

LPG 압력 조정기용 다이어프램의 특성에 관한 연구

김 홍*, 정기창*, 조기성*, 이영철**
호서대학교 안전공학과*, 한국가스공사**

1. 서론

압력조정기란 저장탱크와 용기로부터 연소기에 공급되는 가스압력을 연소기의 압력에 맞게 조절하여 정상연소가 되도록 돕는 장치로써, 용기 및 저장탱크 내의 압력변화에 대응하여 공급압력을 일정하게 유지하고, 가스의 조성, 온도, 소비량, 소비시간, 잔류가스량 등의 변화에 따라 감압작용과 정압작용을 동시에 하는 장치이다. LPG용 압력조정기는 일반가정용이나 업소에서 주로 사용하는 조정기로써 용량 4kg/h부터 집단공급용인 수백 키로까지의 제품이 있으며 일반적으로 감압작용, 정압작용, 폐쇄작용을 한다.

조정기의 압력 조절에 있어 가장 중요한 부분은 고무재질인 다이어프램과 조정기의 고압측에서 감압작용을 하는 밸브로써 이들 고무 부품은 장기간 사용하면 팽윤이나 파열 및 수분 함유로 인한 부식등과 같은 변형을 일으켜 조정기의 압력조정기능 불능이라는 위험을 초래 하게 된다. 특히 다이어프램이 조정기 내부에서 결함을 일으키면 조정기에 직압이 걸리게 되며 밸브와 호스의 연결부위에서 가스가 누설되거나, 호스가 가스 레인지에서 이탈되는 수도 있고, 가스 레인지 점화시 가스 압력이 너무 높아 불꽃 점화가 이루어지지 않아 가스가 누설되는 경우가 있으며, 누설된 가스로 인해서 화재 및 폭발사고가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 조정기의 불량률 중 가장 큰 비중을 미치는 다이어프램에 대해서 각종 각종 성능 및 특성 변화 시험을 통해서 조정기 내부의 고무부품에 대한 안전성을 확보하고자 한다.

2. LPG용 조정기의 위험성 분석

2.1 조정기의 사고사례분석

최근 LPG용 조정기의 주된 사고원인은 제품불량 자체로부터 기인한 것으로써, 전체 사고 발생건수 87건에 대해 47건으로 54.0%를 차지하고 있고, 취급부주의가

32건으로 36.8%를 나타내어, 사고 발생 전체 건수의 50% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이것은 조정기 제조에 있어서 문제가 있다는 것을 암시한다.

표 1. LPG용 조정기의 사고원인별 분포

사고원인	사고건수	구성비 (%)
제품불량	47	54.0 %
취급부주의	32	36.8 %
시설미비	8	9.2 %
계	87	100 %

또한, 사고 형태별로 보면 다이어프램등의 고무제품의 불량으로 인한 누설사고가 전체 48.2%를 차지하고, 3급사고 이상의 중대 재해를 야기할 수 있는 화재·폭발 사고는 각 각 20.7%, 27.6%로 나타났다.

표 2. LPG용 조정기의 사고 형태별 분포

사고형태	사고건수	구성비 (%)
폭발	24	27.6 %
화재	18	20.7 %
누설	42	48.2 %
파열	2	2.3 %
기타	1	1.2 %
계	87	100 %

2.2 LPG 용기의 잔류물질과 조정기 고무부품의 안전성

LP가스의 사용중에 용기 및 조정기의 내부에 잔류물질이 부착되고 체류하게 되며, 이로 인한 조정기의 다이어프램 및 밸브고무의 팽윤, 연화, 변형의 원인이 된다. 잔류물질은 LP가스중의 고비점 물질이 주성분이며, 다량의 DBP 성분과 3% 이상의 유황화합물을 포함하고 있다. 잔류물질에 의한 문제점은 표 3에 나타난 것과 같이 조정기의 핵심부품이 다이어프램과 밸브고무에 치명적인 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다.

표 3. 잔류물질에 의한 조정기의 문제점

발생부위	문제점	현상
다이아프램	팽윤, 연화, 변형	<ul style="list-style-type: none"> · 용량부족 · 다이아프램 파손 · 가스의 부취제가 배어있어 악취발생
밸브고무	팽윤, 연화, 변형	<ul style="list-style-type: none"> · 노즐 앞부분의 밸브고무가 패이는 현상으로 압력조정불능

2.3 실험

조정기 내부의 다이아프램은 장시간 사용시에 프로판 가스나 기타 화학물질로 인해 조정기 성능과 안전에 직접적인 영향을 받는다. 다이아프램에 변형, 과열등의 결함이 발생하면 조정기는 성능이 떨어지거나 사고의 원인이 될 수 있다. 다이아프램의 물성을 파악하기 위해 시중에서 유통되고 있는 4개사의 제품에 대해 물성실험을 실시하였다.

2.3.1 인장강도 및 경도 시험

KS 규격에 맞추어 시험해 본 결과 표 4와 같은 데이터를 얻었다. 국내의 다이아프램 고무들은 대체로 인장강도는 높은 반면 신장율은 떨어지는 것으로 나타났다. 국산 제품과 일본제 다이아프램과의 비교에서는 차이를 나타냈다.

표 4. 인장강도 및 경도시험결과

	인 장 강 도 (kgf/mm ²)	신 장 율 (%)	경 도
W사	0.92	321	57
B사	1.37	403	52
I사	1.53	515	60
H사	1.37	328	64
일 본 제	2.10	720	57

2.3.2 공기 가열 노화 시험

시험은 시료를 70℃ 온도에 168시간 조건으로 노출시켜 시험하였다. 시험 후 시료의 상태는 전체적으로 인장강도가 떨어졌으며 신장율은 증가하는 양상을 보였다. 그 결과는 표 5에 나타나 있다.

표 5. 공기 가열 노화 시험 결과

	인 장 강 도 (kgf/mm ²)	신 장 율 (%)	경 도
W사	1.056	388	55
B사	1.307	546	55
I사	1.377	508	59
H사	1.530	396	66

2.3.3 침지시험

침지시험에서는 화학물질에 대한 시료의 팽창율을 측정하기 위해 시험하였으며, 이소옥탄에 40℃ 온도로 72시간동안 침지 시킨 후 변화상태를 측정하였다. 결과는 표 6에 나타나 있다.

표 6. 침지시험 결과

	인 장 강 도 (kgf/mm ²)	신 장 율 (%)	체적변화 (%)
W사	1.227	455	0.855
B사	1.213	600	0.313
I사	1.462	575	0.482
H사	1.419	415	0.555

2.3.4 오존 균열시험

대기중의 오존에 의한 고무의 열화를 추측하기 위해 실시하며 내오존성을 조사하였다. 30℃ 온도에 20% 신장율을 주어 오존농도 30±5 pphm에서 72시간 동안 균열여부를 조사 하였다 조사 결과 시험대상 4개사의 제품중 1개사의 제품이 단락되는 것으로 나타났다.

3. 결론

최근 LP가스사고 발생 중 조정기의 결함으로 인한 사고가 점차 증가하고 있다. 조정기 사고의 유형은 화재폭발사고가 대부분이며, 조정기사고의 주원인은 제품 불량으로 나타나고 있다. 이러한 조정기의 제품불량은 주로 부품 중 다이어프램과 밸브고무의 결함으로 발생하는 것으로 판명되었다.

특히 다이어프램은 가스누설 화재,폭발의 직접적인 원인이 되는 것으로 밝혀졌으며 조사결과 다이어프램의 결함은 주로 팽윤, 연화, 변형 등의 경년변화에 의한 것 나타났다. 경년변화에 따른 조정기사고의 안전성과 신뢰도를 높여 LP가스사고의 발생율을 줄이고자 다이어프램의 고무에 대한 물성과 성능특성을 조사한 결과 다이어프램과 밸브고무의 이상을 가져오는 직접적인 원인은 LPG 가스의 잔류 물질 때문인 것으로 나타났다. 고무의 물성 시험에서는 각 회사의 제품마다 서로 다른 특성을 보였는데 이는 제조회사들의 제조방법 및 원료배합의 차이 때문인 것으로 판단되며, 고무의 물성에서 인장강도와 인장율, 경도등의 차이는 제조회사에서 고무부품 생산시 고무에 첨가되는 디부틸 푸탈산과 같은 가소제의 혼합비등에 좌우되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. BS 903 Part A 19 가황고무의 시험방법 (가열 노화 시험)
2. BS 903 Part A 23 가황고무의 시험방법 (경도 시험)
3. BS 903 Part A 43 가황고무의 시험방법 (오존열화 저항성 시험)
4. 한국가스안전공사, 가스사고 연감, 1977-1996
5. KS B 6213 압력 가스용 압력조정기
6. KS M 6518 가황고무 물리시험방법
7. 일본가스보안협회, 액화석유가스 연구소 연구성과집, 설립 20주년기념
8. ASTM D 1838 "Test Method for Copper Strip Corrosion by Liquefied Petroleum (LP) Gases"
9. LPG용 압력 조정기의 폭발 위험성 평가 및 표준화 연구(I), 국립기술품질원, 1997