

본질안전방폭시스템 전원의 안정화에 관한 연구

†이 춘 하 · 이 창 우*

호서대학교 환경안전공학부, *한국가스안전공사
(2003년 12월 20일 접수, 2004년 1월 29일 채택)

A study on stabilized power source in intrinsic safety system

Chun-Ha Lee and Chang-Woo Lee*

Hoseo University, *Korea Gas Safety Corporation
(Received 20 December 2003 ; Accepted 29 January 2004)

요 약

본 연구에서는 가연성가스가 존재하는 위험지역에서 사용되는 본질안전방폭형 전기기기가 외부로부터 직류전원을 공급받을 때 방폭 성능을 유지하기 위한 부품의 조건을 실험을 통하여 알아보았다. 따라서 제너다이오드의 역방향 특성을 실험하였으며, IEC형 불꽃점화시험기를 사용하여 제너다이오드와 저항으로 구성된 전원부의 점화특성효과를 실험하였다. 이 실험을 통하여 안정화된 전원부에서 사용되는 제너다이오드와 저항의 필요용량값을 계산하고 본질안전시스템을 유지하기 위한 본질안전방폭형 전원공급방법을 설계하여 제시하였다.

Abstract : This study issues the component's ratings when low powered dc intrinsic safety instrumentations using in flammable atmospheres. Test of reverse bias of zener diode characteristics and ignition characteristics test for power source consist of zener diode and resistor have done using IEC spark test apparatus. With this test, the ratings for zener diode and resistor are calculated and the design method of intrinsically safe power supply system is reported.

Key words : Intrinsic safety instrumentations, ignition characteristics test, ratings for zener diode and resistor

1. 서 론

1910년대 부터 근대적 석유정제기술이 개발되어 세계적으로 중화학산업이 발전하였고, 또한 국내에서도 1960년대 이후 정부의 중화학공업 육성정책에 의해 고압가스시설이 날로 대형화, 다양화 되어왔다. 최근에 와서는 편리하고 깨끗한 에너지원으로 LPG, LNG가 각광받으며 이를 공급하는 제반시설이 확충되어가고 있다. 이로 인해 각종 가연성가스가 체류할 위험이 있는 지역도 넓어졌으며 폭발사고의 가

능성도 높아졌다.

가연성가스가 체류하거나 체류할 가능성이 있는 지역을 위험지역이라 하며, 국내에서는 이를 발생빈도에 따라 0종장소, 1종장소, 2종장소로 분류하고 있다. 이들 위험지역에서는 가스가 누출될 때 전기기기에서 발생하는 스파크나 온도에 의해 가스가 점화하거나 발화되지 못하도록 하기 위하여 방폭형 전기기기를 사용해야 한다.

일반적으로 가연성가스를 사용 또는 제조하는 화학플랜트에서 일정장소에 가연성가스가

누출되어 공기와 혼합, 폭발분위기를 조성하게 되는 확률은 매우 낮다. 이때 이 지역에 있는 전기기기가 방폭형이면 폭발확률은 거의 제로에 가까워지게 된다. 이렇듯 방폭형전기기기는 가연성가스시설에서 높은 안전을 보장하기 위해 사용되어진다

방폭형전기기기는 폭발방지수단에 따라 내압방폭구조, 본질안전방폭구조, 안전증방폭구조, 압력방폭구조, 특수방폭구조 등으로 나누어진다. 본 논문에서 연구한 본질안전방폭구조는 회로내의 에너지축적 및 발생을 억제하는 에너지제한기술(Energy Limitation Technology)을 이용한 차원높은 방폭구조이며, 안전도 및 편의성 면에서도 타 방폭구조에 비해 월등하다. 본질안전방폭구조는 "폭발위험장소에 설치되는 전기기기 및 배선의 어떤 부분에서 정상동작 및 사고시(단락, 지락, 단선)에 발생하는 불꽃, 아크, 과열이 주위에 있는 폭발성가스에 점화되지 않는 구조"라고 정의한다.^{[1]-[4]}

본질안전방폭구조는 1913년 탄광폭발사고를 계기로 영국에서 연구가 시작되었으며,^[4] 1940년대에는 탄광 및 일반산업장에서 사용되는 방폭형 전기기기에 대한 인증을 시작하였다. 1960년대에 들어서자 모든 산업화된 국가에서 본질안전방폭에 대한 관심이 높아져서 국제기준제정작업에 참여하는 등 이에대한 연구가 활발해졌다.

독일에서는 1965년 처음으로 기준을 제정하였고 곧이어 CENELEC (유럽전기기술위원회)규격 및 IEC(국제전기기술위원회)규격이 1977년 완성되었다.

이와 같이 선진국에서는 이미 본질안전관련 연구 및 기준제정이 활발히 진행되어 지금까지 많은 제품이 개발되어 사용되고 있으며, 세계적으로 유명한 선진국의 소수 메이커들이 관련제품시장을 지배하고 있다. 그러나 상대적으로 본질안전방폭에 대한 연구개발이 늦고 활성화되어 있지 않은 국내에서는 관련제품의 개발이 미미하며 대부분을 수입에 의존하는 실정이다. 또한 본질안전방폭형 전기기기는 보통 30V, 150mA이내의 낮은 전력을 사용하는 제품에 대해서 설계 및 제작이 적합하기 때문에 위험지역에서 사용되는 각종 센서류, 계측기류, 휴대용 전기기기등에서 이 방폭구조를 택하고 있다.^[5]

본질안전방폭구조는 설계시 일반 기기에 비해 많은 비용과 시간이 필요하지만 다른 방폭

구조에 비해 저렴한 생산·설치비용 및 안전성이 있기 때문에 국내에서도 이에 관한 많은 연구개발이 있을 것으로 전망된다.

그리고 위험지역내의 본질안전방폭기기가 외부직류전원을 이용하는 경우에는 안전성유지를 위해 필요한 정전압 직류전원을 사용하는 데, 본 연구에서는 이와 관련하여 사용되는 부품의 작동원리 및 본질안전방폭기준에 적합한 Barrier의 설계에 그 목적이 있다.

II. 이론 및 실험

본 장에서는 제너다이오드와 저항을 조합하여 저항회로로 구성된 본질안전시스템의 보호된 전원공급부를 설계하기 위하여 제너다이오드의 역방향 전압특성 및 제너다이오드를 통한 직류 정전압원의 점화특성을 실험하고자 한다.

본질안전방폭구조는 다른 방폭구조와는 달리 위험지역내의 본질안전기기, 케이블 및 전원부등 시스템을 구성하는 각부가 본질안전방폭성능을 유지하도록 구성되어야 한다. 특히 외부의 갑작스러운 영향에 대한 시스템내의 안전성확보가 필수적이다.

직류를 사용하는 본질안전방폭기기에 공급되는 전원은 다음과 같이 크게 세가지로 분류할 수 있다.

첫째, 배터리와 같은 간단한 직류 정전압전원장치로부터 공급받는 방식

둘째, 변압기로부터 컨버터등을 거쳐 공급되는 방식

셋째, 신호발생기 등 기타 장치로부터 신호를 받는 방법이 있다.

첫째의 경우는 위험지역또는 비위험지역에 공히 사용될 수 있으며 주로 기기의 본체내에 포함되어 위험지역에 위치한다.

둘째 및 셋째의 경우는 변압기에서 1차측 이상전압이 2차측으로 침입하지 못하도록 한 인터페이스인 Isolator를 사용하거나 제너다이오드를 사용한 안전유지용 인터페이스인 Barrier를 사용한다. Barrier는 제너다이오드의 항복전압(Breakdown voltage)을 이용하여 사고전류를 접지점으로 되돌려보내는 원리로서, Isolator에 비해 오래전에 개발되었고 사용범위가 넓어서 각종 계기류에 사용되고 있다. Isolator는 내부에 변압기를 사용하기 때문에 아날로그 또는 고주파 디지털신호를 사용하는

기기에는 적합치 않다. 그러나, 외부서지에 대해 Barrier보다 잘 견디고 설치조건이 까다롭지 않은 장점이 있다.^[6]

Barrier와 Isolator내에서 전압 및 전류를 제어하기 위한 소자로서 공히 제너다이오드가 사용되며, 이 다이오드의 항복전압 및 정격은 위험지역 내의 부하와 가스등급에 따라 정해진다.^{[5],[6]} 제너다이오드와 같은 부품을 Barrier나 Isolator에 사용할 때 사고시(단락, 지락, 단선)에도 정상작동을 하여야 한다는 본질안전개념이 적용되므로 설계시 이를 반영하여야 하므로 다음과 같은 실험을 하였다.

2.1. 제너다이오드의 V/I 특성실험

일반적인 다이오드에서는 정방향일 때 전류가 잘 통하지만 역방향으로 전압이 인가될 때에는 전류를 차단한다.

제너다이오드는 정방향에서는 일반 다이오드와 비슷한 특성을 갖고 있으나 역방향에서는 전압을 점차 증가시키면 어느순간 전류가 흘러버리게 된다.^[7] 이때의 전압을 항복전압(Vz)이라 하며 더 이상 전압을 증가시켜도 제너다이오드에 걸리는 전압은 일정하다.

항복전압(Vz)는 대략 4V~400V까지 설계전압에 맞게 불순물을 함유시켜 주므로써 조절이 가능하다. Vz의 값은 상수이며 온도변화율은 0.1%/℃ 이내이다.^[5]

Fig. 1 은 Barrier에 사용되는 제너다이오드의 특성을 실험하기 위한 장치의 회로도이다. 이 장치는 직류전원공급장치, 전압측정장치, 전류측정장치로 이루어진다.

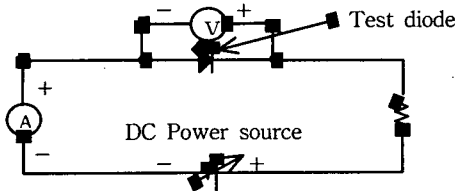


Fig. 1. Zener diode test circuit diagram.

이 시험에서 사용된 다이오드는 Barrier용으로 가장 많이 사용되고 있는 정격 24V의 제너다이오드를 대상으로 하였다.

실험결과 다이오드에 걸리는 전압은 항복전압까지는 선형적으로 상승하다가 항복전압에서부터는 일정함을 보였다. 항복전압점부터 다

이오드를 통해 많은 전류가 흐르기 시작했다. Fig. 2의 곡선에서와 같이 제너다이오드의 역방향바이어스시 전압을 높힐 때 그래프의 AB 구간이 전압축과 일치하지 않았다. 이것은 역방향바이어스시의 누설전류때문이며 이를 역방향 포화전류라고 한다.^[5] 이 전류는 기온이 10℃오를 때마다 약 2배씩 증가하므로,^[5] 배리어가 사용되는 환경조건이 표준환경조건 이상 이 된다면 배리어의 설계시 고려되어야 할 수 치임을 알 수 있다.

그래프의 BC구간도 전류축과 평행이 되지 않았는데, 이는 제너다이오드 내부저항값 때문이다. 경사도는 1A/1V 정도로 측정되었다.

또한, 점B에서 전압강하가 급격히 시작되었으나 제너다이오드 내부임피던스의 영향으로 이상적인 직각이 되지는 않는다.

이러한 제너다이오드의 불완전성 때문에 고주파 신호를 주고받는 센서류에서 배리어의 사용시 누설전류의 특성으로 측정값에 오차가 발생하는 경우가 있다.

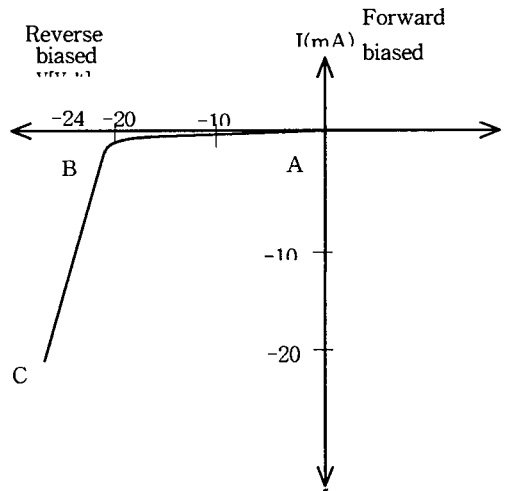


Fig. 2. 24V Zener diode V/I curve.

2.2 제너다이오드를 통한 정전원의 점화 특성 실험

본질안전시스템에서는 공급되어지는 전원의 안전성을 확보하기 위한 여러 가지 조치가 강구되어 있는데, 전압·전류 제한회로를 채용하여 안전성을 인증받은 정전압원이 사용된다. 또한 Fig. 3과 같이 건전지와 과전류 방지용 저항을 전원부에 삽입하여 안정된 전원을 공급받을 수 있다.

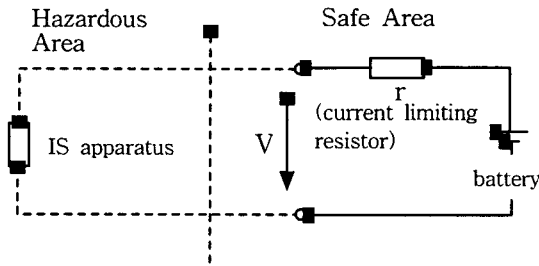


Fig. 3. Battery powered resistance circuit.

그러나 Battery가 저항 등으로 보호되지 않는 경우는 건전지의 과도특성을 고려해야 한다. 공칭전압 1.5V인 알칼라인-망간건전지의 경우 개방전압을 1.65V로 간주한다.^[8]

뿐만 아니라 위험지역 내에서 배터리를 전원으로 사용하는 경우는 배터리의 전류를 제한하도록 저항으로 보호되어야 하며, 배터리는 밀봉 또는 캡슐화되어 전류제한 저항과 일체형 구조이어야 한다.^[8] 이때 전원유니트의 단자는 본질안전단자기준에 적합한 하나의 단자가 되어야 한다. Fig 4. 는 위험지역에서 사용되는 배터리의 일반적인 형태이다.

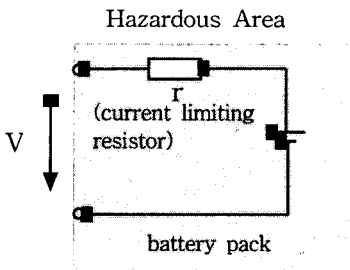


Fig 4. Encapsulation of battery

저항회로로 구성된 시스템내 공급전원의 안전성을 평가하기 위해서는 Fig 5 저항회로의 점화곡선을 이용한다.

결국 Fig. 5의 점화곡선은 선형특성을 가지는 linear power supply에 대해서만 적용이 가능하다. 일반적으로 사용되는 정전원은 Voc(단자전압)와 Isc(단락전류)가 지정된 값을 유지하도록 제어되기 때문에 선형을 이루지 못하고 항상 안정화된 전원보다 많은 전력을 발생시킨다.^[5] 이와같은 non-linear power supply를 사용하는 본질안전 시스템에서는 전압과 전류에 의한 에너지전달량이 linear power supply에 의한 경우보다 많아지므로 본질안전방폭으

로 허용되는 최대전압(Uo) 및 최대전류(Io)가 낮다.

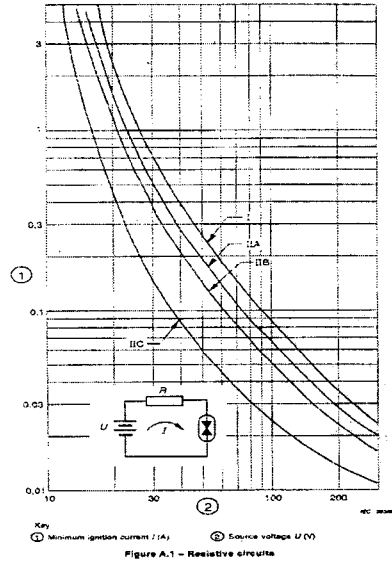


Fig. 5. IEC60079-11(1999)

Ignition curve of Resistive circuits.

따라서 본 실험에서는 Fig. 5의 점화곡선과 제너다이오드를 이용해 점화한계를 개선시킨 데이터를 비교하기 위하여 기존의 점화곡선을 만들어낸 불꽃점화 시험기를 이용하였다.

실험에 사용된 가스는 가스그룹 IIC의 대표 가스인 수소를 사용하였으며 최소점화에너지를 측정하기 위한 실험장치는 불꽃점화시험기, 가스혼합공급설비, 정전압원 공급부로 구성된다. 실험에 사용된 IEC형 불꽃점화시험기는 현재 국내규정에서도 사용하고 있는 모델이다. 이 시험기의 특징은 전압과 전류의 개폐불꽃에 대한 안전율을 다른 시험기에 비해 충분히 높이는 효과를 기계적으로 부여한데 있다.

개폐불꽃을 일으키는 전극부는 카드뮴(Cd)으로 구성된 판과 직경 1mm의 텅스텐(W)선으로 구성되어 있으며, 텅스텐선 홀더와 카드뮴판이 반대방향으로 회전하는 구조이다. 텅스텐선전극은 80 rpm으로 회전하고 카드뮴판은 19.2 rpm으로 회전하며 개폐를 반복한다.

이때 전극으로 유입되는 전원은 전극의 슬립링을 통해 회전축으로 전달된다. 폭발조는 내용적이 약 250cm³로서 투명한 아크릴로 견고

하게 구성되어 있다. 시험을 실시하게 되면 폭발조내에서 가스의 폭발은 필연적이므로 폭발시 회전전극이 멈출수 있도록 압력스위치가 갖추어져 있다. 압력스위치는 폭발압에 의하여 작동된다. 전극을 회전시키는 모터에는 회전수 카운터가 설치되어 폭발이 지정된 회전수내에 발생하였는가를 확인할 수 있다. Fig 6.에서는 불꽃점화시험기의 구성도를 나타내었다.

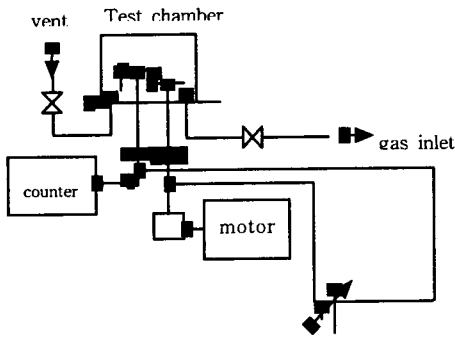


Fig. 6. spark test apparatus diagram.

가스혼합공급설비는 산소농도분석기를 사용하여 가연성가스의 농도를 분석하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 대부분의 방폭시험소에서 사용하고 있는 방법인데, 사용이 간편하고 가스분석장치(G.C.)가 없이도 기준에서 요구하는 정확도를 확보할 수 있다.

정전압원 공급부의 전원으로는 무유도 직류 전원장치를 사용하였고 24V 제너다이오드를 통해 불꽃점화시험기의 전극으로 연결된다.

이때 정확한 전압을 측정하기 위해 전압계와 전류계를 설치하였다. Fig. 7은 시험회로의 구성도이다.

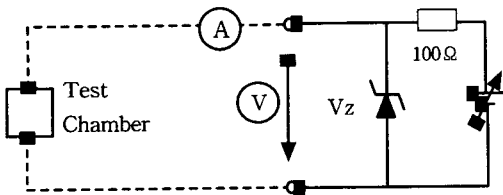


Fig. 7. Test circuit.

먼저 불꽃점화시험기의 점화감도를 교정하기 위해서 인덕턴스 값이 0.09~0.1H의 공심 코일을 포함한 감도교정회로를 연결하고 24V, 30~30.6mA의 전압 및 전류를 공급하여 전극이 400~440회전동안 폭발이 일어나게 한다.

이때 폭발이 일어나지 않으면 텅스텐전극이나 카드뮴원판전극을 갈아주고 다시 감도교정을 실시한다. Fig. 8 은 불꽃점화시험기 점화감도 교정회로이다.

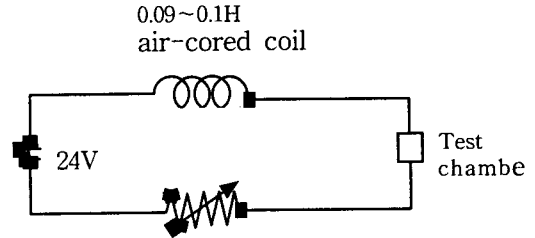


Fig. 8. STA calibration circuit.

폭발데이터 곡선을 얻기 위해 IEC에서 사용하는 직류회로의 본질안전시험시 사용하는 기준을 사용하였다.^[8] 여기서 사용되는 혼합가스는 수소-공기의 부피퍼를 19~23%로 조성하고 직류회로로 된 회로의 경우 전극의 극성을 바꾸어서 200회전씩 총400회전 후 점화가 일어나지 않는 것을 확인하도록 규정하고 있다. 제너다이오드는 항복전압(Vz) 24V의 제너다이오드를 사용하였다. 공급전압은 5%씩 증가시켰으며 각각의 전압에서 전류도 mA단위로 5%씩 증가시켰다. 다이오드 및 텅스텐전극의 과부하를 고려하여 전류는 최대 1A 까지만 상승시켜 실험을 실시하였다.

III. 측정결과 및 고찰

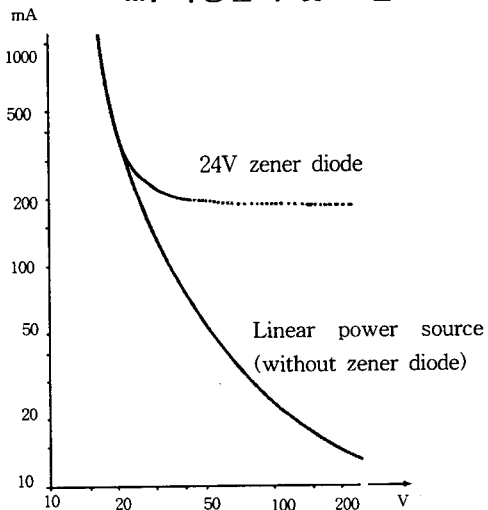


Fig. 9. Ignition characteristic of 24V zener diode power source.

Fig. 9는 폭발시험결과 그래프로서 zener diode를 사용하면 보다 넓은 좌측영역(비점화 영역)을 확보할 수 있게 된다.

전압이 22V를 넘어서면서 점화곡선이 Fig. 5에 나온 저항회로의 점화한계보다 높아지기 시작했다. 특히 40V 이상에서는 전압축과 평행을 이루며 점화전류가 높아졌다.

공급전원이 50V 및 100mA 일 경우에도 점화를 일으키지 않았다. 일반적으로 이 정도의 전력은 위험지역으로 공급된다면 충분히 점화를 일으키는 수치이다. 제너다이오드를 사용함으로써 공급전원의 점화한계는 상당히 올라갔음을 알 수 있다.

제너다이오드를 이용한 정전압원은 사용가능한 전원의 범위를 크게 넓혀서 비위험장소에 설치되는 전원부의 설계를 용이하게 한다. 반면 허용되는 전압이 높아지게 되므로 발생가능한 사고시 점화에너지 이상의 에너지가 위험지역으로 유입되게 되는 경우를 발생시킨다. 제너다이오드를 이용한 정전압원으로 전원을 공급하더라도 직렬저항을 삽입하여 위험지역으로 유입되는 전류를 제한한다.

정상상태에서는 출력전압이 항복전압(V_z)를 유지하다가 전류가 점차 증가되면 R에서의 전압강하가 커지며 V_z 가 작아지기 시작한다. 여기서 전류가 더욱 증가하면 제너다이오드는 개방상태처럼 되는데, 이때 부하에 걸리는 전압 V_o 는 다음과 같이 표현된다.

$$V_o = E - IR$$

전원전압 E 값을 20V로 가정한다. 본질안전시스템에서 위험장소내의 단락은 정상상태(normal operation)로 간주되므로 여기서 부하저항의 단락을 고려하면, 발생되는 단락전류는 $20/100 \approx 0.2A$ 이다. 개방전압 20V와 단락전류 0.2A를 가지고 Fig. 5의 점화곡선에서 IIC에 적합한지를 판단하기 위해서 IEC에서 요구하는 안전율을 전압과 전류에 부여하면,

$$I = 0.2 \times 1.5 = 0.3A$$

$$V = 20 \times 1.1 = 22V$$

전압에 곱해지는 안전율 1.1은 점화곡선을 읽을 때 오차를 보완하기 위해 주어진다.

점화그래프에서 위의 수치들은 IIC곡선 안

쪽으로 들어오므로 폭발범위에 속하지 않게 된다. 여기에 불확도 인자인 공급전압과 저항의 허용범위를 계산해야 한다. 즉 전압의 변동 범위가 19.5~20.5V 이고, 저항 R이 $100 \pm 3\%$ 이면, 단락전류는 $20.5/97 \approx 0.211A$ 가 되어 점화곡선에서 적용되는 전류값은 $0.211 \times 1.5 = 317mA$ 전압값은 $20.5 \times 1.1 = 22.55V$ 가 된다.

이 값도 가까스로 폭발한계 내에 있기 때문에 위의 저항값은 제너다이오드에 연결된 보호저항으로서 안전율을 고려하여 만족하는 값을 알 수 있다.

본질안전시스템내 i_a 및 i_b 기기는 위에서 언급한 부하저항의 단락(Field wiring)을 포함하여 최소한 하나의 시스템사고를 만족해야 한다. 이 경우 시스템사고는 저항R의 단락이 될 수 있다. 보통의 경우는 저항이 단락되는 경우는 거의 없지만 Wire-wound 타입에서의 저항내부단락을 하나의 발생가능한 사고로 간주한다. 저항 R이 단락되면 부하로 흐르는 전류는 $20 \div$ (전원의 내부저항) 이 되어 이 값은 수 암페어에 이르고 점화가 가능하게 된다. 때문에 R 은 고장이 없는 부품으로 만들어야 하는데, 고장이 없는 부품을 IEC 에서는 "Infallible"이라고 하며 NEC에서는 "Protective"라고 표현한다.

Infallible 부품은 사고가 일어나기 힘들고 이에 따라 사고가정에서 제외된다.

뿐만 아니라 저항에서 전원까지의 전원공급도 Infallible로 하여 단락이 발생하지 않도록 해야한다. PCB 트랙일 경우는 너비를 2mm 이상으로 하는 방법 및 공칭 두께 35 μm 이상의 동을 씌우는 방법이 있다.

제너다이오드는 단락의 경우는 안전하지만 개방상태가 되면 위험하다. 앞서 설계한 회로에서는 저항을 이용하기 때문에 제너다이오드의 개방사고시에도 안전하다고 평가되지만 일반적으로 제너다이오드의 보호조치 역시 강구된다. 제너다이오드를 고장이 일어나지 않는 부품으로 인정하는 것에 대한 논란이 많이 있었지만 지금에 와서는 독립된 2개의 다이오드를 구성하는 방안이 기준으로 되었다.

Fig. 10에서는 제너다이오드와 저항이 안정화된 전원을 구성하기 위해 PCB에서 사용될 때 고장이 나지않는 부품으로 간주되기 위해 각 부를 Infallible화 시켜 Ex ia IIC로 사용될 수 있는 power supply 회로를 설계하였다.

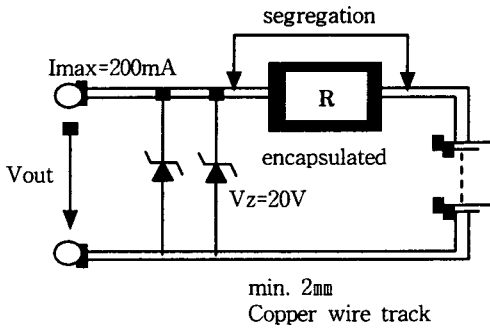


Fig. 10. Ex ia IIC power.

IV. 결 론

본 논문에서는 본질안전방폭시스템 내 Barrier 및 정전압원에서 핵심적인 부품으로 사용되는 제너다이오드의 역방향 특성에 관하여 실험을 실시하고, 제너다이오드를 이용한 정전압원에서의 점화특성을 실험하였다.

그 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 제너다이오드의 항복전압까지는 누설 전류가 발생하나 본질안전방폭시스템 설계시 고려할 정도는 아닌 것으로 나타났다. 그러나 제너다이오드 내부저항의 영향으로 항복전압 이후 그래프가 전류축과 평행이 되지 않았다.

둘째, 제너다이오드와 저항으로 이루어진 정전압원의 각 부분이 국제기준에 부합되도록 저항, 도선 및 제너다이오드를 고장이 일어나지 않는 부품(Infallible component)으로 변형시키는 방법을 제시하였고 저항회로에서 점화를 일으키지 않는 최소 저항값을 계산하였다.

셋째, 위의 결과를 토대로 IEC60079-11의 기준에 적합한 Ex ia IIC 등급의 Barrier를 설계하였다.

이상의 연구결과에서 외부전원을 이용한 본질안전방폭형 전원부 및 현재 영국, 독일등 본질안전방폭분야의 선진국에서는 이미 보편화되어 있는 Transformer-isolated 형 본질안전방폭관련기기의 설계 및 기초자료로 활용 가능하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 이춘하 외 : “방폭시험 평가방안에 관한 연구(I)”, 한국기계연구소, 1990
2. 이춘하 외 : “방폭시험 평가방안에 관한 연구(II)”, 한국기계연구소, 1991
3. 이춘하, “본질안전 방폭 전기회로의 점화한계에 관한 연구”, 1995
4. Andrew Templer, “Barrier and Loop powered apparatus for group II intrinsically safe equipment”, EECS, 1996
5. H. G. Bass, “Intrinsic safety instrumentation for flammable atmospheres”, 1984
6. L C Tozledahl, “Shunt-diode safety barrier and galvanic isolators-a critical comparison”, The MTL instruments Group, TP 1113-1, 1995
7. Mizuho Tachibana, Diode, 1986
8. IEC 60079-11, “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Part 11: Intrinsic safety”, 1999