

가연성 가스의 누출에 따른 확산현상 연구

오규형, 이성은*, 김종복*

호서대학교 소방학과

* 호서대학교 대학원 안전공학과

1. 서론

연료로 사용하는 가연성 가스의 양이 증가함에 따라 가스 사고 건수도 증가하고 있으며 가스사고 중 약 35% 정도가 가스의 누설사고였다.

이러한 가스의 누설사고는 일정시간 경과 후 적절하게 배출되지 못할 경우 화재나 폭발사고로 이어질 위험성이 매우 크다. 즉 가스의 누출은 폭발이나 연소의 3요소 중에서 가연물이 제공되는 과정으로 가스폭발사고나 화재를 예방하기 위해서는 근본적으로 가스의 누출을 방지해야 한다. 그동안 공해물질의 대기중 방출이나 독성물질의 대기중 방출에 따른 확산현상을 설명하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 등이 연구되어 왔으나 대부분 실외의 조건을 기준으로 연구하였으며, 실제 측정 실험의 경우에는 연소하한계 이하의 낮은 농도 또는 유독성이 없는 낮은 농도에서 수행되어져 왔다. 본 연구에서는 가정의 실내에서 가스가 누출되었을 경우를 대상으로 가스의 누출속도에 따른 가스의 확산현상을 실험적으로 연구하였다.

기존의 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램들은 실외에서 어느 정도의 풍속이 있는 경우를 고려하여 만들어진 것들로 본 연구결과와 비교할 수 없었다.

본 연구에서는 공기보다 밀도가 크고 사고빈도가 많은 LPG를 실험 대상 가스로 선정 실험하였으며, 가스의 누출 속도는 가스 배관 중 여러 가지 형태의 사고를 고려하여 누출 속도를 다르게 하였으며, 누출공간의 크기는 일반 중소형 아파트 거실의 1/5축소 형태를 이용하였다. 본 연구의 동기는 가스 누출에 의해 폭발이 발생한 경우 폭발공간내의 가스의 확산거동에 따른 폭발특성의 변화와 화재가 발생하는 현상들을 연구하기 위한 기초 자료를 도출하기 위한 것이다.

2. 실험장치 및 실험방법

그림1.의 가스확산 실험용 용기는 3면이 투명 아크릴로 만들어졌으며 그 내용적은 270 l 이다. 폭발통안의 숫자는 센서의 위치 및 번호로 9개의 센서를 바닥면에서 부터 10cm, 22cm, 35cm 높이와 가스 주입구로부터 20cm, 50cm, 80cm의 위치에 설치되도록 하여 가스의 밀도 및 주입구로부터의 거리에 따른 농도분포를 측정할 수 있도록 하였다. 실험 용기 내의 가스 농도 측정용 센서는 접촉 연소식을 사용하였다.

이 용기의 오른쪽 측면에는 가스 주입구의 위치를 변경할 수 있도록 10개의 구멍을 뚫고 환기를 위한 구멍을 2개 만들었으며, 반대쪽에는 실험 후 가스를 완전히 빼내기 위해 폴리에틸렌 필름을 사용하여 열고 닫을 수 있도록 하였다.

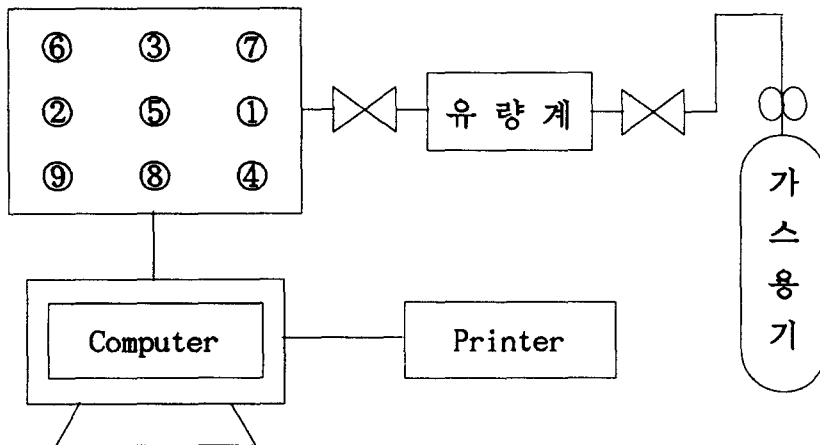


그림1. 누출가스 확산 농도 측정 장치 개략도

실험 방법은 먼저 누출속도 조건을 결정하고 가스용기의 압력조정기에서 약 350mmH₂O의 압력이 되도록 한 후 니들밸브와 유량계 및 메터링 밸브를 통해 실험에 필요한 유량이 되도록 조절한 다음 조절된 가스가 고무튜브를 통해 측정용기로 유입되기 시작하면 용기내의 농도 측정 결과가 컴퓨터에 입력 되도록 하였다. 센서에서 측정하는 데이터는 10초 간격으로 측정하도록 Scanning 시간을 설정하였다. 용기에 주입되는 부분의 노즐은 일반 가정용 가스 호스의 직경을 8mm로 가정하여 노즐의 단면적이 호스 단면적의

약 1/100이 되도록 하여 용기의 부피에 대한 누출구의 크기를 가스 호스로 부터 거실로 누출되는 실제상황과 유사하게 만들었다.

가스의 주입속도 및 주입시간은 표1.과 같으며 표에서 보여주는 농도는 주입된 가스가 균일하게 혼합될 경우에 상당하는 농도이다. 가스의 주입속도는 가스 폭발사고를 가정한 시나리오를 고려하여 결정하였다.

표1. 가스누출 농도 측정실험 가스 누설속도

가스주입속도	주입시간(분)	균일확산시 농도(%)	비 고
LPG 0.4 l/분	20.2	3	용기밸브→조정기→호스→ 중간밸브에서 누출되는 경우
	30.3	4.5	
LPG 1 l/분	8.1	3	가스용기밸브→조정기를 거쳐 가스가 누설되는 경우
	12.1	4.5	
	16.2	6	
LPG2.7 l/분	3	3	가스용기 밸브에서 바로 방출되는 경우
	4.5	4.5	
	6	6	

3. 결과 및 고찰

가스 누출과 확산에 따른 공간내의 농도 분포를 측정한 결과의 일부를 그림2.에서부터 그림4.까지에 나타내었다.

농도 측정 용기 내부로의 주입시간에 따라 각각의 센서에 측정된 결과를 보면 거의 비슷한 속도로 농도가 증가하고 있음을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 실험용기 내부로 주입되는 가스가 통과하는 마지막 부분이 노즐처럼 직경이 작기 때문에 용기내부에 주입되면서 Jet를 일으켜 난류가 형성되고 이로 인하여 용기 각 부분으로 빠르게 확산되어 가스의 밀도차에 의한 불균일이 최소화된 것으로 생각된다.

본 실험에서는 환기에 대한 여러 가지 조건을 고려하지 못했으나 환기구 역할을 위한 작은 구멍이 가스 주입구 맞은편 상단에 2개가 있었고 아래쪽에 센서 케이블 인입되는 부분에 있었기 때문에 가스의 확산이 빠르게 진행된 것으로 생각된다. LPG의 경우 공기보다 무거운 가스이기 때문에 가

스 주입구보다 아랫부분의 가스농도가 상부보다 훨씬 높을 것으로 예상했던 것과는 매우 다른 형태로 앞에서 설명한 것처럼 가스 누출구의 직경을 작게 하였기 때문에 발생된 Jet에 의한 난류영향으로 빠른 확산이 일어났으며 최고농도와 약 1% 내외인 것을 알 수 있었다.

이러한 결과를 통해 고의적인 가스폭발 사고인 경우는 가스 누출속도가 크고 또 난류가 형성되어 매우 짧은 시간에 균일한 농도의 가연성 혼합기를 만들어 폭발위험성이 커지며 폭발이나 화재 사고가 발생할 경우 피해는 서서히 누출되어 불균일 농도에서의 폭발사고 보다 그 피해 정도가 커질 것을 예상 할 수 있었다.

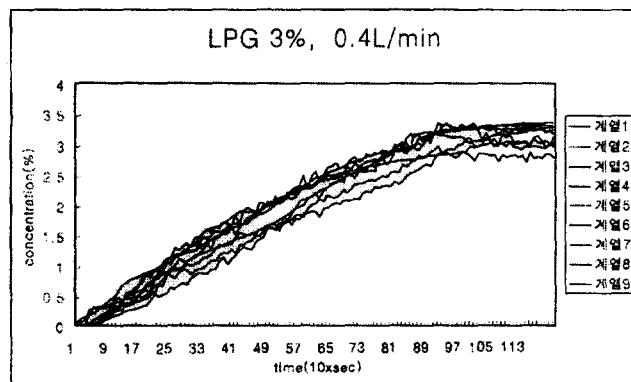


그림2. LPG 누출 확산농도 측정 결과(0.4 l/min, 20.2분)

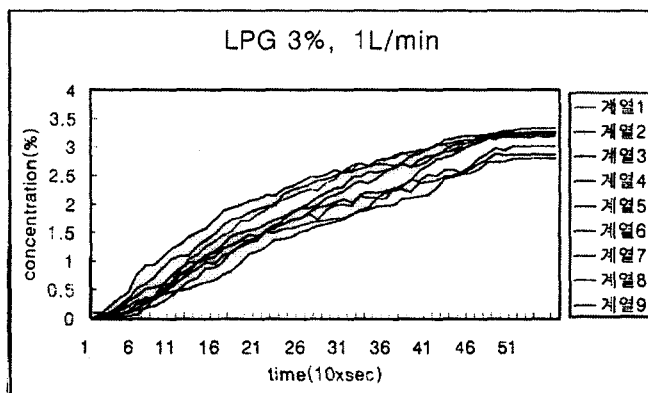


그림3. LPG 누출 확산농도 측정 결과 (1 l/min, 8.1분)

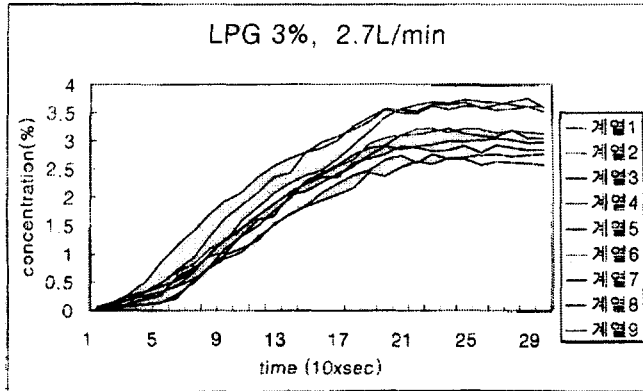


그림4. LPG 누출 확산농도 측정 결과(2.7 l/min, 3분)

4. 결론

일반 가정의 거실 크기의 약 1/5 축소 모형 공간에서 LPG를 이용하여 여러 가지 조건에서 가스의 확산농도를 측정한 결과 공기보다 비중이 큰 가스일지라도 가스의 누출속도에 따라 확산공간에 균일한 농도에 가까운 확산 거동을 하였으며, 가스 누출구에서의 유속에 따라서 가스의 비중에 의한 영향보다 가스의 누출조건에 더 많은 영향을 받게 됨을 알 수 있었다. 또한, 가스확산에 이어 폭발이 발생할 경우 폭발압력은 균일 농도로 혼합된 가스 폭발의 경우와 비슷한 파괴력이 있음을 나타내었다.

또한, 접촉연소식 가스센서를 이용하여 연소하한계 이상의 고농도에서 농도 측정시는 센서의 노화에 의해 측정이 곤란하며 대체적인 방법으로 LPG와 물성이 유사한 CO₂를 이용한 농도측정방법을 이용해야 할 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Dag Bjerketvedt 외, Gas explosion handbook, Elsevier Science(1997)
2. T. Hirano 외, Explosion pressure of combustible gaseous mixtures with concentration gradient, 안전공학 vol 18. No 1, (1979)
3. Atsumi Omori 외, Time dependence and scale effect on propane

concentration stagnating confined vessels, 채광과 보안, Vol. 33, No 1 (1987)

4. 오규형 외, 실내 가스 폭발 현상 및 실내·외 영향 분석, 호서대학교 산업안전기술연구 센터, (1998)
5. Hazard Evaluation: Consequence Analysis Methods, The Process Safety Institute Presents.