

액화석유가스 압력조정기의 결함이 사고에 미치는 실험적 연구

한국전기안전공사 이 장 우

한국전기안전공사 박 찬 옥

한국전기안전공사 여 창 훈

한국전기안전공사 박 찬 일

요 약

본 연구는 가스시설에서 가장 중요한 기능을 하는 압력조정기가 가스공급압력을 연소기에 적합하게 조정압력을 높이거나 낮추어 일정하게 공급하여 연소가 정상적으로 이루어지도록 기능을 하고 있다. 압력조정기는 가장 보편화되어 있는 가정용 압력조정기인 1단감압식저압조정기를 비롯하여 자동절체식일체형저압조정기 등 여러 가지 형태가 사용되어지고 있다. LP가스압력조정기와 관련된 사고는 입구축니플 풀림, 내부부식, 밸브시트손상, 다이어프램손상 등 다양한 결함에 의해서 발생하고 있다. 압력조정기의 사고는 10년도안 전체사고의 5%를 차지하며, 주로 하절기인 6월부터 9월까지 사고가 많이 발생하였다. 따라서 일반가정에서 가장 많이 사용하고 있는 1단감압식저압조정기를 대상으로 연구하였다.

1. 서 론

LP가스의 사고에서 용기보관실에서 화재가 발생하거나, 용기를 교체하는 과정에서 폭발·화재가 발생하고 있다. 이와 관련하여 일부는 고의적인 이탈이나 방화에 의한 것으로 판단하고 있으나, 압력조정기에 대하여는 조사가 이루어지지 않는 경향이 있다. 그러나 압력조정기가 노후 되어 조정능력을 상실하게 되면 압력조정이 불가능하게 되어 조정압력보다 높거나 낮게 공급되므로서 불안전연소, 리프팅, 역화 및 호스가 이탈되는 등의 사고로 발생하는 경우가 있다. 이번 연구에서는 가정용 압력조정기의 기능과 사고원인 규명사례를 발표하고자 한다.

2 사용실태 및 사고건수

2.1 사용실태

압력조정기가 설치되는 곳은 용기설치장소가 대부분이므로 옥외에 주로 설치되고 햇빛과 빗물 등 환경적인 영향을 많이 받고 있다. 사고유형을 살펴보면 다음과 같다.

- 이물질 여과 금속망 손상에 의한 이물질 유입으로 밸브 시트 손상
- 입구축니플 나사부가 몸체로부터 풀려 이완
- 다이어프램 손상 및 다이어프램지시판 등 부식 변형
- 유분 침입과 밸브시트 노화·균열
- 캡 이탈에 의한 수분 유입과 부식
- 여름 장마철 침수지역에서 교체하지 않고 사용
- 자동절체기의 경우 레바 위치 부적정과 예비용기 미체결

2.2 사고건수

최근 10년간의 LP가스사고 1504건 중 압력조정기에 의한 사고건수가 73건으로 약 49%를 [표 1]과 같이 나타나고 있다.

[표 1] 최근 10년간 LP가스사고와 압력조정기 사고건수 비교

구 분	계	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
LPG사고	1,504	246	299	237	185	123	112	92	84	92	35
압력조정기사고	73	5	24	14	5	11	4	1	2	5	2
비율(%)	4.9	2.0	8.0	5.9	2.7	8.9	3.6	1.1	2.4	5.4	5.7

2.3 월별 사고건수

압력조정기 사고 건수에 대한 월별 분포도를 비교한 결과 용기내부압력이 높은 하절기에 가장 많아 [표 2]와 같이 나타나고 있다.

[표 2] 최근 10년간 월별 가스사고 분포

구분	계	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
건수	73	1	2	6	2	-	14	20	9	9	4	3	3

3 실험

3.1 개요

3.1.1 압력조정기의 종류

가정용 시설에 설치되는 1단감압식저압조정기로서 입구압력을 0.07MPa, 0.1MPa, 1.56MPa단계로 조정하여 공급하여 출구압력의 변화량을 측정하게 된다. 또한 연소기를 사용하지 않을 때를 대비하여 폐쇄압력을 측정하게 된다. 압력조정기의 입구압력에 따른 입구압력 및 조정압력은 다음 표와 같다.

[표 3] 압력조정기의 종류

종류	입구압력	조정압력
1단감압식저압조정기	0.07MPa ~ 1.56MPa	2.3kPa
1단감압식중저압조정기	0.1MPa ~ 1.56MPa	5kPa ~ 30kPa
2단감압식1차용조정기	0.1MPa ~ 1.56MPa	0.057MPa ~ 0.83MPa
2단감압식2차용조정기	0.01MPa ~ 0.1MPa 0.025MPa ~ 0.1MPa	2.3kPa ~ 3.3kPa
자동절체식일체형저압조정기	0.1MPa ~ 1.56MPa	2.55kPa ~ 3.3kPa
자동절체식분리형조정기	0.1MPa ~ 1.56MPa	0.032MPa ~ 0.83MPa
자동절체식일체형중저압조정기	0.1MPa ~ 1.56MPa	5kPa ~ 30kPa

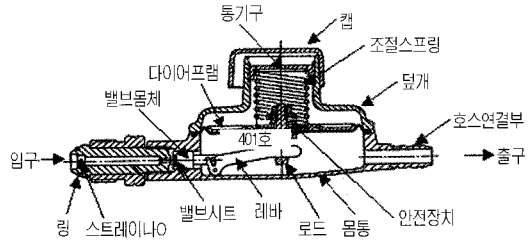
3.1.2 폐쇄압력과 안전장치 작동압력

폐쇄압력이란 조정기의 출구측을 폐쇄하였을 때 발생하는 압력을 의미하며, 중간밸브를 잠그거나 연소기를 사용하지 않을 경우 감압실에 압력이 상승되어 용기로부터의 공급을 차단하게 된다. 안전장치는 공급압력의 이상적으로 상승하여 조정압력보다 높을 때 대기중으로 자동 방출시키는 장치를 말하며, 종류별 최대폐쇄압력 및 안전장치작동압력은 다음 [표 4] 같다

[표 4] 압력조정기의 폐쇄압력과 안전장치 작동압력

종류	최대폐쇄압력	안전장치작동압력
1단감압식저압조정기	3.5kPa이하	-대상: 3.3kPa이하
1단감압식중저압조정기	조정압력*1.5배이하	-작동표준압력: 7kPa
2단감압식1차용조정기	0.095MPa이하	-작동개시압력
2단감압식2차용조정기	3.5kPa이하	: 5.6kPa ~ 8.4kPa
자동절체식일체형저압조정기	3.5kPa이하	-작동정지압력
자동절체식분리형조정기	0.095MPa이하	
자동절체식일체형중저압조정기	조정압력*1.5배이하	: 5.04kPa ~ 8.4kPa

3.1.3 압력조정기 부품 명칭



[그림] 압력조정기 부품 및 명칭

3.2 실험장치

실험장치는 LPG압력조정기의 성능을 실험하는 장치로서 입구압력, 출구압력, 폐쇄압력을 측정하며, 가스공급유량에 따른 변화량을 측정하여 조정압력의 이상여부를 확인하는 장치이다. 1단감압식저압조정기의 경우 입구압력이 0.07MPa에서부터 1.56MPa이므로 각 공급압력 단계별로 시험을 하였고, 사고제품 시험에서는 0.06MPa, 0.5MPa, 0.91MPa, 1.3MPa하였고, 노후제품시험에서는 0.07MPa, 0.1MPa, 0.5MPa, 1MPa, 1.56MPa로 측정하였다.

4 조정압력 시험 및 사고사례

4.1 조정압력 등 시험 및 사고유형별 사례

4.1.1 사고제품 시험

사고제품은 1992년 10월 제조된 제품으로서 12년간 사용하였던 제품으로서, 외형상으로는 특이점이 없었다.

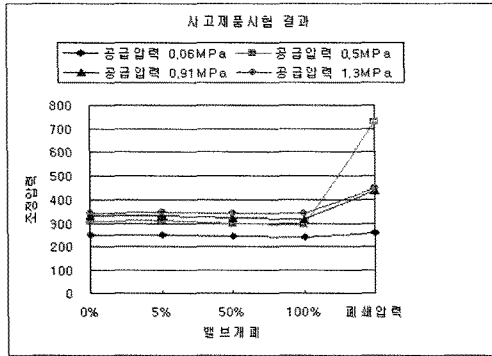
종류	제조사	제조번호	용량	조정압력
1단감압식저압조정기	OOOO	920109	4kg/h	2.8kPa

4.1.2 사고제품 시험 결과

시험결과 공급압력이 높아 집에 따라 출구압력이 높아지는 것으로 나타났으며, 폐쇄압력은 규정값 3.5kPa보다 2배 이상 높은 7.3kPa로 나타났으며, 사고사례의 [사진 4]와 같이 밸브시트는 변형되어 있었다.

[표 5] 사고제품 시험결과

공급압력	시험결과					폐쇄	최고값	최저값
	0%	5%	50%	100%	0%			
0.06MPa	249	249	241	237	245	257	249	235
0.5MPa	309	313	299	293	313	731	313	293
0.91MPa	331	331	323	319	339	439	331	313
1.3MPa	343	347	345	341	363	447	349	333



[그림 2] 사고제품 시험 결과

4. 1. 3 노후제품 시험

사고제품은 1994년 2월 제조된 제품으로서 10년간 사용하였던 제품으로서, 외형상으로는 특이점이 없었다.

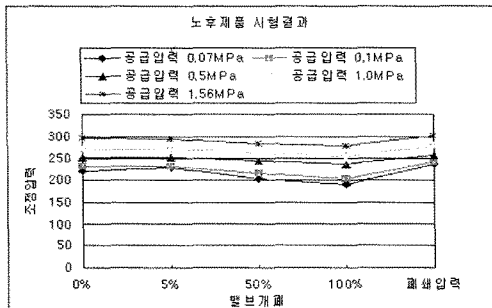
종 류	제조사	제조번호	용 량	조정압력
1단감압식저압조정기	0000	990208	4kg/h	2.8kPa

4. 1. 4 사고제품 시험 결과

사고와 무관한 제품을 수거하여 시험한 결과 공급압력이 높아짐에 따라 출구압력이 높아지는 것으로 나타났으나, 공급압력이 낮은 상태에서는 규정압력 2.8kPa보다 낮은 2.2kPa로 나타났으며 폐쇄압력은 규정값 3.5kPa이하로서 정상적이었다

[표 6] 노후제품 시험결과

공급압력	0%	5%	50%	100%	0%	폐쇄	최고값	최저값
0.07MPa	221	227	203	189	223	237	2271	87
0.1MPa	231	231	215	203	223	241	231	199
0.5MPa	253	253	243	235	247	259	255	235
1MPa	271	271	263	257	267	279	271	255
1.56MPa	297	295	285	279	287	301	297	277



[그림 3] 노후제품 시험 결과

4. 2 사고유형별 사례

4. 2. 1 입구측니플 암수나사 분리 사례

압력조정기는 외형적으로 분류하면 입구측니플, 용기체 결핵들 및 몸통 3개로 나눌 수 있다. 입구측니플에는 노즐이 있으며, 밸브몸체에 밸브시트가 있어 가스공급시 밸브시트가 열리면서 가스가 공급되는 역할을 하게 되며 공급량이 일정하게 되고 압력이 조정된다. 이때 입구측니플이 밸브시트와 틈새가 발생하면 공급량이 일정하지 않고 공급압력이 일정하지 않으며 연소기를 사용하지 않을 경우 폐쇄압력이 높아져 호스연결부의 이탈, 불완전연소 및 리프팅 현상으로 정상연소를 유지하지 못한다. 입구측니플의 암수나사가 분리[사진 1]되는 원인으로는 노후 및 용기밸브로부터 분리시 압력조정기 핸들을 이용하지 않고 몸통을 사용하므로써 입구측 니플과 몸통에 영향을 준 것으로 기인된다.

사고제품을 수거하여 조사한 결과 정상적으로 조립된 상태[사진1]에서는 규정압력 2.8kPa로서 변화가 없었으며, 입구측니플이 2%회전 풀림상태[사진2]에서는 조정압력이 규정압력인 2.8kPa보다 높은 0.39MPa로 상승되었다.

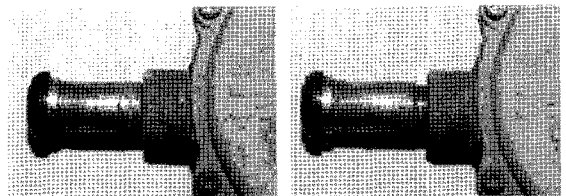


사진 1. 정상 조립사진

2. 입구측니플 풀림

4. 2. 2 밸브시트 노후 및 손상 사례

압력조정기에서는 밸브시트가 매우 중요하며 [사진 30부터 [사진6]까지 밸브시트가 손상되므로써 공급량이 일정하지 않고 연소기를 사용하지 않을 경우 폐쇄압력이 높아지게 되며 LP가스용기내의 압력이 15°C에서 약 0.7MPa이상일때 조정되지 않은 압력이 배관, 중간밸브 및 연소기까지 도달하여 불완전연소 및 호스연결부분이 이탈되어 가스가 누출될 수 있으며, 사용중에는 특이한 현상을 확인할 수 없는 것이 특징이다.

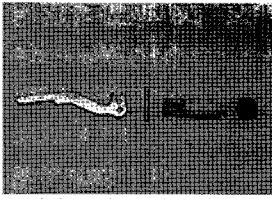


사진 3. 밸브몸체와 시트 I

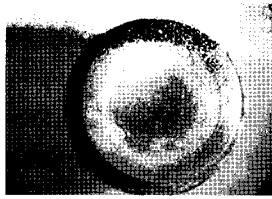


사진 4. 밸브시트 손상 II

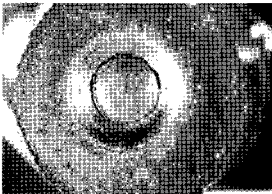


사진 5. 밸브시트 손상 III

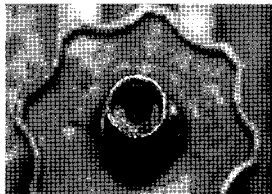


사진 6. 밸브시트 손상 IV

4. 2. 3 안전장치스프링 등 부식사례

압력조정기에는 빗물 등이 들어가지 아니하도록 캡을 씌우고 있다. 캡이 파손되더라도 가스가 누출되는 것은 아니지만 대기중의 이물질 유입 및 우수 등의 유입과 결로현상 등으로 조절스프링, 수압관, 안전장치스프링, 안전장치스프링지지판이 [사진 7]에서 [사진 10]와 같이 부식됨으로서 기능이 상실되어 조정능력을 상실시키는 경우가 발생한다.

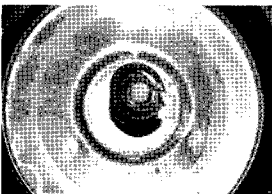


사진 7. 안전장치스프링 부식

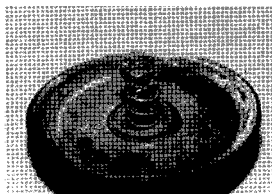


사진 8. 안전장치스프링 지지판 부식 이할

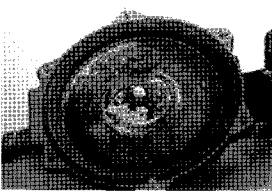


사진 9. 안전장치스프링 지지판 부식 이할

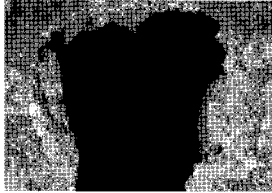


사진 10. 부식된 고정지지판 확대

4. 2. 4 다이어프램 등의 변형

LP가스용기에 압력조정기를 직접 연결하는 경우와 축도관이나 투윈호스를 이용하여 연결한 경우 또는 집합대에 연결하여 설치·사용하고 있다. 축

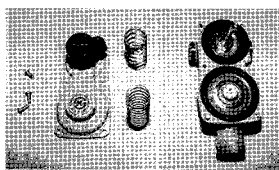


사진 11. 유분에 의한 2축 다이어프램 변형

도관이나 투윈호스의 경우 부드럽게 하기 위해 가스제가 첨가되는데 이가소제가 LP가스와 접촉하여 고무의 성질을 연화시키고 유분이 생성되면서 [사진 11]과 같이 다이어프램 및 밸브시트를 변형시키고 오랜 기간 경과시 찢어짐 등의 현상을 가져오게 된다.

5 결론

현재 가정용으로 사용하고 있는 1단감압식저압조정기의 경우 대부분 햇빛과 빗물 등에 노출되어 있고 사용자가 조정기에 대한 일반적인 안전대책이 없는 상태에서 갑자기 사고를 불러일으키는 경우가 발생한다.

압력조정기는 가스공급에 있어서 매우 중요한 가스용품으로서 입구측 니플의 풀림, 캡의 파손 및 가스누출 등의 여부를 확인하는 것이 바람직하며 용기교체시에는 반드시 압력조정기에 부착된 밸브핸들을 이용하여 분리하고 체결하는 것을 잊지 말아야 한다.

1단감압식저압조정기의 경우 오래기간 사용에 따른 고무재질의 변형 등으로 인한 사고를 방지하기 위해 5년 사용하고 교체하도록 권장하고 있다. 가스점검시에도 집안 내부의 연결부에 대한 점검만을 강조하고 있지만 실질적으로 가스공급에서 과압이 상승되었을 경우 사고의 위험성이 더욱 크며, 앞의 사례에서 보듯이 폐쇄압력이 부적합 할 경우 짐을 장시간 비울 때 호스의 이탈 등으로 가스가 누출될 우려가 있기 때문에 세심한 안전점검이 요구되며, 사용자는 권장사용기간을 명심하여야 한다.

압력조정기를 안전하게 사용하기 위해서는 햇빛 등이 직사광선 및 빗물 등이 직접 받지 않도록 가리개를 설치하여야 하며, 특히 여름철의 경우 영기내부의 증기압력이 높으므로 철저한 안전점검이 요구되며, 사용자와 공급자는 외형적으로 이상이 있다고 판단되거나 연소시 불꽃의 이상 및 5년이상 경과한 제품이라고 한다면 신규교체를 권장하며 압력조정기가 가스연소시 매우 중요한 용품인 만큼 내구연한에 대한 검토가 요구된다.

■ 참고문헌

1. 한국가스안전공사, "가스방출실험보고서" 1997.
2. 한국가스안전공사, "가스사고연감" 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003
3. 한국가스안전공사, "가스사고표준절차서" 2002
4. 한국가스안전공사, "제품감정자료집" 2003
5. 한국가스안전공사, "액화석유가스의안전관리및사업법" 2004
6. 한국가스안전공사, "LP가스압력조정기에 대한 연구"