

# 가스 폭발사고 방지를 위한 방폭형 전기 기기

이 춘 하

## 1. 서론

국내에서는 가스가 사용기에 편리하고 깨끗한 잇점이 있어, 국민의 생활 수준 향상과 환경 보전을 위한 정부의 확대보급 정책 추진 및 상대적으로 저렴한 가격 체계 등이 복합적으로 상승 작용하여 가스 수요를 창출함으로써 LP가스는 85년 1,234천톤에서 96년 5,849천톤으로 4.5배 증가하였고, 도시가스는 85년 80백만 $m^3$ 에서 96년 6,521백만 $m^3$ 인 81.5배로 급격히 증가하였으며 앞으로도 더욱 증가할 전망이다.

따라서, 사회 일상 주변에 각종 인화성 액체 또는 폭발성 가스의 사용이 많아지고, 폭발 위험 물질의 취급이 점차 대규

모화, 다양화, 복잡화 되고 있다. 만일 이러한 위험물이 인화 폭발을 일으켰을 경우에 그 피해는 단순히 생산 시설, 기계설비 등의 파손에 따르는 경제적 손실 뿐 아니라 많은 인명 피해를 수반하게되어 중대한 사회 문제로 대두될 우려가 있다. 따라서, 우리나라 경제발전과 사회생활의 안정을 기하기 위하여 이러한 폭발 사고를 미연에 방지할 대책이 절실히 요구되고 있다.

폭발 사고의 원인은 여러 가지이지만 전기적 요인으로서는 현장에 많이 설치되어 있는 전기 기기나 배선 등에서 발생하는 불꽃, 아크 또는 과열 등이 있으며, 폭발성 가스가 존재하거나 존재할 수 있는 위험 장소에서 이러한 전기적 원인에 의한 폭발 사고를 방지하

기 위하여는 방폭형 전기 기기의 사용이 필수적이다.

현재 국제적으로 방폭형 전기 기기에 대한 기준은 크게 국제전기기술위원회 규격인 IEC(International Electrotechnical Commission)형과 미국의 UL(Underwriters Laboratories)형으로 나눌수 있다. 미국 UL형의 기준은 각 방폭 기기의 품목별로 시험 검사 기준을 정한 것이고, 미국과 북미를 제외한 많은 국가들은 방폭 구조별로 구분한 IEC규격을 따라가는 추세이다.

따라서, IEC를 중심으로 하여 폭발성 가스의 위험특성 측정 방법과 측정결과에 따른 위험성의 분류 및 이에 대응하는 방폭형 전기 기기에 대하여 기술하고자 한다.



이 춘 하

- 1953년생
- 영남대학교(공학박사)
- 호서대학교 안전공학부 교수

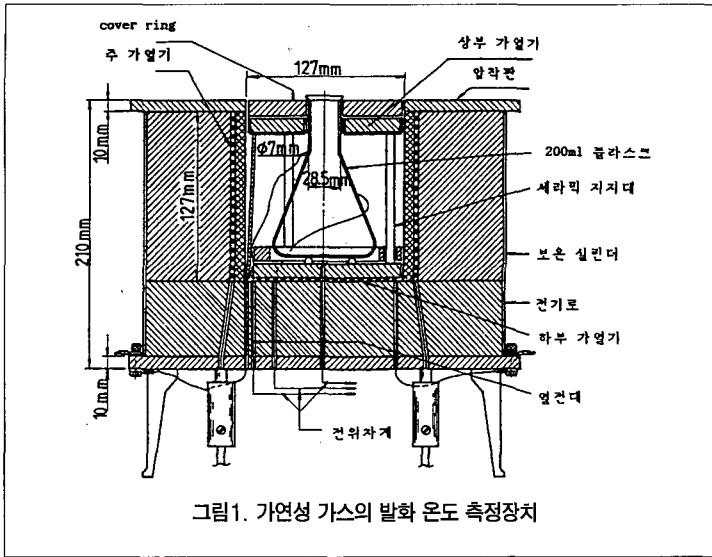


그림1. 가연성 가스의 발화 온도 측정장치

## 2. 폭발성 가스의 위험 특성

전기 기기가 사용되어지는 장소의 폭발 위험성은 그 장소에 있는 폭발성 가스의 종류에 따라 다르기 때문에 전기 기기의 방폭화를 위하여 가스의 위험도를 발화도 및 폭발 등급으로 분류하여 조치하여야 하며, 방폭형 전기 기기의 제조 또는 사용시에는 사전에 그 기기가 사용되어지는 장소의 폭발성 가스의 위험 특성을 충분히 알아서 적절한 방폭 등급의 방폭형 전기 기기를 선정 사용하여야 한다.

이러한 위험 특성은 방폭 구조에 관계되는 위험 특성과 폭발성 분위기의 생성조건에 관계되는 특성으로 구분하여 검토하여야 하며, 여기에서는 방폭 구조와 관계되는 위험 특성을 중심으로 기술한다.

## 2.1 방폭 구조에 관계 있는 위험 특성

### 2.1.1 발화 온도

발화 온도는 폭발성 가스와 공기와의 혼합 가스의 온도를 높일 경우에 연소 또는 폭발을 일으키는 최저 온도이며, 폭발성 가스가 존재하거나 존재할 우려가 있는 위험 장소에서 전기 기기를 사용할 경우에 그 가스의 발화 온도를 측정하여 가스의 발화도를 결정하고 이 발화도에 적합한 방폭형 전기 기기를 선택하는 등 일련의 폭발 방지 대책 및 방폭 기기의 시험을 위한 기본자료이다. 발화 온도 측정을 위한 실험 장치는 다음 그림 1과 같으며 이 장치는 가연성 가스의 발화 온도 측정을 위하여 IEC Publication 79-4에서 규정하고 있는 것으로서 내부

의 로(furnace)는 1200W의 전기 가열선을 내화성 실린더에 길이 방향으로 등갈게 그리고 균일하게 감았으며, 밑바닥은 300W의 열선을 부착하였고 3개의 열전대를 사용하여 필요한 시험 온도의  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 까지 조절할 수 있도록 하였다. 로의 외부는 석면이나 유리솜 등의 단열재를 충전시켜 외부와의 열전달을 막고 로의 내부가 균일하게 가열되도록 하였다. 로의 내부에는 200ml의 삼각 플라스크를 설치하였으며 시료 가스나 액체를 플라스크 내부에 주입하여 발화 여부를 측정하게 되는데 이 플라스크는 고온에 견딜 수 있는 Borosilicate 유리로 된 것으로 시료의 발화 온도가 이 플라스크의 융점을 넘거나 열에 의한 손상이 생길 경우는 석영이나 금속제 플라스크를 사용해도 된다. 실험 방법은 필요한 온도로 가열된 플라스크 내부에 일정량의 시료를 규정된 주사기나 피펫 등을 이용하여 분사시키고 점화될때까지 어두운 방에서 플라스크내의 내용물을 관찰하며 온도와 시료의 양을 변화시켜 가며 반복 실험한다. 실험은 공기중 대기압에서 실시하여 점화되었을 때의 최저 발화온도를 그 시료의 대기중 점화 온도로 간주하는데 점화는 확실하게 감지할 수 있는 불꽃이나 폭발등에 의하여 확인되며 시료가 분사된 시간부터 발화 순간까지의 시

표1. 발화도의 구분

Class	발화온도
T1	450°C 초과
T2	300°C 초과 450°C 이하
T3	200°C 초과 300°C 이하
T4	135°C 초과 200°C 이하
T5	100°C 초과 135°C 이하
T6	85°C 초과 100°C 이하

간을 점화 지연 시간이라 하는데 이 시간은 5분을 넘지 않아야 한다. 이러한 방법에 의하여 현재 사용되고 있는 많은 종류의 가연성 가스와 가연성 액체들의 발화 온도가 측정되었으며 발화온도에 따라 폭발위험성이 다르기 때문에 다음 표 1과 같이 발화 온도에 따라 발화도를 구분하여 방폭형 전기기기의 허용 표면 최고 온도에 대한 기준으로 삼고 있다.

2.1.2 화염 일주 한계

화염 일주 한계는 전기 기기 내부에 들어온 폭발성 가스의 폭발에 의한 화염이 접합면의 틈새를 통하여 외부 가스에

표2. 실험적 최대 Safe Gap(M.E.S.G.)

폭발성가스	연소가 가장 잘되는 농도(Vol%)	M.E.S.G.
Mathane CH <sub>4</sub>	8.2	1.14
Propane C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	4.2	0.92
Butane C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	3.2	0.98
Ethylene C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6.5	0.65
Acetylene C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	8.5	0.37
Hydrogen H <sub>2</sub>	27	0.29

표3. 틈새 크기와 폭발 등급

폭발등급	Ⅱ A	Ⅱ B	Ⅱ C
화염일주한계 (mm)	>0.9	≥0.5≤0.9	<0.5

점화되는 틈새 크기에 대한 한계를 나타내는 것으로서 내압 방폭형 전기 기기의 방폭 등급을 분류하는데 이용된다. 실험 방법은 IEC Publication 79-1A의 부록D에 있는 그림 2와 같은 표준 실험 용기를 사용하여 측정하는데 내부가 구형이고 용적이 8 l 이고 접합면의 길이는 25 mm로서 용기의 내부에 폭발이 가장 잘 되는 농도의 혼합 가스를 채우고 내부 용기에 전기적 불꽃을 이용하여 발화시키면 내부에

서 폭발이 일어나고 불꽃이 틈새를 통하여 외부의 가연성 혼합기체를 폭발시키게 된다. 이때 접합면의 틈새크기를 조절하여 내부의 폭발에 의한 불꽃이 외부로 전달되지 않는 최대 틈새 크기를 측정하는데 이것을 실험적 최대 Safe gap(M.E.S.G.)이라 하며 몇가지 중요한 가스에 대한 실험 결과는 표 2와 같으며, 화염 일주 한계에 따라 표 3과 같이 폭발등급의 기준을 정하여 내압 방폭형 전기기기에 대한 Group을 분류하는 기준으로 삼고 있다.

2.1.3. 최소 점화 전류 (Minimum Ignition Current)

최소 점화 전류는 폭발성 분위기가 전기 불꽃에 의해 폭발을 일으킬 수 있는 최소의 회로 전류로써, 이 값은 폭발성 가스의 종류에 따라 다르며 폭발성 가스의 분류와 본질안전 방폭 구조의 분류에 관계가 있다. 최소 점화 전류(M.I.C)의 측정은 IEC Publication 79-3에 규정된 그림 3과 같은

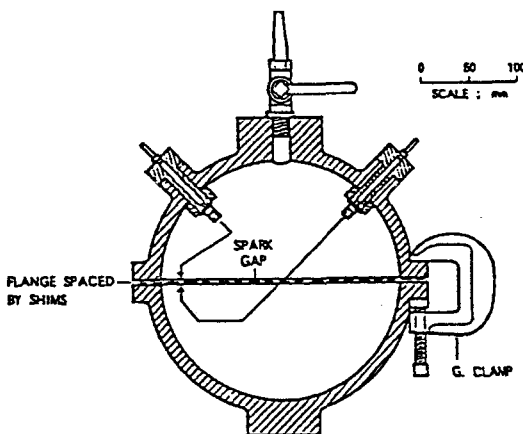


그림2. 화염일주한계 실험장치

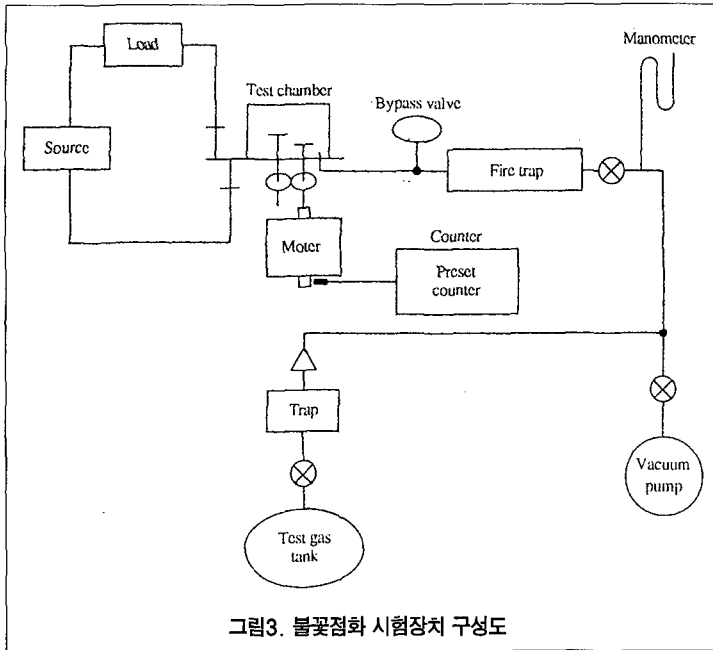


그림3. 불꽃점화 시험장치 구성도

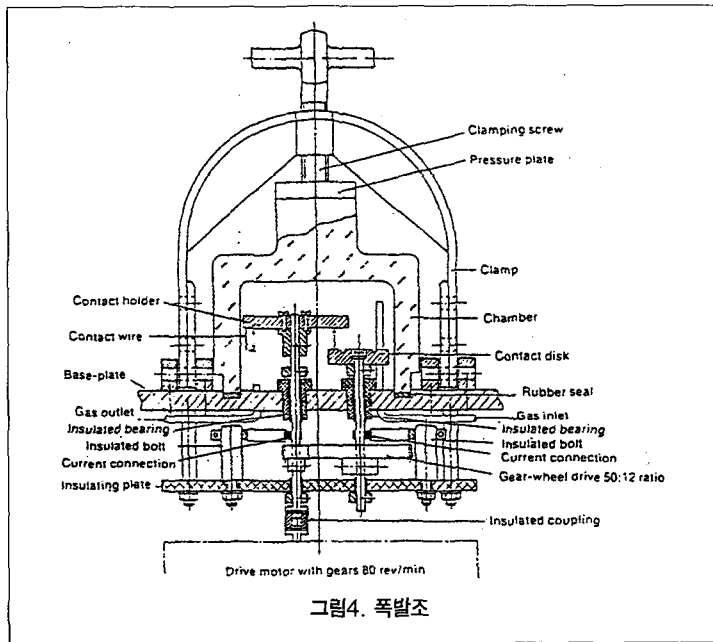


그림4. 폭발조

불꽃 점화 시험장치를 이용하고, 폭발조는 그림 4와 같이 내용적이 최소 250 cm<sup>3</sup>로서 플라스틱 뚜껑과 베이스 플레이트 및 기밀 유지를 위한 패킹 등으로 구성되어 있으며, 그 내부에 전극홀더와 카드뮴판이 들어 있는데 전극 홀더는 0.2 mm  $\phi$ 의 텅스텐선(W)을 지지하는 정사각형의 황동판 네 모퉁이에 각각 1가닥씩 총 4가닥이 직경 5mm의 원주상에 놓여지고, 카드뮴판은 직경 30mm의 원판으로 폭 2mm, 길이 2mm인 2줄의 평행한 홈이 파여져 있다. 전극 홀더와 카드뮴판 사이의 거리는 10 mm이며 텅스텐선의 길이는 11 mm이다. 전극 홀더와 카드뮴판을 작동하는 축은 장치 본체와 전기적으로 절연되어 있고 축 위의 미끄럼 접촉자를 통하여 전극홀더와 카드뮴판의 회전 축은 각각 80rpm과 19.2rpm (속도비 50 : 12)의 속도로 반대 방향으로 회전하며, 양 중심 축사이에 시험 회로를 접속하여 회전시키면 텅스텐선의 끝이 차례로 카드뮴판의 표면과 접촉하면서 불꽃이 발생되는데 폭발이 가장 잘되는 농도의 혼합 가스를 폭발조에 넣고 시험회로의 전류를 변화시켜 주면서 폭발성 가스에 점화되어지는 최소 점화 전류를 측정한다.

표4. 최소 점화 전류에 의한 폭발 등급의 분류

폭발성 가스의 분류	A	B	C
최소 점화 전류비	0.8 초과	0.45 이상 0.8 이하	0.45 초과
본질 안전 방폭 구조의 전기기기의 분류	ⅠA	ⅠB	ⅠC

다음 표 4는 메탄에 대한 최소 점화 전류와 대상으로 하는 폭발성 가스의 최소 점화

전류와의 비를 나타내는 최소 점화 전류비에 따라 폭발성 가스를 A, B, C로 분류하고, 이에 대한 본질 안전 방폭구조의 방폭 성능에 대한 대응 등급을 IEC의 기준에 따라 나타내고 있다.

## 2.2 폭발성 가스의 분류

앞에서 언급된 내용에 대한 결과를 가지고 사회 일상 주변에서 많이 이용되고 있는 몇 가지 중요한 가스에 대한 위험특성과 방폭형 전기 기기와의 대응 등급을 분류하면 표 5와 같다.

## 3. 방폭형 전기 기기

### 3.1 방폭 구조의 종류와 정의

폭발성 가스 또는 증기가 존재하는 장소에서 사용하는 전기 기기에서 발생할 수 있는 전기 불꽃, 아크 또는 고온에 의하여 폭발성 가스 및 증기가 폭발하는 것을 방지할 수 있는 구조 또는 폭발하였을 때 화염이 외부로 전파되지 않도록 특수하게 설계 제작된 기기를 방

표5. 폭발성 가스의 위험 특성 및 방폭형 전기 기기의 대응 등급 분류

폭발성 가스	발화점(°C)	폭발 한계(Vol)		방폭형 전기 기기의 대응 등급	
		하한	상한	발화도	폭발 등급
아세틸렌 C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	305	1.5	100	T2	IC
메탄 CH <sub>4</sub>	537	5.0	15	T1	IA
에틸렌 C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	425	2.7	34	T2	IB
수소 H <sub>2</sub>	560	4.0	75.6	T1	IC
부탄 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	365	1.5	8.5	T2	IA
프로판 C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	470	2.0	9.5	T1	IA

폭형 전기기이라 하며 각국에서 채용되고있는 대표적인 방폭 구조의 종류와 정의는 다음과 같다.

#### 3.1.1 내압(耐壓) 방폭구조

내압 방폭 구조란 전폐 구조로 용기내부에서 폭발성 가스 또는 증기가 폭발하였을 때 용기가 그 압력에 견디며 또한 접합면, 개구부 등을 통해서 외부의 폭발성 가스에 인화될 우려가 없도록 한 구조로서 그림 5와 같다.

#### 3.1.2 내부 압력 방폭 구조

내부 압력 방폭 구조란 용기 내부에 보호 기체(신선한 공기 또는 불활성 기체)를 압입하여 내부 압력을 유지함으로써 폭발성 가스 또는 증기가 침입하는 것을 방지하는 구조로서 그림 6과 같다.

### 3.1.3 유입 방폭 구조

유입 방폭 구조란, 전기 기기의 불꽃, 아크 또는 고온이 발생하는 부분을 기름속에 넣고, 기름면 위에 존재하는 폭발성 가스 또는 증기에 인화될 우려가 없도록 한 구조로서 그림 7과 같다.

### 3.1.4 안전 증가 방폭 구조

안전 증가 방폭 구조란 정상 운전 중에 폭발성 가스 또는 증기에 점화원이 될 전기 불꽃 아크 또는 고온이 되어서는 안될 부분에 이런 것의 발생을 방지하기 위하여 기계적, 전기적, 구조상 또는 온도 상승에 대해서 특히 안전도를 증가한 구조로서 그림 8과 같다.

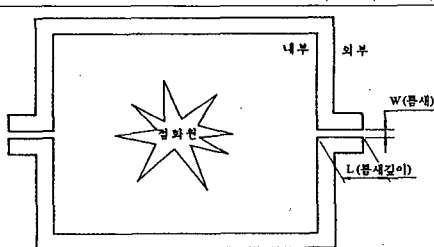


그림5. 내압방폭구조

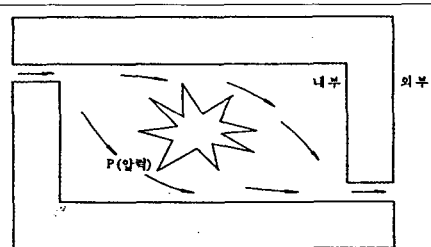
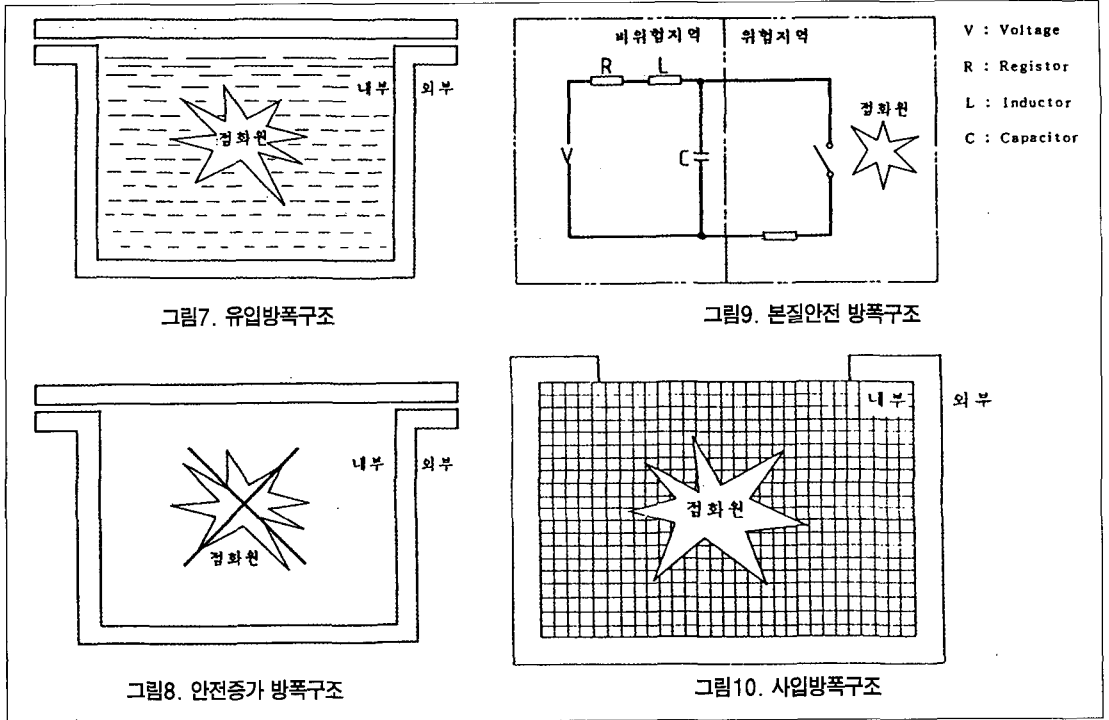


그림6. 내부압력방폭구조



### 3.1.5 본질 안전 방폭 구조

본질 안전 방폭 구조란 정상시 및 사고시(단선, 단락, 지락등)에 발생하는 전기불꽃, 아크 또는 고온에 의하여 폭발성 가스 또는 증기에 점화되지 않는 것이 점화 시험, 기타에 의하여 확인된 구조로서 그림 9와 같다.

### 3.1.6 특수 방폭 구조

앞에서 설명한 구조 이외의 방폭 구조로서 폭발성 가스 또는 증기에 점화 또는 위험 분위기로 인화를 방지할 수 있는 것이 시험, 기타에 의하여 확인된 구조를 말한다.

이들 방폭 구조로는 용기 내부에 모래 등의 입자를 채우

는 사입 방폭 구조, 또는 협극 방폭 구조 등이 있으며, 사입 방폭 구조는 그림 10과 같다.

### 3.2 방폭형 전기 기기의 분류

① 방폭형 전기 기기는 사용되어지는 장소에 따라 크게 광산용과 공장·사업장용으로 분류되어지며 광산용은 Group I, 공장·사업장용은 Group II로 표시한다. 또한, Group II는 방폭형 전기 기기의 폭발 등급에 따른 방폭 성능에 따라 Group II A, Group II B 및 Group II C로 분류된다.

② Group II의 방폭형 전기

기기는 최고 표면 온도에 따라 온도 등급이 T1, T2, T3, T4, T5 및 T6의 6등급으로 분류된다.

### 3.3 방폭형 전기 기기의 기호 및 의미

방폭형 전기 기기의 표시에 사용되는 각종 기호 및 그 의미는 다음 표 6과 같다.

### 3.4 방폭형 전기 기기의 표준적 환경 조건

방폭형 전기 기기를 설계하고 제조 또는 사용할 때 고려해야 할 표준 환경 조건은 주위 온도, 표고, 상대 습도 등이 아래의 범위 내에 있고 또한 방폭 전기 설비에 특별한

표6. 방폭형 전기 기기의 기호 및 의미

구분	기호	기호의 의미
방폭 구조	Ex	방폭 구조의 Symbol
방폭 구조의 종 류	d	압력 방폭 구조
	p	내부 압력 방폭 구조
	e	안전 증가 방폭 구조
	ia 또는 ib	본질 안전 방폭 구조
	o	유압 방폭 구조
	s	특수 방폭 구조
방폭 전기 기기의 그 룰	I	광산용
	II	공장·사업장용
폭발 등급에 따른 방폭 전기 기기 그 룰	II A	공장·사업장에서 폭발 등급 A의 폭발성 가스에 적용할 수 있다
	II B	공장·사업장에서 폭발 등급 B의 폭발성 가스에 적용할 수 있다
	II C	공장·사업장에서 폭발 등급 C의 폭발성 가스에 적용할 수 있다
방폭 전기 기기의 온도 등급	T1	공장·사업장에서 최고 표면 온도의 허용치가 450° C인 것
	T2	공장·사업장에서 최고 표면 온도의 허용치가 300° C인 것
	T3	공장·사업장에서 최고 표면 온도의 허용치가 200° C인 것
	T4	공장·사업장에서 최고 표면 온도의 허용치가 135° C인 것
	T5	공장·사업장에서 최고 표면 온도의 허용치가 100° C인 것
	T6	공장·사업장에서 최고 표면 온도의 허용치가 85° C인 것

(비고) 1. 본질 안전 방폭 구조 전기 기기는 본질 안전 방폭 성능에 따라 ia 또는 ib 의 기기로 분류되며 기호는 각각 ia 또는 ib가 사용된다.

2. 최고 표면 온도의 허용치는 주위 온도 40℃일 때를 기준으로 한 것이다.

고려를 필요로 하는 정도의 분진, 부식성 가스, 독성 등이 존재하지 않는 환경으로 한다.  
주위 온도: -20℃ ~ +40℃  
표고: 1,000m이하  
상대습도: 45 ~ 85%

그러나 방폭형 전기 기기가 이러한 표준 환경 조건 이외의 환경에서 사용될 경우에는 사용되어지는 주위의 환경 조건 즉 습기, 부식, 열 및 진동 등을 충분히 고려하여 제작되어야 한다.

#### 4. 결론

본문에서 폭발성 가스가 존재하거나 존재할 수 있는 위험 지역에 사용되는 전기 기기로 인하여 발생할 수 있는

폭발 사고를 방지하기 위하여 필수적으로 사용되는 방폭형 전기 기기에 대한 내용을 고찰하였다.

근래 국내에서는 석유 화학 산업이나 가스를 사용하는 가정, 사업장 등에서 폭발에 의한 크고 작은 사고들이 빈번히 발생하여 수많은 재산과 인

명 피해를 가져오고 있으며 폭발 사고는 타 재해에 비하여 한 번 사고가 발생하면 복구 불능의 대형 사고를 초래하는 경우가 많다. 또한, 최근에 잇달은 대형 가스 폭발 사고와 가스 누출 사고를 계기로 정부와 관련기업체 등에서 방폭형 전기 기기의 중요성을 인식하게 되어 이에 대한 관심이 고조되고 있는 실정이다.

선진국에서는 방폭형 전기 기기에 대한 연구 개발이 약 100년정도의 역사를 가지고 있지만 이에 비해 국내에서는 약 10년정도에 지나지 않기 때문에 이와 관련된 기술, 인력 및 시험 시설 등이 대단히 미흡한 것이 현실이다. 따라서 이에 대한 연구 개발과 전문 기술 인력의 양성을 도모함과 동시에 방폭형 전기 기기의 올바른 설치와 유지 관리를 위한 제도적인 조치가 강구되어야 할 것으로 사료된다. ㉠

본 논문은 호서대학교 공업기술연구소 연구비로 수행하였음

#### 참고 문헌

- 1) 가스 안전, 한국가스안전공사, 통권 제 90호, 1997/1.2.3
- 2) 新·工場 電気設備防備指針(가스防爆 1985), 産業安全研究所, RIIS-TR-85-1, 1985
- 3) 이춘하 외, "방폭시험 평가방안에 관한 연구(I)", 한국기계연구소, UCN1 99-1328·D, 1990
- 4) 이춘하 외, "방폭시험 평가방안에 관한 연구(II)", 한국기계연구소, UCN2 34-1481·D, 1991
- 5) IEC 79-0, "Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Part 0: General requirements", 1983
- 6) IEC 79-1, "Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Part 1: Construction and verification test of flameproof enclosures of electrical apparatus", 1990
- 7) IEC 79-3, "Spark-test apparatus for intrinsically-safe circuit", 1990
- 8) IEC 79-4, "Method of test for ignition temperature", 1975
- 9) IEC 79-12, "Classification of mixtures of gases or vapours with air according to their maximum experimental safe gaps and minimum igniting currents", 1978
- 10) Robin Garside, "Intrinsically Safe Instrumentation", Published by Technology Limited, Second Edition,