

LPG 용기 화염노출시 안전밸브 성능에 관한 실험적 연구

이창수 · 이장우 · 김선혁
한국가스안전공사 사고조사처

An Experimental Study on safety of LPG Bombe Exposed to Flame

Lee chang soo, Lee jang woo, Kim sun hyuk
Korea gas safety corp. / Accidents Investigation division

1. 서론

LPG 용기 파열은 LPG의 연소에 의한 피해뿐만 아니라 용기의 파열에 따른 피해가 더 큰 위험성을 내포하고 있다. 그러나 LPG 용기 파열의 요인 중에는 용기 재질의 불량, 용접 부위의 불량, 용기 내부 압력 상승 시 이를 방출하기 위한 안전 밸브 불량 등으로 나눌 수 있으나, 현재 용기 밸브에 구성되어 있는 안전 밸브에 대한 가스 방출 능력에 대한 정확한 자료가 불충분하고 용기에 저장된 LPG의 용적량에 따른 안전 밸브 방출능력에 대한 정확한 성능 검증이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 20kg와 50kg의 LPG 용기를 실제 화재 현장과 유사한 상황을 재연하여 용기에 장착된 안전 밸브의 실제 가스 방출 성능을 검증하고 외국 인증 제품과 비교, 안전 밸브의 성능 향상을 위한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 LPG 용기 화염 노출 실험을 통하여 화재 시 안전 밸브의 작동과 안전 밸브 작동 시의 방출량이 용기 내부 압력 감소에 대해 미치는 영향과 내부 압력 방출 능력을 알아보고자 한다. 그리고 국내 규격 밸브와 외국 인증 규격 밸브의 안전 밸브의 방출 성능을 비교하고 수집되는 자료의 차이점을 비교, 개선 방향을 알아보고 LPG 용기의 파열 방지를 위한 안전 밸브의 개발에 기여하고자 한다.

용기 안전 밸브의 성능시험시 압축 공기를 이용한 LPG 용기 안전 밸브의 작동 압력(2.35MPa)에서의 방출량은 보통 압축 공기를 이용하여 측정한다. 이 공기 방출량을 LPG 방출량으로 환산은 식 (2-1)에 의해 계산된다.

$$W = V_a \times \sqrt{\frac{M_a}{M_p}} \times \frac{M_p}{22.4} \times \frac{273}{273 + t} \quad (2-1)$$

여기에서 W =LPG 표준상태 환산시 방출량 (kg/h), V_a =온도 t 일때 1기압의 공기방출량 (m^3/h), M_a =공기의 평균분자량=29, M_p =LPG의 평균분자량=46.3, (C_3H_8 80%, nC_4H_{10} 20%), t =안전밸브 입구의 평균 온도이다. 위의 식에 수치를 대입하여 정리하면 식 (2-2)와 같이 된다. 이는 미국 CGA S-1의 규격에서도 확인할 수 있다.

$$W = 1.15 V_a \quad (2-2)$$

여기에서 W =LPG 표준상태 환산시 방출량 (kg/h), V_a = 온도 t 일 때 1기압의 공기방출량 (m^3/h)

용기의 수열량(H)과 안전밸브의 방출량(w)는 액화 가스 용기가 화재에서 가열되면 용기가 화재 열에 의하여 가열되어 액화 가스의 온도가 상승하게 된다. 따라서 증기압이 상승하고 안전 밸브의 방출이 이어진다. 용기의 수열량과 내부의 온도 상승 속도는 비례하며 식 (2-3)에 의하여 계산할 수 있다.

$$H = \frac{CQ(t_2 - t_1)}{TA} \text{ (kcal/m}^2\text{h)} \quad (2-3)$$

여기에서 H : 용기의 열 영향 면적 1m²당 수열량 (kcal/m²h), C : LPG의 비열 = 0.60 (kcal/kg · k), Q : LPG의 질량 = 20 kg, 50 kg, t₂ : LPG 증기압 p₂에 대응한 온도, t₁ : LPG 초기압력 p₁(통상적 0.6 MPa)에 대응한 온도(9℃), T : 액온도가 t₁에서 t₂에 도달하는 시간, A : 열열향을 받는 용기의 면적이다. LP 가스 용기의 안전 밸브의 방출 시 증기의 증발 잠열 등의 열량이 방출되는데 만약 용기의 수열량이 많아지면 용기 내부의 온도와 압력이 상승하게 된다. 안전 밸브의 최저 필요 방출량은 식 (2-4)에 의해 계산된다.

$$W = \frac{HA}{\lambda} \quad (2-4)$$

여기에서 W = 안전 밸브의 방출량 (kg/h), H = 용기의 단위 면적당 수열량 (kcal/m²h), A = 용기의 면적 (m²), λ = 방출 증기의 증발 잠열이다.

LPG 용기에 사용되는 재료에는 KSD 3533(SG 295)로 화학적 성분의 비율은 C:0.2이하, Si:0.35이하, Mn:1.0이하, P:0.040이하, S:0.040 이다.

용기의 내부의 내 압력은 다음 식으로 예상할 수 있다.

$$P = \frac{2ft}{D}$$

여기에서 P = 내압력 (MPa), f = 용기 재료의 인장강도 (MPa), D = 용기의 직경 (mm), t = 용기 동판의 두께 (mm)이며, 위의 식에 시험용기의 수치를 대입하면 (f = 44.8 MPa , D = 320 mm(20 kg), 370 mm (50 kg), t = 3.6 mm (20 kg), t = 4.0 mm (50 kg)) 20 kg용기의 내압력 P₂₀는

$$P_{20} = \frac{2 \times 44.8 \times 3.6}{320} \times 100 = 100.8 \text{ (MPa)}$$

50 kg용기의 내압력 P₅₀은

$$P_{50} = \frac{2 \times 44.8 \times 4.0}{370} \times 100 = 96.86 \text{ (MPa)}$$

이다.

2. 실험

2.1 실험 장치

본 실험 장치는 실험 대상물을 설치할 실험대, 실험 대상물 가열을 위한 가스 공급 및 연소 장치, 실험 자료를 수집, 기록할 측정 장치, 그리고 실험을 통제하는 통제실로 구성되어진다. Fig. 3-1은 실험 장치의 배치도를 나타낸 것이다.

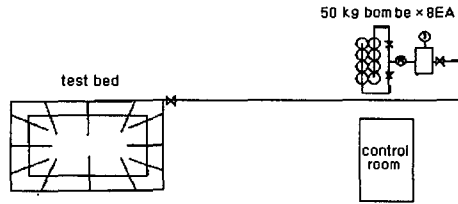


Fig. 3-1 Lay out of experimental apparatus

본 실험이 이루어지는 실험대의 크기는 Fig. 3-2와 같이 2100 mm×1600 mm의 철근 콘크리트로 제작되었고, 실험대 4개 모서리에는 높이 2m의 강관 파이프를 철근 콘크리트 구조에 고정 설치하였다. 이 강관 파이프는 실험용 LPG 용기를 쇠사슬로 고정할 수 있는 구조로 되어 있다.

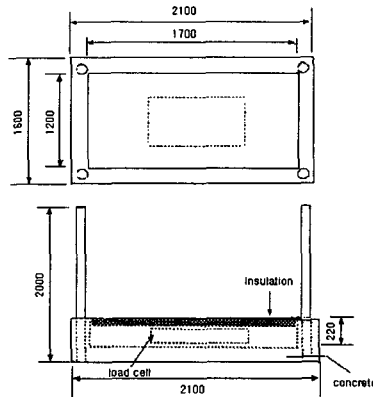


Fig. 3-2 Test bed

실험대 바닥에는 실험 용기의 질량을 측정하기 위하여 질량 센서(load cell)를 설치하고 그 위에 단열재를 이용하여 방열, 방열 조치하였다. 그리고 실험대 주위에는 실제의 연소 화염 상태를 만들기 위한 가스 버너를 12개 설치하였으며, 각각의 버너에는 밸브를 장착하고 버너의 작동을 제어할 수 있도록 하였다. 실험대에 실제 화재 상태와 같은 화염을 발생시키도록 하였다.

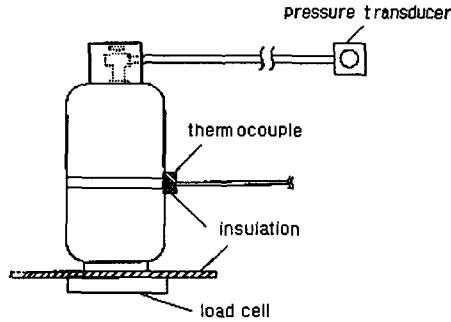


Fig. 3-3 Layout of locating of sensors

LPG 용기 표면 온도를 측정하기 위하여 LPG 용기 표면에 Fig. 3-3과 같이 K-type의 압착 열전대(thermocouple)를 부착하였고, 압착 열전대는 용기와의 밀착을 위하여 감지부에 밴드를 장착하여 용기의 중앙부에 압착 고정하여 설치하였고 화염 속에서 압착 열전대의 파손을 방지하기 위하여 열 감지부에서 부터 SUS를 이용하여 5m의 튜브를 만들어 감싸고 내부에 난연재를 첨가하여 제작하였다. 또한 열 감지부는 외부 연소열의 영향을 차단하기 위하여 단열재(Isolation)를 설치하였다.

LPG 용기의 질량을 측정하기 위하여 실험대 바닥에 로드셀을 설치하고 그 위에 단열재를 놓아 화염과 열에 의한 로드셀의 손상을 방지하였다. 데이터 전송 케이블은 trench를 이용하여 통제실 내에 설치된 데이터 로거에 연결하였다.

화염에 노출된 후 LPG 용기 내의 압력 변화를 측정하기 위하여 Fig. 3-3과 같이 LPG 용기 밸브에 압력 트랜스듀서(pressure transducer)를 직접 설치하지 않고 압력 센서를 화염으로부터 보호하기 위하여 관경 $\phi 15$, 길이 6m의 고압 파이프(simless pipe)를 밸브에 연결한 후 고압 파이프에 압력 센서를 설치하고 고압 파이프에서의 기밀을 확인하고자 5분간 거치한 후 기밀을 확인하고 실험을 진행하였다.

Fig. 3-5, 3-6은 세부 단면도이다.⁽¹⁰⁾

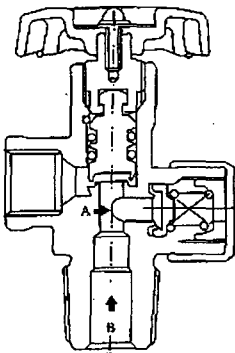


Fig. 3-5 LPG bombe valve (KS)

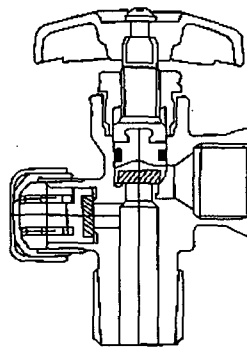


Fig. 3-6 LPG bombe valve (UL)

3. 실험 방법

실험에 앞서 규정의 LPG가 충전된 실험용 LPG 용기에 열전대, 압력 트랜스듀서 부착용 파이프 및 압력 트랜스듀서를 부착한 후 실험대 위에 LPG 용기를 놓고 강철제 체인으로 고정을 하였다. 다음에 열전대, 압력 트랜스듀서, 로드셀로부터 나온 데이터 케이블을 땅속에 묻어 통제실에 있는 데이터 로거에 연결하였다.

실험용 LPG 용기의 고정과 데이터 케이블의 연결 상태가 안전하고 확실하게 된 것을 확인한 후 데이터 처리 시스템이 정상적으로 작동하는 가를 점검하였다.

실험 준비가 완전히 된 후 LPG 집합대에 있는 LPG 용기 밸브를 모두 열고 압력 조정기의 압력을 0.08 MPa로 조정하였다. 가스 실험대에 설치된 LPG 분사 노즐 1개에만 먼저 착화 연소시킨 후 각 노즐에 연결된 분배기의 밸브를 열어 모든 노즐에 연료를 공급하여 착화 연소시켜 실제 화재와 같은 상황을 만들었다. 모든 노즐에서 연소가 일어나 실제 화재와 같은 상황이 된 직후부터 LPG 용기의 온도, 압력, 질량의 변화를 데이터 처리 시스템에서 측정 기록하여 LPG 용기에서 화염이 소실될 때까지 실험하였다. 실험이 끝나면 분배기의 밸브와 집합대에 있는 LPG 용기의 밸브를 닫고 실험대가 자연 방열하여 냉각된 후 LPG 용기의 상태를 점검, 기록하였다.

LPG 용기는 20 kg, 50 kg의 두 종류이며, 안전 밸브는 KS 규격에 의해 제작된 것과 UL 기준에 의해 제작된 것 2종류를 LPG 용기에 각각 설치하였다. 또한 LPG 용기가 놓여있는 상태가 LPG 용기의 안정성에 미치는 영향을 알기 위하여 LPG 용기를 세운 것과 누인 것의 2가지 방법으로 설치하여 실험을 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 LPG 용기 화염 노출 실험

Fig. 5-1은 20 kg LPG 용기에 KS 규격에 의해 제작된 국산 밸브를 장착한 후 LPG를 20 kg, 100% 충전해서 세워놓고 압력 센서, 온도 센서, 질량 센서를 각각 1개씩 부착해서 용기를 가열하였을 때 시간에 따른 압력, 온도, 질량의 변화를 나타낸 것이다.

화염에 노출된 후 11분 11초만에 안전 밸브가 작동하기 시작하여 안전 밸브 분출 가스에 화염이 발생하였고 12분 30초에 안전 밸브에서 최대 방출이 일어나 강한 방출음을 내며 용기의 프로텍터에 충돌한 화염이 용기의 상부를 덮다가 17분 36초에 강한 방출음과 jet fire가 사라지고 25분 31초에 소화되었다.

Fig. 5-2는 국산 밸브(KS)를 장착한 20 kg LPG 용기에 충전량을 100%로 하여 용기는 눕혀 놓고 실험을 한 것이다. 압력 센서, 온도 센서, 질량 센서를 각각 1개씩 부착해서 용기를 가열하였을 때 시간에 따른 압력, 온도, 질량의 변화를 측정한 것이다.

LPG 용기가 화염에 노출된 후 1분 25초부터 안전 밸브에서 미약 방출이 시작되어 3분 경과 후 방출음이 급격히 커졌으며 3분 48초에 이르러 간헐적인 안전 밸브의 단속 작용이 나타났다. 6분에 이르러 방출음이 급격히 감소하여 7분 38초에 소화되었다. 용기의 세움 자세와는 달리 안전 밸브에서의 화염은 더욱 크고 적음을 보였고, 액상의 가스가 안전 밸브를 통해 유출되어 외부 바닥 면에서 기화, 연소하여 용기 전체를 화염에 휩싸이게 하였다. 그러나 LPG 용기의 파열 현상은 없었다.

Fig. 5-3은 Fig. 5-2와 같은 실험 조건이나 안전 밸브를 KS 규격 밸브 대신에 UL 규격에 의해 제작된 일본 M사 밸브를 장착한 LPG 용기를 눕힌 상태에서 실험을 한 것이다. 압력 센서, 온도 센서, 질량 센서를 각각 1개씩 부착해서 용기를 가열하였을 때 시간에 따른 압력, 온도, 질량의 변화를 측정하는 것이다.

LPG 용기를 화염에 노출시킨 후 2분 40초에 안전 밸브에서 최초로 가스 방출이 나타났으며, 3분 10초경부터 강한 방출음을 동반한 간헐적인 방출이 7분 30초까지 보이다가 지속적인 방출을 보이며 10분 30초경 완전 소진되었다. 앞에서의 KS 규격의 밸브와 마찬가지로 액상의 가스가 안전 밸브를 통하여 누출되어 바닥 면에 pool fire를 형성하였다.⁽¹¹⁾ Fig. 5-2의 실험에서 한 KS 규격 밸브와 비교하면 안전 밸브를 통한 가스의 방출량이 많음이 육안으로도 식별이 가능하였고 방출된 가스에 의한 화염 또한 매우 큰 적염을 보였다. 실험 후 압력의 변화로 보아 국산 밸브를 장착한 용기의 내부 압력보다 압력 변화의 급격한 상승은 적으며 지속적인 압력 상승을 보였다.

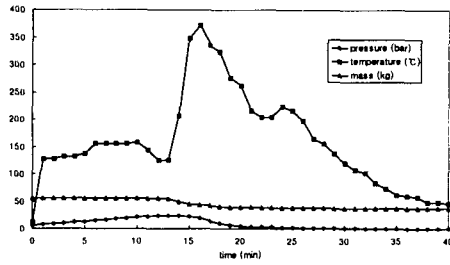


Fig. 5-1 The relation among pressure, temperature and mass in case of exposing 20 kg vertical LPG bombe to flame (KS)

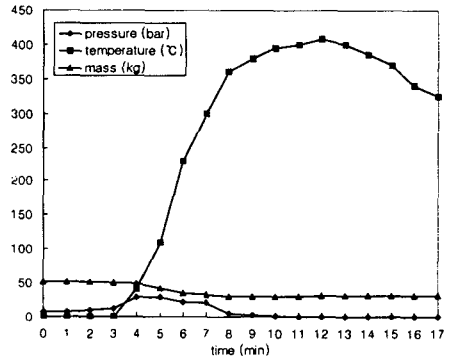


Fig. 5-2 The relation among pressure, temperature and mass in case of exposing 20 kg horizontal LPG bombe to flame (KS)

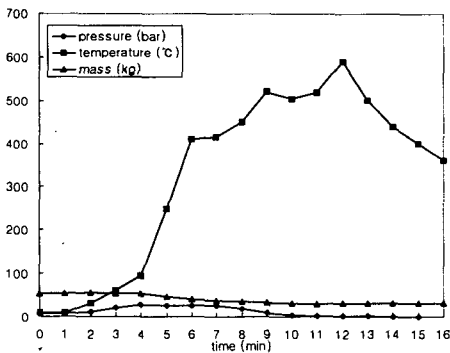


Fig. 5-3 The relation among pressure, temperature and mass in case of exposing 20 kg horizontal LPG bombe to flame (UL)

Fig. 5-4는 국산 밸브(KS)를 장착한 50 kg 용기를 100 % 충전하여 총 무게가 98 kg인 LPG 용기를 세워놓고 화염 노출 시 용기의 변화를 관찰한 것이다. LPG 용기에 압력 센서 1개, 온도 센서 1개를 설치하고 질량 센서를 설치하여 시간에 따른 압력, 온도, 질량의 변화를 측정하였다.

LPG 용기를 화염에 노출시킨 후 14분 20초만에 안전 밸브가 개방하기 시작하여 17분 40초까지 간헐적인 밸브의 작동이 계속되었다. 17분 50초에 안전 밸브가 완전 개방되어 굉음을 동반한 가스 분출이 나타났으며 42분이 되어 완전 소화되었다.

Fig. 5-5는 Fig. 5-4와 같은 실험 조건으로 측정장치를 설치하고 단지 LPG 용기를 눕혀놓고 실험한 것으로 압력 센서, 온도 센서, 질량 센서를 각각 1개씩 부착해서 용기를 가열하였을 때 시간에 따른 압력, 온도, 질량의 변화를 측정하였다. LPG 용기를 화염에 노출시킨 후 4분 5초만에 안전 밸브가 작동하기 시작하였고 5분 12초에 도달하면서 폭발적인 압력 방출이 나타났다. 이때 액상의 가스가 분출되어 pool fire⁽¹¹⁾를 형성하여 용기 전체가 화염에 휩싸였고, 9분 10초에 용기가 파열되었다. Fig. 5-4와 비교하여 보면 세워 놓았을 경우에는 LPG 용기가 안전하고 손상이 없었으나 눕혀놓은 용기에서는 9분 10초만에 파열하였는데 이것은 안전 밸브로 액상의 가스가 나와 LPG 용기 주위에서 연소에 의한 용기의 수열량 증가에 의하여 증가된 용기내 압력을 충분히 방출시키지 못하여 파열된 것으로 생각된다. 안전밸브에서 분출된 액상의 가스의 연소에 의하여 데이터 케이블, 로드셀이 손상되었다. Photo. 5-1은 용기의 파열 부위를 나타낸 사진으로 용접부가 아닌 용기의 기상이 존재하는 부분의 최고 상단부가 파열된 것으로 보아 액상 가스의 급격한 기화로 인한 압력 증가와 화염에 의한 용기재료의 강도 저하가 파열의 원인으로 추정된다.

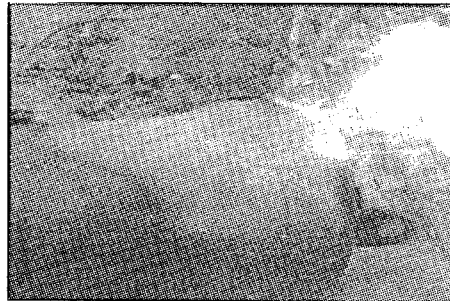


Photo. 5-1 Rupture state after heating

Fig. 5-6은 일본 M사 밸브(UL 규격)를 장착한 50 kg LPG 용기를 100 % 충전한 후 세워놓고 실험한 것이며, 압력 센서, 온도 센서, 질량 센서를 각각 1개씩 부착해서 용기를 가열하였을 때 시간에 따른 압력, 온도, 질량의 변화를 측정하였다. LPG 용기를 화염에 노출시킨 후 2분 35초에 안전 밸브가 작동하였고 4분 10초에는 화염이 용기상부 1/3를 덮었고 26분 15초에 완전히 소화되었다. UL 규격 용기 밸브에 장착된 안전 밸브의 방출량은 국산 밸브에 비하여 방출량이 많아 초기 안전 밸브 방출시부터 상대적으로 국산 밸브에 비해 매우 큰 화염을 일으켰다. 20 kg 용기에 장착된 UL 규격 밸브와 비교하여 압력 곡선을 보면 방출시 압력을 일정하게 유지하는 시간이 국산 밸브보다 길다는 것이 매우 유사하였다.

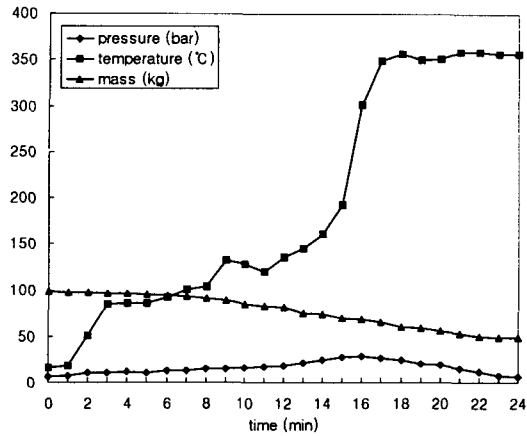


Fig. 5-4 The relation between pressure and temperature in case of exposing 50 kg vertical LPG bombe to flame (KS)

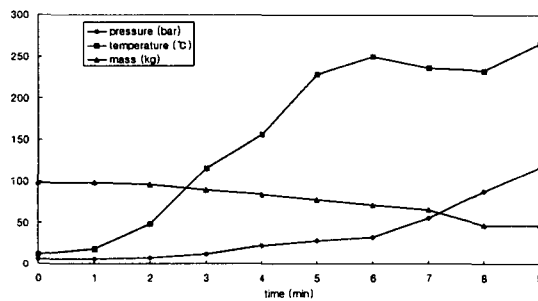


Fig. 5-5 The relation among pressure, temperature and mass in case of exposing 50 kg horizontal LPG bombe to flame (KS)

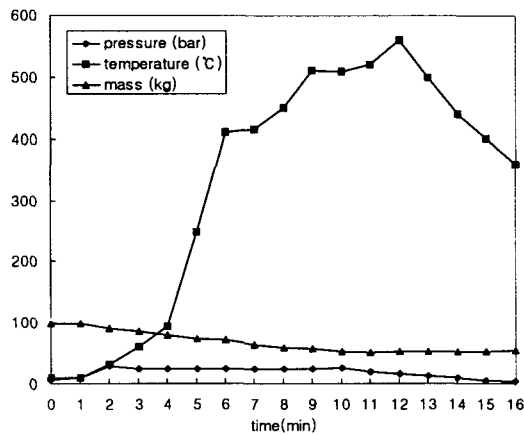


Fig. 5-6 The relation among pressure, temperature and mass in case of exposing 50 kg horizontal LPG bombe to flame (UL)

4. 2 LPG 용기 안전 밸브 방출 성능 비교

Table 5-1은 50 kg LPG 용기를 세워놓고 KS 규격 밸브와 UL 규격 밸브를 장착하였을 때 최대 방출 구간 및 그 동안에 방출된 방출량 등을 나타낸 것이고, Fig. 5-7은 50 kg LPG 용기내의 시간에 따른 압력 변화를 나타낸 것이다.

Table 5-1 The comparison between KS and UL valve in case of exposing 50 kg vertical LPG bombe to flame

| 구 분 | 최대 방출 구간 | 최대 방출 소요 시간 | 방출량 | 평균 방출량 |
|-----|----------|-------------|---------|-------------|
| KS | 6~18분 | 12분간 | 21.2 kg | 1.77 kg/min |
| UL | 2~21분 | 19분간 | 56.0 kg | 2.95 kg/min |

UL 규격 밸브의 경우 2.2MPa에서 최대값을 나타내었고, 2.21 MPa 전후의 압력으로 약 5분간 압력을 지속하는 현상을 보였다. 그에 비하여 KS 규격 밸브는 압력 상승이 서서히 상승하였고 2.81 MPa 까지 용기 내부 압력이 상승하였다. KS 규격 밸브와 UL 규격 밸브의 특징을 비교해 보면 UL 규격 밸브의 경우 용기 내부 압력의 상승이 매우 빠르며 안전 밸브 작동 압력에 도달하여서는 안전 밸브 작동 압력에서 크게 벗어나지 않는다. KS 규격 밸브의 경우 압력 상승의 기울기가 비교적 낮은 것으로 보아 낮은 압력에서도 안전 밸브의 작동이 미약하나마 작동한 것으로 보이고 최고 압력이 2.81 MPa였다. 압력의 하강 곡선 역시 완만한 곡선을 보였다

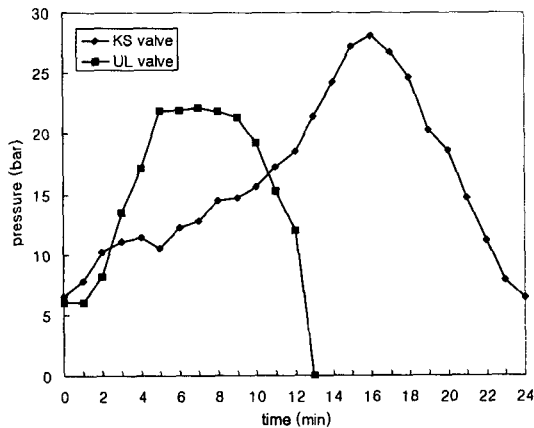


Fig. 5-7 The pressure comparison between KS valve and UL of 50 kg vertical bombe

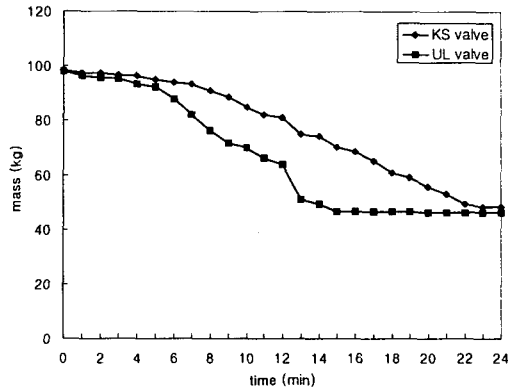


Fig. 5-8 The mass comparison between KS valve and UL of 50 kg vertical bombe

Table 5-2는 50 kg LPG 용기를 눕혀놓고 KS 규격 밸브와 UL 규격 밸브를 장착하였을 때 최대 방출 구간 및 그 동안에 방출된 방출량 등을 나타낸 것이다. Fig. 5-9는 50 kg LPG 용기내의 시간에 따른 압력 변화를 나타낸 것이다.

Table 5-2 The comparison between KS and UL valve in case of exposing 50 kg horizontal LPG bombe to flame

| 구 분 | 최대 방출 구간 | 최대 방출 소요 시간 | 방출량 | 평균 방출량 |
|-------|----------|-------------|---------|------------|
| KS 규격 | 2~6분 | 4분간 | 37.2 kg | 9.3 kg/min |
| UL 규격 | 4~8분 | 4분간 | 24.0 kg | 6.0 kg/min |

UL 규격 밸브의 경우 2.83 MPa에서 최대값을 나타내었고, 세워진 상태의 경우에 비교하여 상대적으로 많은 방출량을 보였다. 그에 비하여 KS 규격 밸브는 비교적 압력이 급격히 상승하여 9분경 11.64 MPa에서 용기의 파열이 발생하였다. 파열 용기는 용기의 종 방향으로 파열되었으며 용접 부위의 파열은 발견되지 않았다.

KS 규격 밸브와 UL 규격 밸브의 단위 시간당 방출량을 비교하여 보면 KS 규격 밸브는 360 kg/h이었고, UL 규격 밸브는 558 kg/h를 나타내었다.

누임 용기의 실험에서 KS 규격 밸브와 UL 규격 밸브의 안전 밸브 방출량의 차이를 확실히 확인할 수 있었으며, 이는 KS 규격 밸브 장착 용기의 파열로 나타났다.

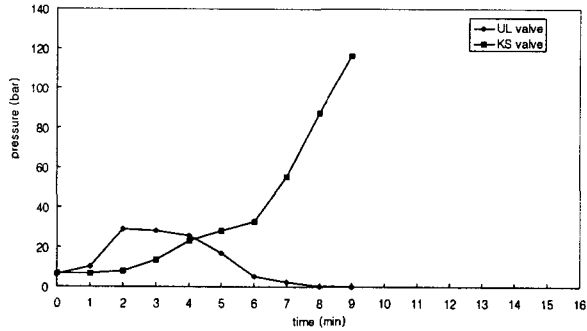


Fig. 5-9 The pressure comparison between KS valve and UL of 50 kg horizontal bombe

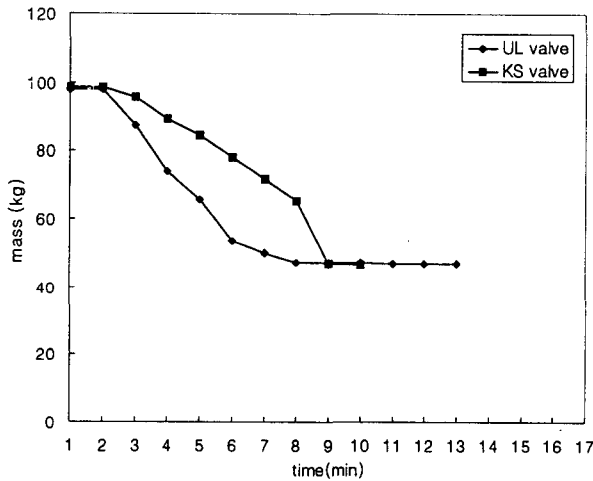


Fig. 5-10 The mass comparison between KS valve and UL of 50 kg horizontal bombe

5. 결 론

국내 KS 규격과 외국 UL 규격의 LPG 용기용 밸브에 대하여 실제 화재 현장과 유사한 실험 조건에서 안전 밸브의 방출성능에 대한 실험 결과에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. KS 규격에 의하여 현재 제작되는 LPG 용기용 안전 밸브의 규격은 현재 사용되어지는 LPG 용기의 규격중 LP-20 (20kg)에는 용기의 파열 방지를 감당할 수 있는 방출량임을 알 수 있었다.

2. LP-50(50 kg)에도 20 kg 용기와 동일 규격의 안전 밸브를 적용하여 사용하고 있어, 방출량의 부족과 외부 온도에 의해 용기에 사용된 강판 재료의 강도 저하에 따라 파열이 발생하였다. 이것으로 보아 LP-50의 용기에는 현재의 KS 규격 안전 밸브의 방출량이 부족함을 알 수 있었다.

3. 안전 밸브 방출성능에 대한 실측을 통하여 LP-50은 최저 방출량이 558 kg/h 이상일 때 용기의 파열 현상을 보이지 않으므로 LPG-50 용기용 밸브의 안전 밸브의 방출량의 규정을 상향조정하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

6. 참고문헌

1. 한국 가스 안전 공사, “가스 사고 편람”, pp. 3~15, 1997
2. CGA S-1.1 Design and construction requirement for pressure relief device, Compressed Gas Association, pp. 3~12, 1994
3. Frank T. Bodurrtha, Industrial explosion prevention and protection, McGraw-Hill, 1980
4. 通商産業省 資源技術試験所 化學工業局, “可燃性 가스野外實驗報告”, LP가스容器火災試驗, pp. 5~45, 1968
5. 고압 가스 안전 관리법 시행규칙, pp. 162~1, 1998
6. 권양기, “LPG 및 도시가스 실무 핸드북”, 구민사, pp. 18-49, 1994
7. 한국 표준 협회, “한국 산업 규격 액화 석유 가스 M 2150”, 1994
8. mathesen, “Gas data book”, Sixth Edition, East Rutherford pp. 420~434, 615~628, 1975
9. 한국 표준 협회, “한국 산업 규격 용접 강제 액화 석유 가스 용기(재충전용) B 6211 ”, 1997
10. 한국 표준 협회, “한국 산업 규격 액화 석유 가스 용기용 밸브 B 6212”, 1995
11. 水谷幸夫, 燃焼工學, 2nd edition, pp. 171~176, 1992
12. 한국 가스 안전 공사, “97년도 가스 사고 모의 실험 결과 보고서”, pp. 5~142, 1998