

耐壓防爆을 위한 Safe Gap의 측정에 관한 연구

오 규 형

호서대학교 안전공학부
(1997년 10월 21일 접수, 1997년 11월 7일 채택)

A Study on the Safe Gap for Explosion-proof

Kyu-hyung Oh

Dept of Safety Eng., Hoseo University
(Received 21 October 1997; accepted 7 November 1997)

요 약

가연성 가스가 존재하는 위험 분위기에서 전기기기를 사용할 경우 전기 스파크에 의한 폭발위험성이 존재하기 때문에 점화원을 격리시키거나 고립시키는 것이 필요하지만 현실적으로 점화원의 고립이 불가능하므로 폭발을 방지하기 위한 일반적인 방법으로 내압 방폭형 전기기기를 사용하고 있다. 따라서 내압방폭기기의 내부에 침투한 가연성 가스가 폭발하여도 화염이나 열이 틈새를 통과하여 외부의 가연성 분위기를 점화시킬 수 없는 최대 틈새크기를 찾아야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 수소-공기 혼합기와 메탄-공기 혼합기에 대하여 실험적 최대틈새크기(MESG)를 찾아 내어 기존의 결과와 비교하고, MESG에 영향을 미치는 요인들을 찾아내고자 하였다. 실험장치는 내용적 8ℓ의 구형용기를 사용하였으며 실험 변수들로는 전화위치, 혼합기의 농도, 초기압력 등이었다. 실험결과 각각의 변수들에 의해 영향을 받으며 특히 농도와 초기압력에 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었으며, 당량농도 가까이에서 최소값을 나타내었으며 초기압력의 상승과 함께 MESG는 감소하였다.

Abstract - In case of using the electrical apparatus in the hazardous atmosphere which exist flammable gas mixtures, There is a dangerousness of gas explosion accident by the electrical spark. The most general method to prevent the explosion by the spark is to use the flame-proof type electrical apparatus to isolate the ignition source from the flammable atmosphere. But actually it is impossible to isolate the ignition sources from the atmosphere. So it was needed to find the safe gap which prevent ignition of flammable atmosphere by transmission of flame or heat when a flammable gas mixture exploded inside the apparatus. In this study we tried to find the maximum experimental safe gap(MESG) of H₂-air, and CH₄-air mixtures by using the 8 litre spherical vessel with 25mm flange. The experiment parameters were ignition position, concentration and initial pressure before explosion. From the experiment the ignition position was affected to the MESG. MESG value was minimum near the stoichiometric concentration of gas mixtures, and according to the increase of initial pressure MESG was decreased.

Key words : maximum experimental safe gap(MESG), hazardous atmosphere, flame-proof type, explosion-proof, explosion

1. 서 론

전기 기기를 사용하는 가연성 가스 분위기에 서 가스폭발을 방지하기 위한 수단은 점화원을 위험성 분위기로부터 격리시키는 방법인 내압 형 방폭 전기기기를 사용하는 것이 가장 보편 적인 방법이지만 실제적으로 방폭기기 내부의 점화원을 외부의 위험 분위기로부터 격리시키 기 위해 외함의 기밀을 완전하게 유지시키는 것은 거의 불가능하게 때문에 가연성가스의 침 입으로 기기 내부에서 폭발이 일어나거나 기타 의 원인으로 불꽃이 발생하여도 외부의 가연성 분위기를 점화시키지 않는 틈새의 길이와 크기를 찾아내는 것이 필요하게 되었다. 여기서 틈 새의 크기를 safe gap이라고 하며 IEC에서는 가연성가스와 증기의 모든 농도에 대하여 측정 실험장치 내부 혼합물이 폭발하였을 때 25mm의 틈새길이를 통하여 외부 가연성 분위기에 점화 를 일으키지 않는 최대 틈새크기를 실험적 최대 Safe Gapb (MESG)로 정의하고 있다. Safe gap은 화염이나 고온의 가스가 금속의 좁 은 틈새를 통과할 때 냉각에 의해 발화온도가 이하로 낮아지는 소염현상에 기초를 두고 있다.

이 safe gap에 대한 연구는 1906년 독일의 Beyling에 의해 시작되었고 독일의 K. Nabert 영국국의 H. Phillips 및 P. B. Smith등에 의해 발전되어 각종 가연성가스나 증기에 대한 위험 등급을 분류하고 방폭기기의 설계 및 제조에 대한 규격등을 정하게 되었다. MESG의 측정을 위해 영국의 B.S에서는 내용적 8l의 구형 용기를 IEC에서는 20ml의 구형용기를 사용하였고, 그들의 실험장치의 틈새길이는 25mm 혹은 25.4mm (1인치)로 하였다. 또 대부분의 MESG 는 소염거리의 1/2 값과 비슷한 값을 갖고 있다. Safe gap에 대한 연구결과는 실험자마다 약간씩 다른 결과들을 보여주고 있는데 이는 가스의 폭발현상은 순간적이며 똑같은 실험조 건을 맞추기 어려운 이유도 있으며 사용하는 용기등에 대한 영향도 있다. 또한 이에 대한 이론적 연구도 시도되어 일부 가스에 대하여는 실험 결과와 유사한 값을 얻었으나 모든 경우에 적용하기 곤란하다.

본 연구에서는 영국에서 실험한 것과 유사한 플랜지 25mm 내용적 8l의 구형 폭발실험장치를 이용하여 safe gap의 크기에 가장 큰 영향을 미치는 초기압력과 혼합가스의 농도 및 점 화위치 등을 변수로 하여 위험성이 큰 폭발등 급 III의 수소와 폭발등급 I의 메탄가스를 대 상으로, 화염전파 한계조건인 MESG를 측정하 고 이들 변수들과 MESG와의 관계를 알아보며

소염현상을 고찰하였다..

2. 실 험

2.1. 실험장치

Safe gap측정을 위한 실험장치 구성에 대한 Lay-out은 Fig 1과 같으며 Safe gap측정장치, 가스혼합장치, 폭발압력 측정장치등이 중요한 구성요소로 Safe gap측정장치는 본 연구를 위 해 제작하였으며 나머지 부분들은 기존의 장비를 이용하도록 하였다.

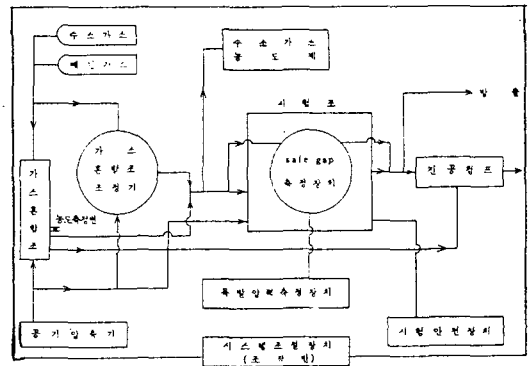


Fig. 1. Schematic block diagram of experimental apparatus

2.1.1. Safe gap측정장치

일반적으로 Safe gap측정장치는 용기 내부의 가스 폭발에 의하여 용기 외부의 가스에 인화 (점화)유무를 확인하기 위하여 내부측정용기와 외부용기로 구성되는데 본 연구에서는 외부용 기로는 기존의 직경 0.6m, 길이 1.2m의 내압폭 발 시험조를 사용하고 내부의 측정장치만을 제 작하였다. 내부측정용기는 구형으로 반구를 맞 춘 형태로 상부와 하부로 되어 있어 상부에는 점화 코일과 압력센서를 부착하고 하부에는 혼 합가스의 인입구와 배기구를 부착하였다. 상부 와 하부의 접합면 부분은 굴곡이 생기지 않도 록 정밀하게 가공하였다. 앞에서 언급한 것처 럼 접합면 틈새길이는 25mm이고 내용적은 8l 이며 재질은 sus 304이다.

용기내부의 혼합가스 점화 코일은 길이가 서 로 다른 것들을 준비하여 점화위치를 변경할 수 있도록 하였다. 용기의 상부와 하부의 연결 은 "C"형 클램프를 이용하였고 틈새의 크기는 filler gauge를 사용하여 1/100mm까지 조절할 수 있도록 하였다. Safe gap측정장치의 모양 및 규격은 Fig. 2와 같다.

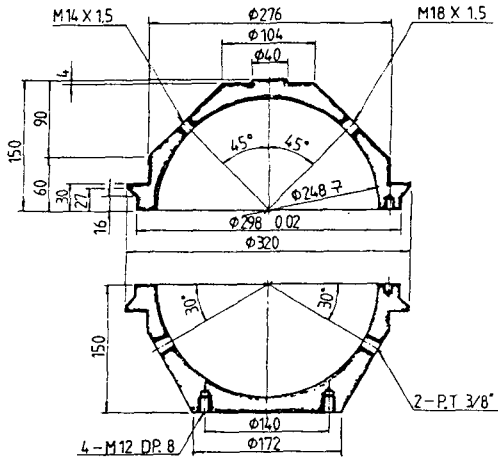


Fig. 2. 8-litre explosion vessel for measuring the safe gap

2.1.1. 가스혼합장치

수소 또는 메탄과 공기의 농도를 실험조건에 맞추기 위해 가스와 공기를 분압식으로 혼합탱크내에 채운 후 프로펠러를 회전시켜 균일하게 혼합한 후 메탄가스의 경우는 간섭계식 분석계를 이용하여 $\pm 0.1\%$ 까지 수소의 경우는 비중법에 의한 분석으로 $\pm 1\%$ 까지 혼합가스의 농도를 조절하고 safe gap 측정장치 내부 및 외부 용기에 채워 넣도록 하였다.

2.1.3. 압력측정장치

Safe gap 측정장치 내부의 폭발유무 및 폭발압력과 외부용기에 대한 화염전파 상황을 측정하기 위하여 내부용기에 연결된 압력 센사의 신호를 strain amp.로 증폭하여 oscillograph에 기록되도록 하였다. 압력측정을 위한 strain type 압력센사는 분동식 압력계를 이용하여 보정하여 $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 측정 가능하도록 하였다. 내부용기에 들어간 혼합가스의 폭발을 위한 점화는 점화 코일에 AC 30V의 전기로 착화 폭발시켰다. 착화를 위해 점화코일을 사용한 것은 압력측정신호의 잡음을 배제하기 위한 것이다.

2.1.4. System 조절장치

시스템의 조절은 time relay 및 pneumatic valve등을 sequence회로를 이용하여, 측정장치 내부에 넣는 가스의 압력조절, 혼합조에 혼합가스 농도조절, 점화지속시간, 점화대기시간 및 연속폭발 실험등을 자동적으로 조절할 수 있도록 되어 있는데 조작반에 대한 상세한 설명은 생략한다.

2.2. 실험방법

실험방법은 H. Turumi와 K. Nabert등과 유사한 방법으로 시험조 내부와 safe gap 측정장치내의 혼합가스의 농도를 동일하게 하였으며, 내부용기의 폭발에 의해 외부 시험조내에 인화를 일으키는지 알아보기 위한 폭발실험의 flow chart는 Fig. 3과 같다.

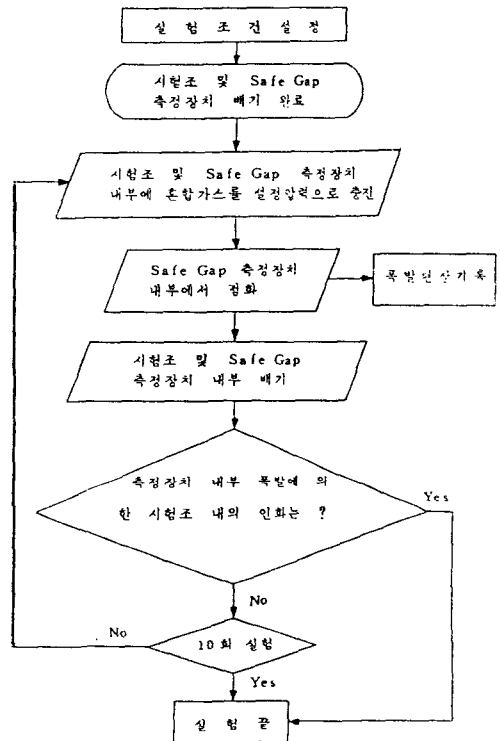


Fig. 3. Flow chart of experiments

2.2.1. 혼합가스의 농도 및 초기압력

수소와 메탄을 각각 공기와 혼합하여 safe gap의 농도 의존성 및 압력 의존성등을 실험하기 위하여 메탄가스는 7, 8, 9, 10, 11vol%의 농도로, 수소는 10, 20, 30, 40, 50, 60%의 농도에서 실험을 하였으며; 혼합가스의 초기 압력은 절대압력으로 1, 1.5, 2, 2.5, $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 까지 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 씩 증가시키면서 폭발실험을 수행하였다. 수소와 메탄의 순도는 공급자의 명세에 따라 99.95 및 99.97%였다.

2.2.2. 틱새 크기의 조절

Safe gap 측정장치의 접합면은 정밀하게 가공한 후 연마하여 평면을 유지하도록 하였고 flange의 면을 정확히 맞추기 위해 3곳에 $\phi 5\text{mm}$ 의 dowel pin을 만들었으며 gap의 조절은 실험 조건에 맞추어 filler gauge를 flange 틱새

에 끼워 넣고 "C"형 클램프로 상부와 하부를 결합시킴으로 조절할 수 있도록 하였으며 사용된 filler gauge는 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5mm의 것을 사용하였고 120°의 간격으로 3곳에 끼워 넣었다.

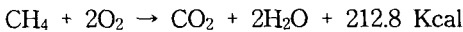
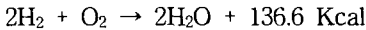
2.2.3 실험회수 및 결과의 기록

현재 내압 방폭기기의 폭발인화 시험은 IEC 등에 10회로 정하여져 있는 바 조건을 변경시킬 때마다 10회씩 실험을 하였으며 폭발압력은 실시간으로 oscillograph에 기록되도록 하였고 인화유무는 시험조내의 폭음을 통하여 알 수 있었다. 또 점화위치에 따른 MESG의 영향을 알아 보기 위하여 점화위치는 중심에서 플랜지 쪽으로 이동시키면서 실험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 수소 및 메탄과 공기 혼합 가스의 폭발 특성

MESG는 각종 가스의 특성에 따라 영향을 받게 되기 때문에 본 실험에 사용된 수소-공기, 메탄-공기 혼합가스의 특성을 살펴보고자 한다. 혼합가스의 폭발현상은 급격한 연소반응의 하나로 빛과 열과 압력상승등의 물리적 현상을 동반하게 되는데 혼합가스의 연소반응은 다음 식과 같은 반응식으로 표시할 수 있다.



즉 수소 1몰의 연소반응에 의해 생성된 열은 68.3 Kcal이고 메탄 1몰의 반응열은 212.8 Kcal이다. 각각 1mole의 연소열은 메탄이 수소보다 3배이상 높지만 연소속도, 압력상승속도 등은 수소가 메탄보다 훨씬 빠르고 크며 수소의 착화온도가 메탄보다 낮기 때문에 MESG는 메탄이 훨씬 크다. 즉 메탄이 수소보다는 착화위험성이 적다는 것을 의미한다.

3.2. 점화위치에 따른 Safe gap의 변화

MESG에 영향을 미치는 요인으로 점화위치의 영향을 실험하기 위하여 Fig. 4와 같이 점화위치를 측정용기의 중심(124mm)으로부터 20mm씩 fange의 벽쪽으로 수평이동 시키면서 실험을 수행하였다. 이때 수소와 메탄의 농도는 MESG가 최소값을 갖는 30 Vol%와 9 Vol%로 하였으며 초기압력은 대기압 상태로 하였다.

실험결과는 Fig. 5와 같으며 메탄의 경우 점화위치에 따라 MESG가 약간의 영향을 받고 있으나 수소의 경우는 메탄보다 그 영향이 훨씬 적은 것을 볼 수 있는데 이러한 결과들은

앞에서 언급한 것처럼 수소나 메탄의 혼합가스 폭발특성과 관련된다. 즉 수소의 경우는 화염전파속도가 빠르고 최고 압력 도달시간이 짧기 때문에 점화위치의 영향을 적게 받으나 메탄은 이러한 속도나 시간(압력상승속도)이 느리기 때문인 것으로 추론할 수 있다. 이것은 소염현상에서 금속틈새를 통과할 때 열손실이 일어나며 틈새를 통과할 때 속도가 느릴수록 열전달량이 크기 때문으로 판단된다.

또한 구형용기의 중심부에서 MESG가 최대값을 나타내는 현상은 혼합가스의 폭발화염전파가 동심원 같은 형태로 전파하여 압력 증첩효과를 나타내는 것으로 추론할 수 있는데 이것을 확증할 수 있게 하는 자료는 미국 광산국에서 혼합가스의 폭발범위를 측정하기 위해 실험한 결과를 통해서 알 수 있다.⁹⁾

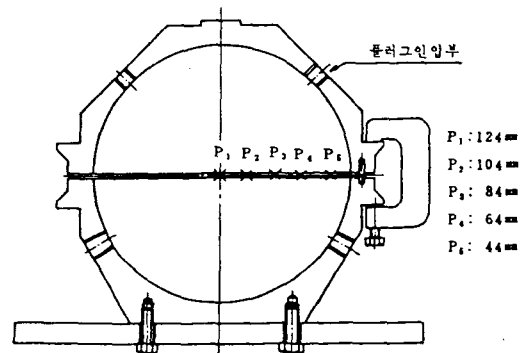


Fig. 4. Ignition position for measuring safe gap

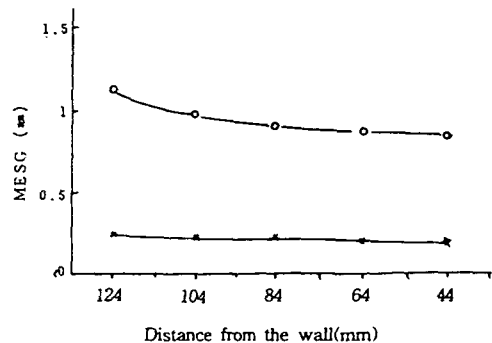


Fig. 5. Relationship of Ignition position and MESG

3.3. 혼합가스의 농도와 Safe gap

Safe gap이 가연성 가스 및 증기의 농도에 대해 매우 높은 의존성을 갖고 있다는 것은 안전공학적인 측면에서 매우 중요하다. 즉 내압방폭구조의 전기 기기를 실험하기 위한 농도의 선택 및 방폭기기를 사용하는 장소의 분위기 등 실질적인 측면에서 볼 때 중요한 요소이며 위험등급 분류에 있어서도 각 농도에 따라 MESG의 값이 달라지므로 이런 조건의 변화에 따라 위험등급의 전이가 일어날 수 있기 때문이다. 다시 말하면 혼합가스의 농도에 따라 폭발압력, 점화지연시간, 점화에너지 등의 폭발특성이 다르게 변하고 이러한 특성의 변화는 Safe gap에 영향을 미치게 되기 때문이다. 혼합가스의 농도조절은 앞에서 설명한 바와 같이 하였으며 이때의 점화위치는 측정용기의 중심부에서 하였고 초기압력은 대기압이었다. 실험 결과들은 Fig. 6과 Fig. 7과 같이 수소나 메탄 모두 농도에 대해 높은 의존성이 있는 것을 쉽게 알 수 있었으며 당량농도(수소 29.6%, 메탄 9.5%)부근에서 MESG값이 최소를 나타내고, 농도가 증가하거나 감소할수록 그 값이 증가하였다. 이것은 당량농도 보다 높거나 낮은 농도에서는 불완전연소에 의해 반응 엔탈피가 감소하여 화염전파에 영향을 미치기 때문인 것으로 생각된다. 또, MESG는 혼합가스의 농도변화에 따른 폭발압력과도 상관관계가 있어 혼합가스의 폭발압력이 증가할수록 MESG는 감소하는 경향을 볼 수 있었지만 최대 폭발압력과 MESG 최소값이 일치하지는 않았다. 또 농도의 변화에 따라 연소속도, 점화에너지와 착화온도가 달라지게 되므로 혼합가스의 농도는 MvESG값에 중요한 변수가 됨을 알 수 있었다.

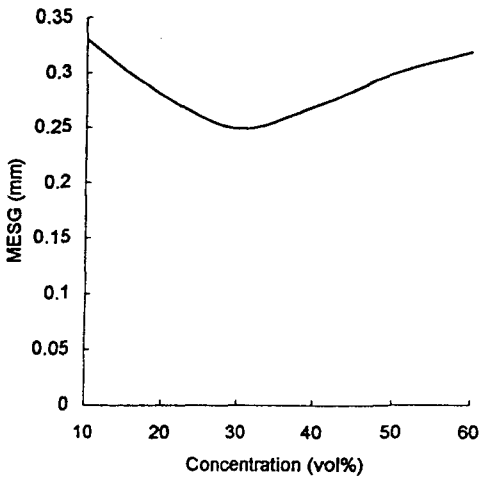


Fig. 6. MESG of H₂-air mixture according to the concentration

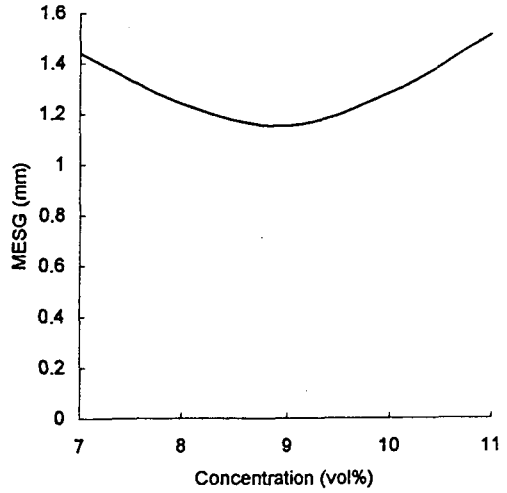


Fig. 7. MESG of CH₄-air mixture according to the concentration

3.4. 혼합가스의 초기 압력과 Safe gap

점화전 초기 압력의 상승은 MESG값에 큰 영향을 미치며, 고압하에서 사용되는 방폭기기의 안전에 대한 제 대책을 위하여 중요한 요소이다.

초기 압력의 상승에 따른 Safe gap를 측정하기 위하여 앞에서 설명한 것과 같이 절대압력 1kg/cm²에서 3kg/cm²까지 0.5kg/cm²씩 변화시키면서 각 조건에 대한 실험을 하였다.

실험결과는 Fig.8과 Fig. 9와 같으며 압력의 증가에 따라 MESG가 감소하는 경향을 쉽게 알 수 있는데 위 압력의 범위에서 수소와 메탄 모두 거의 1차적으로 반비례하는 경향이 있음을 알 수 있으며 MESG는 혼합가스의 초기압력에 대해서 의존성이 높은 것을 알 수 있다. 초기압력이 3kg/cm² 이상에서는 실험하지 못하였으나 경향성을 볼 때 초기압력증가에 따른 MESG의 감소경향은 둔화될 것으로 추측되는데 이는 소염거리의 경우와 같이 폭발화염에 대해서도 전파할 수 없는 틈새크기가 존재할 것으로 생각된다. 초기 압력이 상승할수록 MESG가 감소하는 것은 동일 체적내에 에너지 밀도가 증가하여 폭발이 일어날 경우 에너지가 증가하게 되고 따라서 내부의 폭발압력 및 온도가 상승하고 연소속도 및 압력상승속도도 증가하여 외부의 가연성 분위기를 점화시킬 확률이 크기 때문이다. 그러나 농도의 경우나 압력의 경우나 폭발현상은 동일조건을 맞추기가 쉽지 않고 순간적인 반응이기 때문에 이들에 대

한 의존성을 정량적으로 설명하기 위해서는 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

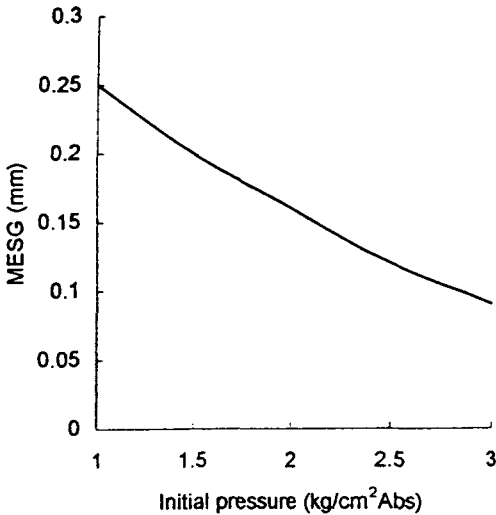


Fig. 8. Relationship of MESG and initial pressure of H₂-air mixture (H₂ : 30 vol %)

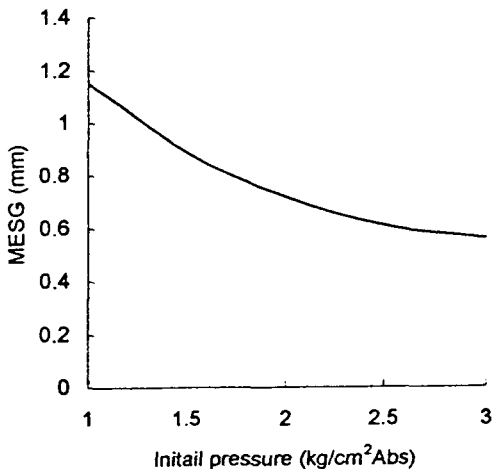


Fig. 9. Relationship of MESG and initial pressure of CH₄-air mixture (CH₄ : 9 vol %)

4. 결 론

수소와 메탄의 공기와의 혼합가스에 대하여 측정된 safe gap은 초기압력이 대기압인 경우 수소가 0.25mm 메탄이 1.16mm로 이론에 의한 각 계산값 0.255mm 및 1.15mm와 각국의 data들과 비슷한 값을 얻었으며, MESG와 점화위

치의 관계에서 MESG의 크기는 측정 용기의 중심에서 가장 큰 값을 갖으며 플랜지 쪽으로 이동시킬수록 값이 작아졌고 가스의 연소속도 및 압력상승속도가 느릴수록 점화위치에 따른 영향이 크며 당량농도 가까운 범위에서 MESG 값은 최소가 되며 그보다 높거나 낮은 농도에서는 증가하여 농도에 큰 영향을 받는 것과 초기압력 상승과 MESG의 관계는 반비례 관계를 갖는 실험결과로부터 얻어진 결론은, safe gap에 영향을 미치는 주된 요인들로는 연소속도, 폭발압력 및 압력상승속도들을 알 수 있었다.

참고문헌

1. T. Hayashi, 壓力容器的 内容積과 爆發壓力에 관한 研究, RIIS-RR-18-3, 産業安全 研究所, 1969
2. H. Phillips, The Physics of the MESG, Int. Symp. on the Explosion Hazard Classification of Vapour, Gas, and Dust, 1986
3. H. Phillips, The Mechanism of Flame-proof Protection, Research Report 275, SMRE, UK, 1971
4. D. H. Jones, Flame Proof Enclosure : New Cylindrical test Vessels of Variable Volume and Flange Breadth, ERA
5. 秋田一雄, 細隙에 의한 Flame Quenching의 理論, 災害科學 研究會, 1971
6. 오규형 외, 가연성 가스의 폭발특성에 대한 연구, 산업안전학회지, Vol.7, No.3., 1992
7. 오규형, Safe Gap에 관한 연구, 한국기계 연구원 연구보고서, UCE 228-879-D, 1986
8. IEC 79-1A, Electrical Apparatus for Explosion Gas Atmosphere, Appendix X
9. D.S. Burgess. et al., Flammability of mixed gases, RI 8709, U.S., Bureau of mines, 1982