



## 특수가스용기용 밸브의 안전성에 관한 실험적 연구

김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터  
(2013년 4월 1일 투고, 2013년 6월 25일 수정, 2013년 6월 25일 채택)

### Experimental Study on the Safety of a Valve for a Special Gas Cylinder

Chung Kyun Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology  
Hongik University, Seoul 121-791, Korea

(Received April 1, 2013; Revised June 25, 2013; Accepted June 25, 2013)

#### 요약

본 연구에서는 특수가스용기용 밸브의 안전성에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 시험용 밸브는 특수가스용기에 부착되었던 것을 무작위로 수거한 것으로 가스누출 및 작동 안전성에 대한 시험을 실시하였다. 실험결과에 의하면, 밸브의 몸체, 나사 체결부, 안전판, 방출구, 스템부, 핸들에서 가스누출 안전성에 영향을 미칠 정도의 크랙, 마모, 부식, 변형이 발생하지 않았다. 다만, 핸들의 페인트 일부가 벗겨지고, PT나사와 몸체에서 녹이 국부적으로 형성되어 있지만, 가스누출 안전성에 영향을 미칠 정도는 아니었다. 또한, 탈거한 밸브에서 가스누출은 발생되지 않았다. 다만, 밸브스템의 영구변형과 오링의 마찰표면 일부에서 손상이 관찰되었다. 따라서, 탈거된 밸브의 가스누출 안전성을 보장하기 위해서 밸브시트와 오링 교체하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 또한, 핸들의 조임력을 주기적으로 점검하는 것이 필요함을 알 수 있었다.

**Abstract** - This paper presents an experimental study on the safety of a valve for a special gas cylinder. The test valves that were randomly dismantled from the special gas cylinder were experimented on the gas leakage and operation safeties. The crack, wear and deformation of the valve body, screw thread, safety disk, vent hole, stem and handle components that may affect to the gas leakage safety of a used valve were not found in this experimental study. A painted handle of a valve was partly stripped from the coated surface, and the surface of PT screw of a used valve body was rusted. But, these paint and rust problems do not affected to the gas leakage safety of used valves. And there was no gas leakage in the dismantled valve, and the permanent deformation and partial scars of a valve stem and O-rings were observed on the rubbing surfaces. Thus, the valve seat and O-rings are recommended to be replaced for a gas leakage safety of a dismantled valve. And it is necessary to repair and inspect handle fastening forces for a safe opening and closing operations of a valve.

**Key words** : special gas cylinder, gas leakage, valve, o-ring, valve stem, thread

#### 1. 서론

가스는 일상생활에서 연료로 많이 사용하기 때문에 친숙하다. 산업용 가스는 제품을 제조하는 공정

에 반드시 필요한 가스이며, 산업체에서 사용하는 특수가스에는 수소, 아세틸렌, 공기, 냉매가스, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, He, Ar, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O 등이 대표적이다.

특수가스를 안전하게 저장하기 위한 용기는 높은 충전압력에도 충분히 견딜 수 있는 강도와 기밀 안전성을 확보해야 한다. 또한, 특수가스용기에 산업용 가스를 안전하게 충전하고 방출하기 위해서는 개

<sup>†</sup>Corresponding author: cckim\_hongik@nate.com

Copyright © 2013 by The Korean Institute of Gas

폐용 밸브를 사용한다. 밸브는 특수가스의 종류와 사용압력에 따라 밸브 몸체의 두께, 패킹과 오링의 밀봉소재와 안전판과 같은 안전장치를 다르게 설계하고 있다.

밸브의 안전성은 황동소재의 강도, 특히 패킹이나 오링의 밀봉성과 내구성에 의존한다. 밸브는 사용기간에 따라 밀봉성이 급격하게 약화되는 밀봉소재의 탄성변형 내구성 때문에 가스누출 안전성을 안전하게 유지할 수 있도록 밀봉소재의 선정과 최적설계를 중요하게 다루어야 한다[1-2].

밸브몸체의 균질한 강도안전성을 확보하기 위해 밸브 제조사는 3차원 단조기를 비롯한 생산설비의 첨단화와 자동화를 추진한 결과 제품의 생산성과 강도안전 내구성을 안정적으로 확보하였다. 또한, 밸브몸체의 가공정밀도와 품질관리 수준을 업그레이드 하면서 밸브제품의 품질은 크게 향상되어 선진국 제품과 동등 이상의 구조 안전성을 유지하고 있다.

그러나, 밸브의 가스누출에 직접적으로 영향을 미치는 밸브시트와 오링에 대한 품질안전 내구성은 선진국에 비해 뒤지는 것으로 나타났다[3]. 특히, 밸브의 성능에 큰 영향을 미치는 밀봉설계기술, 소재 성형기술 등에서 애로를 겪고 있다.

따라서, 본 실험적 연구에서는 특수가스용기에 부착하여 사용하던 밸브를 무작위로 수거하여 가스누출 시험평가 및 작동검사를 통해 밸브의 기밀성과 안전성을 분석하였다.

## II. 시험장치 및 시험방법

Fig. 1에서 보여준 시험장치는 각종 압력용기에 부착된 차단용 밸브의 가스누출 안전성을 시험하기

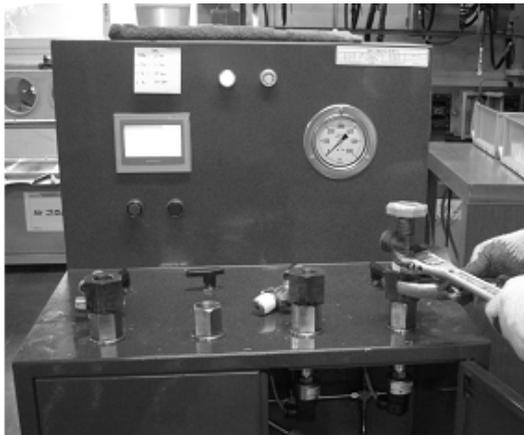


Fig. 1. Valve tester for a high pressure cylinder.

위한 것으로 공기나 질소가스를 사용하여 밸브의 스템부, 시트부, 나사부의 가스누출 여부를 검사할 수 있다.

밸브의 가스누출 안전성을 시험하기 위해서는 밸브몸체에 표시된 시험압력을 가하고, 비눗물로 나사체결부, 방출구, 스템부, 몸체에 충분히 도포한 상태에서 실험을 수행한다. 밸브에서 발생하는 가스누출 여부는 비눗물에 의해 육안으로 감지할 수 있지만, 시험장치에 부착된 압력계의 변동에 따른 가스누출 여부를 판단할 수도 있다.

본 실험에 사용한 가스누출 시험평가 안전기준은 한국가스안전공사의 KGS AA311[4], KGS AA316[5]를 준용하여 기밀실험을 수행하였다.

## III. 밸브구조 및 시험용 밸브

특수가스용기용 밸브는 황동소재를 단조하여 강도 및 기밀 안전성을 확보하고, 용기와 체결하기 위해 밸브의 하단부에는 PT나사를 형성하고, 중단부에는 가스를 충전하거나 방출하기 위한 연결구를 설치하고, 연결구보다 약간 아래쪽에는 가스폭발 안전성을 확보하기 위한 안전판을 설치하고, 상단부에는 가스유동 개폐를 위해 폴리머 시트가 장착된 스템과 핸들을 설치한 구조로 Fig. 2에서 분해한 부품을 보여주고 있다.

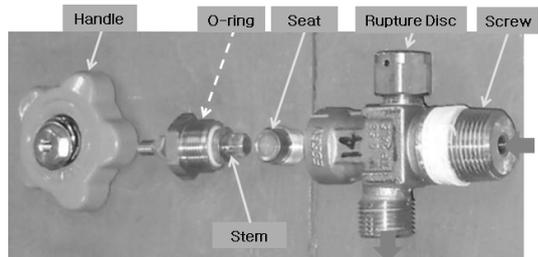


Fig. 2. Valve components for a special gas.



Fig. 3. Used valve samples for a leakage test pressure from 20 to 200bar.

Fig. 3은 특수가스용기에 부착하여 사용하였던 밸브를 수거하여 실험에 사용한 밸브를 보여주고 있다. 본 실험에서는 대표적인 밸브 59개에 대한 가스누출 안전성과 외관, 작동성에 대한 시험평가를 수행하였다.

#### IV. 시험결과 및 고찰

가스누출 안전성 시험평가에 사용한 밸브는 모두 59개이고, 특수가스용기로부터 탈거한 밸브의 개수는 특수가스의 종류에 따라 Table 1에서 제시하고 있다. 밸브에 대한 가스누출 안전성 검사는 외관검사와, 사용가스의 종류에 따라 달라지는 밸브의 최고충전압력을 공급한 상태에서 기밀 안전성을 평가하였다.

또한, 밸브의 작동성능을 점검하기 위해 최고충전압력을 가한상태에서 밸브를 열거나 닫아서 핸들을 비롯한 스템 구동부의 작동성을 평가하였다.

##### 4.1. 외관검사

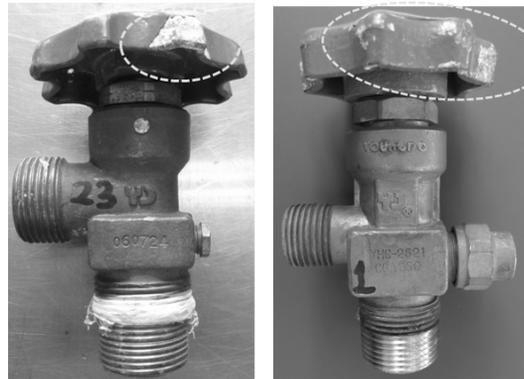
특수가스용기에서 탈거한 밸브의 손상에 따른 안전성을 점검하기 위해 외관검사를 다음과 같이 실시하였다.

- 1) 몸체부에 부식, 결함, 변형, 크랙 등이 형성되어 있는지에 대한 외관검사
- 2) 나사부에 대한 스크래치, 변형, 크랙, 마모, 이물질 응착 등이 발생되었는지에 대한 외관검사
- 3) 스피들과 핸들의 손상이나 변형 등에 의해 정상적인 개폐조작이 가능한지에 대한 외관검사
- 4) 파열판에 대한 외관검사
- 5) 가스통과 유동구, 나사부, 작동 연결부 등에 이물질이 부착되거나 막힘 흔적에 대한 외관검사

여러 가지 특수가스용기에 부착되어 사용하였던 밸브를 수거하여 실시한 외관검사에서는 기능적 안전성에 직접 영향을 미칠 수 있는 정도의 문제점이 나타나지는 않았다. 그렇지만, 수거된 밸브에서 특징적으로 나타난 외관검사 결과는 핸들과 많은 관련이 있었다. 즉, 특수가스용기에 접합한 페인트 색깔

의 밸브를 설치하여 시각적으로 안전성을 나타내고 있다. Fig. 4(a)에서 보여준 것처럼 페인트가 부분적으로 벗겨진 사례가 59개의 밸브에서 9건이나 발견되었다. 이것은 무작위로 수거된 밸브의 15%에 해당하는 것으로 비교적 높게 나타났으나, 밸브의 색깔을 구분하기에는 큰 무리가 없어 보인다.

밸브의 핸들에 도색된 페인트 컬러에 따른 더 큰 문제점은 밸브의 색깔에 따라서 특수가스용기에 정확하게 부착하여 사용해야하지만, 밸브의 구조가 동일하기 때문에 현장에서는 특수가스에 적합한 밸브의 색깔을 사용하지 않고 밸브의 색깔이 다른 밸브를 사용하는 경우가 발견되기도 하였다. 이런 경우는 특수가스와 밸브의 핸들에 표시된 색깔이 다르기 때문에 특수가스의 안전한 사용을 보장할 수 없다는 문제점이 제기되었다. 따라서 특수가스의 종류에 따른 밸브의 체결구조를 서로 다르게 설계하여 밸브의 유통안전을 시스템적으로 확보하는 것이 중요함을



(a) Cracked paints



(b) Rust scales

Fig. 4. Damaged handle and rusted screw.

Table 1. Numbers of used valves for a special gas cylinder

H <sub>2</sub>	이산화탄소	아세틸렌	NH <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	He	Ar	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	냉매가스	공기	기타
9	6	6	6	5	5	5	3	3	2	2	1	6

알 수 있다.

또한, 밸브의 몸체, 특수가스용기나 호스에 체결하여 사용하기 위한 연결부에서 관찰된 부식이나 나사산의 손상은 3건으로 전체 시험밸브의 5%에 해당한다. 이들 부식손상의 대부분은 나사 체결부를 벗어난 부위로 부식성 가스나 오염물질에 많이 노출되었거나, 밸브의 탈부착 과정에서 정상적인 체결력과 체결방법을 준수하지 않아 나선이 손상된 경우로 판단된다.

#### 4.2. 기밀시험

Fig. 5는 밸브의 가스누출 안전성을 시험하기 위해 밸브에 질소가스를 충전하고 비눗물로 밸브의 몸체와 나사 체결부, 방출구, 안전판, 스템부에 고르게 도포한 시험편을 보여주고 있다.

Fig. 6에서는 밸브의 몸체와 연결부 모두에서 발생할 수 있는 가스누출을 검사하기 위해 각 부분에 대해 정밀한 관찰을 진행하였다.

실험결과에 의하면, 밸브시트 모두에서 가스누출은 관찰되지 않았다. 이것은 밸브의 몸체에서 크랙이나 중대한 결함이 없다는 것이고, 밸브의 개폐에 따른 기밀을 담당하는 밸브시트의 작동이 정상적이고, 밸브 스템부에 설치한 오링은 핸들의 회전조작에 따른 밀봉성을 유지하고 있으며, 안전판의 기밀성도 안전하게 작동하였다는 것을 의미한다.

실험에서 제시한 결과처럼 밸브의 몸체는 황동단

조로 제작하기 때문에 밸브를 일정기간 사용해도 내부결합이나 크랙 등이 발생할 가능성은 낮아 탈거한 밸브를 재사용해도 문제점은 없을 것으로 예상된다. 그러나, 밸브의 기밀성을 담당하는 밸브시트와 오링은 탄성중합체를 사용하기 때문에 일정기간 사용하면 소재의 시효경화와 탄성저동 내구성이 급격하게 떨어지는 특성을 갖기 때문에 문제의 소지가 많다. 본 실험처럼 시험평가를 수행한 시점에서 기밀성을 유지한다 해도 향후의 기밀 안전성을 지속적으로 보장하는 것은 아니다. 따라서 기존에 사용하였던 밸브를 재사용하기 위해서는 밸브시트와 오링을 모두 교체하는 것이 밸브의 가스누출 안전성을 확보하는 지름길이다.

또한, 용기에 부착되어 사용하였던 밸브시트나 오링의 접촉 운동부에는 마모나 미세크랙이 형성된 경우와, 특히 이물질이 혼입된 경우는 가스 유동구나 밀봉 접촉 운동부에 대한 세정작업을 통해 밸브의 재사용에 따른 품질안전 내구성 저하를 방지해야 신품과 동등한 정도의 가스누출 안전성을 확보할 수 있다.

밸브시트의 마찰접촉 밀봉표면에 대한 Fig. 7의 분석결과에 의하면, 마찰 접촉면에 형성된 원형의 영구변형 자국은 분명하게 형성되어 있으나, 특별한 결함이 발견되지는 않았다. 이러한 영구변형 자국은 밸브시트가 황동 시트링과 반복적으로 접촉하는 개폐 과정에서 강한 압축력을 받아 발생한 영구변형이다.



Fig. 5. Sprayed bubbles on the valve structure for a leak test.

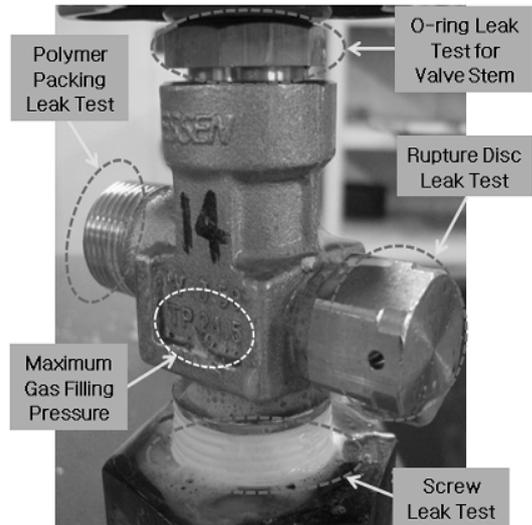


Fig. 6. Leakage test result on the body, screw, valve seat, O-ring and rupture disc with maximum gas filling pressures.

비록 밸브시트에 원형의 영구변형 자국이 형성되어 있지만, 내구성이 우수한 밀봉소재를 사용하는 밸브에서 가스누출은 발생하지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 7에서 첫 번째와 두 번째의 경우는 가공불량 또는 부식 등에 의해 표면에 약간의 요철상태가 발생한 사례를 보여주고 있다. 그렇지만, 황동으로 제조한 시트링과 접촉하는 원형마크와의 압착력이 높기 때문에 가스누출은 어렵다. 다만, 마찰접촉 마킹부에 우연히도 이물질이 부착된다면 가스누출은 불가피하게 발생될 것이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 밸브의 탈부착 과정 및 용기내부의 부식에 의해 형성된 마모입자를 잘 세척하면 안전하게 사용할 수 있다.

Fig. 8은 밸브스텝의 그루브에 오링을 삽입하고 핸들을 작동할 때 축방향의 가스누출을 차단하도록 조립한 것을 보여준다. 여기서 오링은 외경부에 손상을 받아 그리스와 마모입자, 먼지 등과 같은 이물

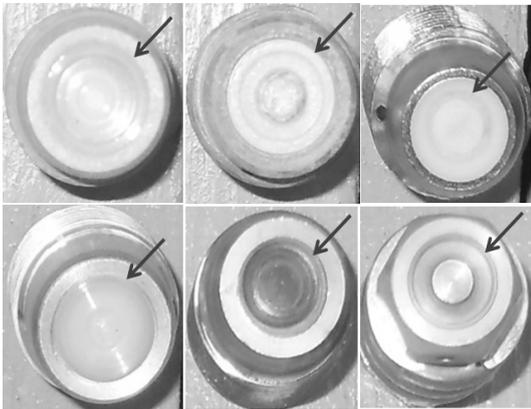


Fig. 7. Typical sealing mark of a polymer valve seat.



Fig. 8. Damaged O-ring in a valve stem.

질이 함께 엉켜진 모습을 보여주고 있다. 대부분의 오링은 핸들의 구동력과 고압가스에 의해 뒤틀림변형이나 압출변형이 발생되면서 가스가 누출되는 경우가 많다.

Fig. 8은 손상된 오링을 보여준 사례이지만, 탈거한 밸브에 대한 가스압력 시험평가에서 가스누출은 발생되지는 않았다. 이런 경우 밸브에 장착하여 이미 사용하였던 오링을 그대로 사용하느냐 하는 문제에 직면하게 되는데, 고압가스를 다루는 위험한 용기에서는 신형 밸브 및 재활용 밸브를 지속적으로 사용하면 가스누출은 불가피하게 발생하므로 이들 밀봉부품을 모두 교체하는 것이 바람직하다.

결국, 용기에 부착되어 사용하였던 밸브를 재사용하고자 할 경우는 오링과 같은 밀봉부품의 교체와 모든 이물질 제거하기 위한 세정작업을 수행하는 것은 밸브의 재사용에 따른 기밀 안전성을 확보하는 지름길이다.

### 4.3. 작동성능검사

밸브의 작동 안전성은 시험압력을 가한상태에서 밸브의 핸들을 열고 닫을 때 이상 유무를 검사하는 것이다. 즉, 밸브의 핸들을 조작하는 과정에 비정상적인 저항력, 공진, 흔들림 등이 감지되지 않아야 하고, 핸들의 원활한 회전성을 보장해야 안전한 밸브라 할 수 있다.

Fig. 9는 핸들과 스텝부의 체결 형태를 보여준 대표적인 사례이다. 본 실험결과에 의하면 스텝의 상단부에 형성된 수나사에 너트로 체결한 구조의 Fig. 9(a)에서는 핸들의 유격현상이 발견되지 않았다. 그러나, Fig. 9(b)의 체결 메커니즘처럼 스텝의 상단부에 형성된 암나사에 작은 볼트로 체결한 경우는 유격이 발생하여 공진되는 현상이 많았다. 이러한 현상의 발생은 결국 밸브시트의 밀봉작용을 보장할 수 없다는 것으로 밸브의 가스누출 가능성은 높아진다. 따라서, 스텝과 핸들의 체결방식을 Fig. 9(a)처럼 비교적 큰 너트로 체결할 수 있도록 설계하면 핸들의 유격현상은 발생하지 않을 것이고, 이러한 설계는 밸브시트의 밀봉성을 강화시켜주는 효과를 기대할 수 있다.



(a) Nut type

(b) Bolt type

Fig. 9. Screw types of a handle.

## V. 결론

특수가스용기용 밸브 59개에 대한 가스누출 및 작동 안전성 시험평가를 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

### (1) 외관검사

특수가스용기에 부착하였던 밸브를 수거하여 외관검사를 실시한 결과에 의하면 밸브몸체, 나사 체결부, 안전판, 방출구, 스템, 핸들 등에서 가스누출 안전성에 영향을 미칠 정도의 크랙, 마모, 부식, 변형 등은 발견되지 않았다. 다만, 핸들에 칠한 페인트가 일부 벗겨지고, PT나사와 몸체에서 녹이 국부적으로 형성된 정도가 관찰되었다. 이 결과는 밸브의 가스누출 안전성에 영향을 미칠 정도는 아니었다.

### (2) 가스누출

밸브에서 가스누출이 발생할 가능성이 높은 부품은 밸브몸체, 밸브시트, 오링 등이지만, 이들 부품을 통한 가스누출은 발생되지 않았다. 다만, 스템부에 장착된 일부 오링에서 손상이 관찰되었다. 또한, 모든 밸브시트의 접촉면에서 영구변형 자국이 형성되었지만, 이것으로 인해 가스누출이 직접 발생한 사례는 없었다. 이 결과가 탈거한 밸브의 가스누출 안전성을 확고하게 보장하는 것이 때문에 내구 안전성 측면에서 밸브시트와 오링 모두를 교체하는 것이 바람직하다.

또한, 밸브의 반복적인 개폐작동과, 탈부착 과정에서 마찰접촉 운동부에 혼입된 이물질과 가스압력 변동에 따른 밀봉소재의 압출변형, 핸들의 작동과 압력변동에 따른 오링의 뒤틀림 변형은 가스누출 가

능성을 항상 열어놓고 있다. 따라서, 밀봉부품에 대한 최적설계와 밀봉소재에 대한 신뢰성 기반 품질안전 경향관리가 중요함을 예상할 수 있다.

### (3) 작동 안정성

밸브의 안전한 개방과 차폐는 밸브시트에 연결된 스템과 핸들, 이것들을 하나의 몸체로 체결하는 나사부의 체결력에 의해 결정된다. 본 실험결과에 의하면, 검사한 밸브에서 재사용하기 어려울 정도로 문제점이 제기된 밸브는 없었다. 다만, 밸브의 빈번한 작동에 의해 약해진 너트의 조임력에 의한 유격이나 흔들림은 관찰되었다.

## 참고문헌

- [1] Chung Kyun Kim and Do Hyun Kim, "Numerical Study on the Leakage Safety of O-rings for a LPG Cylinder Valve", J. of the KIGAS, **11**(2), 37~42, (2007)
- [2] Chung Kyun Kim and Kyoung Seok Oh, "Optimization Design of a Gas Valve for a LPG Cylinder Using a Taguchi's Experimental Method", J. of the KIGAS, **10**(4), 23~28, (2006)
- [3] Chung Kyun Kim, Byung Kwan Lee, and Tae Hwan Kim, "Experimental Investigation on Cracks and Defects of a Valve Sealing Components for a LPG Cylinder," J. of the KIGAS, **11**(1), 23~28, (2007)
- [4] KGS AA311, (2009)
- [5] KGS AA316, (2009)