

# 교류전압 인가식 제전기의 방폭화 기술 및 평가방법

최상원 · 김태수\*

한국산업안전공단 산업안전보건연구원 · \*신한기연(주)

## 1. 서 론

정전기의 제전은 각종의 생산공정에서 필요하다. 예를 들면 정전기 방전으로 인한 재해방지, 생산효율의 향상, 정전기 방전에 민감한 전자소자의 보호를 위하여 사용되고 있다.

도전성의 물체는 간단히 접지에 의해 대전방지가 가능하지만, 제전은 특히, 절연물의 대전방지에 효과적이므로 이를 위하여 제전기가 이용되고 있다. 전하발생의 수단(이온원)으로서 자외선, 연X선, 코로나 방전 제전기가 이용되고 있으며, 최근에는 글로우 방전을 이용한 제전기가 개발되었다<sup>1)</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 인가식 제전기가 사용상에서 발생하는 환경과 방전전극의 결합용량과 결합저항의 크기에 따라 점화원으로 되는 경우도 있기 때문에, 이러한 제전기는 선진 외국에서는 이미 가연성물질이 사용되는 장소에서의 제전시에는 방폭구조의 제전기를 생산/사용하고 있는 실정이다.

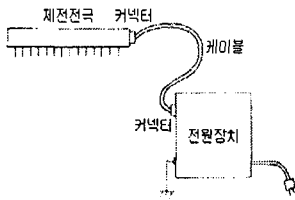
본 연구에서는 교류전압 인가식 제전기를 방폭화시킬 수 있는 기술을 제안하고 또한 이들의 성능을 평가할 수 있는 평가방법을 제안하고자 한다.

## 2. 제전기의 종류 및 특성

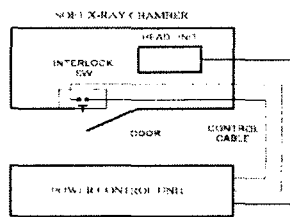
제전기의 종류와 그 특성은 표 1과 같다. 이 중에서 전압인가식 제전기에는 인가전압의 종류에 따라 교류식, 직류식, 직류 펄스식으로 구분된다. 교류식은 상용주파수를 사용하므로 직류식에 비하여 전원 변환장치를 필요로 하지 않는 등 제작이 간편하고 가격이 저렴하다는 특징으로 널리 사용되고 있다. 그러나 제전거리가 비교적 짧고, 방전침의 유지/보수가 불편하다는 등의 단점도 가지고 있다<sup>2)</sup>. 그림 2는 제전기의 종류를 나타낸 것이다.

표 1. 각종 제전기의 장·단점

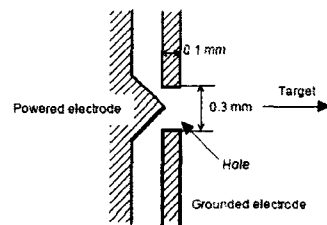
종류 \ 장·단점	장점	단점
전압인가식 제전기	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 기종이 다양하며, 응용범위가 넓다.(교류형, 직류형, 송풍형, 노즐형)</li> <li>· 제전능력이 다양하며 우수하다.</li> <li>· 대기압 중에서 제전이 가능하다.</li> <li>· 가격이 저렴한 편이다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 유지/보수가 어렵다.</li> <li>· Spattering 현상에 의해 전극을 자주 교체하여야한다.</li> <li>· 오존가스가 생성된다.</li> <li>· 이온극성의 불균형이 있다.(교류형)</li> </ul>
자기방전식 제전기	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제전전극의 구조 및 설치가 간단하다.</li> <li>· 이온 생성에 필요한 전원이 필요 없다.</li> <li>· 대전전위가 높을수록 양호한 제전이 된다.</li> <li>· 가격이 가장 저렴하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 제전효과가 전압인가식에 비해 제전거리에 크게 영향을 받는다.</li> <li>· 제전 후 잔류 전압이 높다.</li> <li>· 방폭화구조가 어렵다.</li> </ul>
방사선식 제전기	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 무풍상태의 분위기에서도 제전이 가능하다.</li> <li>· 분체의 제전에도 사용 가능하다.</li> <li>· 제전시간이 짧다.</li> <li>· 전극을 사용하지 않는다.</li> <li>· 유지/보수가 가능하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 차폐가 필요하다.</li> <li>· 방사선에 의해 대전물체의 물성이 변하는 경우도 있다.</li> <li>· 구조가 복잡하다.</li> <li>· 가격이 비싸다.</li> </ul>



(a) 전압인가식 제전기



(b) 연X선 제전기



(c) 글로우 방전 제전기

그림 1. 각종 제전기의 예

### 3. 교류전압 인가식 제전기의 점화위험성 및 특성비교

#### 3.1 방전에너지의 점화위험성

그림 2는 그림 3의 방전특성 실험회로 및 장치를 이용하여 교류전압 인가식 제전기에서의 점화유무를 검토하기 위하여 측정한 방전에너지의 그래프이다<sup>3)</sup>. 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 피크치,  $\tau$  = 펄스폭,  $V_m$  = 인가전압이다.

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

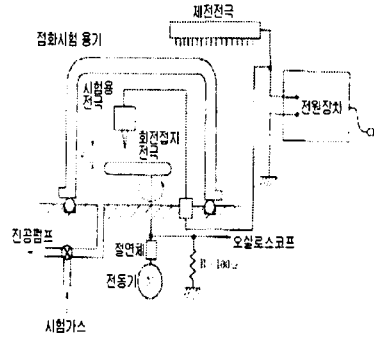
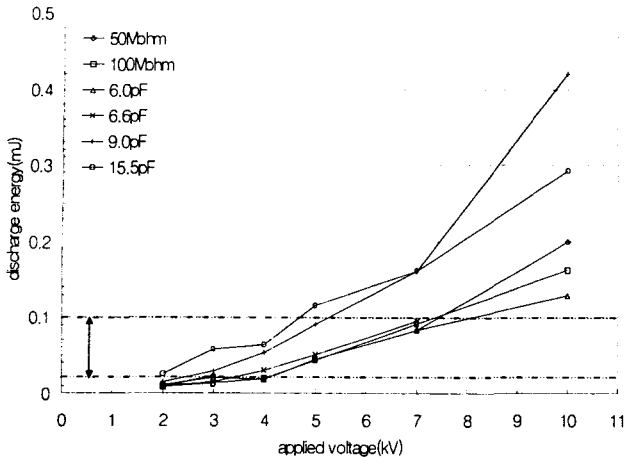


그림 2. 결합방법 및 용량과 방전에너지의 관계      그림 3. 실험 회로도

### 3.2 제전성능의 비교

그림 4 및 그림 5는 국내의 샘플과 일본의 샘플에 대한 제전기의 특성을 비교한 것이다. 그림 4는 제전능력을, 그림 5는 이온전류를 측정하여 비교한 그래프이다.

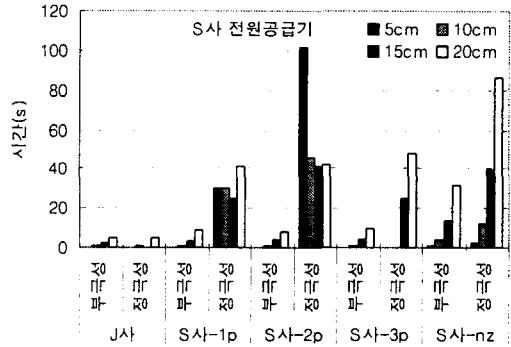
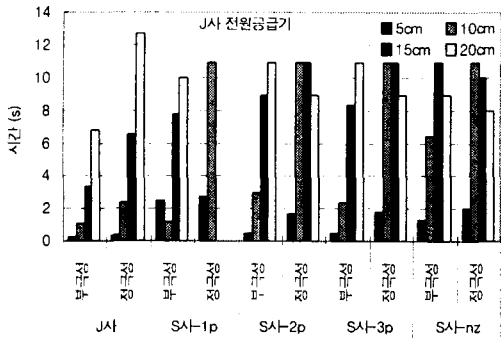


그림 4. 제전성능의 비교

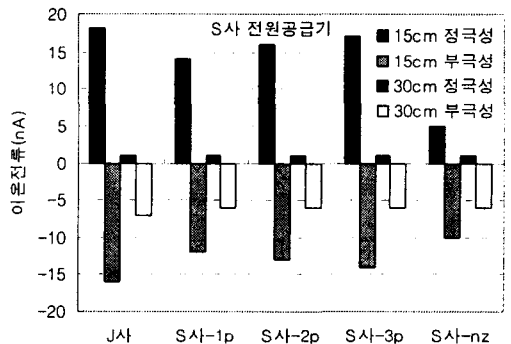
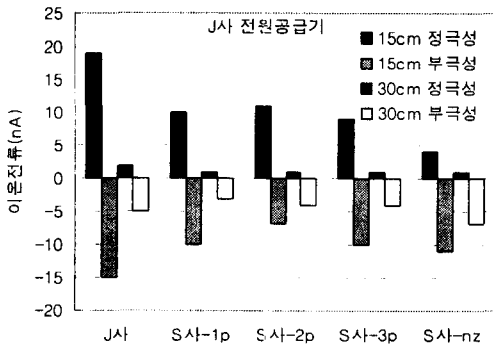


그림 5. 이온전류의 비교

#### 4. 방폭형 제전기의 평가방법<sup>4)</sup>

방폭형 제전기의 평가방법에는 구조적인 요건과 평가시험이 있다. 여기서는 주요시험 항목만을 다루었다. 아래의 주요 시험 외에 절연저항시험, 내전압시험 등이 있다.

##### 4.1 점화시험

그림 3과 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.

##### 4.2 온도시험

온도시험의 시험환경은 상온(5~35℃) 상습(45~85%)으로, 시험 중의 온도변화가 작은(±5℃ 이내) 무풍의 실내로 한다. 온도시험은 제전기의 온도상승시험, 절연권선의 온도상승시험이 있다.

##### 4.3 제전기 성능시험

제전전극의 단위 길이 당의 제전전류는 그림 6과 같이 회로도를 구성하여 다음 식에 의해 단위 길에 대한 전류  $Je(\mu A/cm)$ 를 구한다. 단,  $Le(cm)$ 는 제전전극의 유효전극 길이,  $L(cm)$ 은 모의 대전물체의 장방향의 길이이다.

$$Je = \frac{|Ie|}{Le} \quad (Le \leq L \text{의 경우}), \quad Je = \frac{|Ie|}{L} \quad (Le > L \text{의 경우})$$

##### 4.4 방전펄스 시험

제전전극의 방전펄스 전류는 그림 7의 시험장치를 사용하여 측정한다.

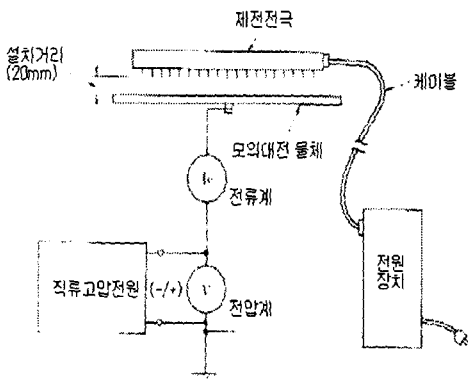


그림 6. 제전성능 시험 회로도

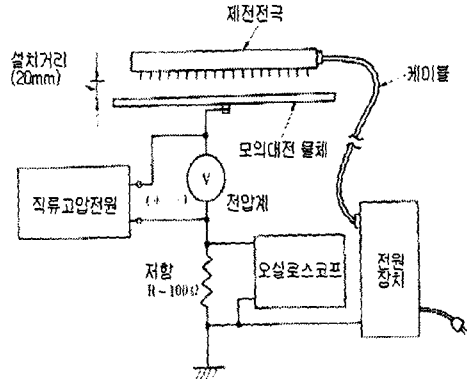


그림 7. 방전펄스 시험 회로도

#### 5. 방폭기술 적용을 위한 고려사항 및 개발 모델

##### 5.1 방폭화 기술현황 및 적용

- (1) 방폭형 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 길어지거나 유지비가 비싸지기 때문에 이 두 가지를 혼용한 특수방폭구조를 적용하는 경우가 성능 및 경제성을 이유로 많이 개발/시판되고 있다.
- (2) 아크방전과 글로우 방전의 가장 큰 차이는 아크 방전시에는 전류가 급상승할 때 전압은 그와 반대로 급강하 하지만 글로우 방전은 방전이 자속방전이므로 방전전압을 그대로 유지하고, 그 방전전압도 동일한 조건에서 아크 방전에 비해 상당히 낮다. 또한 최소점화에너지는 아크방전보다 글로우 방전시가 크게되므로 이를 방폭형의 제전기에 적용하면 매우 유리하게 된다.
- (3) 방전전극의 배치나 구조에 따른 제전능력의 특성은 아주 크게 달라지므로 이의 배치나 구조에 대하여 상당한 실험적 연구가 필요하다. 전극의 배치시에 전극사이를 가깝게 하면 제전효율은 증가하나 전극 및 접지간에 불꽃방전을 일으켜 점화위험성이 커지며, 반면에 전극사이를 멀게 하면 이와 반대현상이 나타나므로 두 변수의 최적값을 구하는 것이 중요하다. 또한 전극의 구조에서는 결합용량 및 결합저항이 점화위험성에 가장 큰 영향을 주게 되므로 결합용량을 크게 하면 제전효율은 증가되나 역시 불꽃방전에 의한 점화위험성은 크게되며, 결합용량을 작게 하면 반대의 현상이 나타나게 된다. 결합저항은 이와 반대의 현상을 나타낸다.
- (4) 방폭형 제전기에 대한 일본에서의 검정기준은 1991년 7월부터 도입하여 산업안전협회에서 검정을 실시하고 있으며, 방폭형 제전기에 대해서는 사용상의 문제가 가장 중요하기 때문에 일반적으로 시행하는 방폭기기의 성능 검정규격에 좀더 안전율을 적용시킨 별도의 검정기준을 채택하고 있다. 그러나 사용자가 방폭형 제전기를 잘 관리할 수 있는 조건이라면, 일본에서 적용하는 기준을 반드시 우리나라에 적용시킬 필요는 없다고 본다.
- (5) 방폭형 제전기의 평가시에 가장 중요한 시험장비는 점화시험 장치이며, 이는 일본에서는 春日電機에서 생산/판매를 하고 있다. 그 외의 전기 계측장비는 현재 산업안전보건연구원 방폭시험팀에서 사용하고 있는 계측기 정도라면 평가에 충분하다.
- (6) 방폭형 제전기는 사용상에 주의를 필요로 하는 기기이다. 특히, 방전전극은 사용중에 이물질의 흡착 등 이상시에 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.

## 5.2 개발모델

일반형 제전기도 각자의 특성에 따라 장·단점을 가지고 있기 때문에, 이를 방폭화 구조를 적용할 경우에도 제전기의 본래의 특성을 가능한 한 유지하면서 경제성을 함게 도모하여야 한다. 이를 위하여 우리 연구원에서는 그림 8의 일반형 제전기를 그림 9와 같은 내압, 압력 및 특수방폭구조를 혼용한 방폭구조 및 각각의 독립적인 방폭구조를 채택한 모델의 방폭형 제전기를 개발 중에 있다.

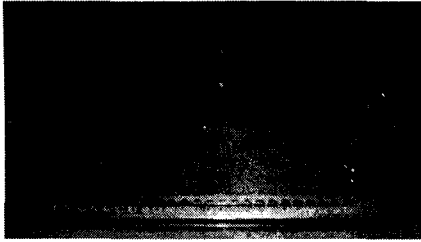


그림 7. 일반형 제전기

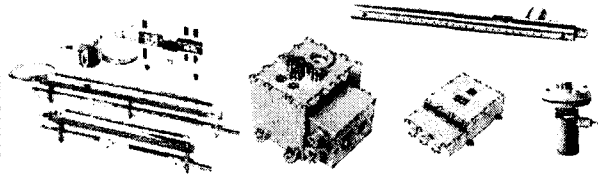


그림 8. 방폭형 제전기

## 5. 결 론

본 연구에서는 교류전압 인가식 제전기에 방폭화시킬 수 있는 기술을 제안하고 또한 이들의 성능을 평가할 수 있는 평가방법을 제안코자 하였다. 이를 정리해 보면,

- (1) 국내의 제품과 외국의 제품에 대한 제전기의 성능은 동일한 조건의 제품은 아니지만 다소 성능이 떨어진다고 판단되었다.
- (2) 일반형 제전기를 방폭화시킬 수 있는 기술은 여러 가지 방법이 있으나 경제성과 제전성능을 고려하여 복합구조의 방폭구조를 채택하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.
- (3) 방폭형 제전기의 성능평가를 위한 검정기준의 도입은 시험장비의 확보 등에 따라 향후 1년 이후에 도입하는 것이 바람직할 것으로 본다.
- (4) 향후, 방폭형 제전기의 실용화를 위하여 현장의견에 대한 보완이 필요하다.

## 참고문헌

- 1) 大澤 敦, “新方式除電システムの開發(グロー放電除電器)”, 産業安全研究所年報, p.51 2002
- 2) 이형수, “대전된 분체의 정전기 제거를 위한 제전기의 개발연구”, 산업안전보건연구원, 연구원99-26-96, 1999.
- 3) 鈴木輝夫 外, “抵抗・容量結合方式の針-針型除電器のコロナ放電特性”, 靜電氣學會講演論文集, 1990.10
- 4) 産業安全研究所技術指針, 靜電氣用品構造基準(交流電壓印加式除電器の防爆構造, 性能試驗方法), 1991.7