

수소가스 폭발 화재의 특성에 관한 연구

오규형, 이성은*, 김태훈*

호서대학교 소방학과

호서대학교 안전공학과*

A Study on the Explosion to Fire behavior of Hydrogen

Kyu-hyung Oh, Sung-eun Lee*, Tae-hun Kim*

Dept. of Fire Protection Eng. HOSEO University

Dept. of Safety Eng. HOSEO University*

I. 서론

산업발달과 함께 편리한 문화생활 및 지구환경의 오염을 줄이기 위한 하나의 대책으로 가스의 사용량이 계속 증가하고 있다. 특히 수소가스는 모든 원자 중 가장 작고 자원이 풍부한 가스이며, 산소와의 반응성이 강하고 점화에너지가 작아 fossil fuel, gasoline 등 기존 탄화수소계열의 연료를 대체하고, 온실효과의 주원인인 이산화탄소의 발생 감소 및 공해물질의 발생감소, 에너지 효율성 향상 등의 특성으로 인해 차세대 청정에너지원으로 주목을 받고 있다.¹⁾²⁾

그러나 이들 가연성 가스의 사용량이 증가할수록 이에 따른 가스 사고도 증가하고 있다. 특히 가스 사고의 절반가량이 폭발 및 화재사고로 이어지고 있으며, 대규모의 인명 및 재산상의 손실을 초래하고 있다. 특히 수소가스는 폭발범위가 넓고, 빠른 확산성과 강력한 반응성으로 인해 누출시 폭발화염 전파속도가 기존 연료보다 약 8배 이상 빠르고 폭발 후 화재로 전이되는 경우 그 위험성이 상대적으로 매우 커서 청정에너지원이면서도 제한적인 용도로만 사용되고 있는 실정이다. 따라서 수소가스를 실용적이면서도 효율적인 에너지원으로 사용하기 위해서 농도에 따른 폭발특성과 2차 화재로의 전이 현상의 메커니즘을 고찰하고자 하였다.

II. 실험

1. 실험 장치

실험장치의 개략도는 Fig.1과 같으며 실험에 사용된 폭발용기의 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 100cm, 60cm, 45cm로 부피는 270 ℓ이다. 폭발용기의 전면은 폭발화염과 화재로

의 전이 과정을 가시화하기 위하여 투명한 폴리카보네이트로 하였으며, 점화원 반대면은 폭발 후 파열되는 격막을 설치하였다. 폭발 압력은 strain형 압력센서를 이용하여 디지털 오실로스코프로 측정하였으며 폭발화염 가시화는 고속카메라를 이용하여 500fps의 속도가 되도록 촬영하여 분석하였고, 혼합 가스의 점화원은 10kV전기 방전불꽃을 사용하였다.⁶⁾

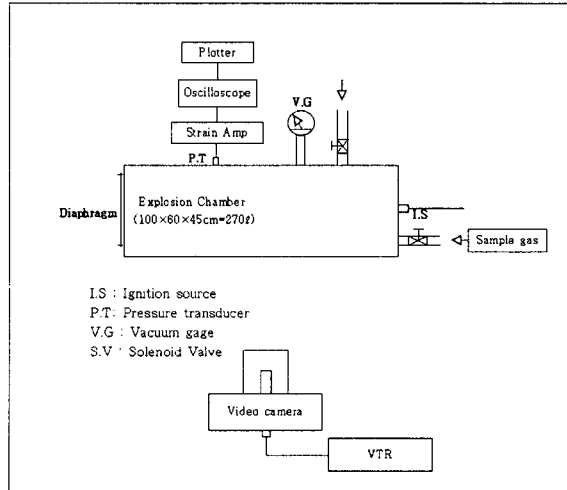


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

III. 실험 방법

실험방법은 고체 가연물인 백색 용지를 용기 내부 일정 위치에 설치하고 다른 가스폭발 실험의 경우와 마찬가지로 용기 내부를 진공으로 만든 다음 일정량의 시료 가스를 주입하고 밸브를 열어 나머지 부피는 공기가 채워져 용기내부가 균일한 농도가 되게 하였다. 가스를 혼합한 후 점화원 반대쪽을 종이로 된 diaphragm으로 대체하여 폭발압력에 의해 diaphragm이 파열되므로 전면의 관측창이 파괴되는 것을 방지하였다. 혼합 가스는 10kV의 전기 방전불꽃을 이용하여 점화하였다.

시료로 사용한 수소가스의 농도는 20%, 30%, 40% 50%로 하였다. 가연물로는 신문용지, 백색용지, 갱지 등 준비하였으나 예비실험을 통해 화재 전이 현상의 실험에는 백색용지가 적합한 것을 확인하였고, 가연물의 크기는 가로, 세로가 각각 20cm×14cm로 하였다.

가연물 시료의 위치는 폭발 용기의 정중앙 위치에 고정시켜 실험하여, 폭발 후 연소가스의 방출 및 외부 공기의 유입 거동이 가스폭발 후 화재로의 전이에 어떻게 영향을 미치는지를 관찰하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

1. 수소가스 농도변화에 따른 폭발 특성

Fig. 2는 농도별 최대폭발압력을 측정한 결과로 공기중에서 수소의 당량농도는 28.5%로

서 이론적으로는 폭발압력이 최대이어야 공기중에서의 질소의 영향과 완전반응이 일어나지 않기 때문에 실제 실험의 경우는 당량농도의 1.1~1.2배에서 폭발압력이 최대가 된다. 이보다 농도가 높거나 낮은 범위에서는 반응속도와 관련이 있는 것으로 생각된다.

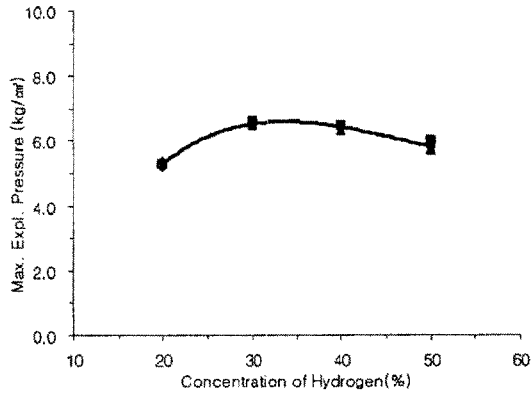


Fig. 2. Maximum explosion pressure of hydrogen-air mixtures.

Fig. 3은 평균폭발압력상승속도로 최대폭발압력을 도달시간으로 나눈것이며, Fig. 4는 폭발압력측정곡선에서 최대가 되는 접선의 기울기로, 평균폭발압력상승속도의 약 2배의 값이 되며 당량농도부근인 30~40% 부근에서 최대가 되며 이보다 높거나 낮은 농도에서는 감소하는 경향을 보여주고 있다.

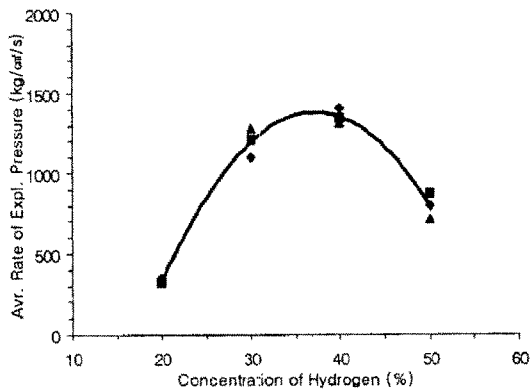


Fig. 3. Average explosion pressure rise rate of hydrogen-air mixtures.

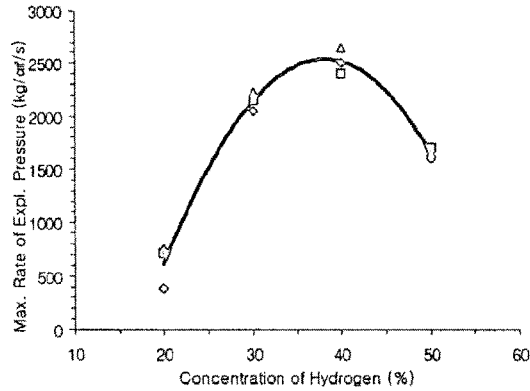


Fig. 4. Maximum explosion pressure rise rate of hydrogen-air mixtures.

2. 수소가스 폭발 후 화재 전이 특성

Fig. 5는 폭발용기내에 고체 가연물 시료인 백색용지를 넣었을 때 수소가스농도 50vol%에서 가스 폭발로부터 화재로의 전이되는 현상을 촬영한 사진으로 가스 폭발화염 및 연소가스가 개구부를 통하여 방출되므로 부압에 의해 공기가 유입된 후인 392ms에 시료용지에 착화된 화염이 발생하는 현상을 보여주고 있다.

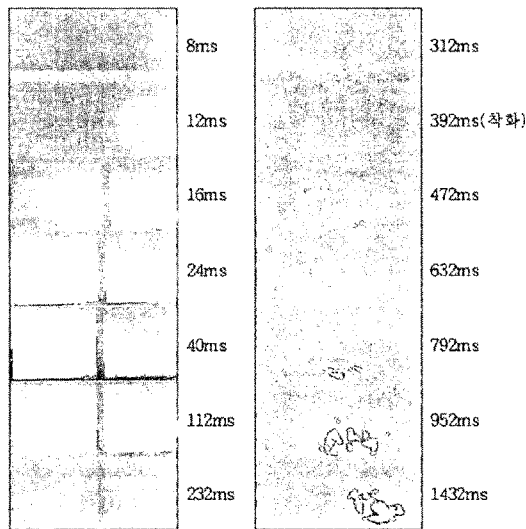


Fig. 5. Photograph of explosion to fire transition phenomena(50%)

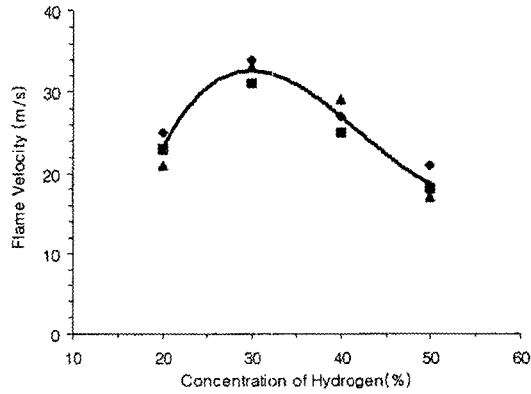


Fig. 6. Explosion flame propagation speed of H₂-air mixtures.

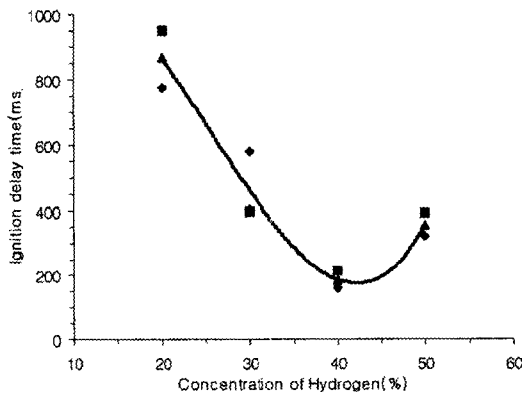


Fig. 7. Ignition delay time of solid combustible with the variation of H₂ concentration.

Fig. 6는 폭발화염의 전파속도로서, 일반적인 폭발특성과 마찬가지로 농도에 의해 영향을 받아서 당량농도에 가까운 30%에서 가장 빠르고 당량혼합비보다 높아지거나 낮아질수록 점점 느려지는 것을 볼 수 있다.

또한 Fig. 7은 농도에 따른 용기내 고체 가연물 시료의 착화지연 시간을 보여주고 있다. 착화지연시간은 혼합가스의 착화에서부터 폭발용기내 가연물 시료의 착화까지의 시간을 의미하는 것으로 가스폭발 후 가연물 시료의 착화과정을 가시화하여 분석하였다. 분석 결과 40% 농도에서 착화지연시간이 가장 짧고, 농도의 증가와 감소에 따라 착화지연시간이 증가하였는데 이는 농도가 40% 보다 높거나 낮은 경우에는 폭발에 의해 생성되는 에너지의 감소와 화염온도가 낮아지기 때문인 것으로 생각된다.

V. 결 론

수소가스를 이용하여 폭발특성 및 가연물로의 화재 전이 현상을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수소와 공기의 혼합가스는 폭발한계 부근에서도 탄화수소 가스들에 비하여 쉽게 폭발되며, 폭발시 폭발압력과 압력상승속도가 크기 때문에 폭발압력에 의한 피해가 클 수 있으며 초기 압력이 증가하는 경우 폭발 압력은 대기압 상태 폭발압력에 초기 압력의 비례로 증가하여 초기 압력이 높은 공정에서의 수소 취급시는 이에 대비한 안전대책이 필요한 것으로 판단된다.
2. 일반적인 가연성 가스의 가스 폭발 후 화재 전이 현상은 혼합가스의 농도에 따라 당량비 보다 낮은 경우는 폭발화염에 의한 열분해와 함께 착화되며 당량비보다 높은 경우는 산소의 부족으로 폭발화염과 연소가스 분출 후 재 유입되는 공기의 공급과 함께 착화가 일어나는 현상을 나타내는데, 수소의 경우도 유사성이 있으나 농도의 영향과 함께 화염전파속도의 영향 또한 많이 받는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. J. Hord, Is hydrogen a safe fuel?. Int. J. of Hydrogen Energy, Vol. 3, Issue 2, 1978.
2. K.H. Oh, A study on the damage estimation of indoor gas explosion. Report KGS 98-006, Korea Gas Safety Coporation. 1998.
3. K.H. Oh, A study on the explosion characteristics and leakage of gas at indoor. Report KGS 99-007, Korea Gas Safety Corporation. 1999.
4. K.H. Oh, A study on the LPG explosion characteristics of non-uniform concentration. Transactions of Korean Institute of Fire Sci. & Eng. Vol. 17, No.4 2003.
5. K.H. Oh, A study on the explosion to fire transition phenomena of liquified petroleum gas. J. of Klls. Vol. 8, No.4.
6. S. E. Lee, A study on the explosion to fire transition and fire prevention. Hoseo Univ. Master thesis. 2000.
7. T. Hirano, 가스폭발 豫防 技術. 海文 堂, Japan, 1984.
8. James, G. Quintiere. Principles of fire behavior. Delmar Publishers, 1998.