

# LPG 압력 조정기의 화재분위기에 의한 폭발위험성평가와 충격안전성에 관한 연구

김 홍, 오규형, 정기창, 조기성  
호서대학교 안전공학과

## 1. 서론

최근 가스 소비량이 급증하면서 가스 관련 사고 또한 증가하고 있는 추세에 있다. 가스관련 사고에 대한 분석결과 조정기의 제품불량으로 인한 사고 발생율이 급격하게 증가하고 있으며, 다수의 사고가 발생하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 LPG용 조정기의 불량에 의한 가스사고를 예방하고 사용상의 문제점을 개선하기 위해서 현재 유통되고 있는 사용중인 LPG용 조정기의 폭발위험성과 충격안전성을 고찰하여 폭발, 화재 방지 대책을 수립하고 시중에서 사용중인 조정기의 안전성을 검증하였다.

## 2. 화재분위기에 의한 폭발위험성평가와 충격안전성 시험

### 2.1 화재 분위기에 의한 조정기의 폭발위험성 평가

시중에 유통중인 LP 가스 압력조정기를 용기에 부착시켜 화염분위기에서의 조정기 상태변화등을 관찰하였다. 시료는 현재 시중에서 가장 많이 사용되고 있는 2개사의 제품을 이용하였으며 화재 모의시험 후 조정기의 부품을 수거하여 제품의 특성을 비교하였다. 화재분위기 조성을 위해서 용기에 20kg의 LP가스를 충전한 다음, 용기 둘레에 건조된 목재를 1.5m 높이로 쌓았고, 조정기와 호스를 체결한 상태에서 호스의 끝부분을 막고 용기밸브 및 조정기를 열어놓았다 이는 가정에서 용기의 주밸브를 열어놓고 중간밸브를 열었다 닫았다하는 일반적인 LPG 사용법을 재현한 것이다. 또한 용기의 폭발에 의해 용기가 비산되는 것을 방지하기 위해 4m 되는 쇠사슬로 고정하였다. 실험의 전과정은 비디오 카메라를 이용하여 촬영하였고 실험과정 중에 용기의 표면온도를 측정하기 위하여 온도센서를 부착시켰으며 그림 1에 모의화재 시험시 용기의 온도곡선을 나타내었다. 모의실험중 용기의 온도는 최고 350℃까지 도달하였다.

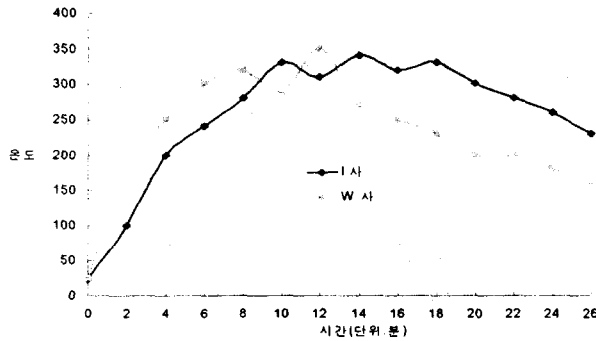


그림 1. 모의화재 시험시 용기의 온도곡선

### 2.1.1 모의화재시험

모의화재 시험에서는 호스에 착화되기까지의 시간은 약 2~4분이 소요되며, 조정기의 안전장치는 2~5분정도 경과 후에 파열되었고, 용기의 안전밸브는 6~10분 후에 개방되어 약 15~20분 동안 활발하게 가스를 분출시키면서 연소하였다.

용기의 가스가 모두 연소되는데 소요되는 시간은 약 25분 정도로 나타났으며, 모의시험 전과정을 통하여 용기나 조정기에서의 폭발현상은 관찰되지 않았는데, 이는 LPG 용기의 밸브를 개방시킨 상태에서 용기의 안전밸브와 착화된 호스로 LP 가스가 방출되어, 용기내의 과압이 방출되었기 때문이다.

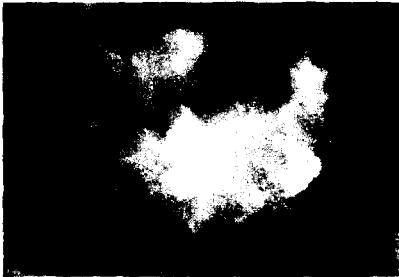
모의화재 시험에서는 다음과 같은 상황들을 볼 수 있었는데, 우선 목재에 일정량의 석유를 가한 후 점화시키면 화염이 활발하게 발생되며 (그림 2.(a)) 화염에 노출된 호스로부터 가스가 방출되면서 화염이 커지는 것을 볼 수 있다. 이때 조정기 재료중 가장 먼저 내열성이 취약한 캡부분으로 인화하여 녹아버리고 가스가 분출되어 조정기가 화염에 휩싸이게 된다. 또한 조정기의 다이어프램이 용융되면서 안전장치가 파열되었고 용기내부의 압력이 직접적으로 조정기에 걸려 많은 양의 가스가 분출되어 화염이 격렬하게 나타난다. 용기의 안전밸브가 개방되면서 화염은 상방과 수평방에 각각 발생하게 되며, 용기 안전밸브의 개방은 다량의 고압가스가 분출되면서 플래쉬오버가 나타나게 된다. (그림 2.(c)) 안전밸브가 열리고 닫히는 반복작업을 할 때는 화염의 크기는 커졌다 작아졌다 하면서 동시에 안전밸브가 열릴 때 특유의 소음이 발생되기도 한다. 이러한 과정이 반복되는 동안 조정기 본체는 화염에 녹아서 흘러내리게 되며 단지 용기와 연결된 노즐부위를 통해 화염이 서서히 소진되어 가는 과정을 거쳐 내부의 가스가 완전히 분출되면서 화염은 사라져 가게 된다.(그림 2.(d))



(a) 점 화



(b) 안전장치의 파열 직후  
(착화 후 7분~9분)



(c) 안전밸브방출 후의 플래쉬오버  
(착화 후 7분~10분)



(d) 화염의 소진  
(화염 총소진시간 21분~25분)

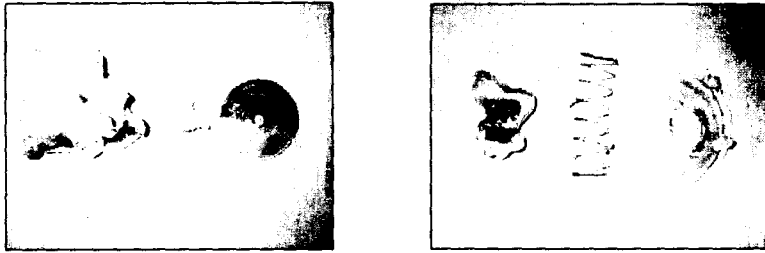
그림 2. 모의화재 시험

### 2.1.2 모의화재 시험에 대한 고찰

그림 3은 화재모의 시험후 수거된 부품의 모습이다. 수거된 부품은 제조회사에 따라 다른 양상을 보였다. I사의 조절기는 금속제의 수격막판이 사용되어 조절기가 용융될 때까지 조절능력이 있었으나 W사의 조절기에는 플라스틱제 수격막판이 장착되어 시험시의 고열을 견디지 못해 조절기가 열 후 약 2분 45초경에 파열되었다. 가스방출시간을 비교해 보면 플라스틱제 수격막판을 사용한 W사의 조절기가 I사의 조절기에 비해 가스방출시간이 4분정도 짧은것으로 나타났다.

본 연구를 통해 화재분위기에서는 용기의 안전밸브작동으로 인해 다량의 LP 가스가 분출되며, 플래쉬오버 발생시에는 다량의 복사 에너지가 확산되어 용기 주위의 가연성 물질의 연소를 촉진시키는 현상을 나타내었다. 일반적으로 화재발생시 LPG용기에 착화가 되면 가구, 소파등의 가연성 물질보다 연소시간이 길고 다량의 열에너지가 방출되어 진화시간이 연장되고, 용기의 폭발위험성에 대한 두려

음으로 소방관의 접근이 용이하지 않게 하는 원인이 되기도 한다.



(a) I 사 조정기

(b) W 사 조정기

그림 3. 화재모의시험 후 수거된 조정기의 부품

## 2.2 충격 안전성 시험

LPG용기에 조정기를 부착시킨 상태에서 용기가 전도되었을 때 조정기가 파손되거나 호스가 손상된 경우, 용기로부터 LP가스가 누설되어 밀폐공간에 체류하게 되면 가연성 혼합기가 형성하여, 전기 스위치의 작동이나 화기를 취급할 경우 폭발사고가 발생하여 인명 피해나 건물등에 파괴가 발생하게 된다. 따라서, 전도에 의한 LPG용 조정기의 파괴나 호스의 손상 여부를 관찰하여 조정기의 폭발 위험성을 평가하였다. 시험방법은 가스용기에 LP 가스를 충전 후 조정기를 체결시켜 LP 가스의 증량, 전도방향, 전도높이 등을 변수로 전도시켜 충격에 대한 조정기 및 호스의 손상을 관찰하였다. 조정기에 대한 폭발 위험성을 평가하기 위해 시중에서 사용중인 제품을 연도별로 5개씩 수집하였고, 조정기 성능의 경년변화에 따른 폭발 위험성을 평가하기 위해 98년도 제품도 포함시켰다.

### 2.2.1. 전도에 의한 조정기 충격 안전성시험

가스 증량에 따른 조정기 본체의 손상 여부를 관찰하기 위해 전도방향을 정방향으로 놓고 평면 지상에서 시험하였다. 시험결과는 표 1에 나타나 있는 바와 같이 총 11건의 손상이 발생하였으며 이중 20kg 용량일 때 발생비율이 72%로 나타나 증량이 클수록 조정기의 손상비율이 높아지는 것으로 나타났다. 용기의 전도방향에 따른 손상은 용기에 LP가스를 15kg 충전한 상태에서 전도시켜 시험하였으며, 시험결과 조정기가 손상을 입는 경우는 정방향으로 전도되었을 때에만 나타났다. 이는 조정기가 용기에 정방향으로 설치되어 전도시 조정기에 직접적인 충격을 받기 때문이다. 높이에 의한 시험에서는 조정기 손상의 영향을 파악하기 위하여 LP 가스를 15kg 충전한 상태에서 용기를 정방향으로 전도시켜 시험하였다.

표 1. LP 가스 중량에 따른 손상

	88'	89'	90'	91'	92'	93'	94'	95'	96'	97'	98'	계	%
20kg	1	-	-	1	1	1	1	-	1	1	1	8	72.7
15kg	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	1	3	27.3
10kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
계	1	-	-	1	2	1	1	-	2	1	2	11	100
%	9.1	-	-	18.2	9.1	9.1	9.1	-	18.2	9.1	18.2	100	-

전체 실험에서 나타난 조정기의 손상을 연도별로 나타낸 결과를 표 2에 나타내었다. 연도별 손상갯수는 사용년도에 관계없이 분포되었으며 5개사의 제품중 1개사에서 집중적으로 발생되었다. 이는 조정기 본체를 제조 중 알루미늄 다이캐스팅 공정에 분순물의 혼합이나 불균일한 압력분포에 의해 기인된 것으로 판단되어 제조회사의 담당자와 협의하여 불량원인을 제거 할수 있도록 조치하였다.

표 2. 연도별 조정기의 손상분포

	88'	89'	90'	91'	92'	93'	94'	95'	96'	97'	98'	계
갯수	1	-	-	2	1	1	-	1	2	1	2	11
%	9.1	-	-	18.2	9.1	9.1	9.1	-	18.2	9.1	18.2	100

### 2.2.2 충격 안전성 시험에 대한 고찰

표 3에 조정기의 손상부위 분포를 나타내었다. 용기와 조정기의 체결부, 즉 후방부위에서 가장 많은 손상이 나타났으며, 조정기의 본체가 파손되는 시료가 2건, 전방부위와 캡의 파손이 각각 2건씩 나타났다.

표 3. 조정기의 손상 부위별 분포현황

손상부위	불량발생건수	%
조정기본체손상	2 건	18
후방부위손상	5 건	46
전방부위손상	2 건	18
캡부위손상	2 건	18
계	11 건	100

### 2.2.3 전도에 의한 호스의 영향

전도에 의한 호스 손상 실험은 가장 일반적인 형태로 호스를 체결한 조정기를 LP가스가 충전된 용기에 장착한 후 이를 전도시켜 실험하였다. 조정기 호스에는 LPG 용기에 충전한 가스의 중량(10kg,15kg,20kg)과 전도방향, 그리고 용기의 위치높이 등의 변수를 주어 전도시 호스에 미치는 영향을 관찰하였다. 시험 결과 호스는 조정기 본체에 돌출 부분으로 인하여 정방향으로 전도되었을 시에는 중량과 높이에 상관없이 전도시킨 모든 호스가 손상되는 곳으로 나타났다.

## 3. 결론

화재분위기에 의한 조정기의 폭발위험성결과 조정기가 화재에 노출되었을 때 조정기의 본체가 고온분위기에 의해 용융되는 현상을 관찰하였고 다이아프램을 지지하는 수격막판의 재질이 플라스틱인 경우에는 화재온도에 쉽게 용융되어 가스의 방출을 돕는 것으로 나타났다. 착화된 LPG 용기에서는 가스방출이 신속히 이루어져야만 화재진압이 용이하기 때문에 조정기의 재질 개선이 필요하며, 화재모의시험 전과정을 통하여 용기나 조정기에서의 폭발현상은 관찰되지 않았는데, 이는 LPG 용기의 밸브를 개방시킨 상태에서 안전밸브와 착화된 호스로 LP 가스가 방출되어, 용기내의 과압이 적절히 방출되었기 때문이다. 특히 전도에 의한 조정기의 폭발위험성을 평가하였을 때 시험 결과 특정 회사의 제품에 손상이 집중되는 것으로 나타나 제품 불량에 대한 대책마련이 요구되며 제품성능개선을 통한 안전성 확보가 시급한 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 한국가스안전공사, 가스사고 연감, 1977-1996
2. KS B 6213 압력 가스용 압력조정기
3. 97년도 가스사고 모의실험 결과보고서, 한국가스안전공사, 1997.
4. LPG용 압력 조정기의 폭발 위험성 평가 및 표준화 연구 (II), 국립기술품질원, 1998