

# 방폭형 제전기의 개발 및 평가방법에 관한 연구

최상원<sup>†</sup>

한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원

(2014. 11. 14. 접수 / 2014. 12. 3. 수정 / 2014. 12. 17. 채택)

## A Study on the Development of an Electrostatic Eliminator and Evaluating Method of Explosion-Protection Construction

Sang-Won Choi<sup>†</sup>

Occupational Safety Research Department, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA

(Received November 14, 2014 / Revised December 3, 2014 / Accepted December 17, 2014)

**Abstract :** Electrostatic eliminators are essential in various areas of manufacturing industries to protect electrostatic hazards and to reduce inferior products. For ion sources used in the charge neutralizers, there are corona discharge, soft X-ray, and ultraviolet and glow discharge. Among them, corona discharge is generally used, because the corona discharge can easily and economically produce positive and negative ions including electrons in air at atmospheric pressure. But it is necessary to equip explosion-protection electrostatic eliminators wherever hazardous atmosphere. The electrostatic eliminators and their testing method of explosion-protection type have been developed in this research. The contents and scope of the research as follows; developing the type 'Ex s IIB T4' electrostatic eliminator of explosion-protection; developing the type 'Ex s d IIB T4' electrostatic eliminator of explosion-protection; developing the explosion-protection performance testing method of electrostatic eliminator for using AC power source.

**Key Words :** explosion-protection, electrostatic eliminator, evaluating method, ignition hazards, ion

### 1. 서론

정전기의 제전은 각종의 생산공정에서 필요하다. 예를 들면 정전기 방전으로 인한 재해방지, 생산효율의 향상, 정전기 방전에 민감한 전자소자의 보호를 위하여 사용되고 있다<sup>1)</sup>.

도전성의 물체는 간단히 접지에 의해 대전방지가 가능하지만, 제전은 특히, 절연물의 대전방지에 효과적이므로 이를 위하여 제전기가 이용되고 있다. 전하발생의 수단(이온원)으로서 자외선, 연X선<sup>2)</sup>, 코로나 방전 제전기가 이용되고 있으며, 최근에는 글로우 방전을 이용한 제전기가 개발되었다<sup>3)</sup>.

각종의 제전기는 장·단점을 가지고 있으며, 그중 대전된 물체의 제전을 위하여 경제성/효율성을 이유로 가장 널리 사용되고 있는 제전기는 교류전압 인가식 제전기이다. 이 제전기는 코로나 방전을 이용하기 때문에 점화능력이 없다고 알려져 있으나, 교류전압 인

가식 제전기가 사용상에서 발생하는 환경과 방전전극의 결합용량과 결합저항의 크기에 따라 점화원으로 되는 경우도 있기 때문에, 이러한 제전기는 선진 외국에서는 이미 인화성 물질이 사용되는 장소에서의 제전 시에는 방폭구조의 제전기를 생산/사용하고 있는 실정이다<sup>4,6)</sup>.

본 연구에서는 교류전압 인가식 제전기를 방폭화시킬 수 있는 기술을 제안하고 또한 이들의 성능을 평가할 수 있는 평가방법을 제안하고자 한다.

### 2. 실험적 배경

#### 2.1 방전에너지의 점화위험성

Fig. 1은 Fig. 2의 방전특성 실험회로 및 장치를 이용하여 교류전압 인가식 제전기에서의 점화유무(아세틸렌가스-공기 혼합기체)를 검토하기 위하여 각 용량성 및 저항성 회로에서 측정된 방전에너지의 그래프이다<sup>4)</sup>.

<sup>†</sup> Corresponding Author : Sang-Won Choi, Tel : +82-52-7030-853, E-mail : swchoi@kosha.net

Occupational Safety Research Department, Occupational Safety and Health Research Institute, KOSHA, 400, Jongga-ro, Jung-gu, Ulsan 681-230, Korea

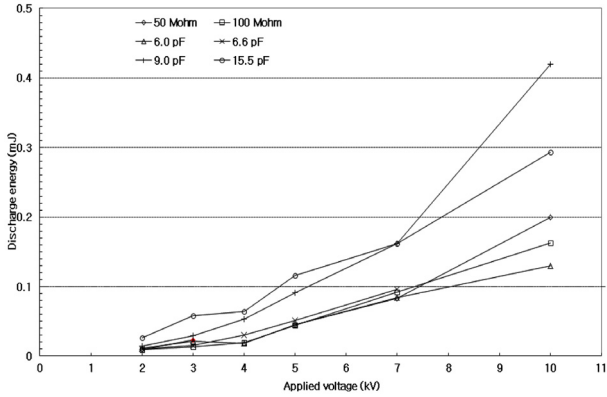


Fig. 1. Relationship of discharge energy and combined methods and capacity.

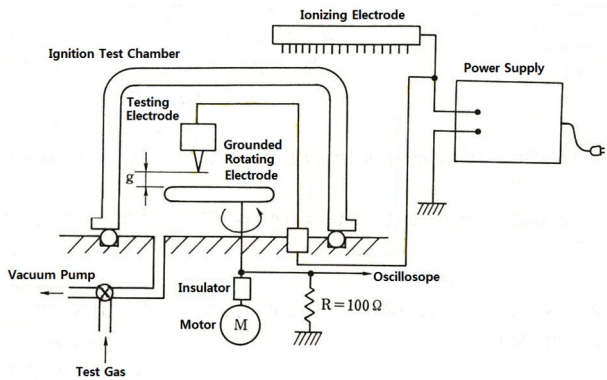


Fig. 2. Schematic diagram of experimental set-up

이때 방전에너지  $\epsilon_d$ 는 다음 식을 이용하여 구했다.

$$\epsilon_d = Q_m \cdot \frac{V_m}{2}$$

여기서 전하량  $Q_m = I_m \cdot \frac{\tau}{2}$ ,  $I_m$  = 방전전류의 최대값,  $\tau$  = 펄스폭,  $V_m$  = 인가전압이다.

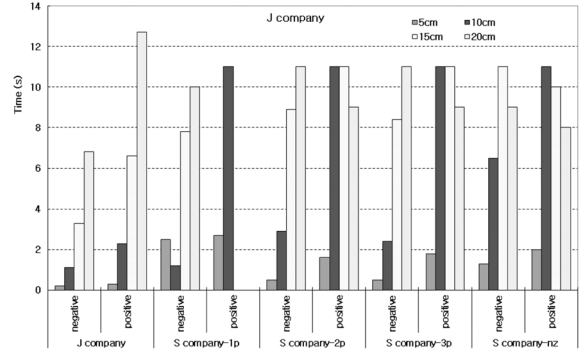
최소점화에너지  $\epsilon_{\min}$ (에틸렌: 0.1 mJ, 수소: 0.02 mJ) 과 비교하여  $\epsilon_d \geq \epsilon_{\min}$  이면 점화로,  $\epsilon_d < \epsilon_{\min}$  이면 비점화로 판정할 수 있다.

Fig. 2의 방전특성 실험장치는 제전기를 가동한 상태에서 방전회로의 일부를 바이패스 시켜 고정전극에, 접지선은 회전접지 전극(방전 갭은 회전전극의 회전에 따라 달라짐)에 접속하여 대상가스의 점화 유무를 확인한다.

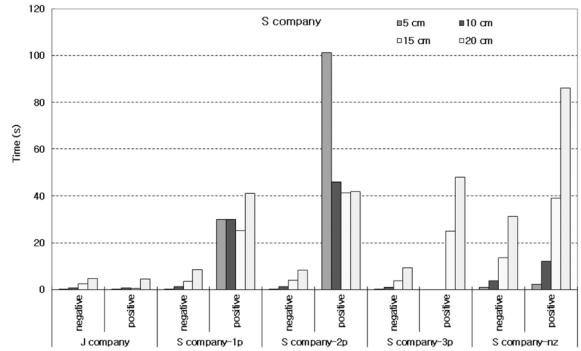
## 2.2 제전성능의 비교

제전기 성능비교를 위하여 일본의 특수방폭형 제전기와 한국의 비방폭형 제전기를 비교하고자 하였다.

Fig. 3 및 Fig. 4는 교류전압 인가식 제전기의 국내의

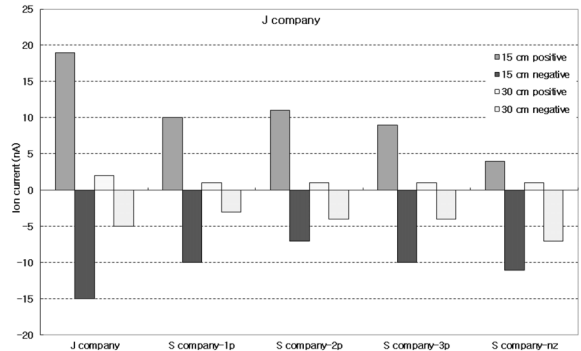


(a) used the power supply of J company item.

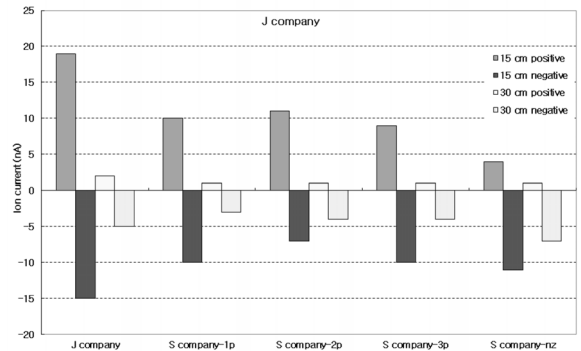


(b) used the power supply of S company item.

Fig. 3. Comparison of ionizing performance.



(a) used the power supply of J company item.



(b) used the power supply of S company item.

Fig. 4. Comparison of ion current.

샘플(S사)과 일본의 샘플(J사)에 대한 제전기의 제전특성을 비교한 것이다. Fig. 3은 제전능력을, Fig. 4는 이온전류를 측정하여 비교한 그래프이다.

측정장비로는 Charged Plate Analyzer(Maker; Monroe Electronics, Model; 268A-1T, 인가전압; -5 kV/ 2kV) 및 Ion+Meter(Nano Ampers, Maker; SIMCO ARANSBURG Co., Model; ICM-1, Power; 120 V)를 사용하였다.

Fig. 3 및 Fig. 4로부터 방전전극으로부터 멀어질수록 제전시간 길어지며, 이온전류는 작아진다. 한편, 일본의 샘플 및 전원을 사용하였을 때 제전성능은 우수하며, 제전의 쌍을 많이 결합할 수록 제전성능은 좋아지는 것으로 나타났다.

### 3. 방폭형 제전기의 평가방법

제전기의 제전성능 등 일반 요건에 대한 평가방법은 KS C IEC 61340-5-1 2010(정전기 제 5-1부: 정전기 현상에 대한 전자디바이스의 보호-일반요구 사항), IEC 61340-4-7 2011(Electrostatics-Part 4-7: Standard test methods for specific applications-ionization) 등에서 다루고 있으나, 방폭형의 제전기에 대하여 제전성능 요건이라던가 점화 능력에 대한 시험방법은 국내에는 현재까지 없으며, 단지 의무 안전인증 기준인 고용노동부 고시 2013-54호(방호장치 의무안전인증 고시; 2013. 12. 28)에 의거 방폭구조 형태별로 인증을 받는다.

본 연구에서는 교류전압 인가식 제전기의 방폭성능 평가를 위하여 일본의 ‘정전기용품 구조기준-교류전압 인가식 제전기의 방폭구조, 성능 및 시험방법’을 소개한다.

방폭형 제전기의 평가방법에는 구조적인 요건과 평가시험이 있다. 여기서는 주요시험 항목만을 다루었다. 아래의 주요 시험 외에 절연저항시험, 내전압시험 등이 있다<sup>6,7)</sup>.

#### 3.1 점화시험

Fig. 2와 같은 시험회로를 이용하여 정격 결합용량의 1.5배인 침 1개의 전극을 사용한다. 시험가스(농도 6.5 %의 에틸렌과 공기의 혼합기체)를 대기압까지 넣는다. 제전기의 전원장치의 전원 스위치를 투입한 후, 회전 접지전극을 회전시켜 100회전 이내에 점화가 일어나는가를 10회 반복 시험한다. 또한, 회전속도는 매분 60회전으로 한다.

#### 3.2 온도시험

온도시험의 시험환경은 상온(5~35 °C) 상대습도(4

5~85 %)로, 시험 중의 온도변화가 작을(±5 °C 이내) 무풍의 실내에서 실시한다. 온도시험은 제전기의 온도 상승시험, 절연권선의 온도상승시험이 있다.

#### 3.3 제전기 성능시험

제전전극의 단위 길이 당의 제전전류는 Fig. 5와 같이 회로도를 구성하여 다음 식에 의해 단위 길이에 대한 전류  $J_e \mu A/cm$ 를 구한다. 단,  $L_e$  cm는 제전전극의 유효전극 길이,  $L$  cm은 모의 대전물체의 장방향의 길이이다.

$$J_e = \frac{|I_e|}{L_e} (L_e \leq L \text{의 경우}), J_e = \frac{|I_e|}{L} (> L \text{의 경우})$$

#### 3.4 방전펄스 시험

방전에너지(전압 및 전류)를 구하기 위하여 제전기를 가동한 상태에서 방전회로의 일부를 바이패스 시킨다. 제전전극의 방전펄스 전류는 Fig. 6의 시험장치를 사용하여 측정한다.

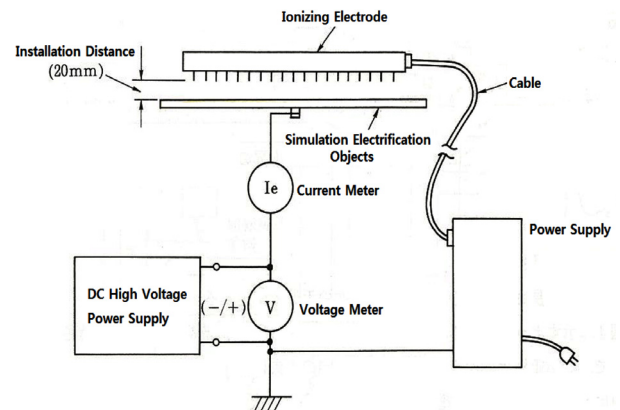


Fig. 5. Test circuit of ionizing performance.

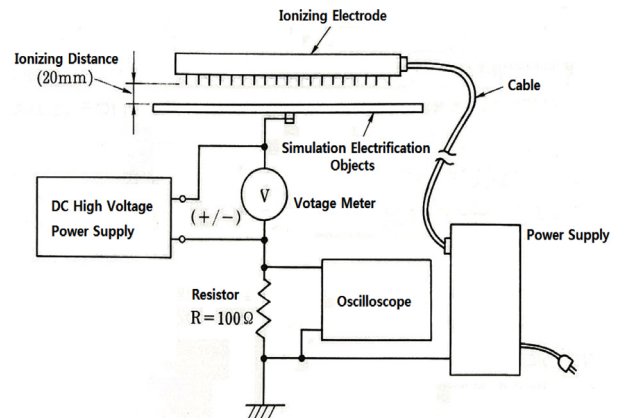


Fig. 6. Test circuit of discharge pulse.

## 4. 방폭형 제전기의 개발 특성<sup>8-9)</sup>

### 4.1 방폭화 기술현황 및 적용을 위한 고려 사항

(1) 제전성능(제전시간 및 이온전류)을 비교한 결과 대체적으로 일본 제품이 우수한 것으로 나타났다. 반면에, 안전면에서는 유리한(상대적으로 작은 이온전류) 국내의 제품이 전극의 용량성, 배치구조가 달라 일본 제품에 비해 점화위험성은 낮다고 판단되어 제전기 본래의 성능보다는 안전성에 우선을 두어 국내 제전기의 전극구조를 그대로 사용하면서 전원공급기에 전류제한기를 갖는 특수방폭형과 내압방폭구조의 합에 넣는 구조 두 가지로 개발하는 것이 경제적이라고 생각된다.

(2) 비방폭형 제전기, 특히 코로나 방전을 이용한 상용 주파수의 제전기를 방폭화시킨 일본에서의 적용기술은 내압, 압력, 특수방폭구조만 실용화되어 있으며, 내압을 적용할 경우는 가격이 비싸고, 압력방폭구조를 적용하게 되면, 이온의 도달거리는 길어지나 유지비가 비싸지기 때문에 이 두 가지를 혼용한 특수방폭구조를 적용하는 경우가 성능 및 경제성을 이유로 많이 개발/시판되고 있다.

(3) 아크방전과 글로우 방전의 가장 큰 차이는 아크 방전 시에는 전류가 급상승할 때 전압은 그와 반대로 급강하 하지만 글로우 방전은 방전이 지속방전이므로 방전전압을 그대로 유지하고, 그 방전전압도 동일한 조건에서 아크 방전에 비해 상당히 낮다. 또한 최소 점화 에너지는 아크방전보다 글로우 방전 시가 크게 되므로 이를 방폭형의 제전기에 적용하면 매우 유리하게 된다.

(4) 방전전극의 배치나 구조에 따른 제전능력의 특성은 아주 크게 달라지므로 이의 배치나 구조에 대하여 상당한 실험적 연구가 필요하다. 전극의 배치 시에 전극사이를 가깝게 하면 제전효율은 증가하나 전극 및 접지극 사이에 불꽃방전을 일으켜 점화위험성이 커지며, 반면에 전극사이를 멀게 하면 이와 반대현상이 나타나므로 두 변수의 최적값을 구하는 것이 중요하다. 또한 전극의 구조에서는 결합용량 및 결합저항이 점화 위험성에 가장 큰 영향을 주게 되므로 결합용량을 크게 하면 제전효율은 증가되나 역시 불꽃방전에 의한 점화위험성은 크게 되며, 결합용량을 작게 하면 반대의 현상이 나타나게 된다. 결합저항은 이와 반대의 현상을 나타낸다.

(5) 방폭형 제전기에 대한 일본에서의 검정기준은 1991년 7월부터 도입하여 일본산업안전협회(TIIS)에서 검정을 실시하고 있으며, 방폭형 제전기에 대해서는 사용상의 문제가 가장 중요하기 때문에 일반적으로 시행하는 방폭전기기의 성능 검정규격에 좀 더 안전을

을 적용시킨 별도의 검정기준을 채택하고 있다. 그러나 사용자가 방폭형 제전기를 잘 관리할 수 있는 조건이라면, 일본에서 적용하는 기준을 반드시 우리나라에 적용시킬 필요는 없다고 사료되나 이에 대한 기술적 검토가 선행되어야 한다.

(6) 방폭형 제전기의 평가 시에 가장 중요한 시험장비는 점화시험 장치이며, 이는 일본에서는 春日電機에서 생산/판매를 하고 있다. 그 외의 전기 계측장비는 현재 한국의 정전기 관련 기업/대학/연구원에서 사용하고 있는 계측기 정도라면 평가에 충분하다.

(7) 방폭형 제전기는 사용상에 주의를 필요로 하는 기기이다. 특히, 방전전극은 사용 중에 이물질의 흡착 등 이상 시에 발생하는 코로나 방전이 아크방전으로 전이되어 화재·폭발을 일으키는 경우가 일본에서도 종종 발생하고 있는 실정이므로 방폭형 제전기는 주기적인 점검과 관리 및 방전전극의 교체 등 사용상 주의를 하여야 하며, 고압케이블의 임의 연장은 절대 불가하다.

### 4.2 개발품의 명세

4.1의 방폭화 기술현황 및 적용을 위해 검토된 고려 사항을 반영하였다.

비방폭형 일반형 제전기도 각자의 특성에 따라 장·단점을 가지고 있기 때문에, 이를 방폭화 구조를 적용할 경우에도 제전기의 본래의 특성을 가능한 한 유지하면서 경제성을 함께 도모하여야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 일반형 제전기를 근간으로 하여 Fig. 7과 같은 특수방폭구조(#1)를, Fig. 8과 같은 압력 및 내압방폭구조를 혼용할 수 있는 방폭구조(#2)를 채택한 모델의 방폭형 제전기를 개발하였다.

개발한 시제품의 명세는 Table 1과 같으며, 두 개발

Table 1. specifications of developments.

Items		Special type (development #1)	Flame-proof type (development #2)
Power supply	Explosion protection type	Ex s IIB T4	Ex s d IIB T4
	Applying zone	None hazardous area	Hazardous area
	Size	350×270×150 mm	350×270×150 mm
	Output voltage	AC 7kV, 60 Hz	AC 7kV, 60 Hz
	Output current	0.1 A max.	0.1 A max.
Electrode	Couplig method	1pin capacitor	1pin capacitor
	Effective length	88 cm	88 cm
	Number of electrode	36ea	36ea
	Electrode interval	2.5 cm	2.5 cm
Etc.	Cable length	6 m mim., 30 m max.	6 m mim., 30 m max.
		Weight	Power: 11.5 kg Electrode: 1 kg

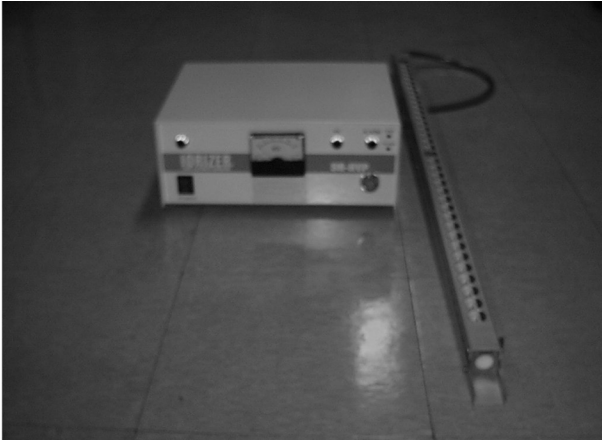


Fig. 7. External photograph of the developments # 1.



Fig. 8. External photograph of the developments # 2.

모델 모두 기존 36개의 방전 전극을 이용하였으며, Fig. 7(특수방폭형) 및 Fig. 8은(내압방폭형) 각각의 방폭구조의 외형을 나타낸 것이다.

### 4.3 개발품의 특징

#### (1) 전원장치

- 고압 승압 변압기는 입력전압이 변동되어도 출력 전압에 증감이 발생하지 않는 구조이다. 또한 제전전극의 방전 이상이나 고전압 라인의 이상방전을 검출하는 보호장치를 가지고 있다.

- 고압 승압 변압기의 철심트랜스 부분은 1차측과 2차측의 혼촉을 방지하기 위하여 혼촉방지판을 삽입한 구조이다.

- 고압 승압 변압기에서 노이즈와 이상 펄스가 제거된다.

#### (2) 제어회로

- 고압 케이블의 정수 값이 규정값 이상 또는 이하로 접속될 때 입력전압의 변동을 검출하여 출력부를

차단시킨다.

- 전원장치와 제전바가 접속되지 않은 경우에는 일정시간 후에 전원을 차단시킨다.

- 제전전류가 규정값 이상으로 되면 전원을 차단시킨다.

- 고압부의 출력전압이 규정값 이하가 되면 이온전류가 증가하기 때문에 전원을 차단시킨다.

- 전극부에서 스파크가 발생 시에는 전원을 차단시킨다.

#### (3) 고압 케이블

- 고압 케이블의 파라미터 중 용량성은 100 pF/m 이하다.

- 고압 케이블의 내전압은 AC 25 kV에서 1분간 견디는 것이다.

- 절연저항은 1 MΩ 이상이다.

#### (4) 제전 전극

- 제전 전극부의 방전전극은 하나하나씩 용량결합 방식을 채택하여 결합용량과 인가전압에 의해 방전전류를 억제하는 구조로 안전성을 확보한 것이다.

### 4.4 개발품의 평가

제작한 2종의 시제품에 대한 제전기 자체의 성능과 방폭성능을 평가한 결과는 다음과 같다.

- 제전기의 제전성능, 이온전류 등의 일반적인 성능은 일본의 제품에 비하여 다소 떨어지고 있으나, 전극 간격, 배치구조를 최적으로 개선할 경우에는 시제품의 제전성능도 크게 향상될 것으로 판단된다.

- 방폭성능의 구조적인 여건은 앞의 3.에서 제시하는 평가기준<sup>6-7)</sup>에 적합하도록 설계·제작하였다.

- 방폭성능의 점화시험은 방전불꽃의 크기 등을 일본의 제품과 비교한 결과로는 이번에 개발한 시제품도 점화성은 없다고 사료되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 교류전압 인가식 제전기에 방폭화시킬 수 있는 기술을 제안하고 또한 이들의 성능을 평가할 수 있는 평가방법과 아울러 2종의 방폭형 제전기를 개발하여 성능평가를 하였다. 그 결과를 정리해 보면 다음과 같다.

(1) 국내의 샘플제품과 외국의 샘플제품에 대한 제전기의 성능은 동일한 조건의 제품은 아니지만 국내제품의 성능이 다소 떨어지는 것으로 나타났다.

(2) 일반형 제전기를 방폭화시킬 수 있는 기술은 여

러 가지 방법이 있으나 경제성과 제전성능을 고려하여 복합구조의 방폭구조를 채택하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

(3) 방폭형 제전기의 성능평가를 위한 국내로의 검정기준의 도입은 시험장비의 확보 등에 따라 빠른 시일 내에 도입하는 것이 바람직하다.

(4) 개발된 방폭형 제전기의 가장 큰 특징은 다음과 같은 두 가지를 들 수 있다.

- 방전전극 사이에서 이상 방전 시에 방전전류를 제한시키고 또한, 방전회로를 차단시킨다.

- 경제성을 고려하여 제전기의 전원장치를 폭발위험 장소용과 비폭발 위험장소용으로 선택적으로 사용할 수 있다.

(5) 내압 및 특수방폭구조의 시제품을 제작하여 평가한 결과 방폭성능에 큰 지장을 주는 것은 없는 것으로 나타났으나, 제전기 자체의 성능을 개선하는 것과 향후 실용화 과정과 성능검증을 수행하는 과정에서 나타나는 성능 및 구조상의 문제점이 보완되어야 할 것이다.

(6) 제전성능에 크게 영향을 미치는 제전전극의 재료, 배치구조 및 전기적인 파라미터의 선정에 대해서는 추가적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

(7) 향후, 방폭형 제전기의 실용화를 위하여 현장의 견에 대한 보완/수정이 필요할 것으로 사료된다.

## References

1) D. -H. Kim et. al., "Electrostatic Safety", Donghwa Publication. pp. 262-264, 2001.

2) H. -S Lee and D. -H Lee, "Development of a Soft X-Ray Ionizer for the Elimination of Static Electricity of Particles", Occupational Safety and Health Research Institute, pp. 90-101, 1999.

3) A. Ohsawa, "Neutralization of Static Charge by an Atmospheric Pressure Glow Discharge", Korea-Japan Jointed Seminar, pp. 45-51, 2003.

4) T. Suzuki et. al., "Corona Discharge Characteristics of Electrostatic Eliminator Consisting of Needles Coupled with HV power Source via Resistors/Capacitors and Needles Grounded", Proceeding of Journal of Electrostatic, pp. 420-432, 1990.

5) Y. Tabata et. al., "Safety Control of Incendiary Discharge Occurring from Electrostatic Reducer of Corona Type", Proceeding of Journal of Electrostatic, pp. 251-254, 1987.

6) Y. Tabata et. al., "Safety Control of Incendiary Discharge Occurring from High-Frequency Electrostatic Eliminator of Corona Type", Proceeding of Journal of Electrostatic, pp. 383-386, 1988.

7) Recommended Practice for Explosion-Protecting Construction, Performance and Testing Method of AC Electrostatic Eliminator, ISSN 0111-8063, Research Institute of Industrial Safety of Japan, 1991.

8) S.- W. Choi, "Development of an Electrostatic Eliminator and Testing Method of Explosion-Protection Construction", Occupational Safety and Health Research Institute, 2005.

9) S.- W. Choi and T.- S Kim, "Explosion Proof Technology and Evaluation Method of Electrostatic Eliminator for AC Voltage Supply", Spring Conference of The Korean Society Safety, pp. 136-141. 2003.