

안전소자를 이용한 유도회로의 점화한계 개선에 관한 연구

이춘하[†] · 박민영 · 지승욱* · 김충년* · 이광식* · 심광렬**

호서대학교 환경안전공학부 · *영남대학교 전자정보공학부 · **울산과학기술대학 전기전자학부
(2003. 11. 21. 접수 / 2004. 3. 11. 채택)

A Study on the Improved Ignition Limit for Inductive Circuits with Safety Components

Chun Ha Lee[†] · Min Yeung Park · Seung Wook Jee* · Chung Nyun Kim*
Kwoang Sik Lee* · Kwoang Ryul Shim**

Department of Safety Engineering, Hoseo University

*Department of Electrical Engineering, Yeungnam University

**School of Electrical Engineering, Ulsan College

(Received November 21, 2003 / Accepted May 11, 2004)

Abstract : This paper describes that the improved effects on the ignition limit are studied by parallel safety components for propane-air 5.25vol.% mixture gas in low voltage inductive circuits. The experimental devices are used in the IEC type spark ignition test apparatus.

The improved effects on the ignition limit are respectively obtained as the maximum rising rate of 650%, 1,080% by composing parallel circuits between inductance and safety components (condenser and diode) as compared with disconnecting inductance with the safety components.

The more values of inductance increase the higher improved effects of ignition limit rise. This improving method for the ignition limit is not concerned with the safety components. Diode appears to effect greatly better than condenser.

It is considered that the result can be used for not only data for researches and development of intrinsically safe explosion-proof machines which are applied equipment and detectors used in hazardous areas but also for data for its equipment tests.

Key Words : improved effects, ignition limit, safety components

1. 서 론

최근 우리나라에서는 가정, 사업장 등에서 폭발에 의한 크고 작은 사고들이 빈번히 발생하여 수많은 재산과 인명 피해를 가져오고 있어 이에 대한 대책이 절실히 요구되고 있다. 폭발사고의 주된 원인 중 전기기기나 배선 등에서 발생하는 불꽃, 아크 또는 과열 등에 의한 폭발성 가스의 점화를 방지하기 위하여는 폭발성 가스가 존재하거나 존재할 우려가 있는 위험장소에서 사용되어도 점화원이 되지 않도록 구조상 및 회로상 특별히 설계된 방폭형 전기기기의 사용이 필수적으로 요구된다¹⁻³⁾.

이러한 방폭형 전기기기 중에서 본질안전 방폭구조로 설계, 제작된 전기기기는 폭발위험 장소에 설치되는 전기기기 및 배선의 어떠한 부분에서 발생하는 불꽃, 아크 또는 과열로 인하여 폭발성 가스가 점화되지 않도록 되어있으며, 선진국에서는 점차 이의 사용이 증가하고 있는 실정이다^{4,6)}.

각종 전기·전자 기기들을 본질안전 방폭형 전기기기로 만들기 위해서는 전원 전압과 부하 전류의 크기를 폭발성 가스의 점화한계 이하가 되도록 제어함으로써 가능하다. 그러나, 본질안전 방폭성을 갖추기 위해 전압 또는 전류의 어느 한쪽이나 양쪽을 작게 할 경우, 저항회로에서는 기기가 동작을 하지 않거나 정상동작을 하지 못할 수 있지만, 유도회로에서는 기기의 통상적인 동작에는 거의 영향을

[†]To whom correspondence should be addressed.
leecha@office.hoseo.ac.kr

미치지 않으면서 단순히 회로에서 발생하는 점점간의 개폐불꽃, 배선의 단선 및 단락불꽃으로 인해 방출되는 방전에너지를 억제하여 폭발성 가스와의 점화를 방지할 수 있는 안전소자의 적용이 가능한 것으로 알려져 있다^{3,7)}.

따라서, 본 논문에서는 사고 순간에 소자 자체에서 에너지를 일시적으로 저장하거나, 회로 상의 다른 루트를 만들어 사고시에 에너지의 일부를 이곳으로 흘려주어 사고 지점에서 발생하는 불꽃의 에너지를 줄여 줌으로서 보다 큰 전류에서도 본질안전 방폭성을 유지할 수 있도록 할 수 있는 콘덴서나 다이오드를 안전소자로 채택하였다. 그리고, 유도회로의 인덕턴스 L에 병렬로 콘덴서나 다이오드와 같은 안전소자를 접속한 회로에서의 점화한계 개선효과를 측정하였다. 또한, 실험에 사용한 가스는 일상 생활에서 아주 많이 사용되고 있어 이로 인한 폭발 사고가 빈번히 발생되고 있는 점을 감안하여 프로판가스를 대상으로 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 실험에 사용된 개폐불꽃 발생장치는 지금까지 개발된 각종 실험장치 중에서 점화감도가 가장 우수하다고 알려진 IEC형 개폐불꽃 발생장치를 사용하였다⁸⁾.

이 시험장치의 구성도는 Fig. 1과 같으며, 본장치는 불꽃 발생용의 전극부가 들어있는 폭발조(Test chamber)와 소정의 가스농도를 가진 혼합가스의 공급 및 배기계통으로 크게 나눌 수 있다.

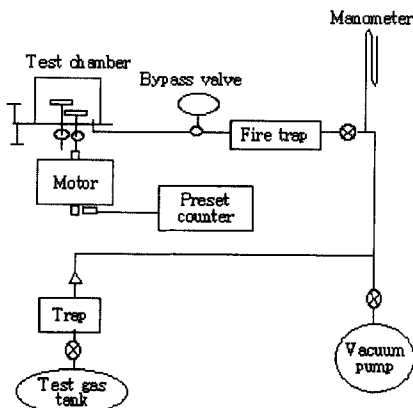


Fig. 1. Schematic diagram of spark ignition test apparatus.

폭발조는 Fig. 2와 같으며, 이는 내용적이 약 250 cm³로서 플라스틱 뚜껑과 베이스 플레이트 및 기밀 유지를 위한 패킹 등으로 구성되어 있고 그 내부에 전극부가 들어있는데 양극은 직경 0.2mm의 텅스텐 선(Contact wire)으로서 정사각형의 금속판 네 모퉁이에 1개씩 고정되어 있고 음극은 폭 2mm, 깊이 2mm인 2줄의 평행한 홈이 있는 카드뮴원판(Contact disk)으로 되어 있다.

텅스텐선이 고정되어 있는 금속판의 회전축과 카드뮴 원판전극의 회전축은 각각 80rpm과 19.2rpm의 속도로 서로 반대 방향으로 회전하며 양 중심축 사이에 시험회로를 접속하여 회전시키면 텅스텐선의 끝이 차례로 카드뮴의 표면과 접촉하면서 개폐불꽃이 발생한다.

양 전극(텅스텐선과 카드뮴 원판)의 상대적인 개폐속도는 텅스텐선이 카드뮴의 표면위를 이동중일 때는 약 25cm/sec이지만 텅스텐선이 카드뮴의 원주에서 떨어져 나갈때는 텅스텐선의 스프링 작용에 의하여 약 2,000cm/sec에 이른다.

가스공급 및 배기계통에서는 5.25Vol.%의 프로판-공기 혼합가스를 가스 Tank 내에 준비해 두고 폭발조를 진공펌프에 의해 진공상태로 한다. 그리고 가스 Tank와의 압력차이에 의해 혼합가스를 폭발조 내에 채워 넣어 점화가 되면 폭발압력 스위치에 의하여 전원이 차단됨과 동시에 수동으로 뚜껑을 열어서 배기시키도록 되어 있다.

한편, 폭발성 가스와 공기의 농도를 실험조건에 맞추기 위해 공기를 분압식으로 혼합탱크 내에 채운 후 균일하게 혼합하여 적외선식의 분석계를 이용하여 혼합가스의 농도를 분석하였다.

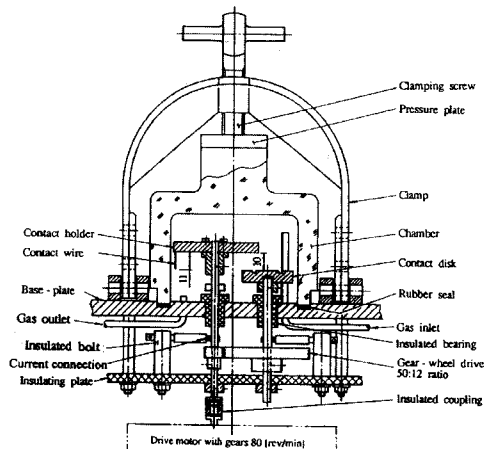


Fig. 2. Detail diagram of test chamber.

2.2. 실험방법

2.2.1. 점화한계 결정방법

IEC 60079-11(Intrinsic-safety)에서는 직류회로의 본질안전 방폭성을 평가할 때, 불꽃발생회수를 극성을 바꾸어 각각 800회 이상으로 규정하고 있다. 그러나, 본 실험에서는 Data의 산란을 방지하기 위하여 임의의 회로조건을 설정하고 불꽃발생 장치의 전극간에 연속 3,200회까지의 개폐불꽃을 발생시켜 대상으로 하는 폭발성 가스에 점화유무를 확인하였다. 만일 가스에 점화를 일으켰을 경우에는 회로전류 만을 5% 감소시킨 상태에서 3,200회의 개폐불꽃 발생에 따른 가스에 점화유무를 시험하였고 점화가 일어나지 않았을 경우에는 이와 반대로 하였다.

이상과 같은 과정을 반복하여 점화한계는 3,200회의 개폐불꽃으로도 가스에 점화되지 않은 전류값과 이 값 직전의 점화된 전류값의 평균을 점화한계값으로 정하였다.

2.2.2. 점화감도 교정

각 회로 조건에서 점화한계를 측정하기 전후에 개폐 전극의 점화감도 교정을 실시하여 실험중 소정의 감도가 유지되고 있었다는 것을 확인하였다. 만일 시험전의 감도가 양호하더라도 실험직후의 감도가 불량임이 판명되었을 경우에는 측정 도중에 전극상태가 변화되었으므로 텅스텐선을 교환하고 그 위치를 조정하여 재측정하였다.

감도교정은 Fig. 3과 같은 교정회로에서 발생하는 1,600회 이내의 개폐불꽃이 5.25vol.%의 프로판-공기 혼합가스에 대하여 100mA의 전류에 점화되도록 하였으며 공급전압은 직류 24V, 인덕턴스는 95mH이다.

2.2.3. 점화한계 개선 실험방법

이상과 같이, 안전소자에 의한 점화한계 개선효과를 쉽게 파악할 수 있도록 Fig. 4와 같이 안전소자가 없는 유도회로의 점화한계를 먼저 측정하고,

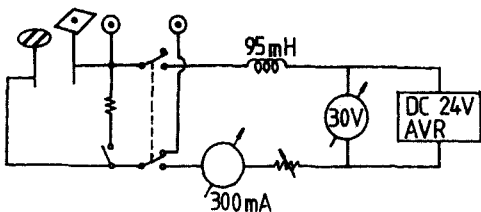


Fig. 3. Calibration circuit of ignition sensitivity.

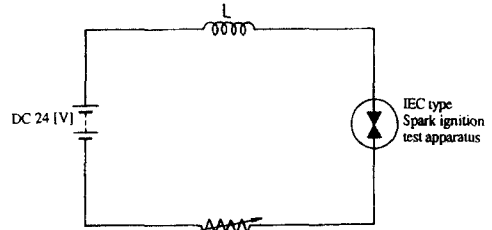


Fig. 4. Inductive circuit for spark ignition test.

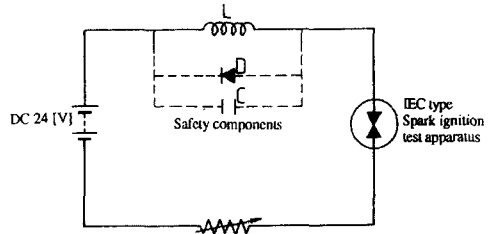


Fig. 5. Inductive circuit for improvement of ignition limit.

Fig. 5와 같이 유도회로의 인덕턴스 L에 안전소자로 콘덴서 C와 다이오드 D를 각각 연결한 경우의 점화한계를 프로판-공기 5.25vol.%의 혼합가스를 대상으로 하여 측정하였다. 또한, 회로의 전원전압은 본질안전 방폭형 전기기기와 본질안전회로에서 가장 많이 이용되어 지고 있는 DC 24V를 대상으로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 안전소자로 콘덴서를 사용한 경우

Fig. 5의 인덕턴스 L에 1.0 μ F, 0.1 μ F, 0.047 μ F, 0.020 μ F, 0.010 μ F 용량의 콘덴서 C를 각각 병렬로 접속하였을 경우(Fig. 6에서 실선)가 병렬 콘덴서를 접속하지 않았을 경우(Fig. 6에서 점선)보다 점화한계 전류값이 증가 하는 것(이하 점화한계 개선효과가 나타나는 것)으로 나타났다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 30mH 이상에서부터 점화한계 개선 효과가 나타나기 시작하여, 회로의 인덕턴스가 클수록 또한 병렬콘덴서의 커패시턴스가 클수록 점화한계 개선효과가 높아지는 것을 알 수 있다.

점화한계가 개선되는 이유를 살펴보면 Fig. 5에서 IEC형 불꽃점화 시험장치를 스위치 S로 놓고, 코일의 직류 저항을 R₁, 병렬로 접속한 콘덴서를 C, 전류 조정저항을 R₂로 하여 다시 그리면 Fig. 7과 같다.

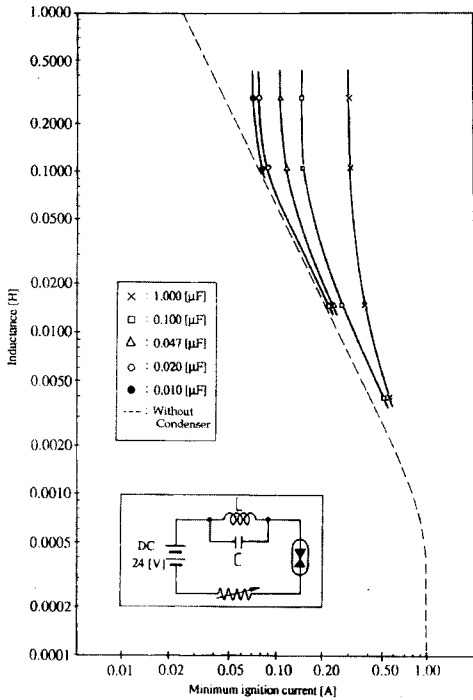


Fig. 6. Improvement effect of ignition limits (connection of shunt condenser)

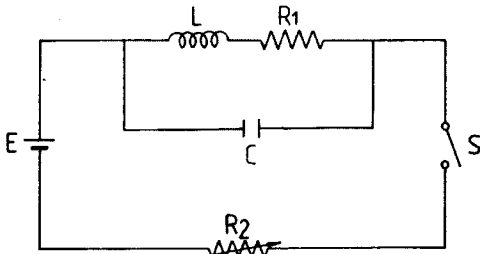


Fig. 7. Equivalent circuit of shunt condenser.

Fig. 7에서 콘덴서 C를 인덕턴스 L에 병렬로 연결하여 스위치 S를 개로하였을 경우 회로전류는 콘덴서로 흘러들어 가고, 개로 직후의 콘덴서 양단의 전압은 전원전압 E와 거의 같게되므로 스위치가 열려도 스위치 양단간의 전압은 0으로 간주할 수 있으므로 스파크가 발생하지 않게되고 점화가 억제되는 것으로 사료된다.

한편, 스위치를 개로한 후의 폐회로의 전류는 다음식으로부터 구할 수 있다.

$$-L \frac{di}{dt} = R_1 i + \frac{q}{C} \quad (1)$$

단, q는 C의 전하량이다.

식 (1)의 일반해는

$$i = Ae^{\lambda_1 t} + Be^{\lambda_2 t} \quad (2)$$

가 된다. 여기에서 A, B는 적분정수이다.

λ_1, λ_2 는 다음 식으로 주어진다.

$$\lambda_1 = \frac{-R_1 + \sqrt{R_1^2 - 4 L/C}}{2L}$$

$$\lambda_2 = \frac{-R_1 - \sqrt{R_1^2 - 4 L/C}}{2L}$$

따라서 λ_1, λ_2 의 근호내 값이 정부의 여하에 따라 비진동적이든가, 진동적인 전류가 되고 콘덴서의 단자전압도 이에 따라 변화한다.

전원이 직류의 경우는 콘덴서를 통하여 상시 전류가 흐르지 않는다는 잇점은 있지만 스위치의 개리속도가 늦은 경우나 불규칙적으로 접촉개리하는 경우에는 점화억제효과가 낮을 것으로 생각된다.

또한, Fig. 6에서 병렬로 콘덴서를 연결하였을 때와 연결하지 않았을 때의 점화한계에 대한 전류비를 횡축으로 하여 다시 그리면 Fig. 8과 같이 된다. Fig. 8에서 인덕턴스가 300mH일 때 최고 650%의 점화한계 개선효과가 있음을 알 수 있고, 커패시턴스가 클수록 효과가 크다는 것을 알 수 있다.

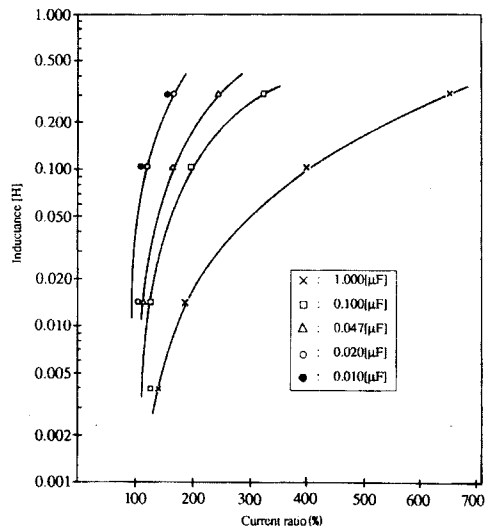


Fig. 8. Improvement effect of ignition limits (current ratio for shunt condenser)

3.2. 안전소자로 다이오드를 사용한 경우

Fig. 5의 인덕턴스 L에 실리콘 다이오드, 게르마늄 다이오드, 스위칭 다이오드를 접속하였을 경우의 점화한계 개선효과를 Fig. 9에 나타내었으며, 점선은 다이오드가 없고 L만 있는 유도 회로에서의 점화한계이고, 실선은 각각의 다이오드를 병렬로 접속한 경우의 점화한계이다. Fig. 9에서 5mH의 작은 영역에서부터 광범위하게 점화한계 개선효과가 나타나고 있음을 알 수 있으며, 콘덴서 병렬접속의 경우와 같이 회로의 인덕턴스가 클수록 점화한계는 높아지지만 다이오드의 종류에 따라서는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. 또한, 콘덴서의 병렬접속 회로에서는 30mH에서부터 효과가 나타나는 것을 감안한다면 점화억제의 안전소자로 다이오드를 사용하는 것이 콘덴서를 사용한 경우보다 적용범위가 넓으면서 효과가 좋을 것으로 생각된다.

Fig. 5에서 IEC형 불꽃점화 시험장치를 스위치 S로 놓고, 코일의 직류 저항을 R₁, 병렬로 접속한 다이오드를 R₂, 전류 조정저항을 R₃로 하여 다시 그리면 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에서 다이오드를 연결하였을 경우에 스위

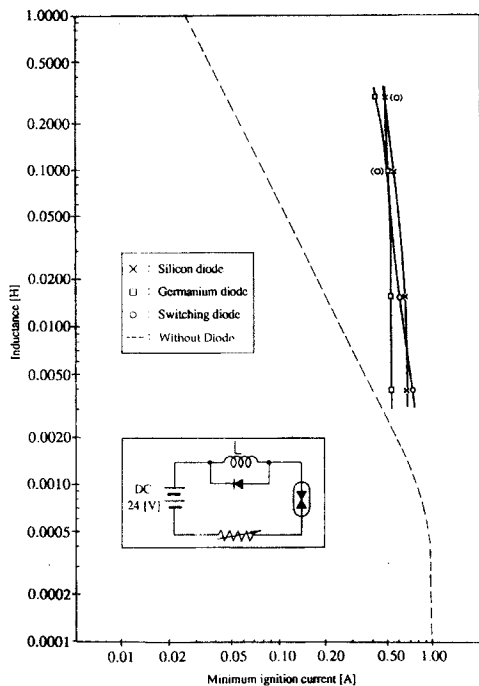


Fig. 9. Improvement effect of ignition limits (connection of shunt diode)

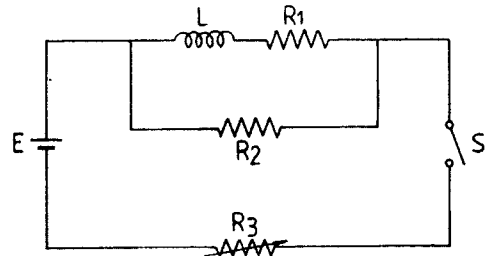


Fig. 10. Equivalent circuit of shunt diode

치 S를 개로하기 전에는 R₂ ≃ ∞, 개로한 순간부터는 R₂ ≃ 0로 스위치 S를 개로한 순간에 흐르는 전류 i를 구하면 다음과 같다.

$$i = \frac{E}{R_1 + R_3} e^{-\frac{R_1}{L} t} \quad (3)$$

또, 코일 양단의 단자전압 E_L은

$$E_L = \frac{R_1}{R_1 + R_3} E e^{-\frac{R_1}{L} t} \quad (4)$$

이 되어, R₁이 작을 수록 E_L의 값이 작아짐을 알 수 있다. 즉, R₁을 적게하여 E_L이 적게되면 코일에 축적되는 에너지가 적어지게 되므로 회로의 스파크 에너지가 적게 되어 점화가 억제되는 것으로 생각된다.

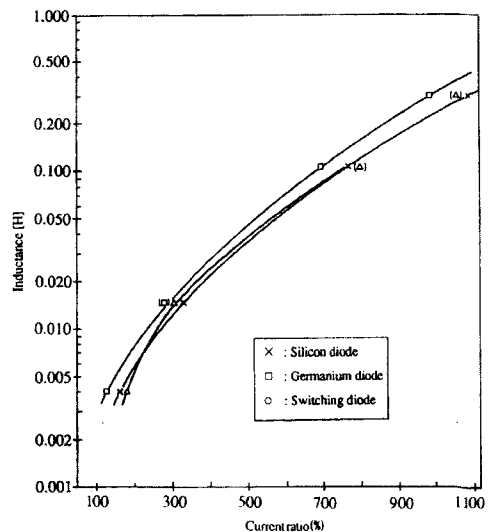


Fig. 11. Improvement effect of ignition limits (current ratio for shunt diode)

5. 결 론

본 논문에서는 직류 유도회로의 인덕턴스 L에 기기의 통상적인 동작에는 영향을 미치지 않으면서 방전에너지를 적게하여 주는 역할을 하는 안전소자로서 콘덴서와 다이오드를 병렬접속하였을 경우 각각의 점화한계를 구함으로써 점화한계 개선효과에 대한 것을 실험적으로 고찰하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 콘덴서를 병렬로 접속하였을 경우에는 30mH 이상의 영역에서부터 점화한계 개선효과가 나타나고, 커패시턴스가 클수록 효과가 좋다.

2) 다이오드를 병렬로 접속한 경우에는 일반적으로 5mH 이상에서부터 효과가 나타났고 게르마늄 다이오드, 실리콘 다이오드, 스위칭 다이오드 간의 점화한계 개선의 차는 거의 없었다.

3) 인덕턴스가 300mH일 때 콘덴서 병렬접속의 경우 최고 650%, 다이오드 병렬접속의 경우 최고 1,080%의 점화한계 개선효과가 나타났고, 안전소자의 종류에 관계없이 인덕턴스가 클수록 점화한계 개선효과가 크다는 것을 알 수 있다.

4) 콘덴서, 다이오드를 각각 병렬로 접속하였을 경우 프로판-공기 5.25vol.%의 혼합가스에 대한 점화한계 개선효과는 다이오드가 콘덴서의 경우 보다 적용범위가 넓으면서 우수하다는 것을 알 수 있었다.

본 연구 결과는 일반적으로는 본질안전 방폭형으로 만들어질 수 없는 매우 큰 인덕턴스 값을 가지는 전기기기를 본질안전 방폭구조로 개발하고자 할 때 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 이춘하 외, “고주파 전기회로의 개폐불꽃에 의한 LPG-공기 혼합가스의 최소점화한계전압에 관한 연구”, 한국가스학회지, Vol. 2, No. 4, pp. 79~84, December, 1998.
- 2) IEC 60079-0: “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Part 0:General requirements”, 2000.
- 3) 이춘하, “본질안전 방폭 전기회로의 점화한계에 관한 연구”, 박사학위논문, 영남대학교, pp. 1~5, 1995.
- 4) IEC 60079-11, “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Part 11:Intrinsic safety "i"”, 1999.
- 5) 이춘하 외, “방폭시험 평가방안에 관한 연구(I)”, 한국기계연구소, pp. 17~29, 1990.
- 6) 이춘하 외, “방폭시험 평가방안에 관한 연구(II)”, 한국기계연구소, pp. 17~32, 1991.
- 7) 田中隆二, “本質安全 防爆電氣 回路に關する基礎的研究”, 産業安全研究所, pp. 145~157, 昭和 45
- 8) IEC 60079-3: “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Part 3:Spark test apparatus for intrinsically-safe circuits”, 1990.