

가연성가스의 폭발방지를 위한 전압인가식 제전기의 성능 특성에 관한 연구

윤계원, 이춘하*

한국소방검정공사, 호서대학교 환경안전공학부*

A Study of Performance Characteristic of the Electric Discharge on Voltage Application Type by the Inflammable Gas Explosion Triggered

Kea-Won Yun, Chun-Ha Lee*

*Korea Fire Equipment Inspection Corporation, Environmental Safety Engineering to Hoseo University**

1. 서론

산업의 발달과 함께 석유화학 플랜트의 급격한 성장과 LNG·LPG의 사용증가, 필름 생산공장 및 반도체 공장 등에서 각종 가연성 가스가 사용되고 있는 등 사회 일상 생활주변에 각종 인화성 액체나 폭발성 가스를 취급하는 기회가 많아졌으며, 이로 인한 폭발 및 화재사고도 빈번하게 발생하므로써 대규모의 재산 및 인명의 손실을 일으키고 있다. 더욱이 가연성 가스나 액체의 폭발 및 화재사고는 타 재해에 비하여 피해규모가 15~30배 이상으로 크기 때문에 경제적, 사회적으로 이에 대한 폭발방지를 위한 기술개발과 노력이 필요하다.

또한, 정전기 방전에 의하여는 주위의 가연성 가스에 폭발을 일으킬 수 있는 가스관련 시설, 석유화학공장, 화약공장, 필름생산공장, 반도체공장 등과 같은 가연성 가스를 주로 취급하는 장소에서는 정전기를 제거하기 위해 제전기를 사용하고 있으며, 제전기의 종류는 전압인가식 제전기, 자기방전식 제전기, 방사선식 제전기 등이 있다. 이 중에서 전압인가식 제전기의 이온발생 Bar에서 발생하는 방전현상에 의해 가연성 가스의 폭발을 초래할 수 있으므로 이를 방지하기 위해 방폭형 제전기를 개발사용 하여야 한다.

따라서, 본 연구는 전압인가식 제전기의 Bar에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발현상을 시험을 통하여 연구하고자 하며, 시험에서는 수소, 에틸렌, 프로판, 메탄가스를 대상으로 하여 제전기의 이온발생 Bar의 길이, 이온발생 전극의 수 및 이온발생 전극에 가하여지는 전압의 변화에 따른 점화현상을 고찰하므로써 방폭형 전압인가식 제전기의 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

제전기의 종류는 제전에 필요한 이온의 생성방법에 따라 전압인가식 제전기, 자기방전식 제전기, 방사전식 제전기의 3종류로 크게 나뉘어 진다. 또한, 각종 제전기가 가지는 각각의 특징을 나타내면 표 1과 같다.

표 1. 제전기의 종류에 따른 특성 비교

항목별 비교	제전기의 종류	전압인가식 제전기	자기방전식 제전기	방사전식 제전기
제 전 능 력		높음	중간	낮음
구 조		복잡	단순	단순
가 공		복잡	단순	복잡
적 용 범 위		높음	낮음	낮음
기 계 종 류		많음	적음	적음

2.1 전압인가식 제전기

전압인가식 제전기는 금속 침이나 가는 선 등을 전극으로 하는 이온발생 전극에 고전압을 인가하므로써, 전극의 선단에 코로나(Corona)방전을 일으켜 정전기의 제전에 필요한 (+)이온과, (-)이온을 발생시켜주는 구조로서 코로나(Corona)방전식 제전기라고도 부른다. 이는 고전압의 전기 에너지에 의해 제전에 필요한 이온을 만들어 주는 것으로서 고전압이 인가되어 이온을 만드는 이온발생 전극과 고압전원 및 그 두 가지를 전기적으로 접속하는 고압전선의 세 부분으로 구성되어 있다.

한편 전압인가식 제전기는 이온발생 전극의 형상, 구조 등에 따라 그 기종이 다양하므로 대전물체, 사용목적 등에 따라 적절한 것을 선택할 수 있다.

일반적으로 다른 제전기에 비해 제전능력이 크므로 단시간에 제전 할 수 있으며 이동하는 대전물체의 제전에 유효하다. 즉, 대전전하량, 발생전하량이 큰 대전물체의 제전에 유효하다. 하지만 설치 및 취급이 다른 제전기에 비해 복잡하다.

2.2 자기방전식 제전기

자기방전식 제전기는 접지 된 도전성의 침상이나 가는 줄의 전극에 제전 하고자 하는 물체에 발생한 정전계를 모으며, 이 정전계에 의해 제전에 필요한 이온을 만드는 제전기로써, 전원을 사용하지 않으며, 간단한 구조의 이온발생 전극만으로 구성되어 있으므로 설치가 용이하고 협소한 공간에서도 설치가 가능하다. 또한 전압인가식 제전기처럼 전극에서 발생하는 방전으로 인하여 주위의 가연성 가스에 착화원이 되는 경우가 적어서 안전성이 높고 제전 하고자 하는 대전물체의 정전기 에너지를 이용하여 제전에 필요한 이온을 만들어내는 제전기이다.

하지만 자기방전식 제전기는 제전기의 설치방법에 따라 제전효율이 크게 변화하므로

설치하는 데에는 세심한 주의가 필요하며, 제전능력은 피 제전물체의 대전전위에 크게 영향을 받으므로 만일 대전전위가 낮으면 제전을 할 수가 없다.

2.3 방사선식 제전기

방사선식 제전기는 방사선동위원소의 전리작용에 의해 제전에 필요한 이온을 만들어내는 제전기로서 착화원으로 될 위험이 적은 제전기이지만 방사선동위원소를 내장하고 있기 때문에 취급하는데 있어서 충분한 주의를 요하며 대전물체(피 제전물체)가 방사선의 영향을 받아 변화할 위험이 있으며, 작업자에 대해서 방사선상의 상해를 일으킬 수가 있으므로 이점에 유의하여야 한다. 또한 제전능력이 작기 때문에 제전 시간을 요하며, 이동하는 대전물체의 제전에는 적합하지 않다.

3. 시험장치 및 방법

3.1 시험장치

3.1.1 전압인가식 제전기

전압인가식 제전기의 방전침과 접지극 사이에서 발생되는 방전에 의하여 가연성 가스가 점화되는지를 알아보고자 시험을 하기 위하여 사용된 전압인가식 제전기의 구성도는 그림 1과 같으며, 그림 2는 전압인가식 제전기의 이온발생 Bar이며, 그림 3은 전압인가식 제전기의 이온발생 Bar의 도면이고, 표 2는 이온발생 Bar의 규격을 나타낸다.

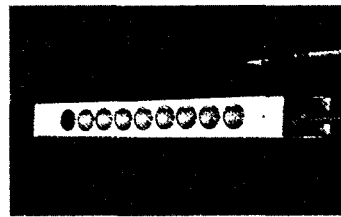
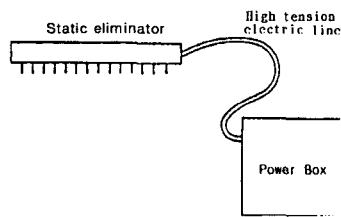


그림 1. 전압인가식 제전기의 구성도

그림 2. 이온발생 Bar

표 2. 이온발생 Bar의 규격

세로	36 mm
가로	35 mm
길이	600 mm, 900 mm, 1,200 mm

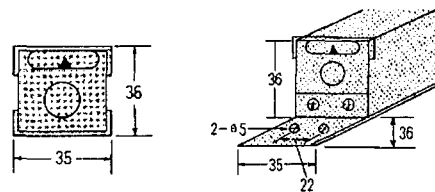


그림 3. 이온발생 Bar의 도면

또한 표 3은 Power Box의 정격이며, 그림 4는 Power Box의 도면을 나타낸다.

표 3. Power Box의 정격

규격 \ 전압	6 kV	7 kV
입 력	220 V AC	220 V AC
전 력	35 W	35 W

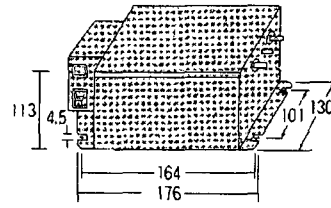


그림 4. Power Box의 도면

3.1.2 폭발 Chamber

표 4는 Chamber의 사양이며, 그림 5는 폭발 Chamber로서 전압인가식 제전기의 이온발생 Bar에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발시험을 행하기 위한 것으로, 그림 6은 폭발 Chamber의 시험장치의 구성도이다.

표 4. Chamber 사양

체 적	20 ℓ
지 림	147 mm
길 이	1,350 mm

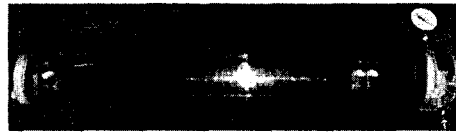


그림 5. 폭발 Chamber

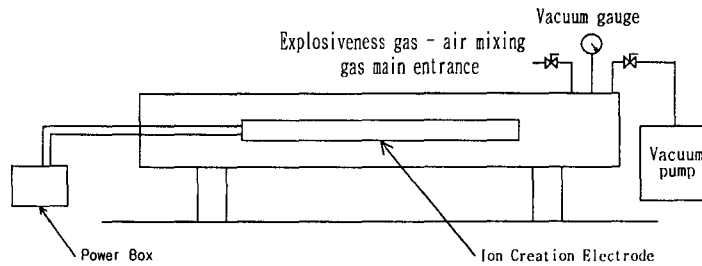


그림 6. 시험장치의 구성도

3.2 시험방법

시험을 하기 위하여 사용된 가스는 IEC (International Electrotechnical Commission) Publication 79에서 방폭전기기를 시험할 때 기기의 등급에 따른 대표적인 시험가스의 농도를 기준으로 하였으며 시험에 사용된 각 가스별 공기혼합 농도는 다음과 같다.

- 수소-공기 혼합가스 21.00 [Vol%]
- 에틸렌-공기 혼합가스 7.80 [Vol%]
- 프로판-공기 혼합가스 5.25 [Vol%]
- 메탄-공기 혼합가스 8.30 [Vol%]

전압인가식 제전기의 이온 Bar에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발유무를

확인하기 위한 시험 순서는 다음과 같다.

그림 6과 같이 폭발 Chamber내에 전압인가식 제전기의 이온발생 Bar를 설치하고, 진공 펌프를 이용하여 Chamber안을 진공하고 시험하고자 하는 가연성 혼합가스를 주입한다. 제전기의 고압전원을 ON하여 이온 Bar에 전원을 공급하고, 5분 동안 동작시켜 전압인가식 제전기의 Bar에서 발생하는 방전에 의하여 가연성 가스의 폭발 유무를 확인한다.

이때, 정격전압에서 Bar의 길이에 따른 점화 현상을 알아보기 위하여 길이를 600 mm, 900 mm, 1,200 mm을 바꾸어서 각각 시험을 하였으며, 동관의 길이와 동관에 설치되는 전극의 수에 따른 점화현상을 알아보기 위하여 동관의 길이 75 mm에 전극의 수를 3개, 50 mm에 2개, 25 mm에 1개의 전극을 각각 설치한 경우의 시험을 행하고, 또한 이온 Bar가 인가되는 전압을 정격전압의 1.5배의 안전율을 고려하여 $6\text{ kV} \times 1.5 = 9\text{ kV}$, $7\text{ kV} \times 1.5 = 10.5\text{ kV}$ 의 전압을 안가 하여 상기와 같은 동일 조건으로 점화현상을 시험하였다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 이온발생 Bar에 정격전압을 인가하였을 경우

4.1.1 시험결과

표 5-7은 Bar의 길이가 600 mm, 900 mm, 1,200 mm일 때 동관의 길이가 75 mm인 전극이고 전극의 수는 3개, 50 mm일 때 2개, 25 mm일 때 1개인 경우의 각각의 가스에 점화유무를 시험결과를 나타낸 것이다.

표 5. 가연성가스에 따른 폭발 유무 (Bar의 길이 600 mm)
(○ : 폭발, × : 비폭발)

가스 종류	구분 혼합 농도 [Vol%]	6 kV			7 kV		
		전극 1	전극 2	전극 3	전극 1	전극 2	전극 3
수 소	21.00	×	×	×	×	×	○
에틸렌	7.80	×	×	×	×	×	×
프로판	5.25	×	×	×	×	×	×
메 탄	8.30	×	×	×	×	×	×

표 6. 가연성가스에 따른 폭발 유무 (Bar의 길이 900 mm)
(○ : 폭발, × : 비폭발)

가스 종류	구분 혼합 농도 [Vol%]	6 kV			7 kV		
		전극 1	전극 2	전극 3	전극 1	전극 2	전극 3
수 소	21.00	×	×	×	×	×	×
에틸렌	7.80	×	×	×	×	×	×
프로판	5.25	×	×	×	×	×	×
메 탄	8.30	×	×	×	×	×	×

표 7. 가연성가스에 따른 폭발 유무 (Bar의 길이 1,200 mm)
(○ : 폭발, × : 비폭발)

가스 종류	구분	혼합 농도 [Vol%]	6 kV			7 kV		
			전극 1	전극 2	전극 3	전극 1	전극 2	전극 3
수 소		21.00	×	×	×	×	×	×
에틸렌		7.80	×	×	×	×	×	×
프로판		5.25	×	×	×	×	×	×
메 탄		8.30	×	×	×	×	×	×

4.1.2 고찰

- 표 5에서 알 수 있듯이 600 mm Bar에서 7 kV는 전극의 수가 3개인 경우에 수소가스에서 폭발이 일어나는 것을 볼 수 있다.
- 표 6, 7에서는 900 mm, 1,200 mm Bar에서 모든 경우에 폭발이 일어나지 않는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과에서 보면 Bar의 길이가 길수록 가연성가스에 의한 폭발이 일어날 수 없음을 알 수 있다. 그 원인은 제전기전원의 정격용량이 35 W로 일정하므로 인하여 Bar의 길이가 길어지면서 개개의 방전침과 접지전극사이에 축적되어지는 정전용량이 감소하기 때문인 것으로 생각된다.

또한, 동관의 길이가 75 mm이고 전극의 수가 3개인 경우 폭발이 일어난 것은 전극의 수가 많을수록 동관의 길이가 길어지면서 전극과 접지전극 사이의 정전용량이 커지게 되며, 전극사이의 절연파괴현상이 일어난다. 이때 각각의 전극에서 방전이 일어나면서 방전에너지가 분산되어 절연파괴가 가장 일어나기 쉬운 조건에 있는 1개의 전극에서 방전이 일어나므로 인하여 방전에너지가 1개의 전극에 집중되는 것으로 생각된다.

4.2 이온 발생 Bar에 안전율 1.5를 고려하여 정격전압 6 kV, 7 kV를 각각 9 kV, 10.5 kV로 인가하였을 경우

4.2.1 시험결과

표 8~10은 안전율을 고려하였으며, Bar의 길이가 600 mm, 900 mm, 1,200 mm일 때 동관의 길이가 75 mm인 전극이고 전극의 수는 3개, 50 mm일 때 2개, 25 mm일 때 1개인 경우의 각각의 가스에 점화유무를 시험결과를 나타낸 것이다.

표 8. 가연성가스에 따른 폭발 유무 (Bar의 길이 600 mm)
(○ : 폭발, × : 비폭발)

가스 종류	구분	혼합 농도 [Vol%]	9 kV (6 kV×1.5)			10.5 kV (7 kV×1.5)		
			전극 1	전극 2	전극 3	전극 1	전극 2	전극 3
수 소		21.00	○	○	○	○	○	○
에틸렌		7.80	×	○	○	○	○	○
프로판		5.25	×	○	○	○	○	○
메 탄		8.30	×	○	○	○	○	○

표 9. 가연성가스에 따른 폭발 유무 (Bar의 길이 900 mm)
(○ : 폭발, × : 비폭발)

가스 종류	구분	혼합 농도 [Vol%]	9 kV (6 kV×1.5)			10.5 kV (7 kV×1.5)		
			전극 1	전극 2	전극 3	전극 1	전극 2	전극 3
수 소		21.00	×	○	○	○	○	○
에틸렌		7.80	×	○	○	○	○	○
프로판		5.25	×	×	○	×	○	○
메 탄		8.30	×	×	○	×	○	○

표 10. 가연성가스에 따른 폭발 유무 (Bar의 길이 1,200 mm)
(○ : 폭발, × : 비폭발)

가스 종류	구분	혼합 농도 [Vol%]	9 kV (6 kV×1.5)			10.5 kV (7 kV×1.5)		
			전극 1	전극 2	전극 3	전극 1	전극 2	전극 3
수 소		21.00	×	○	○	○	○	○
에틸렌		7.80	×	×	○	×	○	○
프로판		5.25	×	×	○	×	○	○
메 탄		8.30	×	×	○	×	○	○

4.2.2 고찰

- 표 8에서 알 수 있듯이 600 mm Bar에서 안전율을 고려한 9 kV는 전극의 수가 1개인 경우에 수소가스에서 폭발이 일어나는 것을 볼 수 있다.
- 표 9, 10에서는 900 mm, 1,200 mm Bar에서 안전율을 고려한 9 kV는 전극의 수가 1개인 경우 모두 폭발이 일어나지 않는 것을 알 수 있었다.
- 표 8~10에서는 600 mm~1,200 mm Bar에서 보는 것과 같이 안전율을 고려한 전극의 수가 3개인 경우 모두 폭발이 일어나는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과는 Bar의 길이에서 전극의 수에 따른 폭발은 정격전압을 가한 경우와 같은 현상을 나타내고 있음을 명확히 알 수 있으며, 시험에 사용된 가연성 가스의 최소 점화에너지는 메탄, 프로판, 에틸렌, 수소가스의 순으로 적어지는 것으로 방전시의 방전에너지가 일정하므로 최소 점화에너지가 적은 가스일수록 점화가 쉽게 일어나고 있음을 알 수 있었다.

그리고, 시험에서 사용된 제전기를 방폭구조로 제작할 경우에는 정격전압에 안전율을 고려한 폭발결과를 적용하여 폭발성가스가 사용되어지는 각각의 장소에 적합한 방폭 등급의 제전기를 개발하여 사용할 수 있을 것으로 생각되어지고, 일반적으로 정격 6 kV인 경우 Bar의 길이를 900 mm이상으로 하고 전극의 수를 1개로 하면 모든 방폭 등급에 적합하게 개발되어질 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결론

전압인가식 제전기의 이온 발생 Bar에서 일어나는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발현

상을 시험을 통하여 고찰하면, 다음과 같은 결론을 얻었다.

Bar의 길이가 짧을수록 폭발의 위험은 커지고 길이가 길수록 폭발이 일어나지 않음을 알 수 있다. Bar의 길이가 길어지면 방전에너지가 적어지는 현상으로 기인한다는 것을 알 수 있었다.

동관의 길이가 75 mm이고 전극의 수가 3개인 경우 폭발이 일어난 것은 전극의 수가 많을수록 동관의 길이가 길어지면서 전극과 접지전극 사이의 정전용량이 커지게 되다. 이때 각각의 전극에서 방전이 일어나면서 방전에너지가 분산되어 절연과피가 가장 일어나기 쉬운 조건에 있는 1개의 전극에서 방전이 일어나므로 인하여 방전에너지가 1개의 전극에 집중되는 것으로 생각된다.

시험에 사용된 가연성 가스의 최소 점화에너지는 메탄, 프로판, 에틸렌, 수소가스의 순으로 적어지는 것으로 방전시의 방전에너지가 일정하므로 최소 점화에너지가 적은 가스일수록 점화가 쉽게 일어나고 있음을 알 수 있다.

900 mm이상의 Bar에서 전극의 수가 1개인 경우에 모든 방폭 등급에 적합하게 개발되어질 수 있을 것으로 생각된다.

이상과 같이 본 연구를 통하여 나타난 결과를 이용하여 방폭형 전압인가식 제전기의 개발에 필요한 기초자료를 제시하고 산업현장에서 일어날 수 있는 폭발사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김영대, 정용준, 가스폭발예방기술, 세화출판사, 1985.
2. 이덕출, 정재희 공역, 산업전반에 걸친 정전기재해와 장애방지, 성안당, 1996.
3. 정전기재해 방지대책 연구 보고서, 국립노동과학연구소, 1985.
4. 정전기재해 방지대책 연구 보고서, 국립노동과학연구소, 1986.
5. 이춘하, 본질안전 방폭 전기회로의 점화한계에 관한 연구, 영남대학교 박사학위 논문, 1995.
6. 김홍외 3인, 방화공학, 동아기술, 1993.
7. Osamu Fujiwara, Measurement of Electrical Properties of Determining Charged Human Body Potential, 1997.
8. Loveland R.J, Electrostatic Initiation Hazards in Industry, Journal of Electrostatics, 1981.