

## 고주파 전기회로의 개폐불꽃에 의한 LPG-공기 혼합가스의 점화한계에 관한 연구

\*지승욱, 송현직, 이준하\*, 박원주, 이광식, 이동인  
 영남대학교 전기전자 공학부, \* 호서대학교 산업안전공학부

A Study on the Minimum Ignition Limit for LPG-Air Mixtures  
 by Switching Sparks in Radio-frequency Circuits.

\*S.W. Jee, H.J. Song, C.H. Lee\*, W. Z. Park, K.S. Lee, D.I. Lee  
 Yeungnam University, \* Ho-Seo University

### Abstract

This study describes the minimum ignition limit for LPG-Air mixtures by switching sparks in radio-frequency limits using RF power supply and IEC type ignition spark apparatus.

As a result, the minimum ignition limit voltage is increased in proportional to the rate of increasing of frequency in LPG-Air mixed gas. Especially, increment between 10[kHz] and 30[kHz] is typical. It is considered that ignition is caused by one discharge until 10 [kHz] and, beyond 10[kHz] ignition is caused by more than two discharges. The reason is analyzed that energy loss is caused by existing pause interval between discharges.

### 1. 서론

최근 우리나라에서는 석유화학플랜트의 급격한 성장 및 LPG, LNG 등의 사용량이 증가함에 따라 폭발에 의한 산업 재해가 늘어나고 있으며, 이에 대한 대책이 절실히 요구되고 있다.

이러한 폭발사고의 주된 원인중 전기기기나 배선 등에서 발생하는 불꽃, 아크 또는 과열 등에 의한 폭발성 가스의 점화를 방지하기 위하여 방폭형 전기기기의 사용이 필수적으로 요구된다.

특히 본질안전 방폭구조로 설계, 제작된 전기기기는 폭발위험장소에 설치되는 전기기기 및 배선의 어떠한 부분에서 발생하는 불꽃, 아크 또는 과열로 인하여 폭발성 가스가 점화되지 않도록 되어있으며, 선진국에서는 점차 이의 사용이 증가하고 있는 실정이다.<sup>[1]-[3]</sup>

이와 같은 본질안전 방폭형 전기기기를 설계하고 개발하기 위해서는 전기회로의 불꽃, 아크 등에 의한 폭발성 가스의 점화한계를 파악하는 것이 필수적으로 요구되고 있으나, 국내에서는 현재까지 이에 대한 연구가 극히 미진한 상태이다.

또한 전자기술의 발전과 함께 유·무선 통신장비 등 고주파 전기회로를 갖는 전기기기 등이 증가하는 추세에 있으며, 또한 이들이 LPG 등 가연성 가스가 존재하는 장소에서도 사용되어질 수 있다.<sup>[4]</sup>

따라서, 본 연구에서는 본질안전 방폭형 고주파 전기기기의 설계 및 제작에 이용될 수 있는, 고주파 전기회로의 개폐불꽃에 의한 LPG-공기 혼합가스에의 점화한계를 IEC형 불꽃점화시험장치를 이용하여 주파수 범위 0 ~ 1000[kHz], LPG-공

기 5.25(vol.%)의 혼합가스를 대상으로 하여 50[Ω] 저항성회로에 대하여 구하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### 2.1 실험장치

고주파 개폐불꽃에 의한 폭발성 가스에의 점화한계를 측정하기 위한 실험장치의 구성은 크게 시험회로부, 개폐불꽃 발생장치부 및 폭발성 가스 혼합공급장치부로 나눌 수 있다.

##### 2.1.1 시험회로

점화한계를 구하는 시험회로는 그림 1과 같은 50[Ω]의 저항회로로서 고주파 전원장치, 무유도 저항 및 IEC형 개폐불꽃 발생장치로 구성되어 있고, 이들 각각은 동축 케이블로 배선되어 있다.

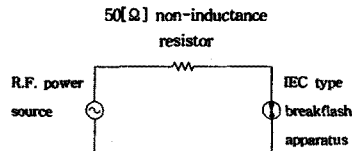


그림 1. 불꽃점화 시험회로

표 1. 고주파 증폭기의 주요 사양

주파수 대역	0 ~ 1000[kHz]
최대출력전압(V <sub>pp</sub> )	500[V]
최대출력전류	5[A]
내부임피던스	50[Ω]

또한, 고주파 전원장치는 발신기와 고주파 증폭기로 구성되어 있다. 고주파 발신기는 philips 사의 PM5131 function generator(0.1[kHz]~2000[kHz])를 사용하였으며, 증폭기의 사양은 표 1과 같다.

##### 2.1.2 개폐불꽃 발생장치

개폐불꽃 발생장치는 IEC형 불꽃점화 시험장치로, 불꽃 발생용의 전극부가 들어있는 폭발조와 소정의 가스농도를 가진 혼합가스의 공급 및 배기계통으로 크게 나눌 수 있다.

폭발조 내부에는 그림 2와 같은 전극부가 들어있는데 양극은 직경 0.2 [mm]의 텅스텐(W)선으로서 정사각형의 금속판 내 모퉁이에 1개씩 고정되어 있고 음극은 2줄의 평행한 홈(폭 2 [mm], 깊이 2 [mm])이 있는 카드뮴(Cd)의 원판으로 되어있다.

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

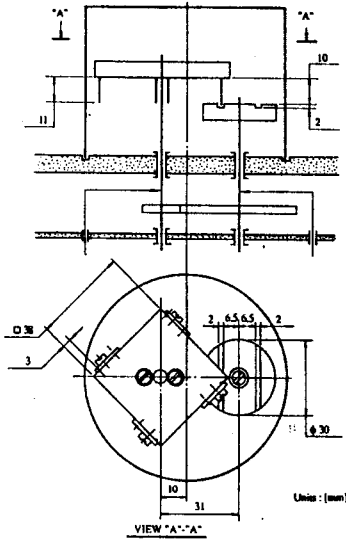


그림 2. 전극부의 모양 및 크기

### 2.1.3 폭발성 가스 혼합공급장치

실험에 필요한 농도의 폭발성 가스를 조제하기 위해 공기를 분압식으로 혼합탱크 내에 채우고 폭발성 가스를 균일하게 혼합한 후, 적외선식의 분석계를 이용하여 혼합가스의 농도를 분석하였다.

### 2.2 실험방법

먼저 주파수와 회로전압을 설정한 후에 폭발성 혼합가스를 폭발조 내에 주입하고 시험 전극을 회전시켜 소정의 회전수 내에서 혼합가스의 점화여부를 관찰함으로써 최소점화전압을 구하였다.

불꽃발생 장치의 전극간에 연속 12000회까지의 개폐불꽃을 발생시켜 대상으로 하는 폭발성 가스에서의 점화유무를 확인하였다. 만일 가스에 점화를 일으켰을 경우에는 회로전압만을 5% 감소시킨 상태에서 12000회의 개폐불꽃 발생에 따른 가스의 점화유무를 시험하였고, 점화가 일어나지 않았을 경우에는 이와 반대로 하였다.

이상과 같은 과정을 반복하여, 점화한계는 12000회의 개폐불꽃으로도 가스에 점화되지 않은 전압값과 이 값 직전의 점화된 전압값의 평균을 최소 점화전압값으로 정하였다.

또한 점화한계를 측정하기 전후에 개폐 전극의 점화감도 교정을 실시하여 실험중에 소정의 감도가 유지되고 있었다는 것을 확인하였다.

감도교정은 그림 3과 같은 교정회로에서 발생하는 1600회 이내의 개폐불꽃에 5.25[vol.%]의 LPG-공기혼합 가스가 100[mA]

의 전류에 점화되도록 하였으며 공급전압은 직류 24[V], 인덕턴스는 95[mH]이다.

최소점화한계전압을 구하기 위한 LPG-공기혼합 가스의 농도는 최소점화한계농도인 5.25[vol.%]로 하였다.

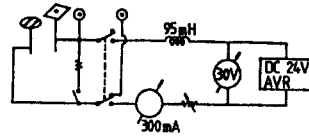
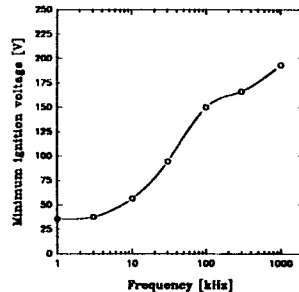


그림 3. 점화감도 교정회로

### 3. 실험결과

LPG-공기 5.25[vol.%]의 혼합가스에 대하여 진원 주파수 0~1000[kHz] 범위에서 구한 최소점화한계 전압은 그림 4와 같이 주파수가 높을수록 최소점화한계전압은 높게 나타났다.

또한, 그림 5에 최소점화전압에 있어서 텅스텐 선전극과 카드뮴 원판전극간을 단락했을 때의 전류 및 그때의 전원전압과 전류의 비 즉 회로저항을 나타냈다.



\*\* DC 일때 최소점화한계전압은 34[V]

그림 4. LPG-공기 5.25[vol.%]의 혼합가스에 대한 최소점화전압

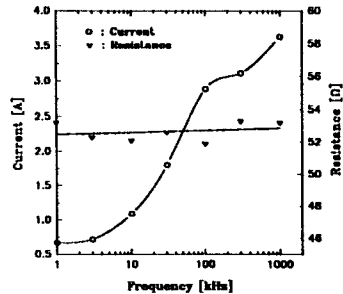


그림 5. 최소점화전압에 있어서 단락시의 전류와 회로저항

## 4. 고찰

### 4.1 불꽃점화시험장치의 개폐시에 발생하는 방전

그림 6은 IEC형 불꽃점화 시험장치의 전극간에서 관측된 방전 전압파형의 한 예이다. 전극간에 인가한 전압은 그림 4의 50[kHz] 때의 최소점화전압이고, 다른 주파수에 있어서도 거의 같은 파형이 관측되고 있다. 관측된 전압파형으로 부터 개폐불꽃의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 1~1000[kHz]의 개폐불꽃은 아크를 동반하는 방전이다.
- 2) 개리, 폐성의 어디에 있어서도 아크전압은 거의 같은 값을 나타낸다.
- 3) 주파수가 낮은 경우 아크의 지속시간은 개리시 보다도 폐성 때가 길지만 주파 수가 높아지면 양자의 차는 거의 없다.
- 4) 주파수가 낮은 경우, 일단 개리 또는 폐성에 있어서 연속하는 방전의 회수는 개리시 보다도 폐성시에 많지만 주파수가 높아지면 양자의 차는 거의 없어진다.

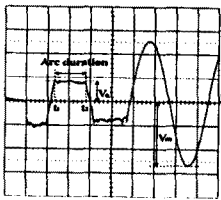


그림 6. 방전전압파형 (5[μs/div], 20[V/div])

### 4.2 방전에너지의 추정과 LPG-공기 혼합기체에의 점화

실험에 의하여 측정된 아크전압의 평균  $V_a$ 를 12.8[V], 회로 저항의 평균 52.7[Ω], 그리고,  $V_m$ 을 그림 4의 최소점화전압으로 하면, 그림 6으로부터 구한 -1회의 방전으로 부터 발생하는 - 방전 에너지는

$$E_a = \int_{t_1}^{t_2} V_a \cdot I_a dt$$

$$= \frac{V_a}{R} \left( \frac{V_m}{2\pi f} (\cos 2\pi f t_1 - \cos 2\pi f t_2) - V_a \cdot T_d \right)$$

이며, 이 식으로부터 구한 값을 그림 7에 나타내었다.

LPG-공기 혼합기체에서는 점화에 요하는 시간(ignition induction time)은 100[μs] 정도 라는 것이 알려져 있다. 하나의 방전 지속시간이 이 시간보다 긴 경우에는 그 방전으로 발생한 에너지가, 짧은 경우에는 이 시간내에 생기는 몇개의 방전에 의한 에너지의 축적이 점화를 발생시키게 되므로

1) 1, 3, 10 [kHz]에서의 반파장은 100[μs] 이상이기 때문에 혼합 기체체의 점화는 1회의 방전에너지로 발생한 것으로 된다. 따라서 그림 7의 1, 3, 10 [kHz]의 값은 본 실험장치에 있어서 점화에 필요한 최소의 방전 에너지를 나타내는 것을 알 수 있고, 이 범위에서는 주파수가 높을수록 점화에 요하는 방전에너지는 작게 되는 것으로 추정된다.

2) 50[kHz] 이상에서는 반파장이 100[μs] 이하로 되기 때문에 점화에는 2회 이상의 방전이 관계하고 있다고 예상된다. 또 50[kHz]에서의 최소점화전압이 10[kHz]의 약 2 배로 되는 것은 방전과 방전 간의 휴지기간에 있어서 에너지의 손실이 원인으로 추정된다.

3) 한편, 30, 100, 300, 1000 [kHz]에서는 1 방전 당의 에너지가 LPG-공기혼합 가스의 최소점화에너지(약 280[μJ]) 이하로 되고, 분명히 2회 이상의 방전에너지가 가산된다고 추정된다.

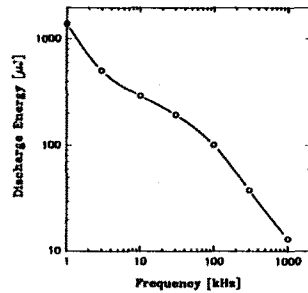


그림 7. 최소점화전압에 있어서 방전에너지

## 5. 결론

본 연구에서는 고주파(0~1000[kHz]), 50[Ω] 저항회로의 개폐 불꽃에 의한 LPG-공기 5.25[vol.%) 혼합가스의 최소점화한계전압을 실험적으로 구하였고, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) LPG-공기 혼합기체에서는 주파수가 높을수록 최소점화한계전압은 높아진다.
- 2) 점화에 요하는 시간(ignition induction time)은 100[μs] 정도이기 때문에 10[kHz]까지는 1회의 방전에 의해 점화가 발생되지만 10[kHz] 이상에서는 100[μs] 이내에 발생한 2회 이상의 방전이 점화에 관계하였다.
- 3) 30[kHz]에서의 최소 점화전압이 10[kHz]의 약 1.7배로 되는 것은 방전과 방전 간의 휴지 기간에 있어서 에너지의 손실이 원인으로 생각된다.
- 4) LPG-공기 혼합기체에서는 주파수가 높아질수록, 적어도 1~10[kHz]의 범위에 있어서 점화에 필요한 방전에너지는 역으로 작아진다고 추측된다.

## 참고문헌

- 1) IEC 79-11, "Electrical apparatus for explosive gas atmospheres-Part 2 : Intrinsic safety", 1991.
- 2) 이춘하 외, "방폭시험 평가방안에 관한 연구 (I)", 한국 기계 연구소, UCN199-1328 · D, 1990.
- 3) 이춘하 외, "방폭시험 평가방안에 관한 연구 (II)", 한국 기계 연구소, UCN234-1481 · D, 1991.
- 4) 本山建雄, "高周波電氣回路の開閉火花による水素・空氣混合氣體の點火危險性", 산업안전연구소연구보고, RIIS-RR-92, 1993.