

휘발성 연료 탱크의 증발 방지 장치 개발

오규형 · 이광원* · 이춘하 · 박승일*

호서대학교 환경안전공학부 소방학과 · *호서대학교 환경안전공학부 안전공학과

1. 서 론

우리나라의 산업발전과 더불어 석유 사용량이 해마다 크게 증가하고 있으며 특히 자동차의 증가와 주유소 설치법의 완화 등으로 전국적으로 주유소의 수가 급증하여 현재 약 11,000개 이상의 주유소가 운영 중에 있다. 특히 이들 주유소는 대부분 휘발성이 큰 유류들이 저장되고 있으며 이중에서도 휘발유는 더욱 휘발성이 높아서 실제 0.05-0.2% 정도의 손실을 가져와 정유사들이 증발량에 대한 보전을 해주고 있는 실정이다. 또한 최근들어 휘발성 유기용매의 증기(VOC)의 발생이 대기환경오염 문제로 대두되면서 주유소들에서 증발하는 휘발성 유증기도 문제로 인식되기 시작하고 있다. 그러나 현재 주유소시설은 위험물 시설로 소방법에 의해 검사되고 있는 부분이 많고 아직 환경법에 의한 규제를 받고 있는 부분은 폐수의 처리에 관련된 부분만이 일부 관리되고 있는 실정이다. 현재 주유소의 저장시설은 지하 탱크저장시설로서 탱크로리 차량으로부터 유류를 공급받을 경우 내부 압력상승을 방지하고 유류 방출시 부압발생을 방지하며 평상시 내부 증기압의 발생을 방지하기 위하여 저장 탱크에 통기관을 부착하고 있으며 소방법에서는 이 통기관을 통하여 외부의 빗물 침투되지 않는 구조와 역화방지를 위해 동망을 설치하도록 규정하고 있다. 그러나 현재 부착되어 있는 동망은 대부분 역화방지를 위한 40mesh 보다 큰 것으로 된 것이 많아 실제 화재 발생시 역화를 방지하기는 곤란할 것으로 보인다.

그리고 현재 주유소의 유류저장 탱크는 시험압력이 0.7기압으로 실시하도록 하고 있어 일정 내부압력이 발생할 경우에만 압력을 방출할 수 있는 구조의 통기밸브를 설치할 경우 휘발유의 증발에 의한 손실을 방지할 수 있으며 유증기의 배출에 따른 환경오염 문제도 동시에 해결할 수 있다. 또한 역화방지를 위한 방법으로 확실한 역화방지 기능을 갖는 flame arrester를 부착하므로써 주유소에서 발생할 수 있는 경제적 손실 및 환경오염 문제와 화재 위험성을 방지할 수 있을 것으로 생각되었다

따라서 본 연구에서는 주유소나 휘발성 유기용매 저장 시설에서 발생할 수 있는 여러 가지 문제점들을 해결할 수 있는 증발 억제형 밸브를 개발하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 휘발성 유기용매의 증기압

휘발성 유기용매의 증기압은 온도에 따라서 크게 영향을 받으며 특히 휘발유의 경우

는 C₄에서 C₁₂ 까지의 탄화수소 혼합물로서 자동차 연료로서의 휘발특성을 갖도록 증기압을 높이기 위해 부탄을 약간 혼합하여 37.8°C 에서의 증기압이 여름용은 44 - 82kPa , 겨울용은 44 - 96kPa이 되도록 조정된 것으로서 석유류 연료 중에서 증기압이 매우 높아 대기압 상태로 방치할 경우 대기중으로 쉽게 증발되어 손실량이 무시할 수 없게 되고 대기중으로 증발된 증기는 대기오염물질이 됨을 알 수 있다. 휘발성이 높은 유기용매 중에 벤젠, 톨루엔, 크실렌 등은 단일 성분으로 증기압 데이터가 여러 종류의 핸드북에 나와 있으나 신나와 휘발유는 혼합물로서 혼합성분의 함량정도에 따라 증기압이 다르므로 필요한 경우 측정에 의해 그 값을 얻어야 한다.

증기압은 영하 20도에서부터 비점까지 측정하도록 하였으며 항온조를 이용하여 각각의 온도에서 증기압을 측정하도록 하였다. 증기압 측정용기는 내용적 약 4리터의 스텐레스 용기를 사용하였으며 증기의 누출을 방지할 수 있도록 완전 밀봉하여 측정하였다. 항온조의 온도는 자체 온도 조절장치와 표시기를 통해 볼 수 있도록 하였고 용기 내부의 온도는 CA type 열전대를 이용하여 측정하고 온도기록계를 이용하여 기록하고 또한 디지털로 표시되어 항온조와 용기 내부의 온도를 비교하여 볼 수 있었다. 항온조의 온도 상승 속도는 1분에 약 1도씩 상승하도록 하여 용기 내의 휘발성 용매들의 온도분포가 균일하게 되도록 하였다. 다음 그림 1은 증기압 측정 장치의 사진이다.

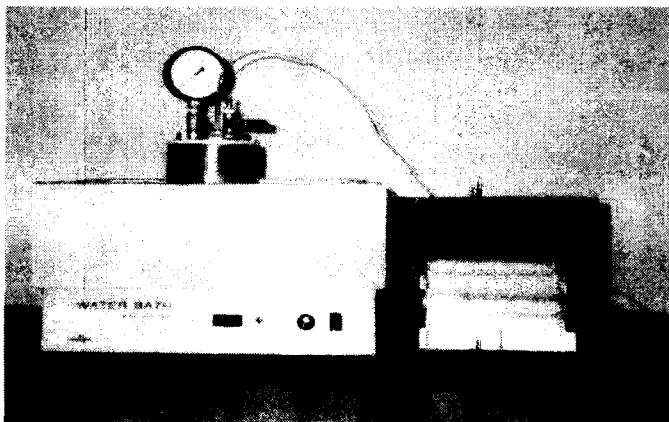


그림 1. 휘발유 증기압측정장치의 사진

2-2. 증발억제 장치의 제작 및 실험

휘발성 유기용매의 증발방지를 위한 통기밸브는 기존 설치된 주유소의 통기관에 부착하여 증발을 억제하기 위한 장치로서 휘발유의 증기압과 기존 탱크의 내압을 고려하여 개폐압력을 설정하여 압력방출 밸브측의 개방 압력은 0.4기압 즉 40kPa(0.4기압) 이하로 하는 것이 바람직하며, 저장탱크의 구조상 부압에 대하여는 10kPa(0.1기압) 이하

로 하는 것이 탱크의 구조에 문제없이 통기기능과 증발억제 기능을 가질 수 있을 것으로 판단하였다. 증발억제형 통기밸브는 추의 무게와 압력의 균형에 의해 개폐되도록 기계적인 단순한 방법을 이용하였으며 추의 무게를 조절함으로써 개폐압력을 조절할 수 있게 하였다. 개발된 장치는 기존 주유소의 통기관이 대부분 50A(2인치)와 40A의 관으로 되어 있어 통기밸브의 시제품도 50A와 40A의 것 2종류를 개발하였다. 통기 밸브의 재질은 가공성을 고려하고 부식을 방지하며 기존 통기관에 부착하기위해 가능한 가볍게 만들도록 파이프의 재질은 알루미늄으로 만들도록 하였으며 밸브의 로드는 황동으로 밸브로드의 축과 밸브 시트는 스텐레스로 만들도록 하였다. 그림 3은 개발된 시제품의 사진이다. 제작된 장치의 성능 평가를 위한 실험은 역화방지 시험과 밸브개폐압력측정 및 증발방지실험을 하였다

3. 실험결과

3-1 증기압 측정

휘발유와 신나는 혼합물로서 혼합 성분에 따라 증기압이 다르며 제조사에 따라 성분이 달라 증기압을 일정하게 정할 수는 없으나 본 실험에서 측정한 결과는 벤젠과 유사한 정도이며 휘발유가 신나보다 높은 증기압을 나타내었다.

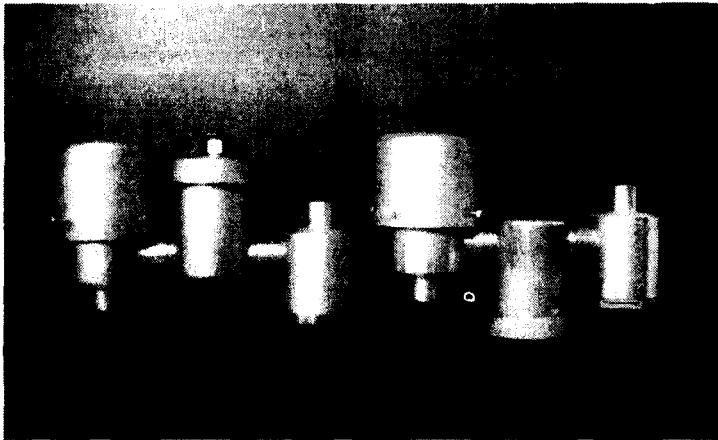


그림 2. 통기 억제 장치의 사진

3-2. 역화 방지 실험

역화 방지 실험은 통기 억제 밸브의 기능중 증기가 방출되거나 외부 공기의 흡입시 외부 화염이 저장탱크 내로 침투하여 폭발하는 것을 방지하기 위한 안전장치이다. 역화 방지 실험은 BS7244(1992)를 적용하여 실험하였다 통기관의 말단부에 설치되는 통기억제 밸브는 end-line type의 역화방지 성능실험방법을 따라서 가연성 가스로는 LPG를

사용하였다. 첫 번째 실험은 flame arrester를 제거하고 압력방출부와 진공흡입부에 투명 아크릴 관을 연결하고 밀폐시켜 내부를 진공으로 만든다. 다음에는 LPG-공기 혼합 가스를 주입시키고 진공 흡입부측에 설치된 전기 스파크 플러그로 착화시켜 폭발 화염의 통과 유무를 살펴보았다. 화염의 통과 유무는 고속 카메라를 이용하여 30fps로 촬영한 후 화면을 분석하였다. 그림2의 a)는 flame arrester가 없는 첫 번째 실험결과로 화염이 통과됨을 알 수 있다.

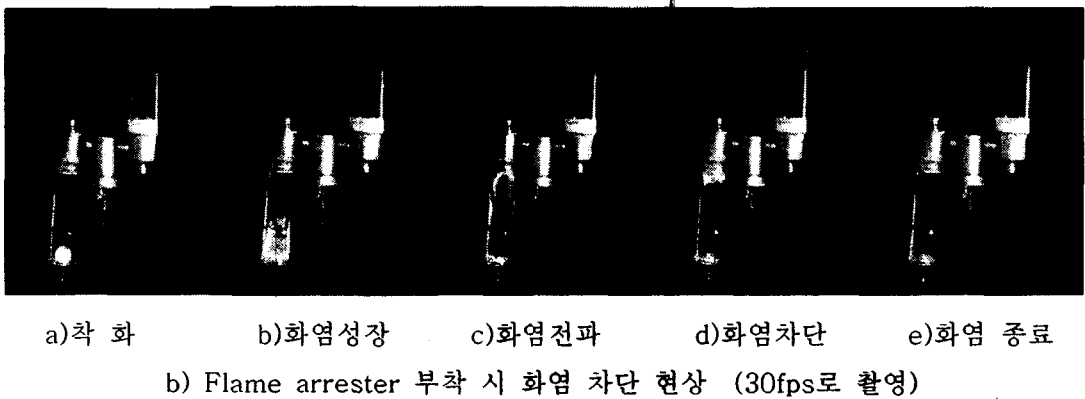
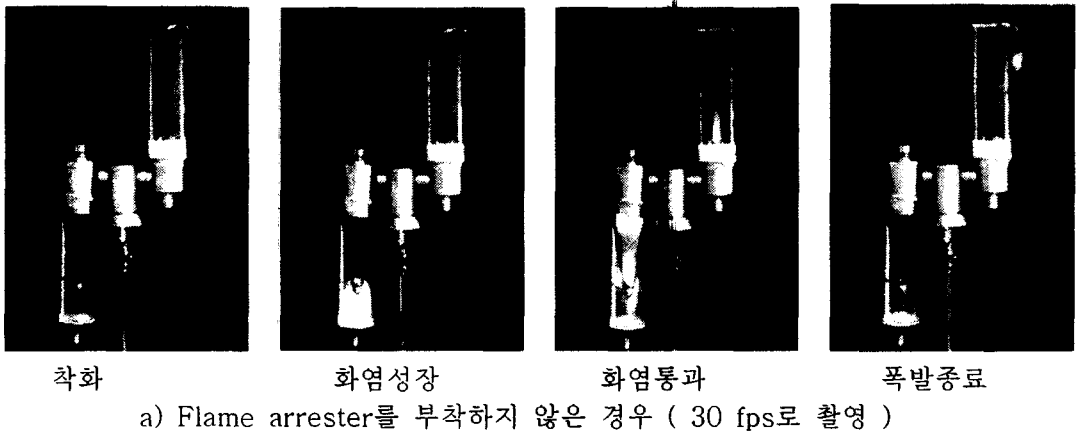


그림3. Flame arrester 부착 유 무에 다른 화염 역화 현상

flame arrester를 부착한 상태도 같은 방법으로 실험하였으며 그림2의 b)와 같이 화염이 flame arrester에 의해서 차단되는 모습을 확인할 수 있었다.

3-3. 밸브 개폐압력 측정 실험

통기 억제 밸브가 설정된 압력에서 개폐가 정상적으로 작동되는지에 대한 성능을 검

사하기 위한 실험은 용기를 약 60리터 크기의 용기를 만들어 압력센사와 수주를 이용한 마노메타를 부착하고 공기 압축기와 진공 펌프를 이용하여 밸브의 개폐 작동 압력을 측정하였다. 본 실험에서는 정압에 대하여는 0.35kg/cm^2 과 0.15kg/cm^2 부압에 대하여는 0.05kg/cm^2 과 0.1kg/cm^2 에 대하여 실험하였으며 정압의 경우는 압력센사를 이용하여 개방되는 압력을 측정하였으며 부압의 경우는 수주를 이용하여 밸브의 작동 압력을 측정한 결과 설정압력에서 오차가 $\pm 5\%$ 이하에서 작동되는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 앞에서 설명한 바 와 같이 정압에 대하여는 0.4kg/cm^2 , 부압에 대하여는 0.1kg/cm^2 에서 작동되도록 하는 것이 적합한 것으로 조건을 설정하여 설정된 압력에서 개폐 되도록 로드의 무게를 조절하였다.

3-4. 휘발유 증발억제 실험

통상적으로 주유소 통기관의 말단이 열려 있어 증기압이 높은 휘발유의 증발량 손실의 방지가 필요하여 본 연구가 수행된 것으로 통기 억제 밸브가 갖는 가장 중요한 기능의 하나이다. 휘발유의 증발 억제 기능을 실험하기 위하여 다음 그림 4와 같이 용기를 만들어 휘발유를 채우고 실온에서 일주일씩의 기간 동안 증발량을 측정하였다.

측정실험방법은 밸브를 설치한 경우와 밸브를 설치하지 않은 경우로 나누어 실험하였으며 완전 밀폐된 경우를 100%로 하였을 때를 기준으로 하여 실험결과 밸브가 설치된 경우가 설치되지 않은 경우에 비하여 80% 이상의 증발 억제 효과가 있음을 확인 할 수 있었다.



그림 4. 밸브의 개 폐 작동압력 측정 실험장치 개략도

4. 결 론

본 연구는 국내에 산재해 있는 1200여개의 주유소의 통기관을 통해 일어나는 휘발유의 증발에 따른 에너지 손실과 휘발에 의한 대기환경오염문제를 대처하기 위한 휘발성

유류의 증발을 억제 밸브를 개발하는 것으로서 1년간의 연구를 통해 휘발성 휴기 용매 중 혼합물인 휘발유와 신나 등에 대한 증기압을 측정하였고 휘발성 유류 저장 탱크중 주유소 통기관에 부착할 수 있는 증발 억제형 통기 밸브 시제품을 개발하였으며 개발 결과 휘발성 액체의 증발방지에 따른 에너지의 절약은 물론 주유소에서 VOC의 배출에 따른 환경오염 방지를 할 수 있게 되었다.

연구결과 주유소 통기관용 증발 억제 밸브의 개폐 압력은 정압 시에는 0.4 기압에서 부압 시에는 0.1 기압에서 밸브가 개폐되도록 설정하므로써 증발량을 최소화하고 기존 저장 탱크에 무리한 힘을 가하지 않고 밸브의 기능을 최상으로 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 수행 결과 기대 효과 및 활용 방안은 다음과 같다.

1) 주유소 통기관용 통기 억제 밸브 개발에 따른 참여기업의 매출 신장 및 고용 창출 효과는 전국의 주유소 12000개중 1/2 에 해당되는 곳에 필요한양을 고려할 경우 연간 약 18억원의 매출 증가가 기대되며 이에 필요한 고용 인력은 5명 정도 더 필요하게 될 것으로 판단된다.

- 연간 6000개 x 300,000원 = 1,800,000천원

2) 주유소의 휘발유 증발 억제에 따른 에너지 절약 효과는 주유소의 1/2 이 본 제품을 설치할 경우 일년중 비교적 온도가 높은 6 개월간의 평균 증발 손실 량을 고려하여 약 108억원의 에너지 손실 방지 효과를 가져올 것으로 기대된다.

- 연간 6000개 주유소 x 300,000원/월 x 6월 = 10,800,000천원

3) 휘발성 유기용매의 증발 방지에 의한 환경오염 감소효과 및 가연성 증기에 의한 화재 및 폭발 방지 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 본 연구 결과는 참여기업이나 관련 업체에 기술 이전을 통하여 상품화 하므로써 산업 안전 및 에너지 절약 기술로 활용될 수 있을 것이다.