

대전된 분체의 정전기제거장치 개발 및 특성에 관한 연구

정용철 · 김준삼* · 이동훈**

부경대학교 대학원 안전공학과 · * (주)삼성 SDI-제조 기술부 · **부경대학교 안전공학부
(2006. 3. 29. 접수 / 2006. 5. 24. 채택)

A Study for Development and Characteristics of Electrostatic Eliminator for Charged Particles

Yong-Chul Jung · Joon-sam Kim* · Dong-Hoon Lee**

Department of Safety Engineering, Graduate School, Pukyong National University

*SamSung SDI Co.,LTD, Department of Manufacturing Technology ·

**Division of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received March 29, 2006 / Accepted May 24, 2006)

Abstract : On this study, we developed the electrostatic eliminator for charged particles in manufacturing process. The characteristics of the electrostatic eliminator were investigated, which is two kinds. The first one is Electrical Corona Discharged Type Ionizer. The second one is Photo Ionizer in using soft X-ray.

From the experiment, we have obtained the following results. In case of Electrical Corona Discharged Ionizer, neutralization efficiency of charged particles were approximately saturated to 98% over 6.0kV, but as it is non-explosion proof, can not be used in flammable particle treatment process.

While in case of photo Ionizer in using soft X-Ray, neutralization efficiency of charged particles were approximately 95%, and more its structure is explosion proof, could be used in flammable particle treatment process.

Key Words : electrostatics, ionizer, neutralization, corona discharge

1. 서 론

최근 플라스틱 공업, 유기합성 공업 및 금속 분체 등의 기술이 진보함에 따라서 원료 및 제품을 분체로 취급하는 공정이 현저하게 증가되고 있는 실정이며, 미립자의 제조, 분쇄, 건조, 혼합 등의 공정에서는 유동이나 부유 상태로 취급하거나 고온 분위기 하에 서 처리하는 경우가 많다. 그래서 분체 폭발 위험성이 상당히 인식되고는 있으나 가스 또는 액체에 의한 폭발 위험성만큼 충분히 알려져 있지 않고 있다¹⁾. 1952년부터 1984년까지 일본에서의 분체폭발 발생 상황에 따르면 연평균 발생건수는 6.8건, 연평균사상자수는 17명에 달하였다²⁾. 한편 국내의 경우도 1989년에 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene) 수지 분말

의 폭발로 인한 피해사례가 보고된 바 있다³⁾. 특히 PTA(Purified Terephthalic Acid) 등과 같은 가연성 분체는 폴리에스테르 섬유, 엔지니어링 플라스틱, 필름, 도료, 전자제품, 타이어 코드 및 식음료 용기 등에 사용된다. 이는 정전기방전 등 아주 작은 점화원에 의하여 착화되어 대형 폭발사고로 발전할 위험성을 갖고 있다.

또한 분체를 다루는 공정에 있어 분체의 입경이 작기 때문에 분체운이 발생하여 분체 폭발의 위험성이 있다. 분진의 입경이 10μm 보다 작은 분체주위의 공간에 가연성 액체의 증기 또는 가스를 포함하고 있으면 수십~수백μJ 정도의 대단히 작은 정전기 에너지에 의하여 점화하므로 분체의 정전기 대전이 화재 · 폭발로 연결된다. 최근에는 신소재의 개발과 분체 취급기술의 발전으로 다방면으로 응용 분야가 확대되고 있다. 이것은 새로운 분체를 취급하게 되는 업종, 사업장이 증가해서 분체에 의한 화재 ·

* To whom correspondence should be addressed.
lhoon@pknu.ac.kr

폭발의 잠재적인 위험성이 확대되는 경향을 나타내고 있는 것이다⁴⁹⁾.

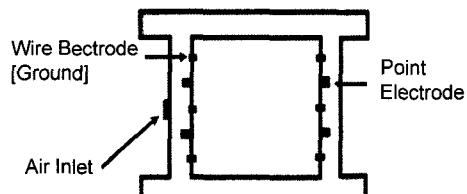
따라서 본 연구에서는 대전된 분체의 정전기 에너지로 인한 화재·폭발을 예방하는데 적합한 2가지 형태의 정전기 제거장치를 개발하였다. 첫째 분체 정전기 제거장치는 원통으로 된 파이프 내부에 방전침과 접지선을 원주방향으로 설치하여 연면방전을 일으켜 파이프 내부의 공간 중에서 양·음이온을 생성하여 대전된 분체의 정전기를 중화함으로서 정전기제거를 하는 원리를 이용하고 있다. 정전기 제거장치의 최적조건을 구하기 위하여 인가전압, 인가전압의 과형 및 공기분사압력의 변화에 따른 제전완화특성 실험을 실시하였고, 둘째 분체 정전기 제거장치는 YX선을 이용한 것으로 타겟 전압 및 전류의 변화에 따른 제전완화 특성실험을 실시하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 코로나 방전형 분체 정전기 제거장치

코로나 방전을 이용한 분체 정전기 제거장치는 Fig. 1과 같으며 방전침과 접지선 사이에서의 연면방전을 이용하여 배관 내부의 공기를 전리시켜 양·음 이온을 생성하며, 생성된 이온이 대전분체에 흡인되어 전기적으로 중화됨으로서 정전기제거가 이루어진다. Fig. 2는 코로나 방전을 이용한 정전기 제거장치의 외형사진을 나타낸다. Fig. 3은 시료 분체를 모의적으로 대전시키기 위한 분체 하전장치의 내부 구조를 나타낸 것이다. 즉 공기와 분체를 분사방식으로 동시에 날려 보내도록 되어 있다. 분체의 대전은 방전 침에 \ominus 고전압을 인가하여 방전침의 끝부분에서 방전을 일으켜 관 내부 공기 중의 가스분자 또는 원자를 \ominus 로 이온화 내지는 원자로부터 자유전자를 생성시켜, 이를 개개의 분체에 \ominus 로 하전시켜서 분체가 대전되도록 하였다. 분체의 대전전압은 방전 침에 인가하는 고전압을 -20kV~-80kV 까지 가변하여 조절하도록 하였다. Fig. 4는 코로나 방전식 분체 정전기제거장치를 이용하여 대전된 분체의 정전기 제거 특성을 실험하기 위하여 제작된 장치이다. 실험장치의 주요구성은 분체대전장치, 이송용 파이프, 대전된 분체의 잔류정전압측정을 위한 Faraday Cage, 정전 전압계 및 코로나 방전을 이용한 정전기제거장치로 구성되어져 있다. 음으로 대전된 분체는 사이크론 파이프를 통하여 분체정전기제거장치 내로 유입되게 되어 있다. 분체 정전

기제거장치를 통과한 분체의 정전전압을 측정하기 위하여 하부에 Faraday Cage를 설치하였다. Faraday



(a) Outside diagram of Electrostatic Eliminator
(b) Inner diagram of Electrostatic Eliminator
Fig. 1. Diagram of electrostatic eliminator in using.

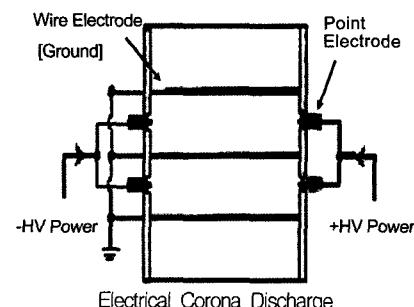


Fig. 2. Outline view of electrostatic eliminator in using electrical corona discharge.

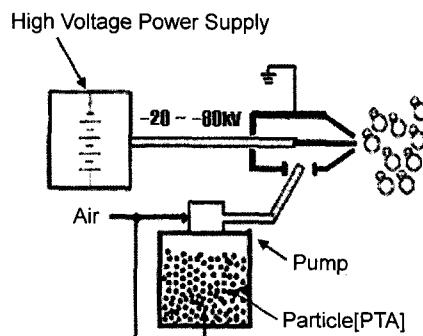


Fig. 3. Diagram of particle charging apparatus.

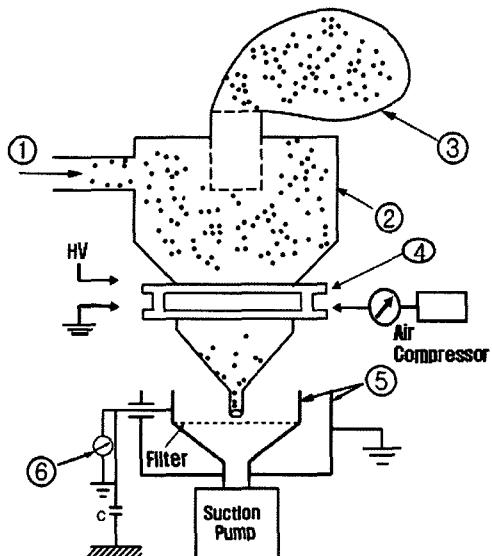


Fig. 4. Experimental apparatus for charged particles to decay in using electrical corona discharged ionizer.

- ① Charged particle ② Cyclone Pipe ③ Bag Filter
- ④ Electrical Corona Discharged Ionizer ⑤ Faraday Cage
- ⑥ Electrostatic Voltmeter

Cage에 포집된 분체의 정전전압은 정전 용량형 정전전압을 통하여 적재할 수 있도록 하였다. 본 실험에 사용된 분체는 울산소재 S社의 PTA (300 mesh 통과 분)을 사용하여 Fig. 3에 의해 실험하였다. 분체는 환경변화에 따라 상당히 민감한 영향을 받기 때문에 항온항습조건(온도 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 55% RH $\pm 2\%$, 대기압 760Torr)에서 모든 실험을 하였으며, 재현성을 확인하기 위하여 평균 3회 측정을 실시 하였다.

2.2. 연X선을 이용한 정전기 제거장치

본 제전기는 연X선을 조사하여 대전물체 근방의 주위가스를 전리시켜 이온이나 전자를 생성하여 대전물체 표면을 중화하는 방법이다. 따라서 코로나 방전식에서는 이온의 반송을 위하여 송풍장치가 필요하나 광조사식에서는 무풍상태의 분위기 속에서도 제전 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 연X선 조사식 제전기는 대기압 불활성 기체중이나 산소를 함유한 분위기 중에도 유효한 제전기술이다.

Fig. 5는 연X선을 발생시키는 관(Tube)내의 구조를 나타낸 것이다. 연X선은 가속된 전자가 금속 타게트에 충돌하면 발생되는 것이므로, 열 전자를 발생하는 필라멘트와 금속 타게트가 내장된 연X선관과 전자를 고속으로 가속시키는 고전압 발생장치로 되어있다. 양극사이의 인가전압을 타게트전압(Tar-

get Voltage)라고 하면, 충돌할 때의 전자의 운동에너지 E_k 는 다음 식 (1)과 같이 표시된다.

$$E_k = eV = 1/2mv^2 \quad (1)$$

여기서, e : 전자전하(4.80×10^{-10} esu)
 m : 전자질량(9.11×10^{-28} gm)
 v : 전자속도, V : 타게트전압

전자의 운동에너지는 타게트와 충돌할 때 대부분이 열로 변하고, 1% 이하의 에너지만이 연X선으로 변한다.

Fig. 6은 연X선을 이용한 정전기 제거장치의 제전원리를 나타낸다. 이는 코로나 방전에 의해 이온을 발생시키는 제전기와 달리 에너지가 높은 빛을 조사하기 때문에 직접 가스분자를 이온화하여 고농도의 이온 및 전자를 생성할 수 있기 때문에 상당히 단시간 내에서 제전이 가능하고 또한 잔류대전전위가 대단히 낮다. 본 연구에서 개발된 연X선의 파장은 $1.2\text{\AA} \sim 1.5\text{\AA}$ 영역이다.

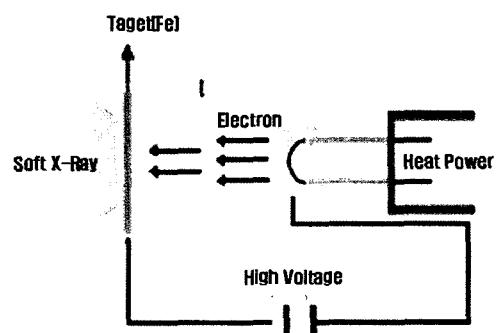


Fig. 5. Inner diagram of photo ionizer in using soft X-ray.

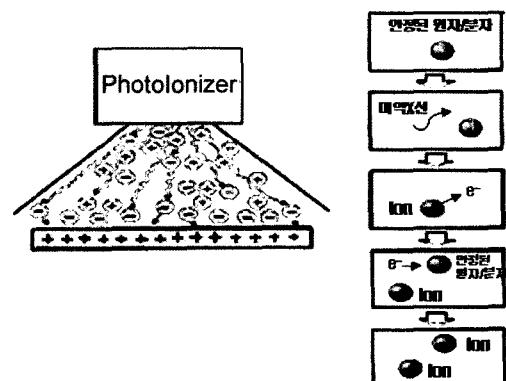


Fig. 6. Ion Generation mechanism.

Fig. 7은 연X선 조사에 의한 정전기 제전특성을 측정하기 위한 장치이다. 연X선은 연X선 발생장치로부터 실험 챔버내로 방사된다. 연X선에 의한 인체 유해성을 예방하기 위하여 차폐판을 설치하였다. 이 때 사용된 차폐판은 PVC(두께 2mm)를 사용하여 차폐율을 99.999% 이상으로 유지하였다. 연X선에 대한 설치거리를 500mm, 750mm, 1,000mm, 1,250mm, 및 1,500mm로 하였다. 또 모의대전체로는 Charge Plate Monitor(Static control service A354, Japan)를 사용하였고, 대전전위는 $\pm 5KV \sim \pm 0.5KV$ 로 조절되도록 하였다. 대전 완화시간은 이온완화계(Ion decay meter), 이온전류는 이온전류측정기(Simco ionometer ICM-2, Japan)로 각각 측정하였다. Fig. 8은 연X선 조사에 의해 대전된 분체의 정전기 제거 특성을 모의 대전 장치를 이용하여 측정하기 위한 장치이다.

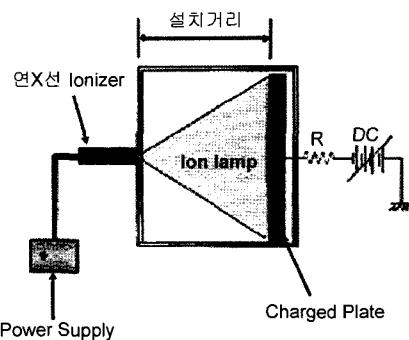


Fig. 7. Experimental apparatus for photo ionizer.

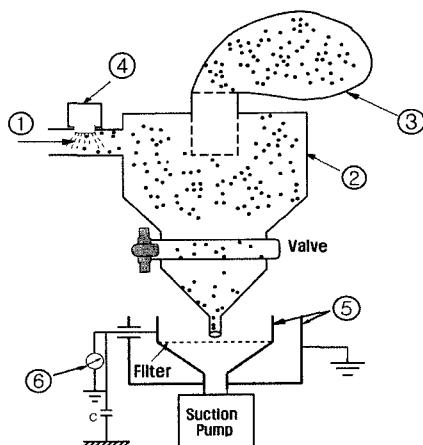


Fig. 8. Experimental apparatus for charged particles to decay in using soft X-ray radiation.

- ① Charged particle
- ② Cyclone Pipe
- ③ Bag Filter
- ④ Photo Ionizer
- ⑤ Faraday Cage
- ⑥ Electrostatic Voltmeter

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 코로나 방전형 분체정전기 제거장치의 특성

3.1.1. 공기분사압력 및 인가전압의 변화에 따른 이온전류 특성

Fig. 9 및 Fig. 10은 Fig. 1의 분체 정전기제거장치에 인가되는 인가전압(60Hz, 정현파)의 변화에 따라 생성된 양 및 음이온 전류를 나타낸 것이다. Fig. 9 및 Fig. 10에서 알 수 있듯이 인가전압이 높을수록 이온전류가 높게 나타남을 알 수 있다. 이것은 인가전압이 높을수록 연면방전에너지가 커지므로 공간 중의 분자 또는 원자의 이온화를 촉진하여서 이온전류가 크게 되기 때문이다. 또한 Fig. 11 및 Fig. 12는 분체 정전기 제거장치 내로 유입되는 유입공기의 압력변화에 따른 인가전압별 이온 생성전류를 나타낸 것으로 공기압이 클수록 이온전류가 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 연면방전에 의해 생성된 양·음 이온이 공간 중에 분포하는데, 주입된 공기압에 의하여 양 음이온이 공간내부를 이동하는 속도가 증가하여 이온전류가 크게 되기 때문이다. Fig. 13은 인가전압을 정현파 교류 8.0[kV]로 고정하였을 때, 정전기 제거장치내로 유입되는 공기압의 변화에 따라 생성된 이온전류의 편차를 나타낸 것이다. 공기의 압력이 $2kg/cm^2$ 일 때 이온전류의 편차는 $65nA$, $4kg/cm^2$ 일 때 이온전류의 편차는 $62nA$, $5kg/cm^2$ 일 때 이온전류의 편차는 $98nA$ 로 나타났다. 그림에서 알 수 있듯이 생성된 음이온이 양이온보다 약 1.5~2배 정도 높게 나타나는 것은 연면방전에 의해 생성된 이온 중 음이온은 주로 자유전자므로 전자의 이동도(mobility)가 양이온보다 훨씬 빠르기 때문이다. 따라서 \oplus 측의 인가전압을 약 1.5~2배정도 높게 조절하면 양이온 및 음이온 평형을 이를 수 있을 것으로 생각된다.

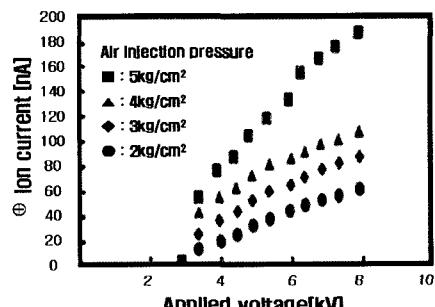


Fig. 9. Positive ion current as a function of the applied voltage to the electrical corona discharged ionizer.

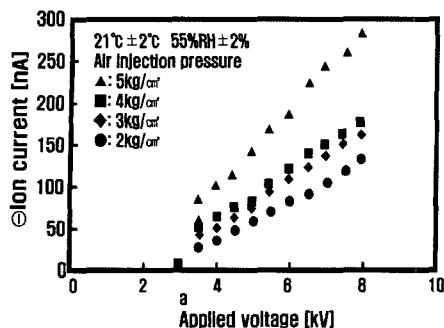


Fig. 10. Negative ion as a function of the applied voltage to the electrical corona discharged ionizer.

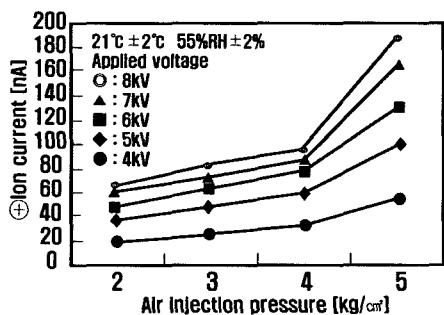


Fig. 11. Positive ion as a function of air injection pressure to the electrical corona discharged ionizer.

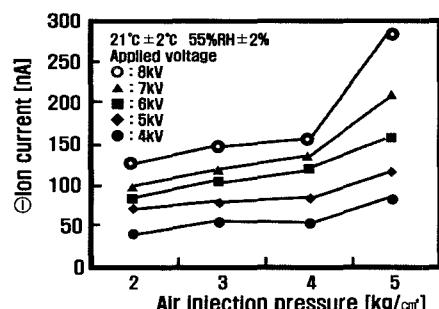


Fig. 12. Negative ion as a function of air injection pressure to the electrical corona discharged ionizer.

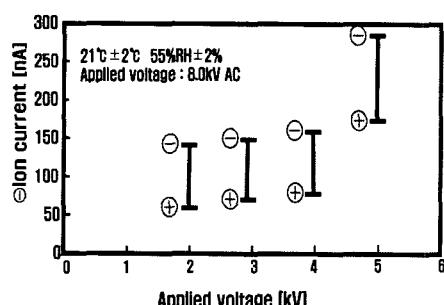


Fig. 13. Deviation of ion current as a function of air injection pressure to the electrical corona discharged ionizer.

3.1.2. 인가전압의 과형에 따른 이온전류 특성

Fig. 14 및 Fig. 15는 인가전압의 과형(펄스파, 정현파, 삼각파) 및 인가전압의 크기에 따라 생성된 이온전류 특성을 나타낸 것이다. Fig. 14 및 Fig. 15에서 보듯이 동일한 인가전압일 때 인가전압의 과형이 펄스파인 경우의 양·음이온 전류가 가장 높게 나타났다. 인가전압의 과형은 펄스파인 경우가 정현파인 경우 보다 약 15% 정도 이온전류가 높게 나타났으며, 삼각파인 경우보다는 약 30% 정도 이온전류가 높게 나타났다. 이는 인가전압의 과형별로 볼 때 이온을 생성할 수 있는 연면방전의 에너지가 직접적으로 영향을 미치는 것으로서 펄스파인 경우가 방전을 일으키는 유효 에너지가 가장 크기 때문이다. 따라서 인가전압의 과형이 펄스파일 때가 가장 높게 나타난 것으로 생각된다.

3.2. 연X선을 이용한 분체정전기 제거장치의 특성

연X선관의 특성, 즉 타케트 전압 및 전류의 변화에 따른 정전기 완화시간 특성을 실시하고, 또한 대전물체와 제전기와의 설치거리에 따른 제전성능 비교를 실시하였다.

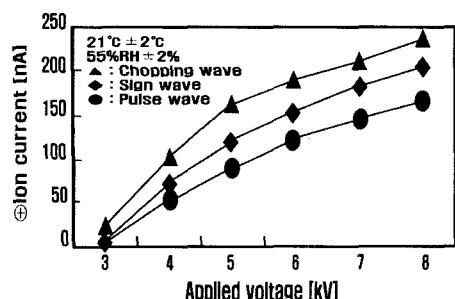


Fig. 14. Positive ion current as a function of wave form applied to the electrostatic elimination.

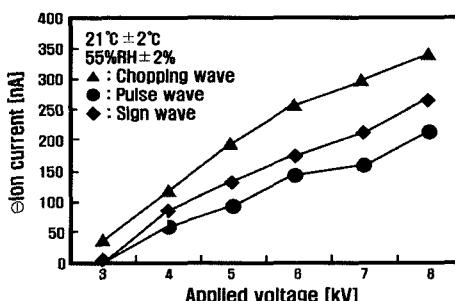


Fig. 15. Negative ion current as a function of wave form applied to the electrostatic elimination.

3.2.1. 타케트 전압 및 전류의 변화에 따른 정전기완화시간 특성

Fig. 16은 전자가속전압, 즉 타케트 전압의 변화에 따른 정전기완화시간특성을 나타낸 것으로 모의 대전전압이 $\pm 5.0\text{kV}$ 에서 $\pm 500\text{V}$ 까지 저하 하는데 소요되는 정전기 완화시간특성을 나타낸 것이다. Fig. 17은 가속된 전자량, 즉 타케트 전류의 변화에 따른 정전기완화시간특성을 나타낸다. Fig. 16에서 알 수 있듯이 정전기완화시간특성은 타케트 전압에 의해 크게 좌우된다는 것을 알 수 있다. 타케트전압이 5kV 이하일 때 정전기 완화시간이 1~3초 이상으로 비교적 크나, 5kV 이상 7kV 까지는 완화시간이 완만히 저하하고, 그 이상에서 최대 인가전압 (9.5kV)까지는 서서히 포화하고 있음을 보여준다. 반면에 타케트 전류 변화에 따른 완화시간은 타케트 전류가 $50\mu\text{A} \sim 100\mu\text{A}$ 사이일 때 타케트 전류에 거의 비례하여 저하한다. 그러나 $100\mu\text{A}$ 를 초과할 때에는 완화시간이 서서히 저하하였다. 이것은 타케트 전류의 증가에 따라 이온농도가 증가하면 오히려 생성된 \oplus 와 \ominus 전하 사이에서 재결합률이 증가하기 때문이다. 모의대전물체의 대전전압극성이 \oplus 일 때와 \ominus 일 때

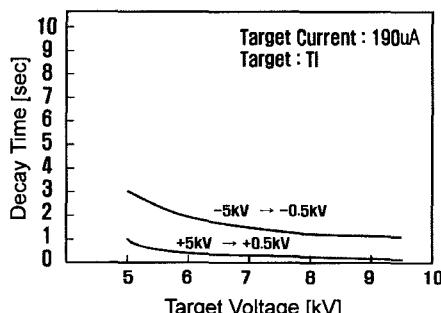


Fig. 16. Decay time characteristics as function of target voltage.

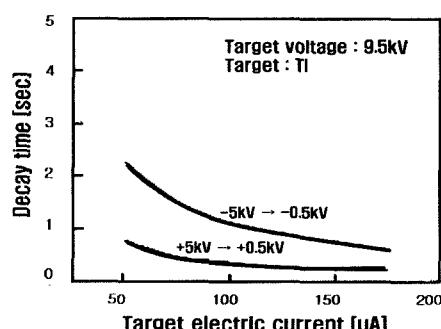


Fig. 17. Decay time characteristics as function of target current.

차이가 나타났다. \oplus 로 대전된 물체의 완화시간이 \ominus 로 대전된 물체의 완화시간보다 거의 2배 이상 빠르게 나타났다. 이는 코로나 방전형 정전기 제거장치의 경우와 유사하기 때문으로 생각된다.

3.2.2. 설치 거리의 변화에 따른 정전기 완화시간 특성

Fig. 18은 설치거리를 50mm 에서 900mm 까지 변화시켰을 때 대전물체의 모의 대전전압이 $\pm 5.0\text{kV}$ 에서 $\pm 500\text{V}$ 까지 완화할 때의 정전기완화시간특성을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 100mm 까지는 거리의 증가에 따라 정전기 완화시간이 급격히 감소하고 100mm 에서 200mm 까지는 정전기완화시간이 거의 일정 값, 즉 0.69sec 를 나타내고, 그 이후부터 상당히 빠르게 증가하여 감을 알 수 있다. 200mm 까지는 연X선 제전기와 모의대전판사이의 설치거리가 짧아서 생성된 \oplus, \ominus 이온에 의하여 전하완화시간이 급격히 감소하는 것으로 생각되며, 200mm 에서 900mm 까지는 설치거리가 멀어지므로 생성된 \oplus, \ominus 이온 공간속으로 분산하여 재결합함으로서 정전기완화시간이 증가하는 것으로 생각된다. 특히 이 거리인 $170\sim 200\text{mm}$ 에서 최소 정전기완화시간을 나타내고 있다. 이로 미루어볼 때 제전기의 설치거리를 170mm 内外 정도로 하는 것이 최적의 설치 거리임을 알 수 있다.

3.3. 대전된 분체의 정전기제거특성

3.3.1. 코로나 방전형 정전기 제거장치에 의한 대전된 분체의 정전기완화시간

Table 1은 분체의 대전전압을 각각 $4[\text{kV}]$, $5[\text{kV}]$, $6[\text{kV}]$, $7[\text{kV}]$ 로 대전시키고 정전기제거장치의 인가전압을 $3.5[\text{kV}]$ 에서 $7[\text{kV}]$ 까지 $0.5[\text{kV}]$ 간격으로 변

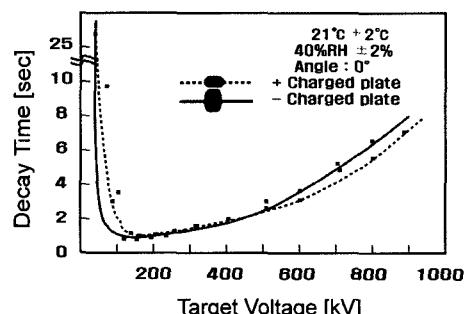


Fig. 18. Decay time characteristics as function of distance between Photo Ionizer and charged plate(1/10).

화시켰을 때 대전된 분체의 제전 전후 정전전압을 비교하여 나타낸 것이다. 인가전압을 3.5[kV]로 하였을 때는 최초 대전전압이 4[kV]인 것은 정전기 제거 장치를 통과한 후에는 3.91[kV]로 완화되었으며, 5[kV]인 것은 4.80[kV]로, 6[kV]는 5.75[kV]로, 7.0[kV]는 6.69[kV]로 제전이 거의 이루어지지 않음을 알 수 있다. 그러나 인가전압이 7.0[kV]가 되면 초기 대전전압이 4[kV]인 것은 정전기제거장치를 통과한 후에는 60[V]로 완화되었으며, 5[kV]는 100[V]로, 6[kV]는 160[V]로, 7[kV]는 200[V]로 제전효율이 아주 높게 나타났다.

Fig. 19는 대전완화경향을 알아보기 위하여 각각의 인가전압에서의 제전 후 전압(V_b)과 제전전 전압(V_a)의 비율(제전효율)의 평균값을 나타낸 것이다. Fig. 19에서 알 수 있듯이 인가전압이 낮은 3.5[kV]에서 4.5[kV]까지는 제전효율이 약 3.7%에서 48.9%

Table 1. Decay characteristics as a function of the applied voltage to the electrical corona discharged ionizer

Charged Electrostatic Voltage	Applied Voltage to ionizer	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Electrostatic Voltage of Charged Particles after Elimination by Ionizer(V _b)	3.91 / 4.00	2.83 / 4.00	1.78 / 4.00	0.92 / 4.00	0.54 / 4.00	0.15 / 4.00	0.09 / 4.00	0.06 / 4.00	
	4.80 / 5.00	3.58 / 5.00	2.43 / 5.00	1.50 / 5.00	0.76 / 5.00	0.33 / 5.00	0.14 / 5.00	0.10 / 5.00	
	5.75 / 6.00	4.42 / 6.00	3.10 / 6.00	2.30 / 6.00	0.99 / 6.00	0.57 / 6.00	0.23 / 6.00	0.16 / 6.00	
Electrostatic Voltage of Charged Particles(V _a)	6.69 / 7.00	5.31 / 7.00	4.18 / 7.00	3.00 / 7.00	1.20 / 7.00	0.83 / 7.00	0.32 / 7.00	0.20 / 7.00	

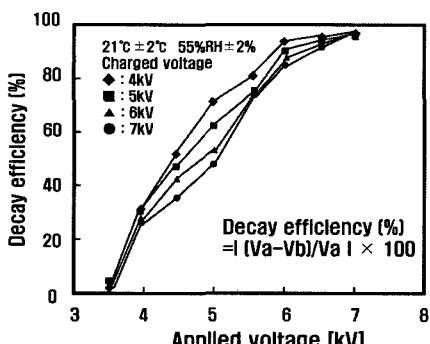


Fig. 19. Decay efficiency as a function of the applied voltage to the electrical corona discharged ionizer.

로 비교적 낮게 나타난 반면, 인가전압이 5[kV]일 때는 제전효율이 약 66.5%, 5.5[kV]일 때는 약 84.4%, 6[kV]일 때는 약 92.1%, 6.5[kV]일 때는 약 96.6%, 7[kV]일 때는 약 97.7%로 제전효율이 비교적 높게 나타났음을 알 수 있다. 이러한 실험결과로 미루어 볼 때 제전효율을 90% 이상으로 하여야 하는 분체 취급 공정에서는 최소한 인가전압이 6[kV] 이상되어야 함을 알 수 있다. 그러나 코로나 방전형 분체정전기제거장치는 방독형 구조가 아니므로 가연성 분체에의 치화위험성이 있으므로 사용할 수 없다.

3.3.2. 연X선을 이용한 분체정전기 제거장치에 의한 대전된 분체의 정전기완화에 대한 현장 적용 시험

Fig. 20은 연X선 제전기의 대전된 분체의 정전기제거 능력을 평가하기 위하여 울산소재 (주)K케미칼화학에서 실제 적용한 실험 장치이다. 장치의 주요 구성은 분체 수송관로용 파이프, 대전된 분체의 정전전압을 측정하기 위한 Faraday Cage 및 정전전압계로 구성되어져 있다. 사이로에 저장된 분체는 자동 계량 시스템을 통하여 자연 낙하의 방식으로 이동되는 중 마찰·충돌에 의하여 PTA 분체는 최고 10kV까지 대전된다. 이렇게 하여 대전된 분체는 자동 포장공정으로 이동되어진다. 이때 자동 포장공정 중에 작업자가 대전 분체에 접촉하는 경우 인체전격을 느끼므로 2차적 재해를 유발하게 된다. Fig. 20과 같이 설치하여 정전기 제거 실험을 실시하였다.

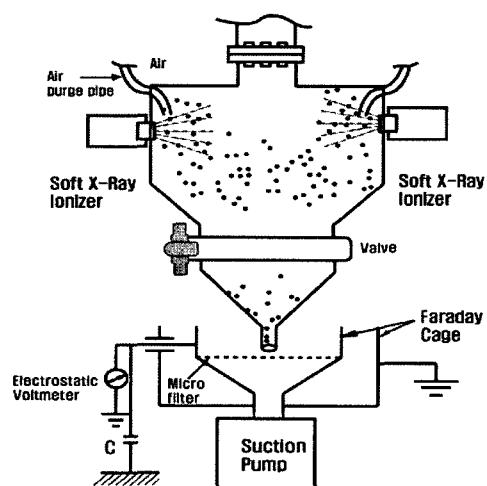


Fig. 20. Actual experimental apparatus at kumho chemical Co., LTD.(Ulsan Korea).

Table 2. Electrostatic voltage of charged particles on before/after soft X-ray radiation

Experiment Account \ Divisions	Electrostatic Voltage of Charged Particles [V]	Electrostatic Voltage of Charged Particles after Elimination by Ionizer[V]
1	1200	100
2	1200	100
3	1200	100
4	1000	100
5	2400	150
6	1200	100
7	1200	100
8	1500	100
9	1200	100
10	1000	100

Table 2는 울산소재 (주)K케미칼화학 PTA 시의 대전특성을 실험한 결과를 보여준다. Table 2에 나타난 바와 같이 정전기 제거장치를 사용하지 않는 상태에서는 분체의 최대 정전전압이 약 1200~2400V로 나타났으며, 연X선 제전기로서 대전된 분체를 제전한 경우에는 약 100~150V 정도로 최대 정전전압의 92~94% 정도까지 저하하였다.

4. 결 론

분체이송중의 정전기 제거를 위하여 코로나 방전을 이용한 것과 연X선을 이용한 제전기를 개발하였으며, 이들 개발장치를 사용하여 상호 비교, 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

코로나 방전형 분체 정전기 제거장치를 사용한 경우;

- 1) 인가전압의 크기 변화에 따라 생성된 이온전류는 최소한 3.5[kV] 이상 되어야만 이온전류가 생성되고, 4[kV]에서 8(kV)까지는 거의 직선적으로 이온전류가 증가함을 알 수 있었다.
- 2) 인가전압의 파형 변화에 따라 생성된 이온전류는 펄스파형인 경우가 가장 높게 나타났으며, 정현파인 경우에 비해서 약 15%정도, 삼각파형인 경우에 비해서 약 30% 정도 이온전류가 높게 생성되었다.
- 3) 공기분사압력의 변화에서는 2~4kgf/cm²일 때는 이온전류는 완만히 증가하였으나, 5kgf/cm²에서 는 생성 이온전류가 약 30% 정도 급격히 증가함을

알 수 있었다.

4) 대전된 분체의 제전 완화 효율은 인가전압이 3.5[kV]에서 5.5[kV]까지는 거의 직선적으로 상승하였으나, 6[kV] 이상이 되면 제전완화 효율이 약 98% 정도에서 포화하였음을 알 수 있었다.

5) 본 연구에서 개발한 코로나 방전식 정전기제거장치는 인가전압이 6[kV] 이상, 인가전압의 파형은 펄스파, 공기분사압력은 5kgf/cm²일 때가 가장 최적인 조건으로 나타났다.

6) 정전기 제거효율은 약 98% 정도로 아주 높았으나, 코로나 방전을 이용하기 때문에 정전기 제거장치 자체가 착화원이 될 우려가 있으므로, 가연성 분진의 정전기 제거에는 많은 위험성이 있다고 생각된다. 직선적으로 이온전류가 증가함을 알 수 있었다.

연X선을 이용한 분체 정전기 제거장치를 사용한 경우;

코로나 방전식 제전기와는 달리 비교적 짧은 시간내에 정전기 대전전위를 거의 수백볼트까지 감소시키는 능력이 있었다.

본 연구를 통해서 개발된 연X선 제전기를 이용하여 대전된 분체의 정전기 제거능력을 실험하기 위하여 울산 소재의 (주)K케미칼화학에 적용하여 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 대전물체의 대전 상태에 따라서 적절한 설치거리를 선택하여야 하는데 실험결과 제 전기의 설치거리는 최소 170mm 이내 이어야 유효한 제전능력을 얻을 수 있었다.

2) 현장 적용 결과 대전된 분체의 정전기 전압을 초기의 대전전압보다 최대 94%까지 저하 시킬 수 있었음을 알 수 있었다.

3) 연X선식 정전기 제거장치는 연X선이라는 빛을 이용하기 때문에 착화원이 될 수가 없어 본질안전방폭형으로 가연성 분체의 정전기 제거에 적합하다고 생각된다.

4) 따라서 향후 분체취급공정에 실제적으로 적용할 수 있도록 제품화하여 이에 대한 평가를 받도록 할 예정이다.

감사의 글 : 본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업연구개발 사업의 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- 1) John E. B., "Emergency Management of Hazardous Material Incidents", NFPA, 1995.
- 2) 松田東榮, “可燃性粉じん 爆發と火災”, 第 10回安全工學「火災・爆發の豫防」テキスト、安全工學協會, 1988.
- 3) 정관석, “곡물사일로 및 가공설비의 분진폭 발예 방대책”, 한국산업안전공단 안전보건, pp. 70~77, Dec. 1990.
- 4) 중앙소방학교, “Hatman식 분진폭발 실험을 통한 분진의 위험성 분석”, 소방기술, 1996.
- 5) 產業安全研究所編, “靜電氣安全指針”, 勞動省産業安全研究所, 1988.
- 6) Y. Dabata 他, 田富泰辛他, “産業安全研究所研究報告”, RIIS-RR-87-1, 1987.
- 7) P. Boshung, M. Glor, “Methods for Investigating the Electrostatic Behaviour of Powders”, Journal of Electrostatics, 8-2, p. 205, 1980.
- 8) S. Kittaka, Y. Murata and N. Masui, “IEEE Trans. Electrical Insulation”, El-12, p. 321, 1977.
- 9) 竹内學, “粉体の帶電 にする因る”, 靜電氣學會誌, 19, 1, pp. 2~7, 1995.