

가스 폭발 화재에 미치는 가스의 농도 및 불균일성에 관한 연구**최연율, 박승일, 오규형***호서대학교 소방학과***A study on the gas concentration effect on the gas explosion to fire transition****Yeon-yul Choi, Seung-il Park, and Kyu-hung Oh***Dept. of Fire Protection, Hoseo Univ.***1. 서론**

잘 알려진 바와 같이 산업 발달에 따라 사용하는 연료의 형태가 바뀌어 왔으며 최근 들어 가스 연료의 사용이 크게 증가하고 있다.

이는 다른 연료에 비해 사용이 편리하고 사용 후 환경 오염도 적기 때문이다. 그러나 이러한 편리성과는 달리 가스폭발 사고의 위험성이 크게 증가하고 있다. 실제로 가스사고의 통계를 보면 가스의 누출 및 확산에 의한 가스의 폭발사고가 발생한 사례들이 많이 있다.

이러한 가스폭발사고 대부분이 2차적인 화재로 전이되는 경우가 많으며, 때로는 폭발 압력에 의한 파괴만을 초래하는 경우도 있다. 가스의 누출에 의한 폭발이나 화재사고의 대부분은 가스가 누출되어 공간에서 균일한 농도로 확산되기 전에 착화되어, 발생하는 불균일 농도혼합가스의 폭발 형태를 이루게 된다. 그동안 균일농도에서의 가스 폭발특성은 많은 연구자들에 의해 이론과 실험적으로 연구되어 왔으나 사고·폭발과 같은 불균일 농도에서의 폭발에 대한 연구자료는 희박하다. 또한 가스폭발 후 화재로 전이되는 과정에 대한 연구가 일부 되어지고 있으나 이론적인 연구는 아직 미흡한 실정이다.

앞으로도 가스 사용량이 계속 증가할 것으로 예측되며 이와 함께 가스 폭발이나 화재의 위험성도 증가하고 있어, 가스 폭발 후 화재로 전이되는 현상을 이해하고 규명하는 것은 추후 발생 가능한 사고를 방지하기 위한 대책으로도 충분한 연구의 가치가 있는 것으로 생각된다.

본 연구에서는 폭발사고의 많은 부분을 차지하는 LPG를 시료로 하여 가스 주입구 노즐의 직경과 가스 주입 유속 등을 변수로 하여 용기 내에서 농도의 불균일성에 따라 폭발 화염의 용기 내 체류 시간을 측정하고 실제 고체 가연물의 착화 현상을 측정하여 가스폭발 사고시 화재로 전이될 때의 농도 불균일성이 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

2. 이론적 배경

가스 폭발 후 주위 가연물의 착화에 의해 화재로 전이되는 경우, 폭발 화염에 의한 열전달에 의해 고체 가연물이 열분해되며, 열분해된 가스가 착화되고 이어서 열분해된 고체의 잔류탄소 물질이 연소하게 되는 형태로 진행되는 것으로 알려져 있다. 따라서 폭발 후 화재로의 전이에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 폭발화염으로부터 가연물로의 열전달량이다. 가스 폭발화염으로부터 고체표면으로 열전달되는 경우 열전달 형태는 주로 대류와 복사에 의한 열 전달이며, 이 중에서 복사에 의한 전열이 가장 큰 부분을 차지하게 된다.

일반적으로 주위 가연물을 고체로 가정하고, 이 고체의 면적을 A라 하면, 이 고체면의 수직방향으로 전달되는 열량은

$$\dot{q} = h_g A \frac{\partial T}{\partial y}$$

hg: 기체의 열전도율

$\partial T/\partial y$: 고체 표면 수직 방향의 온도 구배

또한 복사에 의한 단위 면적당 열전달량(heat flux)은 다음 식과 같다.

$$\dot{q}_r = \epsilon \sigma T_g^4$$

ϵ : 방사율

σ : Stefan-Boltzman 상수

T_g : 기체의 온도(화염 온도)

여기서 열전달 형태는 주로 복사열에 의존하고, 전도와 대류는 복사열전달에 비해 무시할 만큼 적다고 하면, 일정시간 동안 고체 가연물이 받는 총 열량 Q는 다음과 같이 간단히 쓸 수 있을 것이다.

$$Q = \dot{q}_r \cdot A \cdot t$$

A: 고체 가연물 면적

t: 시간 (화염 지속)

따라서 고체 가연물이 열분해되어 착화되는데 필요한 총 열량 Q는 시간에 따른 영향이 있음을 알 수 있으며 복사열에 의한 heat flux가 비슷한 경우에는 화염체류시간 t가 클수록 고체에 전달되는 열이 많아져 고체의 열분해가 쉽게 되어 결국 화재전이 가능성이 증가하게 됨을 예측할 수 있다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

실험 장치는 크게 폭발통과 계측 장비들로 구성되어 있으며 개략적인 구성도는 그림 1

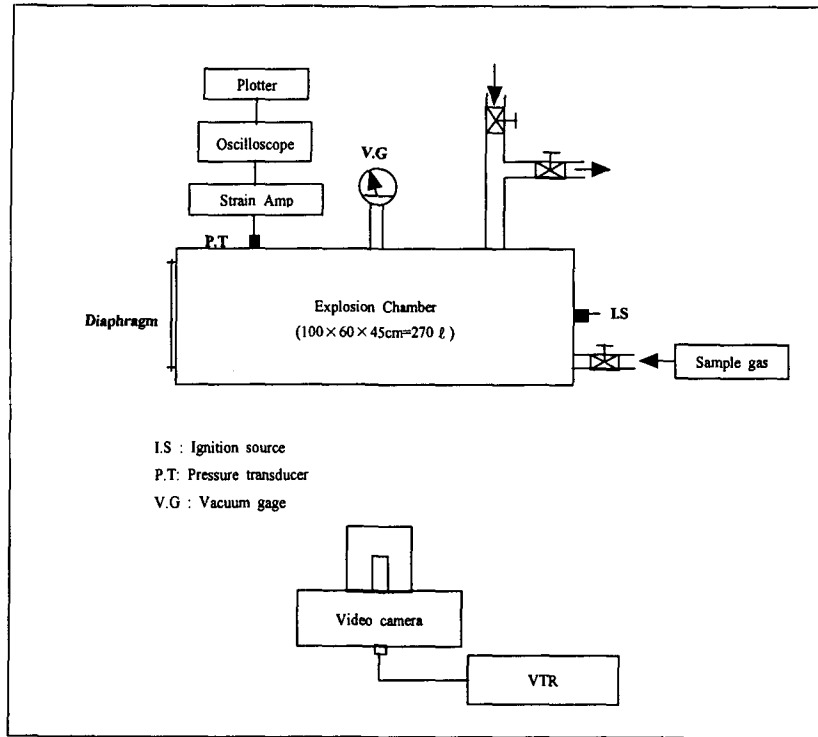


그림 1. 실험장치 개략도

과 같다. 폭발통의 크기는 가로×세로×높이가 100cm×60cm×45cm인 270L의 직육면체로 되어 있으며 전면은 폭발화염의 전파과정을 촬영하고 관찰하기 위하여 투명 폴리카보네이트 관측창을 만들었다.

불균일 농도로 만들기 위해 가스를 직경이 서로 다른 노즐을 사용하여 폭발용기 내부로 직접 주입하였으며, 가스 주입속도는 1분에 1L, 2L, 4L가 되는 속도로 각각 변경하며 실험하였다. 가스의 주입량은 적산유량계를 이용하여 폭발통 부피에 대하여 정해진 농도에 해당되는 양을 실온상태에서 주입하였다. 주입된 혼합기체는 전기 불꽃으로 착화하였고 고체 가연물 시료로는 신문용지를 사용하였으며, 가스 폭발 화염이 체류시간 및 고체 가연물의 착화 과정은 고속 카메라를 이용하여 가시화하여 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

가스의 농도 변화 및 농도의 불균일성에 따른 가스폭발 후 화재로의 착화과정을 실험한 결과 동일한 농도의 조건에서는 농도가 불균일한 상태에서 폭발한 경우 화염의 체류시간이 길어졌고 화염의 체류시간이 길수록 고체 가연물의 착화확률이 높았으며, 농도가 당량비를 중심으로 당량비보다 낮은 농도에서는 화염의 복사열이 낮은 대신 용기에 미연소된 산소와 열분해된 가스의 연소로 고체가연물이 착화되는 것을 볼 수 있었으며 당량농도보다 높은 농도에서는 복사열이 높아 열분해는 용이하나 1차 폭발시 용기내

부의 산소가 소모되어 외부 공기가 유입된후 고체가연물이 착화되는 현상을 보였다.

일반적으로 농도가 당량비보다 높은 경우 폭발 공간내에서 화염의 체류시간이 길어졌으며 이 경우 화재로의 전이가 용이함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 오규형 외, “실내 가스폭발 현상 및 실내·외 영향 분석”, 호서대학교 연구보고서, (1998. 6)
2. 오규형 외, “실내 가스누출 및 폭발특성에 관한 연구”, 호서대학교 연구보고서, (1999. 7)
3. Michiko Harayama 외, “Explosion of Combustible Gaseous Mixtures with Nonuniform Concentration”, 안전공학, Vol. 19, No. 5, (1980)
4. Kees van Wingerden 외, “Gas Explosion handbook” Elsevier Science, (1997)