



전열온수식 LPG 기화기 액 유출 방지장치 성능평가 및 시스템 분석

†최성준 · 권정락 · 김 호*

한국가스안전공사 가스안전연구원, *서울시립대학교 화학공학과
(2007년 3월 13일 접수, 2007년 3월 23일 채택)

Performance Test and System Analysis on Check-Floater in a Coil-Typed LP Gas Vaporizer

†Sung-Joon Choi · Jeong-Rock Kwon · Hyo Kim*

*Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation
*Dept. of Chemical Engineering, University of Seoul
(Received 13 March 2007, Accepted 23 March 2007)*

요 약

LPG저장설비나 용기에서 유입되는 LPG가 기화기로부터 충분한 열을 공급받지 못해 액체 상태로 기화기 출구를 통해 나가게 될 경우를 대비하여 설치한 액 유출 방지장치가 정상적으로 기화기 출구부를 차단하지 못하면 기화기 후단부에 설치한 계량기등이 LPG의 순간적인 부피팽창으로 인하여 고장나거나 파열하게 된다. 따라서 이와 같은 기화기 관련 사고를 분석하기 위하여 새롭게 개발한 투명기화통을 이용하여 기화기의 성능평가 및 액유출 방지장치를 분석하였다. 이로부터 액 유출 방지장치 플로트 밸브의 적절한 비중값과 자연대류만으로 열전달을 수행하는 LPG 기화기에 적합한 온도조절 범위를 결정하였다.

Abstract – The metering systems in LPG vaporizers have been frequently exposed to severe conditions and resulted in many problems such as gauge malfunctioning and rupturing if the check-floaters fail to stop liquid outflow when the heat supply for the vaporization of LPG is interrupted. Therefore, to analysis the vaporizer system we carried out the vaporizer performance test and float bulb test by newly devised test equipments. Consequently, we determined the specific gravity of the float bulb and reasonable operating temperature ranges for the LPG and heating waters.

Key words : Vaporizer, Check-floater, Overflow

I. 서 론

90년대 중반부터 체적거래제가 시행되면서 계량기 파열사고가 발생하였으며, 그 주된 원인으로는 기화기 및 조정기의 제품불량, 재액화 그리고 기화기 출구부에서의 액 유출 현상이었다. 10년간 기화기 사고를 분석한 결과 총 26건의 사고가 발생하였고 그 중에서 제품불량으로 인한 사고가 21건이었으며, 특히 액유출 방지장치의 불량률이 62%인 것으로 확인되었다[1]. 국내 LPG 기화기는 전열온수식이 주종을 이루고 있고, 전원차단, 설정온도 이하에서 사용, 기화기 용량초과 사용 등의 원인으로 기화기내부에 용기나 저장탱크의 액체 LPG가 공급될 경우 출구노즐을 차단하는 액유출 방지

장치의 결함에 의해 출구노즐을 완전히 차단하지 못하면서 액상의 LPG가 조정기와 계량기로 유입, 기화되어 파열사고를 일으켰다.

따라서 본 연구에서는 현재 상용되고 있는 전열온수식 LPG용 기화기의 액유출 방지장치를 제조사별로 샘플 채취하여 성능을 테스트함으로써 액유출 방지장치의 성능을 비교·평가하고 개선방안을 제시하였으며, 액유출 발생조건을 기화기 성능평가를 통하여 분석하였다.

II. 실험 방법

2.1. 기화기 및 저장시설 내의 LPG 액유출 현상의 이해
전열온수식 LPG 기화기의 실험에 앞서 기화기를 중심으로 LPG 액유출 현상을 먼저 살펴보고자 한다. 최

†주저자:shoo@kgs.or.kr

초 기화기의 LPG 입·출구 밸브는 차단된 상태로 고정한다. 이때 기화기 수조내의 물은 히터의 가열에 의하여 60°C를 유지하고 있고 기화기 내부는 LPG가 없는 상태이다. 기화기의 LPG 입구밸브를 서서히 열면 저장시설내의 LPG 액체가 기화기 내부로 공급될 것이다. 그러나 기화기의 LPG 출구밸브가 닫힌 상태이며, 기화기 내부 수조의 물은 60°C이므로 LPG 기체는 기화기 내부로 유입되지만 LPG 액체는 상대적으로 차가운 저장시설과 기화기 입구배관 라인 상에 존재할 것이다. LPG를 사용하기 위하여 기화기의 LPG 출구밸브를 서서히 열고 수용가의 버너 등의 사용을 시작하면 LPG 액체가 기화기의 수조 내의 물과 간접대류에 의한 열교환에 의하여 열교환기 상에서 액체가 기체로 연속적으로 바뀌면서 수용가에 공급이 될 것이다. 만약 히터의 고장, 전원차단, 용량초과사용 등으로 인하여 다량의 LPG 액체가 기화기 내부로 유입되면, 기화통내의 액유출 방지장치가 작동하여 기화기 출구부 노즐을 차단하게 된다.

이때 수조내의 물이 설정온도 이하가 되었으므로, 기화기 내부의 안전공간인 기화통 내부와 저장시설은 열평형 상태이므로 LPG 액체는 이 공간 모두에 존재하게 된다. 전원이 다시 정상적으로 공급될 경우, 기화기 내부의 히터가 정상작동이 된다면 기화통 내부로 유입됐던 LPG 액체가 저장시설과의 온도·압력차(특히 온도차)에 의하여 저장시설로 자연역류 하게 된다. 이때 만약 기화기 입구밸브를 차단할 경우 기화기 출구노즐

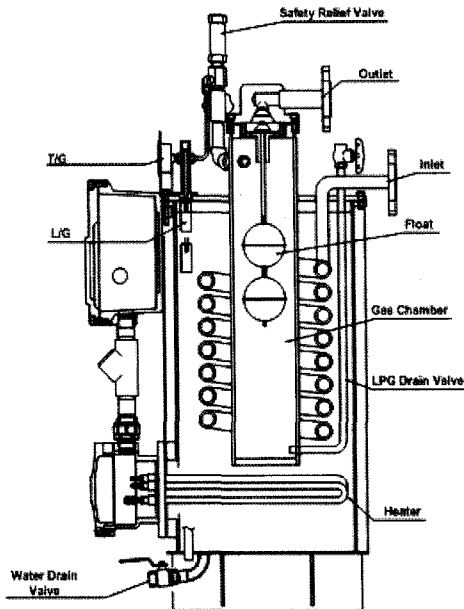


Fig. 1. Schematic diagram of LPG vaporizer.

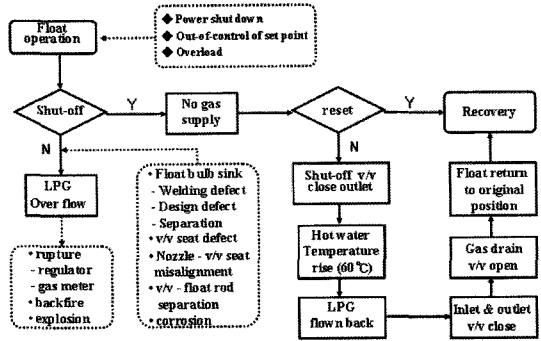


Fig. 2. Flow-charts for the test of float-type vaporizer.

은 액유출 방지장치에 의해 차단되어 있는 상태이므로 안전밸브가 정상작동치 못할 경우 기화기 내부는 액봉 현상이 발생하여 기화기의 파열 또는 폭발이 발생할 수 있다.

2.2. 액 유출 방지장치 비중측정 및 플로트 시험

가스사고연감에 의한 10년간(95~04) 기화기 사고의 대부분은 액유출 방지장치의 불량으로 판명되었다[1]. 따라서 현재 국내에서 제작·시판되고 있는 LPG 기화기를 대상으로 액유출 방지장치를 채취하여 실제 액유출방지 성능을 검토하고자 시험을 실시하였다. 실험샘플은 현재 국내 5개 제조사 플로트 및 사고 발생한 플로트 2종 등 총 7종을 사용하였다. 통상 액유출 방지장치는 기화기 내부로 유입되는 액체의 LP 가스가 기화기 출구로 유출되는 것을 방지하기 위하여 기화기 내부 기화통(gas-chamber)에 설치되는데, 액체 LP 가스의 부력을 이용하여 떠오르는 역할을 하는 플로트와 기화기 출구를 차단하는 차단밸브로 구성되어 있다.

실험장치는 Fig. 3과 같이 폴리카보네이트를 소재로

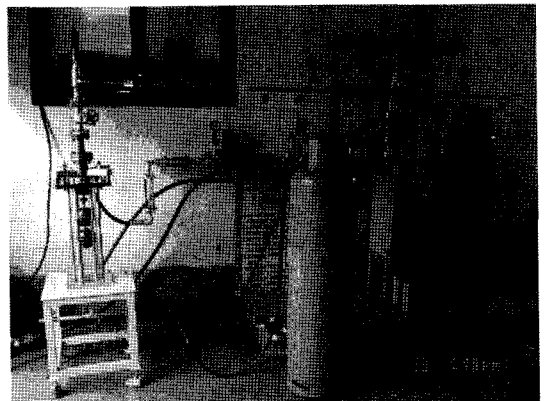


Fig. 3. Float-test equipment.

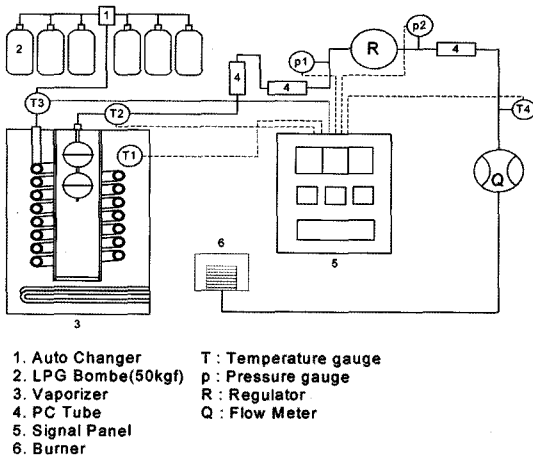


Fig. 4. An apparatus for vaporizer performance test.

한 관경 130 mm, 높이 700 mm의 투명 원통으로 제작하였고, 고압에 견디기 위하여 상하부에 o-링과 벽체에 고장력 봉을 장착하였다[2]. 실험방법은 투명 기화통 상부에 특수 제작한 플랜지를 샘플별로 교체하면서 유량에 따른 액유출 방지 성능을 테스트하였다. 또한 투명 기화통 후단부에 액유출 발생 현상을 관찰할 수 있는 투명배관, 온도계, 압력계를 설치하여 액유출 발생 시의 조건들을 확인하였다.

2.3. LPG 기화기 성능평가 시험

Fig. 4와 같이 50 kg 싸이폰 용기에 집합대와 액 절제기를 설치하여 LPG 기화기를 연결한 다음 기화기 출구배관에 투명배관, 조정기, 그리고 유량계를 장착하고 버너를 연결하였다. signal panel로 기화기 입/출구의 온도, 압력, 유량, 수조온도, 그리고 히터에 공급되는 전류와 전압을 측정하여 기화기 성능 실험을 수행하였다.

실험샘플은 국내 기화기 5종이며, 실험방법은 LPG 기화기 입구로 공급되는 유량을 50 kg/hr 용량 기화기의 최대 유량인 25 m³/hr로 공급시키면서 액 유출이 발생할 수 있는 임의의 조건 즉, 전원차단, 설정온도 이하에서 사용, 그리고 기화기 용량초과 사용의 조건을 부여하여 기화기 성능을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1. 액유출 방지장치 비중측정 및 플로트 시험 결과 분석

경질탄화수소의 비중을 보면 탄화수소류는 온도에 따라 비중이 변하게 된다. 즉 계절별로 대기의 온도가

Table 1. Check-floater specific gravity and test results.

Floater Company classification	sp.gr	Ambient temp. (°C)	Shut-off length (cm) with flow (3~5 m ³ /hr)	Shut-off length(cm) with flow (23~25 m ³ /hr)
A	0.73	26.6	21.5	overflow
B	0.42	26.0	17.5	overflow
C	0.47	26.6	-1.5	overflow
D	0.39	26.9	16.5	overflow
E	0.37	27.4	15.5	overflow
Accident C	0.43	26.0	2.5	overflow
Accident D	0.52	27.0	overflow	overflow

-20°C~35°C로 변할 때 프로판의 액비중은 0.56~0.47까지 변하게 된다[3]. Table 1과 같이 각 제조사별로 플로트의 비중이 0.37~0.73까지 다양하므로 하절기의 경우 프로판의 액비중이 낮아지게 되어 액 유출의 위험성이 겨울에 비하여 크게 된다. 액 유출 실험결과에 따르면 A사의 경우는 스프링의 힘을 이용하는데, 만약 스프링의 고장 시에는 액유출이 발생하게 된다. B사의 경우는 정상차단 되었고, C사는 액유출 방지장치의 플로트 비중이 투명 기화통 내부로 유입되는 액체 프로판 액비중 보다 커서, 액유출의 위험성이 매우 높으므로 플로트 재질을 가볍게 하거나 플로트 개수를 늘려야 된다. D사, E사의 액유출 방지장치는 정상적으로 작동하였고, 사고 발생한 D사 기화기의 액유출 방지장치 플로트는 프로판 액비중보다 커서 액유출이 발생하였다. 위의 실험은 LPG액체의 공급유량을 시간당 3~5 m³로 한 경우이고 50 kg/hr용 기화기의 최대유량인 25 m³/hr의 유량으로 액체 프로판을 공급 시에는 제조사별 액유출 방지장치가 모두 불완전하여 기화기 출구 배관에 설치한 투명배관에서 액유출 현상을 확인할 수 있었다. 액유출이 발생되면 단열팽창 현상에 의해 기화기 출구부 배관의 온도가 -26°C까지 하강하는 현상이 관찰되었고, 이때 수용가에서 LPG를 사용하지 않는다면 대기와의 열교환에 의해 계량기와 조정기를 과열시키는 힘으로 작용될 수 있음을 실험에 의해 확인할 수 있었다.

3.2. LPG 기화기 성능평가 시험 결과 분석

기화기 수조 내의 열매체인 물을 히터로 60°C 가열한 상태에서 전원을 차단시킨 다음 25 m³/hr의 유량으로 사용 시 정상 작동하는 기화기는 10분 경과 후 수조온도와 기화기 LPG 출구부 온도차가 15°C, 기화기

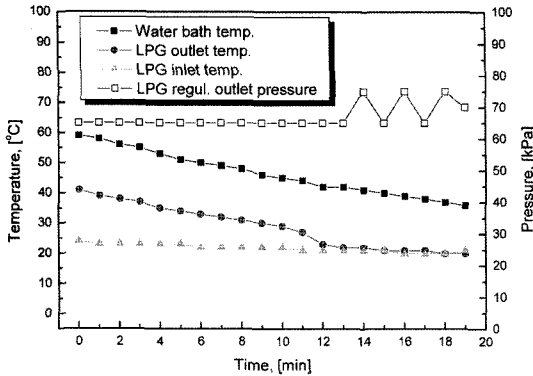


Fig. 5. Temperature and pressure variations after power shut down.

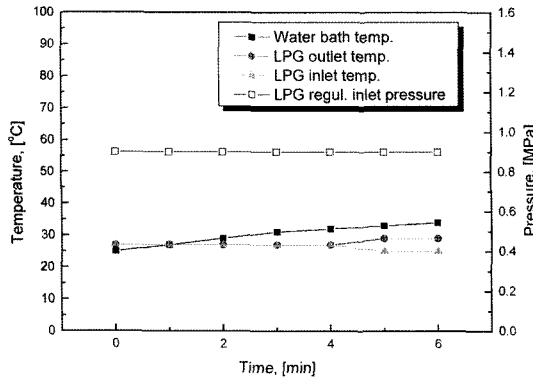


Fig. 6. Temperature and pressure variations below the set points.

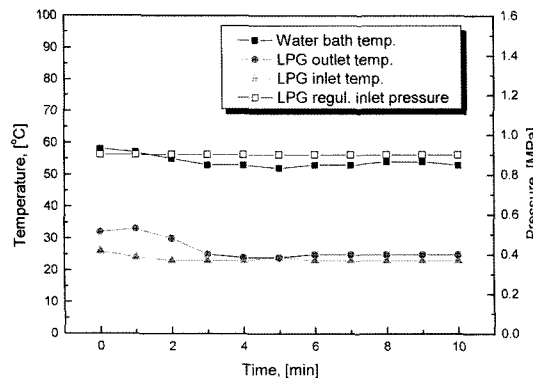


Fig. 7. Temperature and pressure variations for overload usage of LPG.

LPG 입/출구 온도차가 5°C일 때, 액유출 방지장치가 작동하여 LPG 출구부를 차단하였으나, 불량 기화기는 12분 경과 후 수조온도와 기화기 LPG 출구부 온도차가 18°C, LPG 입/출구 온도차가 2°C일 때 액유출 현상이

발생되었고, 17분 경과 후에는 조정기 후단에 액 유출 현상과 배관 외부에 결빙이 관찰되었다(Fig. 5 참조). 설정온도 이하에서 사용 시, 정상 작동 기화기는 액유출 방지장치가 출구부를 차단하였고, 불량 기화기는 수조온도와 기화기 LPG 출구부 온도차가 5~6°C, 기화기 LPG 입/출구 온도차가 4~5°C일 때, 액 유출이 발생하였다(Fig. 6 참조). 기화기 용량을 1.4배 초과하여 사용할 때, 정상 기화기는 액유출 방지장치가 정상 작동하였고, 불량 기화기는 5분경과 후 수조온도와 기화기 LPG 출구부 온도차가 18°C, LPG 입/출구 온도차가 1~2°C에서 액유출과 조정기 후단에 결빙이 관찰되었다(Fig. 7 참조).

IV. 결 론

실험에 의하면 가스의 재액화는 100% 프로판의 경우에도 기화기 출구 온도와 외기온도와의 차이가 10°C 이상이면 언제든지 발생할 수 있다. 더욱이 일정량의 부탄이 섞이게 된다면 재액화는 쉽게 일어날 것이다. 따라서 LPG의 조정관리가 가장 중요하고, 기화기 후단 설비에 헤더를 설치하여 배관상에 재액화 된 LP 가스를 포집하고 일정압력 이상이 되면 대기방출 시키는 방법이 필요하다. 특히 가스설비의 규모가 커짐에 따라, 소형저장탱크 설치가 많아지므로 바이패스라인의 재액화 현상을 주의해야 한다.

LPG 기화기의 정상 작동을 위한 액유출 방지장치의 플로트는 안전을 고려하여 비중이 최소 0.4 이하로 설계되어야 하고, 기화기 내부로 LPG 액체가 공급되므로 열교환기는 상변화에 따른 다량의 열량이 필요하게 되므로 열매체인 수조내의 물의 온도는 일반 열교환기와는 달리 자연대류에만 의존하므로 65°C~75°C 사이로 조정하는 것이 바람직하다. 실험 결과에 의해 액유출 발생 조건은 열매체의 온도가 50°C 이하, 기화기 입/출구 온도차가 2°C 이하일 때, 나타남을 알 수 있다. 재액화 및 액 유출 발생 사고는 주로 여름에 일어나는데, 이는 조정기 후단에 잔류하는 LPG액체가 기화하여 35°C, 12 kg/cm²a 이상이 되어 조정기와 계량기를 과열시키기 때문이다. 반면 겨울에는 0°C, 4.6 kg/cm²a 이하가 되므로 액유출이 발생 하여도 위험성이 줄어든다[4].

현재 국내에 사용되고 있는 LPG 기화기는 별도의 내용연수가 정의되어 있지 않아 사용경과가 오래될수록 다양한 가스사고의 위험성에 노출되어 있다[5]. 따라서 액유출 방지장치를 포함한 기화기의 분해점검 시기 및 구성품의 교체주기가 설정되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 가스안전공사 연구비 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 가스안전공사, “가스사고연감”, (1995-2004).
- [2] 최성준, “투명기화통을 이용한 LPG 기화기 액유출 방지장치 분석”, 가스안전지(2006).
- [3] Reid, R.C., J.M. Prausnitz, and B.E. Poling, “The Properties of Gases and Liquids”, 4th ed., McGraw-Hill, (1986).
- [4] Smith, J.M. and H.C. Vanness, “Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics”, 4th ed., McGraw-Hill, (1987).
- [5] 가스안전공사, “고압가스안전관리기준 통합고시”, (2005).