

## 전압인가식 제전기의 방폭화에 관한 연구

\* 이 춘 하 · 김 점 호 · 박 민 영

호서대학교 환경안전공학부, 호서대학교 대학원 안전공학과  
(2004년 7월 25일 접수, 2004년 11월 20일 채택)

### A study on the explosion proof by the electric discharge on voltage application type.

Chun Ha Lee\* · Jum Ho Kim and Min Young Park

\*Department Environmental Safety Engineering Hoseo University, Department of Safety  
Eng., The Graduate School Hoseo University, Asan 336-795 Korea

(Received 25 July 2004 ; Accepted 20 November 2004)

#### 요 약

정전기 방전으로 인한 재해방지, 생산효율의 향상, 정전기 방전에 민감한 전자소자의 보호를 위하여 각종 생산 공정에서는 정전기의 제전이 필요하다. 그래서 필름생산공장, 도장공장, 반도체 공장 등에서 이러한 정전기를 제거하기 위하여 제전기를 사용하고 있다.

본 연구에서는 전압인가식 제전기 bar의 길이, 동관의 길이 및 전극 간격을 변화시켜가면서 최적의 제전효율을 가지는 조건을 고찰하고, 이러한 조건에서 발생되는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발 유무를 연구하였다.

그 결과 제전효율은 각각의 제전 bar에서 접지전극과 침상전극 사이의 간격이 8~11[mm] 사이 일 때 최적의 제전효율을 나타내는 것을 알 수 있으며, 최적의 제전효율을 나타내는 bar에 대하여 가연성 가스의 폭발실험을 한 결과 폭발은 일어나지 않는 것을 알 수 있었다.

이상과 같이 본 연구를 통하여 나타난 결과를 이용하여 최적의 제전효율과 안전성을 가지는 방폭형 전압인가식 제전기 개발에 필요한 자료를 제시함으로써 산업현장에서 발생하는 가연성 가스에 의한 폭발사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

**Abstract** - It is necessary to eliminate the electric static for the prevention of disasters by electric static discharge, the improvement of production efficiency, the protection of a sensitive electronic devices in the variable manufacturing processes. Then it is handled for elimination of electric static in the painting plant, the film manufacturing plant, the producing semi-conductor factory.

This study described on the ideal condition of electric static elimination efficiency by changing of the length of voltage input type eliminator's bar, the length of copper pipe and the gap of electrode and the existence of explosion by inflammable gas with that conditions.

As the result, the electric static elimination efficiency has the most ideal value at the 8~11[mm] gap of the earth electrode and needle type electrode each elimination bar and there is not explode at the explosive experiment of inflammable gas with the ideal elimination bar. We can consider that there are some data which are needed for elimination efficiency and it will be able to protect the occurrence of explosion accident inflammable gas in the industrial fields.

**Key words** : electric static elimination, elimination bar, length of copper pipe, inflammable gas, explosion proof

## 1. 서 론

산업사회가 발달함에 따라 건물, 공장 등의 대형화, 고층화, 단순화가 이루어짐으로 고도의 문명사회가 형성되어지고 인간에게 윤택한 삶을 제공하여 준다. 반면에 산업사회의 발달로 인한 재해는 막대한 재산 및 인명의 손실을 가져다주고 있는 실정이며, 폭발 및 화재로 인한 피해는 매년 증가하는 추세이다. 이중 정전기의 방전으로 주위의 가연성 가스가 폭발하여 많은 피해가 발생하기도 한다. 그래서 반도체 공장, 필름생산공장, 가스관련시설, 석유화학공장 등에서는 대전된 물체의 정전기를 제거하기 위하여 제전기를 많이 사용하고 있다. 이러한 제전기의 종류로서는 전압인가식 제전기, 송풍형 제전기, Nozzle형 제전기, 자기방전식 제전기, 방사선식 제전기 등이 있으며 현장에서는 경제성과 효율성이 높은 전압인가식 제전기(static eliminator)를 널리 사용하고 있다.[1]

전압인가식 제전기는 금속 침이나 가는 선 등을 전극으로 사용하고 이온 발생 전극에 고전압을 인가함으로써, 전극의 선단에 corona 방전을 일으켜 정전기 제전에 필요한 (+)이온과 (-)이온을 발생시켜주는 구조로 corona 방전식 제전기라고도 부른다. 이 전압인가식 제전기는 다른 제전기에 비해 제전능력이 크기 때문에 단시간에 제전 할 수 있으며 이동하는 대전물체의 제전이 가능하다는 장점을 가지고 있는 반면에, 설치 및 취급이 다른 제전기에 비해 복잡하고 어려운 단점을 가지고 있다.[2]

그리고 전압인가식 제전기는 코로나 방전을 이용하기 때문에 점화능력이 없다고 알려져 있으나, 여러 가지 주위환경과 사용상에서 발생되는 방전전극의 결합정전용량, 결합저항의 크기에 따라 점화원으로 되는 경우가 생기므로 선진 외국에서는 가연성 가스가 취급되는 장소에서의 정전기 제전시 반드시 방폭형 제전기를 사용하게 함으로서 폭발사고를 미연에 방지하고 있다.[3]

따라서 본 논문에서는 전압인가식 제전기의 이온발생 bar의 침상전극과 접지전극간의 간격을 변화시켜가면서 최적의 제전효율을 가지는 조건을 검토하였고, 이러한 조건하에서 두 전극간에서 발생하는 방전에 의하여 가연성 가스

의 폭발유무를 실험하였다.

본 연구를 통하여 최적의 제전효율과 안전성을 가지는 방폭형 전압인가식 제전기 개발에 필요한 내용을 고찰하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1. 실험장치

#### 2.1.1 제전기

Fig. 1은 제전효율을 측정하기 위하여 사용된 전압인가식 제전기로서 구성은 이온발생 bar, 고압전선, 고압전원부의 세부분으로 구성되어 있다. 고압전원부(power box)에서 전원을 공급하여 이온발생 bar(static eliminator)에 전압이 인가되면 침상전극과 접지전극 사이에서 방전이 일어나게 되고 고전압의 에너지에 의해 제전에 필요한 이온이 생성된다. 즉 고전압이 인가되어 두 전극사이에서 corona 방전이 발생하고 방전에 의해 이온이 생성되는 것이다.

Fig. 2는 본 실험에 사용된 이온 발생 bar를 나타낸 것으로 규격은 Table 1에서와 같이 가로 40[mm], 세로 40[mm]의 정사각형 모양이고, 길이는 600, 900, 1200[mm]의 세 종류를 사용하였다. 그리고 Fig. 3은 이온발생 bar의 상세한 구조로서 제전효율을 구하기 위하여 침상전극(a)과 접지전극(b)의 사이를 6~13[mm]까지 1[mm] 간격으로 조절이 가능하도록 구성되어 있으며, 침상전극을 고정시켜주는 동관은 길이가 10, 15, 20[mm]의 3가지 크기로서 각각의 동관에 1개의 침상전극이 설치된다.

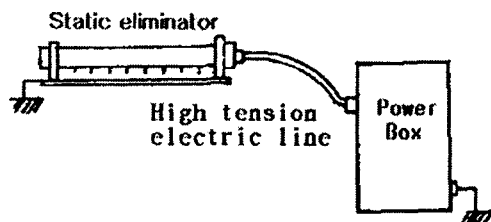


Fig. 1. Composition of voltage application type static eliminator.

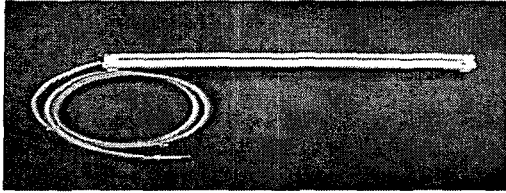


Fig. 2. Ion occurrence bar.

Table 1. Size of Ion occurrence bar's.

Terms[mm]	Length[mm]		
	600	900	1200
Width	40	40	40
Street	40	40	40

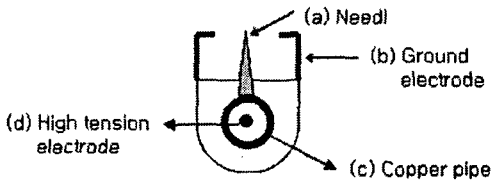


Fig. 3. Detailed structure of voltage application type static.

또한 이온발생 bar에 고압전원을 공급하기 위하여 Fig. 4와 같은 power box를 사용하였으며, power box의 정격은 Table 2와 같이 AC 220[V], 35[W] 일 때, 6[kV], 7[kV]의 고전압을 공급할 수 있는 2가지 종류를 사용하였다.

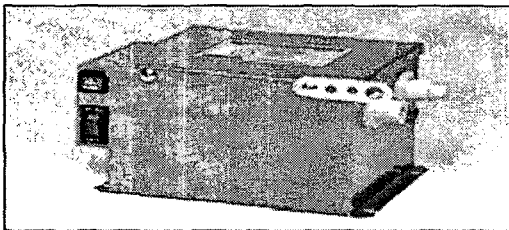


Fig. 4. Power box.

Table 2. Rating of power box.

Standard	Voltage	
	6[kV]	7[kV]
Input	220[V] AC	220[V] AC
Watts	35[W]	35[W]

2.1.2 제전효율 측정 장치

Fig. 5는 제전기의 정전기 제전효율을 측정하기 위한 정전기 감쇠도 측정 장치(회사 : USA.Monroe.Electronics, 모델명:ESC-268)로서 정전기 방전시간과 잔류전압, 정전기 제거 시간과 이온밸런스 등을 측정할 수 있으며, 사양은 Table 3에서 보는바와 같이 5000[V] → 500[V]로 제전되는 시간 측정과 1000[V] → 100[V]로 제전되는 시간의 측정이 가능하도록 되어 있다.



Fig. 5. Device of Charge plate analyzer.

Table 3. Specifications of charge plate analyzer.

Charge Plate Analyzer	Explanation
Model	ESC - 268
Use	Measures both electrostatic discharge (ESD) time and residual voltage(electrostatic control or related product). Measures static elimination time, voltage and current (Measurements of static eliminator performance). Measures ionic balance Specifications.
Specifications	Measures static control time from 5,000[V] to 500[V]. Measures static control time from 1,000[V] to 100[V].
Optional Specifications	Users may measure voltages in the unit of 1[V] between 0 and 1,000[V] by using a timer

2.1.3 폭발실험 장치

Fig. 6은 본 실험에 사용된 폭발chamber로서 전압 인가식 제전기의 이온발생 bar에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발 실험을 행하기 위한 것으로 chamber의 규격은 용적 20[l], 높이 147[mm], 길이는 1,350[mm]이다.



Fig. 6. Explosion chamber.

2.2. 실험방법

2.2.1 제전효율 측정 실험

최적의 제전효율을 측정하기 위하여 Fig. 7과 같이 정전기 감쇠도 측정장치를 설치하여 이온발생 bar의 길이와 동관의 길이, 접지전극과 침상전극 사이의 거리를 변화시켜가면서 제전효율을 측정하였다. 이때 bar의 길이를 600, 900, 1200[mm]로 하였으며, 동관의 길이 10, 15, 20[mm]마다 각각 1개의 침상전극을 설치하였고, 침상전극과 접지전극 사이의 간격을 6~13[mm] 범위에서 1[mm]단위로 변화시키면서 제전효율을 측정하였다. 그리고 고전압을 인가하는 power box는 6[kV], 7[kV] 2가지 종류를 사용하였으며, 제전효율은 5000[V] → 500[V]로 제전되는 효율을 측정하였다.

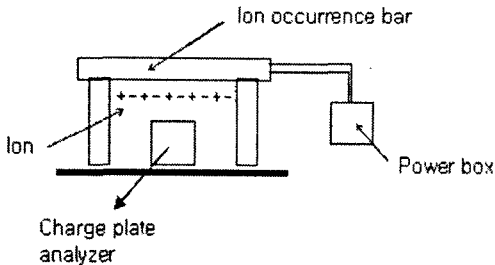


Fig. 7. test circuit of static elimination effect.

2.2.2 폭발 실험

폭발실험은 제전효율 측정 실험결과에서 구한 최적의 조건인 상태에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발 유무를 실험하였다.

이때 사용된 가연성 가스는 KS C IEC Publication - 60079-11[4]에서 방폭형 전기기기를 실험할 때 기기의 등급에 따른 대표적인 실험가스의 농도를 기준으로 하였으며, 실험에 사용된 각 가스별 공기혼합 농도는 아래와 같다.

- 수소-공기 혼합가스 21[Vol%]
- 에틸렌-공기 혼합가스 7.8[Vol%]
- 프로판-공기 혼합가스 5.25[Vol%]
- 메탄-공기 혼합가스 8.3[Vol%]

또한 전압인가식 제전기의 이온 bar에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발유무를 확인하기 위한 실험 순서는 다음과 같다.

- 1) Fig. 8과 같이 폭발chamber내에 전압인가식 제전기의 이온발생 bar를 설치한다.
- 2) 진공펌프를 이용 chamber 내부를 진공상태로 한 후 실험하고자 하는 가연성 혼합가스를 주입한다.
- 3) 제전기의 고압전원부를 On 시켜 이온 bar에 전원을 공급한 뒤,
- 4) 5분 동안 동작시켜 전압인가식 제전기의 bar에서 발생하는 방전에 의하여 가연성 가스의 폭발 유무를 확인한다.

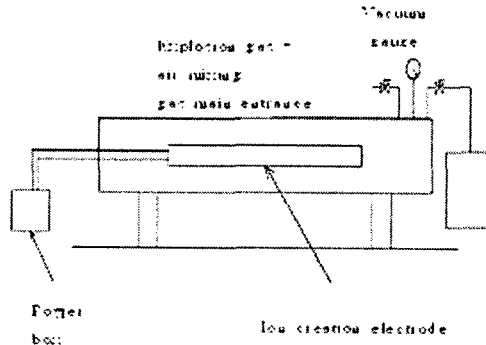


Fig. 8. Configuration of device for explosion test.

또한 이온 bar에 인가되는 전압을 정격전압의 1.5배 즉, 방폭형 전기기기의 설계 및 제작시

적용되는 안전율을 고려한  $6[kV] \times 1.5 = 9[kV]$ ,  $7[kV] \times 1.5 = 10.5[kV]$ 의 전압을 인가하여 상기와 같은 동일 조건으로 점화현상을 실험하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 제전효율 측정

Table 4, 5는 각각의 이온발생 bar와 동관의 길이, 그리고 침상전극과 접지전극 간격변화에 따른 제전효율을 각각 10회 측정하여 최적의 효율을 가지는 전극 간격을 나타낸 것으로 접지전극과 침상전극의 간격이 8~11[mm] 사이에서 최적의 제전효율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

이는 접지전극과 침상전극 사이가 넓어지면 방전 지속시간이 줄어들기 때문에 이온 생성율이 떨어지고, 접지전극과 침상전극이 너무 좁으면 전극의 소멸효과가 나타나기 때문에 이온 생성율이 낮아져 제전효율이 떨어지는 것으로 사료된다.

즉, 침상전극과 접지전극의 간격이 넓을수록 방전에 필요한 에너지가 커야하기 때문에 두 전극 사이에서 에너지가 순간적으로 크게 소비되어 침상전극에 축적되어진 정전용량이 방전에 필요한 레벨 이하로 되는 시간이 짧아지고 이온 생성률이 적게 되며, 침상전극과 접지전극 사이의 간격이 너무 좁으면 방전으로 인하여 발생하는 열이 외부로 방출되지 않고 전극에 축적되어 전극의 온도가 증가함으로 인하여 이온 생성율이 적어지므로 제전효율이 떨어지는 것으로 생각된다.

Table 4. Gap of ideal static elimination effect (6[kV]).

Length of bar [mm]	Length of copper pipe [mm]	Gap of ideal [mm]	Remark
600	10	9	
	15	10	
	20	11	
900	10	10	
	15	11	
	20	11	
1200	10	8	
	15	10	
	20	11	

Table 5. Gap of ideal static elimination effect (7[kV]).

Length of bar [mm]	Length of copper pipe [mm]	Gap of ideal [mm]	Remark
600	10	9	
	15	9	
	20	10	
900	10	9	
	15	10	
	20	11	
1200	10	9	
	15	10	
	20	10	

#### 3.1.2 폭발실험

Table 6, 7은 제전효율 실험 측정 결과 최적의 제전 효율을 가지는 이온 발생 bar의 방전으로 인한 폭발유무에 관한 실험 결과를 나타낸 것이다. Table 6은 대상가스별 인가전압이 6[kV], 7[kV]인 경우이고, Table 7은 방폭형 전기기기의 설계 및 제작시 고려한 안전율 1.5배를 적용한 9[kV], 10.5[kV]를 인가한 경우에 대한 결과로 Table 6, 7에서 보듯이 실험에 사용된 가연성 가스에 대하여 폭발이 일어나지 않음을 알 수 있었다.

본 실험에 사용된 가연성 가스의 최소점화에너지는 Table 8과 같으며, 이 최소점화에너지는  $E=1/2CV^2[J]$ 로서 정전용량[C[F]]와 전압[V[V]]에 의해 구하여진 값이다.[5]

각각의 가스 종류와 인가된 전압의 크기에 따라 가스에 점화가 일어날 수 있는 정전용량C의 최소값을  $C=2E/V^2[F]$ 로 하여 구하면 Table 9와 같다.

실제로 실험에 사용된 이온발생 bar의 침상전극의 정전용량 크기를 L.C.R meter(회사 : Taiwan, GW 모델명 : L.C.R-815B)를 이용하여 측정하면 Table 10과 같고, 이 값은 앞에서 구한 각 가스별 최소 정전용량값을 초과하는 것을 알 수 있다. 따라서 침상전극과 접지전극 사이에서 발생하는 방전에 의하여 가스에 점화가 일어날 수 있을 것으로 나타났지만 실제로는 폭발이 일어나지 않았다. 이는 침상전극과 접지전극 사이의 공간저항과 전극의 저항 등이 침상전극의 정전용량에 직렬연결 형태의 저항으

로 작용하므로 두 전극 사이에서 발생하는 방전 에너지가 제한되어 가연성 가스의 최소점화에너지보다 작아지기 때문인 것으로 사료된다.

또한, Table 10에서 동관의 길이가 길어지면 길어질수록 침상전극에 축적되어지는 정전용량 에너지가 커지기 때문에 방전에너지가 크게 되어 가연성 가스에 점화가 일어날 수 있는 것을 알 수 있다. 실제로 bar의 길이가 600[mm] 일 때 동관의 길이가 25[mm]이고, 인가전압이 9[kV]인 경우에 수소가스에 점화가 되어진다는 연구결과가 있지만[6], 본 실험을 통하여 동관의 길이가 20[mm] 이하인 경우에는 가스에 점화를 일으키지 못한다는 것을 알 수 있었다.

Table 6. Explosion test results of static eliminator.

Division Ion Bar	Voltage [kV]	Length of Copper pipe	Gap of ideal [mm]	Gas kinds			
				Hydrogen 21 [Vol%]	Ethylene 78 [Vol%]	Propane 5.25 [Vol%]	Methane 8.3 [Vol%]
				600 [mm]	6 [kV]	10[mm]	9[mm]
		15[mm]	10[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	11[mm]	x	x	x	x
	7 [kV]	10[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	10[mm]	x	x	x	x
900 [mm]	6 [kV]	10[mm]	10[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	11[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	11[mm]	x	x	x	x
	7 [kV]	10[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	10[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	11[mm]	x	x	x	x
1200 [mm]	6 [kV]	10[mm]	8[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	10[mm]	x	x	x	x
	7 [kV]	10[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	10[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	10[mm]	x	x	x	x

Table 7. Explosion test results of static eliminator(Considered safety factor 1.5).

Division Ion Bar	Safety rate Voltage [kV]	Length of Copper pipe	Gap of ideal [mm]	Gas kinds			
				Hydrogen 21 [Vol%]	Ethylene 78 [Vol%]	Propane 5.25 [Vol%]	Methane 8.3 [Vol%]
				600 [mm]	9 [kV]	10[mm]	9[mm]
		15[mm]	10[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	11[mm]	x	x	x	x
	10.5 [kV]	10[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	10[mm]	x	x	x	x
900 [mm]	9 [kV]	10[mm]	10[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	11[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	11[mm]	x	x	x	x
	10.5 [kV]	10[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	10[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	11[mm]	x	x	x	x
1200 [mm]	9 [kV]	10[mm]	8[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	10[mm]	x	x	x	x
	10.5 [kV]	10[mm]	9[mm]	x	x	x	x
		15[mm]	10[mm]	x	x	x	x
		20[mm]	10[mm]	x	x	x	x

Table 8. The minimum ignition energy of gases.

Gas kinds	Hydrogen	Ethylene	Propane	Methane
Minimum ignition energy(mJ)	0.019	0.083	0.25	0.28

Table 9. The minimum ignition capacitance of Gases.

Division Gas kinds	Voltage[kV]	Minimum ignition capacitance(F)
Hydrogen	6	$1.06 \times 10^{-12}$
	7	$0.78 \times 10^{-12}$
	9	$0.47 \times 10^{-12}$
	10.5	$0.34 \times 10^{-12}$
Ethylene	6	$4.61 \times 10^{-12}$
	7	$3.39 \times 10^{-12}$
	9	$2.05 \times 10^{-12}$
	10.5	$1.51 \times 10^{-12}$
Propane	6	$13.89 \times 10^{-12}$
	7	$10.20 \times 10^{-12}$
	9	$6.17 \times 10^{-12}$
	10.5	$4.54 \times 10^{-12}$
Methane	6	$15.56 \times 10^{-12}$
	7	$11.43 \times 10^{-12}$
	9	$6.91 \times 10^{-12}$
	10.5	$5.08 \times 10^{-12}$

Table 10. Capacitance with the copper pipe length.

Length of copper pipe(mm)	10(mm)	15(mm)	20(mm)
Capacitance (F)	$77 \times 10^{-12}$	$78 \times 10^{-12}$	$79 \times 10^{-12}$

#### 4. 결 론

전압인가식 제전기의 이온발생 bar의 침상전극과 접지전극간의 간격을 변화 시켜가면서 최적의 제전효율을 가지는 조건을 검토하였고, 이러한 조건하에서 두 전극간에 발생하는 방전에 의하여 가연성 가스의 폭발 유무를 실험한

결과 아래와 같은 결론을 확인 할 수 있었다.

- 1) 각각의 제전 bar에서 침상전극과 접지전극 사이의 간격이 8~11[mm]일때 최적의 제전효율을 나타내는 것을 알 수 있었으며, 이는 침상전극과 접지전극의 사이의 간격이 커지면 방전지속시간이 줄어들기 때문에 이온 생성율이 떨어지고, 침상전극과 접지전극 사이의 간격이 적어지면 전극의 소멸효과가 나타나기 때문에 이온 생성율이 낮아져 제전효율이 떨어지는 것임을 알 수 있었다.
- 2) 제전효율 실험을 통하여 최적의 제전효율을 가지는 경우에 bar에서 발생하는 방전에 의하여 가연성 가스의 폭발 유무를 실험 한 결과 실험에 사용된 수소, 에틸렌, 프로판, 메탄 가스에서는 폭발이 일어나지 않는 것을 알 수 있었다.  
이는 침상전극에 축적되어지는 정전용량 값이 각 가스별 최소 정전용량값을 초과하여 가스에 점화가 일어날 수 있을 것으로 나타났지만, 폭발이 일어나지 않은 것은 두 전극 사이의 공간저항 및 기타 저항에 의하여 전극 사이에서 발생하는 방전에너지가 제한되어 가연성 가스의 최소 점화에너지보다 작아지기 때문인 것으로 사료된다.
- 3) 또한, 동관의 길이가 길어질수록 침상전극의 정전용량이 커지기 때문에 어느 한계 이상이 되면 가연성 가스에 점화가 일어날 수 있을 것으로 생각되어 지지만, 동관의 길이가 20[mm] 이하인 경우에는 동관의 길이가 가스의 점화 유무에는 영향을 미치지 못한다는 것을 알 수 있었다.

이상과 같이 본 연구를 통하여 나타난 결과를 이용하여 최적의 제전효율과 안전성을 가진 방폭형 전압인가식 제전기 개발에 필요한 자료를 제시함으로써 산업현장에서 발생하는 가연성 가스에 의한 폭발사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 최상원, 김태수, "교류전압 인가식 제전기의 방폭화 기술 및 평가 방법", 한국산업안전학회 추계 학술 발표회 논문집, PP 136~141, (2003)

전압인가식 제전기의 방폭화에 관한 연구

- [2] 이동훈, 정용철, “전압인가식 제전기의 특성에 관한 연구”, 한국산업안전학회지, Vol.10 No.2, PP 77~84, (1995)
- [3] 이춘하 외 6명, “방폭 시험평가 방안에 관한 연구”, 한국기계연구소, PP 45~51,(1990)
- [4] KS C IEC 60079-11, “방폭 전기 기계·기구 - 제 11부 : 본질 안전 방폭 구조”, (2001)
- [5] 이춘하, “본질안전 방폭 전기회로의 접화 한계에 관한 연구”, 영남대학교 박사학위 논문 PP 27~30, (1995)
- [6] 이춘하, 윤계원, “가연성가스의 폭발방지를 위한 전압인가식 제전기의 성능 특성에 관한 연구”, 한국화재·소방학회 추계 학술논문발표회 논문집, PP 254~261, (2003)