

BTX의 폭발특성에 관한 연구

오규형 · 김종복* · 이성은* · 류창하**

호서대학교 소방학과, *호서대학교 안전공학과

**한국자원연구소 제어발파연구팀장

1. 서론

BTX는 석유화학공업에서 생산되는 방향족탄화수소 화합물의 주요 생산품목인 Benzene, Toluene, Xylene을 일컫는 말로서 석유화학공업에서 간단히 줄여서 쓰는 용어이다. 벤젠, 톨루엔, 크실렌등은 페인트 희석제로 쓰이는 유기용매의 주성분들이며, 인체에 중독성을 나타내는 유해물질이기도 하며 소방법상에서는 인화성액체인 4류 위험물로 취급하고 있다.

그동안 국내의 도장 작업 후에 용접이나 절단작업등을 하는 중에 페인트 용제의 증기에 의한 폭발사고가 발생한 사례들이 있어 페인트 용제의 성분인 B.T.X의 증기에 대한 폭발특성을 측정하여 그 위험성을 살펴 볼 필요가 있었다. 그동안 가스폭발특성에 대한 연구는 국내에서도 많이 수행되어 왔으나 상온에서 액체상태인 인화성물질에 대한 폭발 위험성은 실험한 경험이 거의 없는 상태였다.

따라서 본 연구에서는 BTX에 대한 폭발특성을 측정함으로써 향후 가연성 액체의 증기에 대한 폭발특성을 실험적으로 측정할 수 있는 방법들을 제시하고 유기용매의 주성분인 BTX의 폭발특성들을 측정하고자 하였으며, 본 연구를 통해 페인트 도장 공정 중 발생할 수 있는 폭발위험성들을 연구하는 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

2. 실험장치 및 실험방법

실험장치의 개략도는 다음 Fig.1과 같으며, 폭발통은 가로 세로 높이가 각각 25×25×32cm로서 가시화하고 화염전파 속도를 측정하기 위하여 전면과 후면을 투명한 폴리아크릴로 만들었으며, 상부에는 diaphragm을 부착하였다. 또한 폭발압력을 측정할 경우는 아크릴판과 diaphragm 부분을 steel판으로 교체할 수 있도록 제작하였다.

폭발통의 아래면에는 증발장치를 두어 유기용매를 증발 시킬 수 있도록 하였으며, 증기-공기 혼합기는 10kv의 전기방전불꽃으로 점화하였다. 실험이 끝날 때마다 진공펌프로 연소가스를 배출시키고 외부의 공기가 유입되도록 하였다. 압력센서는 폭발통의 상

부에 위치하도록 하였고, 통상적인 방법으로 폭발특성을 측정하였다.

폭발화염의 전파현상은 고속비디오카메라를 이용하여 500fps로 촬영하였다. 폭발화염의 전파현상을 측정하는 실험은 폭발통 전후면을 투명한 폴리아크릴판을 부착하고 상부는 폴리에스테르 diaphragm을 고정시켰다. 용기내부에 있는 증발장치를 약3분간 가열하여 150℃정도가 되게 한 후 주사기를 이용하여 시료 일정량을 가열된 증발장치에 주사하면 비등과 함께 기화하여 혼합기를 형성하게 된다. 혼합기가 형성되면 전기 방전 불꽃을 이용하여 점화시키고 이때의 화염전파현상을 고속비디오카메라로 촬영한다.

한편, 폭발압력을 측정할 경우는 위에서 설명한 것처럼 steel plate로 투명창과 diaphragm부분을 교체하였고 폭발화염전파현상을 가시화 할 때와 동일한 방법으로 하였고 폭발통 상부에 있는 압력센서를 통해 폭발압력을 측정하였다. 각 시료의 당량농도를 중심으로 화염전파속도는 3종류를 폭발특성은 6종류의 농도를 선택하였다.

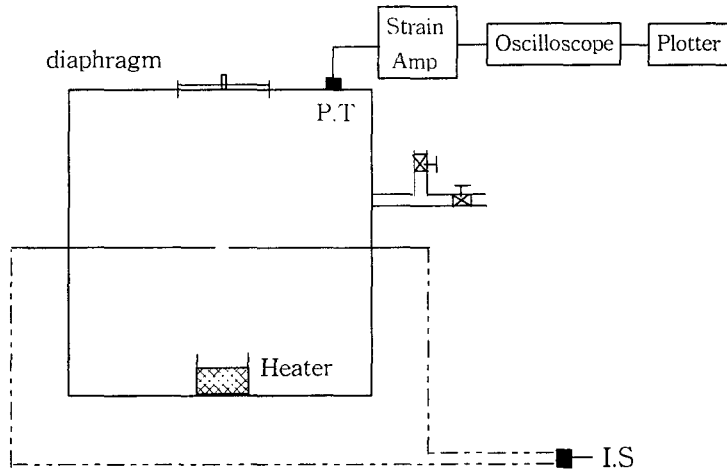
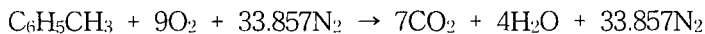
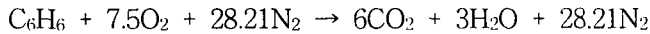


Fig. 1. Explosion chamber of 20 l volume

3. 결과 및 고찰

1) 각 시료의 연소반응식

벤젠과 톨루엔 및 크실렌의 공기 중 완전연소 반응식은 각각 다음과 같다.



따라서 벤젠과 톨루엔 및 크실렌의 공기중 완전연소농도 즉 당량비는 물분율로 각각 2.72%, 2.28%, 1.96%가 된다.

각 시료들의 액체 비중으로부터 폭발통 용기의 부피 20ℓ에 대한 시료의 증기 농도를 액체의 부피로 환산하였으며 당량비 농도를 중심으로 다음 표1과 같고, 3~6개씩의 농도를 실험할 농도로 선정하였다.

표1. 각 시료의 농도별 20ℓ 용기에 대한 액체시료부피

벤젠	농도(%)	1.7	2.2	2.7	3.2	3.7	
	부피(㎤)	1.40	1.81	2.22	2.61	3.04	
톨루엔	농도(%)	1.8	2.3	2.8	3.3	3.8	4.3
	부피(㎤)	1.75	2.23	2.72	3.2	3.69	4.17
크실렌	농도(%)	1.5	2	2.5	3	3.5	4
	부피(㎤)	1.8	2.41	3	3.61	4.2	4.8

2) 화염전파현상 가시화 및 화염전파속도

다음 Fig. 2는 벤젠의 증기-공기 혼합기를 폭발통의 중심에서 점화하여 폭발화염이 폭발통 상부의 diaphragm을 파열시킬 때까지의 화염전파현상을 가시화 한 것을 하나로 정리한 것으로 각각의 등고선의 간격은 2ms이다. 그림에서 보는 바와 같이 폭발화염이 폭발통의 벽면이나 diaphragm에 도달하기 전에 화염전면의 압력에 의해 diaphragm이 파열되고 diaphragm이 파열되면 폭발화염의 전파방향은 압력방출과 함께 거의 파열면쪽으로 향하여 폭발통 밖으로 방출되었으며, 톨루엔과 크실렌의 경우도 거의 유사한 현상을 나타내었다.

Fig. 3은 벤젠의 농도를 2.2%, 2.7%, 3.2%에서 실험하여 얻은 결과로서 화염전파속도를 분석한 것으로 점화원으로부터 거리가 멀어질수록 화염면의 면적의 증가로 에너지 발생이 증가하여 화염전파속도는 점점 증가하는 경향을 보여주고 있으며, 톨루엔과 크실렌의 경우도 같은 경향을 보여주고 있다. 또한 농도에 대한 의존성으로는 당량혼합비에 가까운 농도에서 화염전파속도가 가장 큰 값을 나타내었다.

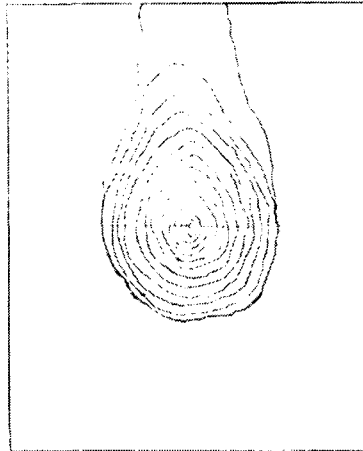


Fig. 2. Explosion flame propagation phenomena
(between the line is 2ms period, Benzene 2.7%)

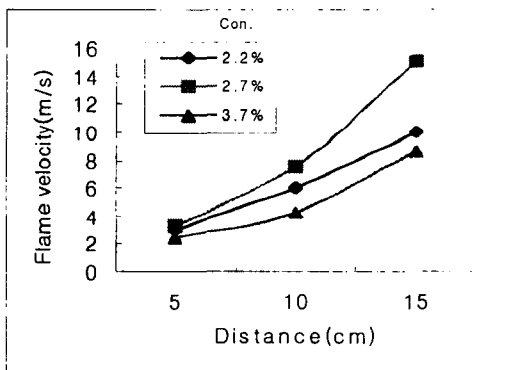


Fig. 3. Flame propagation velocity
of Benzene

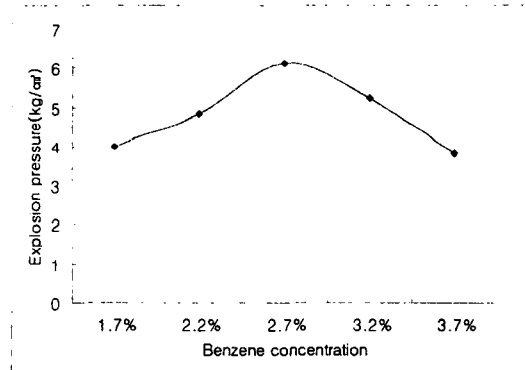


Fig. 4. Explosion pressure of Benzene

3) 폭발특성

Fig. 4는 벤젠의 각 농도에서 폭발압력을 측정된 결과로 당량혼합비에 가까운 2.7%에서 최대값을 나타내고 있으며 연소상한계 농도 및 하한계 농도에 가까울수록 폭발압력은 감소하는 경향을 나타내었으며 최대폭발압력은 약 6kg/cm^2 정도까지 상승하여 가스 폭발과 거의 유사한 폭발압력을 나타내었으나 일반적으로 실온 상태에서 기체상인 가

연성 기체의 폭발하한농도보다 낮거나 폭발하한농도에 가까운 1.7%의 농도에서도 폭발 압력이 약 4kg/cm² 정도로 높았으며 톨루엔과 크실렌의 경우도 벤젠과 비슷한 농도에서 폭발압력이 3~4kg/cm²으로 높아 유기용제의 농도가 낮은 경우에도 폭발위험성이 큰 것을 알 수 있었으며 페인트 도장 공정 중에서 사소한 부주의에 의해서도 폭발이 일어날 수 있으며 이런 경우에 대규모의 피해를 수반하게 될 것을 예측할 수 있다.

또한 유기용매 증기의 농도를 측정하기 위한 기술들이 아직 부족하다. 즉 유기용매의 증기농도를 측정하는 수단이 아직 완벽하지 못한데, 이에 따른 폭발위험성이 더한층 높아져 유기용제의 증기에 대한 폭발방지대책이 다각도로 검토되어 산업현장에서 유기용매의 폭발에 의한 피해를 미연에 방지할 수 있어야 하겠다.

4. 결론

페인트등 도료의 희석제로 많이 사용되는 벤젠, 톨루엔 및 크실렌등의 유기용매의 증기-공기 혼합기에 대한 폭발특성과 위험성을 폭발화염의 전파현상 가시화와 폭발압력 측정을 통하여 고찰하였다.

실험결과 화염전파속도는 3가지 유기용매 모두 메탄이나 프로판의 공기 혼합기에 대한 것과 유사한 정도로 빨랐으며, 폭발압력 및 압력상승속도는 이들 가연성가스의 것보다는 약간 낮은 값을 나타내었다. 위 유기용매의 경우 폭발하한계가 낮아 가연성가스들의 폭발하한계 보다 훨씬 낮은 농도에서도 매우 큰 폭발압력을 나타내었다. 따라서 도장공정등의 건조공정에서 발생하는 유기용매의 증기가 밀폐된 공간에 체류하거나 개방되었더라도 공기보다 무겁기 때문에 공간내에 체류하게 될 때 임의의 점화원에 의해 착화될 경우 대규모의 폭발 사고를 유발하게 됨을 알 수 있었으며 이러한 유기용매의 폭발을 방지하기 위해서는 도장작업등의 공정에서 증기의 농도를 정확히 측정할 필요가 있으며 또한 강제환기방법등에 의해 내부공간에 증기의 체류를 방지해야 할 것이다.

참고문헌

1. Gonul Gunduz, Experimental determination and simulation of explosion limits of benzene-inert gas-air mixtures, Chemical Engineering & Technology, V.18 N.6, 1995.
2. Zabetakis, M. G., "Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors", U. S., Bur. Mines Bull., pp. 20-42, 1965.
3. 井上 俊, 池田 正之, 艇方 正名, "わか國における 工業用有機用濟使用の實態 に関する

る調査研究”, 産業醫學, Vol 26, pp. 518-538, 1984.

4. 신용철, 이광용, “조선업의 도장작업시 취급하는 도료중 유해물질 성분에 관한 연구”, 한국산업위생학회지 Vol 9, No 1, pp.156-172, 1999.

5. 김영수, 이민세, 신창섭, “可燃性 蒸氣의 爆發限界 및 爆發特性에 관한 研究”, 한국산업안전학회지, Vol. 13, No. 2, pp. 116-121, 1998.