

전압인가식 제전기의 특성에 관한 연구

A Study on Characteristics of a Voltage-Applied Electrostatic Reducer

이 동 훈*·정 용 철**

Dong-Hoon Lee·Yong-Cheol Jung

ABSTRACT

An electrostatic reducer of a multi-pole high DC voltage applied type and a high frequency square wave voltage applied type have been studied to eliminate effectively and safely electrostatic charge on a dummy charged material. As a fundamental experiments, measurement were made on the decay time as a function of distance between electrostatic reducer and charged body, skewed angle of electrostatic reducer installed and wind speed of generated ions(+ or -) by electrostatic reducer with high DC voltage and high frequency square wave voltage. Based on the results above, a appropriate installation and method were produced as a trial for factory.

1. 서 론

고분자와 같이 정전기가 대전하기 쉬운 절연물을 고속, 대량으로 취급하면 정전기에 의해서 여러 형태의 장·재해가 발생한다. 이와 같은 정전기에 의한 장·재해의 방지대책으로서 제전기가 널리 사용되고 있을 뿐만 아니라 그 종류도 다양하게 개발, 시판되어지고 있다^{1,2)}. 종래에는 제조업종이 같으면 제전대상 및 취급조건도 거의 유사하기 때문에 제전방식이나 제전성능이 같은 기종이 사용되어져 왔다. 그러나 최근에는 같은 제조업종이라

도 대전물체의 형상, 이동속도 및 전기적특성(전기적 저항율)의 차이로 정전기의 발생량이나 대전량도 달라지기 때문에 목적에 맞는 제전기를 선정해야 하고, 또한 설치방법이 적절치 못하면 최적의 제전효과를 얻을 수 없다³⁻⁵⁾.

이와 같이 제전기는 장·재해의 원인이 되는 정전기를 제전하는 것이지만 제전기의 특성 및 사용방법을 충분히 감지하지 않으면 제전기의 본래의 성능이 나타나지 못하고 충분한 제전효과를 얻을 수 없다든지 역대전할 위험도 있다. 통상적으로 널리 사용되는 제전기에는 고전압상용교류전원을

* 부산공업대학교 산업안전공학과

** 부산공업대학교 대학원

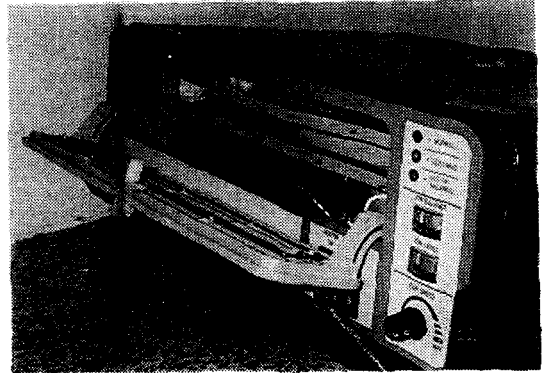
이용하는 교류식제전기 및 단일 고전압직류전원을 이용하는 직류식제전기가 있지만 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- 1) 교류식 제전기에서는 코로나방전에 의해서 负 이온이 正 이온의 수보다 많이 발생하기 때문에 피제전체의 제전후의 잔류전원을 负 로 하는 경향이 있고
- 2) 직류식제전기는 단일극성의 이온을 다량으로 발생하기 때문에 반대극성의 제전에 대한 성능은 매우 높으나, 방전전압을 적절히 조절하지 않으면 피제전체를 역대전시킨다. 또, 대전전하의 극성이 반전하는 경우에는 방전전극에 인가하는 전압의 극성도 반전하지 않으면 안되는 번거로움을 가지고 있다.

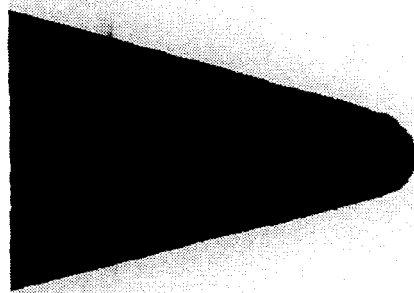
따라서 본 연구에서는 우선 교류 및 직류식제전기의 결점을 보완한 다극성직류식제전기의 기본특성을 조사하고 다음으로 고주파구형과 전압인가식제전기의 기초실험을 하여, 그 결과를 기초로 하여 제전기의 사용에 있어서 유의하지 않으면 안될 기초자료를 제공해 준다.

2. 실험방법 및 실험장치

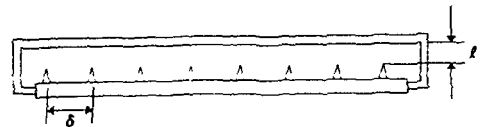
Fig. 1은 본 실험에서 사용한 전압인가식제전기 (Japan Hugle Co. 20/20H)의 외형개략도 및 針의 모습을 나타내는 사진이다. Fig. 2는 고주파제전기의 코로나방전특성을 실험하기 위한 회로도이다. 한편 다극성직류제전기의 대전완화시간(decay time)을 측정하기 위해서 이온완화계(ion decay time meter, Japan static control system, A354)를 사용하였다. 코로나 방전을 일으키는 방전전극은 1列에 7本の 침전극이 60mm간격으로 2列로 배열되어 있는 針전극으로, 각각의 침의 길이는 13.83mm, 직경은 1.53mm이고, 재질은 텅스텐으로 되어있다. 또한 코로나방전을 일으키는 針전극 Np와 접지전극 Ne사이의 거리 ℓ 은 50mm이다. 針전극사이의 이격거리(interelectrode spacing) δ 는 좁게 하는 것이 동일한 크기에서 침전극의 수를 증가시킬 수 있는 장점이 있으나, 너무 좁게 하면 針전극 사이에서 스파크방전이 발생하기 때문에 인가전압을 낮추어야 하는 문제점이 있다. 따라서 본 실험에서는 針전극사이의 이격거리를 결정하기 위하여 針전극간격을 55mm, 60mm 및 65mm인 경



a) Voltage applied type electrostatic reducer

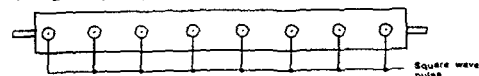


b) Photograph of electrode ℓ δ

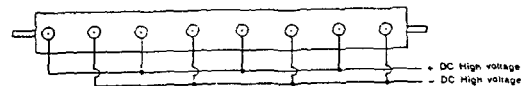


c) Alignment of electrode

① High frequency voltage applied type electrostatic reducer



② DC voltage applied type electrostatic reducer



d) Connection diagram of power source

Fig. 1 Schematic diagram and outline view of electrostatic reducer and electrode

우에 대하여 I-V 특성을 측정한 결과 인가전압에 대한 이온발생량이 최대이고, 전극사이에서 스파크방전이 발생하지 않는 60mm로 결정하여 실험했다. 전압인가식제전기의 인가전원장치는 Fig. 3과 같이 구성하였다. 이는 고주파구형파 전압인가식 제전기를 위한 구형파 가변고전압 및 가변주파수 장치로서, 이는 함수발생장치(Function generator)와 증폭기를 이용하여 구형파 전원을 만들고 이를 펄스변압기(Pulse transformer)로서 가변승압할 수 있도록 하였다. 이때 최대전압은 10kV, 최대주파수는 50kHz까지 가변 가능하게 하였다. 또한 본 실험은 상대습도(Relative humidity) 45%, 온도 20°C의 항온항습의 조건에서 하였으며, 재현성을 확인하기 위해서 평균 3회이상 실험을 하였다.

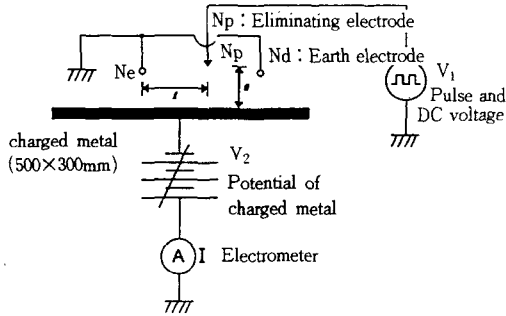


Fig. 2 Diagram of corona discharge measurement

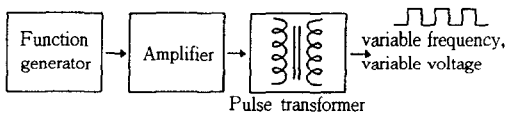


Fig. 3 Schematic diagram of variable pulsed high voltages and frequencies

3. 실험결과 및 고찰

본 장에서는 전압인가식제전기의 제전능력을 실험적으로 고찰한다. 제전은 이온에 의한 중화이고, 제전기의 이온생성능력이 크면 당연히 단시간에 제전이 가능하여진다. 그러나 대전물체와 제전기와의 설치거리, 제전기 설치방향의 각도 및 피제전지역을 도전성차폐막으로 차폐하였을 때에 제전성능이 변화하기 때문에 이에 대한 연구를 하여

야 할 필요성이 대두되게 된다.

3.1 다극성 직류식제전기의 제전특성

Fig. 4는 전압인가식제전기의 설치조건상 가장 중요한 요인중의 하나인 대전물체와 제전기와의 설치거리(g)를 250mm에서부터 1,500mm까지 변화시켰을 때 대전물체의 대전완화시간특성에 미치는 영향을 검토한 것이다. 이때 수직 및 수평방향의 설치각도는 모두 0°로 하였고, 송풍기의 풍속은 2.3m/sec로 하였다.

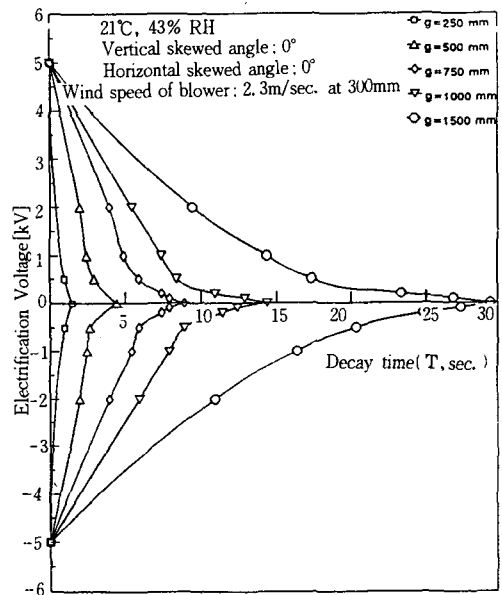


Fig. 4 Decay time characteristics as a function of distance between electrostatic reducer and charged body

그림에서 알 수 있듯이 모의대전물체를 ±5 [KV]로 대전시켰을 때 g=750mm까지는 +5kV 및 -5kV로 대전된 물체의 완화특성시간(τ)가 거의 일치하나, g>750mm이 되면 정으로 대전된 물체의 τ+가負로 대전된 물체의 τ-보다 다소 빠르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 생성된 이온의 이동속도의 특성에 기인한 것으로서, 즉 전자의 이동속도가 정이온의 이동속도에 비해서 훨씬 빠르기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 송풍형전

압인가식제전기의 설치거리는 750mm이내이었을 때가 최적의 제전효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이에 대한 자세한 것은 Fig. 7에서 다시 설명한다.

전술했듯이 전압인가식 제전기의 동작기구중 다른 중요한 요인 중의 하나는 생성된 이온의 이동 방향을 결정짓는 제전기의 수직 및 수평방향에 대한 설치각도라고 할 수 있다. 따라서 제전기의 설치 방향에 따른 대전완화특성을 실험적으로 검토하였다.

Fig. 5는 제전기의 설치거리(g)를 250mm에서 1,500mm까지 변화시키고, 제전기의 수직방향의 각도(θ_v)를 0°에서 30°까지 변화시켰을 때 대전물체의 대전완화시간 특성을 나타낸 것이다. 단 이때 제전기의 수평방향의 설치각도(θ_h)는 0°로하고 송풍기의 풍속은 2.3m/sec로 하였다. Fig. 5에서 보듯이 θ_v 가 클수록 대전완화시간이 지수함수적으로 증가함을 보여준다. 제전기의 설치거리(g)가 250mm일 때는 θ_h 의 변화에 따른 τ 는 거의 변화하지 않으나, $g > 250$ mm에서는 $\theta_h = 30^\circ$ 일 때의 τ 는 $\theta_h = 0^\circ$ 일 때의 τ 에 비해서 최소 수 배에서 수

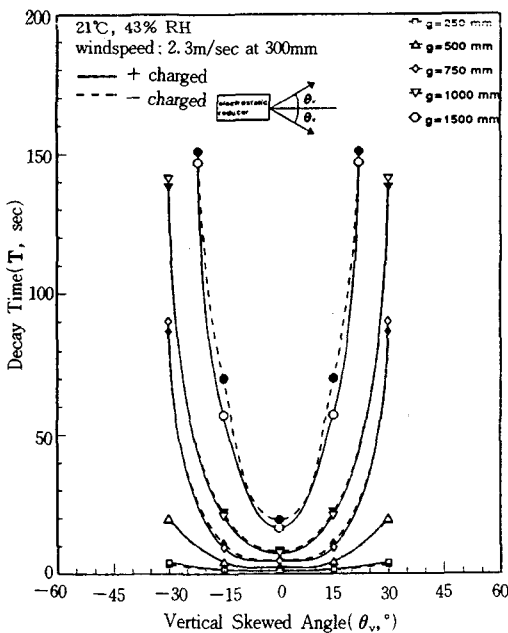


Fig. 5 Decay time characteristics as a function of vertical skewed angle installed

100배 정도 시간이 길어짐을 보여준다. 이는 대전물체의 단위면적당 제전에 기인하는 유효이온밀도가 감소하여 대전완화시간이 증가하기 때문이다. 한편 Fig. 5와 동일한 조건에서 제전기의 수직방향의 각도(θ_v)는 일정하게 하고 수평방향의 각도(θ_h)를 0°에서 30°까지 변화시켰을 때 대전물체의 대전완화시간특성을 나타낸 것이 Fig. 6이다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 Fig. 5와 같이 θ_h 가 클수록 대전완화시간이 지수함수적으로 증가함을 보여준다. 이 또한 Fig. 5에서와 같이 유효이온밀도가 감소하기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 5 및 6으로 부터 미루어 볼때 제전기의 설치거리(g)가 250mm이내에서는 설치방향의 각도에 거의 영향을 받지 않으나, $g > 250$ mm가 되면 설치방향의 각도에 영향을 크게 받음을 알 수 있다.

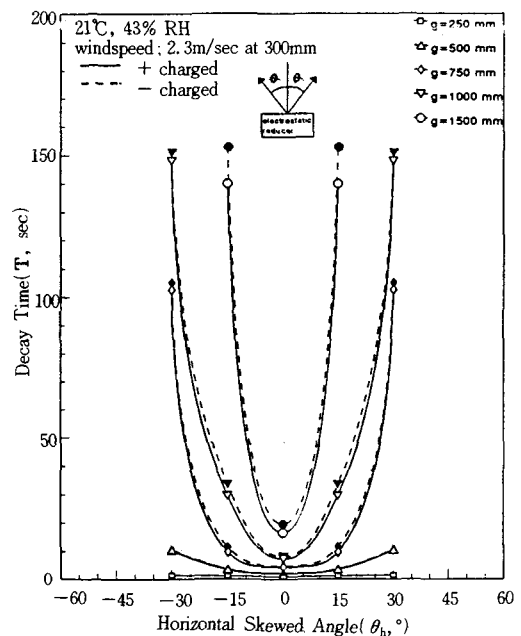


Fig. 6 Decay time characteristics as a function of horizontal skewed angle installed

Fig. 7은 전압인가식제전기의 방전전극에서 생성된 이온을 제전기에 부착된 송풍기로 송풍할 때의 송풍속도의 변화에 따라 대전물체의 대전전압이 ± 5 kV에서 ± 500 V까지 감소할 때까지의 대전완화시간특성을 나타낸 것이다. 이때 g 는 250mm

에서 1,500mm까지 변화시켰다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 최대송풍속도인 $\nu = 2.3\text{m/s}$ 일때의 τ 는 최저송풍속도 $\nu = 0.6\text{m/s}$ 일때의 τ 에 비해서 제전거리 g 에 따라서 큰 차이를 보여준다. 설치거리 g 가 비교적 적은 250mm 및 500mm에서 $\nu = 2.3\text{m/s}$ 일때 τ 는 $\nu = 0.6\text{m/s}$ 일 때의 τ 에 비해서 불과 2배정도 빠르나, $g > 500\text{mm}$ 일 때 $\nu = 2.3\text{m/s}$ 일때의 τ 는 $\nu = 0.6\text{m/s}$ 에서의 τ 에 비해서 4배 이상 빠름을 알 수 있다. 이는 생성된 이온의 이동속도가 대전완화시간에 큰 영향을 미침을 보여주는 것으로서 생성된 이온과 대전물체의 반대극성의 전기량과의 사이에 작용하는 Coulomb力은 $g = 500\text{mm}$ 이내에서는 서로 흡인력이 강하게 작용하여 제전에 기여하나, 그 이상이 되면 외부에서 이온을 송풍할 수 있는 장치가 필요함을 보여준다고 할 수 있다.

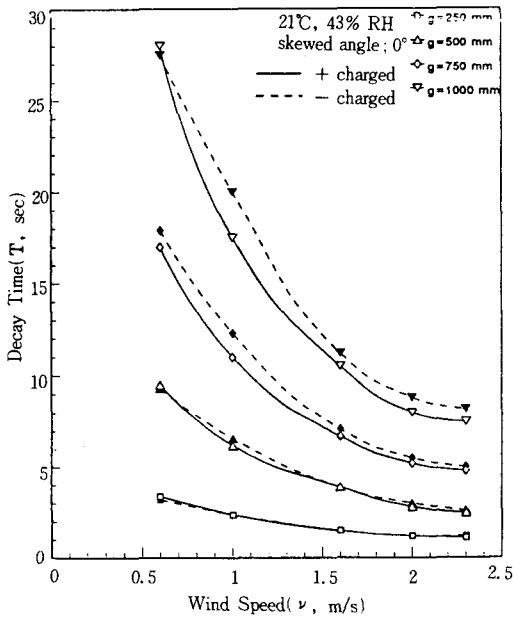


Fig. 7 Decay time characteristics as a function of blower's wind speed

앞에서 실험한 제전기의 특성을 개선하기 위하여 제전하고자 하는 피제전지역을 최소한의 면적으로 정전비닐(도전성물질이 함유된 비닐)로 차폐를 하였을 때의 대전완화시간에 미치는 영향을 검

토하였다.

Fig. 8은 제전기의 설치거리(g)는 250mm 및 500mm, 제전기의 송풍속도 $\nu = 2.3\text{m/s}$, 수평 및 수직방향의 설치각도는 각각 0° 로 고정하였다. 이때 피제전지역의 주위를 정전비닐로 차폐하였을 때와 차폐하지 않을 때의 대전완화시간특성을 보여준 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 차폐막을 설치하였을 때의 τ 는 차폐막을 설치하지 않을 때의 τ 에 비해서 약 1.4배 이상 빠름을 알 수 있다. 이는 차폐막을 설치함으로써 대전물체의 제전에 유효한 이온 이외에도 다른 공간으로 날아가버린, 즉 비유효한 이온까지도 제전에 유효하게 작용하였기 때문이라고 생각된다.

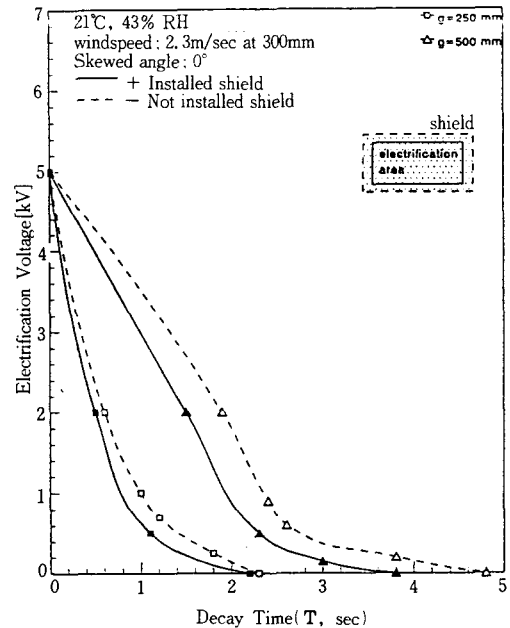


Fig. 8 Decay time characteristics dependent on the effect of conductive shield

3.2 고주파구형파제전기의 제전특성

Fig. 9는 방전전극에 인가하는 구형파고전압의 주파수(f)를 0.05, 20, 25, 32kHz로 변화시켰을 때 Fig. 2를 이용하여 유효제전전류(I)를 측정할 결과이다. 단 대전물체와의 설치거리 g 는 300mm로 고정하였다. 그림으로부터 알 수 있듯이 주파수가 높아질수록 유효제전전류는 크게 증가함을 알 수

있다. 주파수 $f=20\text{kHz}$ 의 경우에는 $f=50\text{Hz}$ 의 유효제전전류(I)와 비교해서 약 2배 이상 증가하였다. Fig. 10은 제전기의 설치거리(g)의 변화에 따른 유효제전전류(I)의 특성을 나타낸 것으로서, 설치거리(g)가 1500mm 이상 커지면 유효제전전류의 차가 없어져서 거의 같은 값으로 됨을 알 수 있었다. 이는 침전극에 인가하는 구형파고전압을 고주파로 하면 인가전압의 시간적변화(dV/dt)에 의해 무성방전전류가 부가되어, 단위시간당 발생하는 이온생성량이 증가하여 유효제전전류가 증가한다고 생각된다. 그러나 설치거리가 커지면 생성된 이온의 이동속도가 급격히 변화해서 제전효율이 나쁘게 되어, 유효제전전류가 저하한다고 생각할 수 있다. 따라서 고주파제전기를 사용하는 경우는 설치거리(g)를 가능한 한 1,000mm 이내로 하여야 한다.

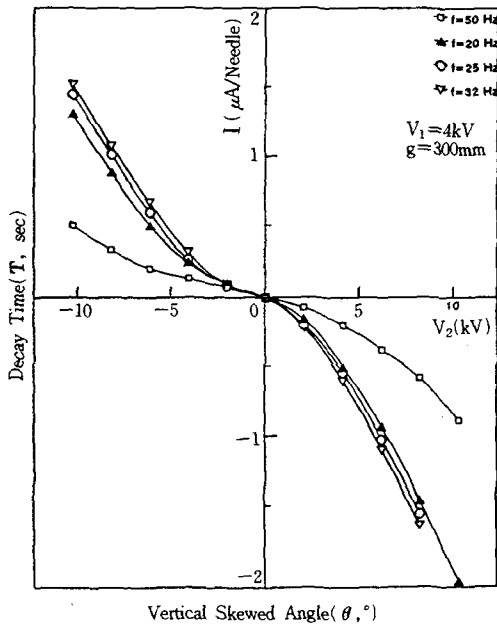


Fig. 9 De-electrification current characteristics as a function of applied frequency to the pulsed voltage applied type electrostatic recuder

고주파제전기의 또 다른 특징중의 하나로서 고속으로 이동하는 대전물체에 대한 제전효율이 좋다는 것이다. 따라서 이동하는 대전물체에 대한

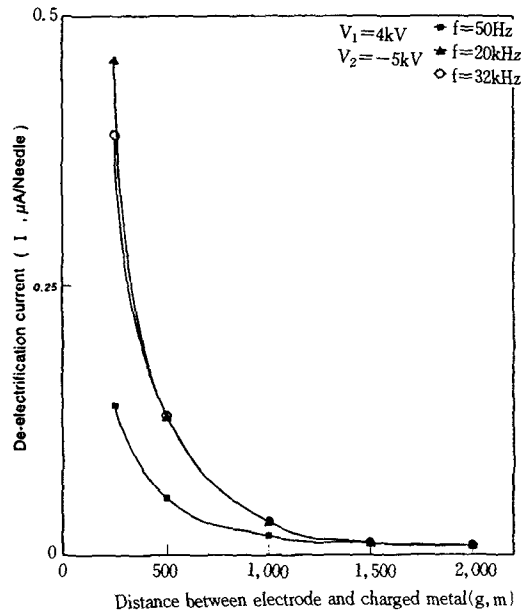


Fig. 10 De-electrification current characteristics as a function of distance between electrostatic recuder and charged body

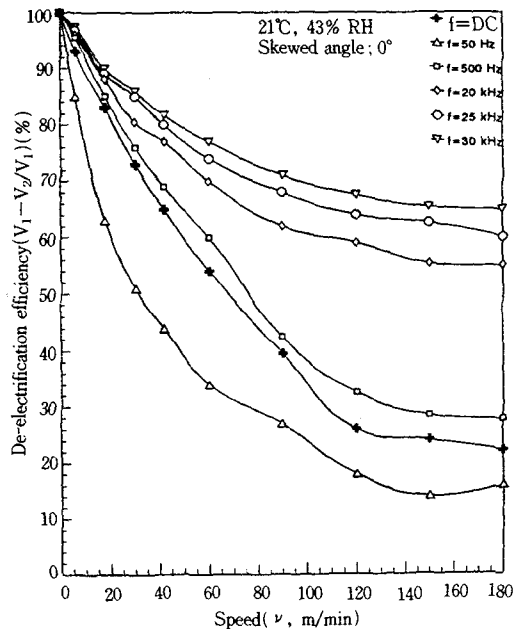


Fig. 11 De-electrification current characteristics as a function of moving speed of charged body

대전완화특성을 실험할 필요가 있다. Fig. 11은 대전물체의 이동속도의 변화에 따른 제전효율을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 인가주파수(f)가 60Hz에서는 다극성직류식제전기보다 제전효율이 낮으나, 인가주파수(f)가 500Hz를 넘으면 다극성직류제전기 보다 대전물체의 이동속도에 따른 제전효율이 조금 증가하나 인가주파수(f)가 고주파수인 20kHz를 넘으면 최대이동속도에서도 최소한 제전효율이 65%이상으로 됨을 알 수 있다. 따라서 고속으로 이동하는 대전물체에 대해서는 고주파 전압인가식 제전기가 적당하다고 생각할 수 있다.

4. 결 론

전압인가식 제전기의 사용상의 주의사항 및 적용방법에 대한 기초연구로서, 기존의 상품화된 제전기(Japan Hugle社)를 이용하여 제전거리, 제전방향, 차폐막의 설치효과 및 인가주파수를 변화시켰을 때의 대전완화시간특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 다극성직류제전기의 경우 :

- ① 제전기의 설치거리 g 는 최소한 500mm이내이어야 유효한 제전능력을 얻을 수 있었고,
- ② $g=250\text{mm}$ 에서는 제전기의 설치방향의 각도의 변화에 따라서 대전완화특성에 영향을 받지 않으나, $g>250\text{mm}$ 에서는 각도의 변화에 따라서 크게 영향을 받음을 알 수 있었으며,
- ③ 제전지역을 도전성비닐로서 차폐막을 설치

한 경우는 설치하지 않은 경우에 비해서 제전능력이 140% 이상 증가하였음을 알 수 있었다.

2) 고주파구형과 전압인가식제전기의 경우 :

- ① 고주파제전기의 유효제전전류는 인가주파수 f 를 18kHz 정도로 하면 50Hz에 비해서 약 2배 이상 증가하였으며,
- ② 제전성능은 설치거리에 크게 영향을 받아서, 설치거리가 700mm 이상이 되면, 인가주파수에 관계없이 제전전류가 거의 같음을 보여주었다.
- ③ 매분 수십 m의 속도로 이동하는 대전물체제전의 경우 인가주파수가 500Hz를 넘으면 다극성직류식제전기보다 제전효율이 높음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 日本労働省産業安全研究所, 靜電氣安全指針, p. 164, 1988.
- 2) 靜電氣學會編, 정전기ハンドブック, オーム社, pp. 819~837, 1976.
- 3) 村崎憲雄, 靜電氣障災害對策ハンドブック, マグロウル好學社, pp. 181~206, 1977.
- 4) A. D. Moore, Electrostatics and its applications, John Wiley & Sons, pp. 425~440, 1973.
- 5) 이동훈, 전기안전공학, 부산공업대학교출판부, pp. 197~220, 1990.