한국화재소방학회 논문지, 제18권 제4호, 2004년
[논 문]

T. of Korean Institute of Fire Sci. & Eng.
Vol. 18, No. 4, 2004

전압인가식 제전기의 방전에 의한 가연성가스의 폭발에 관한 연구

A Study on the Inflammable Gas Explosion Triggered by the Electric Discharge Static Eliminator on Voltage Application Type

이춘하*† · 옥경재 · 김점호 · 권병덕 · 차하나 · 윤계원

Chun Ha Lee*† · Kyoung Jea Ok · Jum-Ho Kim · Byung-Duck Kwon · Ha-Na Cha · Kea Won Yun

*호서대학교 환경안전공학부, 호서대학교 대학원
(2004. 7. 23. 접수/2004. 10. 4. 채택)

요 약

정전기 방전에 의하여 주위의 가연성 가스에 폭발을 일으킬 수 있는 가스관련시설, 석유화학공장, 화약공장, 필름생산공장, 반도체 공장 등과 같은 가연성 가스를 주로 취급하는 장소에서는 정전기를 제거하기 위해 제전기를 사용하고 있다. 본 연구에서는 이들 장소에서 주로 사용되고 있는 전압인가식제전기(static eliminator)의 Bar에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발현상을 고찰하였다. 가연성 가스는 수소, 에틸렌, 프로판, 메탄 가스 등을 사용하였으며, 제전기의 이온발생 Bar의 길이, 이온발생 전극의 수 및 이온발생 전극에 인가되는 전압의 변화에 따른 점화 현상을 연구하였다. 연구결과 Bar의 길이가 짧을수록 폭발의 위험성이 증가됨을 확인할 수 있었으며 또한 900 mm 이상의 Bar에서 전극의 수가 1개인 경우 일반적으로 사용하는 가연성 가스에서는 점화가 되지 않음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The static eliminator is used for prevention of disasters by static discharge, improvement of production efficiency, protection of a sensitive electronic element on the discharge of static, and it is handled for elimination of static in the painting plant, the film manufacturing plant, the producing semi-conductor factory. This study described on the explosion appearance by discharge phenomena on the voltage input type eliminator's ion generation bar of inflammable gas through an experimental tests. It was used Hydrogen, Ethylene, Propane, Methane gas with the inflammable gas and it was studied on the ignition phenomena by the length of ion-generation static bar, the number of ion-generation electrode and the variation of input voltage to the ion-generation electrode. As a result of this study it was confirmed that the shorter of the bar's length, the greater of explosion danger. And it is considered that there will not ignite at general using inflammable gas, in case of more than 900 mm bar and one electrode.

Keywords : Static eliminator, Discharge, Explosion, Triggered

1. 서 론

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 발생함으로써 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.

폭발사고의 원인은 매우 다양하지만 이 가운데 가장 중요한 전기적인 요인을 살펴보면, 정전기 방전으로 인한 것과 현장에 많이 설치되어 있는 전기기기나 배선 등에서 발생하는 불꽃, 아크 및 과열 등이 있다. 따라

† E-mail: leecha@office.hoseo.ac.kr

서 전기기기로 인한 폭발사고를 방지하기 위하여 방폭형 전기기기의 사용이 필수적이다.[1,2]

또한, 정전기 방전에 의하여는 주위의 가연성 가스에 폭발을 일으킬 수 있는 가스관련시설, 석유화학공장, 화약공장, 필름생산공장, 반도체 공장 등이 있다. 이와 같은 가연성 가스를 주로 취급하는 장소에서는 정전기를 제거하기 위해 제전기를 사용하고 있으며, 제전기의 종류에는 전압인가식 제전기, 자기방전식 제전기, 방사선식 제전기 등이 있다.[3] 이중 전압인가식 제전기의 이온발생 Bar에서 발생하는 방전현상에 의해 가연성 가스의 폭발을 초래할 수 있으므로 가연성 가스가 존재하거나 존재 할 가능성이 있는 위험장소에서는 사용에 주의를 요하며, 이러한 폭발사고를 방지하기 위하여는 방폭형 제전기를 사용하여야 한다.

따라서, 본 연구에서는 전압인가식 제전기의 Bar에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발현상을 연구하고자 한다. 가연성 가스는 수소, 에틸렌, 프로판, 메탄가스를 대상으로 하였으며, 제전기의 이온발생 Bar의 길이, 이온발생 전극의 수 및 이온발생 전극에 가하여지는 전압의 변화에 따른 점화현상을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

2.1.1 전압 인가식 제전기[4,5]

본 실험에 사용된 전압 인가식 제전기는 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 일반형 제전기로서 대부분이 교류·용량결합형 제전기이며, 이온발생 전극은 침상전극을 직선으로 배열한 봉의 형태로 된 것이다. 그 구성은 Fig. 1과 같이 이온 발생 Bar와 고압용 전원장치, 이를 연결시켜주는 고압전선으로 구성되어 있다. Fig. 2는 전압 인가식 제전기의 이온발생 Bar의 상세한 구조를 나타낸 것으로 중앙에 있는 동관의 구조는 길이가 각각 25 mm, 50 mm, 75 mm이며, 25 mm마다 한 개의 침상 전극이 설치되어 있다. 이온발생 Bar의 규격은 Table 1에서와 같이 가로 35 mm, 높이 36 mm로 구성

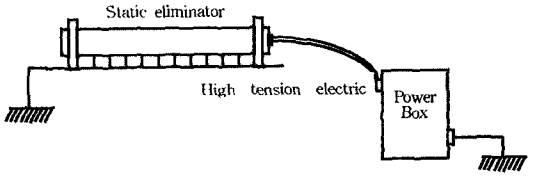

Fig. 1. Schematic diagram of voltage application type static eliminator.

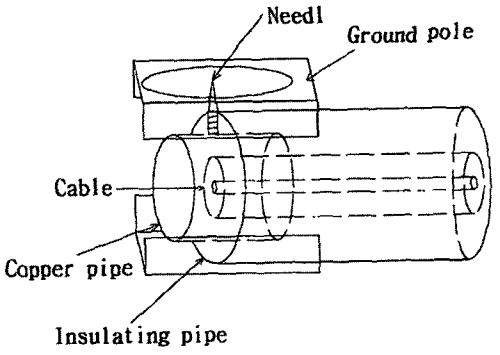

Fig. 2. Detailed structure of voltage application type static eliminator.

Table 1. Ion occurrence bar's standard

Form	Size
Height	36 mm
Street	35 mm
Length	600 mm, 900 mm, 1,200 mm

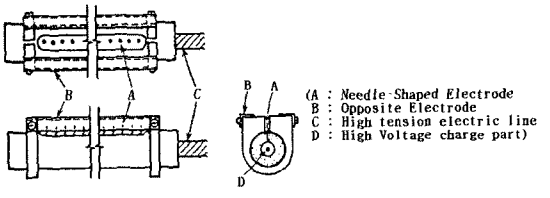

Fig. 3. Static electrode structure of voltage application type static eliminator.

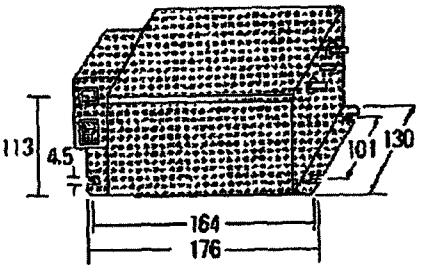

Fig. 4. Drawing power box.

되어 있다. Fig. 3은 이온 발생 Bar에 있는 전극을 나타낸 것으로 A는 침상전극으로 Power box에서 인가되는 고전압이 High tension electric line C를 통하여 침상전극에 인가되며, 대향전극(Opposite electrode) B는 이온 발생 Bar의 접지단자에 접지되어 있다.

Fig. 4는 이온 Bar에 고압전원을 공급하여 주는 고압용 전원장치의 도면을 나타낸 것으로 고압용 전원장

Table 2. Rate of power box

Standard \ Voltage	6 kV	7 kV
INPUT	220V AC	220V AC
WATTS	35W	35W

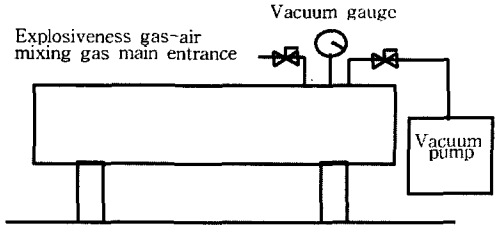

Fig. 5. Drawing of testing device.

Table 3. Standard of Chamber

Form	Size
Capacity	20 *l*
Diameter	147 mm
Length	1,350 mm

치의 종류는 교류전압 6 kV와 7 kV를 사용하였으며 정격은 Table 2와 같다.

이와 같이 전압인가식 제전기는 고압용 전원장치에 의하여 고전압이 인가되고, 그 고전압의 에너지에 의해 제전에 필요한 이온이 생성된다. 즉 고전압이 인가되어 침상전극과 접지전극 사이에서 코로나(Corona) 방전이 발생하고 방전에 의해 제전에 필요한 이온이 생성되는 것이다.

2.1.2 폭발 챔버(Chamber)

Fig. 5는 폭발 챔버의 구성도로서 전압인가식 제전기의 이온발생 Bar에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 점화실험을 행하기 위한 것으로, Table 3은 챔버의 사양을 나타낸 것이다.

2.2 실험방법

실험을 하기 위하여 사용된 가스는 KS C IEC Publication 60079-11[6]에서 방폭전기기기를 실험하는 경우의 기기등급에 따른 대표적인 실험가스의 농도를 기준으로 하였으며 실험에 사용된 각 가스별 공기혼합농도는 Table 4와 같다.

전압인가식 제전기의 이온 Bar에서 발생하는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발 유무를 확인하기 위한 시험순서는 다음과 같다.

Table 4. Ingredient of gas

Gas	Ingredient
Hydrogen - air mixed gas	21 Vol%
Ethylene - air mixed gas	7.8 Vol%
Propane - air mixed gas	5.25 Vol%
Methane - air mixed gas	8.3 Vol%

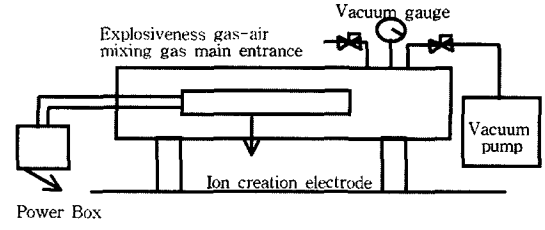

Fig. 6. Experimental setup.

Fig. 6과 같이 폭발 Chamber내에 전압인가식 제전기의 이온발생 Bar를 설치하고, 진공펌프를 이용하여 Chamber안을 진공 상태로 만든 후 실험하고자 하는 가연성 혼합가스를 주입한다. 제전기의 고압전원을 인가하여 이온 Bar에 전원을 공급하고 5분 동안 동작시켜 전압인가식 제전기의 Bar에서 발생하는 방전에 의하여 가연성 가스의 폭발 유무를 확인하였다.

이때, 정격전압에서 Bar의 길이에 따른 점화 현상을 확인하기 위하여 길이를 600 mm, 900 mm, 1,200 mm로 하여 각각 실험을 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 설치하여 실험을 하였다. 또한 이온 Bar에 인가되는 전압을 방폭전기기기의 설계 및 제작시 필수적으로 적용되는 정격전압의 1.5배의 안전율을 적용하여 6 kV×1.5 = 9 kV, 7 kV×1.5 = 10.5 kV의 전압을 인가하여 상기와 같은 동일 조건으로 점화현상을 시험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 이온발생 Bar에 정격전압을 인가한 경우

Table 5는 Bar의 길이가 600 mm의 경우 동관의 길이가 75 mm일 때 전극의 수가 3개, 50 mm일 때 2개, 25 mm일 때 1개인 경우의 각각에 대한 가스의 점화유무에 대한 실험결과를 나타낸 것으로 600 mm Bar에서 7 kV는 전극의 수가 3개인 경우에 수소가스에서 폭발이 일어나는 것을 볼 수 있었다.

Table 6은 Bar의 길이가 900 mm, Table 7은 Bar의

Table 5. Test result about lighting existence and nonexistence of flammable gas (Bar's length 600 mm)
(○: Explosion, ×: Nonexplosion)

Division / Gas kind	Mixture ratio Vol%	6 kV			7 kV		
		Electrode unit			Electrode unit		
		1	2	3	1	2	3
Hydrogen	21	×	×	×	×	×	○
Ethylen	7.8	×	×	×	×	×	×
Propane	5.25	×	×	×	×	×	×
Methane	8.3	×	×	×	×	×	×

Table 6. Test result about lighting existence and nonexistence of flammable gas (Bar's length 900 mm)
(○: Explosion, ×: Nonexplosion)

Division / Gas kind	Mixture ratio Vol%	6 kV			7 kV		
		Electrode unit			Electrode unit		
		1	2	3	1	2	3
Hydrogen	21	×	×	×	×	×	×
Ethylen	7.8	×	×	×	×	×	×
Propane	5.25	×	×	×	×	×	×
Methane	8.3	×	×	×	×	×	×

Table 7. Test result about lighting existence and nonex istence of flammable gas (Bar's length 1,200 mm)
(○: Explosion, ×: Nonexplosion)

Division / Gas kind	Mixture ratio Vol%	6 kV			7 kV		
		Electrode unit			Electrode unit		
		1	2	3	1	2	3
Hydrogen	21	×	×	×	×	×	×
Ethylen	7.8	×	×	×	×	×	×
Propane	5.25	×	×	×	×	×	×
Methane	8.3	×	×	×	×	×	×

길이가 1,200 mm일 때의 실험결과를 나타낸 것으로, 모든 경우에 폭발이 일어나지 않는 것을 확인할 수 있었다.

이상의 결과에서 Bar의 길이가 길수록 가연성 가스에 의한 폭발이 일어날 확률이 적어짐을 알 수 있었다. 이는 제전기 전원의 정격용량이 35 W로 일정한 가운데 Bar의 길이가 길어지면서 전극의 수가 많아짐으로 인하여 침상전극과 접지전극 사이에 축적되어지는 정전용량이 감소하기 때문인 것으로 생각된다.

또한, 동관의 길이가 75 mm이고 전극의 수가 3개인 경우 폭발이 일어난 것은 전극의 수가 많을수록 동관의 길이가 길어지면서 침상전극과 접지전극 사이의 정전용량이 커지게 되고 이 때, 3개의 전극에서 동시에 방전이 일어나지 않고, 3개의 전극 중 절연파괴가 가장 일어나기 쉬운 조건에 있는 1개의 전극에서만 방전이 발생함으로써 방전에너지가 1개의 전극에 집중되어 발생되는 방전에너지의 양이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

3.2 이온발생 Bar에 안전율 1.5배를 고려하여 전압을 인가한 경우

Table 8은 안전율을 고려하여 Bar의 길이가 600 mm의 경우 동관의 길이 75 mm일 때 전극의 수가 3개, 50 mm일 때 2개, 25 mm일 때 1개인 경우의 각각에 대한 가연성가스의 점화유무에 대한 실험결과를 나타낸 것으로 600 mm Bar에서 안전율을 고려한 9 kV는 전극의 수가 1개인 경우에 수소가스에서 점화가 발생하는 것을 볼 수 있었다.

Table 9는 Bar의 길이가 900 mm, Table 10은 Bar의 길이가 1,200 mm일 때의 실험결과를 나타낸 것으로

Table 8. Test result about lighting existence and nonexistence of flammable gas (Bar's length 600 mm)
(○: Explosion, ×: Nonexplosion)

Division / Gas kind	Mixture ratio Vol%	6 kV			7 kV		
		Electrode unit			Electrode unit		
		1	2	3	1	2	3
Hydrogen	21	○	○	○	○	○	○
Ethylen	7.8	×	○	○	○	○	○
Propane	5.25	×	○	○	○	○	○
Methane	8.3	×	○	○	○	○	○

Table 9. Test result about lighting existence and nonexistence of flammable gas (Bar's length 900 mm)
(○: Explosion, ×: Nonexplosion)

Division / Gas kind	Mixture ratio Vol%	6kV			7kV		
		Electrode unit			Electrode unit		
		1	2	3	1	2	3
Hydrogen	21	×	○	○	○	○	○
Ethylen	7.8	×	○	○	○	○	○
Propane	5.25	×	×	○	×	○	○
Methane	8.3	×	×	○	×	○	○

Table 10. Test result about lighting existence and nonexistence of flammable gas (Bar's length 1,200 mm)
(○: Explosion, ×: Nonexplosion)

Division / Gas kind	Mixture ratio Vol%	6 kV Electrode unit			7 kV Electrode unit		
		1	2	3	1	2	3
Hydrogen	21	×	○	○	○	○	○
Ethylen	7.8	×	×	○	×	○	○
Propane	5.25	×	×	○	×	○	○
Methane	8.3	×	×	○	×	○	○

900 mm, 1,200 mm Bar에서 안전율을 고려한 9 kV는 전극의 수가 1개인 경우 모두 폭발이 발생하지 않는 것을 알 수 있었고, Table 9~10에서 안전율을 고려한 전극의 수가 3개인 경우 모두 폭발이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

이상의 결과는 Bar의 길이에서 전극의 수에 따른 폭발은 정격전압을 가한 경우와 같은 현상을 나타내고 있음을 명확히 알 수 있었고, 실험에 사용된 가연성 가스의 최소점화에너지는 메탄, 프로판, 에틸렌, 수소가스의 순으로 적어지며, 또한, 방전시 방전에너지가 일정함으로 최소점화에너지가 적은 가스일수록 점화가 쉽게 일어나고 있음을 알 수 있었다.

그리고 실험에서 사용된 제전기를 방폭구조로 제작할 경우에는 정격 전압에 안전율을 고려한 폭발결과를 적용하여 폭발성 가스가 사용되어 지는 각각의 장소에 적합한 방폭 등급의 제전기를 개발하여 사용 할 수 있을 것으로 생각되어지며, 전압이 6 kV인 경우 Bar의 길이를 900 mm 이상으로 하고 전극의 수를 1개로 하면 일반적으로 사용되는 대부분의 가연성 가스에 폭발이 일어나지 않을 것으로 사료된다.

4. 결 론

전압인가식 제전기의 이온발생 Bar에서 일어나는 방전에 의한 가연성 가스의 폭발현상을 실험을 통하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Bar의 길이가 짧을수록 폭발의 위험은 커지고 길이가 길수록 점화가 일어나지 않음을 알 수 있었다. 이는 Bar의 길이가 길어지면 방전에너지가 적어지는 현상으로 기인한다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 제전기 전원의 정격용량이 35 W로 일정한 가운데 Bar의 길이가 길어지면서 전극의 수가 증가하여 개개의 침상전극과 접지전극 사이에 축적되어지는 정전용량이 감소하기 때문인 것으로 생각된다.

2. 안전율을 적용한 실험에서 동관의 길이가 75 mm 이고 전극의 수가 3개인 경우 폭발이 발생한 것은 전극의 수가 많을수록 동관의 길이가 길어지면서 전극과 접지전극 사이의 정전용량이 커지게 된다. 이 때, 동시에 3개의 전극에서 방전이 발생하지 않고 절연파괴가 가장 일어나기 쉬운 조건에 있는 1개의 전극에서 방전이 발생함으로써 방전에너지가 1개의 전극에 집중되어 발생되는 방전에너지가 커지기 때문인 것으로 사료된다.

3. 실험에 사용된 가연성 가스의 최소 점화에너지는 메탄, 프로판, 에틸렌, 수소가스의 순으로 적어지는 것으로 방전시의 방전에너지가 일정하므로 최소 점화에너지가 적은 가스일수록 폭발이 용이하게 일어나고 있음을 알 수 있었다.

4. 900 mm 이상의 Bar에서 전극의 수가 1개인 경우에 일상적으로 사용되어지는 대부분의 가연성 가스에 폭발이 일어나지 않음을 알 수 있었다.

향후 본 연구에서 제시한 결과는 방폭형전압인가식 제전기의 개발에 필요한 기초자료가 될 것으로 기대되며, 특히 산업현장의 폭발사고예방에 크게 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 호서대학교 학술연구 조성비에 의하여 연구 되었음.

참고문헌

1. 이춘하 외, "저항회로의 개폐불꽃에 의한 폭발성 가스의 점화한계에 관한 연구", KIGAS Vol, No. 1, December(1997).
2. 이춘하, "본질안전 방폭 전기회로의 점화 한계에 관한 연구", 박사학위논문, 영남대학교(1995).
3. 이덕출, 정재희 공역, 산업전반에 걸친 정전기재해와 장해방지, 성안당(1996).
4. 정전기재해 방지대책 연구 보고서, 국립 노동과학연구소(1986).
5. 교류전압 인가식 제전기 방폭화 기술 및 평가 방법, 한국산업안전학회 추계 학술 발표회 논문집, pp136-141 (2003).
6. KS C IEC 60079-11, "Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres-part 11 : General Requirements"(2001).