KIGAS Vol.3, No.1, April, 1999
(Journal of the Korean Institute of Gas)

가정용 LPG 저압조정기의 경년특성에 관한 연구

김 영 규 · 권 정 락
한국가스안전공사 가스안전기술연구센터
(1999년 1월 14일 접수, 1999년 5월 25일 채택)

Aging Characteristics of Low Pressure LPG Regulators for Domestic Use

Young-Gyu Kim, Jeong-Rock Kwon
Gas Safety R&D Center, Korea Gas Safety Corporation
(Received 14 January 1999 ; Accepted 25 May 1999)

요 약

가정용 LPG 저압조정기의 사용경과에 따른 성능특성과 사용수명을 평가하기 위하여 실험적 연구를 수행하였다. 실험결과에 의하면 조정기의 안전장치 작동압력은 사용경과 1년부터 분출개시압력값과 정지압력값을 이탈하였고, 조정압력과 폐쇄압력은 사용경과 7~8년부터의 조정기에서 기준값을 현저하게 벗어났다. 스프링과 다이어프램은 사용한지 5~6년이 경과하면서 재료특성이 저하하였다. 따라서 LPG 저압조정기는 약 6년 정도의 사용수명을 갖고 있는 것으로 평가된다. 그러나 사용자의 안전확보와 사고예방을 위해서 5년이 경과하면 조정기에 이상이 없더라도 교체하는 것이 바람직하다.

Abstracts - Experimental works were carried out to evaluate how the lapse of time affects the performance characteristics and the service life of low pressure LPG regulators for domestic use. Experimental results showed that the operating pressure of safety devices deviated from the opening pressure value and the closing pressure value from just 1 year after service, and the operating pressure of regulators used for 7~8 years notably deviated from the reference value of the adjusting pressure and the closing pressure. And the material properties of springs and diaphragms deteriorated after 5~6 years of service. Thus, it is estimated that low pressure LPG regulators have approximately 6 years of service life. However, it is highly recommended that regulators exceeding 5 years of service should be replaced for the safety of consumer and accident prevention even if they are operating normally.

Key words : Low pressure LPG regulator, Safety device, Spring, Diaphragm, Adjusting pressure, Closing pressure

1. 서 론

1960년대 초에 국내에서 처음으로 사용되기 시작한 액화석유가스(LPG: liquefied petroleum gas)는 그동안 지속적인 증가추세를 보여왔다[1]. LPG는 청정성과 편리성 때문에 가정용 연료로서 높은 비중을 차지하고 있으며, 그에 따른 가스기기도 다양하게 개발되어 사용되고 있다. LPG는 일반적으로 소형의 용기에 액체상태로 저장되어 가정집에 운송되며, 용기내에서 기화된 LP가스는 용기밸브와 압력조정기를 통하여 연소기로 공급된다. LPG 용기내의 가스압력은 약 2~10kg/cm^{2}으로 매우 높아 가정용 연소기에서 바로 사용할 수가 없기 때문에 연소에 적정한 낮은 압력으로 감압시켜 줄 수 있는 압력조정기[2~5]의 설치가 필수적이다.

LPG 저압조정기(low pressure LPG regulator)는 용기내의 압력변동에 관계없이 안

정적인 가스압력을 연소기에 공급할 수 있도록 설계·제작된 가스용품[5]으로 LP가스의 공급에 중요한 역할을 한다. 그러나 저압조정기는 설치 및 사용년수가 오래됨에 따라 경년변화로 인한 이상압력이 발생되어 연소기에서의 불안정한 연소현상을 초래하게 되고, 과도한 압력이 걸리게 되는 등 잠재적인 가스사고의 위험성이 높다.

조사된 통계자료[6]에 의하면 LPG 저압조정기와 관련된 사고는 매년 수건씩 발생되어 왔으며, 조정기 제품불량에 의한 사고가 많이 발생되고 있어 조정기에 대한 신뢰성과 안전성 확보에 대한 문제점이 제기되고 있다.

본 연구의 목적은 가정용으로 많이 사용되고 있는 LPG 저압조정기의 사용경과에 따른 성능특성과 적정한 사용수명을 평가하는 것이며, 이를 위해서 1988년부터 1997년까지의 사용경과 저압조정기와 1998년에 제조된 사용하지 않은 신품 조정기에 대하여 실험을 수행하였다.

2. 실험

2.1. 실험시료

강원, 충북, 전남, 제주의 4개 지역에서 채취한 1988년부터 1997년까지의 사용경과 LPG 저압조정기 160개와 1998년의 신품조정기 6개를 실험대상으로 하였다. LPG 저압조정기는 용기에 직결되어 사용되는 것으로 주요 사양은 Table 1에, 상세한 도시는 Fig. 1에 각각 제시하였다. LPG 저압조정기는 알루미늄 다이캐스팅 재질의 몸체와 덮개, 다이어프램(diaphragm), 스프링(spring), 스프링 조절기, 밸브몸체 등으로 이루어졌다. 고압부로 유입된 높은 압력의 LP가스는 다이어프램과 수압판에 연결되어 작동되는 레버와 밸브몸체에 의하여 저압으로 감압되어 저압부를 통하여 연소기로 공급된다. 또한 미세한 압력을 조정할 수 있도록 다이어프램과 수압판의 상부에는 스프링 조절기가 설치되어 있다.

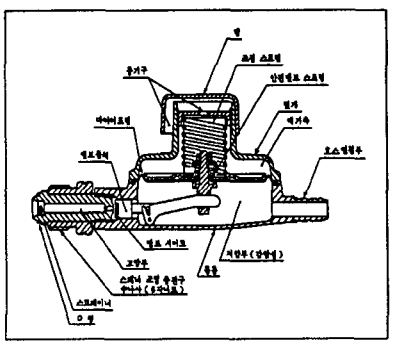

Fig. 1. Detail view of low pressure LPG regulator

Table 1. Specifications of low pressure LPG regulator

Inlet pressure (kg/cm^2)	Upper		15.6
	Lower		0.7
Outlet pressure (mmH_2O)	Standard		280
	Adjusting pressure	Upper	330
		Lower	230
	Closing pressure		350
Safety device operating pressure (mmH_2O)	Standard		700
	Opening		560~840
	Closing		504~840
Rated capacity(kg/hr)			4.0

2.2. 실험방법

LPG 저압조정기에 대한 안전장치(safety device)의 작동실험은 일본 Sanki사에서 제작한 안전장치 시험기를 이용하여 조정기의 입구쪽을 막고 출구쪽에서 압력을 서서히 가하면서 안전장치가 작동될 때의 개시압력과 정지될 때의 정지압력을 측정하였다.

조정압력(adjusting pressure)과 폐쇄압력(closing pressure)은 조정기 성능시험기(동경가스엔지니어링사)를 이용하였는데, 조정압력은 조정기의 입구압력을 0.7kg/cm^2, 5.0kg/cm^2, 10.0kg/cm^2, 15.6kg/cm^{2}으로 변화시켜 가면서 이때의 조정기 출구쪽 유량을 0%, 5%, 50%, 100%의 조건하에서 압력을 측정하였다. 폐쇄압력은 조정기의 출구쪽을 막아 출구유량이 없는 상태인 유량 0%에서 입구압력을 0.7kg/cm^2, 5.0kg/cm^2, 10.0kg/cm^2, 15.6kg/cm^{2}으로 변화시켜 가면서 압력을 측정하였다. 각각의 입구압력 값과 지정된 출구유량에서 측정된 데이터는 컴퓨터로 전송·처리되어 프린터로 출력된다.

스프링 상수(spring constant)는 사용경과 연도별 조정기 80개와 신품 조정기 4개에서 채취한 스프링에 대하여 스프링 시험기(Duyong, KDY-M50)로 측정하였고, 또한 동일 조정기의 다이어프램에서 인장시편을 채취한 후 재료시험기(Shimadzu, AGS-H)를 이용하여 인장강도(tensile strength)와 신장률(elongation)을 측정하였다. 다이어프램의 인장시편 규격과 시험방법은 KS M6518[7]에 따랐다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 안전장치

Fig. 2에는 LPG 저압조정기에 대한 안전장치의 작동결과를 제시하였다. 저압조정기의 안전

장치는 다이어프램과 수압판에 안전장치용 스프링이 별도로 설치되어 있어서 조정기의 출구측에 압력이 상승되어 스프링의 설정압력값을 초과하게 되면 자동적으로 개방되 면서 조정기 내부의 압력을 조정기 외부로 방출하는 장치이다. 본 실험대상 모델인 LPG 저압조정기의 경우, 안전장치의 분출개시압력과 정지압력의 기준값은 840mmH_2O로 동일하며, 개시하한값과 정지하한값은 각각 560mmH_2O, 504mmH_2O이다[5].

Fig. 2에서 심볼 ■(solid square)는 안전장치의 분출개시압력값을, 심볼 o(open circle)는 정지압력값을 각각 나타낸다. 또한 사용경과 연도에 따른 조정기의 안전장치 작동압력 범위를 상대적으로 비교하기 위하여 측정된 신품 조정기의 압력값을 2점 실선으로 나타내었다. 결과를 살펴보면, 조정기의 안전장치가 부적정하게 개시되거나 닫히는 현상은 사용경과 1년부터 전반적으로 나타났고, 또한 신품 조정기의 안전장치 작동범위를 현저하게 벗어남을 볼 수 있다. 따라서 안전장치는 조정기 저압부나 배관, 연소기에서의 이상상승압력을 방출시키는 매우 중요한 기능을 갖기 때문에 안전장치 스프링에 대한 해석과 설계가 필요한 것으로 판단된다.

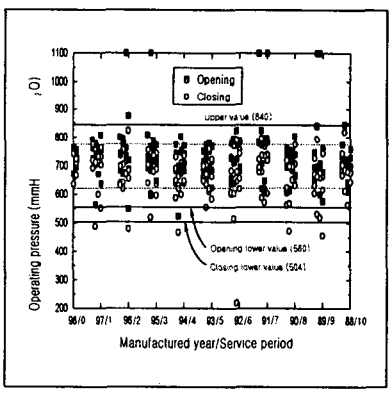

Fig. 2. Operating pressure distributions of safety devices of low pressure LPG regulators as a function of a manufactured year/service period

3.2. 조정압력

조정압력은 입구압력 0.7kg/cm^2, 5.0kg/cm^2, 10.0kg/cm^2, 15.6kg/cm^{2}의 각각의 압력에서 유량을 0%, 5%, 50%, 100%로 변화시켜 가면서 조정기에서 감압되어 나오는 출구압력을 의미한다. LPG 저압조정기의 조정압력은 상한과 하한의 허용압력값으로 구분되는데 하한값이 230mmH_2O, 상한값이 330mmH_2O이며, 입구압력의 변동에 관계없이 이를 만족하여야 한다[5].

사용경과 조정기와 신품 조정기에 대한 조정압력은 입구압력의 변화와 유량변화에 따라 측정하였는데, Fig. 3에는 입구압력 10kg/cm^{2}에서 출구유량이 50%, 100%인 두 경우에 대한 결과만을 제시하였다. 조정압력은 일반적으로 유량이 적으면 적을수록 높게 나타나는데, 실험결과 이와 같은 사실과 일치하였다. 또한 이상적인 조정압력의 양상은 그 편차가 적고 일정범위내에 집중분포하여야 하는데, 사용경과 7년(1991)의 조정기에서는 조정압력이 상한값을 벗어났을 뿐만 아니라 폭넓게 분포하여 매우 불안정한 양상을 보여준다. 신품 조정기의 조정압력값 282~295mmH_2O을 사용경과 조정기의 조정압력값과 비교하기 위하여 Fig. 3에 2점 실선으로 표시하였다. 전반적으로 신품 조정기의 조정압력값 범위를 이탈하였고, 사용경과 6년(1992)부터는 상하로 벗어남을 볼 수 있다. 이와 같은 조정압력 결과에서 저압조정기는 약 6년 정도 사용후 교체하여야 연소기에 적정한 압력의 LP가스를 공급할 수 있을 뿐만 아니라 기기의 안전적인 측면에서도 바람직할 것으로 생각된다.

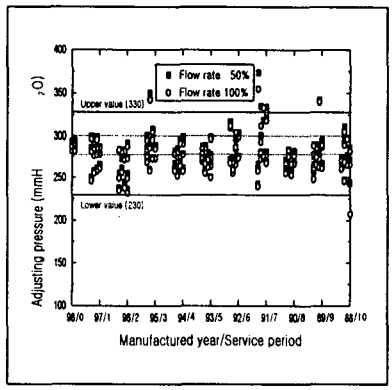

Fig. 3. Adjusting pressure distributions of low pressure LPG regulators as a function of a manufactured year/service period

3.3. 폐쇄압력

조정기에서 폐쇄압력은 조정기의 출구측을 폐쇄하였을 때 조정기 내부에 발생되는 압력을 의미한다. 실제로는 사용중인 연소기를 중단시키거나 중간밸브를 닫았을 때 조정기의 저압부에 걸리는 압력을 의미하는데, LPG 저압조정기의 경우 폐쇄압력은 350mmH_2O 이하를 유지하여야 한다[5].

폐쇄압력은 조정압력의 측정방법과 마찬가지로 조정기의 입구압력을 0.7kg/cm^2, 5.0kg/cm^2, 10.0kg/cm^2, 15.6kg/cm^{2}로 변화시켜 가면서 각각의 압력에서의 폐쇄압력을 측정하였다.

Fig. 4의 결과를 살펴보면, 폐쇄압력은 입구압력이 높을수록 높은 수준을 보이며, 사용경과가 3년(1995)된 조정기를 제외하면 사용경과 6년(1992)의 조정기부터 폐쇄압력의 최대기준값(350mmH_2O)을 이탈하는 것으로 나타났다. 여기서 1995년 제품에서 폐쇄압력이 높게 나타나는 현상은 일부 제조사의 조정기에서 발생된 예외적인 경우인 것으로 생각된다.

신품 조정기의 폐쇄압력은 275~322mmH_2O로 측정되었는데, 사용경과 6년부터 신품 조정기의 폐쇄압력 상한값과 하한값의 범위를 전반적으로 벗어나고 있음을 볼 수 있다. 따라서 조정기에 물이나 이물질이 유입되지 않도록 설치와 관리의 적정성을 고려하는 것이 필요하다. 또한 입구압력이 낮은 0.7kg/cm^2에서는 전체년도에 걸쳐서 대부분의 조정기가 신품 조정기의 압력범위를 벗어나고 있기 때문에 조정기의 핵심부품인 스프링의 특성강화와 LPG에 강한 다이어프램의 개발·제조가 요구된다.

이와 같은 폐쇄압력 측정결과로 부터 LPG 저압조정기는 제조한지 약 6년 정도의 사용수명을 갖는 것으로 평가되며, 비교적 이상상승압력이 발생되지 않는 이 기간내에서 조정기를 사용하는 것이 가스사고를 예방하는데 도움이 될 것이다.

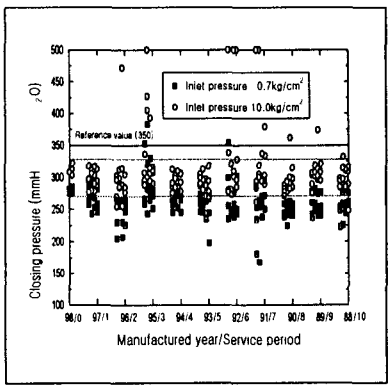

Fig. 4. Closing pressure distributions of low pressure LPG regulators as a function of a manufactured year/service period

3.4. 스프링

LPG 저압조정기의 스프링에 대한 스프링 상수를 측정하여 Fig. 5에 제시하였다. 사용경과 조정기의 측정된 스프링 상수결과를 살펴보면, 사용경과 연도가 오래될수록 스프링 상수는 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 이것은 스프링이 오래되면 일반적으로 재료에 나타나는 시효경화(age hardening)에 기인하는 것으로 추정되는데, 스프링 재료에서의 경화현상은 사용경과 7년(1991)에서 현저하게 나타났다. 신품 조정기의 스프링 상수값과 비교하면 사용경과 6년까지의 조정기에서는 이들 범위내에 분포된 수가 많으나 사용한지 7년이 경과된 조정기에서는 매우 벗어나고 있음을 볼 수 있다. 조정기가 안정적인 출구압력을 공급하기 위해서는 양호한 스프링 상수와 정확한 진직도가 필수적이며, 스프링 하중이 수압판의 중심축 선상에 오게 하고, 밸브 몸체의 시트가 디스크에 균일한 접촉을 유지하도록 하여야 한다. 스프링의 진직도가 불량한 원인에는 스프링의 자유장이 지나치게 길어서 완성조립후의 뒤틀림과 휘어짐이 장기간에 걸쳐서 나타나거나 또는 스프링의 가공단계에서 말단부의 면처리를 하지 않기 때문이다. 따라서 이들 스프링에 대한 자유장 길이, 말단부 면처리, 그리고 가공에 대한 품질관리와 내구특성을 강화하기 위한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

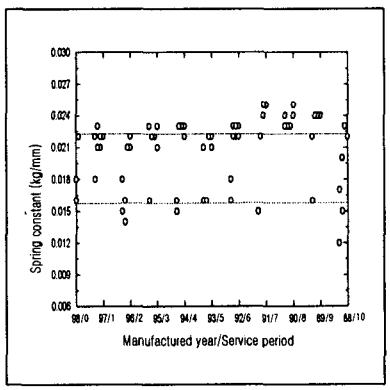

Fig. 5. Spring constant distributions of low pressure LPG regulators as a function of a manufactured year/service period

3.5. 다이어프램

Fig. 6의 다이어프램에 대한 인장강도 측정결과를 보면, 사용된지 4년이 경과한 1994년까지는 인장강도가 비교적 집중분포함을 보이고 있으나 사용경과 5년을 초과하면서 매우 산만하게 분포함을 보였다. 또한 신품 조정기 다이어프램의 인장강도 수준은 123.9~138.2kg/cm^2 정도로서 사용경과 다이어프램의 인장강도와 비교하면 사용경과 4년까지는 약간 감소하는 경향을 보이고 있으나 사용경과 4년을 초과하면서 오히려 높게 나타났다. 이와 같이 인장강도가 높게 나타나는 것은 시간이 경과하면서 조정기 다이어프램도 스프링에서와 같이 경화현상 때문인 것으로 추정된다. 따라서 조정기 다이어프램은 인

장강도 결과만을 고려한다면 사용경과 5년까지는 비교적 안정적인 재료특성을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

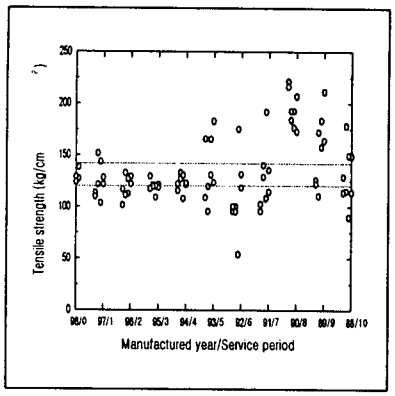

Fig. 6. Tensile strength distributions of diaphragms of low pressure LPG regulators as a function of a manufactured year/service period

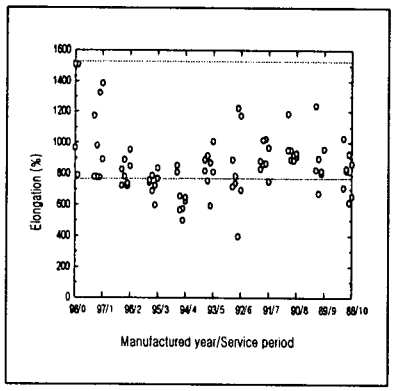

Fig. 7. Elongation distributions of diaphragms of low pressure LPG regulators as a function of a manufactured year/service period

다이어프램의 신장률 측정결과는 Fig. 7에 제시하였는데 인장강도 분포경향과 매우 유사한 것으로 나타났다. 사용경과 4년까지는 신장률이 감소함을 보였고, 사용경과 5년(1993)부터는 증가하는 경향을 보이고 있다. 그러나 신품 조정기 다이어프램의 신장률 상한값인 1509.2%를 초과하는 것은 없었다. 반면에 신품 조정기 다이어프램의 신장률 하한값인 789.9%을 벗어나는 것은 사용경과 2년부터 나타나기 시작하였으며, 사용경과 6년(1992)부터는 매우 폭넓게 분포하고 있음을 보여준다. 국산 조정기의 다이어프램은 신장률이 매우 산만하게 나타나기 시작한 사용경과 6년 정도까지는 비교적 안정적인 재료특성을 유지하는 것으로 볼 수 있다.

이와 같은 실험결과로 볼 때 LPG 저압조정기의 다이어프램은 약 6년 정도의 안정적인 사용수명을 갖는 것으로 평가되며, 향후 다이어프램의 내구수명과 신뢰성을 향상시키기 위해서 고무재료에서 추출되는 가소제가 재료물성에 미치는 영향, 고무안전성이 향상된 새로운 고무재료의 개발에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

4. 결 론

현재 가정용으로 가장 많이 사용되고 있는 LPG 저압조정기의 사용경과에 따른 성능특성과 적정한 사용수명을 평가하기 위하여 1988년부터 1997년까지의 사용경과 조정기와 1998년의 신품 조정기에 대한 실험을 실시하였다. 실험결과 저압조정기의 안전장치는 사용경과 1년부터 전반적으로 부적정하게 작동되어 신품 조정기의 분출개시압력값과 정지압력값을 이탈하는 것으로 나타났다. 조정압력과 폐쇄압력도 사용경과 1년부터 신품 조정기의 압력범위를 전반적으로 이탈하였으며, 조정압력과 폐쇄압력은 사용경과 7~8년부터의 조정기에서 기준값을 현저하게 벗어났다. 저압조정기의 스프링은 사용한지 약 6년이 경과하면서 재료의 경화현상으로 인하여 스프링의 특성이 저하됨을 보였고, 반면에 저압조정기 다이어프램의 경우는 5~6년 정도의 재료특성을 유지하는 것으로 나타났다.

따라서 현재 국내에 유통되고 있는 LPG 저압조정기는 약 6년 정도의 사용수명을 갖고 있는 것으로 평가된다. 그러나 사용자의 안전확보와 사고예방을 위해서 사용한지 5년이 경과하면 조정기에 이상이 없더라도 교체하는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

1. 한국가스안전공사, 고압가스통계(1998).
2. KS B 6213, 일반용 액화석유가스 압력조정기(1986).
3. 日本 エルピーガス機器檢查協會, 調整器 檢查規程(1996).
4. BS 3016, Pressure regulators and automatic changeover devices for liquefied petroleum gases(1989).

5. 한국가스안전공사, 가스관계법령집(1996).
6. 한국가스안전공사, 가스사고편람(1997).
7. KS M 6518, 가황고무 물리시험 방법(1996).