분진은 여과포면에 덴드라이트 형태로 부착되며, 따라서 여과포의 표면은 불규칙하고 느슨하게 된다. 이때 여과 표면적이 상대적으로 커져 합진가스의 저항을 감소시킨다.

정전여과포 집진장치의 종류는 크게 1) 여과포의 전단에서 분진을 대전시켜 전하를 띤 분진을 여과포 내부로 유입시키는 예비하전(Precharging) 방식, 2) 여과포 지지틀에 고전압을 가함으로써 여과포의 표면에 전계를 형성시키는 방식인 유전식, 3) 여과포 중심에 방전극을 설치하여 집진과 대전을 동시에 수행하는 일단식 등으로 크게 분류한다.

2.1.1 예비하전식

예비하전식은 적절한 예비하전장치(Precharger)에 의해 입자가 여과포 내부로 유입되기 직전의 위치에서 분진을 전기적 대전(Charging) 시키는 방법이다. 이방법은 대규모 처리유량에 적합하며, 유지보수가 용이하고 경비절감 측면에서도 매우 유용하나 집진성능은 예비하전장치의 성능에 좌우된다. 그림 1은 예비하전식 정전여과포 집진장치의 예를 나타낸다[1]. 이방식의 핵심기술은 예비하전장치의 설계 및 제작기술이며 예비하전장치는 낮은 전기비저항(Resitivity)을 가지는 분진을 대전시키는 경우와 높은 전기비저항을 가지는 분진을 대전 시키는 경우등 크게 2종류로 나눈다. 기

존의 개발되어진 대표적인 분진 예비하전장치에 대하여 간단히 언급하면 다음과 같다.

(1) 강력 이온화 장치(High Intensity Ionizer)

그림 2는 Tassicker 등[2]에 의해 연구된 강력 이온화 장치를 나타낸다. 이 장치의 구조적인 특징은 벤츄리(ventury)형상의 양극(Anode)과 디스크(Disk)형상의 음극(Cathode)으로 구성되며, 대전 영역에서의 가스속도는 매우 크며, 보통 약 30m/s 이상 유지되어야 대전효과가 만족스럽다고 알려져 있다. 이와같은 고속의 가스는 코로나 발생시의 스파크 전압을 높여, 양극과 음극 사이의 같은 거리일 경우 일반 하전장치에 비하여 훨씬높은 공급전압(Potential)을 작용할 수 있고 따라서 평

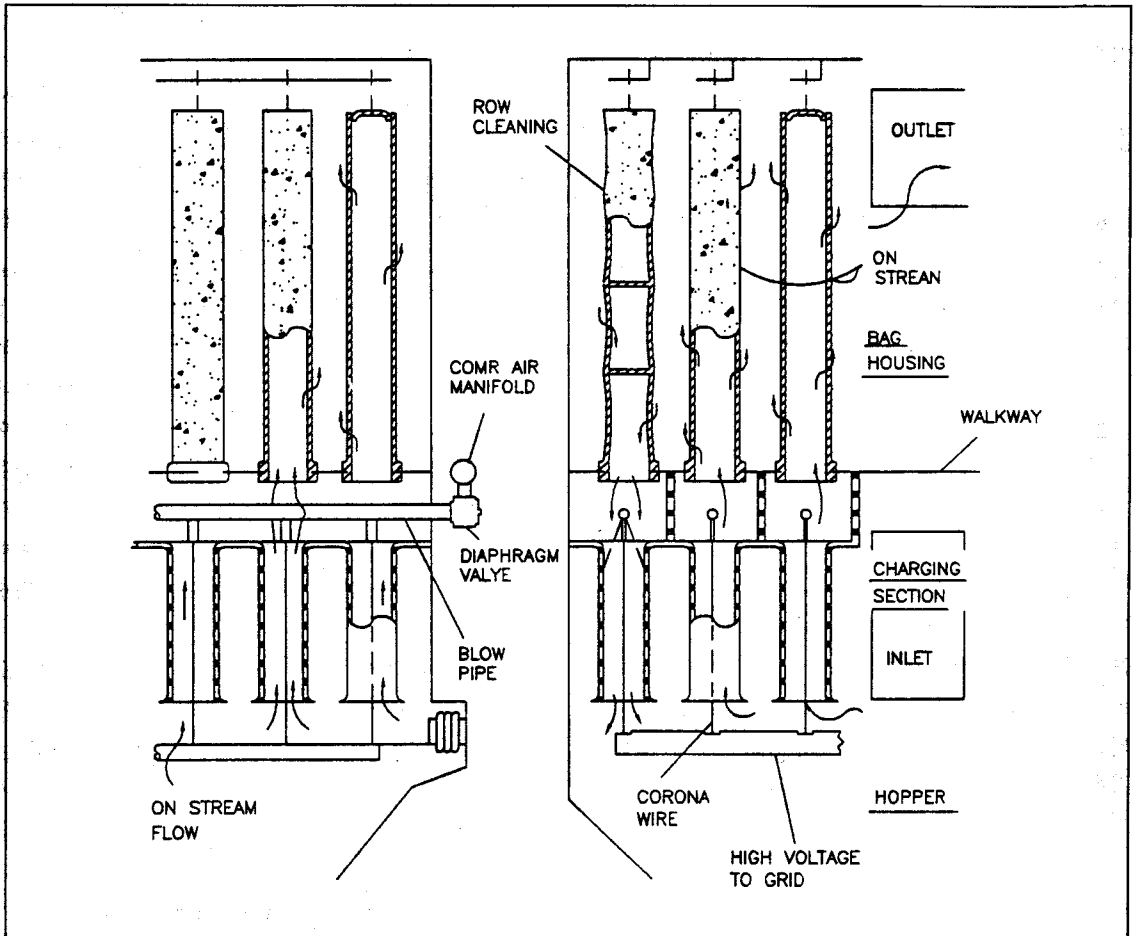


그림 1. 예비하전식 정전여과포 집진장치

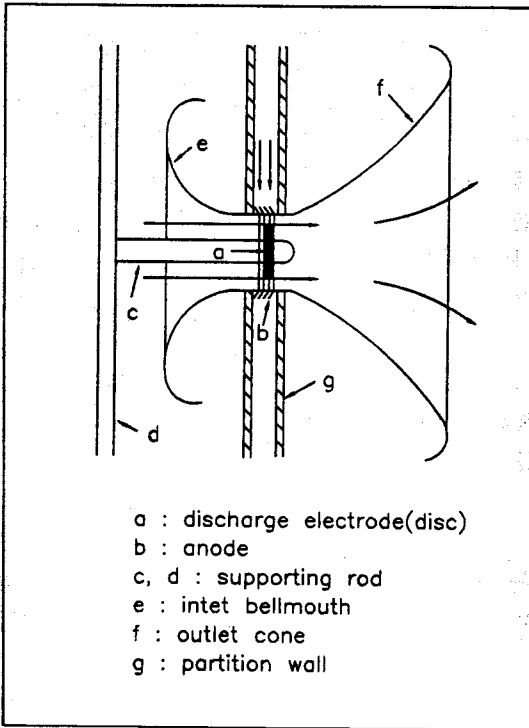


그림 2 강력이온화 장치의 개략도

균전장,  $E=10[\text{kv/cm}]$ , 이상의 매우높은 전장강도(Electric Field Strength)를 가지는 전계를 형성시키게 된다. 이에따라 대전영역에서의 코로나 전류밀도(Current Density)는 일반 예비하전장치에서의 코로나 전류밀도값인 약 $0.2[\text{mA/m}^2]$ 에 비하여 약 $40[\text{mA/m}^2]$  이상으로 높게 형성되며, 이것은 대전영역의 공간전하밀도(Space Charge Density)를 매우 크게 증가시켜 결국 강력한 대전효과를 나타낼 수 있다. 이장치의 장점은 하나의 경로에 의해서도 포화대전(Saturated Charging)에 매우 빠르게 올라갈 수 있으며 대전 효과가 매우 강력하다는 것이다. 그러나 높은 전류밀도로 인하여 전기비저항이 낮은 분진을 대전시키는 경우에도 역전리(Back Corona)현상이 발생하기 쉬우며, 대전영역에서의 매우큰 가스속도( $V=30 \text{ m/s}$ )를 집진부 입구에서 약  $1\text{m/s}$  정도로 낮추어야 하므로 대전부와 집진부 사이에 약  $2\text{m}$  이상 길이의 연결부가 필요하게된다. 그러나 만일 연결부의 길이가 길면

공간전하역전리(Space Charge Back Corona)를 유발하는 원인이 될 수도 있어, 이문제의 해결을 위하여 연결부 공간안에 여러개의 좁고 평행한 덕트를 삽입하여 접지시켜야 되는 등의 구조적인 단점도 있다. 이종류의 예비하전장치는 분진비저항이 보통영역이거나 낮은영역에서 효과적이며 또한 작은 가스유량을 취급할때 효과적이다.

(2) Tri-Electrode Precharger

그림 3은 Pontius 등[3] 에 의해 연구된 Tri-Electrode 예비하전장치의 구조를 나타낸다. 이장치의 구조적인 특징은 방전극과 집진극사이에 제3의 전극역활을 하는 Grid전극(Grid Electrode)을 설치하여, 이 Grid 전극에 DC-bias전압을 작용시킨다는 점이다. Grid전극의 설치목적은 방전극주위의 대전영역으로부터 나온 음이온은 자유롭게 집진극으로 이동시키고, 역전리 영역으로부터 나온 양이온은 Grid 전극에 부착시켜 대전영역으로 도달하지 않게 하는것이다.

이것은 Grid전극에 작용하는 공급전압의 크기가 음이온(Negative Ion)이 Grid에 부착되지 않을 정도로 충분히 클때 가능하지만, Grid전극과 집진극사이에서의 전장강도가 스트리머 전파의 한계전장( $5 \text{ kV/cm}$  in Air at NPT)을 넘어설 정도로 너

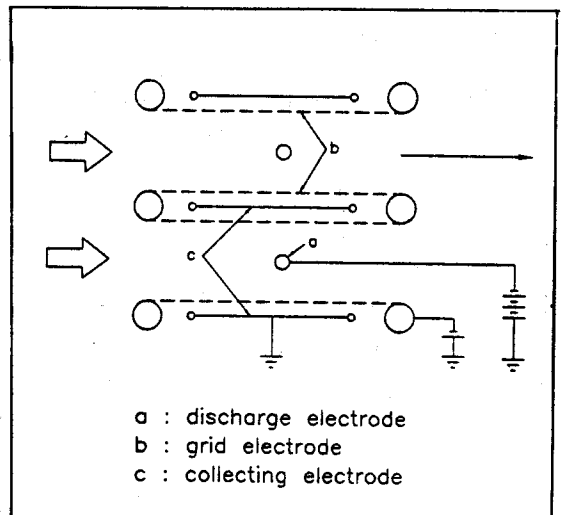


그림 3 Tri-Electrode Precharger 개략도

무 크면 역전리의 측면전파(Lateral Propagation of Back Corona)가 일어날 수 있으므로 Grid 전극에 작용시키는 공급전압의 세심한 조절이 필요하다.

만일 역전리의 측면전파 현상이 일어나게 되면 Grid전극과 집진극 사이의 공간은 스트리머형 역전리(Streamer Mode Back Borona)에 의해 양이온으로 가득차게 되고 이경우 양이온들은 Grid를 통과하여 대전영역으로 들어오게 된다.

따라서 이종류의 예비하전장치는 Grid 자체에서의 역전리 현상도 일어나지 않고 역전리의 측면전파도 일어나지 않는 조건으로 방전극의 공급전압을 조절하여야 한다는 단점도 있으나 적절한 설계와 운전조작에 의해 역전리없는 예비하전장치( Back Corona Free Precharger)로 사용할수 있다.

(3) Water-Cooled Precharger

그림 4에 Rinard 등[4]에 의해 연구된 Water-Cooled Precharger의 개략도를 나타낸다. 이 예비하전장치는 수냉식 파이프를 집진극으로 하며, 집진극에 분진이 축적될때 파이프내의 물의 순환에 의해 분진을 냉각시키고, 이때 분진의 전기비저항은 감소되어 역전리현상은 일어나지 않는다. 이

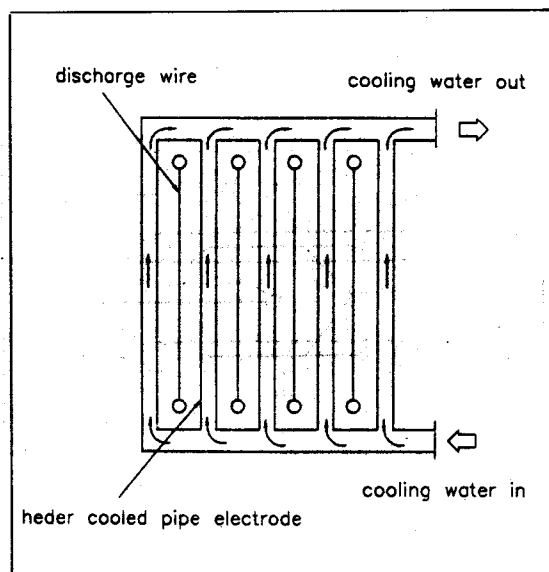


그림 4 Water-Cooled Precharger 개략도

장치에 대한 실험의 결과, 파이프 내부의 물의 온도는 40°C 이하로 유지시키고, 석탄 비산재(Fly Ash)를 예비하전 시키는 경우 역전리에 의해 변형된 전류-전압곡선이 정상상태로 수정되는 것으로 보고되었다[4]. 이종류의 예비하전장치의 장점은 구성과 작동이 간단하고 또한 기존의 집진부 사이의 제한된 공간에서 설치 가능한 작은 크기로도 제작가능하다는점이다. 그러나 이장치 역시 만족스러운 결과를 달성하기 위해서는 분진의 성질과 가스 조성에 대한 세심한 고려가 필요하며, 특히 가스속에 포함된 SO<sub>3</sub>의 양과 파이프내부의 물의 온도는 매우 밀접한 관계를 가진다.

(4) Box Charger

그림 5는 Masuda[5]에 의해 개발되어 현재 US 특허를 취득한 Box Charger이며, 분진의 조성 및 비저항에 무관하게 역전리없이 고효율의 대전효과를 기대할 수 있는 예비하전 장치이다. 다른종류의 예비하전장치와 다른점은 대전영역에서 50-500Hz정도의 저주파 교류전압 과 100-500ns의 Duration Time을 갖는 펄스전압을 이용한다는것이다. 그림에서와 같이 서로 마주하는 두개의 방전극 Unit 사이에 Sinusoidal 혹은 Square Wave 형태의 교류 주전압을 공급하고 이때 주전압의 음의 반사이클 동안 5-20 KHz의 고주파 교류전압이나 100-500ns의 Duration Time을 갖는 펄스전압을 작용시켜 주전압과 동조시킨다. 이때 반대쪽의 방전극은 정지되어 코로나 전압이 걸리지 않으며, 그결과 방전극이 음극성을 가질때 방전극에서 Plane형 플라즈마가 생성되며 주전압에 의해 음이온들만 반대쪽의 방전극으로 밀려나간다. 마찬가지로 교류 주전압의 다음 반사이클 동안에는 반대쪽 방전극이 작동하고 발생된 음이온들은 반대쪽의 방전극으로 공급된다. 따라서 음이온들은 대전영역을 지나면서 양쪽의 방전극에 대해 상하로 이동하게 되며 이때 양쪽에서의 분진입자는 음이온으로 대전되게 된다. 방전극에 높은 비저항의 분진이 축적되면 음이온들로 대전된 분진층 표면에 음전하의 충분한 축적에 의해 역전리가 발생하게 되나, 이장치의 경우 역전리가 발생하기

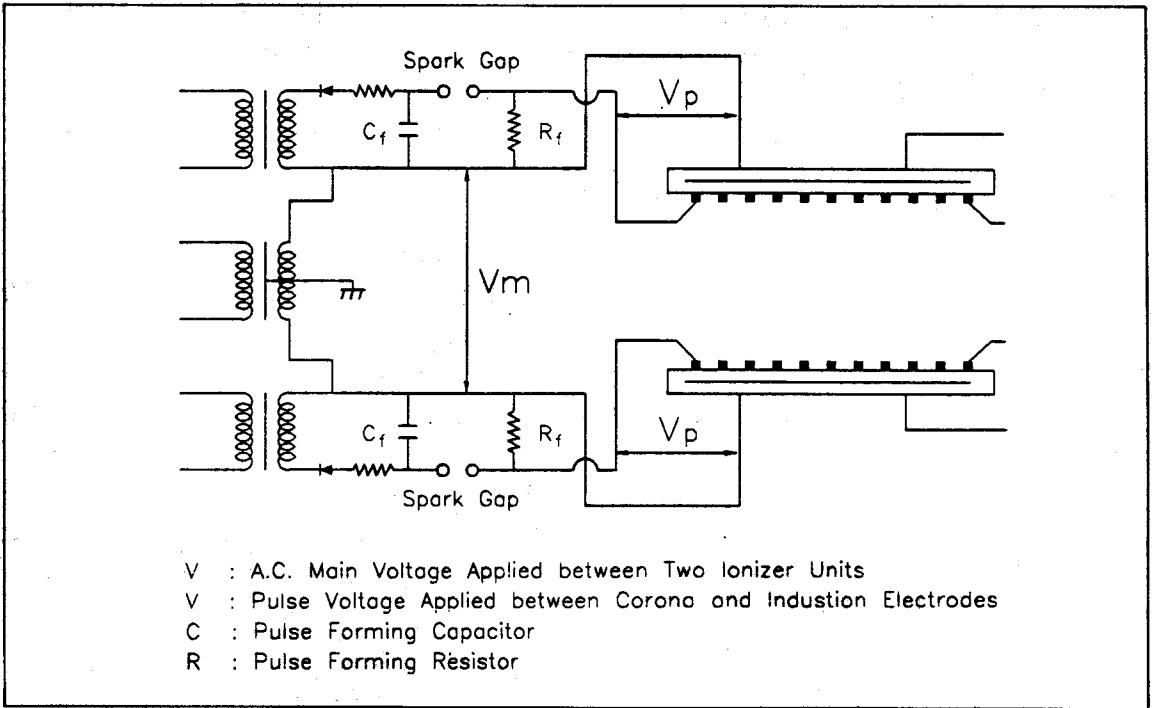


그림 5 Box charge의 개략도

전에 AC주전압의 극성이 바뀌게 되고 이때 전하의 축적도 정지된다. 이장치는 전기비저항이 매우 높은 분진에 대해서도 역전리가 생기지 않으며, 또한 사용온도가 매우낮은 온도로 부터 350°C 이상의 고온까지 매우 광범위 하다는 장점을 가진다.

2.1.2 유전식

여과포의 지지틀(Retainer)에 고전압을 가하여 여과포 표면에 전계를 형성하는 방식이다. 그림 6은 Van Osdell 등[6]에 의해 연구되어진 유전식 여과포의 형상을 나타내며, 여과포를 서로 번갈아가며 전극을 배치하여, 여과포면에 평행한 방향으로 전기력선이 형성되는 구조를 가진다. 이방식의 적절한 탈진방법은 Reverse Air, 또는 Pulse Jet 식이 유용하고 Reverse Air 탈진방식인 경우는 여과포 외부에 전극을 설치하고 Pulse-Jet 탈진방식에 대하여는 여과포 내부에 전극을 설치하는 것이 통례이다. Van Osdell에 의하면 이방식은 종래

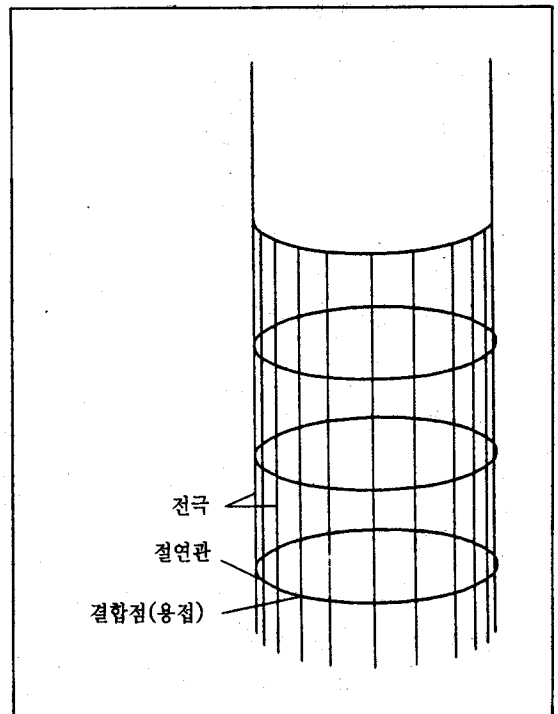


그림 6 유전식 정전여과포의 구조

의 방식에 비해 여과속도를 1.5배정도 증가시키  
연간 30%정도의 운전비용의 절감이 가능하다고  
보고 하였다.

2.1.3 일단식

1단식 전기집진기의 경우와 마찬가지로 동일전  
계내에서 분진의 하전과 집진을 동시에 수행하는  
구조의 정전여과포 이다. 즉 여과포의 내부중심에  
코로나 방전극을 설치하여 분진이 여과포 내부로  
진입하였을때 코로나 방전극의 방전에 의해 분진  
을 대전시키고, 대전된 분진은 여과포에 집진되는  
방식이다. 그림 7은 전형적인 1단 정전여과포의  
구조를 나타낸다.

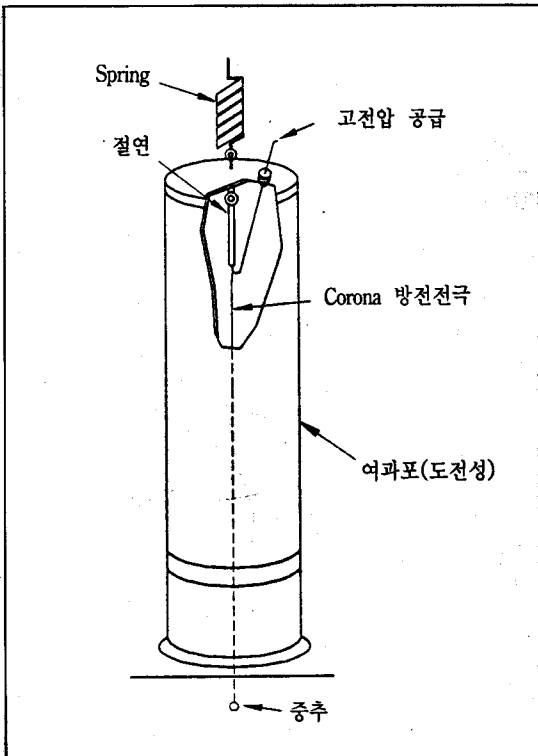


그림 7 일단식 정전Bag의 구조

2.1.4 정전여과포 집진장치의 연구사례

그림 8은 분진을 예비하전 시킨경우 여과속도  
에 따른 압력손실을 나타낸다[7]. 그림에서 여과포

를 탈진 시키기 직전과 직후 두가지 경우에 대하  
여 모두 예비하전이 있는경우의 압력강하가 낮게  
나타나고 있다. 또한 상대압력손실은 여과속도에  
크게 영향을 받지 않음을 나타낸다. 그림 9는 예  
비하전부에 가한 공급전압의 극성에 대한 압력강  
하를 나타낸다.[8] 그림에서 보듯이 DC Positive  
와 DC Negative의 공급전압인 경우가 AC인 경우  
및 전기를 작용하지 않는 경우에 비하여 압력강  
하 측면에서의 효과가 매우크게 나타남을 보인다.  
또한 집진효율은 공급전압의 극성 및 전기의 유  
무에 대하여 초기에는 DC인 경우가 AC 및 공급  
전기가 없는경우에 비하여 민감하게 증가하나 집  
진시간이 지날수록 민감성이 사라지고 있음을 나

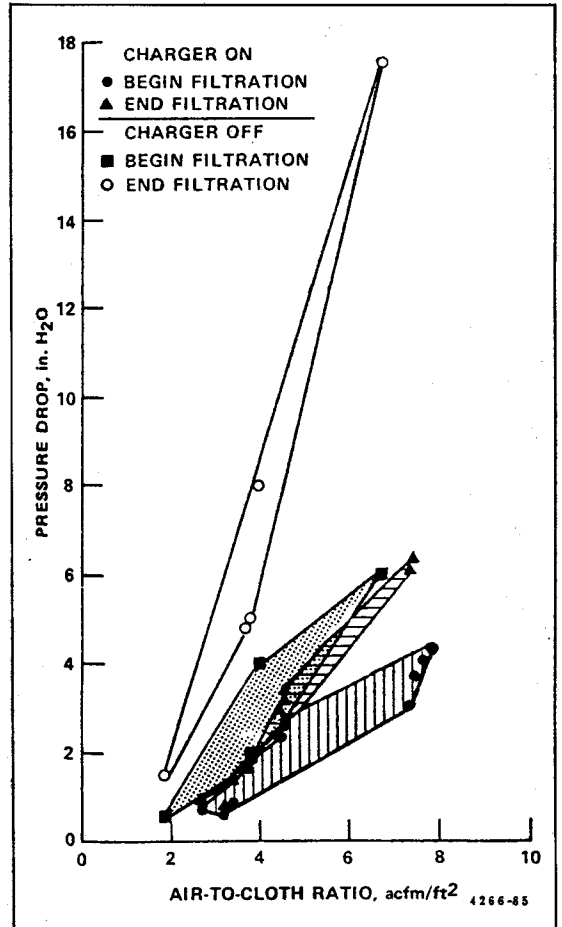


그림 8 여과속도와 압력 강하에 대한  
예비하전효과

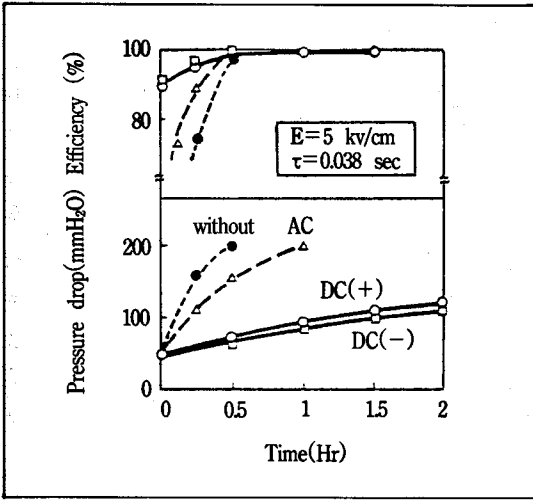


그림 9 공급전압의 극성(Polarity)의 영향

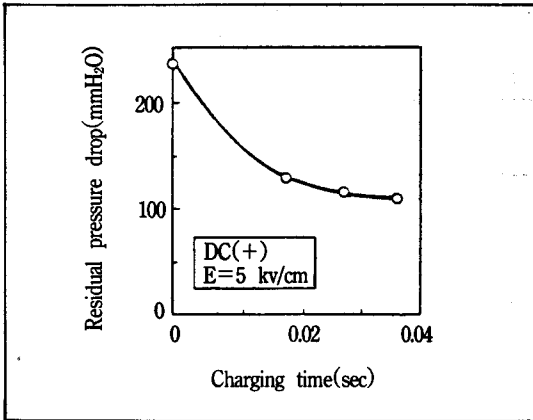


그림 10 하전시간과 압력강하의 관계

타낸다. 그림 10은 예비하전부 하전시간과 압력강하와의 관계를 나타낸다[8]. 역시 하전시간이 증가함에 따라 압력강하가 감소한다. 그러나 하전시간이 매우 길면 예비하전부에서의 집진이 일어나 하전특성에 영향을 미치게 될 것이다. 그림 11은 정전여과포 집진장치와 일반여과포 집진장치인 경우의 집진효율의 차이를 나타낸다[8]. 그림에서 나타나듯이 직경  $1\mu\text{m}$  이하의 입자에 대하여 정전여과포장치인 경우가 일반여과포 장치인 경우에 비하여 집진효율이 매우 높게 나타난다. 즉 일반여과포인 경우 직경  $1\mu\text{m}$  이하의 입자는 관성과 차단

효과 모두 작아서 집진효율면에서 불리하나, 정전여과포인 경우 정전기력의 작용에 의한 집진이 확연히 나타나고 있다. 그림 12는 정전여과포 장치와 일반여과포 장치인 경우, 역기류 방법에 의해 탈진하였을 경우 탈진주기에 대한 압력손실의 증가를 나타낸다[8]. 전체적으로 탈진시간에 관계없이 정전여과포 장치가 일반여과포 장치에 비하여 압력강하가 작다. 또한 탈진주기 60분 까지에 대하여 살펴보면 정전여과포인 경우는 탈진주기가 증가하여도 압력강하는 일정한데 비하여, 일반여과포 집진장치에서는 탈진주기가 증가할수록 압력강하도 증가함을 보인다.

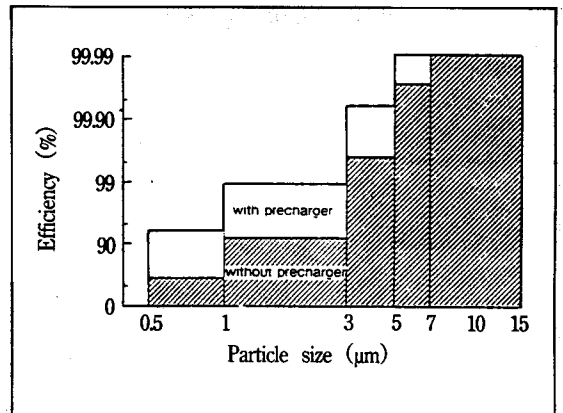


그림 11 정전여과포와 일반여과포의 집진효율 비교

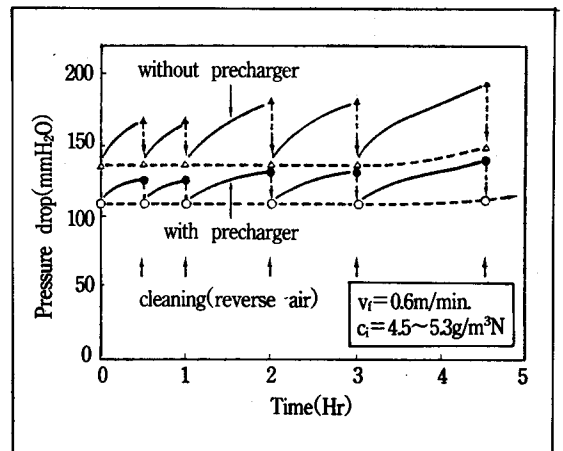


그림 12 탈진주기에 대한 압력손실의 비교



이상의 연구사례에서 나타나듯이 여과포 집진 장치에 정전기를 응용하면, 집진효율은 증가하고 압력강하는 감소하여 기존의 여과포 집진장치의 문제점 해결 및 성능증가에 매우 큰 역할을 함을 알 수 있다.

### 2.2 Gas Conditioning 기술

여과포 가스흐름의 상류에 화학적인 약품을 첨가하면 입자사이의 결합력이 좋아지고 그결과 집진효율이 증가하고 압력강하도 감소하여 여과포 집진장치의 성능향상에 크게 기여할수 있으며, 이때 가스에 첨가하는 첨가제는  $NH_3$ 와  $SO_3$ 의 복합체가 가장 좋다고 알려져 있다. Bush[9]에 의하면, 실스케일의 석탄연소 보일러용 여과포 집진기에서 15ppm의  $SO_3$ 와 30ppm의  $NH_3$ 를 첨가하여 실험한 결과, 여과포의 저항은 약 50% 감소하였으며, 여과포 하류부분에서 광원(Light Source)을 주사하였을 경우 투시광의 불투명도(Opacity)가 크게 낮아짐을 보였다. 불투명도가 낮아진 이유는 집진효율 증가로 여과포를 통과한 분진의 농도가 매우 낮아졌기 때문이며 결국 집진효율이 매우 증가 하였음을 알 수 있다. 그림 13는 가스 Conditioning을 하였을 경우와 하지않은 경우에 대한 투시광의 불투명도를 나타내며, 그림 14는 Pilot Scale의 보일러에 첨가제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은경우에 대한 압력손실을 시간에 대하여 나타내었다. 여과포 집진장치의 성능개선을 위한 이방법은 매우 효과가 크나, 첨가제로 인한 가스의 응축과 암모니아 슬립(Slip)문제 등 설계상의 문제로 인하여 아직은 상업화 되지않고 있다.

실험한 결과, 여과포의 저항은 약 50% 감소하였으며, 여과포 하류부분에서 광원(Light Source)을 주사하였을 경우 투시광의 불투명도(Opacity)가 크게 낮아짐을 보였다. 불투명도가 낮아진 이유는 집진효율 증가로 여과포를 통과한 분진의 농도가 매우 낮아졌기 때문이며 결국 집진효율이 매우 증가 하였음을 알 수 있다. 그림 13는 가스 Conditioning을 하였을 경우와 하지않은 경우에 대한 투시광의 불투명도를 나타내며, 그림 14는 Pilot Scale의 보일러에 첨가제를 첨가한 경우와 첨가하지 않은경우에 대한 압력손실을 시간에 대하여 나타내었다. 여과포 집진장치의 성능개선을 위한 이방법은 매우 효과가 크나, 첨가제로 인한 가스의 응축과 암모니아 슬립(Slip)문제 등 설계상의 문제로 인하여 아직은 상업화 되지않고 있다.

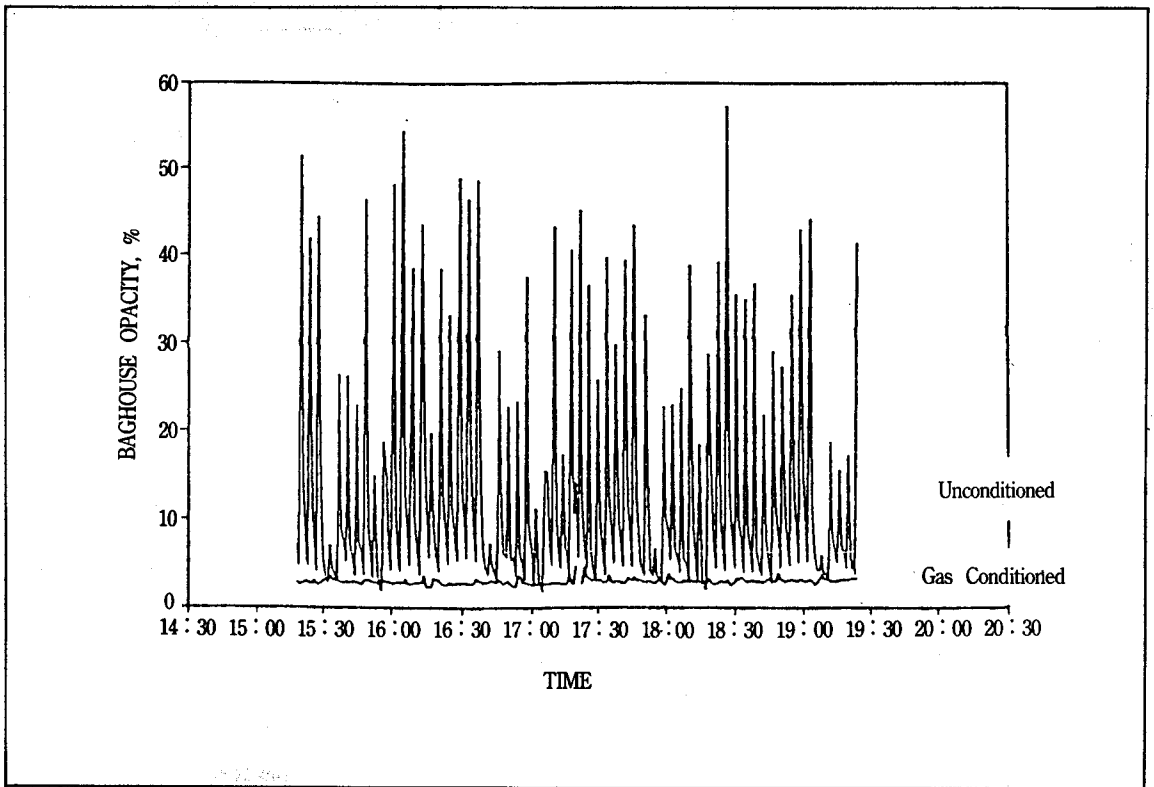


그림 13 Gas Conditioning의 효과(Opacity 비교)

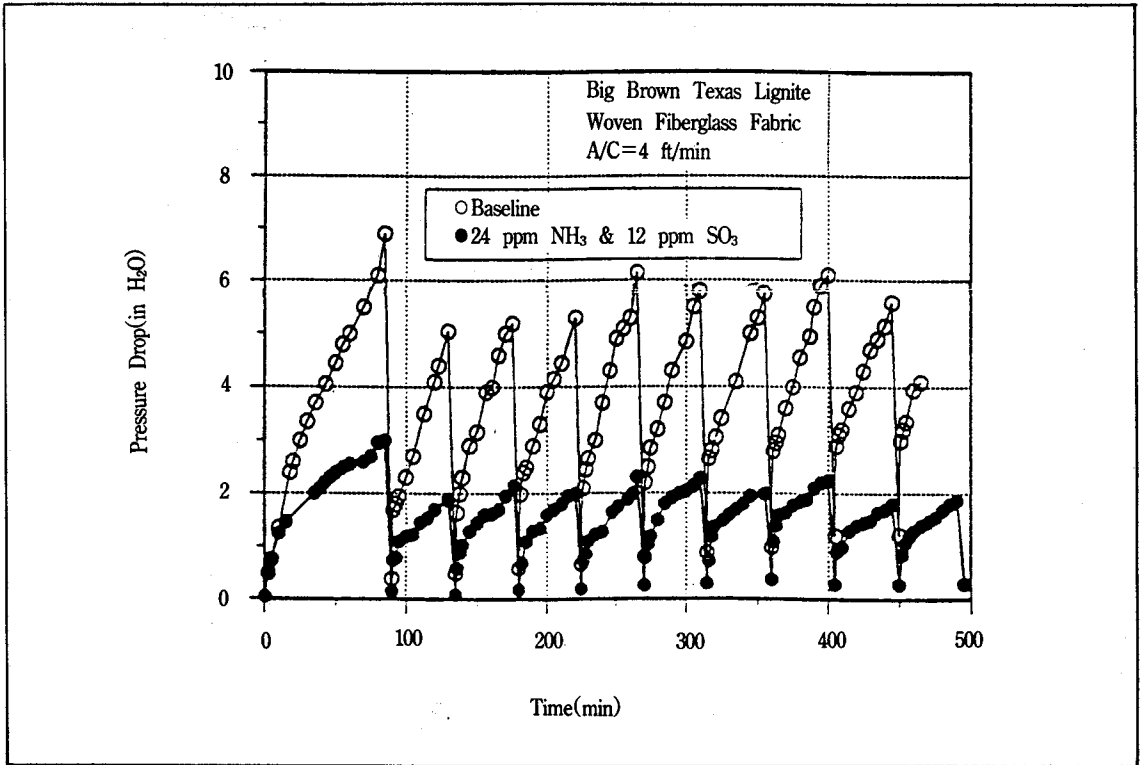


그림 14 Gas Conditioning의 효과(압력강하 비교)

### 3. 여과집진기술의 적용영역확대

일반적으로 모든 기술은 종래의 방식과 다른 새로운 분야로의 적용을 위해 가속화 되며 여과집진기술도 예외는 아니다. 이와같은 여과집진장치의 새로운 적용분야를 개척하려는 연구는 매우 다양하게 수행되고 있으며 몇가지의 적용사례에 대하여 알아본다.

#### 3.1 COHPAC

전기집진기의 낮은 성능문제를 보완하기 위한 또하나의 새로운 기술은 Compact Hybrid Particulate Collector(COHPAC)이다. 이것은 전기집진기의 출구부에 여과포 집진장치를 설치하여 집진 성능을 증가시키는 방식이며[10], 응용원리는 초기에 전기집진기에서 분진이 제거되고 전기집진기에서 집진되지 않은 분진들은 여과포 집진장치에

유입되어 집진되는 원리이며, 이때 여과포 집진장치에 유입되는 분진은 전기집진기를 통과하였기 때문에 농도가 낮고 또한 정전기를 띄고 있으므로, 예비하전식의 정전여과포 집진장치의 효과도 동시에 기대할수 있다.

따라서 같은 처리유량일 경우 COHPAC 방식의 여과집진기는 독립된 여과포 장치에 비하여 압력손실의 증가나 분진의 방출없이 매우높은 여과속도로 운전할수 있어 여과포 집진장치의 크기를 매우축소 시킬수 있다. 그림 15는 COHPAC의 예를 나타낸다. 그림에서 SCA 약 150-200  $ft^2/1000 acfm$ 인 전기집진기의 후단에 Pulse-Jet여과포 집진장치를 COHPAC 배치 한경우 분진의 대기방출농도는 0.03 lb/MBtu 이하이다. 그러나 만일 전기집진기의 후단부에 여과포 집진장치 대신 또하나의 전기집진기를 설치할 경우는 SCA 300-800  $ft^2/1000 acfm$  이상의 용량이 필요하게 된다.

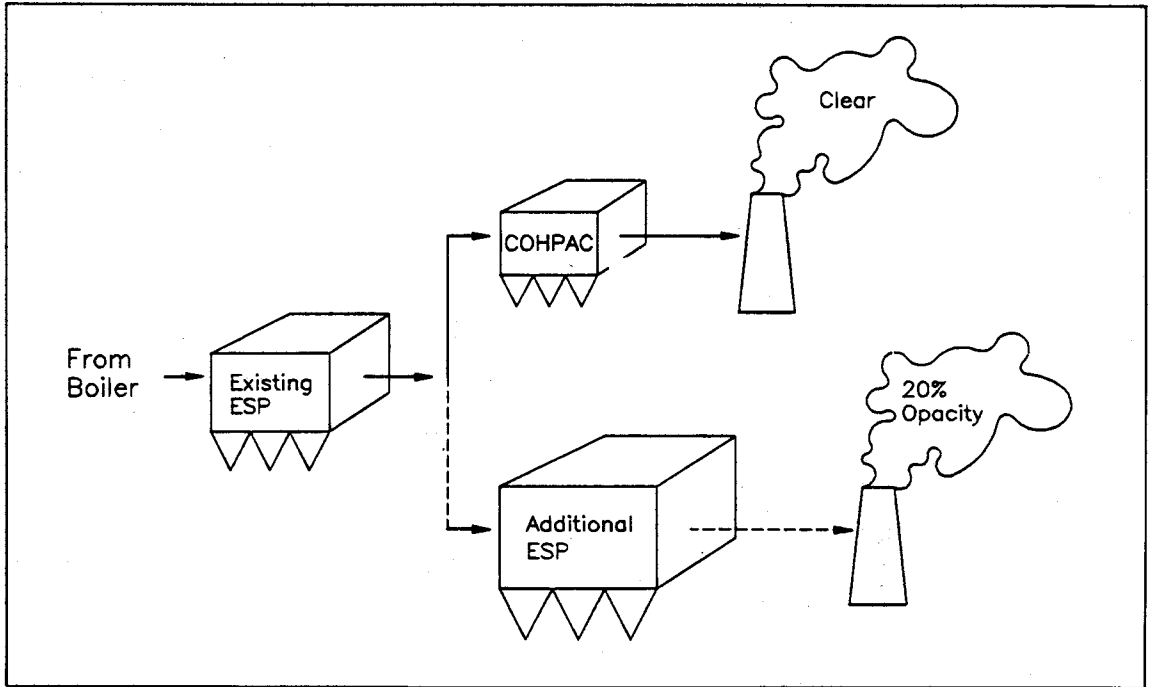


그림 15 COHPAC의 개념도

### 3.2 고저항 분진에 대한 적용

석탄 화력발전소에 여과포 집진장치의 적용은 1970년대 중반부터 미국에서 시도하여 근래에는 미국, 호주 등에서 많이 사용하는 기술로서, 석탄 연소시에 생성되는 고저항 분진의 역전리(Back Corona) 문제가 전기집진기의 집진효율 감소원인이 되어 이의 대안으로 분진의 전기적 특성에 의존하지 않고 안정되게 높은 집진효율을 기대할 수 있는 대체기술로 개발되었다. 석탄연소 보일러의 분진특성은, 주로 연소온도 및 연소방법에 영향을 받는다. 미분탄 연소에서는  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  등이 분진의 주성분이 되나, 유동상 연소에서는 로내탈황에 석회석 등을 사용하기 때문에  $CaO$ ,  $CaSO_4$  등의 성분이 많이 포함된다. 이때 분진의 전기저항은 성분과 가스온도에 영향을 받아 일반적으로 저유황탄 또는 낮은 가스온도(150-200 C)에서는 전기저항치가 높아진다 [11]. 석탄화력발전소에 적용되는 여과포의 재질은 미국의 경우 유

리섬유에 Teflon B 또는 Silicon Graphite 처리를 한것이 주로 사용되며, 호주의 경우 Acryl여포가 주로 사용된다. 탈진방식은 유리섬유 여포의 손상을 억제하기 위해 공익사업용은 역세형이 많이 사용되고 일반 산업용의 중소규모의 보일러에는 Pulse Jet방식이 많이 사용된다.

### 3.3 집진, 탈황, 탈질 동시처리 시스템으로의 적용

근래에 들어서 배출규제대상 유해가스의 다양화, 배출규제의 강화로 각 규제대상 물질에 대하여 개별적으로 처리장치가 설치되어 있지만 하나의 처리장치에 많은기능을 갖추도록 종합적인 배기가스를 처리할 수 있으면 보다 더 효과적이다. 이와같은 점에서 여과식 집진기는 종합적인 배기가스의 처리를 위하여 크게 유효한 장치라고 말할 수 있다. 즉 여과식 집진기는 가스를 분진층에

여과하여 제거시키는 시스템인데, 만일 이 분진층에 유해물질 흡수제거제를 혼입하여 배기가스와 접촉시켜주면 고체와 기체의 반응을 일으켜 유해물질의 흡수제거가 가능해진다. 이점에 착안하여 여과식 집진기를 적절히 적용하면 집진기능만이 아니라 탈염, 탈황, 탈질 기능을 하나의 Process에서 처리할 수 있는 시스템을 설계할 수 있다. 이와같은 여과집진의 유리한점 때문에 대형 폐기물 소각로 건설시에 전기집진기보다 여과식 집진기의 채택이 검토되는 경우가 점점 증가하는 추세이다. 그림 16에 반응증발탑, 분체분사장치 및 여과식 집진기를 사용한 반응집진장치의 개략도를 나타낸다[11]. 그림 17은 여과포 집진을 이용하여 탈황, 탈질 및 집진을 동시에 수행하는, B&W사

의 특허인 SNRB(SOx, NOx, ROx, BOx)의 개략도를 나타낸다[12]. 이장치의 핵심부분은 동시처리를 발생시키는 고온 Pulse-Jet 여과포 집진장치이며 여과포는 3M의 NEXTEL을 사용한다. 480-590°C 정도의 여과포 상류에 소석회와 같은 건식용제와 암모니아를 분사하여, 이때 생성되는 황산염 생성물과 비산재는 여과포 집진기에서 집진되고, 이후 370-455°C의 청정가스는 촉매재를 지나면서 암모니아에 의해 NOx를 NO2와 물로 분해하는 원리이다. SNRB장치는 탈질시 촉매재의 SO2 독성을 감소시키고 비산재에 의한 촉매재의 부식과 침식을 방지하며, 집진과 탈황, 탈질을 하나의 UNIT에서 동시처리할 수 있으며, 경제적이고, 유효공간을 줄여준다.

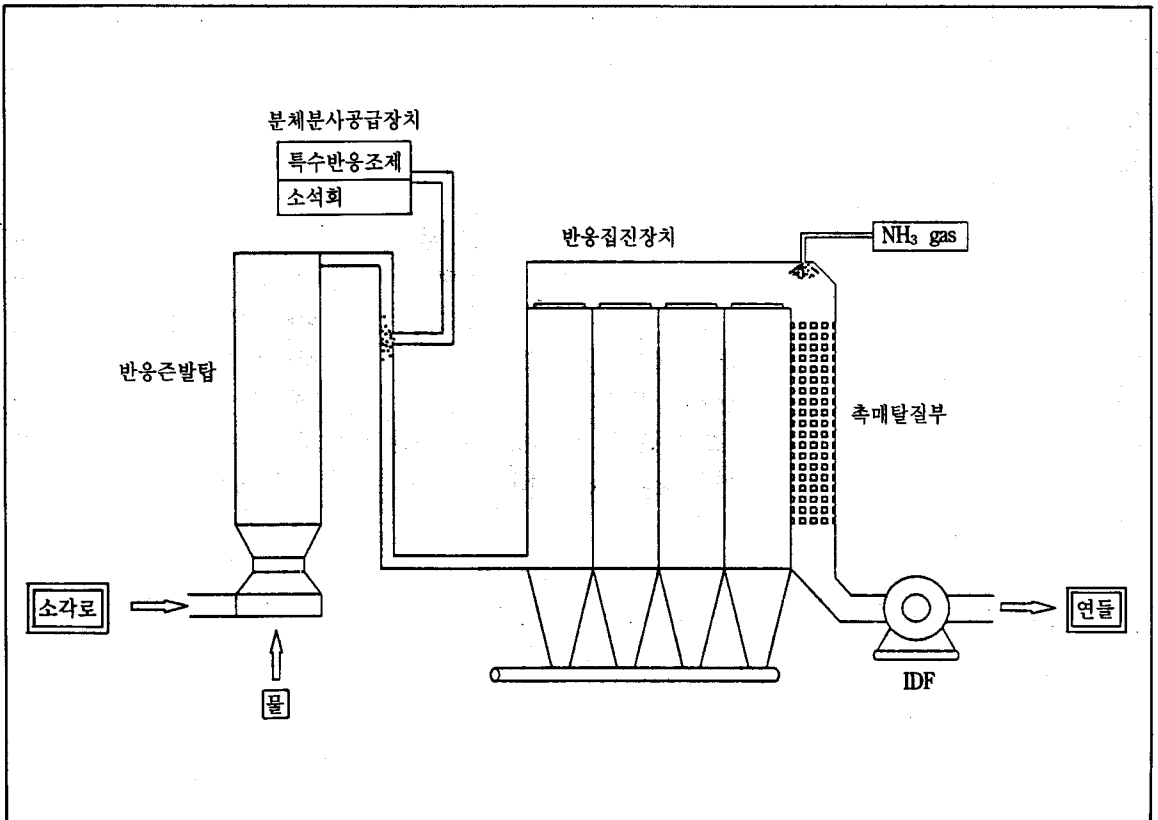


그림 16 반응집진장치의 개략도

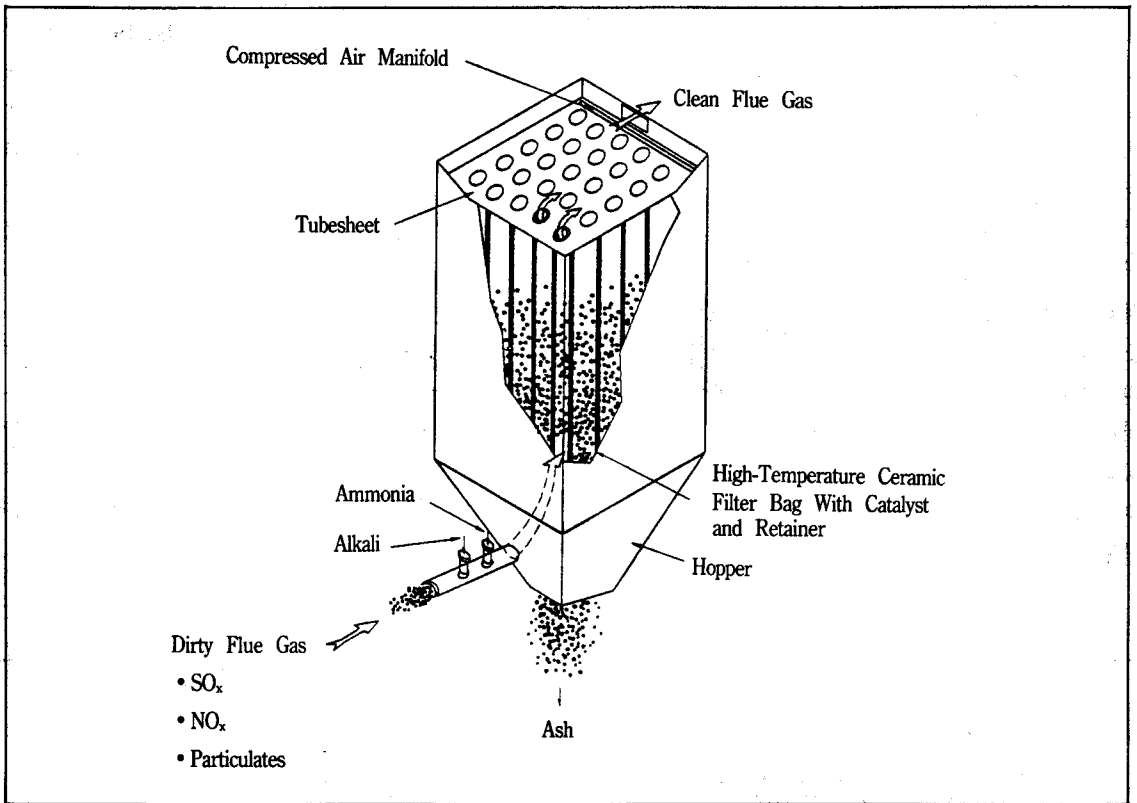


그림 17 SNRB의 개략도

### 3.4. 고온, 고압의 극조건에서의 적용

석탄가스화 복합발전 시스템은 시스템 자체의 특수성으로 인하여 세라믹 필터와 같은 새로운 방식의 여과집진기술이 필요하다. 석탄가스화의 가스중에는 약  $2-4g/m^3N$ 의 입자상물질 (이경우는 Char) 과 약 1000ppm 이상의  $H_2S$ 가 포함되어 있어 입자상물질은 터어빈날개 부분을 마모시키고  $H_2S$ 는 부식의 원인이 되므로 이것들을 제거하는 집진및 탈황기술이 필요하다. 그러나 석탄가스화 복합발전 시스템의 집진은 고온, 고압( $500^{\circ}C$  이상, 20기압 이상),  $H_2S$ 등을 포함하는 부식성 가스, 입구의 입자상 물질의 높은 농도, 출구의 입자상물질의 농도허용조건, 입자상 물질의 낮은 전기저항( $10^3-10^4 \Omega cm$ )등의 집진상 곤란한 특징을 갖는 매우 특수한 조건이다. 이를위해 종래의 각분야에서 사용된 집진방식을 그대로 적용하기는 어

려우므로 새로운 집진방식이 개발되어야 하며, 최근 활발히 논의되는 방법이 고온세라믹 필터를 이용한 여과집진방식이다. 이방법은 필터의 내열성, 기계적강도, 내부식성및 집진효율면에서 대단히 성능이 좋으나, 분진부하의 상승과 더불어 증가는 압력손실 등의 문제점을 내포하고 있으며, 극조건에서의 집진기술로 정착시키기 위한 연구가 매우 활발히 진행되는 추세이다.

### 4. 기타의 신기술

여과집진의 성능향상과 새로운 분야로의 적용에 대한 기술동향을 알아보았으며 마지막으로 탈진기술 등의 기타기술에 대하여 기술한다.

일반적으로 여과포의 탈진기술의 개발은 기존의 기술을 수정, 보완 하여 점점 새로운 기술로 발전시켜 나가는 방법을 사용하며, 전형적인 탈진기술은 역세형(Collapse), 진동형(Shaker), Pulse

Jet 방식등이 있으나, 대부분의 새로운 기술은 Pulse-Jet 방식의 수정에 의하여 개발되는 경향이 다.

Pulse-Jet 방식의 변형된 새로운 방식의 탈진기술은, 1개의 노즐과 벤튜리 시스템에 의해 28개 이상의 여과포를 탈진시키는 구조의 탈진방식, 및 1개의 Reverse Jet 매니폴더로 600개 이상의 여과포를 탈진시킬수 있는 저압 대유량 Pulse-Jet 탈진장치가 최근에 개발되었으며[1], 또하나의 새로운 탈진기술은 140-150 dB의 초음파를 사용하여 여과포에 공기의 진동을 주어 탈진시키는 기술이다. 이방식은 역세형과 마찬가지로의 구조이며 여과실의 내부에 사이렌등의 초음파 발생장치를 설치한 것이다. 정상적인 여과포 탈진기간중에 초음파를 발생시키면 그림 19와 같이 여과포 탈진후 압력강하는 40-50% 이상 감소하게된다[14]. 이방식은 저주파 영역에서 가장 성능이 좋으며, 정상적인 방법에 의해 여과포 탈진이 부적절한 곳의 높은 압력강하 문제를 개선하기위해 빈번히 사용하고 있으며, 여포의 장기간 사용을 기대할수 있으나 청정가스의 출구쪽에 소음기를 설치하는 등의 방음대책이 필요하다는 단점도 있다.

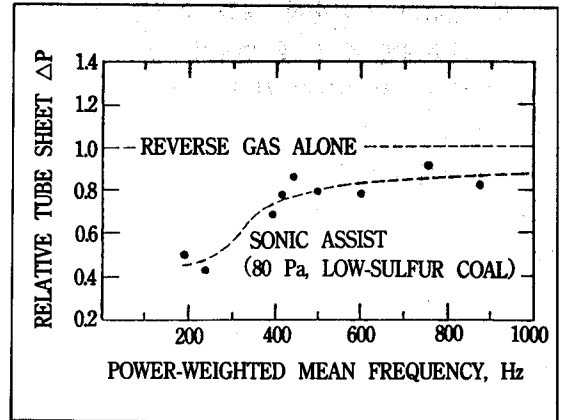


그림 19 초음파를 이용한 탈진효과

### 5. 맺음말

여과집진기술에 대한 최근의 기술개발 동향에 대해 성능향상 기술 및 새로운 분야로의 적용기술에 대해 연구사례별로 알아보았다. 산업시설에서 배출되는 대기오염 물질들은 지구환경을 심각하게 파괴하였고, 이로인하여 세계적인 차원의 지구환경 보호운동이 활발히 전개되고 있으며, 또한 각국의 배출물 규제도 점점 강화되고 있는 현 시점에서, 고효율화 집진기술의 개발에 대한 요구는 점점 증가한다. 여과집진기술은 집진기술의 가장 기초적인 기술인 만큼 향후 발전 또는 개발되어야 할부분은 매우 많은것으로 생각되며, 특히 정전여과포 기술, COHPAC 및 탈황, 탈질, 집진 동시처리 종합 시스템기술 등은 선진 외국의 경우 이미 개발되어 현장적용 및 기술수출 중이거나, 개발완료 단계의 신기술인데 비하여, 국내의 기술은 여전히 기존의 여과장치 설계, 제작 기술에 의존하고 있다는 생각이다. 또한 본글에서는 언급하지 않았지만 여과집진은 연소배출가스의 집진뿐만 아니라 최근에는 염화수소(HCl), 불화수소(HF), Dioxin등의 유해화학물질의 제거기술, 의학분야에서의 미생물 포집기술 및, 초정정장치에 사용하는 필터인 HEPA, ULPA 제작기술등도 여과집진기술의 중요한 한분야이다. 국가간의 기술경쟁이 치열하며, 기술이전이 쉽지않은 현 상황에서,

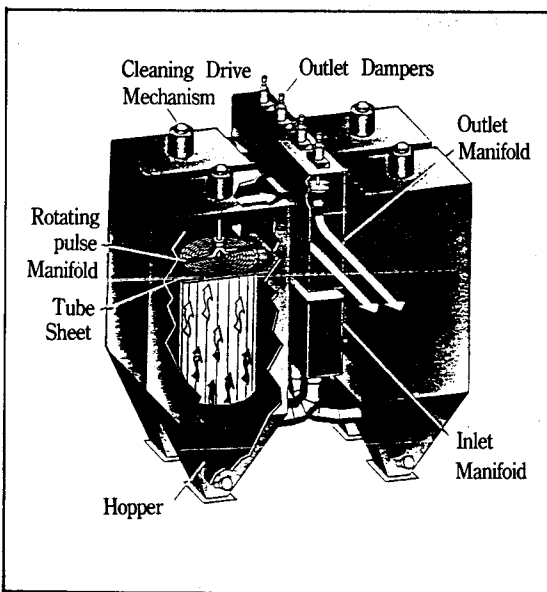


그림 18 저압 대유량 탈진 방식

집진 및 포집의 신기술에 대한 요구는 여과집진 분야의 기술개발 투자 및 연구에 박차를 가하여 야할 동기제공을 충분히 한다고 보며, 끝으로 본 연구원에서는 정전여과집진기 개발, 고효율 분진 예비하전장치 개발 등의 여과집진 분야의 연구를 수행하고 있으며, COHPAC, Retrofit, 집진, 탈황, 탈질 동시처리기술 등의 하이브리드기술 개발에도 주력하고 있다.

### 참 고 문 헌

1. Dennis Helfritch & Richard Miller, The User and fabric Filtration equip. Proc., Toronto, Ontario, September, 1992, p3-p22
2. O.J. Tassicker and J. Schwab, EPRI Journal (June/July, 1977) p.56
3. D.H. Pontius, P.V. Bush, Proc. EPS-Symposium on Transfer and Utilization of Particulate Control Technology, vol. 1, pp 275-285 (1978 in Denver, Colorado, USA : EPA-600/7-79-044a, february 1979)
4. G Rinard, T. Itagaki, Proc. of Third EPA-Symposium on transfer and Utilization of Particulate Control Tec., vol. II, pp 283-294 (EPA-600/9-82-005b ; July 1982)
5. S. Masuda and E Kiss, Proc. Intern. Conf. on Industrial Eletrostatics(May17-18, 1984 in Budapest, Hungary)
6. G.P Grainer, D.A. Furlong, D.W. vanOsdell, JAPAC, 1981, Vol 31, No 10, pp 1125-1131
7. Wallace B. Smith, Joseph D. McCain et al., Proc. 2nd. Int. Conf. on ESP (Nov. 1984, Kyoto, Japan) pp 444-452
8. K. Ohtsuka, M. Shimoda, T. Yukitake, Proc. 2nd. Int. Conf. on ESP (Nov. 1984, Kyoto, Japan) pp 461-470
9. P. Bush, et al., Proc. of 9th particulate Control Symposium, October, 1991
10. R. Chang, et al., ' Pilot Plant Demonstartion of a Compact Hybrid Particulate Collector (COHPAC)", Proc. of 9th particulate Control Symposium, October, 1991
11. 첨단환경기술 : 1993, 7. 통권 1권 2호
12. J.M. Wilkinson, P. Chu, K.E. Redinger, T.J. Gennrich, KC heish, EPRI 9th Particulate Control Symposium, Williamsburg, VA, 1991.
13. Timm J. Gennrich, The User and fabric Filtration equip. Proc., Toronto, Ontario, September, 1992, p125
14. D. Ponyius, K. Chusing, Proc. in 3rd Conf. in Fabrid Filter Tec. for Coal Fired Power Plant, November, 1985
15. 천중국, 동아대학교, 환경공학과 석사학위 논문, 1994.
16. Handbook of Air Polution Technology ;John Wiley & Suns, 1984
17. Richard F henry, Walter F. Podolski and Satish C. Saxena, IEEE Tras. on Industry Application. Vol 1A-2I No 4 July/August 1983.