

전열온수식 LPG기화기 액유출방지장치 개발

최성준^{1,2,*}, 권정락¹, 원용준¹, 김 효²¹한국가스안전공사, ²서울시립대학교 화학공학과

(shoo@kgs.or.kr*)

Development of a Reliable Check-Floater to Stop LPG Overflow in a Coil-Type LPG Vaporizer

Sung Joon Choi^{1,2,*}, Jeong Rock Kwon¹, Yong Joon Won¹, Hyo Kim²¹Korea Gas Safety Corporation, Department of Chemical Engineering,²The University of Seoul

(shoo@kgs.or.kr*)

1. 서론

지난 10년간 기화기 사고를 분석한 결과 총 26건의 사고가 발생하였고 그중에서 제품불량으로 인한 사고가 21건이었으며, 특히 액유출 방지장치의 불량률이 62%인 것으로 확인되었다. 국내 LPG기화기는 전열온수식이 주종을 이루고 있고, 전원차단, 설정온도 이하에서 사용, 기화기 용량 초과 사용 등의 원인으로 기화기내부에 용기나 저장탱크의 액체 LPG가 공급될 경우 출구노즐을 차단하는 액유출 방지장치가 결합에 의해 출구노즐을 완전히 차단하지 못하면서 액상의 LPG가 조정기와 계량기로 유입, 기화되어 파열사고를 일으키게 된다. 이번에 개발한 신형 액유출 방지장치는 베어링과 스프링의 힘을 이용하여 작동하는 기계적 차단장치로서 실험결과 기존 액유출 방지장치 보다 우수한 차단성능을 나타내었다.

2. 본론

2-1 기존 액유출 방지장치의 개요 및 문제점

기존의 액유출 방지장치는 전열온수식 기화기 내부의 기화통에 액체의 LPG가 유입되면 부속품인 플로트(부력을 절대적으로 필요로 함)가 화장실 부표와 같이 유입되는 액체LPG의 양에 비례하여 떠오르면서 유입된 액체LPG가 출구부로 나가지 못하도록 출구부를 막는 역할을 한다.(Fig 1) 그러나 용접불량으로 인한 플로트 균열, 설계불량, 재질불량, 그리고 가이드로 부터의 플로트 이탈 등의 원인으로 유입되는 액체의 비중보다 플로트의 비중이 높을 경우, 플로트가 떠오르지 못하고 가라앉게 되어 정상적으로 출구부를 차단하지 못하게 되므로 LPG액이 출구부를 지나 순간적으로 기체로 변화하면서 부피팽창을 일으켜 조정기와 계량기를 파열시킨다. (액체 LPG의 경우 기체가 될 때 250배의 부피팽창).

2-1 신형 액유출 방지장치의 동작원리

신형 액유출 방지장치의 차단방법은 (Fig 2~3) ⑧기화통(전열온수식 기화기 내부 장치)내에 LPG 액체가 유입되면 ⑨플로트(속이 비어있는 원통)가 서서히 올라가게 되고 ②출구밸브봉을 지지하고 있던 ④베어링이 ⑤가이드 홈으로 빠져나가게 되면서 ③스프링의 탄성작용으로 기화통 출구를 확실히 차단하게 된다. (⑦플로트 외부통은 LPG액체의 유입 시 플로트의 좌우 흔들림을 막아주고 ⑩구멍으로 LPG액체가 유입)된다. 차단 후 복귀방법은 ⑧기화통내의 LPG액체를 용기 또는 소형 저장탱크로 모두 역류 시킨 다음, ⑥복귀밸브를 누르면 ①출구밸브, ②출구밸브봉, 그리고 ③스프링은 재설정이 되고 ⑨플로트는 자중에 의해 밑으로 내려가려는 성질이 있어 ⑤가이드 홈에 있던 ④베어링은 ②출구밸브봉의 홈으로 복귀하게 된다. 만약 ⑧기화통 내부에 액체 LPG가 상존해 있을 때 ⑥복귀밸브를 누르더라도 ⑨플로트는 위로 올라가려는 성질이 있으므로 다시 출구는 차단된다.

2-2 액유출 방지장치의 비중측정 및 플로트 시험

Table 1과 같이 10개의 국내·외 액유출 방지기구의 비중을 측정한 결과 0.39~0.73(A사는 부력을 증가시키기 위해서 스프링을 추가로 사용)이었다. 액유출 방지장치의 작동상태를 확인하기 위하여 Fig 4와 같이 실제와 동일한 크기의 투명한 플로트 시험장치를 개발하여 LPG액체를 공급한 결과 비중차에 따

라 다양한 높이에서 출구부를 차단하였고, 사고가 난 D사의 경우 다량의 액유출이 발생되었다. 가스공급유량을 기화기 상용유량(20~25m³/hr)으로 공급 시에는 신형 및 K사를 제외하고 제조사별 액유출 방지장치는 모두 불완전하여 기화기 출구 배관에 설치한 투명배관에서 액유출 현상을 확인 할 수 있었다.

3. 결과 및 토론

3-1 비중측정 및 플로트 시험분석

기화기 출구노즐을 차단하는 액유출 방지장치의 플로트 비중은 기화기 내부로 유입되는 LPG액체의 온도에 따라 변하는 액비중보다 항상 낮아야만 정상작동을 할 수 있다. 즉 LPG 50kg 싸이폰 용기나 소형저장탱크내의 기·액 평형상태에 있는 LPG의 액비중은 100% 프로판의 경우 계절에 따라 0.46~0.56(Fig 5)으로 변하고 따라서 비중이 0.4이상인 기화기의 경우 대기온도가 20℃ 이상에서 기화기 내부로 LPG액체가 유입되면 신속한 차단이 불가능하다. 플로트 시험장치(Fig 4)에서 각각의 액유출 방지장치를 실험한 결과 사용량이 적을 경우 조정기 전·후단의 차압이 적어 플로트 시험장치 내부로 액의 유입이 서서히 이루어져 플로트가 부상되는 거리의 차이는 있지만 정상작동을 하였다. 그러나 50kg/hr기화기(=25m³/hr)의 상용유량으로 LPG액체를 공급 시 대부분의 기화기에서 액유출 현상이 발생하였다. 예를 들어 사고가 난 C사의 경우 플로트 시험장치 내부로 다량의 액이 공급되면서 기화현상에 의해 액이 끓어올라 액유출 방지장치가 기화기 출구노즐을 차단하지 못하게 방해하여 다량의 액이 유출된다. 유출된 액은 조정기를 통과 하면서 플래시 상태가 되고 대기와 열교환을 하면서 급격한 기체 팽창과 압력상승을 동반한다. 이때 사용을 계속한다면 단열팽창 현상에 의해 온도가 하강하여 외부배관에 성애가 발생하게 되고, 사용을 중지하면 잔류한 액체는 외부(대기)의 열을 받아 기체로 바뀌면서 250배의 부피 팽창을 일으켜 조정기와 계량기를 과열시키게 된다. 실험결과 플로트 시험장치 전·후단의 온도는 21℃에서 후단부가 최대 -31℃까지 하강하였고, 조정기 후단의 배관 표면온도는 7.3℃였다.(대기온도 26℃) 또한 사고가 난 D사의 액유출 방지장치는 유량이 3~5m³/hr로 공급 시에도 비중이 높아 기화기 출구부를 차단하지 못하고 액에 잠기는 현상이 관찰 되었고 분해확인결과 제조결함으로 액유출 방지장치 출구노즐이 기화기 출구를 확실히 차단하지 못하는 구조였다.

3-2 저장시설 내의 불순물 관찰결과

투명 기화통을 이용하여 액유출 방지장치를 실험한 결과 용기 내부에 불순물이 항상 잔존함을 확인 할 수 있었다. 용기내부에 프로판이 다량 충전된 경우에는 용기 내부의 액체 프로판이 싸이폰관을 통하여 공급되므로 투명한 액체 상태를 유지하지만 용기내부에 잔량이 거의 없을 때에는 바닥면에 잔류하던 불순물들이 다량 공급된다. 불순물들은 대부분 철가루 등으로 확인 되었고, 이런 불순물들이 다년간 기화기를 통해 배관으로 공급되면 기화기 후단의 조정기와 계량기에 침착되어 설비들의 과열사고를 일으키는 원인이 된다.(Fig 6) 또한 용기 재검사 시 수압시험 등으로 용기 내부에 수분이 다량 잔존 시에는 Fig 7과 같이 투명 기화통으로 공급되는 배관 상에 성애가 심각하게 발생하는데, 그 원인은 수분이 프로판보다 빙점이 훨씬 높고, 배관 외부 주위 및 프로판으로부터 다량의 열을 빼앗기 때문에(잠열) 발생하는 현상으로 추정된다.

4. 결론

기존의 액유출 방지장치 플로트는 계절별로 변하는 액체LPG의 비중(0.55~0.47)에 따라서 출구를 차단하는 힘이 다르며, 플로트의 각종 결함으로 인해 안전장치로서의 신뢰성에 문제가 있어 기화기 사고의 주된 원인이 되고 있다. 반면, 신형 액유출 방지장치는 플로트가 간단한 구조로 되어있어 결함이 발생할 경우가 드물고 일정 높이로 LPG액체가 차오르면 스프링의 힘으로 출구를 확실히 차단할 수 있는 구조이므로 계절에 따른 LPG의 액비중에 크게 좌우되지 않고, 기화기 내부로 유입되는 LPG액체를 차단 할 수 있으므로 액유출과 관련된 가스사고를 현저히 막을 수 있을거라 예상된다. 또한 투명기화통을 이용한 실험결과로 용기 및 소형저장탱크 내부에 잔류하는 불순물과 수분의 잔존상태가 심각함을 육안으로 확인하였으며, 이에 대한 제거수단과 검사방법의 개선이 필요하다.

5. 참고문헌

1. Reid, R. C., Prausnitz, J. M., and Poling, B. E., The Properties of Gases and Liquids, 4th ed., McGraw-Hill, new york, 29-73(1986).
2. 한국가스안전공사, “가스사고연감 1997 - 1999”.
3. Robert H. Perry. and Don W. Green, Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th ed., McGraw-Hill, new york.
4. R. A. Smith., Vaporizers, 1st ed., Longman Scientific & Technical, 229-238 (1986).
5. J. M. Smith, H. C. Vanness, Introduction To Chemical Engineering Thermo-dynamics, 4th ed., McGraw-Hill, new york, 114-116(1987).

Table 1. LPG check-floater specific gravity and test results.

구분	무게(g)	부피(cm ³)	비중	대기온도(°C)	유량(3~5m ³ /hr) 차단거리(cm)	유량(20~25m ³ /hr)
A사	178	245	0.73	26.6	21.5	overflow
B사	322	770	0.42	26.0	17.5	overflow
C사	690	1465	0.47	26.6	-1.5	overflow
D사	259	660	0.39	26.9	16.5	overflow
E사	246	670	0.37	27.4	15.5	overflow
○사	161	320	0.50	26.5	overflow	overflow
K사	-	-	-	27.2	17.2	14.3
사고C사	643	1490	0.43	26.0	2.5	overflow
사고D사	89	170	0.52	27.0	overflow	overflow
신형	-	-	-	26.8	17.2	8.4

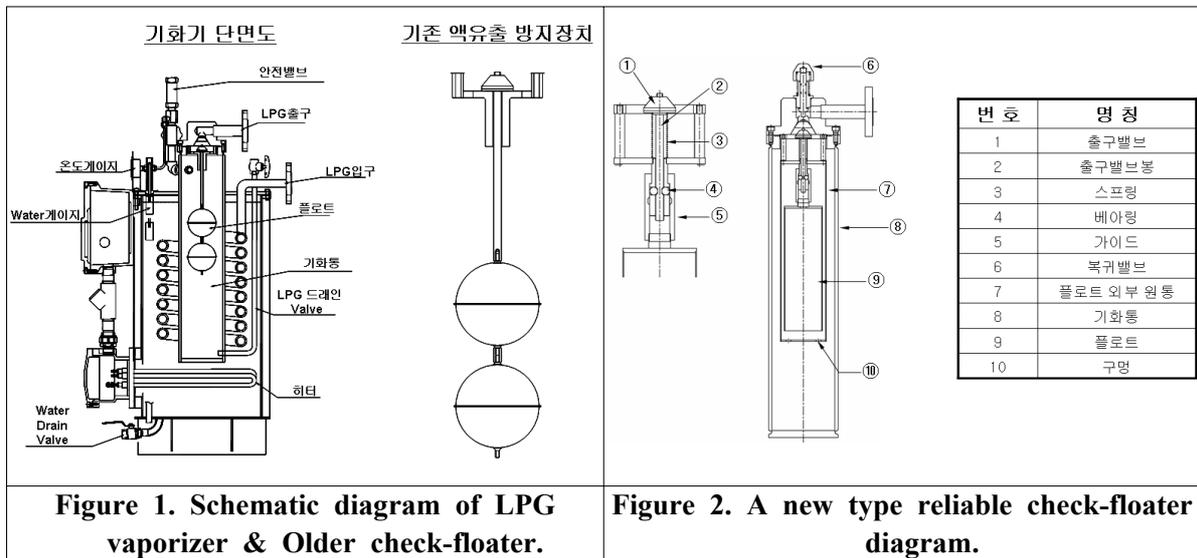




Figure 3. Performance test of a new type reliable check-floater.



Figure 4. Float test equipment.

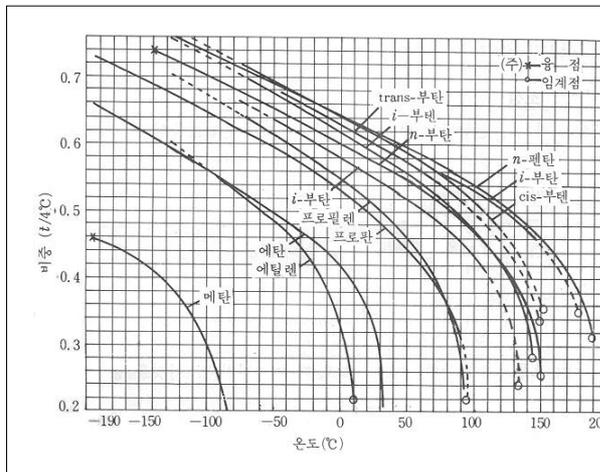


Figure 5. Specific gravity of light weight Hydrocarbons.

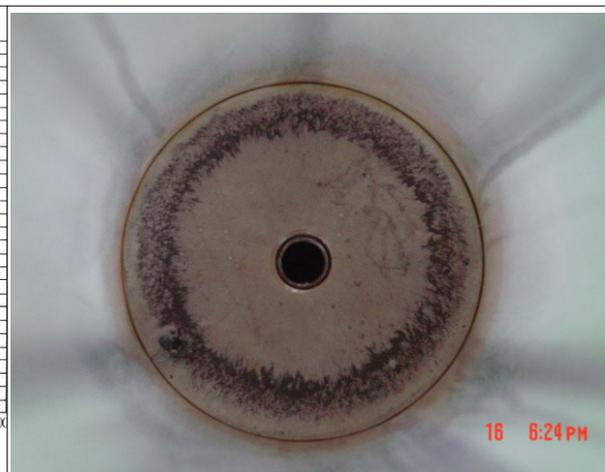


Figure 6. Residual impurities of cylinder or storage tank.



Figure 7. frosted pipes by water.