

## 온수전열식 기화기 후단 배관내 가스의 이상압력상승 방지방안에 관한 연구

박 교 식 · 박 회 준 · 김 지 윤  
한국가스안전공사 가스안전시험연구원  
(2001년 4월 17일 접수, 2001년 6월 28일 채택)

### Overpressure Prevention of Pipeline Attached to Outlet of LPG Vaporizer

Kyo-Shik Park · Heui-Joon Park and Ji-Yoon Kim  
Institute of Gas Safety Technology, Korea Gas Safety Corporation  
(Received 17 April 2001 ; Accepted 28 June 2001)

#### 요 약

LP가스 사용시설의 기화기 후단에서의 배관내 이상압력상승 원인을 파악하고 그 대책 방안을 제시하였다. 기화기 후단 배관내 가스의 온도·압력·조성에 따라 포화증기압 선도를 작성하고 이를 이용하여 배관내 가스의 재액화 조건을 검토하여서 그 적정관리방안을 제시하였다. 국내 제조사별 기화기 액유출방지기구의 성능시험을 실시한 결과 float ball 설계상의 문제점을 확인하였으며 그 개선방안을 제시하였다. 또한 기화기 후단 압력조정기의 압력조정기능 상실의 원인파 대책을 검토하였다.

**Abstract** - Overpressure in pipeline attached to outlet of LPG vaporizer has been studied to provide countermeasures to prevent it. The cause of liquefaction in pipeline was reviewed using vapor pressure curve with temperature, pressure, and composition to suggest method of controlling such parameters. Performance of vaporizer has been tested to detect defective design of float ball, and then improved scheme was suggested. Trouble of regulator attached to vaporizer was also studied to give countermeasures.

**Key words** : Overpressure, Liquefaction, Vaporizer, Regulator

#### 1. 서 론

프로판가스는 그 청정성과 편리성으로 인해 해마다 수요가 증가되어 지난 1999년 한 해 동안 국내에서 판매된 양은 3백62만5천 톤으로 1998년 대비 9%가 늘었다. 업계에 따르면 국내 LP가스수요는 소폭이지만 매년 증가할 것으로 전망하고 있으므로 이로 인한 가스사고를

철저히 분석하여 대응방안을 강구할 필요성이 있다.

1997년 체적거래제의 재도입 이후 동제도의 활성화 정책으로 LP가스사용업소나 신규 건물 등에 가스계량기를 설치하기 시작하면서 계량기파열이란 새로운 가스사고 유형이 생겼다. 이러한 유형의 사고는 기화기 및 조정기의 제품불량이거나 기화기 후단과 2단1차 조정기 사

이의 고압배관내 재액화된 가스의 급팽창 현상으로 인해 발생할 수 있을 것이다. 특히 LP가스의 기화장치는 집단공급시설·학교·음식점·공장 등 사회저변에 보급되어 있으므로 작은 사고에도 사회적인 체감위험이 증폭될 수 있으므로 이에 대한 관리가 시급하다.

본 연구에서는 현재 상용되고 있는 LP가스용 기화기 후단 배관을 중심으로 배관내 가스의 재액화 조건을 검토·분석하여 기본 자료를 제시함으로써 가스의 재액화 현상 발생을 예측할 수 있도록 하였고, 더불어 그 방지방안을 제시하였다. 또한 기화기 제조사별로 액유출방지기구를 샘플 채취하여 성능을 테스트함으로써 액유출방지기구의 성능을 비교·평가하고 개선방안을 제시하여 궁극적으로 가스폭발 및 화재사고의 예방에 기여하고자 한다.

관을 포함하는 것을 말하는데 크게 2가지 방법으로 분류할 수 있다. 기화통의 구조에 따라 단관식, 다관식, 코일식으로 분류하고, 사용하는 열매체에 따라 전열식, 온수식, 스팀식, 공온식으로 분류하며 대부분 이러한 열매체를 다음의 분류표와 같이 복합적으로 사용하고 있다.

- 전열식 ┌ 전열식 온수가열기구에 의한 것
- └ 전열식 고체전열재 가열기구에 의한 것
- 온수식 ┌ 기화통 내에서 온수를 만드는 것
- └ 다른 기구로부터 만들어진 온수를 기화통 내로 공급하는 것
- 스팀식 ┌ 스팀식 직접가열기구에 의한 것
- └ 스팀식 간접가열기구에 의한 것
- 공온식 ┌ 대기온을 열원으로 이용하는 것
- └ 로(爐)등의 폐열을 열원으로 이용하는 것

Table 1. Statistics of LPG evaporator installation(August 2000)

지역	서울	인천	대전	대구	광주	울산	부산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	계
소계	342	149	83	93	171	18	132	824	125	167	236	82	178	158	124	103	2,985

## 2. 기화기 시설 및 사고 개요

### 2.1. 국내 시설 현황

현재 LP가스의 기화장치는 학교·음식점·공장 등 약 3,000여 개소에 설치되어 있으며, 기화장치가 설치됨으로써 소비량이 많은 사용처에서 연속적으로 다량의 가스 공급이 가능하고 공급되는 가스의 조성을 일정하게 유지할 수 있으며, 한랭지에서도 부탄가스와 같이 비점이 높아 기화가 잘되지 않는 가스를 쉽게 사용할 수 있고, 자연기화에 의존하지 않으므로 상대적으로 저장량이 작아도 되기 때문에 설비장소를 작게 할 수 있는 장점이 있어 그 보급추세는 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 다음의 표 1에서는 2000년 9월 현재 지역별 LP가스용 기화장치 설치·사용 개소를 나타내었다.

### 2.2. 기화장치

기화장치란 LP가스 등 액체상태의 가스를 증기·온수·공기 등의 열매체를 이용하여 강제로 기화시켜 가스를 발생시키는 설비로서 그 구성범위는 기화통 및 이것에 부속된 제어부(액유출방지장치 및 각종 제어장치)와 연결배

아래 Fig. 1은 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 LP가스용 기화기로 온수전열식 기화기의 일반 구조를 나타내었다.

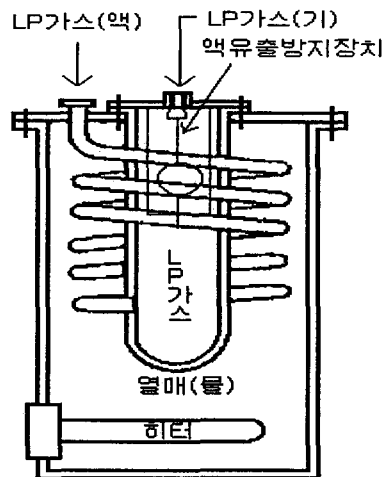


Fig. 1. Schematic diagram of evaporator heated by double boiler.

Table 2. Summary of gas accident by rupturing gas meter and accessory attached to outlet of LPG evaporator.

No.	사용처	형태	등급	원인	세부 원인	사고 개요
1	학교	누설	4급	사용자 취급부주의	정전으로 기화기 전원 차단	가스계량기의 연결부분에서 가스 누출
2		화재	3급	기타	미상	가스계량기 파열
3		누설	3급	제품불량	기화기 작동불량	가스계량기에서 가스 누출
4		누설	3급	제품불량	액유출방지장치 불량	가스계량기에서 가스 누출
5		누설	3급	제품불량	기화장치 온도제어 작동 불량	계량기로 유입된 액상의 가스 누출
6		파열	3급	제품불량	액유출방지장치 불량	액팽창에 의해 계량기 파열
7		파열	3급	제품불량	액유출방지장치 불량	액팽창에 의해 계량기 파열
8		화재	3급	제품불량	준저압조정기 후단 이상과압	가스누출 · 화재
9	요식업소	파열	3급	제품불량	액유출방지장치 불량	액팽창에 의해 계량기 파열
11		파열	3급	기타	미상	가스계량기 파열
12		파열	3급	제품불량	기화장치가 작동불량	액팽창에 의해 계량기 파열
13		파열	3급	기타	정전	액팽창에 의해 계량기 파열
14		화재	3급	제품불량	조정기 불량	가스누출 · 화재
15		파열	3급	시설미비	조정기 압력조정기능 상실	가스계량기 파손
16		파열	4급	제품불량	조정기 압력조정기능 상실	가스계량기 파손
17		파열	3급	기타	미상	가스계량기 파손
18		폭발	3급	공급자 취급부주의	조정기 압력조정기능 상실	직압으로 인한 호스이탈 및 가스폭발
19		폭발	3급	공급자 취급부주의	조정기 압력조정기능 상실	직압으로 인한 호스이탈 및 가스폭발
20	집단공급	기타	4급	사용자 취급부주의	기화기 전원공급 차단	액상의 가스가 소비자시설에 유입
21	보호시설	파열	3급	제품불량	액유출방지장치 불량	액팽창에 의해 계량기 파열
22	기타	파열	4급	제품불량	조정기 압력조정기능 상실	가스계량기 파손
23		폭발	3급	제품불량	조정기 압력조정기능 상실	직압으로 인한 호스이탈 및 가스폭발

2.3. 사고개요 및 문제점 검토

표 2에서 보듯이 계량기파열사고는 '97년 이후 3년간 총 23건으로 원인별로 분석하면 기화기 관련 사고가 39.1%, 조정기 관련 사고가 26.1%를 차지하고 있으며, 사용처별로 분석하면 요식업소에서 47.8%, 학교에서 26.1%를 차지하고 있다.

체적거래제 도입 이후 기화기 후단 배관내 재액화된 가스의 급팽창 또는 기화기 액유출방지기구 고장 등이 발생하면 가스계량기 파열사고로 곧바로 이어질 것이다. 즉, 액상의 가스가 조정기를 거치며 기화되면 이로 인한 압력상승으로 조정기가 파열되며 기밀이 누설되거나 압력조정기능을 상실케 할 것이다. 설사 조정기의 손실없이 그대로 액상의 가스가 통과되더라도 배관로 중에 기화로 인한 압력상승으로 결국에는 배관보다 상대적으로 약한 가스계량기에서 파열 또는 가스누설이 된다. 체적거래제 시행 이전 LP가스 사용시설에 가스계량기가 거의 없거나, 현재 체적거래시설을 갖추지 못한 시설에서는 이럴 경우 직압에 의하여 연소기 연결호스가 이탈하게 되며 이로 인한 가스 누설화재 등의 사고로까지 이어질 수 있다.

3. 기화기 후단 배관내 가스의 재액화 현상의 이해

배관내 가스는 일정한 온도와 압력에 도달하면 액화되며 액화 온도와 압력은 가스의 조성 따라 변화한다.

Antonie 식을 이용하여 프로판과 부탄의 증기압을 온도에 따라 나타내면 다음 실험식 1, 2와 같다[1].

$$P_p = e^{9.16205 + \frac{-1896.04}{\theta + 249.026}} \quad (1)$$

$$P_b = e^{9.07356 + \frac{-2169.97}{\theta + 239.659}} \quad (2)$$

여기서,  $\theta$  : 온도(°C)  $P_p$ : 프로판의 증기압  $P_b$ : 부탄의 증기압이다.

따라서 혼합가스의 몰(mol) 조성에 따른 LP 가스의 증기압은 다음과 같다.

$$P = xP_p + (1-x)P_b \quad (3)$$

여기서,  $x$ 는 프로판의 몰분율이다.

(1), (2), (3)식을 이용하여 LP가스의 주성분인 부탄과 프로판 혼합가스의 증기압을 몰 조성별로 온도에 따라 그래프로 나타내면 Fig. 2와 같다.

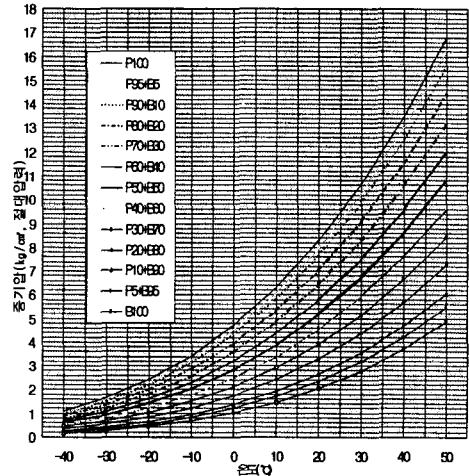


Fig. 2. Vapor pressure of mixture containing propane and butane with temperature.

3.1. 기화기 후단내 가스의 재액화 현상

Fig. 3에서 재액화가 일어나는 부위는 주로 기화기 후단(고압부)이며 통상 약 6kg/cm<sup>2</sup>로 유지되고 있다. 90% 프로판 조성을 가진 가스를 사용한다면 Fig. 2에서 액화온도가 약 14°C이므로 사용처의 가스차단으로 압력조정기가 폐쇄압력이 걸려 가스 유로가 막힌 상태에서 의

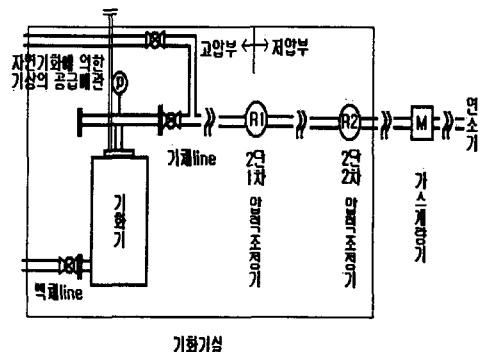


Fig. 3. Schematic diagram of LPG

기의 온도가 14℃이하로 저하된 경우 고압부 배관내 가스는 재액화현상이 일어나기 시작할 것이다[2].

### 3.2. 액유출방지기구 성능시험

가스사고연감에 의하면 '97~'99 사이에 발생한 계량기 파열사고의 39.1%가 기화기 고장으로 인한 사고로 기화기 고장의 대부분은 액유출방지기구의 불량으로 판명되었다. 따라서 현재 각 제조사별로 제작·시판되고 있는 LPG용 기화기를 대상으로 액유출방지기구를 채취하여 실제 액유출방지 성능을 검토하고자 시험을 실시하였다.

현재 제작·시판중인 4개 제조사의 기화기 중 가장 흔히 쓰이는 LPG용 전열온수식 기화기의 내부 부품인 액유출방지기구 각 2점을 시료로 사용하였다.

대기압 하에서 100% 프로판의 경우 -10℃ ~ 60℃의 액비중은 약 0.55~0.43이며, D社 제품의 경우 액유출방지기구의 비중이 약 0.51로 나타나는바 프로판의 액비중이 0.51이 되는 약 15℃ 이상에서는 정상적인 기능을 할 수 없을 것으로 판단되므로 float ball의 부피를 증가시키거나, 개수를 늘려 전체 float의 비중을 프로판의 액비중보다 낮추어야 할 것이다.

Table 3. 액유출방지기구 성능시험 결과

구분	샘플 1		샘플 2		비 고
	1회	2회	1회	2회	
A社	○	○	○	○	※ LP액 차단(○) LP액 차단(X) ※ 기화통 액입구압 10kgf/cm <sup>2</sup>
B社	○	○	○	○	
C社	○	○	○	○	
D社	X	X	X	X	

A社 경우 기화기 용량 300kg/h이하는 float ball 3개 사용하며, 300kg/h초과시 float ball 4개 사용하고 있으며, B사의 경우는 300kg/h이하는 float ball 2개, 300kg/h초과시 float ball 3개 사용하고 있었다. 또한 C社の 경우 기화기의 용량 구분없이 float ball 1개를 사용하며, D社の 경우는 용량에 따라 기화통의 개수변화만 있을 뿐 float ball은 1개 사용하고 있었다.

Table 4. 제조사별 액유출방지기구 비중 비교

구분	무게 (g)	부피 (cm <sup>3</sup> )	비중	비 고(사진2-3참조)
A社	266.92	965	0.28	1개 기화통 당float ball 3개 사용
B社	662.05	1,574	0.42	1개 기화통 당float ball 2개 사용
C社	382.22	940	0.41	1개 기화통 당float ball 1개 사용
D社	219.05	431	0.51	1개 기화통 당float ball 1개 사용

## 4. 재액화 방지방안 연구

가스의 재액화 현상을 고찰함에 있어 가장 중요한 인자는 온도, 압력, 조성으로서 이 3가지 인자가 LP가스의 기체-액체 상변화를 가져오는 것이다. 결국 기화기후단 배관내 가스의 재액화 방지 방안은 이 3가지 인자(조성, 압력, 온도)의 적정관리가 된다. 따라서, 본 연구에서 밝혀진 연구내용을 바탕으로 위의 3가지 인자에 대한 관리방안을 제시하고 이외에도 기화기의 액유출방지기구 및 압력조정기 문제도 언급한다.

### 4.1. LP가스의 온도

기화기 작동중의 LP가스저장탱크내의 가스 조성 및 증기압과 압력조정기 전단 고압부 배관내의 가스조성 및 증기압은 기본적으로 동일하게 형성된다. 이로 인하여 고압부 배관내의 온도가 저장탱크내의 온도보다 낮게 형성되면 고압부 배관내 가스가 재액화될 수 있다. 그러므로 고압부 배관에 한해 설비시 보온조치를 하면 배관내 가스의 재액화를 방지할 수 있다. 기화기 후단 고압부 배관의 경우, 길이가 대부분 1~2m 내외로 짧게 설비되어있고, 정상작동 되고있는 기화기로부터 고압부 배관으로 열전도가 일어나 미열이 유지되고 있으므로 고압부 배관의 보온조치는 가스의 재액화 현상을 방지하기 위해 간단하고도 효율적인 조치이다 [3]. 우리나라의 상용 LPG 제품은 프로판 95% 이상의 조성이므로 정상적으로 압력조정기를 통과한 가스라면 Fig. 2에 따라 저압부 배관에서는 -25℃이상에서는 액화현상이 일어나지 않는다.

**4.2. LP가스의 압력**

배관내 가스의 조성이 일정할 경우 압력이 낮을수록 기체-액체 상변화 온도는 낮게 형성된다. 그러므로 가능한 한 압력조정기를 기화기 가스출구에서 가깝게 설치하여 고압부 배관 구간이 짧도록 설비함으로써 전체적인 배관내의 가스압력이 낮게 유지되도록 하여야 한다.

순수한 프로판가스일 경우 정상적으로 압력조정기를 통과한 가스라면 Fig. 2에 따라 조정압력 0.57 ~ 0.83kg/cm<sup>2</sup>인 2단 감압식 1차용 조정기의 경우 -27℃ 이하로 온도가 떨어지야만 재액화된다. 때문에 일반적으로 기화기실 내에 압력조정기가 설치되어있고, 기상청에서 발표한 '99년도 우리나라 최저기온(-19.3℃)을 감안한다면 순수 프로판가스의 경우 정상작동되는 압력조정기 후단 배관내에서 가스의 재액화 현상이 발생되기는 어렵다[2].

**4.3. LP가스의 조성**

프로판의 조성이 높은 가스를 선정·공급하여 포화증기압을 높임으로써 배관내 가스의 재액화를 방지할 수 있다. Fig. 2에서와 같이 기화기 후단 배관내 가스압력이 일정할 경우, 프로판-부탄 혼합가스 중의 부탄 함유량이 클수록 포화증기압이 낮게되어 상대적으로 높은 온도에서도 가스의 재액화 현상이 나타날 수 있다. 그러므로 가스의 조성관리가 가능한 시설의 경우 온도변화가 심한 환절기 등에 야간의 기온저하에 의한 가스의 재액화 현상이 발생치 않도록 적정한 농도관리가 필요하다. 4.1에서 밝혔듯이 우리나라의 상용 LPG는 조성이 정해져 있으므로 이를 변동할 여지는 거의 없다.

**4.4. 기화기 액유출방지기구**

기화기의 액유출방지기구 또는 압력조정기 등에 이상이 있는 경우, 기화기 후단 배관내 가스의 재액화 현상으로 오인될 수 있는 가스계량기 파손 등의 사고가 일어날 수 있으며 세부적으로는 ① 정전시, ② 기화기의 가동을 일정시간 정지 후 재가동시, ③ 가스계량기 후단 밸브의 순간 폐쇄시 등에 일어날 수 있다. 그러므로 본 연구에서 밝혀진 연구내용을 바탕으로 기화기 액유출방지기구 품질개선방안 및 압력조정기의 관리방안을 제시하면 다음과 같다[4].

현재 국내에서 연료용 LP가스 기화기의 사용주종을 이루는 전열온수식 기화기의 시험결

과, 일부 제조사 제품에서 액유출방지기구의 성능이 불량으로 판명되었다. 시험결과 불량원인은 float부 전체 비중이 높아 LP액상에서 부력이 작용치 못한 것으로 밝혀졌다. 이는 float부의 float ball의 크기를 확대하거나, 개수를 늘려 float부 전체비중을 LP액의 비중보다 낮게 함으로써 개선할 수 있다. Float ball의 재질, 크기 및 개수에 대한 규격은 주어지지 않고 액유출 방지기구의 설치에 대한 고시만 있어 제작사에 따라 매우 다양하다.

또한 대부분의 기화기 제조시설에서 기화기 액유출방지기구 성능검사가 검사시 발생하는 시험가스의 처리시설 미비를 이유로 LP액이 사용되지 않고 물이 사용됨으로서 float부의 비중이 중요한 요소가 되는 액유출방지기구의 성능확인에 신뢰성을 잃고 있다. 그러므로 특정설비(기화장치) 신규검사시 실시하는 액유출방지기구 성능검사는 반드시 LP액을 사용하여 실시하여야 한다[4].

**4.5. 압력조정기**

가스사용자가 가스계량기 후단 밸브를 순간적으로 차단할 경우 압력조정기의 순간폐쇄압력의 과다상승은 가스계량기의 파열 등을 초래할 수 있으므로 제조자의 꾸준한 품질향상과 철저한 검사로서 제품의 불량율을 대폭 낮추어야 할 것이다. 더불어 배관 설계는 재액화된 가스 또는 응축수 등이 압력조정기 후단으로 흘러 들어가지 않도록 압력조정기의 위치를 고압부 배관의 위치보다 높게 설치하거나, 수직상방향으로 설치하고 드레인 할 수 있는 구조를 갖도록 고려되어야 한다[4].

**Table 5. Pneumatic rupture test of gas meter.**

제조사	사용압력 (50kPa)	용량 (m <sup>3</sup> /h)	파열압력 (kg/cm <sup>2</sup> )	비고
A社	준저압	10	1.59	이음부분 누출
B社	준저압	6	4.83	물체 및 부품파손
Schlumberger	준저압	10	2.29	뒤틀게 분리
Magnol	준저압	16	2.14	뒤틀게 분리 및 부품파손

## 5. 결 론

LP가스 사용시설의 기화기 후단에서의 배관 내 이상압력상승 원인을 파악하고 그 대책을 제시하였다. 기화기 후단 배관내 가스는 온도·압력·조성에 따라 그 포화증기압이 변하며 액화되기도 한다. 이에 따라 포화증기압 선도를 작성하여 배관내 가스의 재액화 조건을 검토하여서 그 적정관리방안을 제시하였다. 우리나라의 상용 LPG 제품은 프로판 조성이 95% 이상이므로 정상적으로 압력조정기를 통과한 가스라면 저압부 배관에서는  $-25^{\circ}\text{C}$  이상에서는 액화현상이 일어나지 않는다. 기상청의 자료에 따르면 남한의 일최저기온은 양평  $-32.6^{\circ}\text{C}$ 를 비롯하여 충북, 강원, 경기북부지역 등이  $-25^{\circ}\text{C}$  이하일 경우가 연 평균 10일 정도 되나 일평균 최저기온은 양평이  $-23.3^{\circ}\text{C}$ 로서 최저이므로[5] LPG사용에는 무난하다 할 수 있다.

국내 제조사별 기화기 액유출방지기구의 성능시험을 실시한 결과 float ball 설계상의 문제점을 확인하였으며 그 개선방안을 제시하였다. 현재 국내에서 연료용 LP가스 기화기의 사용주종을 이루는 전열온수식 기화기의 시험결과, 일부 제조사 제품에서 액유출방지기구의 성능이 불량으로 판명되었다. 시험결과 불량원인은 float부 전체 비중이 높아 LP액상에서 부력이 작용치 못한 것으로 밝혀졌다. 이는 float부의 float ball의 크기를 확대하거나, 개수를 늘려 float부 전체비중을 LP액의 비중보다 낮게 함으로써 개선할 수 있다. Float ball의 재질, 크기 및 개수에 대한 규격은 주어지지 않고 액누출 방지기구의 설치에 대한 고시만 있어 제작사에 따라 매우 다양하다. 또한 대부분의 기화기 제조시설에서 기화기 액유출방지기구 성능검사가 검사시 발생하는 시험가스의 처

리시설 미비를 이유로 LP액이 사용되지 않고 물이 사용됨으로서 float부의 비중이 중요한 요소가 되는 액유출방지기구의 성능확인에 신뢰성을 잃고 있다. 그러므로 특정설비(기화장치) 신규검사시 실시하는 액유출방지기구 성능검사는 반드시 LP액을 사용하여 실시하여야 한다[4].

또한 기화기 후단 압력조정기의 압력조정기능 상실의 원인과 대책을 검토하였다. 가스사용자가 가스계량기 후단 밸브를 순간적으로 차단할 경우 압력조정기의 순간폐쇄압력의 과다상승은 가스계량기의 파열 등을 초래할 수 있으므로 제조사의 꾸준한 품질향상과 철저한 검사로서 제품의 불량율을 대폭 낮추어야 할 것이다. 더불어 배관 설계는 재액화된 가스 또는 응축수 등이 압력조정기 후단으로 흘러 들어가지 않도록 압력조정기의 위치를 고압부 배관의 위치보다 높게 설치하거나, 수직 상방향으로 설치하고 드레인 할 수 있는 구조를 갖도록 고려되어야 한다.

## 참 고 문 헌

1. Reid, R. C., Prausnitz, J. M., and Poling, B. E. ; "The Properties of Gases and Liquids", 4th ed., McGraw-Hill, pp29-73, 1986
2. 한국가스안전공사, "LP가스 자연기화량의 산출방법에 관한 연구", pp3-32, 1998
3. 일본 고압가스보안협회 액화석유가스연구소, "액화석유가스연구소 연구성과집" pp490, 1995
4. 가스안전공사, "가스계량기 파손사고 관련 연구수행결과 보고서", 1998
5. <http://www.kma.co.kr>, "기후극자료", 2001