

# 전기기기의 본질안전화에 의한 방폭기술 개발

최상원, 이형수

한국산업안전공단 산업안전보건연구원

## 1. 서론

국내에서 사용되고 있는 가연성 가스·증기를 대상으로 한 전기기기의 방폭화 기술은 9가지 중에서 대부분 내압 방폭구조 및 안전증 방폭구조를 채용하고 있는 바 이의 단점 때문에 무겁거나 신뢰성이 약한 편이다. 또한 노동부 고시 제93-19호에서 내압 방폭구조는 방폭지역의 위험등급 (0, 1, 2종)중 1종장소에서 사용하며, 안전증 방폭구조는 2종장소에서만 사용할 수 있기 때문에 위험등급이 높은 0종장소에서는 사용할 수 없다.

노동부 고시 제93-19호 및 IEC 60079-17에서 방폭지역에서 계측기를 사용하여야할 점검항목은 안전증 방폭구조에서는 전압, 전류 및 주파수를, 본질안전 방폭구조의 본안회로 단자의 개방전압, 본안회로 단자의 단락전류 및 절연저항을, 방폭 전기배선에서는 절연저항 및 접지저항을 측정하여야 한다.<sup>[1],[2]</sup> 그러나 이들을 측정하기 위한 계측기는 선진국에서는 일부분 개발되어 있으나 국내에서는 전무한 실정이다. 아울러 노동부 고시 제93-22호 및 NFPA 77에서 제시하는 정전기 대전방지를 위한 본딩 및 접지는  $1M\Omega \sim 10G\Omega$ 과  $10M\Omega \pm 1 \sim 2M\Omega$ 으로 제시하고 있다.<sup>[3],[4]</sup> 유통되고 있는 Ground Controller & Wiring Device는 내압 방폭구조를 채택하고 있기 때문에 위에서 언급한 단점을 가지고 있다. Mobile Phone의 경우 Dupont사에서는 방폭지역 내에서, Finland에서는 주유소 내에서도 사용을 금지하고 있으며<sup>[5]</sup>, 또한 국내의 경우 카메라에 의한 수소 저장탱크 수리 중 폭발사고가 있는 등 끊임없이 Pager 등 개인 휴대용 전기/전자기기의 방폭성능 입증을 요구하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 계측기 등과 같은 소전력 전기기기는 이미 선진국에서는 경제성 및 신뢰성에서 내압 방폭구조를 탈피하여 본질안전 방폭구조 대치되어 가고 있으나 국내에서는 이러한 본질안전화 기술이 미미하여 아직도 내압 방폭구조를 선호하고 있는 실정을 고려하여 기존의 내압 방폭기기를 적용하고 있거나 방폭구조가 아닌 소전력 전기기기를 본질안전 방폭구조로 적용시키는 기술을 다음의 전기기기에 적용시켜 개발코자 하였다.

- 정전기 접지용 커넥터의 본질안전 방폭화 기술
- 디지털 만능계측기의 본질안전 방폭화 기술
- 카메라의 본질안전 방폭화 기술
- 2차 전지 단락에 의한 점화 방지기의 본질안전 방폭화 기술
- Robot용 Teaching Pendant의 본질안전 방폭화 기술

## 2. 본질안전 방폭성능의 평가

### 2.1 IEC형 불꽃점화 실험장치

그림 1은 IEC 60079-3에서 현재까지는 직류와 상용 주파수만을 사용하여 저압 회로에서의 최소 점화 에너지를 구하는 불꽃점화 실험장치이다.<sup>[6]</sup> IEC형 불꽃점화 실험장치는 공인된 실험장치이며 또한, 가장 불규칙적인 개폐불꽃을 발생시킨다는 장점이 있으나 사용전압, 전류 및 용량/유도성에 대한 제한 사항이 다르며 특히, 본 실험장치의 특성상 주파수가 증가하게 되면 장치에서 발생하는 임피던스의 증가 때문에 영국의 BS 6656 규격에서는 10MHz까지의 주파수에서는 이 실험장치를 사용토록 권고하고 있다.<sup>[7]</sup>

## 2.2 최소 점화 에너지 측정장치

그림 2는 고압의 커패시터에 에너지를 충전/방전시켜 가연성 혼합물질의 최소 점화 에너지 (Minimum Ignition Energy; MIE)를 구하는 실험장치로 본 실험장치의 장점은 400V 이상의 전압에서 MIE를 구하는데 널리 사용되고 있다.

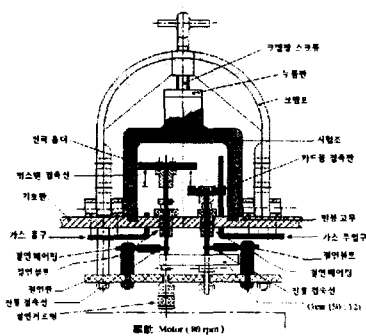


그림 1. IEC형 불꽃점화 실험장치

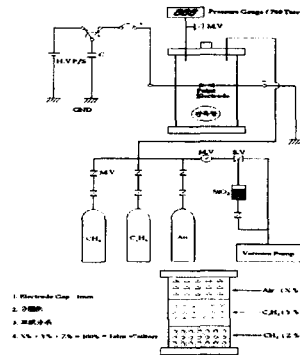


그림 2. MIE 실험장치의 구성도

## 3. 기존 샘플의 평가 및 시제품의 제작

### 3.1 기존 샘플의 사양 및 특성

시제품 설계를 위한 기초 데이터를 얻기 위하여 국내의 적으로 유통되고 있는 비방폭/방폭 구조의 아래 제품에 대한 본질안전 성능 평가를 앞 1.의 실험장치를 사용하여 평가하였다.

- Digital Multimeter (독일, BARTEC, EEx ib IIC T6)
- Digital Clamp Meter (독일, BARTEC, EEx ib IIC T6)
- Ground Controller & Wiring Device (현대방폭전기, Ex d IIB T6)
- Camera (삼성항공, 디지털 외 1종, 비방폭형)
- Personal Communication Service (현대전자 등 4개사, 9종, 비방폭형)
- Robot용 Teaching Pendant (태하메카트로닉스 등 2개사, 비방폭형)

### 3.2 기존 샘플의 점화 위험성 평가

기존의 방폭형 만능 계측기의 회로에 공급하는 1차 전지에서서의 점화 위험성을 평가하였다. 전지는 국내에서 생산되는 6F22 (FC-1, 9V용) 형식의 2개사 제품에 대한 방전실험과 IEC 형 불꽃점화 실험장치를 이용한 개폐 전압 및 전류와 최소 점화 지연시간을 측정된 결과 점화가

발생하지 않았다.

Ground Controller의 클램프를 고압전원 공급기 (DC 10000V)의 정극성 측에 접촉할 때의 방전전압 및 방전전류를 측정된 결과 접촉시에 상당한 크기의 전압 및 전류의 방전 현상이 나타났으며, 이 때 점화 위험성이 있는 것으로 판단되었다.

디지털 카메라에서 사용되는 F社의 Ni-MH 2차 전지 (1.2V×4ea)와 일반 카메라에 사용되는 리튬 1차 전지 (3V)에서의 방전 전압 및 전류 파형과 개폐 전압 및 전류 파형을 측정된 결과 카메라에 사용되는 2가지 형태의 건전지의 개폐에서 모두 점화가 발생되었는데 이는 개폐시의 스파크에 의한 점화라기 보다는 IEC형 불꽃점화 실험장치의 전극에서 발생하는 주울열에 의한 즉, Hot Wire에 의한 점화로 추정된다.

휴대폰의 전자회로 구동용 2차 전지의 대/소에 따라 국내의 3개사 제품과 국외의 1개사 제품에 대한 방전 전압 및 전류 파형과 개폐 전압 및 전류 파형을 측정된 결과 2가지 형태의 건전지의 개폐에서 모두 점화가 발생되었는데 이는 카메라의 결과와 같다. 또한 특정회사의 경우 전지 단락 보호회로를 내장하고 있으나 단락보호를 위한 회로의 차단시간이 수소/공기 혼합기체의 경우 최소 점화 지연시간 약 20 $\mu$ s를 초과하였다.

비방폭형 Robot용 Teaching Pendant의 입력전압 DC12V에서 대기시 약 280mA의 전류가 흐르고, IEC형 불꽃점화 실험장치에 위의 조건으로 개폐시켰을 때 약 10A의 개폐전류가 발생됨에 따라 입력 전력은 본질안전회로를 적용하기 위하여 분할하여 공급하여야 한다.

### 3.3 시제품의 설계 기준

방폭지역에서 사용 가능한 소형 활선 저항 측정기, 측정기구의 과부하를 방지하는 장치, 정전기 방전에 따른 전기불꽃의 보호기 및 정전 전하를 검출하는 방법의 관련 특허 기술 분석하여 본 연구에서 개발코자한 4종의 주요 설계기준을 다음과 같이 하였다.

- 방폭지역에서의 사용을 목적으로 한다.
- Digital Multimeter에 고전압을 측정하기 위한 배율기로서의 역할을 부가한다.
- 노동부고시 제 92-23호 “방폭구조 전기기계·기구 성능 검정규격”을 만족한다.
- 본질안전 방폭구조를 원칙으로 한다.

### 3.4 시제품의 제작

시제품의 제작방법에서 Digital Multimeter (참여기업: 삼성계측제어)와 Robot용 Teaching Pendant (참여기업: 태하메카트로닉스)는 공동연구에 의해 우리 연구원의 설계 및 평가 데이터를 이용하여 참여기업에서 제작/제공하는 것으로 하였다. 또한 정전기 접지용 커넥터와 점화 방지기는 우리 연구원의 자체기술로 제작하였다.

## 4. 개발품의 사양 및 평가

### 4.1 개발품의 사양 및 특성

#### 4.1.1 Digital Multimeter

Digital Multimeter의 회로를 구동시키는 건전지의 용량을 낮추어 본질안전성능을 향상시켰

다는 것과 소비전력을 낮추었다는 특징을 갖고 있다. (표 1 및 그림 3 참조)

#### 4.1.2 정전기 접지용 커넥터

정전기 접지용 커넥터는 두 가지 사용 목적을 갖고 있다. 첫 번째는 이름과 같이 정전기가 발생하는 시설물에서 이를 사용하여 대지로 방전시키는 역할을 하고, 두 번째는 만능계측기에 접속시켜 정전전하를 측정하기 위한 배울기로서의 역할을 할 수 있다. (표 4 및 그림 4 참조)

#### 4.1.3 점화 방지기

기존의 휴대폰용 2차 전지의 과충전 및 단락보호를 위해 사용되는 2중급속을 채택한 보호기는 PTC (Positive Temperature Coefficient) 소자를 사용하기 때문에 소자의 특성상 단락전류를 원하는 값까지 차단시키는 시간이 대략 수 백 ms이다.<sup>[8]</sup> 그러므로 이 값의 차단시간은 가연성 물질을 점화시키는데 필요한 시간이 아세틸렌/수소의 경우는 20 $\mu$ s를 초과하므로 PTC를 이용한 보호회로는 방폭용으로 적용할 수 없다.

개발한 휴대폰 등에 사용하는 2차 전지의 단락에 의한 가연성 물질로의 점화를 방지하기 위한 점화 방지기는 전지 단락시에 최소 점화 지연시간 내에 회로를 차단한다는 것이 가장 큰 특징이다. (표 3 및 그림 5 참조)

#### 4.1.4 Robot용 Teaching Pendant

도장용 로봇에 적용하는 Teaching Pendant는 본질안전 방폭구조로 Pendant 회로를 구동하는 전원은 본질안전 관련기로부터 전원을 공급받는다. (표 4 및 그림 6 참조)

표 1. Digital Multimeter의 사양

|      |                            |
|------|----------------------------|
| 방폭구조 | Ex ib IIC T4               |
| 측정범위 | 1000V Max., 10A Max.       |
| 측정기능 | 직류/교류전압, 직류/교류 전류, 주파수, 저항 |
| 정격입력 | DC 3V, 0.1A Max.           |
| 전원   | 망간건전지: 1.5V×2ea            |
| 무게   | 552g                       |



그림 3. Digital Multimeter의 외형 사진

표 2. 정전기 접지용 커넥터의 사양

|        |                      |
|--------|----------------------|
| 방폭구조   | Ex demia IIC T4      |
| 측정범위   | 30kV Max.            |
| 기능     | 정전기 접지용, 정전하 측정용 배울기 |
| 무게     | 약 1kg (케이블 제외)       |
| 케이블 길이 | 약 20m                |
| 기타     | 전원 사용 무              |



그림 4. 정전기 접지용 커넥터의 외형 사진

표 3. 점화 방지기의 사양

|      |                    |
|------|--------------------|
| 방폭구조 | Ex mib IIC T4      |
| 차단시간 | 1 $\mu$ s 이내       |
| 기능   | 2차 전지 단락 보호용       |
| 동작전압 | 3.6V, Li-Ion 전지 팩  |
| 크기   | L105mm×W75mm×H55mm |
| 무게   | 195g               |

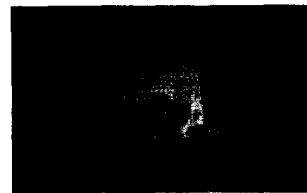


그림 5. 점화 방지기의 외형 사진

표 4. Robot용 Teaching Pendant의 사양

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| 방폭구조           | Ex ib IIC T4         |
| 입력전원           | DC9V                 |
| 동작전류           | 0.5A                 |
| 무게             | 약 1.2kg              |
| 본질안전관련 Barrier | 전압 DC12V,<br>전류 0.5A |

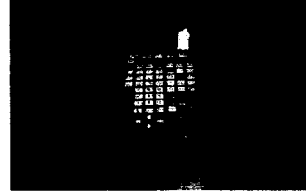


그림 6. Teaching Pendant의 외형 사진

## 4.2 점화 위험성 평가

### 4.2.1 실험장치의 구성 및 평가방법

본 연구에서 개발한 시제품에 대한 점화 위험성 평가는 Digital Multimeter, 점화 방지기 및 Robot용 Teaching Pendant는 그림 7의 실험회로를 사용하여, 정전기 접지용 커넥터는 그림 8의 실험회로를 사용하여 점화 위험성을 평가하였다.

실험방법에서 전원은 회로의 특성상 고주파 전원을 사용하여 평가한 경우도 있으며, 전지의 방전실험은 IEC형 불꽃점화 실험장치 대신에 도선을 연결하였다. 또한 실험가스는 수소 31±1%/공기, 아세틸렌 15±1%/공기를 사용하였다.

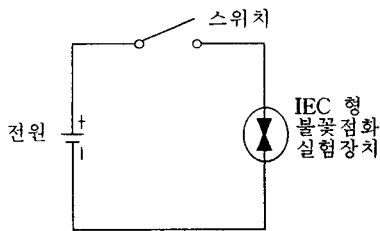


그림 7. IEC형을 사용한 점화실험 회로도

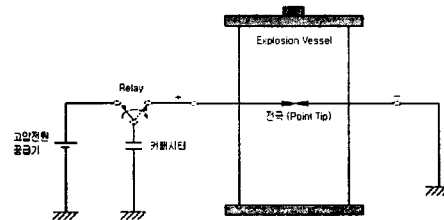


그림 8. MIE형을 사용한 점화실험 회로도

### 4.2.2 실험결과 및 고찰

#### (1) Digital Multimeter

Digital Multimeter의 회로 전원 공급용 1차 전지 (1.5V×2ea)에 대한 국내의 2개 사 제품에 대한 방전 및 개폐 전압/전류의 특성을 측정하였다. 각 사마다 건전지의 특성은 약간의 차이가 있으나 이는 여러 가지 주변 여건의 지배를 받는 것으로 무시할 수 있다. 개폐 전압 및 전류 파형을 측정된 결과 점화 위험성이 없는 것으로 판단되었다.

#### (2) 정전기 접지용 커넥터

정전기 접지용 커넥터를 직류고압 전원장치 (DC10000V)의 정극성 측에 클램프를 접촉할 때 방전 전압 및 전류 파형을 측정하였으며, 기존 샘플의 측정결과와 비교할 때 시제품은 클램프 접촉시의 방전전류는 아주 작게 나타났으며, 이 결과로부터 대상으로 하는 가스 및 폭발 등급에 적합한 방폭성능을 갖춘 것으로 판단되었다.

#### (3) 점화 방지기

2차 전지의 단락시 전압 및 전류를 차단시키는 시간을 측정하였다. 측정 결과 회로의 차단 시간은 1μs 이내로 수소 가스를 대상으로 한 최소 점화시간 이내에서 차단됨으로 점화 위험성

이 없는 것으로 판단되었다.

#### (4) Robot용 Teaching Pendant

Teaching Pendant 회로 내의 Super Capacitor에 안전율 1.5배를, 고주파 Transformer에 50kHz부터 1MHz까지 가변/공급하고 역시 안전율 1.5배를 적용하여 실험한 결과 Group IIC의 폭발등급과 본질안전 성능에 적합한 것으로 판단되었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 계측기 등과 같은 소전력 전기기기를 본질안전 방폭구조로 적용시키는 기술을 개발하여 고 신뢰성화 및 경량화시킨 만능계측기, 정전기 접지용 커넥터, 점화 방지기 및 Teaching Pendant의 시제품을 공동/자체 연구를 통하여 제작한 후 점화 위험성에 대한 평가를 실시하여 안전성을 입증코자 하였으며, 주된 연구결과는 다음과 같다.

- Digital Multimeter, Digital Clamp Meter, Ground Controller & Wiring Device, Personal Communication Service, Camera 등 20여종의 기존 샘플의 점화 위험성을 평가하였다.
- Digital Multimeter는 회로 전원 (3V, 1차 전지, 1.5V×2ea)에서 정상동작 (0.982mA<sub>r.m.s</sub>) 및 버저 경보시 (20mA<sub>r.m.s</sub>)에 정상 상태와 개폐 상태에서의 대상으로 하는 가스 및 폭발 등급에 적합한 본질안전 방폭성능을 갖는 것으로 판단되었다.
- 정전기 접지용 커넥터는 직류고압 전원장치 (DC10000V)의 정극성 측에 클램프를 접촉할 때 대상으로 하는 가스 및 폭발 등급에 적합한 방폭성능을 갖춘 것으로 판단되었다.
- 점화 방지기는 차단시간이 1 $\mu$ s 이내로 수소 가스를 대상으로 한 최소 점화시간 이내에서 차단됨으로 점화 위험성이 없는 것으로 판단되었다.
- Teaching Pendant의 점화 위험성 평가는 안전율 1.5배를 적용하여 Group IIC의 폭발등급에 적합한 본질안전 방폭성능을 갖는 것으로 판단되었다.

## 참고 문헌

- [1] 노동부 고시 제93-19, 사업장 방폭 전기기계·기구배선 등의 선정·설치 및 보수 등에 관한 지침, 1993. 5. 24.
- [2] IEC 600079-17, Inspection and maintenance of electrical installations in hazardous areas, 1996.
- [3] 노동부 고시 제93-22, 정전기 재해예방을 위한 기술상의 지침, 1993. 6. 19.
- [4] NFPA 77, Recommended practice on static electricity, 1993.
- [5] Chris Lang, "Mobile Phones an explosive risk at gas stations", Feb. 8. 1999.
- [6] IEC 60079-3, Spark-test apparatus for intrinsically-safe circuit, 1990.
- [7] BS 6656, Guide to prevention of inadvertent ignition of flammable atmospheres by radio-frequency radiation, 1991.
- [8] David Quimby and Steve Sullivan, "Bimetallic Battery Pack Protector Guards Against Overcharge and Short Circuits", PCIM, pp. 38~44, Oct. 1994.