연구보고서
기전연94-7-9

본질안전 방폭기기의 평가 및 사용안전에 관한 연구

1994. 12. 31

한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 "산업안전 연구개발 지원" 사업의 일환으로 수행한 "본질안전 방폭기기의 평가 및 사용안전에 관한 연구"의 최종 보고서로 제출합니다.

1994. 12. 31.

주관연구기관 : 산업안전연구원
기계전기연구실
연구수행자: 선임연구원 최상원

머 리 말

오늘날 화학공정 등의 Process Control에 있어서 계측의 자동화를 위하여 전기 및 전자장비를 방폭지역의 0종 장소까지 설치하여 운용하고 있기 때문에 이를 사용함에 있어 전기에너지에 의한 점화 위험성이 증가하고 있는 실정입니다.

가연성가스 또는 폭발성가스 및 증기가 존재하고 있는 장소에서 사용하는 방폭형 전기기계·기구는 현재 우리 연구원에서 내압, 압력, 유입, 안전증, 본질안전 및 특수방폭구조에 대하여 성능검정을 실시하고 있으며, 금후 비점화, 캡슐 및 사입방폭구조에 대한 성능검정도 실시하기 위하여 검정기준 등의 제정이 완료되어 실시단계에 와 있습니다.

최근 선진 외국에서는 반도체산업의 발달과 더불어 저가격, 고신뢰성 및 광범위한 적용성 등의 장점을 가진 본질안전방폭 분야에서 많은 연구와 개발이 진행되고 있으나 국내에서는 아직 미미한 실정입니다.

본질안전방폭구조는 고도의 전자화 기술이 요구되며 이를 선정, 설치 및 사용함에 있어서도 다른 방폭구조에 비하여 복잡한 지식이 요구됩니다.

이에 금년도의 연구사업으로 본질안전 방폭기기의 제작이나 검정시에 필요로 하는 평가기술과 이들을 선정, 설치 및 사용하는데 있어 안전상의 주의점 등을 제시하였습니다.

본질안전 방폭기기의 사용자나 관련기기의 제조자 및 이들의 검정, 평가기관에서 유익한 자료로서 널리 활용되어 아무쪼록 전기기기에 의한 화재·폭발 재해를 방지하는데 기여가 되었으면 합니다.

1994. 12. 31

산 업 안 전 연 구 원 장

여 백

요 약 문

I. 제목

본질안전 방폭기기의 평가 및 사용안전에 관한 연구

2. 연구개발의 목적 및 중요성

본질안전 방폭전기기기의 성능평가, 적용, 설치 및 보수 유지하는데 필요한 기술적 Data 및 자료를 제시하여 방폭지역에서 사용되는 본질안전 방폭전기기기의 전기회로에서 고장시에 발생되는 전기에너지에 의한 가연성물질의 폭발을 방지하기 위함.

본질안전기술은 전자부품을 이용하여 전기에너지를 제한하거나 By Pass시키는 방법이며 여러가지 방폭구조의 기술에 비하여 고도의 기술이 요구되는 구조이나, 이미 선진 외국의 연구개발에 비하여 국내의 경우는 미미한 실정임.

본 연구에서는 특히 본질안전방폭구조의 전기기기에 대한 평가기술과 이를 선정, 사용하는 안전기술에 대하여 기술적 자료를 제시하는데 그 목적이 있음.

또한, 본질안전방폭구조에서 필수적인 최소 점화에너지의 영향은 주위의 여러조건에 따라 변하는데 우선 「전극의 재질별」,「전극의 개폐속도」및 「자장의 크기」에 의한 최소 점화에너지의 영향에 대하여 실험을 실시하고자 하였으며, 이러한 기본적인 Data는 본질안전기기 및 관련기기를 설계하거나 평가하는데 있어서 매우 중요한 자료임.

3. 연구기간

1994년 1월 ~ 12월 (1년)

4. 연구개발 내용 및 범위

- 본질안전기기 및 관련기기의 평가방법, 사용안전에 대하여 국내외 관련자료를 비교 검토하였다.
- 최소 점화에너지의 영향을 규명하기 위하여 실험에 사용한 불꽃점화 실험장치에 대하여 국가별, 용도별로 장·단점을 파악하였으며, 이의 실험을 위하여 가변 R, L, C 부품 박스를 제작 및 사용하였고, 양극 전극인 텅스텐 와이어의 절단장치를 개발하였다.
- VRD (Voltage Regulated Diode)를 사용하여 교류용 Isolated Safety Barrier를 제작하여 이를 평가하였다.
- 본질안전방폭구조의 설계 및 평가시에 가장 중요한 최소 점화에너지에 대하여 전극의 재질별, 전극의 개폐속도 및 자장의 크기에 의한 영향을 측정, 비교하였다.

5. 연구개발 결과

- 본질안전기기 및 관련기기의 평가방법
- 본질안전기기 및 관련기기의 사용안전
- 교류용 Safety Barrier의 시작품 제작 및 평가
- 최소 점화에너지의 측정

목 차

머 리 말

요 약 문

제1장 서 론 1

1.1 방폭지역 및 방폭기기의 개요 1

1.2 본질안전방폭의 개념 4

제2장 본질안전기기 및 관련기기의 평가방법 7

2.1 불꽃점화 실험장치의 종류 및 장·단점 7

2.2 평가의 중요성 11

2.3 Safety Barrier의 개념 및 필요성 27

2.4 Zener Safety Barrier의 설계 및 구성 30

2.5 Safety Barrier의 제작 및 평가 37

제3장 본질안전기기 및 관련기기의 사용안전 39

3.1 본질안전기기 및 관련기기의 접지 39

3.2 본질안전기기 및 관련기기의 조합방법 40

3.3 Safety Barrier의 선정 및 설치방법 51

3.4 케이블 및 배선상의 주의점 54

3.5 자체점검 및 유지관리 요령 56

제4장 최소 점화에너지 측정 61

4.1 최소 점화에너지에 영향을 주는 요인들 61

4.2 실험장치의 제작 및 구성 64

4.3 실험방법 70
4.4 실험내용 75
4.5 실험결과 분석 77

제5장 결 론 86

참고문헌 89

제1장 서 론

1.1 방폭지역 및 방폭기기의 개념

오늘날 Process Control에 있어서 계측의 자동화를 위하여 전기 및 전자 장비를 많이 사용하고 있으며, 특히 0종 장소까지 전기에너지를 투입하고 있는 실정이기 때문에 이에 대한 전기에너지에 의해 점화 위험성이 증가하고 있다. 그래서 실제적 또는 잠재적으로 폭발성 분위기에 노출된 플랜트 등은 인명 및 재산 손실을 최소화시키기 위한 보호를 요구한다.

가연성가스 또는 폭발성가스 및 증기가 존재하는 위험장소 (이하, 방폭지역이라 한다)에서 사용되는 전기기기는 전기에너지 (아크, 스파크 또는 고온 열 등)에 의해 폭발성물질이 폭발되지 않도록 하여야 한다.

이러한 전기기기를 방폭구조 전기기기라 말하며, 현재 국내외에서 제작 또는 사용되고 있는 이들의 구조는 그림 1.1과 같이 대략 9종류로 구분하고 있다.

본질안전 방폭기술은 전자부품을 이용하여 전기에너지를 제한하거나 By Pass시키는 방법이며 여러가지의 방폭기술에 비하여 고도의 기술이 요구되는 구조이다.

방폭의 오랜 역사에 불구하고 최근 선진 외국에서는 반도체산업의 발달에 따라 저가격, 고신뢰성 및 광범위한 적용성 등의 장점을 가진 본질안전방폭 분야에서 많은 연구와 개발이 진행되고 있으며, 실제로 많은 내압방폭형식의 전기기기가 본질안전방폭형식으로 바뀌고 있다.

그러나 선진외국의 연구개발에 비하여 국내의 경우는 미미한 실정이다.

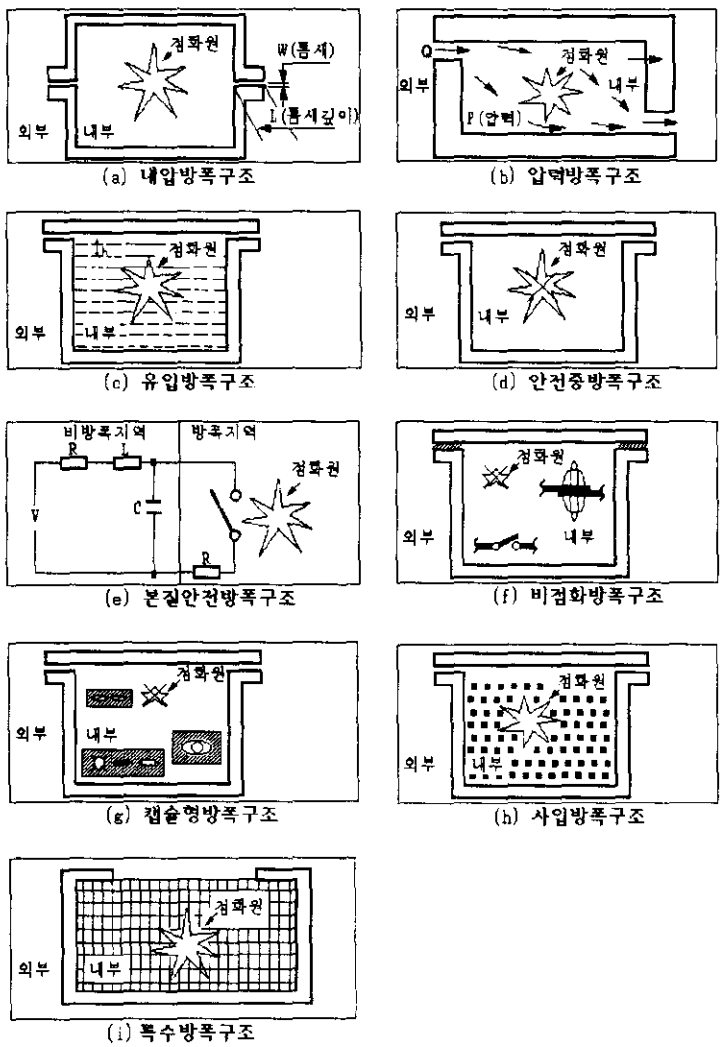


그림 1.1 방폭구조의 종류

본질안전 방폭전기기기는 방폭지역 중에서도 가장 위험도가 높은 0종 장소에 사용될 수 있는 구조이며, 이러한 방폭지역은 그림 1.2 및 1.3에서와 같이 폭발성 분위기 생성률과 점화원 발생률을 조합하여 폭발성 분위기의 생성률이 10^{1}, 년간 체류시간이 1000 시간 이상의 지역에서 사용한다.

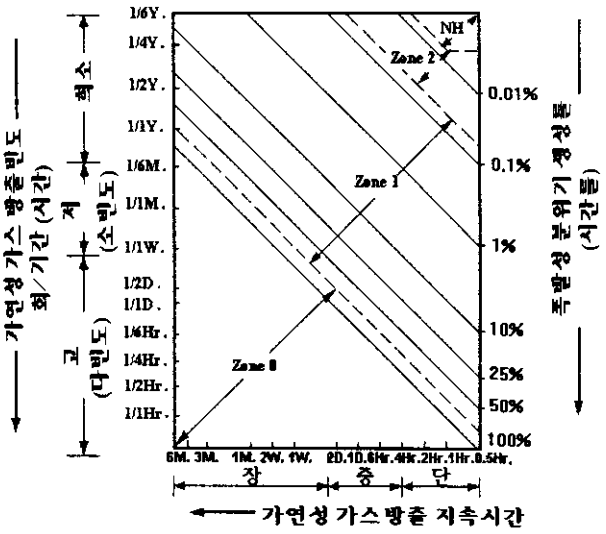


그림 1.2 폭발성 분위기 생성에 의한 위험도

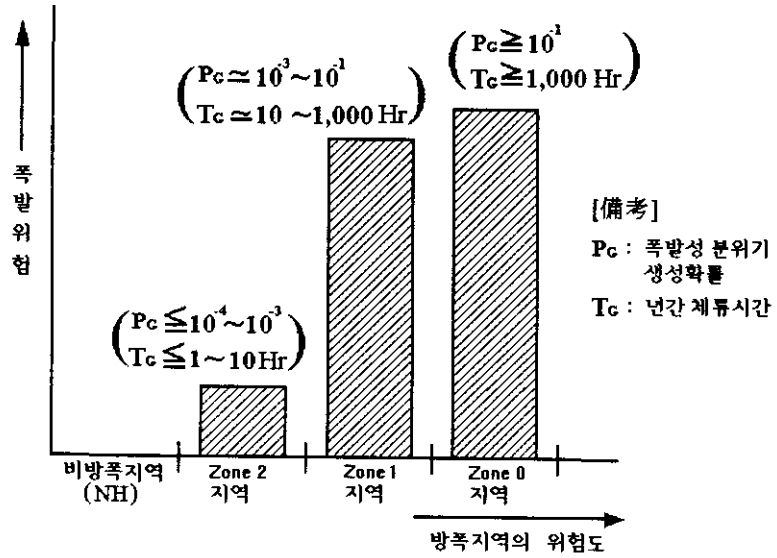


그림 1.3 위험장소의 비교 개념도

1.2 본질안전방폭의 개념

본질안전 (本質安全 : Intrinsically Safe)방폭의 용어는 1936년 영국에서 공식적으로 채택한 이래 관련 규격화는 1945년에 되었으며, 미국의 NEC는 그후 10년 후에 채택하였다.

우리나라에서는 노동부 고시 제92-23호에서 본질안전방폭구조란 "정상시 및 사고시(단선, 단락, 지락 등)에 발생하는 전기불꽃, 아크 또는 고온에 의하여 폭발성가스 또는 증기에 점화되지 않는 것이 점화시험, 기타에 의하여 확인된 구조를 말한다"라고 정의하고 있다.

본질안전 방폭방식은 폭발성 혼합물이 점화되어 폭발을 일으키는 데에는 전기불꽃에 의해 어떠한 최소한의 에너지가 주어질 필요가 있다는 개념을 기초로 하고 있다.

물론 전기불꽃에 의한 점화 외에 다음에 의한 점화도 있다.

- 열 (熱)에 의한 점화
- 전류에 의해 가열된 도체 (Hot Wire)의 고온 표면에 의한 점화

그러나 극히 예외적인 경우를 제외하면 보통은 불꽃점화의 경우보다도 전기 에너지가 상당히 크지 않으면 점화가 일어나지 않으므로 일단 제외한다.

다시 말하면 단선이나 단락 등에 의해 전기회로 중에서 전기불꽃이 생겨도 폭발성 혼합물이 결코 점화되지 않는 경우에는 본질적으로 안전하다고 할 수 있다.

이러한 본질안전 방폭방식은 선진국에서는 이미 오래 전부터 입법화되어 있으며, 현재 전 세계적으로 널리 사용되는 방폭구조이다.

본질안전에 사용되는 전 부품의 잠재적 에너지는 전압과 전류의 조합에 의존한다. 이 두 가지의 조합에 의한 최소 점화에너지는 대상 가스에 따라 다르며 이미 "표준 스파크 갭 장치"를 이용하여 데이터화되었다.

내압방폭구조는 방폭지역에서 점화원을 그대로 인정하여 이 점화원에 의해 용기 내에서 폭발을 하여도 충분한 강도를 가진 용기에 의해 주위의 폭발성 물질에 인화되지 않도록 하는 방법에 비하여 본질안전방폭구조는 전기기기를 전자화하여 방폭지역에 흐르는 전기에너지를 최소화시켜 주위의 가연성물질에 점화 능력이 없도록 하는 것으로, 바꾸어 말하면 본질안전의 개념은 전기회로의 전력요구가 매우 작으며 또한 전자부품

을 내장하는 특별한 용기를 필요로 하지 않고 이 보호방식은 예방방식으로 분류한다.

즉 본질안전방폭구조는 내압방폭구조와 같이 물리적인 방법에 의존하지 않으며, 회로중에 사용되고 있는 전기에너지가 최소 점화에너지보다 적고 또한 정상 동작중에 2개의 독립된 사고에 있어서도 안전하여야 하는 기술이다.

본질안전방폭구조는 표 1.1과 같이 내압방폭구조에 비하여 제품의 외관, 원가, 신뢰성 등에서 훨씬 우수하기 때문에 가연성가스 측정 및 경보시스템, 계측기류, 센서류, 특히 DCS (Distributed Control System)에 그 수요가 날로 증가되고 있는 실정이나 국내의 경우는 이용분야나 수량 면에서도 아직은 제한적이다.

그러나 위에서 언급한 바와 같이 본질안전 방폭구조가 여러 가지 장점이 있음에도 불구하고 국내에서는 다음과 같은 잘못된 인식으로 사용이 기피되기도 하는 아직도 미흡한 분야이다.

① 이미 내압방폭기기를 사용하고 있으며, 사용하기에 어려운 보호방식이고 또한 동일시설에서 복합기술 및 기준에 적합하다고 생각치 않는다.
② Safety Barrier가 필요하기 때문에 비싸다.
③ 케이블 배선이 너무 제한적이다.
④ 요구하는 법이나 규칙이 너무 많다.
⑤ 수요자의 유지보수 담당자가 본질안전을 이해하지 못한다.
⑥ 본질안전 설치요구 사항의 혼돈 등이다.

내압방폭구조의 계장에서 가장 큰 단점이라면 차후 시설을 확장하거나 수정하는데 있어 Flexibility가 없다는 것이다. 왜냐면 내압방폭구조의 전기기기는 견고한 Conduit로 밀봉시공을 하기 때문이다.

본 연구에서는 본질안전회로 및 관련회로의 정상시 및 특히 사고시의 안전률의 적용 개소 등 평가방법이 구체화되어 있지 않고, 또한 본질안전방폭은 설치 및 사용방법 기술이 전기기기의 종류 등에 따라 고도의 기술이 요구되기 때문에 이러한 고도의 기술을 요구하는 본질안전방폭구조의 본질안전회로 및 관련회로에 대한 평가 기술과 이의 평가에 사용되는 불꽃점화 실험장치를 비교 검토하였으며, 또한 전압이나 전류를 제한하거나 Ground에 By Pass시켜 주는 베리어 (Barrier)에 대한 시작품 제작과 이를 평가하였다. 그리고 본질안전기기 및 관련기기의 사용상 주의 사항에 대하여도 언급하였다.

특히 본질안전의 평가 및 사용시에 기초가 되는 전극의 재질, 전극의 개폐속도, 자장의 변화에 따른 최소 점화에너지의 차이점을 규명하기 위하여 실험을 수행하였다.

표 1.1 장·단점 비교

방폭구조	장 점	단 점
내 압	1) 1종 및 2종 장소에 사용 가능 2) 보호상의 특별 제약이 없음	1) 내부폭발에 의한 내용물의 손상이 중대한 기기에는 적합하지 않음 2) 폭발등급이 높을 수록 구조 복잡하고 제작 곤란 3) 기기설치시 외장 케이블 사용 (고가) 4) 유지 보수시의 불편성 (전원차단)
본질안전	1) 0종 장소에서 사용 가능 2) 방폭의 안전성이 가장 큼 3) 경제적 임 (가격, 외형) 4) 계장기술에 적합 5) 기기설치시 외장 케이블 불요 6) 유지보수의 편리성 (전원 인가 상태에서 점검 가능)	1) 소전력용 기기에만 적용 가능 (그림 1.4 참조) 2) 정전, 전자유도 등을 고려하여 배선 등에 특별 주의 필요

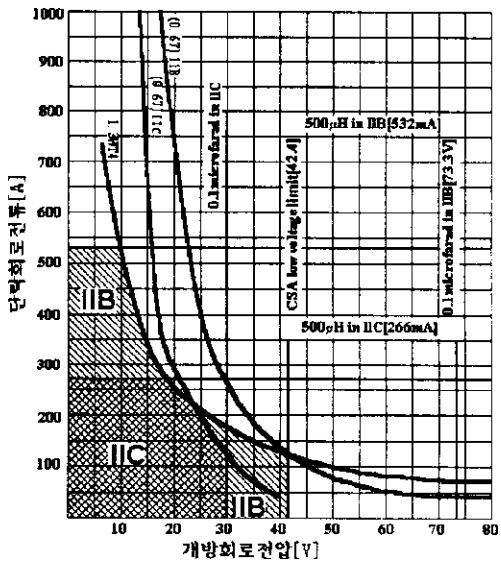


그림 1.4 본질안전회로의 제한 영역

제2장 본질안전기기 및 관련기기의 평가방법

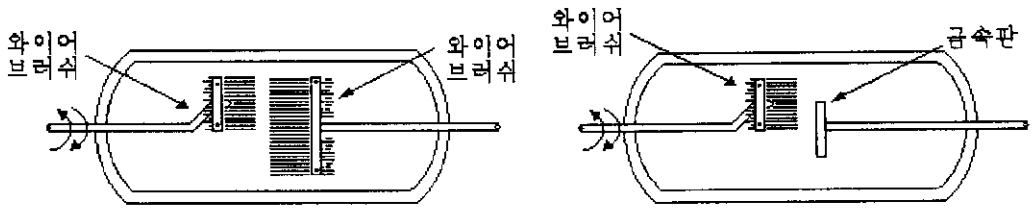
본질안전에서 고려하여야 할 메카니즘은 전기적 스파크에 의한 에너지와 표면온도 상승에 의한 온도의 영향이다. 또한 어떠한 고장에 의한 에너지 상승도 고려하여야 한다.

2.1 불꽃점화 실험장치의 종류 및 장·단점

개폐불꽃 발생장치는 기계적으로 작동하는 개폐전극을 사용하여 통전중 전기회로를 개폐하여, 이것에 의해 발생하는 방전불꽃이 가스로 점화되는가 여부를 실험하기 위한 것으로, 본질안전방폭 전기회로·기기의 안전면에서 접점 개폐불꽃 및 배선·부품 등의 단선·단락사고 불꽃에 대하여 충분한 모의 실험을 하여야 한다.

다음 그림 2.1은 각종 불꽃점화 실험장치를, 표 2.1은 이들의 장·단점 및 적합한 용도를 나타내었다.

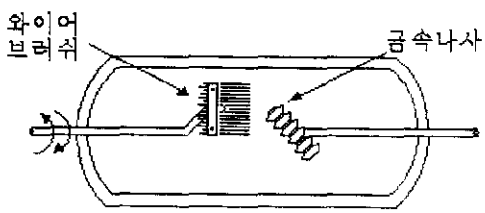
불꽃점화 실험장치는 크게 수동조작식 개폐불꽃 발생장치와 자동식 개폐불꽃 발생장치로 나뉜다. 수동식에는 Wire Brush on Wire Brush형, Wire Brush on Plate형, Wire Brush on Screw형 및 동선 인장 단선형 등이 있으며, 자동식에는 IEC형, Break-Flash No.3 형 및 Intermittent Break 형 MK II가 있다.



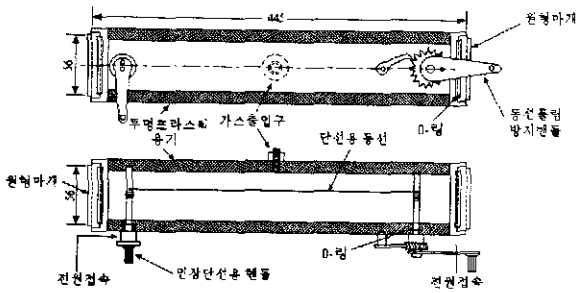
(a) Wire Brush on Wire Brush형 (b) Wire Brush on Plate형

그림 2.1 각종 불꽃점화 실험장치

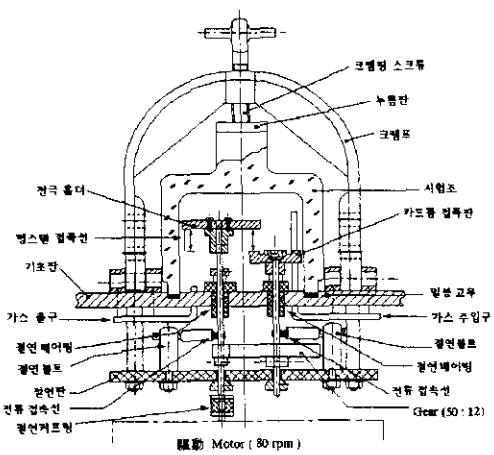
(계속)



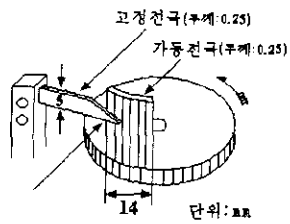
(c) Wire Brush on Screw형



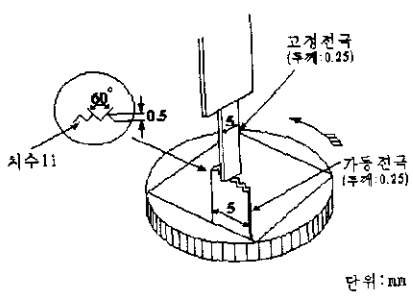
(d) 동선 인장 단선형



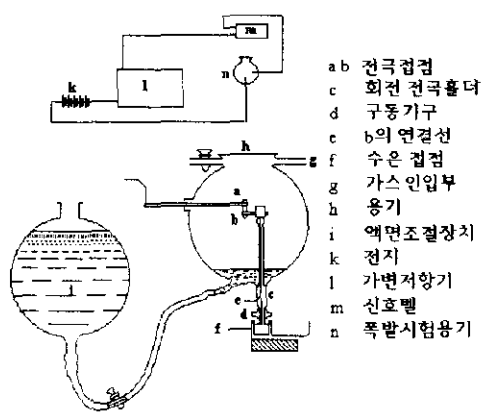
(e) IEC형



(f) Break-Flash No.3형

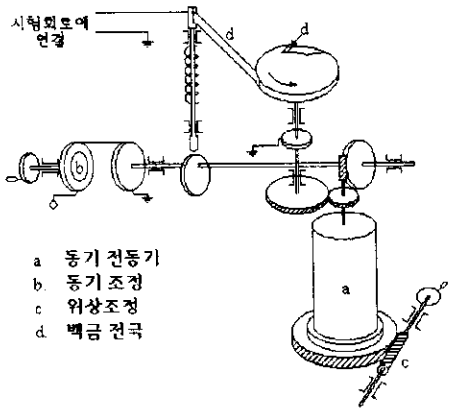


(g) Intermittent Break형 MK II

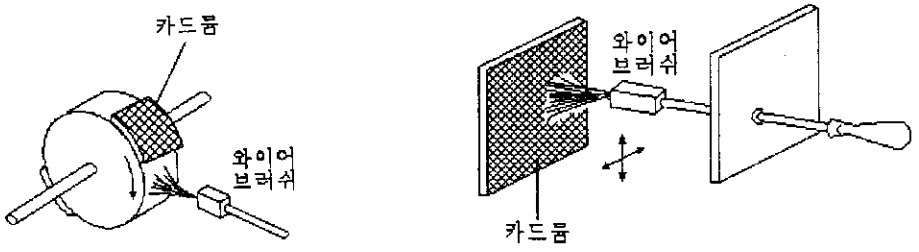


(h) Wheeler형 (영국)

(계속)

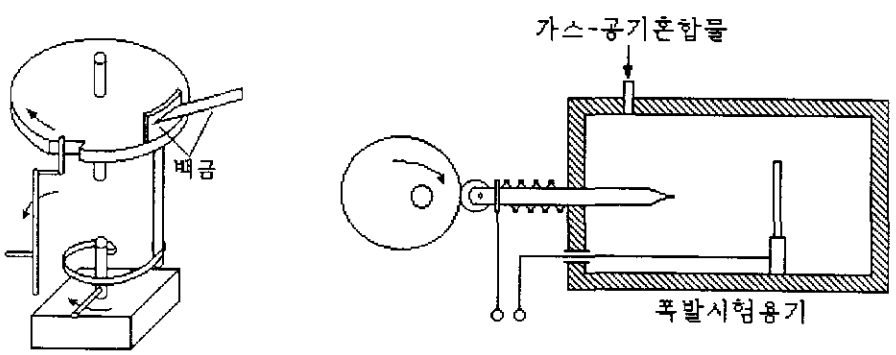


(i) 프랑스의 실험장치



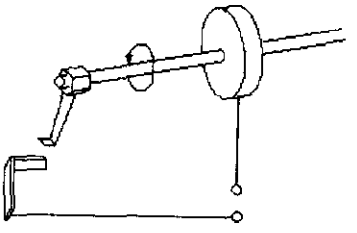
a. 수동형 b. 자동형

(j) 독일의 실험장치

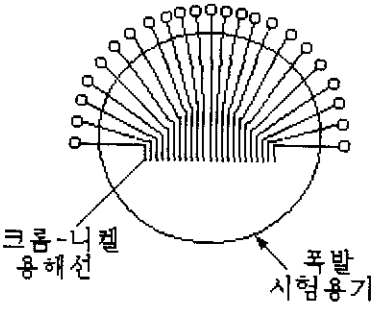


a. 급속 차단형 b. 느린 차단형

(계속)

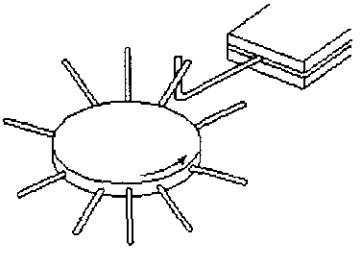


c. 간헐 차단형

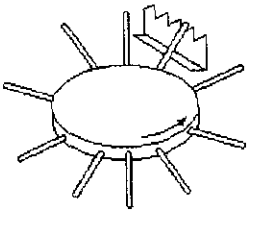


d. 용해선 차단형

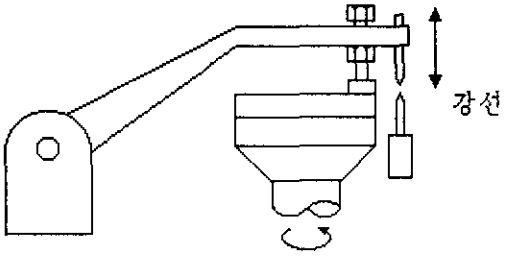
(k) 영국의 실험장치



a. 급속 차단형



b. 간헐 차단형



c. 느린 차단형

(l) 소련의 실험장치

그림 2.1 각종 불꽃점화 실험장치

2.2 평가의 중요성

2.2.1 일반

일반적으로 본질안전 방폭성능을 취급하는 경우 기초적인 입장에서 이것을 규명하여 보면, 다음의 2가지로 나누어 생각할 수 있다.

(1) 본질안전방폭 전기회로에서 발생하는 개폐불꽃 특성

(2) 개폐불꽃에 의한 폭발성 가스로의 점화

이 양자에 관한 충분한 지식이 있다면 주어진 전기회로에서 발생하는 불꽃에 의해 가스로 점화되는가 여부를 예측하는 것이 가능하다.

말하자면 실제의 전기회로에서 점화유무를 시험하지 않아도 그 본질안전 방폭성능을 판정할 수 있다. 그러나 현상에 있어서 아직 양자 모두가 완전히 해명되어 있지 않고, 또한 전기회로도 종류가 수없이 많기 때문에 이를 위하여 점화유무의 최종적인 판단은 점화시험에 의존하는 것이 각 국가들의 실정이다.

그림 2.2에서 그림 2.7까지는 IEC 규격에서 제시하고 있는 각 회로별 최소 점화에너지를 나타낸 것이다. 그러나 위에서 언급하였듯이 이 자료는 단순한 회로에만 적용된 것이므로 단지 참고하는데 사용할 뿐이다.

특히 이 도표를 설계시나 평가를 위해 적용하는데 있어 중요한 한가지는 안전률을 배제한 값이기 때문에 적용하고자 하는 전압과 전류에서 안전률 1.5배를 뺀 값으로 적용하여야 한다. 또한 이 도표의 부하에 접속된 전원은 단순 전원공급기 (예; 바테리)를 사용하여 측정한 값이기 때문에 정전압, 정전류 전원공급기의 경우는 적용상 주의를 요한다.

단순 전원공급기와 정전원 공급기의 차이점에 대해서는 후에 언급하기로 한다.

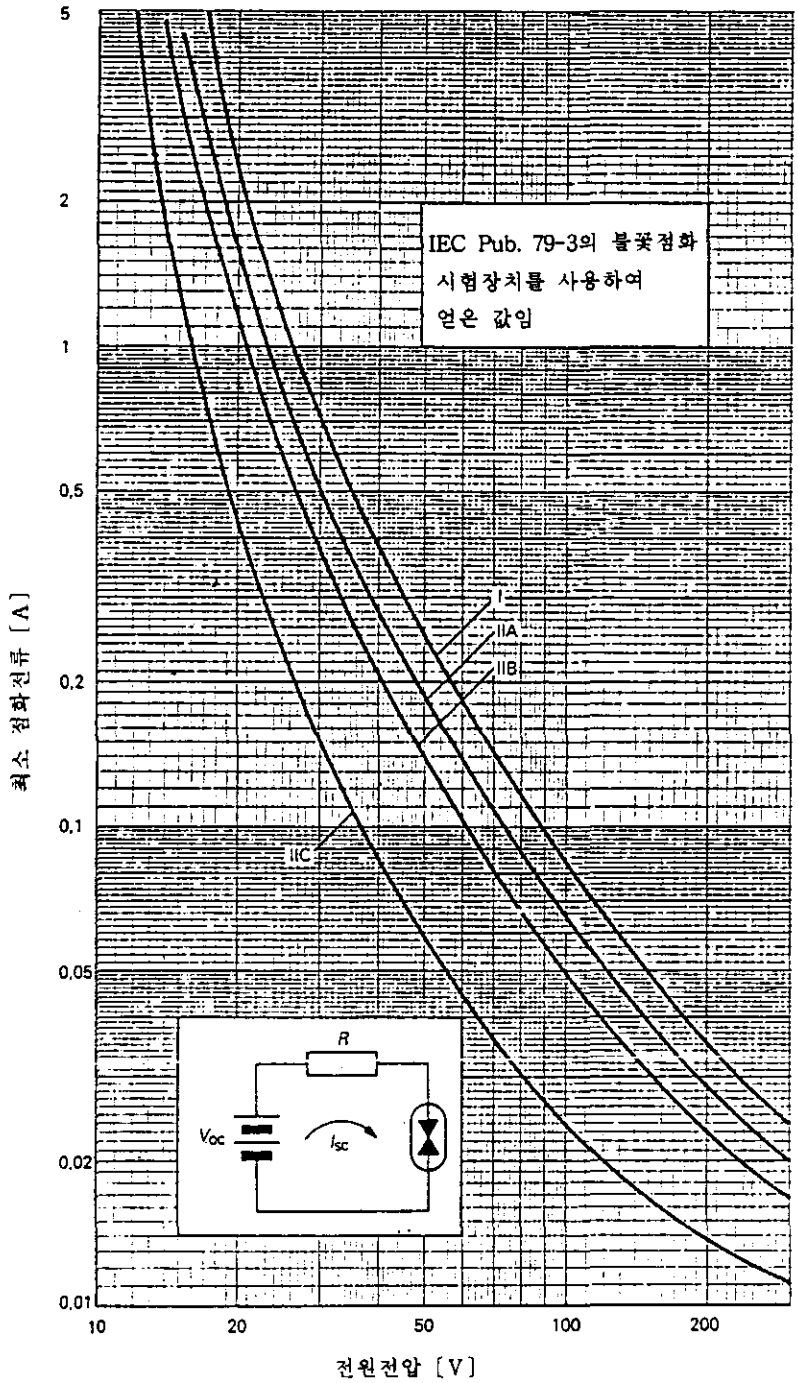

IEC Pub. 79-3의 불꽃점화
시험장치를 사용하여
얻은 값임
I
IIA
IIB
IIC
R
V_{oc}
I_{sc}
최소 점화전류 [A]
5
2
1
0,5
0,2
0,1
0,05
0,02
0,01
10
20
50
100
200
전원전압 [V]

그림 2.2 저항성 회로

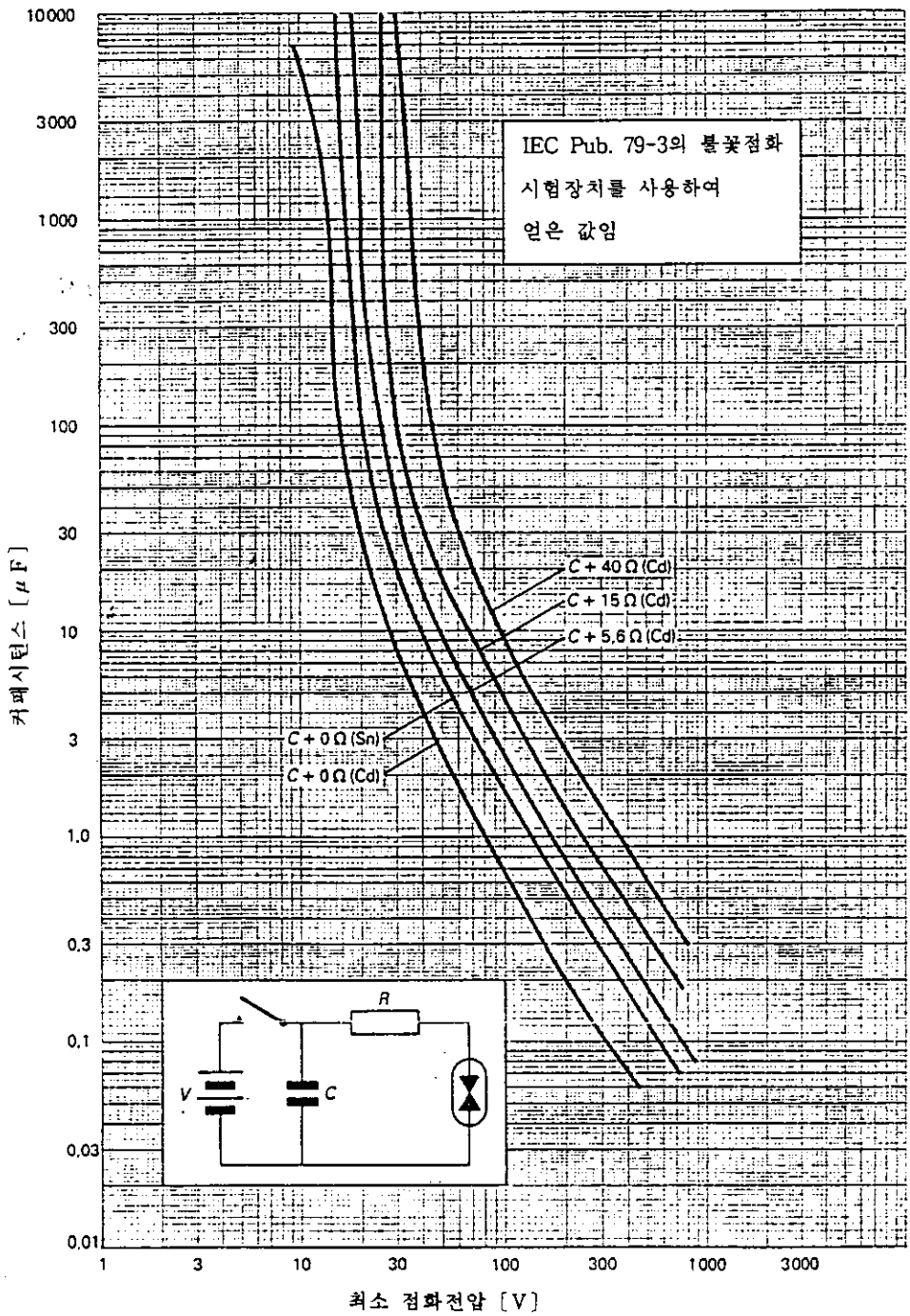


그림 2.3 용량성 회로 (Group Ⅰ 적용)

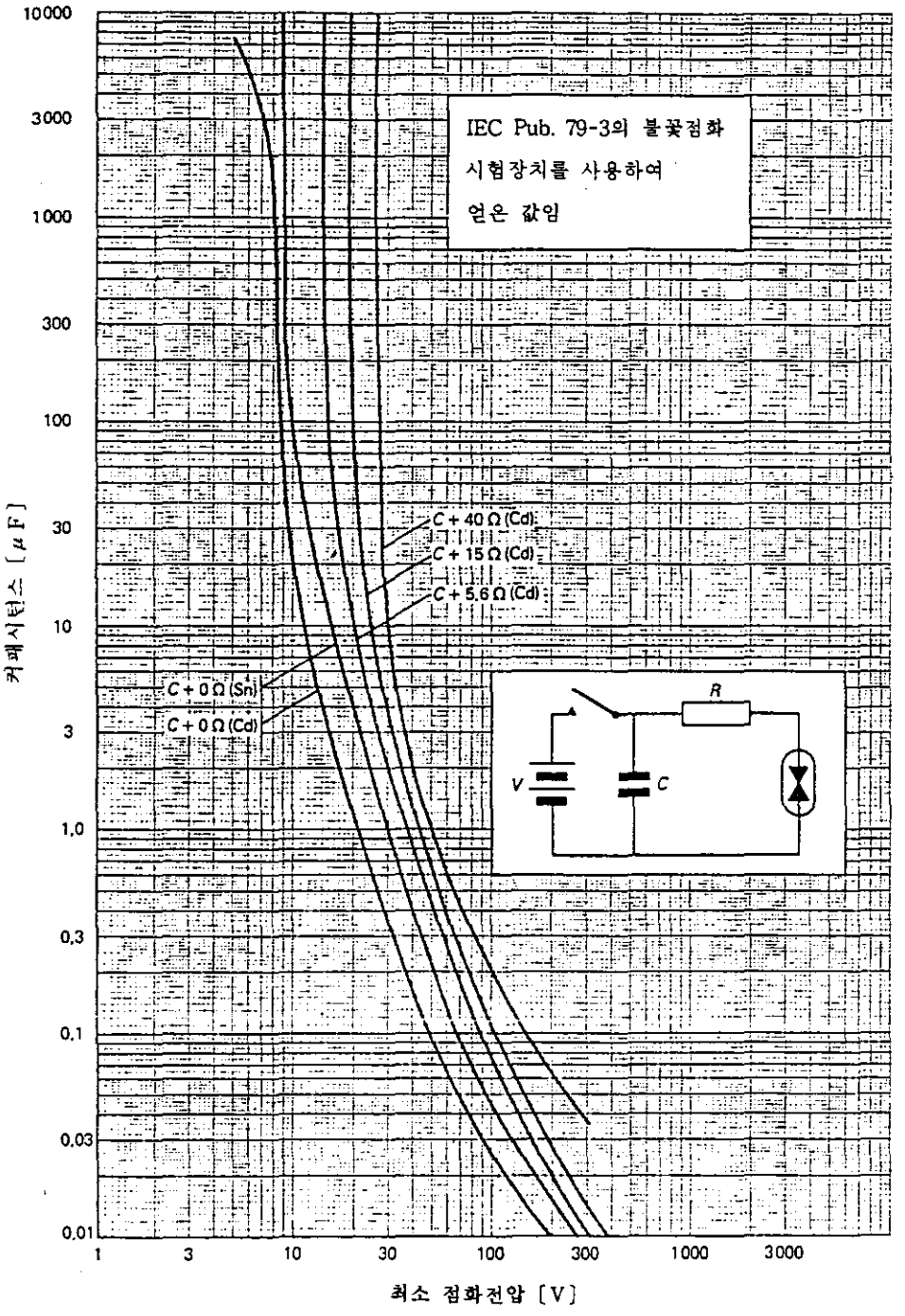


그림 2.4 용량성 회로 (Group IIC 적용)

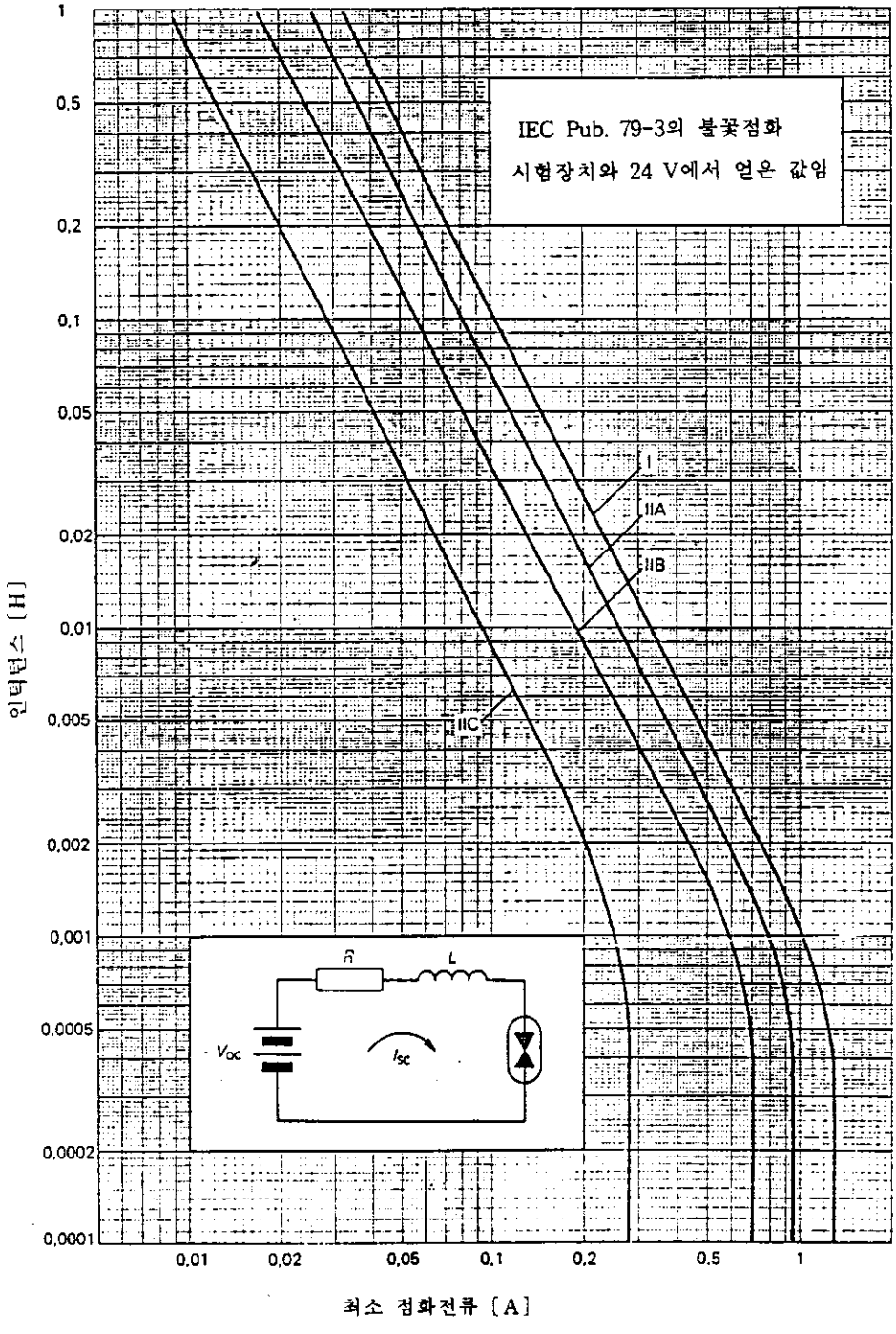

IEC Pub. 79-3의 불꽃점화
시험장치와 24 V에서 얻은 값임
I
IIA
IIB
IIC
R
L
V_{oc}
I_{sc}
인덕턴스 [H]
1
0.5
0.2
0.1
0.05
0.02
0.01
0.005
0.002
0.001
0.0005
0.0002
0.0001
0.01
0.02
0.05
0.1
0.2
0.5
1
최소 점화전류 [A]

그림 2.5 유도성 회로

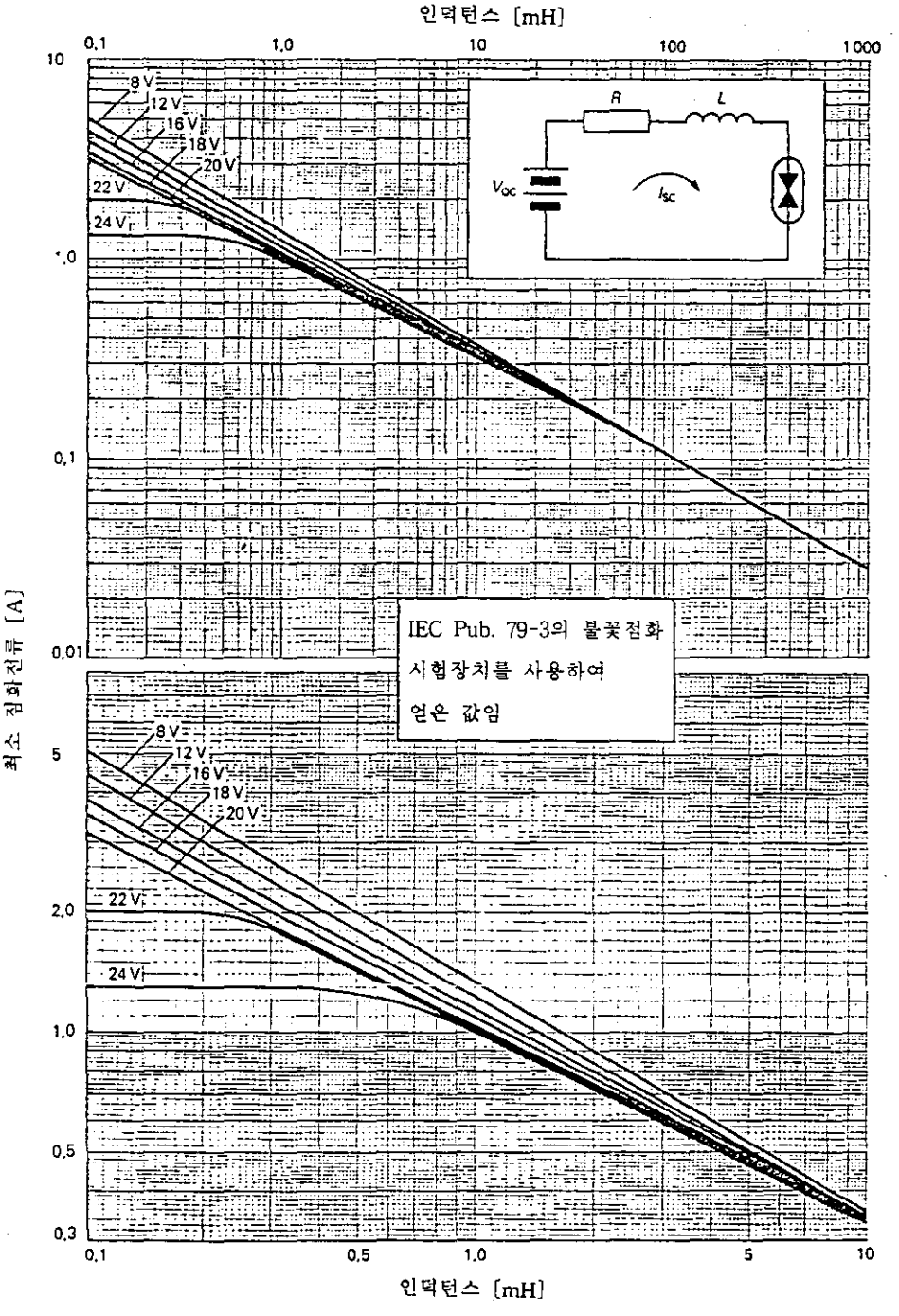


그림 2.6 저전압 회로 (Group I 적용)

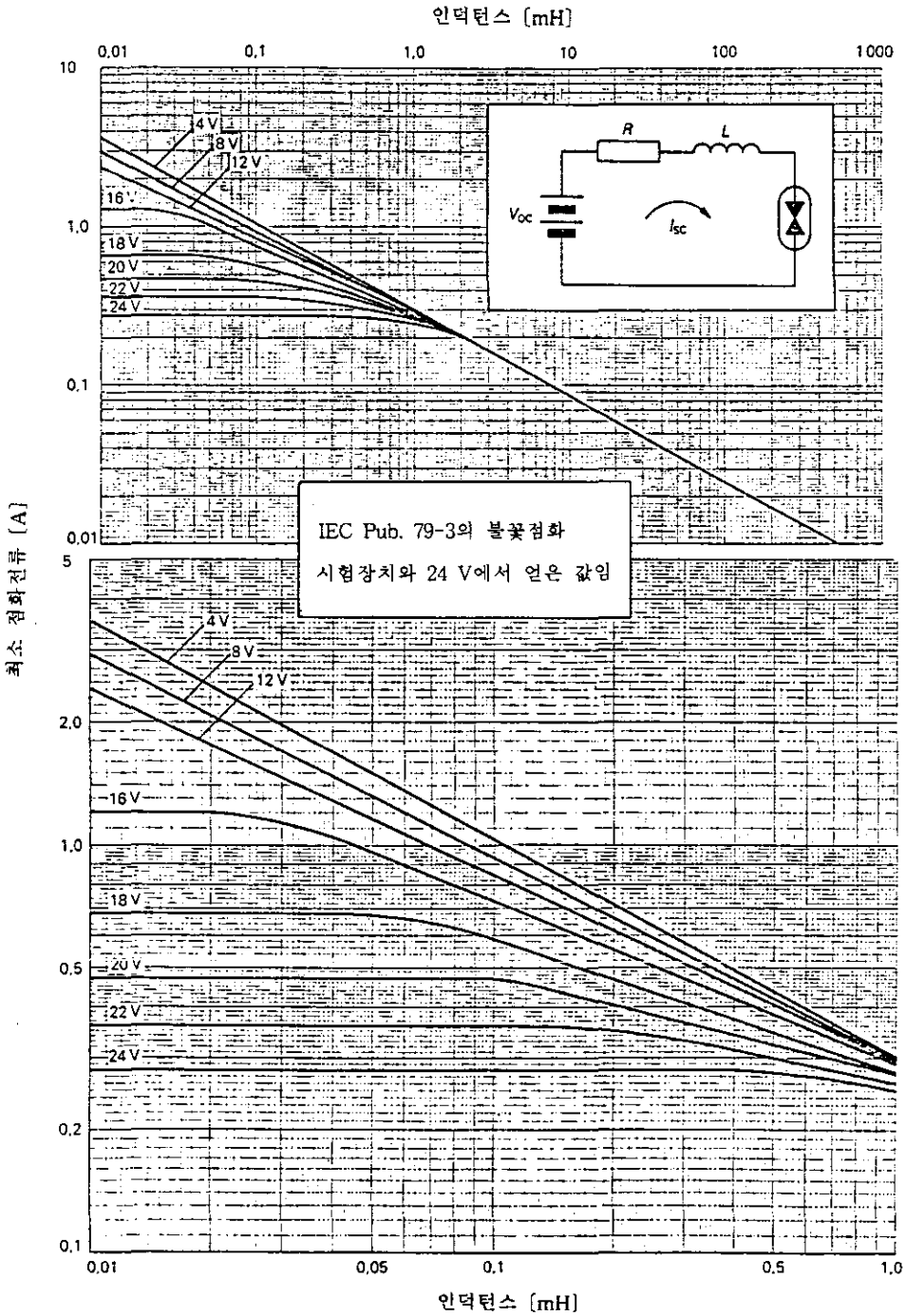


그림 2.7 저전압 회로 (Group IIC 적용)

표 2.1 각종 불꽃점화 실험장치의 장·단점 비교

구분	불꽃점화 실험장치 종류	장 점	단 점	용 도
수동식	Wire Brush on Wire Brush형	1) 불규칙, 복잡한 불꽃을 발생시킬 수 있다. 2) 전극을 여러 가지 바꾸어 사용할 수 있다. 3) 전극의 소선직경을 선택할 수 있다.	1) 재현성이 곤란하다. 2) 전극 개폐조작이 수동이기 때문에 고속 개폐가 곤란하다.	-
	Wire Brush on Plate형	1) 전극을 여러 가지 바꾸어 사용할 수 있다. 2) 전극의 소선크기를 선택할 수 있다.	1) 수동이다. 2) 재현성이 곤란하다.	-
	Wire Brush on Screw형	1) 회로단선의 모의실험에 좋다. 2) 전극 치수를 변화시킬 수 있다.	1) 수동이다.	-
	동선 인장 단선형	1) Open 속도가 일정하며, 재현성이 좋다. 2) 개폐속도는 약20~25㎝/sec이다.	1) 회로의 Open 시만을 시험하며, 속도가 가장 늦다. 2) 매회의 시험시마다 동선을 교체하여야 한다.	-
	Wheeler형	1) 개폐속도가 대단히 빠르다.	1) 접점이 열화되기 쉽다. 2) 전극을 자주 교환하여야 한다.	-
	프랑스의 실험장치	1) 위상조정이 가능하다. (단상, 50Hz)	1) 전극 (백금)이 고가이다. 2) 전극의 마모, 증기화되기 쉽다.	-
	소련의 실험장치	1) 용량회로와 저항회로에 적합하다.	-	용 량 성, 저항성회로
	독일의 실험장치	1) 점화감도가 좋다. 2) IEC형 장치로 채택되었다.	-	-
자동식	IEC형	1) 복잡한 방전불꽃을 낸다. 2) 자동식 중 구조가 간단하며, 사용이 용이하다. 3) 개폐속도가 빠르다. - 표면 이동중 : 25cm/sec - 표면 이탈시 : 2000cm/sec	1) 텅스텐전극을 자주 교체하여야하며, 별도의 절단장치가 필요하다.	직류, 교류회로
	Break-Flash No.3 형	1) 개폐속도가 빠르기 때문에 급속개폐가 가능하다. -약 300cm/sec 2) 백금합금 전극을 사용하기 때문에 내 아크성, 내 마모성이다. 3) 미소불꽃에 의한 전극의 거시적 변화가 없다. 4) 유도회로에 적합하다.	1) 영국에서 특히 광산용으로 제한 사용하였다. 2) 전극을 최초로 만들 때 숙련이 필요하다.	유도성회로
	Intermittent Break형MK Ⅱ	1) 콘덴서의 방전 및 저항회로의 방전회로에 적합하다.	1) 개폐속도가 늦다. - 3.75cm/sec	용량성, 저항성회로

2.2.2 회로특성과 점화 위험성 평가

전기회로의 부하가 다르면 거기서 발생하는 방전특성도 당연히 다르며, 그러하기 때문에 가스로의 점화한계도 다르게 된다.

본질안전방폭 전기회로를 설계하는 경우 전원전압의 크기나 부하전류의 크기에 대한 상한은 일반적으로 정해져 있지 않다. 이와 같은 상한을 정하는 것은 대상가스의 종류, 전압, 전류, 부하의 크기 등을 조합시킨 결과에 근거를 두기 때문이다.

회로의 개폐방전불꽃 에너지가 최소 점화에너지와 일치한다면 본질안전방폭 전기회로의 설계하는 모든 경우에 공학적으로 문제가 없다. 그러나 이와 같은 예는 대단히 작다.

그러므로 본질안전 방폭기술상 최소 점화에너지는 참고치로서 취급하며, 이것에 소염효과를 고려한 실용적인 점화한계가 중요한 설계기준으로써 필요하다.

1. 저압유도회로의 개폐불꽃에 의한 점화 위험성

실제로 본질안전 방폭회로에서 많이 사용되는 것은 유도회로일 경우가 많다.

유도회로에서는 인덕턴스의 크기에 따라 전원전압의 크기가 점화한계에 중요한 요소로 되는 경우도 있고 거의 작용하지 않는 경우도 있다.

유도회로를 개방할 때의 방전은 아크방전, 고주파 간헐방전 및 글로우 방전이 발생한다. 반대로 회로를 닫을 때에는 단간격 방전에 의한 절연파괴가 일어나지만 전극이 기계적인 접촉을 하기 때문에 즉시 소멸된다.

저압유도회로의 방전불꽃은 회로가 닫힐 때보다는 회로가 열릴 때 ($L\frac{di}{dt}$)가 가스로의 점화 위험성이 더 크다. 정상상태시 회로에 흐르는 에너지는 다음과 같다.

$$E = \frac{1}{2} Li^2 \ [J] \cdots\cdots (2.1)$$

여기서 E = 에너지 [J]

L = 인덕턴스 [H]

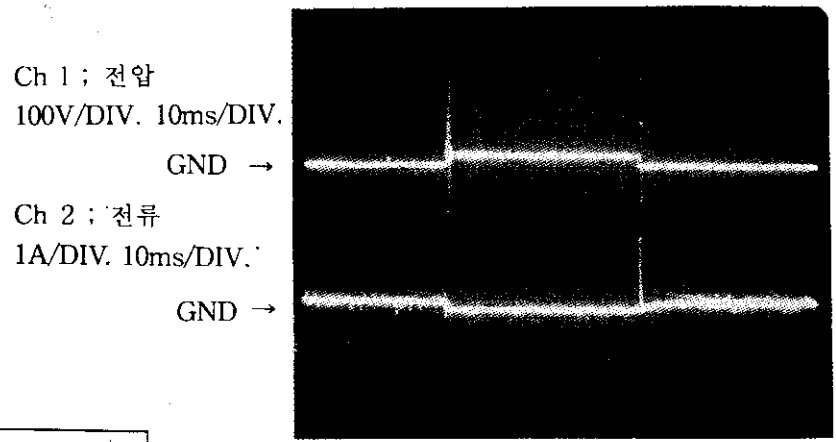
i = 전류 [A]이다.

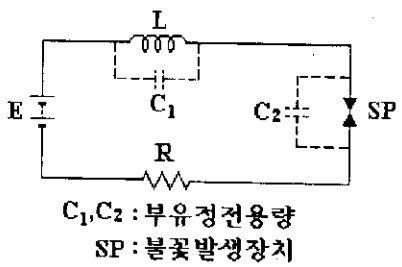
즉 회로를 여는 경우의 방전특성은 주로 회로를 열기 전에 흐르던 전류의 크기에

의존한다. 이때의 회로전류는 전원과 인덕턴스 L에 축적된 電磁에너지 $\frac{1}{2}Li^2$ 의 양자가 공급된다.

그림 2.8은 유도회로에서 회로가 Open 및 Close될 때의 측정 회로도 및 그 개폐파형을 관측한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 Open될 때의 역전압이 상당히 크다. 또한 부유 정전용량 C_1, C_2에 의한 고주파 간헐방전현상을 볼 수 있다.

즉, 본질안전회로의 회로구성품 중에서 릴레이 등과 같이 코일이 있는 경우 Open될 때와 전동기의 전원 인입 코드를 인출할 때가 더 위험하다는 것을 알 수 있다.





C_1,C_2 : 부유정전용량
SP : 불꽃발생장치

(a) 회로도 (b) 개폐파형

그림 2.8 유도회로의 측정 회로도 및 개폐파형

2. 용량회로의 개폐불꽃에 의한 점화 위험성

용량회로의 방전은 콘덴서의 단락불꽃으로서 충전전압에 따라 일정한 전극 간격에서 절연파괴가 일어나게 되며, 이때 충전전압과 방전전류가 크면 아크방전이 발생한다.

용량회로에서 불꽃을 발생시킬 때에는 방전시키는 전극간의 거리를 가깝게 접근

시키지 않으면 안된다. 따라서 발생되는 불꽃에너지의 대부분이 가스에의 점화뿐만 아니라 전극의 가열에도 소비되어 상당히 큰 최소 점화에너지가 된다. 이것을 소염작용(消炎作用 : Quenching Effect)이라고 한다.

용량회로에서 개폐시의 점화 위험성은 회로를 Open할 때보다 Close할 때가 더 위험하다.

그러므로 Close시만을 고려하여도 무방하다.

정상상태시에 콘덴서에 축적된 에너지는 다음과 같다.

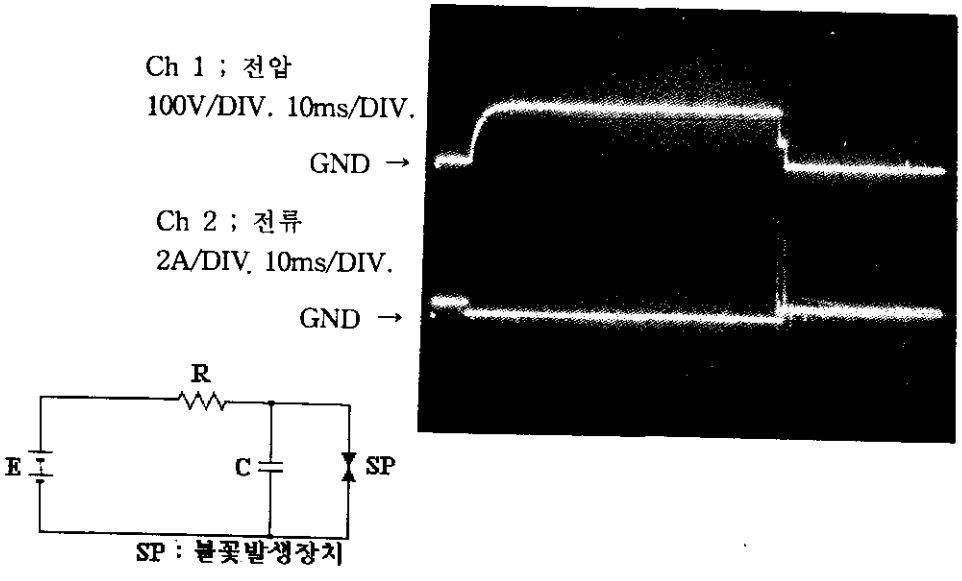
$$E = \frac{1}{2} CV^2 \text{ [J]} \cdots\cdots (2.2)$$

여기서 E = 에너지 [J]

C = 커패시턴스 [F]

V = 인가전압 [V]이다.

다음 그림 2.9는 용량회로에서 회로가 Open 및 Close될 때의 측정 회로도와 그 개폐특성의 파형을 관측한 것이다.



(a) 회로도 (b) 개폐파형

그림 2.9 용량회로의 측정 회로도 및 개폐파형

3. 저항회로의 개폐불꽃에 의한 점화 위험성

저압 저항회로에서는 일반적으로 Open시 및 Close시 양자에 대하여 불꽃이 발생한다. 이들의 경우 불꽃에너지의 공급원은 전원이며, 그러므로 점화전류의 크기는 전원전압의 크기에 따른다.

저항회로를 개방할 때의 방전은 아크방전이 발생하는 경우가 대부분이지만 경우에 따라서는 글로우방전이나 고주파 간헐방전이 발생하는 경우도 있다. 반대로 회로를 닫을 경우에는 아크방전, 고주파 간헐방전 및 글로우방전이 발생하지만 양 전극이 접촉하면 즉시 소멸된다.

정상상태시 회로에 흐르는 에너지는 다음과 같다.

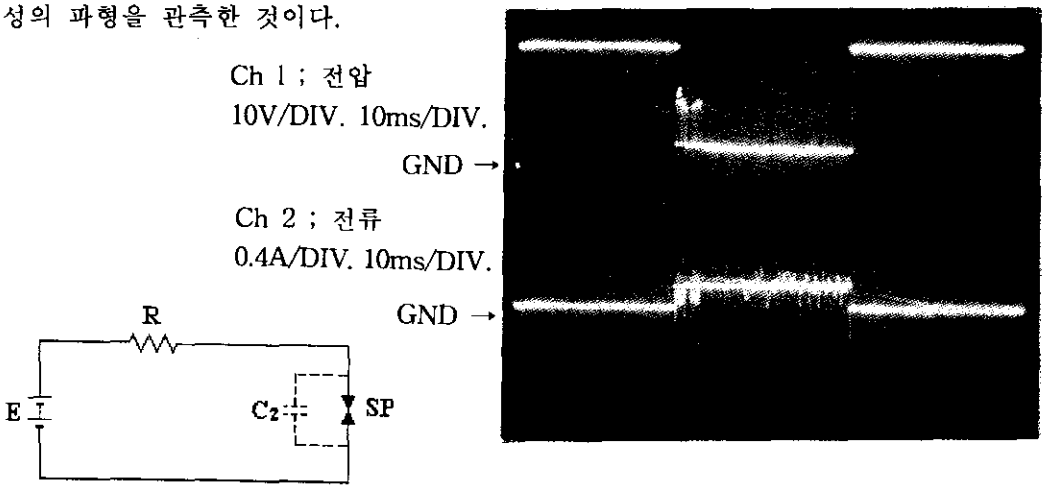
$$E = 4.2\ VI\ [J] \cdots\cdots (2.3)$$

여기서 E = 에너지 [J]

V = 전압 [V]

I = 전류 [A]이다.

그림 2.10은 저항회로에서 회로가 Open 및 Close될 때의 측정 회로도와 그 개폐특성의 파형을 관측한 것이다.



(a) 회로도 (b) 개폐파형

그림 2.10 저항회로의 측정 회로도 및 개폐파형

2.2.3 평가방법 일반

본질안전기기 및 관련기기를 평가하기에 전에 우선 설계사항을 알아야 한다. 본질안전기기를 설계할 때 실제적인 설계 전에 다음 사항이 고려된다.

① 각각의 부품 (IC, 저항, 커패시터 등등), 규격 등
② 각각의 부품 정격
③ 각각의 부품의 에너지 축적능력
④ 정상시 및 비정상시의 동작온도
⑤ 이들 부품의 배치 (진동이완, 각 부품의 거리 등)

위와 같은 설계 고려사항을 기초로 하여 일반적으로 본질안전회로로 설계된 회로의 본질안전성능을 평가하는 순서는 다음과 같다.

① 공급전압의 변동, 절연파괴, 부품의 제조공차 및 고장 등 예상되는 최악의 조건을 결정하고,

② 본질안전 방폭기기의 종류에 따라 적합한 안전률을 적용한 수정된 시험회로를 만들고,

③ 수정된 회로의 정수가 그림 2.2~2.7에 나타난 점화한계곡선 범위내에 해당되는가 확인한다. 평가방법을 구성회로, 전원회로별로 살펴 보면 다음과 같다.

1. 인덕턴스가 1 mH를 초과하는 유도성 회로

회로전류를 1.5배 증가시킨다. 이때 가능하면 회로의 전류제한 저항을 감소시키고 경우에 따라 전압을 증가시킨다.

2. 인덕턴스가 1 mH 이하인 저항성 회로

회로를 다음에 따라 1.5배 증가시킨다.

가. 주 전원의 공급전압을 25%까지 증가시킨다.

나. 주 전원 이외의 공급전압을 최대 공급전압의 10%까지 증가시킨다.

다. 전압제한장치 (예: 분로용 제너다이오드)의 최대 공급전압을 10%까지 증가시킨다.

라. 전류제한 저항값을 감소시킨다. 이때 전류제한 저항이 1개 이상일 경우에는 이들의 모든 저항값을 같은 비율로 감소시킨다.

마. 라.의 방법이 불가능하면 전압을 증가시킨다.

3. 용량성 회로

전압을 1.5배 증가시킨다.

4. 전원회로

그림 2.2~2.7에 나타낸 점화한계 곡선을 구한 회로에서 사용된 전원은 정전압 (Constant Voltage) 및 정전류 (Constant Current)가 아니며 단순한 바테리로 측정한 값이다.

그러나 방폭지역에 사용되는 계기 등은 경우에 따라 정전압 또는 정전류를 요구하기 때문에 그러한 전원을 사용하여야 한다.

이러한 정전압, 정전류의 전원공급기는 방폭지역에 설치되는 기기가 만약 결함이 생겼을 때 단순한 전원공급기보다 더 큰 위험을 야기시킨다. 그래서 본질안전 관련기기로 취급되는 전원공급기에 대한 평가 역시 중요시된다.

다음 그림 2.11은 단순한 전원회로를 나타낸 것이며, 여기서 r은 바테리의 내부저항이다.

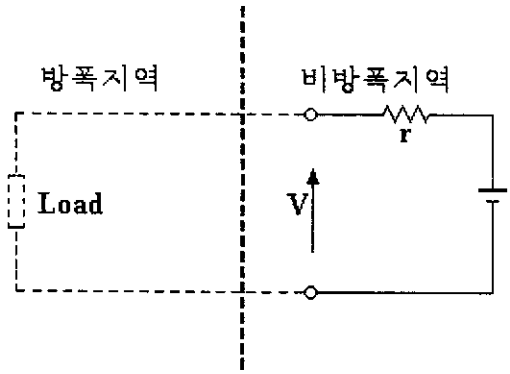
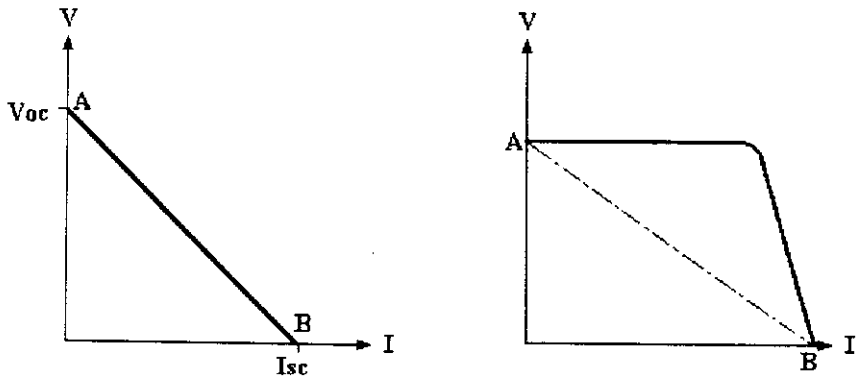


그림 2.11 단순전원

다음 그림 2.12는 단순전원의 전압, 전류특성과 정전압, 정전류의 전압, 전류특성을

비교한 것으로 그림 (a)는 전원회로를 단락시키면 전압은 직선적으로 감소하고 전류는 직선적으로 증가한다. 여기서 I_{SC}는 단락전류를 말하며, V_{OC}는 개방 회로전압을 말한다.

그림 (b)는 정전원 공급기의 특성을 나타낸 것으로 그림 (a)와 비교하면 회로가 단락되어도 단순전원 보다 일정기간 동안 출력전압이 일정하게 유지되기 때문에 더 위험하다.



(a) 단순전원 (b) 정전원

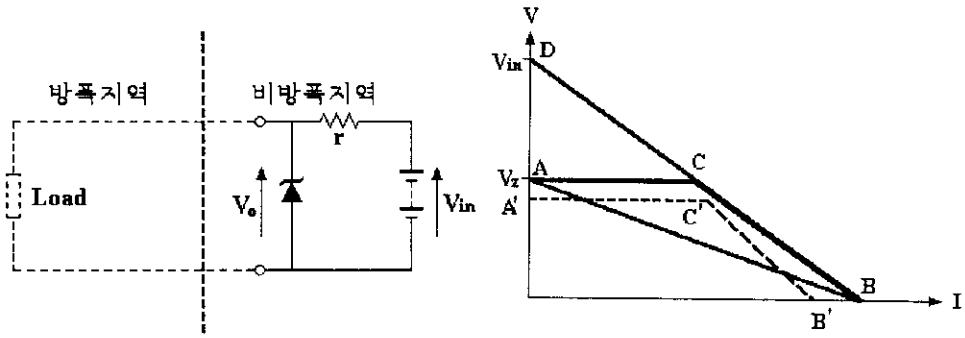
그림 2.12 전원회로의 특성비교

정전원은 다음 그림 2.13과 같이 Zener Diode를 이용하여 정전원의 단락특성을 단순전원으로 근사화시킬 수 있다.

안정화 전원곡선은 ACB이며, 출력전압 V_0는 제너전압 V_Z까지 일정하게 유지시켜 준다. 또한 개방 입력전압 V_{in}을 제너전압까지 일정하게 하여준다.

결국은 그림 (b)에서 비안정화 전원 (단순전원)과 같게 된다.

제너 안정화 전원은 평가시 단순전원으로 하며, 또한 제너전압이 작을 수록 최소점화에너지는 높게 된다.



(a) 회로도 (b) 특성

그림 2.13 안정화 전원

5. 평가의 실례

그림 2.14는 간단한 유도회로의 평가 예로써 본질안전회로의 종류에 따라 안전률 1.5를 적용시켜 필요한 전압, 전류를 구하는 방법은 다음과 같다.

여기서 300 Ω 저항은 최소값으로 전류 제한저항이며, 전원은 바테리, 부하로 사용한 1100 Ω 저항은 최소값이고, 인덕터 100 mH는 최대값이며, 대상가스는 수소가스로 한다.

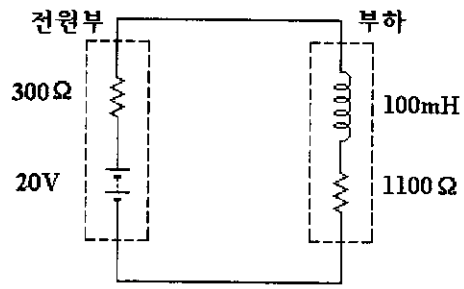


그림 2.14 평가회로 (유도회로)

가. 전원부

사용하지 않은 바테리를 여러개 선정하여 바테리 자체의 최대 전압을 측정하며, 이때 재충전용 바테리는 충전직후의 전압이다.

바테리의 최대 전압을 22 V라고 하면, 최대 단락전류 Is = 22 ÷ 300 = 73.3 mA 이다.

전원부는 L ≤ 1 mH인 저항회로이므로 바테리 전압을 10% 증가시킨다.

$$22 \times 1.1 = 24.2\ V$$

안전률 1.5를 적용한 단락전류는

$$73.3 \times 1.5 = 110\ mA$$이다

나. 부하가 접속된 회로

바테리의 최대 전압은 22 V이고 300 Ω과 1100 Ω의 저항은 최소값이기 때문에 따라서 부하에 흐를 수 있는 최대 전류는 22 ÷ (300 + 1100) = 15.7 mA 이다.

이 경우는 L ≥ 1 mH인 유도회로이므로 안전률 1.5를 적용하였을 경우의 회로 전류는 15.7 × 1.5 = 23.6 mA가 된다.

2.3 Safety Barrier의 개념 및 필요성

방폭의 역사중 본질안전방폭의 혁신적인 기술은 Zener Effect를 이용한 전자부품인 Zener Diode를 개발한 데 힘입어 촉진되었다. 이 Zener Diode 특성을 이용하여 Safety Barrier란 개념이 대두되었다.

본질안전 방폭기기는 용기로 보호하지 않더라도 방폭지역에 설치할 수 있는 저전력 기기로서 저전력 회로는 그림 2.15와 같이 플랜트의 공정을 제어하기 위하여 제어신호를 보내거나 받기 위하여 방폭지역에 설치된다. 이러한 본질안전기기는 비방폭지역의 다른기기와 연결하여 사용될 수 있으며 본질안전회로의 전기적 요구치가 1.3 W 이하라면 본질안전은 가장 좋고 확실한 기술이나, 1.3 W 및 30 V 이상 전압이거나 250 mA 이상의 전류라면 다른 기술 (Safety Barrier 등)이 요구된다.

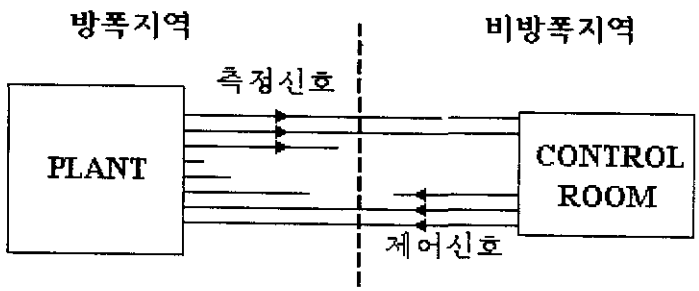


그림 2.15 방폭지역 측정회로

그림 2.15에서 방폭지역 내에 있는 기기에 대하여 정상상태와 사고시에 대한 안전률을 고려하였을지라도 비방폭지역 내에 있는 회로에도 이상전압이 유기되어 본질안전회로의 본질안전성능이 상실될 수 있다.

따라서 어떠한 경우에도 비방폭지역에서 생긴 사고로 인하여 방폭지역의 에너지 수준이 본질안전성능에 손상을 주지 않도록 안전하게 작동할 수 있는 방법을 강구하여야 한다. 이러한 방법으로 사용하는 것이 그림 2.16 및 2.17과 같은 Safety Barrier이다.

다시 말해 Safety Barrier의 사용목적은 본질안전회로의 동작시 사고가 발생하더라도 본질안전성능이 손상되지 않도록 회로의 본질안전성능을 확보하는 보호기기이다.

그러나 본질안전성능의 범주에 속하지 않는 기기나 장치 즉 예를 들면 대용량의 전동기 등은 회로내에 Safety Barrier를 삽입하는 방법으로 본질안전방폭을 만들 수 없다.

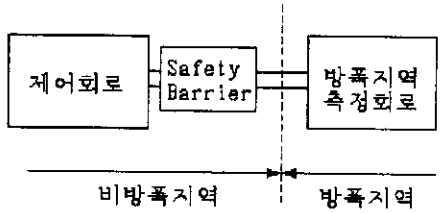


그림 2.16 본질안전회로

그림 2.17 Safety Barrier의 외관

Safety Barrier는 방폭지역으로 유입되는 전기적 에너지 (전압과 전류)를 제한시키기 위한 기구이며, 이 기구는 방폭지역과 비방폭지역 사이에 Interface 역할을 한다. 또한 Safety Barrier는 어떤 장비에 대하여 오차없이 측정을 할 수 있어야 하며 제어신호를 손실없이 통과시켜야 한다.

즉 이는 전압과 전류에 의한 전기적 에너지가 방폭지역에 전달되는 위험성을 각 가스 그룹별로 점화 한계치 이하로 제한하여 줌으로써 기기에 필요한 최소한의 에너지만을 공급하여 본질적으로 점화원을 제거하는 것이다.

Safety Barrier (일명; Shunt Zener Diode Barrier)는 폭발을 일으키는 다음의 조건의 사고가 발생되더라도 폭발을 일으키지 않는 안전성을 입증하여야 한다.

- 방폭지역에서 전선의 단락사고
- 방폭지역에서 전선의 단선사고
- 방폭지역에서 접지사고
- 비방폭지역에서 전원측의 사고로 정상시보다 높은 전압이 입력측에 공급되는 사고

현재 유통되고 있는 Safety Barrier는 크게 Zener Diode를 이용한 Zener Safety Barrier와 Transformer, Photo-Isolator 또는 Relay를 이용한 Isolated Barrier로 나뉘며, 표 2.2와 같은 장·단점이 있고 또한 그 회로를 보면 그림 2.18 및 2.19와 같다.

표 2.2 Safety Barrier의 종류 및 장·단점

Barrier의 종류	장 점	단 점
Zener Safety Barrier	1) 구조가 간단하다. 2) 수명이 길다. 3) 가격이 저렴하다. 4) 가장 많이 사용된다.	1) 접지 설계시 Controller 등 주변기기의 접지 상태에 대하여 제약을 받는다. (1Ω 이하의 1종 접지) 2) 수동장치이다. 3) 접지 Fault에 대하여 제한적인 응답을 한다. 4) 일반적으로 캡슐화되어 휴즈가 나가면 재사용이 불가능하다. 5) 공급전원이 제한된다. 6) 안정화된 전원 공급을 필요하다. 7) 수리 불가능 (애폭시 수지 밀봉)
Isolated Safety Barrier	1) Zener Barrier 보다 더 안정적이다. 2) 접지 Fault에 대하여 유동적인 응답을 한다. 3) 일반적으로 접지를 필요로 하지 않는다. 4) 능동장치이다. 5) 휴즈 단선시 교환이 가능하다. 6) 넓은 범위의 공급 전원을 수용한다. 7) 아나로그 신호 전송에 좋다. 8) 안정화된 전원 공급 불요. 9) 수리가 가능하다.	1) 구조가 복잡하다. 2) 값이 비싸다.

방폭지역의 기기는 에너지를 축적하는 기기와 그렇지 아니한 기기로 나뉜다. 에너지를 축적하는 기기로는 온도 트랜스미터, 유량이나 압력 트랜스미터 또는 I/P Converter 등이 있으며 이는 본질적으로 안전한 기기이어야 한다.

이러한 기기는 공인검정을 받아야 하며 에너지를 축적하지 않는 기기로는 Thermocouple, RTD, Photocell, LED, Switch 등이 있으며 이러한 기기는 공인검정된 Barrier의 사용으로 안전성을 확보할 수 있다.

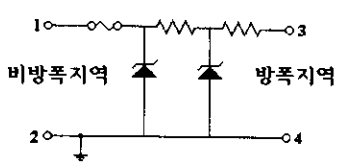


그림 2.18 Zener Safety Barrier 회로도

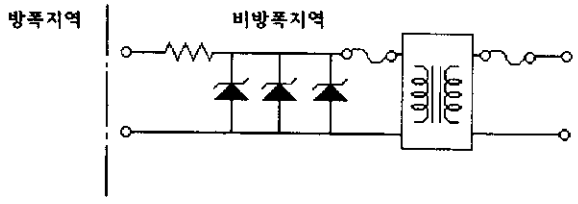


그림 2.19 Transformer Isolated Barrier 회로도

2.4 Zener Safety Barrier의 설계 및 구성

2.4.1 Zener Diode의 동작 및 특성

Zener Safety Barrier를 설계하기 위해서는 우선 전자부품인 Zener Diode의 특성을 알아야 한다.

일반용 다이오드의 순방향에 실효전압 약 0.1 V 이하를 인가하면 전류는 흐르지 않으나, 대략 전압을 0.9 V~1.1 V까지 인가시키면 전류는 흐르기 시작한다.

인가전압을 계속 증가시키면 전류는 대체로 회로저항에 의해 최종적으로 제한된 인가전압과 함께 급속히 증가한다.

그러나 인가전압을 더욱 증가시켜도 다이오드에 걸리는 전압은 약 1 V를 유지한다. 이 실효값이 다이오드의 순방향 전압강하이다.

한편, 다이오드에 역전압을 인가하면 다이오드 설계시의 최대 역전압을 초과시키지 않는 범위에서는 아무런 현상이 나타나지 않는다. 그러나 계속하여 다이오드가 도체로 되는 지점까지 전압을 증가시키면 어느 지점에서 역방향을 지나는 전압의 미소 변동에 대하여 전류는 매우 급격히 변한다. 역도통이 일어나는 이 지점을 "제너전압 또는 제너항복전압"이라 한다.

결국 Zener-Diode의 특성은 Zener 방향에서 전압은 입력전압에는 상관없이 일정한 값으로 제한되는 것을 알 수 있다. 그림 2.20은 제너특성을 나타낸 것이다.

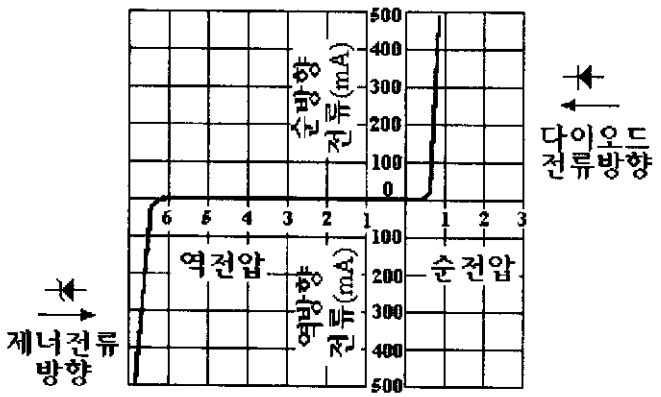


그림 2.20 제너특성

제너다이오드의 순방향 전압강하는 일반 다이오드와 마찬가지로 약 1 V이다.

다음 그림 2.21 (a), (b)에서 단방향 전압을 단자 A, B에 앞에서 언급한 제너전압을 초과하지 않도록 인가하며, 또한 이 공급전압은 기기를 동작시키는데 충분하다고 하면 다음의 2가지 현상을 알 수 있다.

① 공급전압을 Zero에서 증가시켜도 전류는 제너전압에 도달될 때까지 다이오드에 흐르지 않는다. (일정전압 유지, 출력단으로 사용)

② 다이오드에 아주 큰 전류가 흐를 때까지 공급전압을 계속 증가시키면 단자 A, B에 걸리는 전압은 제너전압에서 클램프된다. (일정전압 차단, 입력단으로 사용)

종종 동작상의 이유로 단자 A, B에 負의 극성을 공급하게 된다. (그림 2.21 (c))

전원 공급전압을 증가시킴에 따라 다이오드는 도체 (1 V의 순방향시간)가 될 것이다.

만약 그림 2.21 (d)에서 제너다이오드가 동일하고 동일 전원공급기와 접속되었다면 단자 A, B는 하나의 다이오드 순방향 전압강하에 다른 하나의 다이오드의 제너 값까지 더한 값으로 클램핑 된다. 이러한 현상은 교류회로에 이용할 수 있다.

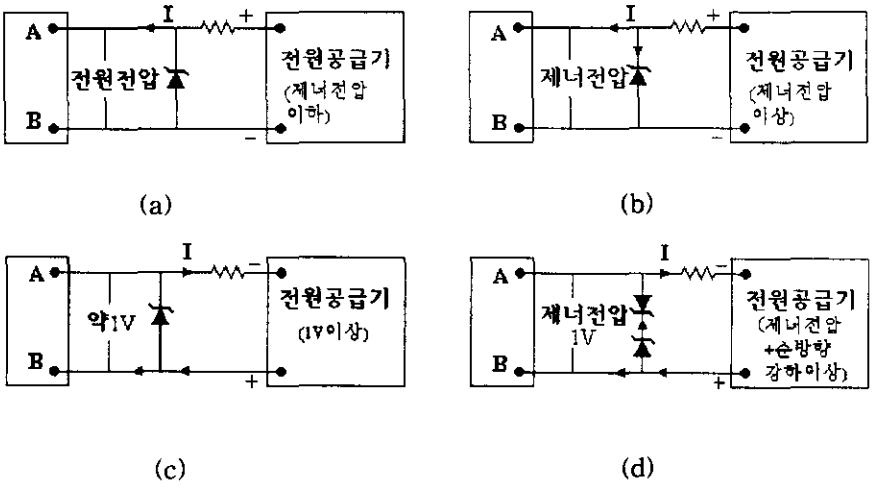


그림 2.21 제너다이오드의 동작

다음 그림 2.22는 릴레이 등의 유도회로에서 다이오드를 이용하여 역기전력 (역전압)을 억제시키는 방법을 나타낸 것이다. 그림 (b)에서 회로가 차단될 때에는 $E + L\frac{di}{dt}$ 의 최대 전압이 유기된다. 그림 (c)는 다이오드를 이용하여 di/dt를 감소시키는 것을 나타낸 것이다.

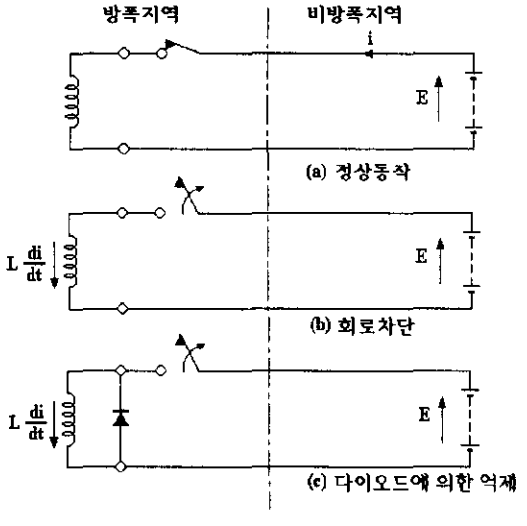


그림 2.22 다이오드에 의한 역전압의 억제 예

2.4.2 Zener Safety Barrier의 설계

현장에 설치하는 기기는 개방전압이나 Barrier (또는 Barrier의 조합)에서 공급할 수 있는 전류보다 더 큰 단락전류에서도 안전성을 입증하여야 한다.

Zener Safety Barrier는 본질안전회로의 전류와 전압을 일정한 수준 이하로 한정하기 위하여 설계 제작된 것이며 아울러 Zener Safety Barrier를 설계하기 위해서는 다음과 같은 몇가지 조건을 기초로 하여야 한다.

1. 안전정격 (Safety Rating)

Zener Safety Barrier를 통하여 방폭지역에 흐를 수 있는 최대 전력은 그림 2.23과 같이 단자 3과 4가 단락되었을 때 회로에서 발생하는 스파크로 나타난다.

이 조건에서 전류는 제너다이오드 Z_2의 제너 제한전압에서 저항 R_2를 통하여 흐를 수 있는 최대 전류가 된다.

따라서 Zener Safety Barrier의 안전정격은 제너 제한전압 VZ_2와 저항 R_2에 의하여 결정된다.

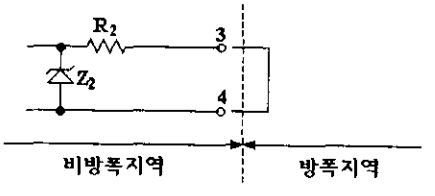


그림 2.23 Zener Safety Barrier의 출력 결정

사용하는 부품의 공차로 인하여 최대 출력조건은 기본적인 수치로 계산된 값과는 같지 않을 수도 있으며, U_z는 Zener Safety Barrier의 최대 출력전압을 나타내며 표시된 저항은 최소값을 나타낸다.

이 값은 Zener Safety Barrier의 기본정격과 동일할 수도 있다. 예를 들어 28 V, 300 Ω의 Zener Safety Barrier에서는 U_z = 28, Ω = 300 이다. 그러나 어떤 경우에는 약간의 차이가 있다.

따라서 실제의 값은 제조자가 사용한 부품과 설계방법에 따라 변화될 수 있으

며, 이러한 조건의 출력은 회로의 기본동작 특성으로 인하여 입력에는 상관없이 결정되는 최대값이다.

2. 휴즈정격과 최대 전류와의 관계 (단락회로)

Safety Barrier의 최대 출력전류는 자체의 저항에 의해 결정되며 이 값은 휴즈의 정격전류보다 작거나, 또는 최소한 휴즈정격 × 1.7보다는 작아야 한다.

따라서 휴즈값은 Safety Barrier 사용자와 관계가 있는 것이 아니라 Diode Watt 계산용으로 Safety Barrier의 설계자에게 중요한 것이다.

이것은 그림 2.24와 같이 Safety Barrier가 단락보호회로라는 것을 의미하며 단자 3과 4에서 최대 전류는 저항기에 의해 결정되는 것이지 휴즈값에 의해 결정되는 것은 아니다.

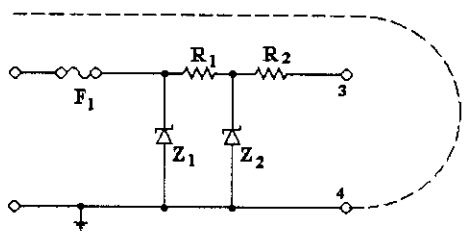


그림 2.24 Zener Barrier의 단락회로

3. 저항

Zener Diode가 전압제한소자인 반면에 저항은 전류제한소자이다. 저항은 고장이 없는 부품으로 간주하며, 이는 고장이 단선형태로만 발생된다는 것을 의미한다. 이러한 저항은 권선형이나 피막형 저항기를 사용하여야 한다.

4. 끝과 끝 저항 (End-to-End Resistance)

End-to-End 저항이란 그림 2.25와 같이 단자 1과 3 사이의 전체 저항값을 나타내며, 저항 R_1, R_2의 합과는 다르다.

따라서, Safety Barrier의 안전정격으로 표시되는 저항값보다는 높다. 예를 들어

28 V, 300 Ω 베리어의 경우 End-to-End 저항값은 약 370 Ω 정도가 된다. 이 값은 제조상의 공차를 고려하여 최대값으로 표시되지만 일반적으로 이 값보다 약 5% 적다.

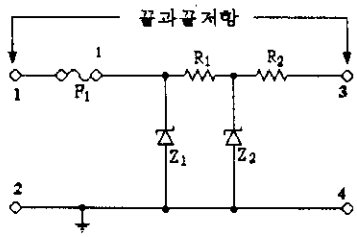


그림 2.25 Barrier의 End-to-End 저항

5. 작동전압 (Working Voltage)

정상동작 중에 있는 Zener Safety Barrier의 전압은 Zener 전압보다 낮아야 하며, 만일 그렇지 않을 경우에는 1-3번 선과 2-4번 선 사이가 도통하게 된다.

Zener Diode의 특성을 살펴보면 그림 2.26과 같이 제너항복점에서 완만한 곡선을 그리고 있으며, 이 지점을 무릎 (Knee) 전류 특성이라고 한다.

Zener Safety Barrier에 표시된 Zener 전압보다 약간 작은 전압 (일반적으로 2~3 V 이하) V_L에서 아주 적은 2~3 μA의 누설전류가 흐르며 제조상의 공차로 인하여 10 μA 이하까지 허용된다, 이때의 전압을 Working Voltage라 한다.

예를 들어 28 V, 300 Ω Safety Barrier의 Working Voltage는 약 26 V 정도이며 Safety Barrier을 이상적으로 사용하기 위한 전압은 24 V이다.

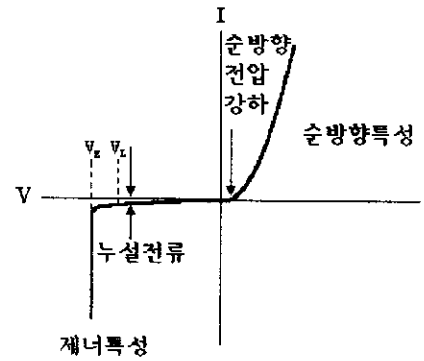


그림 2.26 Zener Safety Barrier의 무릎 전류 및 누설전류

2.4.3 Zener Safety Barrier의 구성

Diode에 인가되는 전압이 Zener 전압보다 높으면 Zener Diode의 파괴로 인하여 Zener Diode 내부 임피던스에는 관계없이 Zener 방향으로 많은 전류가 흐르게 되므로 외부의 수단에 의해서 흐르는 전류를 제한하여 줄 필요가 있어 Safety Barrier 회로 내부에 휴즈를 삽입하며, 이때 Zener Diode에 소비되는 최대 전력은 다음 식으로 표시된다.

$$Watts = F_1 \times 1.7 \times Z_1 \times 1.05 \times 1.1 \times 1.5 \cdots\cdots (2.4)$$

여기서

F_1 : 휴즈의 정격전류

1.7 : 휴즈정격의 1.7배

Z_1 : 전압

1.05 : 제너전압의 최대 허용공차

1.1 : 상기의 제너전압에서의 단락써어지에 대해 허용하는 안전률

1.5 : 안전률이다.

또한 다이오드는 베리어와 조합하여 최대 주위 온도에서 다이오드 제조자가 정하는 최대 접합부 온도를 초과하지 않아야 한다. 즉 이 의미는 다이오드의 소비전력이 5 Watt 범위 이내이어야 한다는 것을 뜻한다.

소비전력은 전압 x 전류이므로 그림 2.27과 같이 제너전압의 합이 요구되는 전압과 같도록 Zener Diode를 직렬로 사용하므로써 각각의 Zener Diode에서 소비되는 전력을 줄일 수 있다.

일반적으로 Zener Safety Barrier는 i_a의 본질안전 방폭기기로 설계·제작되므로 두개(Two Fault)의 사고를 고려하여야 한다. 따라서 그림 2.28과 같이 Zener-Diode 3개를 병렬로 구성한다.

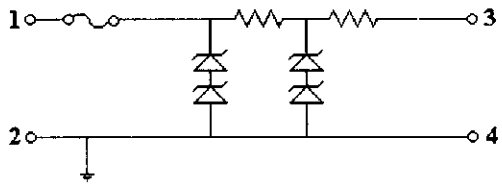


그림 2.27 2-Diode의 Zener Safety Barrier 회로도

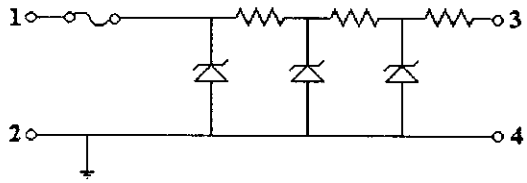


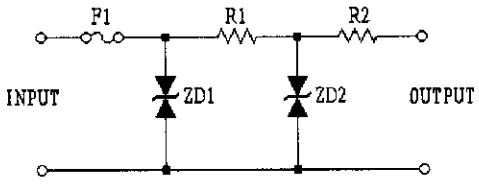
그림 2.28 3-Diode의 Zener Safety Barrier 회로도

2.5 Safety Barrier의 제작 및 평가

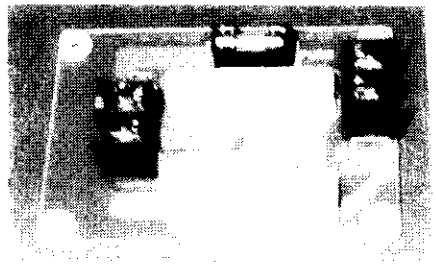
세계적으로 베리어를 전문생산, 판매하고 있는 회사는 PEPPERL+FUCHS, MTL 등이 있다. 본 연구에서는 베리어의 특성과 국산화 차원에서 자체적으로 설계, 제작하여 평가를 하는 것으로 하였다.

본 연구에서 제작한 Isolated Safety Barrier의 용도는 수위 감지용 센서에 조합시켜 사용할 수 있는 것으로 그림 2.28에 그 회로도와 외형사진을 나타내었다. 그림 2.29 (a)의 입력단에는 릴레이 접점코일로부터 접속되고 출력단에는 저항값의 변화에 따른 접점신호를 만든다.

여기서 F_1은 Fuse이며 R_1, R_2는 Current Limit Registor이고 ZD_1, ZD_2는 Voltage Regulated Diode이다. 평가중 가장 중요시되는 것은 교류 Zener Diode (일명; VRD)의 클램핑 전압의 허용치이다. 또한 릴레이에 의해 신호를 분리하기 때문에 접지는 필요로 하지 않는다.



(a) 회로도



(b) 외형사진

그림 2.29 시작품의 회로도 및 외형사진

여기서 사용한 대칭 제너다이오드 (VRD)는 교류회로에서 펄스, 클립 등 고임피던스 신호 회로 중에서 오동작 등을 방지하기 위하여 회로에 사용된다. 제너다이오드를 서로 역방향으로 접속한 것과 같아서 급격히 변하는 전기적 신호를 흡수하거나 전압을 제어할 수 있다. 그림 2.30은 VRD의 특성 및 회로도이며 그림 2.31은 이와 유사한 동작 (AC or Non-Polarized)을 제너다이오드를 이용하여 구성한 것이다.

본 연구에서 시작 및 평가한 교류용 Safety Barrier는 동작상 큰 결함은 없었으나, 휴즈를 교체할 수 없도록 밀봉시키는 것 등 외관 및 부품의 배치를 고려해 보아야 할 것이다.

또한 본 시작품의 장점이라면 직류용 Zener Diode는 2개를 사용 하여야만 교류회로에 적용시킬 수 있으나, 여기서는 VRD 하나만으로도 교류회로를 적용시킬 수 있기 때문에 회로의 간편성, 저가격화를 이룰 수 있다.

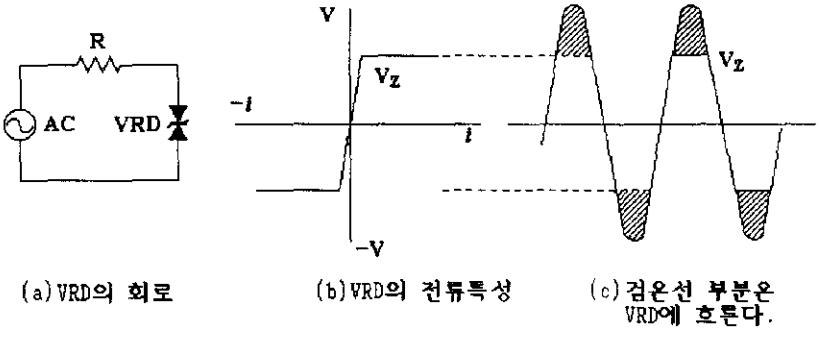


그림 2.30 VRD의 특성 및 회로도

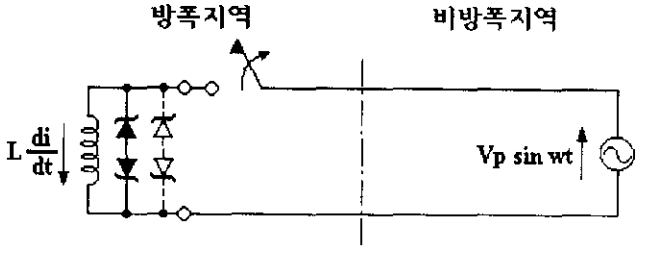


그림 2.31 제너다이오드의 교류회로 (유도성회로)에 응용

제3장 본질안전기기 및 관련기기의 사용안전

3.1 본질안전기기 및 관련기기의 접지

본질안전기기 및 관련기기의 접지에 대해서는 접지분야가 매우 광범위하므로 본 보고서에서는 모두 다룰 수 없으며, 아래와 같은 연구 및 기술자료를 참고로 하여 접지를 실시하기 바라며 본 내용에서는 개략적으로 언급한다.

- 「전기설비의 접지기술」, 산업안전연구원 연구보고서, 기전연 92-5-9, 1992. 10.
- 「전기설비 접지계통의 접지저항 및 최대 접지망 전류의 산정방법」, 산업안전연구원 기술자료, 기전연 92-14-18, 1992. 7.
- 「접지설계입문」, 동일출판사, 1993.
- 「산업용 플랜트의 전위분포 해석에 관한 연구」, 산업안전연구원 연구보고서, 기전연 94-5-7, 1994. 12.

Zener Safety Barrier의 접지단자는 총 접지루푸 임피던스가 1 Ω (되도록 0.1 Ω) 이하가 되도록 접지하여야 한다. 그 이유는 Zener Safety Barrier에 사고가 발생하여 높은 전압이 유기되었을 때 Zener Diode가 도통하게 되어 사고전류를 접지점으로 쉽게 By Pass시키기 위한 것이다. 따라서 낮은 접지저항과 기계적으로 완벽한 설치가 요구되기 때문에 접지용 Busbar와 접속용 전선은 공칭 단면적이 큰 것을 사용하여야 한다.

그림 3.1은 전형적인 시스템으로 교류/직류 전원회로에 교류전압을 공급하는 변압기와 배전설비로 되어 있다.

교류/직류 전원회로에서 베리어에 적절한 직류전압을 공급하며 베리어에 접지가 접속되어 있지 않는 경우, 만일 변압기와 교류/직류 전원회로에 사고가 발생하면 접지에 대하여 고전압이 제너베리어의 방폭지역측 단자에 공급된다.

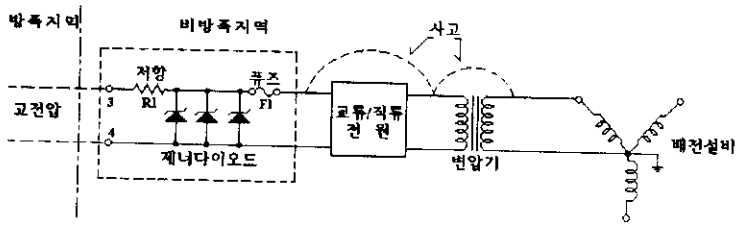


그림 3.1 접지가 않된 Zener Barrier

그러나 그림 3.2는 위 그림 3.1과 같은 회로이나 접지가 되어 있는 점이 다르다.

그림 3.1에서와 같은 사고가 발생하면 제너다이오드에 고전압이 인가되어 고장전류는 접지를 통하여 회로가 형성되어 배전설비로 흐르게 되며, 이때 과전류로 인하여 휴즈가 끊어지게 된다.

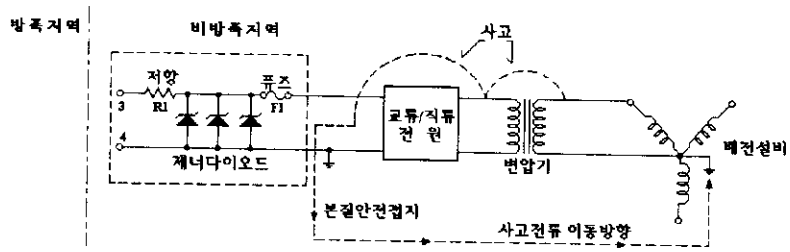


그림 3.2 접지가 되어 있는 Zener Barrier

3.2 본질안전기기 및 관련기기의 조합방법

3.2.1 일반적 사항

본질안전기기와 관련기기의 Interface를 위하여 Zener Safety Barrier 또는 Isolated Safety Barrier를 선택할 때 대부분의 사용자들은 어려움을 갖게 된다. 일반적으로 Barrier는 Zener Diode 등 수동소자를 사용하기 때문에 가격이 저렴하나 1 Ω 이하의 1종 접지를 필요로 하고 전원회로와 접지문제 등 계장회로 설계에 제약을 준다.

이에 반해 Isolator는 일반적으로 접지를 필요로 하지 않으며, 전원회로는 신호회로와 분리되어 있기 때문에 전압강하 등이 다른 회로에 영향을 주지 않으므로 계장회로

설계시 특별한 지식을 필요로 하지 않는다.

이와 같은 이유로 최근에는 Isolator의 사용이 급증하는 것이 세계적인 추세다.

다음 그림 3.3은 Barrier의 Interface 개념도를 나타낸다.

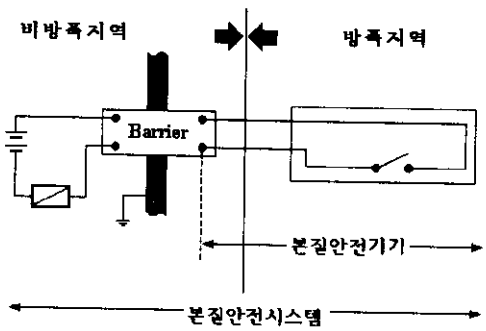


그림 3.3 Barrier의 Interface 개념도

Zener Safety Barrier를 제외한 기타의 본질안전 인터페이스로는 본질안전 전원공급기, Photo-Isolator, Relay가 있다.

본질안전 분야에서 제너 (션트)베리어의 구성은 방폭지역에서의 접지결함 영향, 시스템설계의 복잡성 등의 이유로 매우 중요하다. 여기서는 베리어의 여러 응용분야에서 몇 가지 주요한 원리를 소개하면, 본질안전기기와 관련기기를 조합시키는데 사용되는 베리어는 크게 다음과 같은 2가지 방법이 이용된다.

- Switch-Operated Relay
- Photo-Isolated System

다음 그림 3.4는 Switch-Operated Relay의 원리를 나타낸 것이며, 여기서 IS (Intrinsic Safe) Transformer는 특수하게 설계된 것이고, 릴레이는 코일과 접점 사이의 전기적 분리를 행한다. 방폭지역의 스위치가 닫히면 비방폭지역 릴레이 접점 b, c가 닫힌다. 이러한 스위칭 동작은 방폭지역에서 비방폭지역으로 전달된다. 방폭지역에서 1개의 접지결함이 발생하여도 동작상 영향을 받지 않는다.

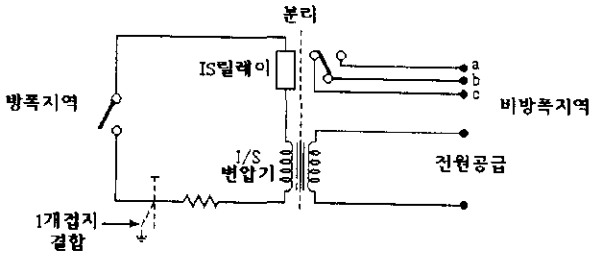


그림 3.4 Switch-Operated Relay의 원리

다음 그림 3.5는 Photo-Isolated System을 나타낸 것이다. Photo-Isolated System은 캡슐화된 발광다이오드와 수광 트랜지스터로 구성되며, 빛에 의하여 스위칭 동작을 하고 또한 전기적 분리를 행한다.

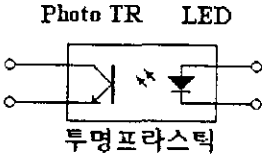


그림 3.5 Photo-Isolated System의 원리

3.2.2 Simple Apparatus

일반적인 Zener Barrier 및 Transformer Isolated Barrier는 본질안전 시스템에서 Non-Energy-Storing Simple Apparatus (미국의 경우: Non-Voltage-Producing Simple Apparatus)에 사용된다. 이 Simple Apparatus는 유럽이나 미국지역에서는 공인기관에서 이미 인정하고 있으나 우리나라와 일본에서는 아직 적용하지 않고 있다. Simple Apparatus에 해당되는 것으로 Contact Closure, Switch, Photocell/Photovoltaic Cell, LED, Resistor, Thermocouple, Transducer, Moving Coil Meter 등이 있으며, 사용되는 전기적인 에너지로 보면 1.2 V, 0.1 A, 2 μJ 또는 25 mW 이하를 말한다.

이외의 기기는 전적으로 공인된 입증을 받아야 하고 Simple Apparatus만이 본질안전 시스템에 사용할 수 있다.

3.2.3 기기별 조합방법

본질안전기기와 관련기기의 조합에 가장 많이 이용되는 Zener Safety Barrier는 제품의 특성, 용도 및 적용기술 등이 매우 다양하므로 본 보고서에서 모두 다룰 수 없다. 그러므로 사업장의 안전관리자보다는 공무계통 (특히 전자분야나 전기계장 전공)에서 이들 제품을 설치하는 장소에 부합되게 제조자와 긴밀한 기술적 의견을 나누어 선정하는 것이 바람직하다.

다음 그림 3.6은 영국의 BS 5345 Part4에서 제시하는 본질안전 시스템을 선정하기 위한 흐름도를 나타낸 것이다.

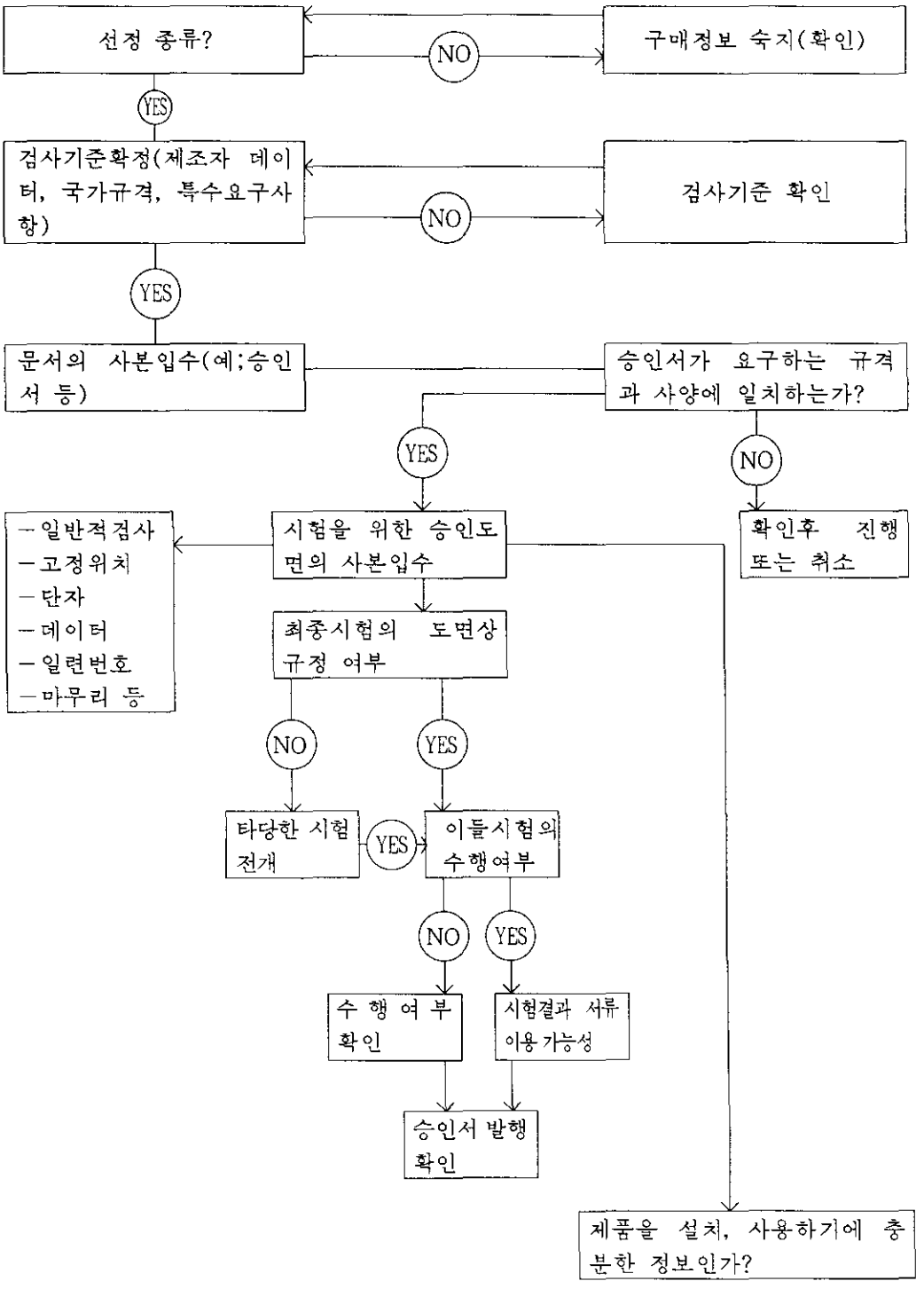


그림 3.6 본질안전 시스템의 선정 흐름도

또한 이들 본질안전 관련제품을 생산하는 외국의 회사는 Ametek (Panalam), B/W Controls, Balley Controls, ABB Process Automation, Contrec, Crouse Hinds ECM, Elcon Instruments, Electro, Fisher Controls, Imo Industries, Leeds & Northrup, Magtech, MTL, Pepperl+Fuchs, Ronan Engineering, R. Stahl, Tele-Denken Resources, Warrick Controls, Westinghouse Electric가 있으며, 특히 국내의 경우는 한일레벨(주)가 수년 전에 과기처 (한국기계연구소)와 함께 Zener Safety Barrier를 국산화하였으며, 본질안전기기에 대한 국내 제작회사는 10여개 미만으로 파악되었다.

다음은 본질안전기기 및 관련기기의 조합방법을 영국 MTL 社의 자료를 발췌하여 예를 들어 설명한 것이다.

1. Thermocouple

Thermocouple은 외부 전원공급을 필요로 하지 않으며 대략 30 mV의 열기전력을 발생하므로 만약 선로가 단락되었다 하더라도 주위의 폭발성가스를 점화시킬 능력은 없다.

그림 3.7은 2 채널 "Star" 접속한 배리어를 나타낸 것으로 수신장치의 입력회로가 Float되므로 Common Mode AC와 DC 간섭을 제거할 수 있으며 접지결함의 영향을 받지 않는다.

열기전력으로 인한 오차를 제거하기 위하여 보상케이블을 사용하여야 하며, 가동코일 또는 낮은 저항의 수신장치에 연결시에는 접속 저항값을 확인한다.

미국 규정은 Thermocouple에 접지하는 것을 허용하나, 유럽국가 및 IEC 가입국가들은 Thermocouple 및 케이블이 500 V의 절연상태를 유지하여야만 이 방법을 허용한다.

만약 이와 같은 절연상태가 확보되지 않을 경우는 방폭지역에 Isolating Transmitter를 설치하여 이를 통과한 후 Barrier로 연결하여야 한다. 다른 방법은 Isolator를 사용하여 해결할 수도 있다.

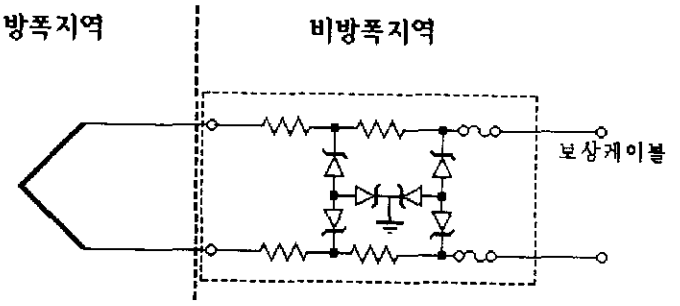


그림 3.7 Thermocouple의 응용 예

2. Photocell, AC Sensor

Thermocouple의 사용 예와 마찬가지로 Photocell, Flowmeter, Alternating-Current Sensor 등이 이에 해당되며, 만약 이들 센서가 1.2 V, 0.1 A, 2 μJ 또는 25 mW 보다 작은 전력을 소비하거나 발생시키면 공인검정을 받지 않은 것을 방폭지역에 사용할 수 있다.

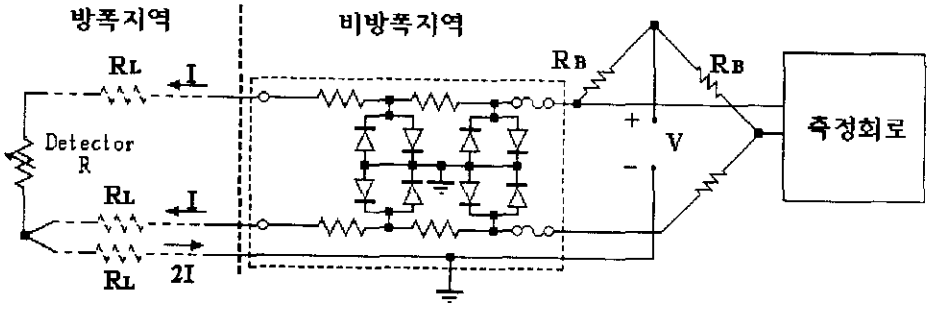
3. Resistance Temperature Detector (RTD)

RTD는 일반적으로 500 V에 견디도록 절연하기 때문에 Barrier를 사용할 수 있다. 만약 전송거리가 길 경우는 RTD Transmitter가 필요하다.

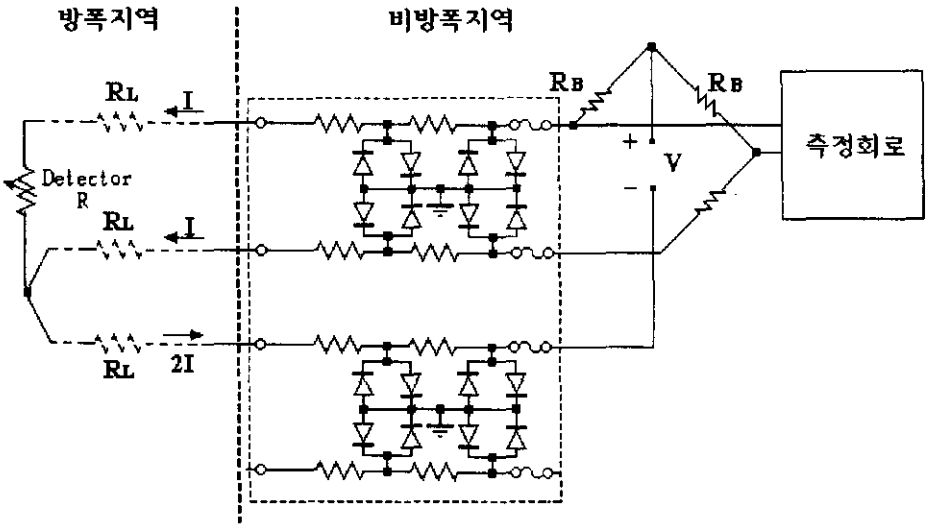
3-Wire RTD 사용시는 브리지 회로가 Floating되어 있으면 그림 3.8 (a)와 같이 0 V Return 기능이 있는 2-Channel 용 Barrier 1개로 구성할 수 있다.

만약 브리지 회로가 접지되어 있으면 그림 3.8 (b)와 같이 세 번째 채널이 필요하며, 실질적으로 2-Channel Barrier의 반만 사용하게 된다. 정밀도를 극대화하기 위하여는 브리지 회로를 Floating시키고 3개 채널의 베리어를 사용하는 것이 좋다.

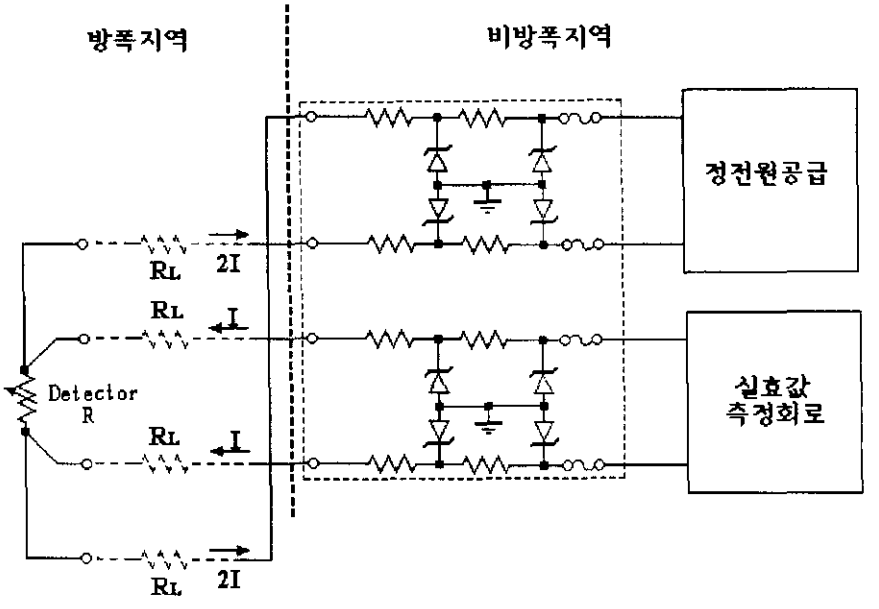
그림 (a), (b)는 저전압 베리어이며, 4-Wire RTD인 경우는 2-Channel 배리어 2개를 사용하여 그림 3.8 (c)와 같이 구성할 수 있다.



(a) 브리지가 Floating된 경우



(b) 브리지가 접지된 경우



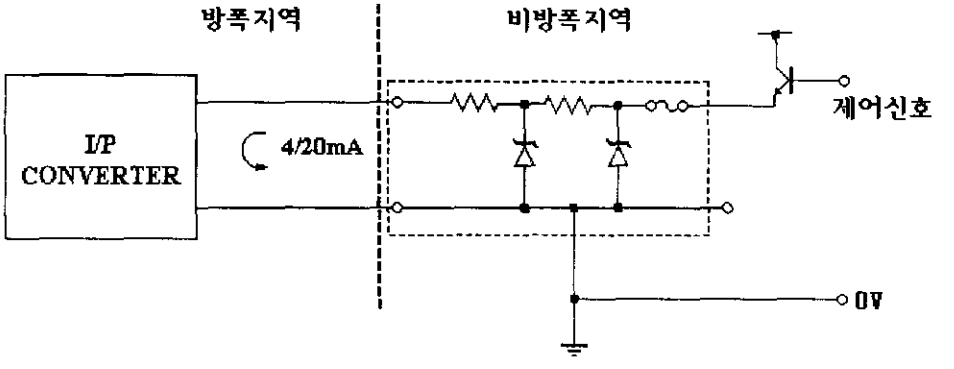
(c) 4-Wire RTD 응용 예

그림 3.8 RTD 응용 예

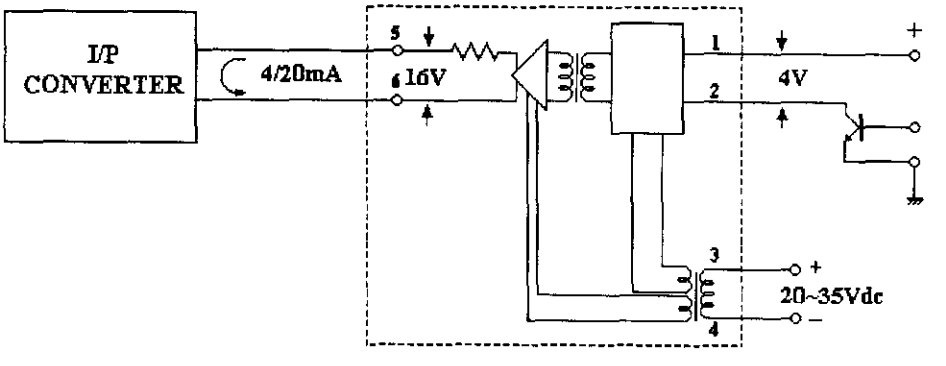
4. Controller Output (I/P Converter)

그림 3.9 (a)는 가장 기본적인 회로며, 만약 콘트롤러의 출력전류가 콘트롤 TR에 의해 0 V Rail에서 Floating되어 있으면 2-Channel Barrier를 사용하여야 하며, 또한 궤환전류를 모니터하기 위한 저항이 있는 콘트롤러를 구동하기 위해서는 2-Channel Barrier가 사용된다.

그림 3.9 (b)는 아이솔레이터를 사용하여 접지시킨 예이며, 이것은 콘트롤러 출력회로에 관한 정보가 필요없다.



(a) 1-Channel Barrier 사용



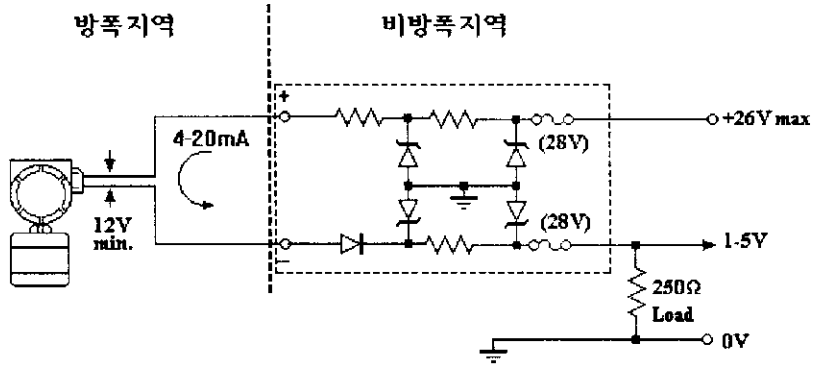
(b) 접지시킨 Controller

그림 3.9 I/P Converter

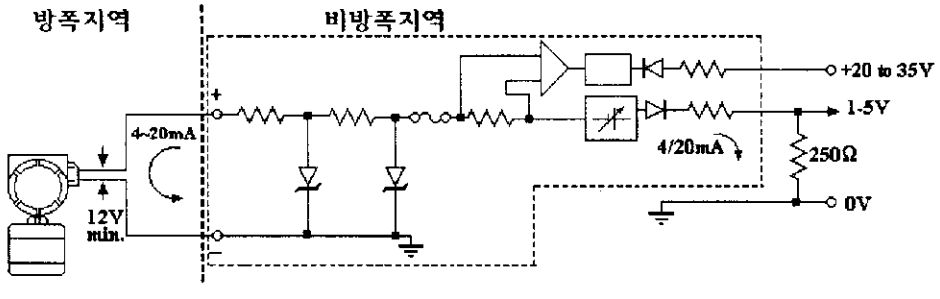
5. 2-Wire Transmitter

만약 전원공급이 일정하다면 그림 3.10 (a)와 같이 2-Channel Barrier를 사용할 수 있고, 그림 3.10 (b)는 전원공급이 비교적 불안정할 때 구성하며 과전압 보호장치를 강구한다.

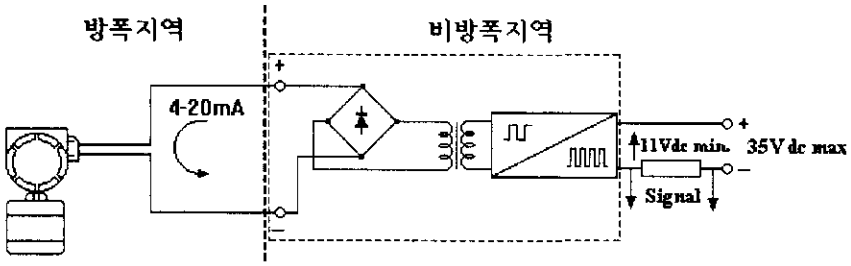
그림 3.10 (c)는 아이솔레이터를 사용한 예이며, 이 방법은 Non-Isolating Transmitter와 함께 조합접지된 센서 사용이 가능하며, 접지 결함을 방지할 수 있다. Floating된 출력을 제공하므로 콘트롤러의 배선방법 등 설계에 편리하다.



(a) 2-Channel Barrier



(b) Floating-Drive Barrier

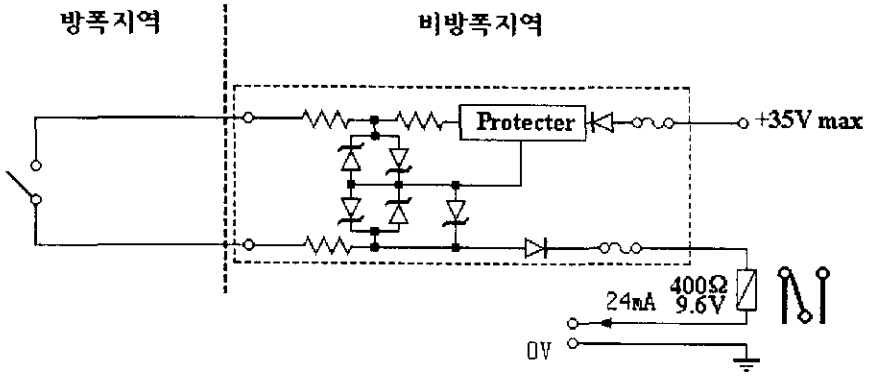


(c) Isolator 사용 예

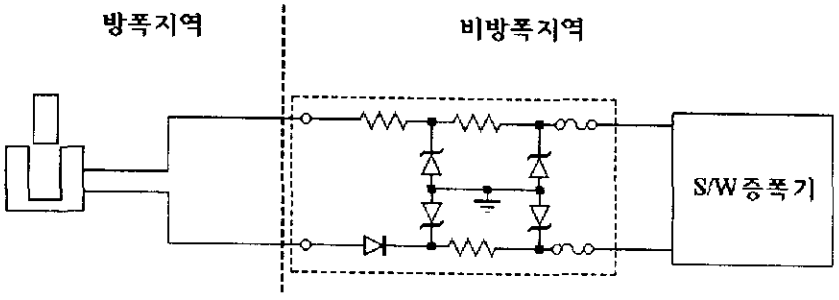
그림 3.10 2-Wire Transmitter 응용 예

6. Switch

그림 3.11 (a)는 과전압 보호장치가 내장된 2-Channel Barrier를 사용한 예이며, 그림 3.11 (b)는 일반스위치 또는 근접스위치 사용시 응용되는 회로이다.



(a) Overvolt-Protected Barrier and Seperating Relay



(b) 근접스위치에 적용 예

그림 3.11 스위치와 근접스위치 응용 예

7. Solenoid Valve, Audible Alarm, LED Indicator

그림 3.12 (a)는 기본적인 구성방법이며, 과전압 보호회로가 내장된 것으로 Solenoid Valve에 적용시킨 예이다.

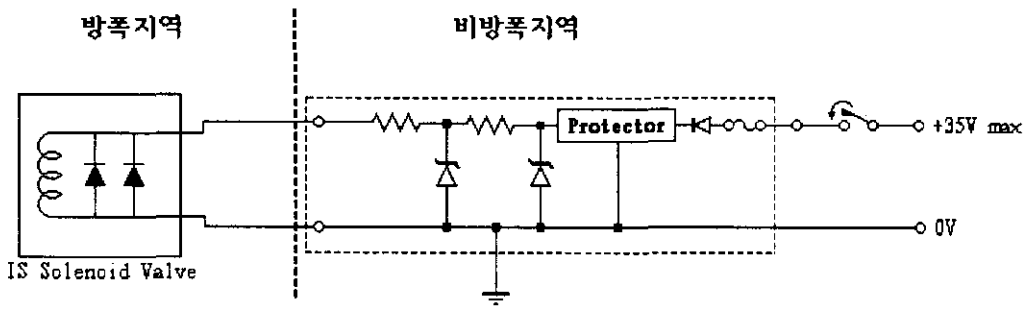


그림 3.12 Solenoid Valve의 응용 예

8. 그 밖의 응용분야

Safety Barrier의 그 밖의 응용분야로는 다음과 같은 기구에 적용된다.

- Pulse Output
- Strain-Gauge Bridge
- Gas Detector
- Fire-Smoke Detector
- Potentiometric Position Indicator
- Power Amplifying Switch
- Earth-Leakage Detector

3.3 Safety Barrier의 선정 및 설치방법

3.3.1 선정방법

일반적인 Zener Barrier 및 Transformer Isolated Barrier의 적용은 응용방식보다는 기술적인 데이터에 의해 분류되기 때문에 옴의 법칙, 제너다이오드의 특성 및 취급방법만 알아도 쉽게 응용할 수 있다. 본질안전 시스템의 설계가 완전하고 또한 그 도면

이 승인되었는가 우선 확인하여야 한다. 이러한 것들이 대응하는 가스그룹, 온도등급에 따라 적절하게 만들어진 기기인가 확인한다. 그런 후에 베리어를 선정한다.

Zener Safety Barrier를 선정하기 위하여 우선 다음과 같은 전기적인 동작특성에 유의하여야 한다.

- Maximum end to end resistance (ohm) ; 본안측 단자와 비본안측 단자 사이의 총 저항값 (1, 3라인)
- Working voltage at 10 μA leakage (volt) ; Zener Diode의 누설전류가 10 μA 미만이라고 가정 하에서의 작동전압이며, 정상동작시 이 전압을 초과하지 말 것.
- Fuse rating/maximum operating current (mA) ; 휴즈가 단선되지 않은 상태에서 다이오드를 보호하기 위한 값이며, 베리어의 단락전류와는 직접 관계가 없고 또한 본안측 단자를 접속하지 않은 상태에서 비본안 단자에 인가할 수 있는 최대 전압
- Maximum voltage (volt)
- Polarity (Positive, Negative)
- 총 루프 저항 ; 선로저항 및 베리어 양단에 연결된 기기의 저항 합계
- 부하를 작동시키기 위한 최저 전압
- 루프에서 필요로 하는 최대 전류

또한 Barrier의 선택시 주의사항은 다음과 같다.

① 방폭지역에 사용하고 있는 기구가 에너지를 축적하는 장비일 경우 승인을 받은 기구인지 확인한다.

② Barrier의 극성 (Zener Diode의 방향과 접지와의 관계)에 유의한다. 아울러 직류인지 교류인지 확인한다. (대부분 양극성)

③ 정상조건하에서 비방폭지역의 전압이 Barrier의 동작전압 (정상 및 최대)을 초과시키지 않아야 한다.

④ Barrier 양단에 충분한 전력 (최대 양단저항 또는 전압강하)을 공급할 수 있는지 확인한다.

⑤ Barrier의 누설전류 (10 μA이하)가 시스템의 정확도에 영향을 미치지 않는가 확인한다.

⑥ 대상으로 하는 가스 그룹에 맞는 Barrier를 선택한다.

⑦ 허용 케이블 길이를 초과하지 않았는가 확인한다.

⑧ 접지를 필요로 하는지 아니면 이미 기기자체가 접지되어 있는지 확인한다.

⑨ Barrier 양단의 저항값을 확인한다.

⑩ Barrier에 접속하고자 하는 기기가 Simple Apparatus인지 확인하며, 그렇지 않은 경우는 공인기관의 승인을 받았는지 확인한다.

3.3.2 Zener Safety Barrier의 설치조건

Zener Safety Barrier는 원칙적으로 비방폭지역에 설치하여야 하나 만일 방폭지역에 설치하고자 한다면 방폭지역 등급에 맞는 방폭구조 및 입증된 보호등급에 맞는 용기를 채택하여야 하며, 비방폭지역에 설치할 경우 Rack, Control Cabinet 또는 이와 유사한 보호 용기에 넣어야 한다.

또한 방폭지역에 설치할 경우는 방폭지역 등급 또는 입증된 보호등급에 맞는 용기에 넣어야 한다.

방폭지역에 접속되는 기기가 Barrier와 연결될 때 다음 조건을 만족하여야 한다.

. $V_{out} < V_{in}$, $I_{out} < I_{in}$, $C_{eff} < C_{ext}$, $L_{eff} < L_{ext}$

. 케이블 정전용량 $< C_{ext} - C_{eff}$

. 케이블 인덕턴스 $< L_{ext} - L_{eff}$

여기서,

V_{in} = 방폭지역 기기의 최대 전압

V_{out} = Barrier의 개방전압

I_{in} = 방폭지역 기기의 최대 전류

I_{out} = Barrier의 단락전류

C_{eff} = 방폭지역의 최대 정전용량

C_{ext} = Barrier의 최대 허용 정전용량

L_{eff} = 방폭지역의 최대 인덕턴스

L_{ext} = Barrier의 최대 허용 인덕턴스이다.

또한 방폭지역에 접속되는 케이블 정수는 다음 표 3.1을 초과하지 않아야 하며, 본질안전기기 및 관련기기를 접속하기 위하여 알아 두어야 할 케이블 정수를 예를 들면 다음과 같다.

(예시)

- 공칭단면적 : 0.5 mm^2
- 도체형상 : 16/0.2 mm
- 공칭구경 : 0.93 mm
- 최대 저항 : 39.0 Ω/km
- L/R : 19 μH/Ω
- 상호 커패시턴스 : 23.9 nF/km
- 상호 인덕턴스 : 0.74 mH/km

표 3.1 방폭지역에 접속되는 케이블 정수

가스 Group	Capacitance (μF)	Inductance (mH)	또는 L/R Ratio (μH/Ω)
IIA	0.88	20.0	356
IIB	0.33	7.5	133.5
IIC	0.11	2.5	44.5

여기서 L/R비는 다음 식에 의해 구한다.

$$\frac{L}{R} = \frac{4L_P}{r} \quad \cdots\cdots (3.1)$$

여기서 R = Resistance [Ω]

L = Inductance [H]

r = 전원 내부저항 [Ω]

L_P = 회로인덕턴스 합계 [H]이다.

3.4 케이블 및 배선상의 주의점

본질안전 및 관련기기를 현장에서 접속시 케이블 및 배선상의 주의할 점은 다음과 같다.

① 본질안전회로와 비본질안전회로의 혼선을 방지할 것.

② 본질안전회로가 비본질안전회로로부터 정전유도 또는 전자유도를 받지 않도록 할 것.

③ 본질안전기기와 본질안전관련기기가 조합될 때에는 각각의 조건에 따를 것.

④ 본질안전기기와 본질안전관련기기의 조합구성에서 본질안전 회로배선의 허용 인덕턴스 및 커패시턴스의 값이 지정되어 있는 경우에는 해당 본질안전회로의 배선시 지정된 값을 초과하지 말 것.

⑤ 명시된 정전용량 값이나 인덕턴스 값은 Barrier (또는 Barrier의 조합) 단자에 연결할 수 있는 최대치이기 때문에 예를 들면, 케이블 및 기기의 정전용량 합계치나 인덕턴스 합계 치는 명시된 값보다 적어야 한다.

⑥ 접지선의 크기는 4 mm^2 이상으로 할 것.

다음 그림 3.13은 케이블 길이와 인덕턴스 관계를 나타낸 것으로 X 점에서의 선로저항은 전원저항과 같다.

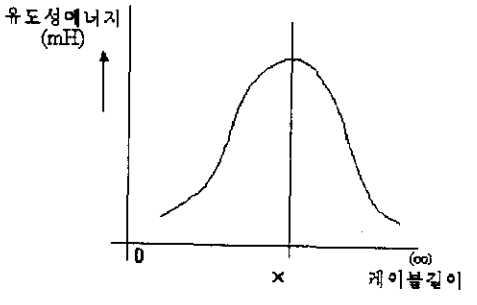


그림 3.13 케이블 길이와 인덕턴스 관계

또한 그림 3.14는 인덕턴스를 고려한 회로를 나타낸 것으로 r=R일 때 축적에너지가 최대로 된다.

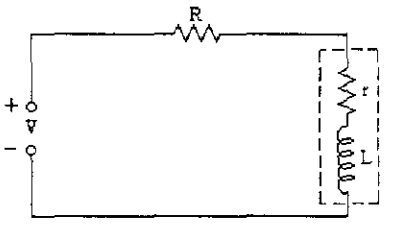


그림 3.14 인덕턴스의 고려

3.5 자체점검 및 유지관리 요령

3.5.1 기본적인 요구사항

본질안전기기 및 관련기기의 기본적인 요구사항은 다음과 같으며 이는 본질안전시스템을 유지, 점검 및 보수하는데 기본이되므로 시공단계부터 이행여부를 확인하여야 한다.

① 기기, 단자함 및 내부 접속케이블은 도면 및 케이블 시방에 따라 설치하여야 하며 또한 정확하게 표기하고 손상받지 않도록 하여야 한다.

② 본질안전회로에 사용한 케이블은 다른 케이블 (예; 비본질안전)과 분리시켜야 한다.

③ 케이블코아 도체인입 단자브럭에서 연면 및 절연공간거리를 만족하여야 한다.

④ 본질안전 접지시스템은 플랜트 접지와 분리시키며 변전소 접지에 정확하게 접속여야 한다.

⑤ 본질안전회로를 이송하는 케이블의 케이블스크린은 보통 비방폭지역의 본질안전 접지에 대하여 한쪽 끝을 접지하여야 한다.

3.5.2 검사의 구분화

특히 대형의 플랜트에서, 본질안전기기를 설치하는 경우 다음과 같은 다양한 관점을 가지고 세분하여 취급함으로서 가장 효과적으로 검사할 수 있다.

① 접지시스템

② 비방폭지역 기기

③ 방폭지역기기에 대한 비방폭지역 기기의 케이블 접속

④ 단자함

⑤ 방폭지역 기기

⑥ 접지 도통시험

⑦ 절연시험

3.5.3 본질안전 접지시스템

① 본질안전 접지바 (Bar)가 절연브럭에 정확하게 설치되었는지 확인한다.

② 본질안전 접지바가 견고하게 지지되는지 확인한다.

③ 본질안전 접지바가 어떠한 비본질안전 접지 (예; 지지랙 또는 큐비클)의 사고접속에 대하여 보호되고 있는지 확인한다.

④ 본질안전 접지바에 "본질안전 접지"라고 표기되었는지 확인한다.

⑤ 본질안전 접지바가 승인 도면에 따라 접속되었는지 확인한다.

⑥ 본질안전 접지바에 접속되는 케이블이 도면과 비교하여 적절한 도체단면적을 확보하고 있는지, 또한 손상된 절연피복은 없는지 확인한다.

⑦ 본질안전 접지바에 대한 케이블 접속이 정확하고 견고한지 확인한다.

⑧ 주 본질안전 접지바가 승인된 도면 따라 변전소 또는 스위치 룸 접지바에 접속되었는지 확인한다.

⑨ 변전소 또는 스위치 룸 접지바에 대하여 주 본질안전 접지바를 접속하는 케이블이 도면과 비교하여 적절한 도체단면적을 확보하고 있는지, 또한 전 길이에 대하여 손상된 절연피복은 없는지 이들 케이블을 모두 확인하여야 한다.

⑩ 주 본질안전 접지바와 변전소 또는 스위치 룸 접지바에 대한 케이블 접속이 정확하고 견고하게 되었는지 점검한다.

3.5.4 비방폭지역 기기의 검사

① 각각의 베리어, 릴레이 또는 기타 비방폭지역의 기기가 승인 도면에 따라 올바르게 표기 되었는지 확인하며, 또한 접지가 안전하게 실시되었고 손상되지 않았는지 확인한다.

② 각각의 케이블코아가 정확하게 표기되었는지, 또한 베리어/릴레이에 대하여 접속시켰는지 확인하며 단자번호는 승인 도면에서 표기된 것과 같은지 확인한다.

③ 각각의 주름 (Crimp) 접속이 올바르게 되었는지 또한 그것이 단자브럭에 안전하게 조여졌는지 확인한다.

④ 방폭지역에 노출된 본질안전회로 케이블 접속과 접지의 연면 및 절연공간거리가 규정값을 유지하는지 확인한다.

⑤ 본질안전회로를 이송하는 다중코아 케이블의 스크린이 본질안전 접지바에 대하여 정확하고 안전하게 접속되었는지 확인한다.

⑥ 본질안전회로를 이송하는 다중코아 케이블의 여분 코아가 본질안전 접지바에 대하여 정확하게 연결되고, 또한 안전하게 접속되었는지 확인한다.

⑦ 본질안전회로를 이송하는 다중코아 케이블이 승인 도면에 따라 올바르게 표기되었는지, 또한 기타 케이블 (예; 비본안)로부터 분리되었는지 확인한다.

3.5.5 방폭지역과 비방폭지역 사이의 본질안전회로를 이송하는 케이블의 검사

① 각각의 케이블이 비본안 또는 전원회로를 이송하는 모든 비외장케이블로부터 전체 케이블 길이에 따라 분리되었는지 확인한다.

② 각각의 케이블이 손상되지 않았는지, 또한 바깥쪽의 절연피복은 안전한지 확인한다. 연소, 크랙 및 PVC 피복의 경우 갈라졌는지 확인한다. (이러한 손상은 용접, 마찰 또는 혹한의 결빙하에서 야기될 수 있다)

③ 각각의 케이블이 적절하게 지지되고 있는지, 또한 스트레스를 받고 있나 확인한다.

3.5.6 단자함 및 접속함

① 도어 또는 박스에 대한 표기가 승인 도면과 일치하는지 확인한다.

② 박스 및 도어가 손상되지 않았는지, 또한 외기에 대한 밀봉은 완전하며 내부는 청결하고 건조되어 있는지 확인한다.

③ 케이블 그랜드는 안전하며, 또한 케이블에 대하여 손상을 주지 않는지 확인한다.

④ 사용하지 않는 케이블 인입부는 안전하게 폐쇄시켰는지 확인한다.

⑤ 각각의 다중코아 케이블이 도면과 같이 올바르게 표기되어 있는지 확인한다.

⑥ 각각의 케이블코아는 올바르게 표기되었는지, 또한 승인 도면에 표시된 접속번호와 동일하게 접속되어 있는지 확인한다.

⑦ 케이블 스크린은 승인 도면에 따라 터미날 브럭을 통하여 접속되어 있는지, 또한 이들과 분리되어 있는지 확인한다.

⑧ 터미날 브럭은 손상되지 않았는지 확인한다.

⑨ 각각의 케이블코아는 올바르게 주름지고, 또한 터미날 브럭에 안전하게 조여졌는지 확인한다.

⑩ 노출된 본안회로 케이블 접속과 접지사이의 연면 및 절연 공간거리가 규정값을 유지하는지 확인한다.

⑪ 도면에 표시된 케이블 이외의 케이블이 박스에 인입되어 있는지 확인한다.

3.5.7 방폭지역 기기의 검사

① 기기 각각의 부품이 승인 도면에 따라 올바르게 표기되어 있는지, 또한 안전하게 설치하고 손상되지 않았는지 확인한다.

② 각각의 접속케이블은 승인 도면에 따라 올바르게 표기되고, 또한 손상되지 않았는지 확인하며 케이블 그랜드는 안전한지 확인한다.

③ 단자함은 손상되어 있지 않는지 또한 뚜껑과 일치하는지 확인한다. 또한 외기에 대한 밀봉은 완전하며 내부는 청결하고 건조되어 있는지 확인한다.

④ 케이블 스크린은 절연되어 있는지 확인한다.

⑤ 케이블 코아는 올바르게 표기되고, 또한 승인 도면에 따라 터미날에 정확하게 접속되어 있는지 확인한다.

⑥ 주름접속은 올바르게 실시되었는지, 또한 터미날 브럭에 안전하게 조여졌는지 확인 한다.

⑦ 노출된 본안회로 케이블 접속과 접지사이의 연면 및 절연공간거리가 규정값을 유지하는지 확인한다.

3.5.8 접지 도통시험

본 시험은 본질안전 접지에 의해 보호되는 본질안전회로는 전원 공급을 차단한 상태

에서만 실시한다. 그러므로 플랜트를 차단시킨 동안에 순차적으로 또한 플랜트를 위탁하기 직전에 수행한다.

본 측정이 위험을 야기시킬 만한 것은 아니나 측정을 하기에 앞서 어떠한 위험성을 인지할 수 있는 전문가로부터 그 위험성을 공인받아야 한다.

권장할 만한 측정방법은 다음과 같다.

① 변전소 또는 스위치 룸에 있는 주 본질안전바와 접지바 사이의 임피던스는 1 Ω 이하인가 확인한다.

② 2개의 케이블이 함께 접지바에 접속된 경우 케이블 끝에서 하나의 케이블을 분리하여 접지바와 분리시킨 케이블 사이의 저항을 측정한다. 이 측정값을 기록한다. 케이블을 다시 접속하고 다른 케이블을 분리하여 이 측정을 반복한다. 이 두 측정값은 동일하여야 한다. 만일 각각의 값이 R [Ω]이라면 두 접지바 사이의 저항은 R÷4 [Ω]이다.

3.5.9 절연시험

이들 시험은 본질안전회로에 공급되는 전원을 차단하고 또한 주위의 폭발성가스가 제거된 상태에서만 수행하여야 한다. 그러므로 이들 시험은 주위의 폭발성가스가 없다고 입증되었을 때 순차적으로 플랜트를 차단시킨 동안과 플랜트를 위탁하기 직전에 수행하여야 한다.

권장할 만한 측정방법은 다음과 같다.

① 방폭지역으로부터 본질안전회로의 베리어, 릴레이 또는 기타 비방폭지역 기기를 순차적으로 각각의 본질안전회로를 차단시킨다.

② 분리한 스크린 접지에 대하여 절연저항을 측정한다.

③ 각각의 본질안전 케이블 스크린을 차례로 분리한다.

④ 분리된 회로의 접지에 대하여 절연저항을 측정한다.

⑤ 각각의 본질안전 접지바를 본질안전 접지로부터 차례로 분리한다.

⑥ 분리된 접지바의 절연저항을 측정한다.

제4장 최소 점화에너지 측정

최소 점화에너지 (Minimum Ignition Energy)란 폭발한계 내의 어떤 농도에서 대상으로 하는 가스에 점화를 일으키는 최소의 에너지를 말하며, 그 측정은 고압 콘덴서의 방전불꽃을 발생시켜서 측정하고 $E=\frac{1}{2}CV^2$의 식에 따라 계산하여 구한다.

콘덴서의 방전불꽃은 수 분의 1μsec 정도의 단시간이기 때문에 그 에너지는 순시에 방출되는 점에너지라고 볼 수 있다.

4.1 최소 점화에너지에 영향을 주는 요인들

폭발이 발생하는 데까지의 점화현상의 개요는 다른 대부분의 연구결과에서 정성적으로 설명되어 있으나, 실제의 점화에 있어서는 각종 요인이 독립적으로 관계한다.
이들을 크게 분류하여 보면 다음과 같이 전기회로, 불꽃 발생전극 및 가스에 관한 인자로 나뉜다.

4.1.1 전기회로에 관한 인자

1. 전원의 종류

가. 직류

나. 교류 (저주파, 고주파)

상용주파수에서는 직류에 비하여 잠재적인 점화능력이 별 차이는 없으나 점화확률이 직류의 경우보다 1/10이며 이점은 안전성이 높게 될 수 있다.

교류회로의 경우에는 전류치가 시간적으로 변하기 때문에 직류회로에 비하여 전극간의 방전이 불안정하고, 또 반듯이 전류가 0으로 되는 순간이 있기 때문에 방전은 일단 소멸되어 버린다.

따라서 상용주파수를 넘는 영역에서는 방전 지속시간이 짧아지고 방전에너지도 작아지기 때문에 점화 한계는 높아진다. 물론 부하의 시정수, 부하전류의 크기 등에 따라서도 점화한계는 변하므로 주파수만에 의한 것은 아니다.

주파수를 더욱 증가시키면 전류가 0으로 되어도 전극이 채 냉각되지 않기 때문에

방전이 계속 유지되어 방전에너지를 증대시키는 경향이 있다.

2. 전압

R, C 회로의 경우 전압이 높을 수록 최소 점화에너지가 낮아진다. 그러나 L 회로의 경우 전압에 따라 영향을 받기도 하고 받지 않기도 한다.

3. 전류

R, L, C 회로 모두에 영향을 주나 특히 L 회로에서 영향이 크다.

4. 부하 (유도성, 용량성, 저항성)

유도성 부하에서가 저항성 부하에서보다 점화한계가 낮다. 또한 C가 클수록 점화에너지는 낮아진다.

4.1.2 불꽃발생 전극에 관한 인자

동일한 점화시험 조건에서도 불꽃발생장치의 종류가 다르면 점화한계에 차이가 있고, 또한 동일구조의 불꽃발생장치에서도 전극의 재질이나 개폐속도가 틀리면 역시 점화한계에 차이가 생긴다.

이는 전극간을 흐르는 전기에너지가 주위의 폭발성가스의 온도를 상승시키는 효율 즉 점화감도가 다르기 때문이다.

1. 형상

유도회로에서 IEC형, 동선형, Break-Flash No.3형 순으로 점화감도가 높아진다. 이 이유는 전극의 개폐속도 및 전극재질의 차이에 의해 설명된다. 그러나 저항회로에서는 이와는 다른 현상이 나온다.

2. 치수

전극의 치수가 커지면 일반적으로 전극의 소염 (消炎)효과가 크게 되어 점화한계가 높아진다.

3. 재질

전극재질이 다르면 회로의 개폐시의 방전형상이 다르며, 따라서 점화감도에 차이가

생긴다.

유도회로 및 저항회로에서는 전극의 한 쪽이 비점이 낮은 재료를 사용한 것일 수록 점화한계가 낮아진다. 현재 메탄가스를 사용하여 실험한 보고에 의하면 철, 동, 알루미늄, 니켈, 황동, 아연, 카드뮴 순으로 점화한계가 낮아진다.

4. 개폐속도

전극의 개폐속도가 초기 연소핵 (Incipient Flame Kernel)의 성장속도보다 충분히 크면 전극의 소염효과를 무시할 수 있으나, 25m/sec의 개폐속도에서는 완전히 무시할 수는 없는 정도이기 때문에 개폐속도에 따라 최소 점화에너지는 차이가 있다.

5. 개폐방식

급속개폐방식과 간헐개폐방식에서 점화한계는 차이가 생긴다.

6. 극성

직류전원에서 특히 저항성회로와 낮은 인덕턴스회로에서 전원의 극성이 점화한계에 영향을 미친다.

4.1.3 가스에 관한 인자

1. 종류

폭발성가스의 종류에 따라 최소 점화에너지가 다르다.

2. 농도

농도에 따라 점화에너지가 다르며 또한 극소 점화한계 농도도 일치하지 않는다.

폭발한계의 하한 (LEL; Lower Explosion Limit)이나 상한 (UEL; Upper Explosion Limit)에 가까운 농도에서는 최소 점화에너지가 크다.

3. 회석가스의 종류

회석가스 (특히 공기와 산소)의 종류에 따라 폭발상·하한계가 다르기 때문에 최소 점화에너지도 다르다.

4. 기압

압력이 증가하면 최소 점화전류는 회로의 전기적 요소에 따라 차이가 있으나 대

체적으로 대기압에서보다 작아진다.

5. 온도

온도가 높은 가스 중에서 불꽃을 일으키면 상온의 경우보다 점화하기가 쉬워진다.

위에서 언급한 제인자가 조합되어 가스의 점화가 결정된다. 그러므로 가스 및 불꽃 발생 전극에 관한 인자가 일정하다면 점화한계는 전기회로에 의해 결정된다고 말할 수 있다.

본질안전방폭 전기회로로 되는 회로의 방전불꽃은 방전전극에 의한 소염효과(Quenching Effect; 주로 전극의 기하학적 치수 및 개폐속도에 관계)를 받기 때문에 최소 점화에너지 이상의 방전 에너지가 발생되지 않으면 점화는 일어나지 않는다. 그러므로 소염효과를 고려한 점화한계가 필요하다.

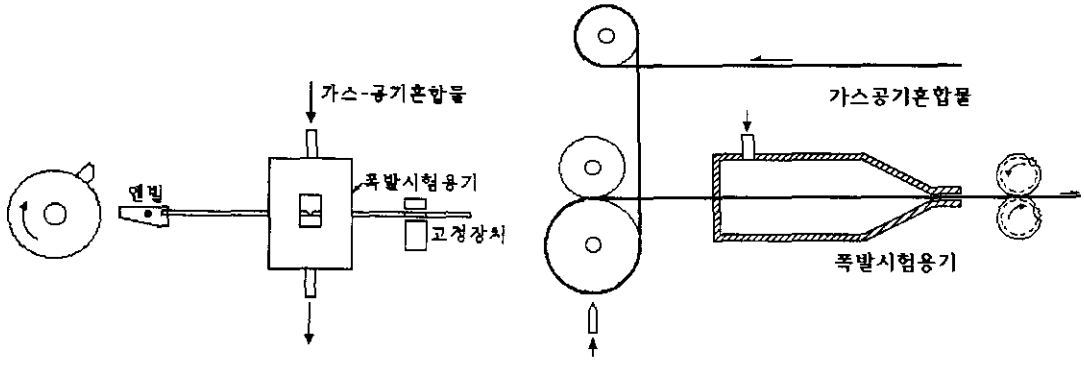
4.2 실험장치의 제작 및 구성

4.2.1. 주변 장치의 제작

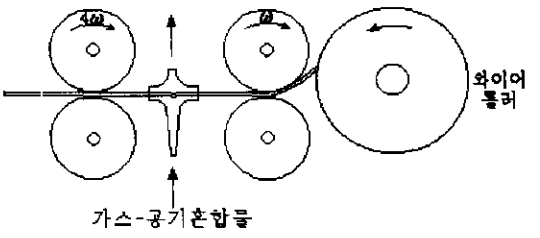
1. Tungsten Wire Cutter의 제작

텅스텐 와이어는 매우 잘 깨지기 쉬운 재질이며, 또한 상대적으로 단기간의 동작 후에도 끝부분이 자주 쪼개지는 경향이 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 IEC 79-3에 따라 그림 4.2의 회로를 이용하여 그림 4.3의 Tungsten Wire Cutter를 제작하였다.

그림 4.1은 불꽃 점화 실험의 전극으로 사용하는 각종 와이어 절단장치를 나타낸다.

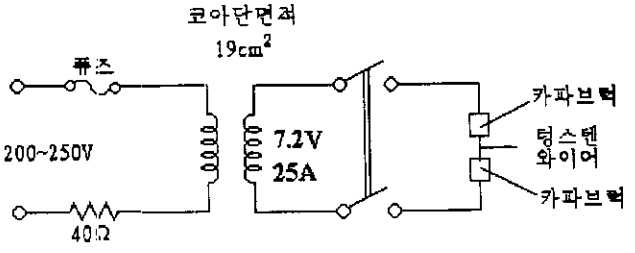


(a) 영국의 와이어 절단장치 (b) 롱 와이어 절단장치

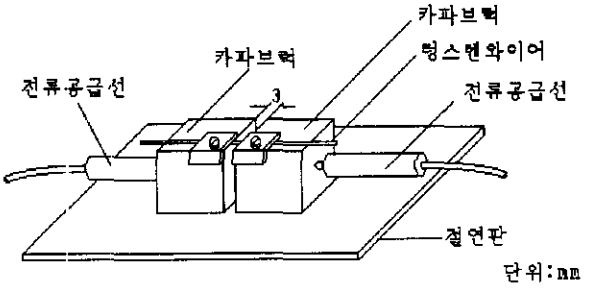


(c) 소련의 와이어 절단장치

그림 4.1 각종 와이어 절단장치



(a) 회로도



(b) 전극부 상세도

그림 4.2 Tungsten Wire Cutter의 회로도 및 전극부 상세도

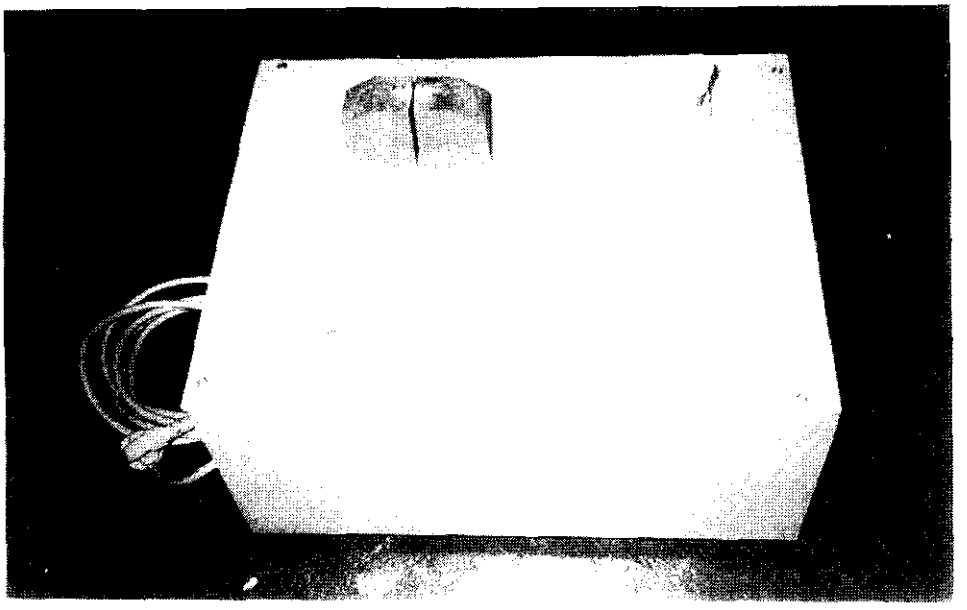
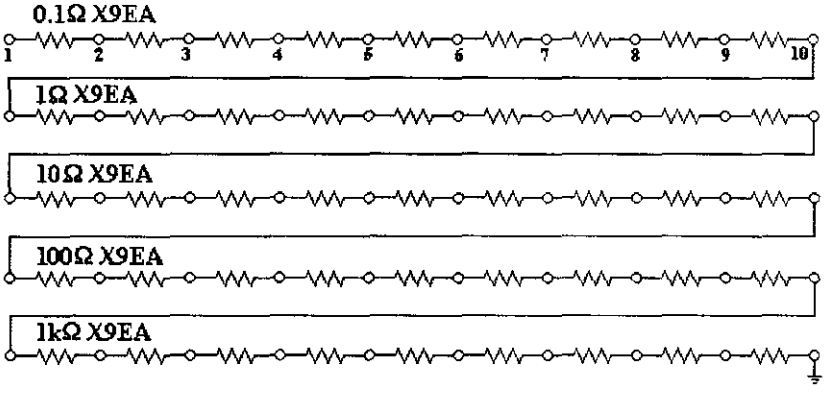


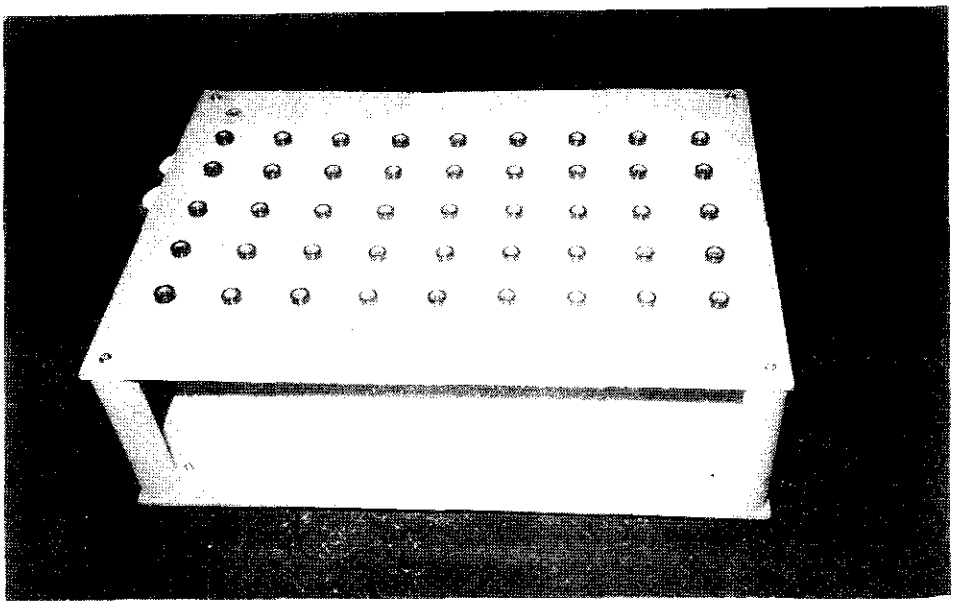
그림 4.3 Tungsten Wire Cutter의 외형 사진

2. 저항 박스

전류제한저항 R은 인덕턴스에 의한 오차를 작게 할 목적으로 수제형 무유도(Non-Inductance) 저항을 조합하여 제작하였다. 이 경우 인덕턴스는 시험회로의 부유 인덕턴스를 포함하여 30 μH 이하이다. 저항 범위는 0.1 Ω~9 kΩ, 사용 전류는 1~5 A 이며 그림 4.4 (a)는 회로도이고 (b)는 각 저항을 조합시킨 외형 사진이다.



(a) 회로도



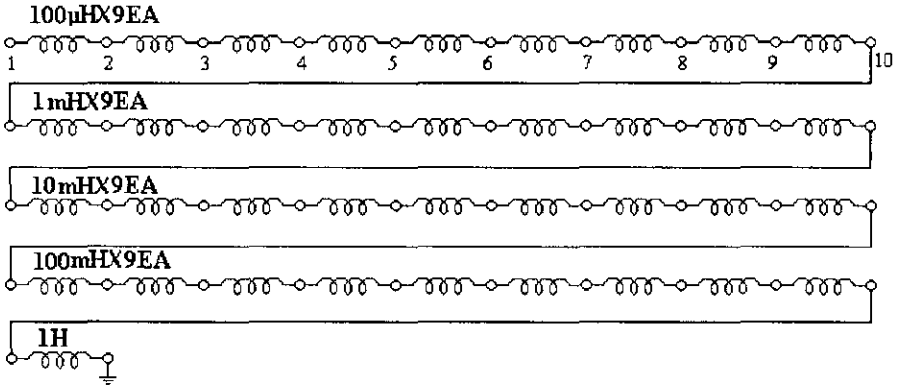
(b) 외형 사진

그림 4.4 저항 박스의 회로도 및 외형 사진

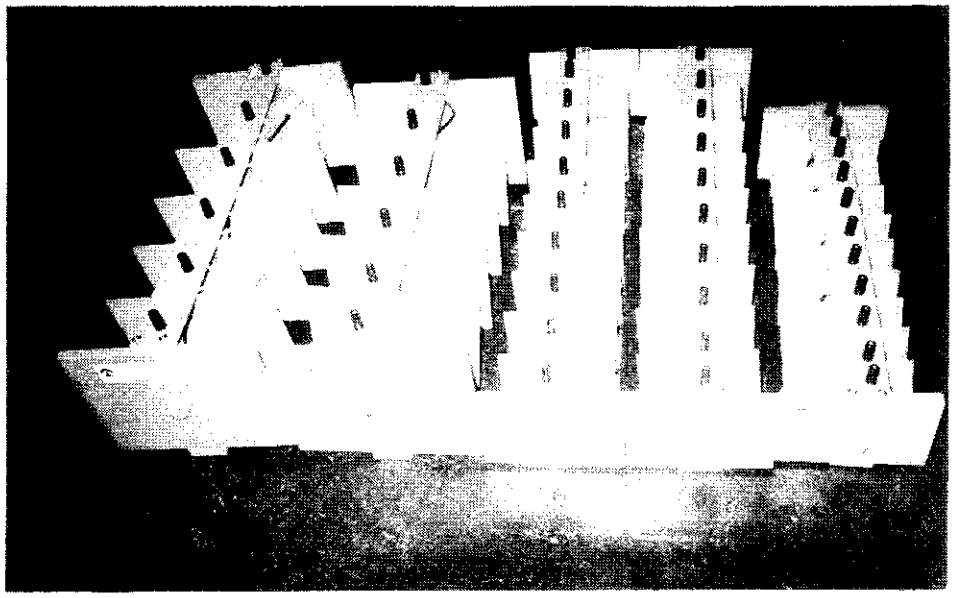
3. 인덕터 박스

인덕터 L은 공심코일이며, 인덕턴스 범위는 100 μH~1 H, 사용전류는 1~3 A이다.

그림 4.5 (a)는 회로도이며 (b)는 각 인덕턴스를 조합시킨 외형 사진이다.



(a) 회로도



(c) 외형 사진

그림 4.5 인덕터 박스의 회로도 및 외형 사진

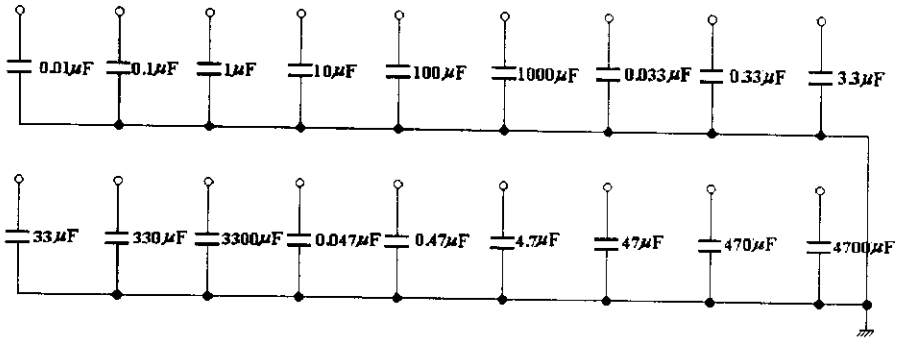
4. 커패시터 박스

커패시터 C는 고정 콘덴서이며, 본 실험에서는 전원을 보호하기 위하여 직렬로 저항을 삽입하였다.

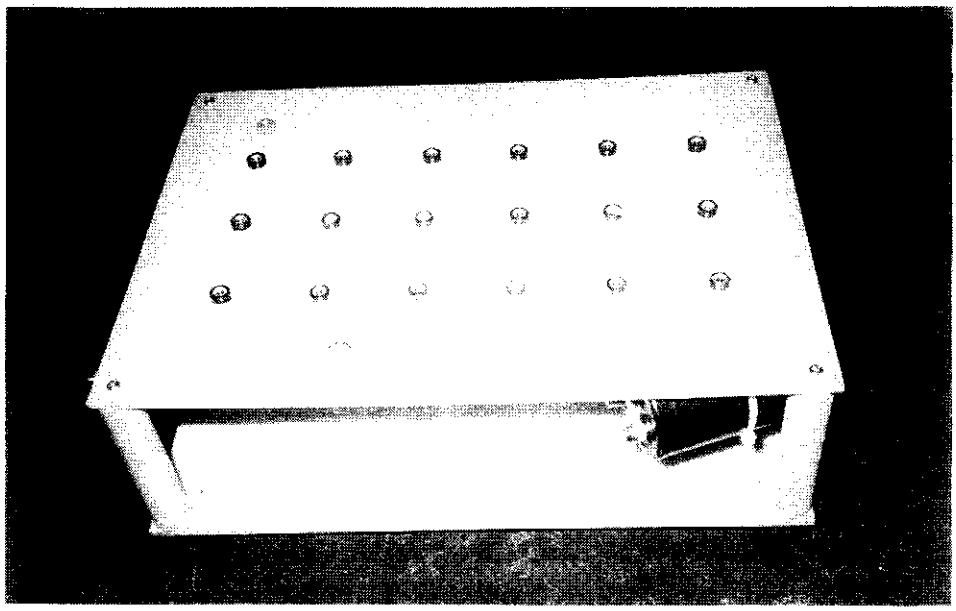
용량회로의 경우 사용하는 콘덴서에 따라 보호저항의 크기를 적당히 선택하여 불꽃 발생전극의 개폐속도보다도 충전시정수 (T=CR)가 작게 되도록 주의하여 점화한계를 측정한다. (여기서 사용한 저항 R은 무유도저항을 사용했다)

커패시터 값의 범위는 0.01 μF~4700 μF, 그 내압은 50 V~300 V DC이다.

그림 4.6 (a)는 회로도이며 (b)는 각 커패시터를 조합시킨 외형 사진이다.



(a) 회로도

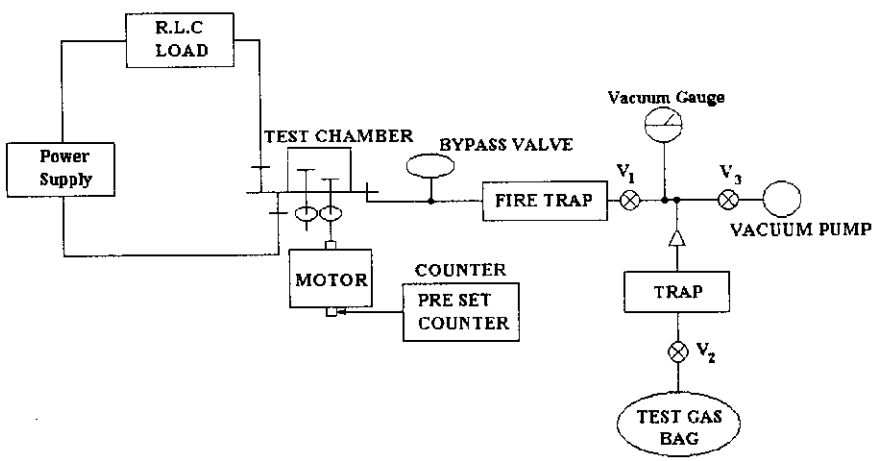


(b) 외형 사진

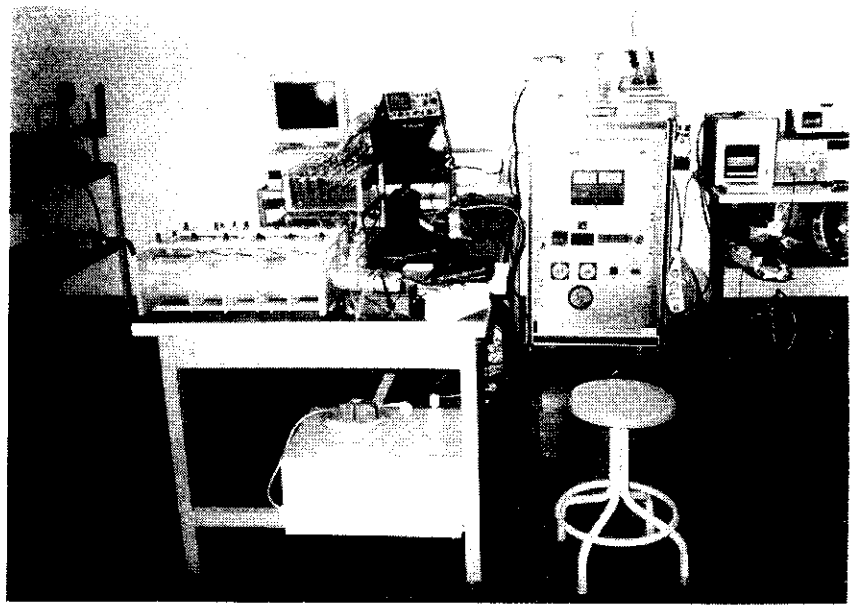
그림 4.6 커패시터 박스의 회로도 및 외형 사진

4.2.2 실험장치의 구성

IEC형 불꽃점화 실험장치의 음극재질에 따른 점화한계를 측정하기 위하여 그림 4.7과 같이 실험장치를 구성하였으며, 그림 4.8은 인덕턴스를 사용한 실험회로를 나타내었다.



(a) 구성 Block 도



(b) 실험장치 구성사진

그림 4.7 실험장치의 구성도

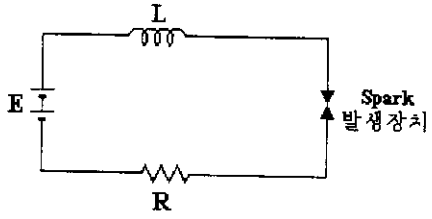


그림 4.8 인덕턴스 회로 구성도

4.3 실험방법

4.3.1 장치개요

IEC형 불꽃점화 실험장치는 독일에서 최초로 발표하였으며, 1964년 IEC에서 제안하여 1967년 7월 프랑스에서 개최된 국제전기표준회의 (Sub-committee 31G)에서 방전불꽃에 의한 점화시험장치로써 정식으로 채택하였다.

실험에 사용한 불꽃점화 실험장치는 점화감도가 가장 우수한 IEC형 장치를 사용하였다. 그러나 IEC형 불꽃점화 실험장치는 2 A 이하의 저항성회로, 450 V 이하의 용량

성회로 및 1 H 이하의 유도성회로에만 적합하다. 그림 4.9는 IEC형 불꽃점화 실험장치이며, 그림 4.10은 그 외형 사진이다. 또한 그림 4.11은 각종 불꽃 실험장치의 점화감도를 비교한 그래프이다.

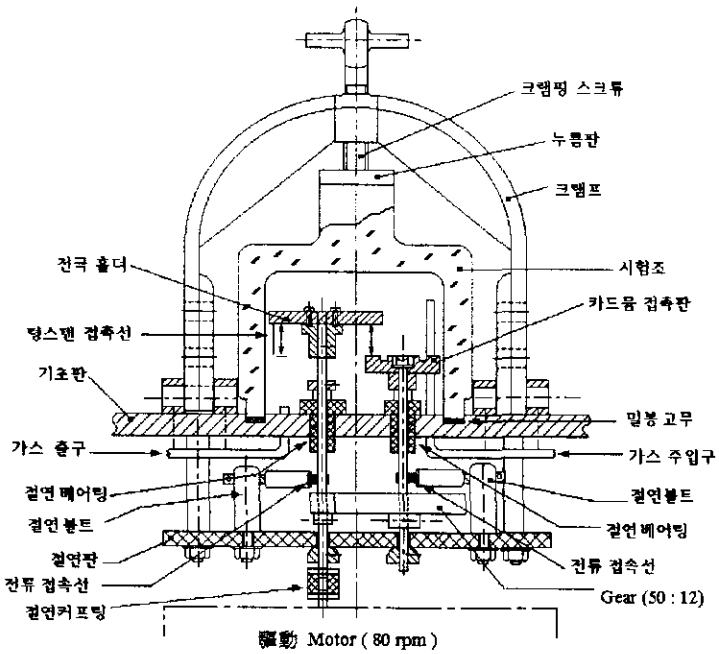


그림 4.9 IEC형 불꽃점화 실험장치

그림 4.10 불꽃 점화실험 장치의 외형 사진

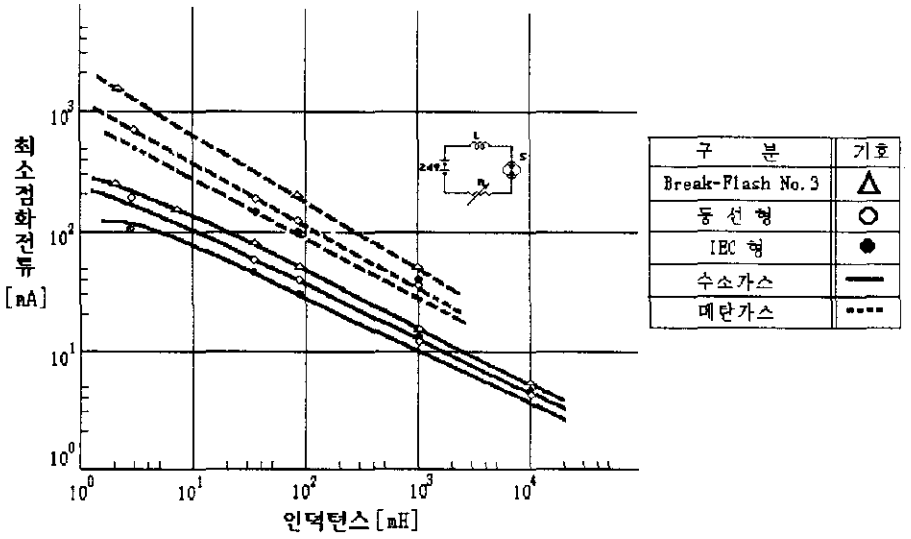


그림 4.11 각종 불꽃점화 실험장치의 점화감도 비교

4.3.2 감도교정

IEC형 불꽃점화 실험장치는 그림 4.12의 감도회로를 구성하여 표 4.1의 대상 가스 및 대상 회로에 대하여 실험장치를 400 회전시켰을 때 적어도 1회 폭발이 일어나야 한다.

시중에 판매되고 있는 카드뮴 등의 전극은 신 재료 상태에서는 최소 점화전류치에 근사한 감도가 나오지 않는다는 경험상의 연구결과가 발표되었으며, 공회전시켜 카드뮴 표면에 미세한 홈이 생겼을 때에 최소 점화데이터 (그림 2.2~2.7)가 근접된다.

빠른 시간내에 근사시키는 방법으로는

- 시험단자에 수 헨리 이상의 큰 인덕터 (철심이 있는 것도 무관)를 넣어 전류를 300 mA 이상 흘려 될 수 있는 한 큰 불꽃을 발생시키고, 가스를 넣지 않고 연속 불꽃발생 운전을 실시하여 카드뮴 표면에 큰 홈이 생기도록 한다.
- 가스를 넣은 상태에서 큰 전류를 인가하여 점화시킨다.
  텅스텐 전극선의 탄성도가 감도를 크게 좌우하기 때문에 손상, 절손 또는 마모된 것은 조속히 교환하여야 한다.
- 장시간 사용하지 않은 다음에 다시 사용할 때에는 필히 Aging 운전을 한다.

표 4.1 교정회로에 인가하는 전압, 전류값

직류 24 V, 공심 95 mH의 유도성회로	
Group I	0.11 A
Group IIA	0.1 A
Group IIB	0.265 A
Group IIC	0.03 A

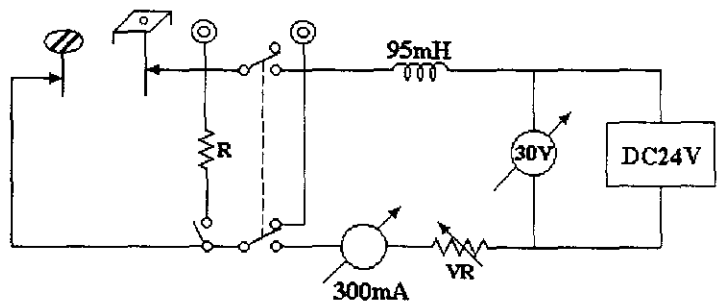


그림 4.12 감도 교정 회로

4.3.3 실험가스

실험에 사용되는 가스는 대표적으로 표 4.2를 사용한다. 본 연구에서는 에틸렌(C_2H_4)가스 7.8 ± 0.5 Vol.%를 사용하였다.

표 4.2 실험가스

실험가스	농도
메탄 (CH_4)	8.3±0.3Vol.%
프로판 (C_3H_8)	5.25±0.25Vol.%
에틸렌 (C_2H_4)	7.8±0.5Vol.%
수소 (H_2)	21±2Vol.%

4.3.4 실험횟수 및 점화한계 계산

불꽃점화 실험횟수 및 점화한계 계산은 그림 4.13의 Flow Chart에 의거 점화가 발생하는 전압, 전류 또는 전력에서 5%씩 감소 또는 증가시켜 점화유무를 확인하였다.

교류회로 경우는 불꽃점화 실험장치를 1000회 회전시키며, 본 실험의 직류회로에서는 극성을 바꾸어 각각 200회 회전시켜 점화유무를 확인하였다.

개폐불꽃이 가스에 점화되지 않는 전류치 (전압치)와 이 값 직전의 점화 전류치 (전압치)의 평균값을 최소 점화전류치 (전압치) 즉 점화가 일어나지 않는 지점과 점화가 일어나는 지점을 2로 나누어 최소 점화에너지를 구했다.

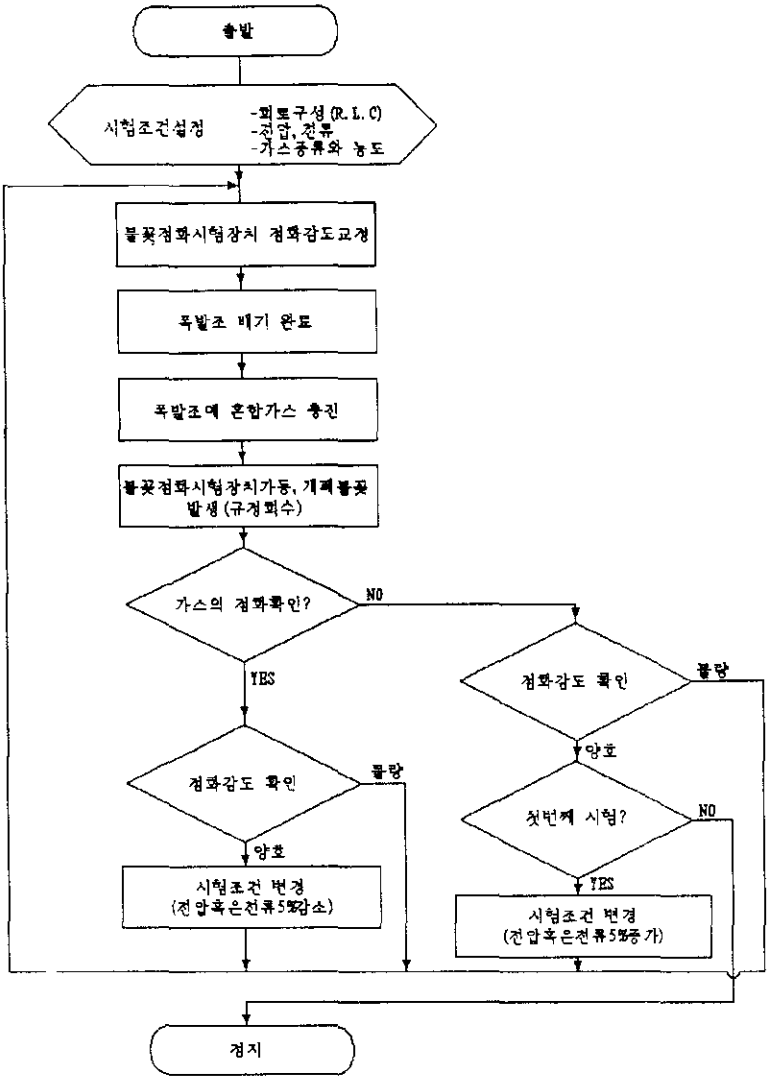


그림 4.13 불꽃점화 실험 Flow Chart

4.4 실험내용

4.4.1 기존 점화에너지의 Data 확인

IEC형 불꽃점화 실험장치를 이용하여 이미 알려진 최소 점화에너지를 대상가스별, 회로별로 확인하였으며, 그중 그림 4.14는 에틸렌가스, 인덕턴스회로에서 최소 점화에너지를 측정하여 IEC 규격에서 제시한 데이터와 비교한 것이다.

4.4.2 전극재질에 따른 최소 점화에너지의 영향

전극재질에 따른 최소 점화에너지의 영향을 알아보기 위하여 실험을 실시하였으며, 사용한 음극의 재질은 카드뮴, 아연, 알루미늄, 주석 및 마그네슘이다.

인가전압은 직류 24 V를 공급하였고, 대상가스는 에틸렌, 인덕터는 표 4.3을 사용하여 측정하였으며 그 결과는 그림 4.15와 같다.

표 4.3 공심코일의 종류 및 정수

인덕턴스	100 μH	1 mH	4 mH	10 mH	40 mH	100 mH	1 H
직류저항 (Ω)	0.133	0.640	2.340	2.055	8.045	7.665	60.36

4.4.3 개폐속도에 따른 최소 점화에너지의 영향

유도성회로의 차단시 변화하는 전류변화율 (di/dt) 변화율의 측정은 고성능의 Oscilloscope가 없으면 곤란하고 또한 이를 변화시키는 장치를 만드는 것도 어렵다.

회로차단시 유기되는 역기전력은

$$e = - L \frac{di}{dt} [V]$$이다.

동일 인덕턴스에서 차단시의 전류변화율을 증가시킴으로서 (즉 차단속도를 증가시킴) 최소 점화전류를 낮출 수 있으나 본 실험장치는 속도변화에 한계가 있다. 외국의 경우 동일 실험장치에서 속도변화를 준 것이 아니고 각각의 속도 특성을 갖는 실험장치로 실험을 하였다.

본 연구에서는 전기에너지의 개폐속도에 따른 최소 점화에너지에 대한 영향을 알아보기 위하여 IEC형 불꽃점화 실험장치의 텅스텐 전극의 회전속도를 4에서 112 rpm까지 조정하면서 점화 유무를 확인하였으며, 그 결과는 표 4.4와 같다.

4.4.4 전·자장에 의한 최소 점화에너지의 영향

전·자장에 의한 최소 점화에너지의 영향을 알아보기 위하여 우선 영구자석을 이용

한 자장영역만 실험을 하였다. 사용한 영구자석의 자속밀도를 0.65 KG에서 5.9 KG까지 전극 주변에 변화를 주면서 실험을 하였다.

4.5 실험결과 분석

상기 4.1절에서 4.3절의 지식을 바탕으로 4.4절의 실험을 실시한 결과를 분석하여 보면 아래와 같다.

4.5.1 결과분석

1. 기존 점화에너지의 Data 확인

현재 방폭성능검정에 이용되고 있는 IEC형 불꽃점화 시험장치는 우선 그 감도가 IEC 규정에 만족하고 있음을 확인하였으며, 또한 이미 선진국에서 밝혀진 대상 가스별, 회로별로 구한 최소 점화에너지가 본 시험장치를 사용하여도 근사값에 도달함을 알 수 있었다.

특히 그림 4.14와 같이 유도성회로, 에틸렌가스 및 카드뮴전극을 이용하여 실험한 결과 현재 방폭성능검정에 사용하고 있는 검정장비가 인덕턴스 100 mH 이하에서는 IEC 규격의 최소 점화데이터보다도 점화감도가 우수하였다.

2. 전극재질에 따른 최소 점화에너지

전극재질에 따른 최소 점화에너지의 실험결과 가장 큰 결과로는 실험에 사용한 음극재질이 그림 4.15와 같이 카드뮴, 아연, 마그네슘, 알루미늄, 주석 순으로 최소 점화에너지가 커짐을 알 수 있었다. 즉 100 mH 이상에서는 아크발생이 없는 것으로 간주되며 방전에너지는 음극재질에 의존하지 않으나, 인덕턴스가 작게 되면 점화전류가 크게 되어 음극재질에 의해 방전에너지가 좌우되는 것으로 생각된다. 그러므로 음극재질의 영향이 크게 나타난 것으로 생각된다.

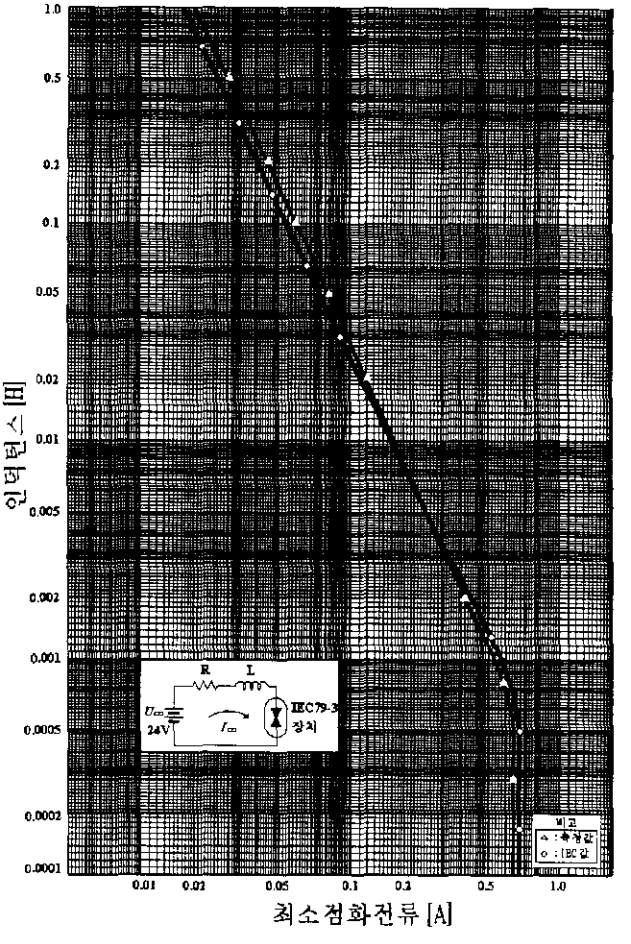


그림 4.14 최소 점화에너지의 비교

또한 실험중 다음과 같은 현상을 알 수 있었다.

가. 동일 음극 전극에서 회로에 흐르는 전류가 같을 때 저항회로보다 인덕터회로에서가 더 큰 과전압이 발생하였으며, 이로 인하여 인덕턴스회로가 저항회로보다 최소 점화에너지가 작다는 것을 알 수 있다. (그림 4.16 및 4.17)

나. 카드뮴 전극에서 발생하는 과전압이 주석전극에서보다 더 작았고, 그 발생 빈도도 적었으나 과도상태의 전류파형은 그 반대이었다. (그림 4.17 및 4.18)

다. 전극의 재질에 다른 최소 점화에너지의 영향을 전기적 파형으로 분석은 곤란

하였으며 표 4.5에서 알 수 있듯이 재질의 물리적 성질 즉 비등점과 열기전력에서 기인된다고 생각된다.

라. 개폐불꽃의 크기를 DC 24 V, 1 H, 70 mA에서 실험중 육안 (배율기 10:1 및 Video Camera 사용)으로 불꽃을 관찰한 결과 불꽃의 크기 및 밝기가 카드뮴이 주석보다 더 크고 밝았다. (그림 4.19)

이것은 아크 지속시간이 큰 재질일 수록 최소 점화에너지가 작아지는 것으로 생각되기 때문에 향후 불꽃의 크기, 형상, 소멸시간 등을 가시화하기 위한 계측방법 (예: 고속 카메라에 의한 계측 등)을 강구하여야 한다.

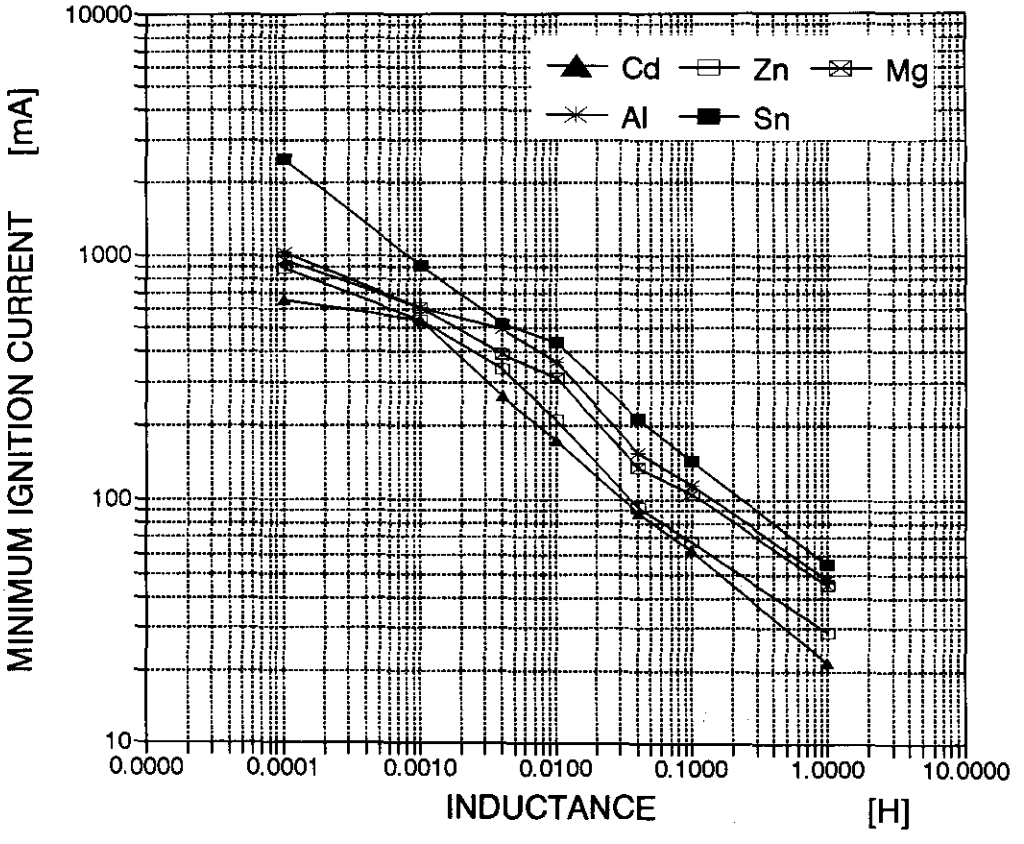


그림 4.15 전극별 최소 점화에너지의 측정결과

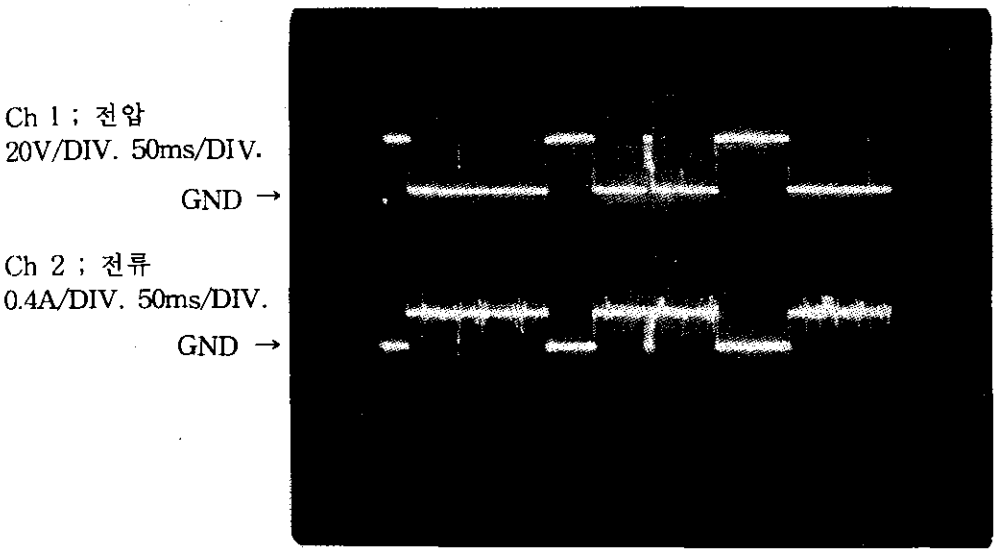


그림 4.16 관측파형 (저항성회로, 카드뮴전극)

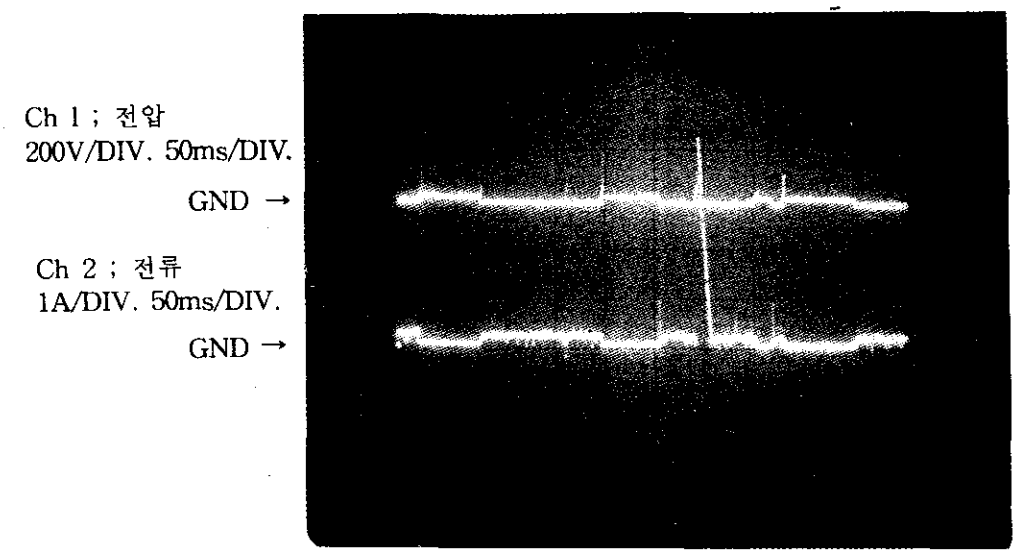


그림 4.17 관측파형 (유도성회로, 카드뮴전극)

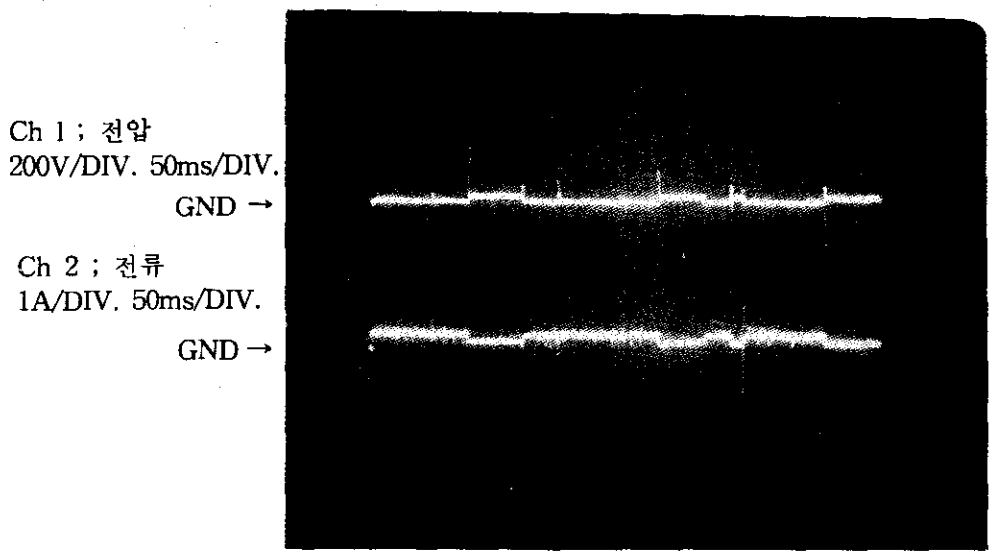
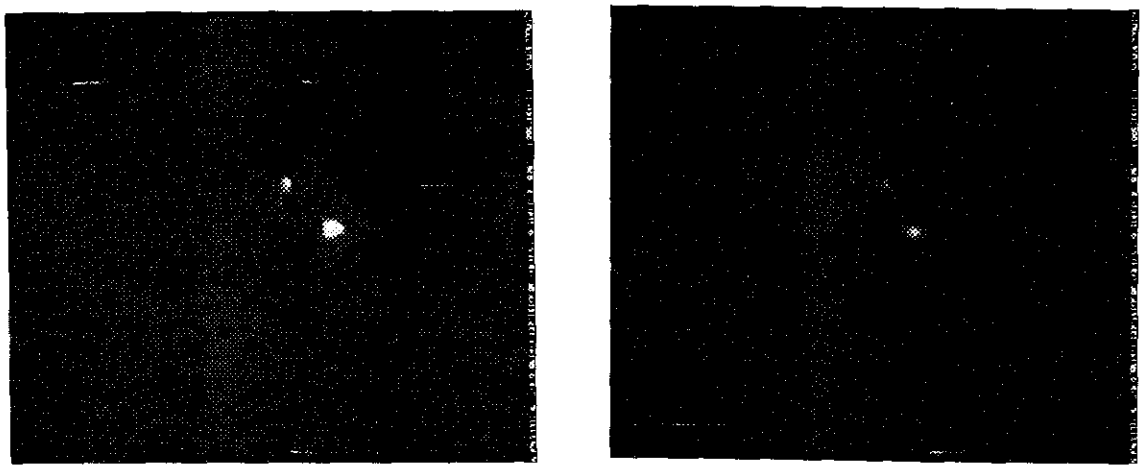


그림 4.18 관측파형 (유도성회로, 주석전극)



(a) 카드뮴전극 (b) 주석전극

그림 4.19 개폐 불꽃의 크기비교 (DC 24 V, 1 H, 70 mA)

3. 개폐속도에 따른 최소 점화에너지

전기에너지의 개폐속도에 따른 최소 점화에너지의 영향을 알아보기 위하여 IEC형 불꽃점화 실험장치의 텅스텐 전극의 회전을 다음 표 4.4와 같이 가변시켰다. 실험가스는 에틸렌, 음극전극은 카드뮴, 부하는 4 mH 및 265 mA에서 측정하였다. 외국의 문헌에서는 개폐속도에 따른 최소 점화에너지가 전기에너지의 차단속도를 증가시키면 소염효과는 작아지며, 차단속도를 감소시키면 소염효과가 크게 되어 높은 인덕턴스에서는 $L\frac{di}{dt}$ 전압은 감소되며 최소 점화에너지도 감소된다. 또한 낮은 인덕턴스에서 점화메카니즘은 단락아크로부터 전달된 점화에너지에 의존하기 때문에 차단속도를 감소시킴으로서 가연성물질에 대해 전달된 에너지에 대한 이용 가능한 시간이 증가한다. 그래서 점화전류에 요구된 에너지는 감소한다고 보고하고 있다.

그러나 실험 결과는 IEC 규격에서 제시한 80 rpm에서와 동일한 현상을 나타냈으며 본 실험장치의 개폐속도 범위내에서는 큰 변화가 없었다. 추측해 보면 개폐속도를 본 실험에서 실시한 최고 속도보다도 빠른 범위로 실시하여야 한다고 생각된다.

표 4.4 개폐속도에 따른 최소 점화에너지의 영향에 대한 실험결과

회전수 (rpm)	점화유무	비 고
4	무	매 실험마다 텅스텐 전극판을 200회 전시켰음.
40	무	
80	무	
100	무	
112	무	

4. 자장에 의한 최소 점화에너지의 영향

자장에 의한 최소 점화에너지의 영향을 알아보기 위하여 실험한 결과 영구자석의 자속밀도를 0.65 KG에서 5.9 KG까지 바꾸어 가면서 불꽃점화 실험장치의 전극 주위에 접근시켰으나 점화에너지에 영향을 주지 못하였으며, 또한 전기적인 파형을 분석하여도 자속에 대한 영향은 없었다. 추후 실험방법에 대한 새로운 고찰이 있어야 된다고 본다.

표 4.5 실험에 사용한 음극 전극의 물리적 성질

물성 / 금속	저항률 ($\Omega \cdot m \times 10^{8}$, 20℃)	저항률의 온도계수 (20℃)	열기전력* (mV)	비 중 (20℃에서 4℃의 물과 비교)	열팽창계수 ($\times 10^{6}$,20℃)	용융점 (℃)	비등점 (℃)	비 열 (Cal/g-℃)
카드뮴 (Cd)	7.5	0.0038	+0.92	8.65	29.8	320.9	767	0.0559
아연 (Zn)	6.10	0.0037	+0.77	7.14	33	419.43	906	0.0944
마그네슘 (Mg)	4.46	0.004	+0.42	1.74	25.6	651	1,110	0.2475
알루미늄 (Al)	2.62	0.0039	+0.38	2.7	23.03	660.0	2,060	0.223
주석 (Sn)	11.4	0.0042	+0.45	7.35	20	231.85	2,270	0.551
텅스텐 (W)	5.48	0.0045	+0.79	19.3	4	3,370	5,930±20	0.0388

* 백금과의 접속점의 온도를 0 ℃ 및 100 ℃로 유지했을 때의 값을 표시하고 0 ℃의 접속점에서 전류가 백금을 향해서 흐르는 것을 正으로 한다.

Data 출처 : 大光書林의 電氣工學 핸드북 및 Metal Handbook

4.5.2 제반 문제점 및 오차의 원인

1. 불꽃점화 실험장치

가. 음극 (陰極) 재료

IEC형 장치가 일반적으로 유도회로나 저항회로에서 점화한계가 낮은 이유 중의 하나가 음극에 카드뮴 (Cd)을 사용하기 때문이다.

인덕턴스가 커서 최소 점화전류가 최소 아크전류보다 작은 범위 즉, 100 mH 이상에서는 아크발생이 없는 것으로 간주되며, 방전에너지는 전극재질의 영향이 크게 미치지 않으나 인덕턴스가 작게되면 점화전류가 커져 음극재질에 의해 영향이 크게 나타난다.

나. 극성 (極性) 효과

유도회로와 특히 저항회로에서 전극의 극성이 최소 점화전류에 영향을 미치며, Fe에서는 이런 현상이 없으나 Cd에서는 나타난다고 보고되고 있다.

저항회로의 경우 Cd을 음극으로 한 경우 점화한계가 낮아지는 것은 아크에 의하여 음극점이 형성되고 Cd의 금속증기가 아크를 유지하기 때문이 아닌가 여겨진다.

다. 전극의 마모

IEC형 장치에서는 단단한 W 선이 부드러운 Cd 표면에 미세한 흠을 내면서 개폐동작을 반복하기 때문에 Cd 음극이 새 것일 경우에는 표면의 흠이 적고, 크기도 작지만 어느 정도 사용한 후에는 미세한 흠이 많이 생긴다. 이때의 최소 점화전류는 Cd 음극이 새 것일 경우보다 약 10~20%의 최소 점화전류가 저하한다. 따라서 IEC 장치는 약 10만회 정도의 접촉개폐에 의한 Aging (무방전에서도 좋음)이 필요하다.

2. 오차의 원인

본 실험 결과와 IEC 규격에서 제시한 결과치 (그림 4.14)와 다르게 나타나는 원인으로는 다음에 의한 것들로 생각된다.

- 국가별 측정장치의 감도
- 혼합가스의 미세한 성분
- 전극의 회전수
- 네 전극의 독립성 및 전극의 열화
- 측정계기의 오차
- 동일 음극의 재질성분
- 기타 온도, 습도

실험에 사용한 측정계기는 다음의 것들을 사용하였으며 우선 전류를 측정하기 위하여 아나로그, 디지털 계기를 비교한 바 오차가 있었다.

- Digital Storage Oscilloscope, VC-6041(Z), HITACHI 社
- Digital Tester, Model 4510, Hung Chang 社
- Analog Current Meter, ±0.5%, Yokogawa 社
- Shunt, 1A/50mV±0.5%
- LCR Meter, ELC 2280, Escort 社
- Function Generator, 3040, BK 社
- Strobscope, EMS 8922, Lab-Volt 社
- Video Camera, 삼성 社

3. 동일 음극의 재질성분

실험에 사용한 음극의 재질 (Cd, Zn, Mg, Al, Sn)중 알루미늄을 재질분석한 결과는 순도가 96.6% 이상이었으며 나머지는 기타성분이었다.

금속재질의 순도 역시 최소 점화에너지에 영향을 미치는 것으로 생각되기 때문에 차후 연구에서는 재질의 성분비율에 따른 최소 점화에너지의 영향에 대한 연구도 필요하다고 생각한다.

제5장 결 론

전기에너지가 정상시 및 사고시에 발생하는 전기불꽃, 아크 또는 고온에 의해서도 폭발성 가스 또는 증기에 점화가 발생되지 않도록 하는 본질안전방폭구조는 이미 선진국에서는 활발한 연구를 수행하고 있으나 국내에서는 아직 미약한 실정이다.

본 연구에서는 본질안전기기 및 관련기기의 방폭구조 전기기계·기구를 사용하는 사업장과 이를 평가하는 공인기관에서 또한 이들을 제작하는 사업장에서 본질안전기기 및 관련기기를 선정, 사용, 평가하기 위한 기술적 자료를 제시하였다.

또한 교류용 Safety Barrier의 시작품 제작 및 이의 평가와 불꽃점화 실험장치의 비교, 최소 점화에너지의 측정을 수행한 결과 다음과 같은 결언을 제시한다.

1. 본질안전기기 및 관련기기의 평가와 사용안전

- 본질안전기기 및 관련기기의 Interface를 포함한 시스템 검정이 필요하며, 또한 Simple Apparatus에 대한 기술적 범위를 규정함으로써 Safety Barrier 사용을 도모함과 동시에 경제적 및 안전성을 도모하여야 한다.
- 현장의 다양한 적용성에 부합되는 Safety Barrier를 개발하여 보급하여야 한다.
- Zener Diode 등 본질안전기기 및 관련기기에 사용되는 전자부품의 특성실험 방법 등에 대한 구체적인 제시가 필요하다.

2. IEC형 불꽃점화 시험장치

- 저항회로의 경우에는 W 선을 양극으로, Cd 판을 음극으로 하는 편이 점화감도 특성이 좋으며, 유도회로의 경우에는 음극, 양극 어느 쪽이나 W 선과 Cd 판을 사용하여도 관계없다.
- Cd 전극의 표면에 어느 정도 흠이 있는 편이 점화감도에 특성이 좋으므로 10만회 정도의 에이징이 필요하다.
- 저항회로, 유도회로 및 용량회로에서 측정할 수 없는 범위 (대전압-소전류, 소전압-대전류)의 최소 점화에너지를 확인하기 위한 장치의 개발 및 검정을 위한 이의

장비 확보가 필요하다.

- 현재 성능검정에 사용되고 있는 불꽃점화 시험장치를 이용하여 실험한 결과 (그림 4.14)를 비교하면 약 100 mH 이하에서는 점화감도가 IEC 규격의 데이터보다 더 우수하였다. 대부분의 본질안전회로에서 사용되는 인덕턴스 용량이 100 mH 이하인 점을 감안하면 검정장비의 신뢰성은 문제가 없다고 본다.

3. 최소 점화에너지의 측정

- 에틸렌가스 및 유도성회로에서 실험에 사용한 음극재질은 카드뮴, 아연, 마그네슘, 알루미늄, 주석 순으로 최소 점화에너지가 커짐을 알 수 있었으며, 이는 사용한 전극의 금속재질의 물리적 성질 (비등점, 열기전력)에 관계되는 것으로 비등점이 큰 재질일수록 최소 점화에너지가 작았다. 실험 결과를 본질안전회로 및 관련 회로의 인쇄회로 (PCB)나 배선시에 전선의 재료선정 등에 적용하면 안전측면에서 매우 유용하리라 생각한다.

  또한, 본질안전회로 설계시 필요로 하는 금속재질의 종류 및 성분에 따른 실질적인 최소 점화에너지를 구할 수 있으며 이에 대한 기술적 Data를 사업장에 제공할 수 있다.

- 개폐속도에 따른 최소 점화에너지의 영향을 알아보기 위하여 텅스텐 전극의 회전수 (4~112rpm)를 가변시켰으나 본 실험장치의 개폐속도 범위내에서는 최소 점화에너지의 변화에는 영향을 주지 못하였다. 향후 개폐속도를 본 실험에서 실시한 최고 속도보다도 빠른 범위로 실시하여야 한다고 생각된다.

- 자장에 의한 최소 점화에너지의 영향을 알아보기 위하여 영구자석의 자속밀도를 0.65 KG에서 5.9 KG까지 바꾸어 가면서 불꽃점화 시험장치의 전극 주위에 접근시켰으나 점화에너지에 영향을 주지 못하였다. 추후 실험방법에 대한 새로운 고찰이 있어야 된다고 본다.

4. 기타

- 본 연구의 실험에 사용한 R, L, C 가변 박스 및 Tungsten Wire Cutter는 본안기기 및 관련기기의 검정시 Simulation 회로를 구성하여 시험하는데 유용하게 사용

할 수 있다.

- 본 실험장치에 고주파 발생장치를 부가시켜 고주파 전기회로를 이용하는 전기기기 (예: 무선기, 고주파 선로 등)가 가연성 물질로 점화되는 영향에 대한 연구도 필요하다.

※ 본 연구에 많은 물심적 배려를 베풀어 준 우리 연구원 「防爆電氣 檢定部」 직원들께 심심한 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 崔相源, 李寬珩, 文正基, "非點火 (Non-Incendive)型 防爆 電氣機器의 構造特性 및 評價方法", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 1994. 7.
2. 산업안전연구원, n (Non-Sparking)형 방폭전기기계·기구의 성능검정 기준개발에 관한 연구, 연구보고서, 기전연93-10-16, 1993. 12.
3. 勞動省 産業安全研究所, 本質安全防爆電氣回路に關する基礎的研究, 田中隆二, 1970. 8.
4. MTL, Pepperl+Fuch社, STAHL社 등 카다로그
5. 科學技術處, (財)韓國機械研究所, 船用機資材 技術支援을 爲한 研究 別冊附錄 II-本質安全防爆을 위한 불꽃 點火試驗技法開發, 연구보고서, UDC 629-13, 1984. 12.
6. 科學技術處, (財)韓國機械研究所, 본질안전방폭을 위한 폭발성 가스의 최소 점화전류에 관한 연구, 연구보고서, UDC 614-835, 1988. 12.
7. 科學技術處, (財)韓國機械研究所, Zener Diode를 이용한 본질안전 방폭관련 기기개발(I), 연구보고서, UDC 614.838, 1990. 6.
8. オム社 編, 電氣技術事典, 1982年 7月
9. 大光書林, 電氣工學 핸드북, 1977년
10. 黃璟容, 本質安全 防爆型 電氣機器 試驗에서 電極材質이 爆發性가스의 點火限界에 미치는 影響에 관한 研究, 漢陽大學校 産業大學院 工學碩士學位論文, 1994年 12月
11. NFPA 493, IEC 79-11
12. ANSI/ISA-RP12.6, Installation of Intrinsically-Safe Instrument Systems in Class I Hazardous Location,
13. Robin Garside, Intrinsically Safe Instrumention; a Guide, Safety Technology Limited, UK, 1982.
14. Imperial Chemical Industries PLC 교육자료, "TIME TO INSPECT", 1968.
15. Ernest C. Magison, Electrical Instruments in Hazardous Locations, Instrument Society of America, 1980.
16. BS 5345 Part4
17. The MTL Instruments Group plc, Intrinsic Safety OK for Process Instrumentation, TP1091, 1989. 1.

18. Simmens Power Engineering V, "Field Multiplexer of TELEPERM M Process Control System for use in Hazardous Locations", No. 6, 1983.
19. Breau of Mines Coal Mine Health and Safety Program, "Electric arcing high -voltage during Methane-Air Explosion Inside Explosion-proof enclosure", Technical Process Report 115, B11-TPR-115, 1982. 2.
20. Gas Industries, "Electrical Safety : Part II, Two important hazardous-reduction techniques", 1991. 3.
21. Electrical Power & Energy System, "Electrical Safety in hazardous -environments", 1985.
22. C & I, Safe Display come to zone 0, 1985. 6.
23. INTECH ENGINEER'S NOTEBOOK, Intrinsically safe pressure measurement instrumentation loops, 1991. 2.
24. Robin GARSIDE, "Intrinsic Safety for Instrumentation ; No Reason to Go Anywhere Else", InTech, 1985. 1.
25. M.K CORRIGAN, "Which Instrumentation for Hazardous-Area Plants ?", Measurement and Control, 1990.

본질안전 방폭기기의 평가 및 사용안전에 관한 연구

(기전연 94-7-9)

발 행 일 : 1994. 12. 31

발 행 인 : 산업안전연구원장 서 상학

연구 수행자 : 선임연구원 최 상원

발 행 처 : 한국산업안전공단
산업안전연구원
기계전기연구실

주소 : 인천직할시 북구 구산동 34-4

TEL : (032) 518-6484~6
(032) 513-0230

인쇄 : 성일문화사 (TEL : 02-267-3676) <비매품>