

전기집진기술의 현황과 장래전망(I)

高明 三 <한국 Cottrell(주) 기술고문, 서울대 명예교수>
李 達 雨 <한국 Cottrell(주) 회장>

1. 서론

대기중에 혼재하는 입자형 먼지와 유해가스 제거 문제는 현대산업사회의 초기단계로부터 기술자들이 해결해야 할 기초적인 연구과제로 거론되어 왔다. 특히 산업사회의 발달로 인한 석탄, 원유물질들의 대량처리와 연소 공정, 그리고 시멘트와 각종 제련소에서의 배출가스로 인한 오염물질의 대량배출은 인류의 생활환경까지 위협하는 지구적인 환경문제를 야기시켰다.

특히 공기 오염문제는 문명의 발달과 정비례하여 증폭되어 왔기 때문에 여러 선진국에서는 1960년대부터 전기적인 방법으로 공기중의 분진 입자를 분리 제거하였고, 화학반응에 의한 습식 탈황설비 등을 가동시켰다. 1980년이후 지금까지는 fly-ash의 집진효율 향상, 펄스하전장치의 개발, 비용절감을 위한 전극간격확대에 의한 ESP 제작등이 시도되었다. 특히 최근에는 전자빔 혹은 PPCP(Pulse Corona Induced Plasma chemical Process)에 의한 SOx 및 NOx 제거기술에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있으며 앞으로 5년 이내에는 이들의 실용화기술이 정착될 것으로 기대된다.

앞으로 전기집진기술의 역사와 기술현황을 연대별로 소개하고, 또 장래 전망과 국내에서의 연구개발 현황을 함께 소개하고자 한다.

2. 전기집진기술의 진보

BC 600년경 고대회랍에서 마찰전기가 처음 발견되었고 정진기에 의한 두 물질간의 흡착 또는 배척현상을 발견하였다. 그후 마찰전기현상을 이용한 여러가지 정진장치들이 개발되었다. Coulomb은 1785년부터 5년간에 걸쳐 정전기과학과 정전집진이론의 기초개념이 되는 Coulomb법칙¹⁾을 발견하였다. 그후 Walker²⁾등 여러사람들에 의해 공기중의 먼지 입자를 제거하는 연구가 시작되었으나 큰 성과를 얻지 못하던중 1900년대에 접어들면서 캘리포니아 대학의 Cottrell교수에 의한 최초의 전기집진기(ESP=Electrostatic Precipitator)개발이 성공하였고, 오늘 산업체에서 실용화되고 있는 전기집진기 기술의 기초를 마련하였다.

2.1 초기전기집진장치(1900~1960)

공기정화에 대한 Cotterll 교수의 관심은 과학적인 관점이라기보다 제련소로 인한 공기오염을 방지하고자 하는 사회적 욕구에 부응할 수 있는 실제적인 문제해결에 있었다. 그는 Spark coil과 원통형 상자내에 여러개의 방전극을 설치하여 공기정화를 시도하였으나 Spark coil에 대한 공급전력에너지 부족으로 균등한 Corona 방전을 얻는데 실패하였다.³⁾ 그후 보다 더 많은 방전극을 제공할 수 있는 半導體性 섬유재질로 만든 軟毛放電極(Pubescent discharge electrode)과 1906

년 당시 새로 개발된 동기기계식 정류기와 10~15[Kv]의 고전압교류변압기를 사용하여 비교적 균등하게 분포된 Corona방전을 얻을 수 있어 유황산연무(Sulfuric Acid Fume)를 제거하는데 성공하여 California Shelby 제련소에 설치 장기간 운영하였다.

Cottrell의 최초의 전기집진기의 기본구조는 그림1과 같다.⁴⁾

특기할 것은 고전압애자를 권조시키며 깨끗하게 유지하기 위한 환풍시스템을 도입한 사실이다. 그는 그 당시 이미 負 Corona 방전이 正 Corona방전보다 더 높은 전압과 큰 전류를 유지할 수 있음을 밝혔다.⁵⁾

Shelby제련소에 집진기를 설치당시 California 지역은 신홍산업시설로 인한 각종 공해가 사회적 문제로 부각되었다. 특히 시멘트 소각로에서 배출하는 석회와 점토성 분진으로 인한 Orange밭의 피해는 컸다. 당시 시멘트공장에서의 배기가스는 400[°C]~500[°C]인 고온이면서 하루

100Ton규모의 먼지입자를 포함한 대량의 가스(1,000,000[cfm])등 처리가스의 고온과 대용량이라는 새로운 기술적 명제가 제기되었다. 이러한 새로운 차원의 기술적 문제를 Cottrell의 제자였던 W.A.Schmidt⁶⁾씨가 담당하여 집진기설계에서 가장 창의적이고 기본적인 발전을 실현시켰다. 즉 Schemdit는 현재에도 집진기의 방전극으로 사용되기도 하는 세션코로나방전극(Finewire corona-discharge electrode)를 처음 개발하므로써, 연모전극의 여러가지 단점과 기술적인 난점들을 일시에 해결하였다. Schmidt는 혁신적인 집진전극 뿐만 아니라 집진기의 집진실 구분개념과 집진된 입자들의 처리기법을 개발함으로써 고온 대용량의 시멘트 소각로의 배출가스 오염을 예방할 수 있었고, 100[Kv]이상의 고전압 corona방전에 의한 전기집진 프로세스에 관한 실험적 연구등 개척자적인 연구도 수행하였고, 이들 연구결과들을 1912년 Riverside에 있는 시멘트 공장에 성공리에 설치운영하였다.

그 결과 전기집진 기술은 1912년이후 청년기에 접어들게 되었다. 1912년 당시 저명사업가 및 교육자들의 재정적 지원으로 Cottrell교수는 The Research Cooperation⁷⁾을 설립하여 그의 귀중한 집진기술에 관한 특허를 이 기관에 이관시켰으며, 외국에서 취득한 모든 특허와 나머지 특허권을 Schmidt씨에게 위임하였다.

그림 2는 Cottrell이 1911년에 California의 여러지역에 설치한 多室 전기집진장치 배치구성도이다.

1922년 W.Deutch⁸⁾는 ESP의 집진성능에 관하여 이론적으로 다음과 같이 제시하였다.

$$\eta = 1 - \exp\left(1 - \frac{A}{Q}\right) \quad (2.1)$$

단, Q : ESP에서의 처리 가스량

A : 집진면적

η : dust이동속도(집진율의 실측치에서 역산)

ω : 집진율

그후 이 식은 여러사람에 의해 수정되었다. 특히 Matts⁹⁾는 1978년에 석탄화력발전소 등에서 사용하는 선-평판형 전기집진기 장치의 집진율

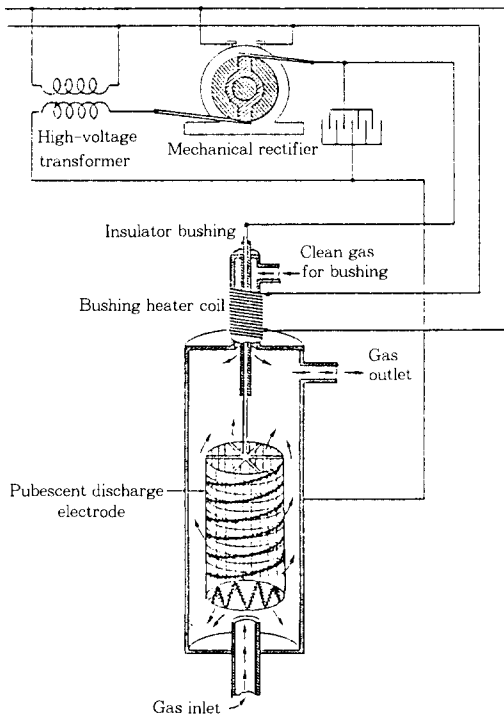


그림 1. Cottrell교수의 첫 정전집진기 구조 (특허번호 895729(1908))

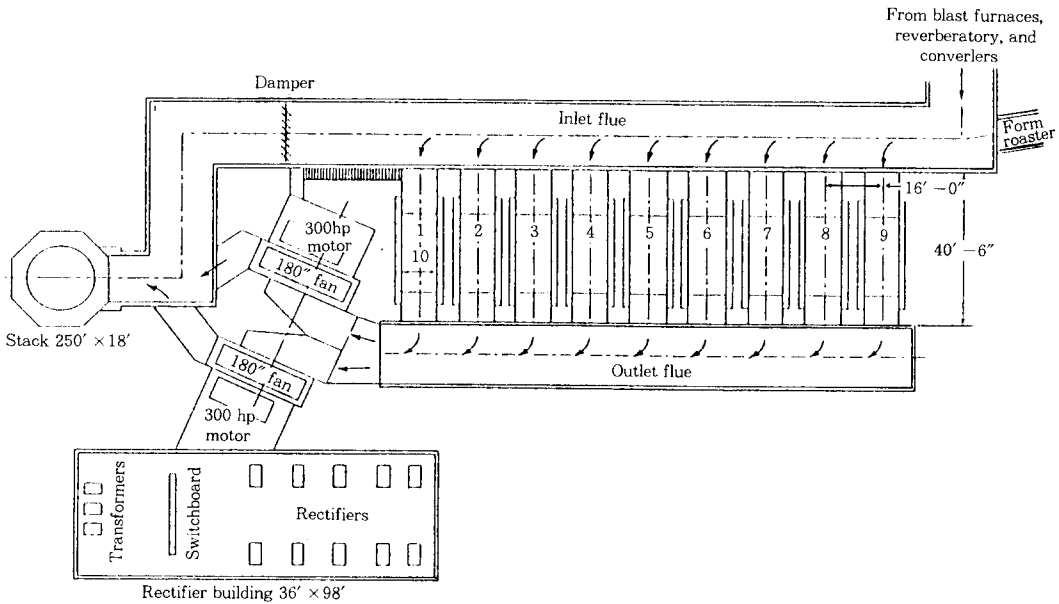


그림 2. 多室전기집진장치의 구조(1911년)

계산식(2.2)을 발표하였고, 걸보기 먼지 입자속도와 상수 km를 적절히 정하는 경우 ESP의 집진율을 비교적 정확히 계산 가능함을 밝혔다.

$$\eta = 1 - \exp\{-(\omega_m f)^{km}\} \quad (2.2)$$

단, ω_m : 걸보기 먼지입자 이동속도[m/s]

Km : 집진대상 dust의 직경분포에 좌우되는 상수

f : 비집진면적(Specific Collection Area : sec/m)

η : 집진율

표 1은 1824년 이후 1950년대까지 개발된 ESP의 과학기술적 연구개발 이정표를 나타낸다.

2.2 성장기 전기집진기술(1960~1985)

靜電氣 기술의 대표적인 응용분야인 전기집진 장치는 분진 포집 성능면에서는 99[%]이상의 집진율을 나타내는등 완전히 성숙단계에 도달하였으나 SOx NOx의 제거기술은 현재 세계 여러 나라에서 연구중에 있다. 1980년까지 전기집진 장치는 각종 공업설비에서 발생하는 dust, fume, mist 및 연기들의 제거 또는 포집이라든가, clean room, 병원등에서의 공기청정용으로 널리 사용하여 큰 역할을 하였다. 앞으로 삶의 질을

표 1. ESP의 과학기술적 발자취⁹⁾

- 1824 : Hohlfeld에 의한 전기식 집진현상에 관한 실험적 연구
- 1885 : Walker, Hutching 및 Lodge에 의한 상업적 규모의 정전기식 집진에 관한 연구
- 1906 : ESP용 정류된 고전압 DC 전원장치 개발 (Cottell)
- 1907 : Cottrell의 첫 상용 ESP개발 성공
- 1912 : W.A.Schmidt의 세선 Corona 전극도입
- 1912 : W.H.Howard는 dust입자의 전도율을 감소시키기 위한 SO₃의 첨가와 습도 조절방법
- 1913 : Hooker Electro-Chemical사의 ESP에 의한 오염가스의 제거
- 1919 : E.Anderson에 의한 정전 집진기에서의 지수법측에 관한 실험적 연구
- 1919 : S.Dushman의 ESP에 전자식 고전공 정류기 응용
- 1922 : Deutsch의 집진율에 관한 지수방정식 유도
- 1923 : H.Rohmann의 Corona장에서의 입자하전에 대한 기초적 연구
- 1932 : Wintermute의 이중반파정류회로 개발
- 1935 : Penny의 低 오존공기정화장치 개발
- 1948 : 연속 rapping 장치개발
- 1945~1956 : ESP용 고전압 Se-정류기 및 Si-정류기 도입

높이는데 크게 기여할 것으로 기대된다.

전기집진장치는 배그필터 및 사이클론에 비해 gas 및 미입자의 형태에 따른 영향이 적으며 적용범위가 크고 미세입자를 수거시 압력손실이 적기 때문에 전력소비가 적은 성 energy형이고 집진 성능이 우수하고 보수가 간단한 잇점이 있는 반면, 집진성능은 포집하는 미립자의 성능에 따라서 크게 영향받는 단점이 있다. 앞으로 현재 널리 사용되고 있는 전기집진장치의 특진, 원리 및 구성에 대해서 설명한다.

2.2.1 전기집진장치의 개요

ESP의 형식과 종류는 여러가지 있으나, 집진 과정에서는 다음 세가지 기본요소가 필요하다.⁹⁾

- (1) gas속에서 부유하는 미입자의 荷電
- (2) 하전된 미립자를 Conlomb힘으로 집진극에서 포집
- (3) 집진극에서 포집한 dust를 제거하여 집진 장치 밖으로 운반

이와같은 구성은 이미 1920년대의 ESP의 개념과 별로 차가 없다. 일반적으로 대기중에 부유하고 있는 미립자의 일부는 상호 마찰과 우주선 등에 의해 이미 하전상태가 되지만, 그 양은 극히 미량이므로 ESP에서는 Corona 방전을 이용하여 이들 미립자들을 荷電시킨다.

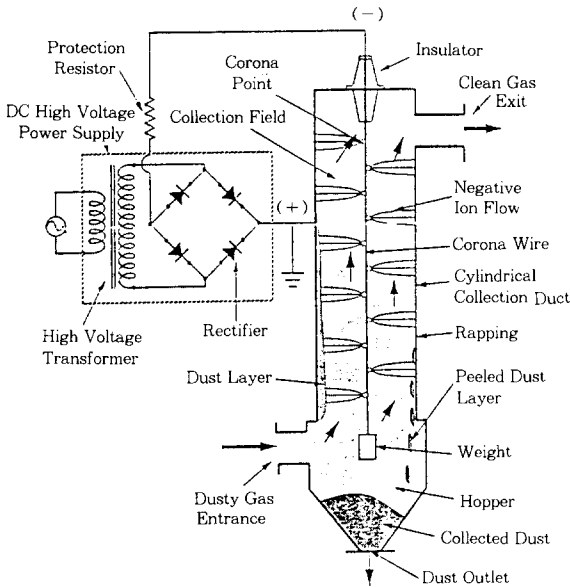


그림 3. 원통 ESP의 원리도

그림 3은 원통형 ESP의 원리도이다. 현재 산업계에서 설치된 ESP의 外觀 구조는 대체로 그림 4과 같다.

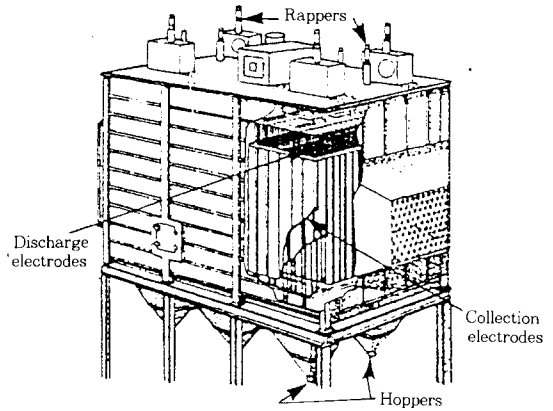


그림 4. 산업용 ESP의 구조

집진 전극에 부착된 dust입자층이 어느때까지 이상 커지면 rapper로 집진 전극을 기계적으로 때려서 hopper에 떨어지게 한다. dust 또는 유해 gas가 제거된 청정gas는 윗쪽 gas출구를 거쳐 굴뚝을 통해 배출된다. 미립자의 일부는 電位 힘에 의해서 전계집중이 큰 방전극 표면에도 부착하기 때문에 방전전극이 비대하게 되어 Corona 방전을 방해할 수도 있다. 이 경우 방전극 역시 rapper로 때려 부착된 dust입자를 제거시킨다.

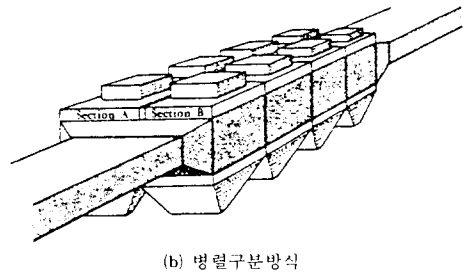
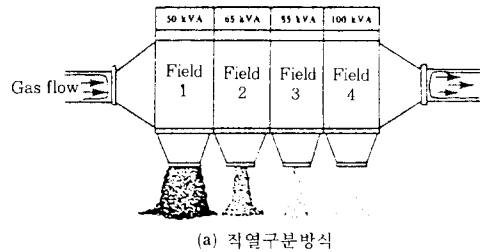


그림 5. 대용량 ESP집진실구분방식

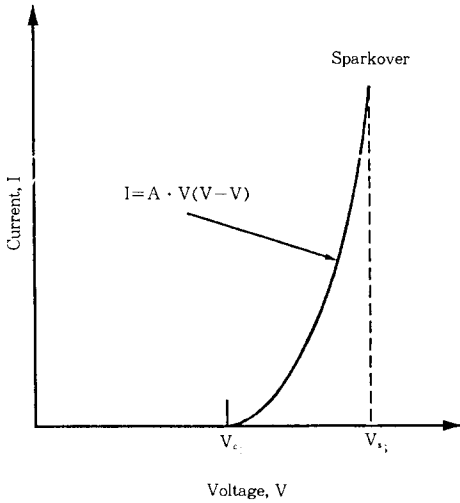


그림 6. Corona방전의 전압전류특성

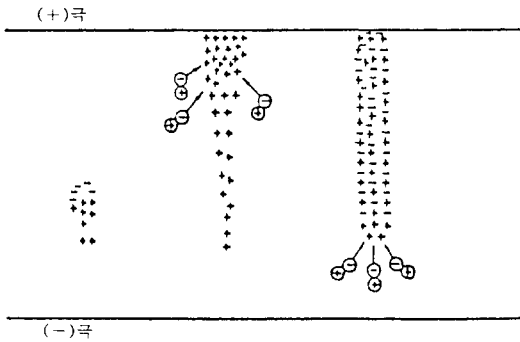


그림 7. Streamer Corona 발생기구

그림 5는 대용량 ESP에서의 집진 field의 구분방식을 나타낸다.

산업용 ESP는 대부분 負Corona를 사용하는데 그 이유는 正Corona에 비해 일반적으로 Corona 개시전압이 낮고 sparkover전압이 높고 안정된 Corona방전이 얻을 수 있기 때문이다. 그러나 일반 일반 공기청정용 ESP에서는 인체에 해로운 O_3 혹은 NO_2 의 발생율이 적은 正Corona 방전을 이용한다.

(-)인가전압을 서서히 증가하면 Corona 개시전압 V_c 에서 Corona 방전이 발생하고 點狀의 光點(負 Corona點)이 나타남과 동시에 원동전극으로 (-)ion이 흐리기 시작하고 동시에 電風이

불기 시작한다. 전압 V 를 더욱 증가시키면 Corona 전류 I 는 그림 6과 같이 증가하며 불꽃개시 전압 V_s 에서 불꽃방전을 일으킨다.

그림 7은 streamer corona 즉 불평형 plasma 형성과정을 나타낸다.

2.2.2 전기집진장치의 특징

전기집진장치의 장점은

(1) 집진성능이 크고 그 적용범위가 넓다. 또한 다른 종류의 집진장치에 비해서 광범위한 온도와 가스압력 조건에서도 사용이 가능하다.

(2) 성에너지이기 때문에 운전비용이 싸다.

(3) 부품교환이 비교적 적고 省資源의이다.

(4) 보수점검등 유지보수비가 저렴하다.

와 같으나, 다음과 같은 단점도 있다.

(1) 집진공간에서의 gas유속이 낮기 때문에 대형화되고, 직류고전압 전원 때문에 초기 cost가 높아진다.

(2) 집진성능이 그림 8과 같이 dust의 전기저항률 ρ_a 에 좌우되며 $10^4 \sim 10^{10} [\Omega \cdot \text{cm}]$ 범위에서 집진성능이 최대가 된다.

2.2.3 고저항 dust 포집

고저항 dust 또는 fly-ash의 포집효율을 높이기 위하여 가스저항을 조절하는 방법과 방전극과 집진극 모양을 Corona 전류분포가 균등하도록 설계하는 방법 및 고전압 pulse 한전방식등 일반적으로 세가지 방법이 사용되고 있다.

(1) 화학적 방법

Fly-ash의 포집성능을 높이기 위하여 1960년

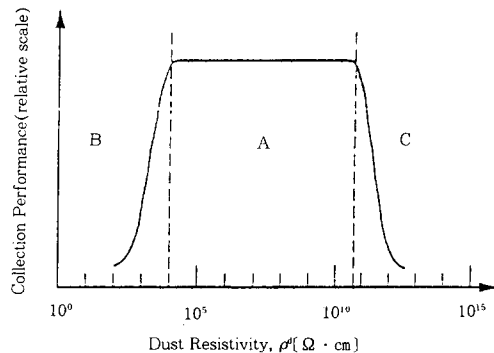


그림 8. Dust 전기저항률과 집진성능

대부터 화학물질로 조절하는 방법이 사용되었고, 지금도 사용되고 있다. 조절제로써는 단순히 물, 수증기를 주입하거나 SO₃, NH₃, TEA 및 Na鹽등을 주입시키는등 여러방법이 있다. 여기서는 대표적인 방법인 SO₃, NH₃ 및 Na염 주입에 대해서만 설명한다.

(a) SO₃주입법

이 방법은 현재 저온 ESP 성능개선용으로 널리 보급되고 있고, 석탄화력발전소용으로 사용에 많다. SO₃조절은 ESP 입구속에 10~30(ppm) 정도의 SO₃를 주입시켜 fly-ash 표면에 SO₃를 흡착시킴으로써 dust의 전기저항율을 저하시키며 집진성능을 향상시킬 수 있는 매우 효과적인 방법이다. 일반적으로 炭종류에 따라서 집진율이 달라지나 SO₃의 주입량이 25(ppm)이상인 경우 극히 일부탄을 제외하고 99(%)이상 포집되며, 특히 과잉 주입이 아닌 경우 잔류 SO₃에 의한 2차 공해는 거의 없는것으로 알려져 있다. 현재 일본을 제외한 일부 선진국에서는 ESP가 초기성능을 만족하지 않은 경우라던가 탄종변경과 배출규제강화 대응대책으로 이 방법이 널리 사용되고 있다.

(b) NH₃주입

이 방법으로 fly-ash의 전기저항율이 반드시 감소하는 것은 아니지만, NH₃와의 反應生成物에 의하여 공간전하가 증가함으로써 집진극에서 fly-ash의 附着力이 증가함과 동시에 재비산율이 저하하는 효과가 있다. 동시에 최근에는 배기가스중의 유해성분인 NO 및 SO₂ 제거에 streamer corona공간과 NH₃ 주입법을 적극적으로 활용하는 연구가 활발해지고 있다.

(c) Na주입

이 방법은 주로 미국에서 고온 ESP의 經時的 성능 劣化 대책으로 도입되었다. 미국의 고온 ESP인 경우 석탄에 따라서는 운전초기 좋은 집진성능을 나타내던 것이 경시적 성능저하를 일으켜 고온조건에서 역전리 발생경향이 적지않게 확인되었다.¹⁰⁾ 이것은 집진판상의 dust층속에서 ion carrier로 작용하는 alkali금속(Na, K등)고갈에 의한 전기저항율의 상승에 기인한다는 설이 지배적이며, dust층의 Na 성분을 보급할 목적으로

로 Na염(Na₂SO₄, Na₂CO₃ 등)을 주입하면 현저한 집진성능개선 효과를 나타냄을 알 수 있었다.

한편 일본에서도 고온 ESP 주입시험에서 그 효과가 확인되었고 포집성이 매우 나쁜 炭種에 대하여 저온 ESP에서도 큰 성능 향상 효과를 얻고 있다.

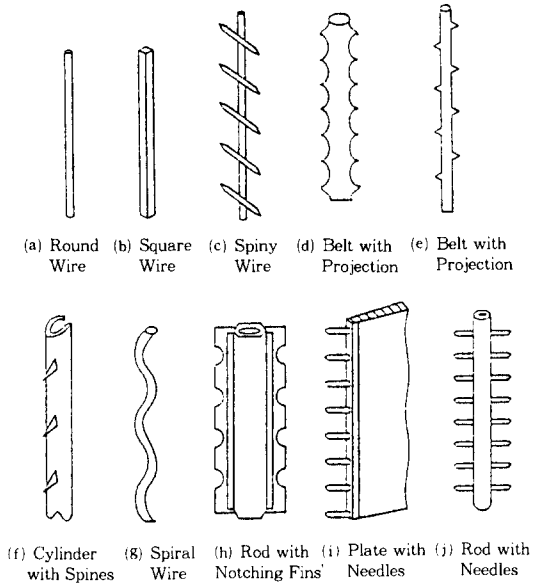
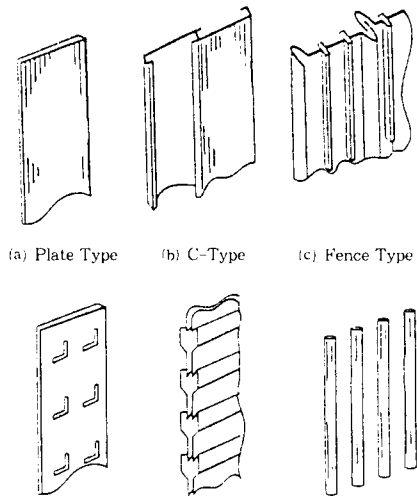


그림 9. 방전극의 종류



(d) With L-Pocket (e) With Tulip-Pocket (f) Rod Curtain

그림 10. 집전극의 종류

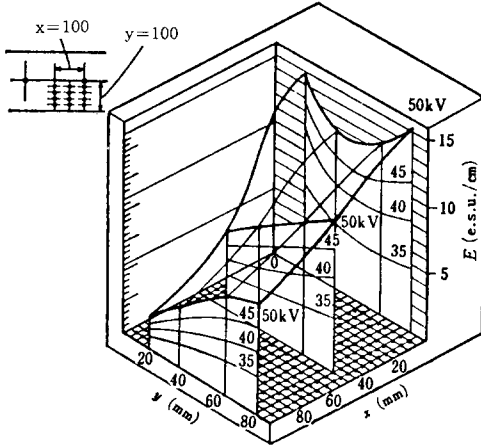


그림 11. 2.0mm ϕ 방전극의 Corona전계분포

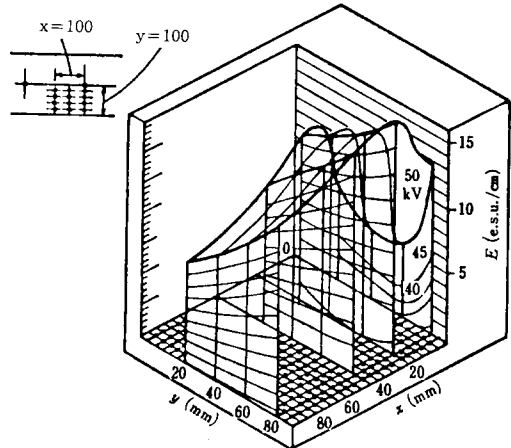


그림 12. 針型방전극의 Corona전계분포

(2) 방전극과 집진극의 기능

현재 사용되고 있는 방전극과 집진극의 종류는 그림 9와 같이 다양하다.

(a) 방전극의 기능개선

고저항 dust의 경우 방전극의 구비조건은

① 집진극면에서의 Corona전류 밀도분포를 가능한한 균등하게 함으로써 극부적인 전류집중현상을 억제하며

② 방전극에 dust 부착으로 인한 Corona輝點에 偏在, 전류감소의 經時劣化 발생이 나지 않도록 하고

③ 강성을 높이므로써 쉽게 고주파가속진동을 일으키도록 하는 특성 등이 요구된다.

1920년초기부터 사용하였던 round wire(2.0~3.0[mm ϕ])인 경우 그 전계강도 분포는 그림 10과 같이 주어진다.¹¹⁾

집진판에서의 Corona전류는 방전극의 앞면에 집중 偏在하게 되어 전류밀도가 극부적으로 커지며 역 Corona가 발생하기 쉽다. 또한 dust부착에 대해서는 Corona회점의 급격한 감소와 偏在化를 초래하기 쉬우므로 Corona전류의 극부집중화와 역 Corona 유발원인이 된다. 그러나 그림 9-c, d, e, f, j와 같이 針狀 방전극인 경우 그 전계분포는 그림 12와 같이 비교적 균등해지므로 逆 Corona 발생을 완화시킬수 있다. 또한 Corona輝點 간격이 고정 안정되므로 dust 부착으로 인한 감쇄와 편재발생이 생기기 어려워지고 Co-

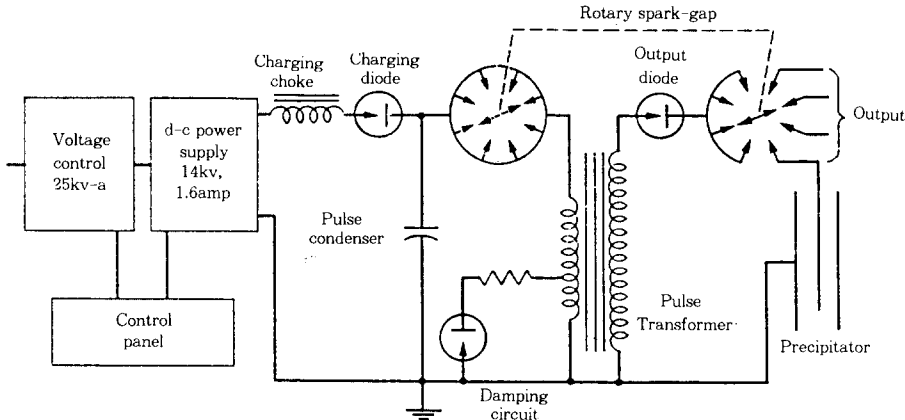
rona 전류 분포의 균등화도 항상 유지되므로 逆 Corona 완화작용이 있고 집진성능도 향상된다. 특히 d, h형은 프레스 가공이 간단하고 가공정도를 높이면서도 열가제작이 가능할 뿐만 아니라, 고주파가속진동 특성도 우수하다.

(3) Pulse 荷電方式

ESP의 荷電방식에 의한 최초의 성능향상 시도는 그림 13과 같은 H.j.White 박사¹²⁾가 제안한 pulse 荷電方式이었으나, 당시 고전압 switching에 관한 기술 미비로 실용화에 이르지 못하였다.

Pluse 荷電方式은 현재 가장 새로운 개념의 하전방식이며, 이미 언급한바와 같이 1947~52년 H.J. White와 H.J.Hall가 최초로 연구하였고 Rader Pulse전원으로 사용하는 것이 그 목적이였다. 전기집진장치용으로는 pulse幅 1~300[μ s], pulse 빈도 30~300/s, 포집대상은 10^{11} ~ 10^{13} [Ω cm]인 dust였다. 이외에도 intermittent energization 방식 역시 energy 절약상 실용화되고 있다. 전기집진장치의 기본구성은 고압변압기와 전과정류기의 두가지이며, 이는 지난 80년간 불변이었다. 그러나 전압파형에 대해서는 여러가지 변화를 시도하였고 점차 전압 pulse幅이 좁아져 현재 ns 단위로 좁아지고 있으며, 반도체 정류기, 수소가스봉입형 Thyatron, 전압제어기, SCR이용, digital 및 microprocessor 제어전원등이 이용하게 되었다.

pulse 荷電개발은 ① 1947~70년의 초기개념



시대, ② 1970~1980년의 기초연구시대 및 ③ 1980년이후의 실용화연구시대로 구분된다. 초기 특히 1950년전후의 연구에서는 pulse하전의 성능과 그 효과의 우수성은 입증되었으나, 환경기준과 필요성이共に 낮았기 때문에 신뢰성 연구는 잠시 정체상태에 빠졌다. 1980년대에 접어들면서 본격적인 실용화 연구가 시작되어 현재 pulse하전방식으로 $10^{11} \sim 10^{13} (\Omega \text{cm})$ 영역의 dust 포집에 유효함이 밝혀졌으며, 幅이 ns인 pulse 하전방식은 NOx 및 SOx 처리에 큰 효과가 있음이 발견되는등 많은 연구결과들을 얻게 되었다. 여기서 대표적인 몇가지를 소개하면 다음과 같다.

(a) F.L.Smith & Co.제품 : Micro 秒 pulse 하전장치로서 가장 실적이 있고, 1981년부터 1987년까지 100대이상 설치 사용중이며 비교적 운전상태가 좋다. 65[%]는 cement kiln, 22[%]는 fly-ash용이고, 14개국에서 사용되고 있고, 대부분 microprocessor로 제어되고 energy 절약형이며, 그림 14와 같다.

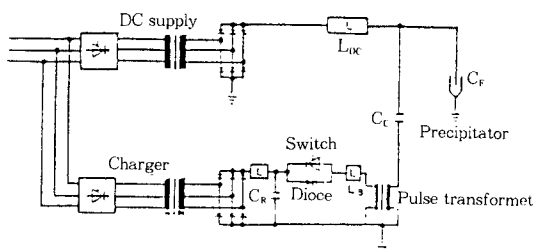


그림 14. Smith사의 pulse 발생회로

(b) Flakt, Inc제 : SCR를 고전압측에서 배치한 대신 pulse변압기를 사용하지 않고 있다. 전류고전압전원 하나로 DC 바이아스(Corona개시전압으로 한다)와 감쇄전동형 pulse를 공급할 수 있고, 1987년 현재 24대(flyash용으로 14대, 10대가 시멘트용)설치운전중에 있으며, 그림 15와 같다.

(c) 마스다pulse 하전방식¹⁴⁾

pulse形成콘덴서 Cp와 tank condenser Co와의 LC 공진으로 tank콘덴서 Co의 충전전압을 2배까지 충전하는 voltage-doubling회로를 내장하며, rotary spark gap를 사용하며 방전극에 ns의

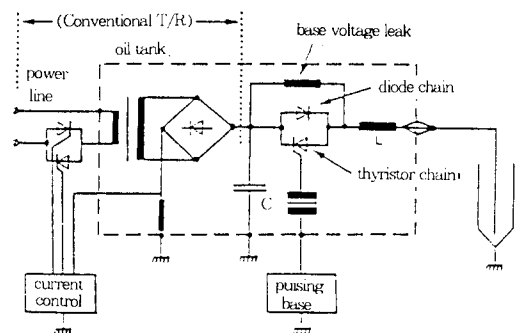


그림 15. Flakt사의 pulse 발생회로

진동벌스를 인가한다. 이 방식의 잇점은 직류 Corona 중첩형과 거의 같은 집진성능이 얻어질 뿐만 아니라 직류주전원을 사용하지 않기 때문에 구성이 매우 간단하다. 즉 pulse module을 ESP와 기존의 전원사이에 삽입하기만 하면 pulse 하

전이 실현되는 것이 이 방식의 큰 잇점이다. 현재 일본의 미쯔비시중공업 및 한국코트렐(주)등에서 실용화 연구를 진행중에 있으며, 그 구조는 그림 16과 같다.

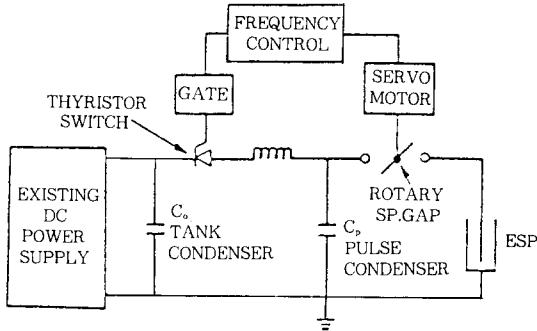


그림 16. 마스다 pulse발생회로

Pulse荷電方式의 문제점으로 고가의 pulse 전 원비용이 고가인점과 pulse 荷電이 유효하게 작용할 수 있는 적용대상조건 및 그 효과의 크기에 대한 정량적인 척도라던가 pulse 파형과 집진특성 및 공간전화雲의 거동과 작용등에 관한 기초적인 물리현상에 관한 규명등을 들수 있다. 이외에도 자기 pulse 압축회로와 Hydrogen Thyristor 스위칭소자로 구성시킨 pulse 발생회로도 현재 국내외에서 활발히 연구가 진행되고 있으며, 국내에서는 한국전기연구소, 인하대학교 및 한국중공업 등에서 추진시키고 있다.

2.2.4 전기집진장치의 저비용 및 성에너지화

전극간격의 확대와 컴퓨터에 의한 ESP의 자동제어로 ESP의 건설비와 유지비를 저렴하게 유지시킬 뿐만아니라 에너지 절약도 한다.

(1) 전극간격 확대에 의한 ESP Cost 절감

오랫동안 전극간격은 200~300[mm]정도를 적당한 간격으로 보고 있었으나, 1956년 영국의 Heinrich는 과거의 ESP 성능 data 해석과정에서 집진극 간격 350[mm]인 ESP가 이보다 좁은 집진간격의 ESP보다 성능이 우수함을 알게 되면서부터 廣間隔(Wide Spacing)ESP¹⁶⁾에 대한 연구가 시작되었다.

1958년 영국의 발전소에서 집진극 간격 330[mm]와 660[mm]의 두가지 경우를 비교 시험한

결과, 집진극 간격을 넓게 하더라도 ESP의 용적이 동일하면 집진효율의 감소가 없음을 확인하였다. 한편 독일, 미국 및 일본등에서 Wide Spacing ESP에 관한 실용화 연구가 진행되었다. 특히 일본의 마스다 교수¹⁶⁾는 집진극 간격이 1[m]나 되는 극단적인 Wide Spacing ESP에 대한 연구를 시작함으로써 일본에서의 Wide Spacing ESP연구를 주도하였고, 각 기업체가 중심이 되어 좋은 연구결과를 얻게 되었다. 그 결과 Wide Spacing ESP인 경우 dust농도, 입자의 직경 등을 고려한 최적집진간격은 400~600[mm], 특히 500[mm] 전후의 wide spacing ESP가 최적 간격임이 실증되었으며, 세계에서 가장 많이 사용하기에 이르렀다. 현재 시멘트 kiln용 ESP는 wide space방식이 널리 사용되고 있다.¹⁷⁾

(2) Computer제어에 의한 ESP의 성에너지화

Microprocessor의 발달로 다른 산업체와 마찬가지로 ESP 역시 고성능의 고신뢰도를 실현시킬 수 있는 ESP 자동제어가 가능하게 되었다. 그 제어방식은 크게 두가지로 분류된다. 첫째는 ESP용 DC전원장치에 Microcomputer를 내장시켜 ESP의 전압 전류, 불꽃방전등을 감지하면서 항상 ESP성능이 최고상태가 되도록 荷電을 제어하는 방식이고, 두번째는 상술한 전원장치의 상층에 host computer를 설치하며 ESP 전체의 자동운전을 시스템적으로 관리하는 것으로, 그 기능은 다음과 같다.

(a) 매염농도계로 감시하면서 집진실에서의 荷電을 개별적으로 제어하거나 dust 재비산이 최소가 되도록 rapping 주기를 제어하면서 ESP 성능의 최적화를 꾀한다.

(b) 출구 매염농도를 일정하게 유지하도록 각 집진실에서의 荷電을 제어하며 성에너지 운전운전을 한다.

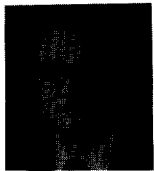
(c) ESP 운전상황을 감시 기록하고 고장발생시는 data를 분석한 자동복구 혹은 필요한 정보제공을 한다.

(d) 발전소측의 계산기 제어회로와 연동시켜 ESP의 각 기기의 기동과 운전 및 정지동작등을 관리한다.

참 고 문 헌

- 1) Charles A. Coulomb, "Seven papers on the discovery of the inverse square law of electrostatics", Memoires de l'Academie "Royale des Sciences, 1795 ~1789.
- 2) 1886 First patent on electrostatic precipitation, A.O. Walker, No. 342,548.
- 3) Frederick G. Cottrell, "The Electrical Precipitation of Suspended Particles", J.Ind. and Eng. Chem. 3, 542 (1911).
- 4) Frederick G. Cottrell, "Art of Separating "Suspended Particles from Gaseous Bodis," u.S., Patent, 895,729 (1908).
- 5) 1913 Use of negative polarity. F.G.Cottrell, No.1. 067, 974.
- 6) W.A.Schmidt, "The Control of Dust in Portland" Cement Mnuufacture by the Cottrell Precipitation Processed," Proc. 8th Intern. Congr. Appl. chem 5,117 (1912).
- 7) Frederick G. Cottrell, "The Research Corporation, Ab Experiment in Public Administration of Patent Right," J. Ind. and Eng. Chem. 4, 12(1912).
- 8) W.Deutch, "Bewegung and Ladung der Elektricitatstrager im zylinder Kondensator," Annalen der Physik 68,335(1922).
- 8') S.Matts : Proceedings of CSIRO Conference on Electrostatic Precipitator, 3-1(1978).
- 9) H.J.White, Industrial electrostatic Precipitation, Addison-Wesley Inc. 1963.
- 10) J.P.Gooch and R.D.McRanie : J.Air Pollut. Control Assoc., 31(1981)291.
- 11) 諫早典夫 : 日本電氣學會誌, 82, 881(1962), 57.
- 12) H.J.White, "A Pulse Method for Supplying Voltage Power for Electrostatic Precipitation" AIEE, Paper No. 52-230, Summer General Meeting Minneapolis, June 1952.
- 13) H.J.Hall, "History of Pulse Energization in Electrostatic Precipitation," JES vol.25, pp.1-22(1990).
- 14) S.Masuda and S.Hosokawa : Extended Abstract of Second International Conference on Electrostatic Precipitation, p.81(1984).
- 15) D.O.Heinrich : 1st International conference on ESP, Monterey, Calfi., Oct(1981).
- 16) S.Masuda : EPA Symposium, Denver(1979).
- 17) 能祖茂幸, 野田陵明 : 日本靜電氣學會誌, 9, pp.309 (1985).

◇ 著 者 紹 介 ◇



고 명 삼(高明三)

1930년 1월 1일생. 1955년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1969년 미국 뉴 맥시코대 대학원 졸 1972년 서울대 대학원 졸(공박). 1987~1988년 전기학회 회장역임. 1962~1992년 서울대 공대 제어계측공학과 교수. 현재 서울대 명예교수, 한국코트렐 기술고문.



이 달 우(李達雨)

1930년 2월 10일생. 1953년 서울대 공대 전기공학과 졸. 1957년 동 대학원 졸(석사). 1964~1973년 대아 산업건설(주) 대표. 현재 한국코트렐(주) 대표. 환경산업협회 회장. 산학연발전연구회 회장. 서울대 공대 총동창회 부회장. 국제전기집진학회 이사. 한국전기집진학회 회장. 기술사.