



## 가스밸브의 강도안전성에 관한 연구

†김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터  
(2017년 9월 7일 접수, 2018년 2월 19일 수정, 2018년 2월 20일 채택)

## A Study on the Strength Safety of a Gas Valve

†Chung Kyun Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology  
Hongik University, Seoul 121-791, Korea  
(Received September 7, 2017; Revised February 19, 2018; Accepted February 20, 2018)

### 요약

본 연구에서는 LPG 용기용 가스밸브의 강도안전성에 대한 FEM 해석결과를 제시하고 있다. FEM 해석결과에 의하면, 가스밸브가 완전히 열린 상태에서 3.5 MPa의 공급압력을 적용하였을 때, 안전밸브와 나사의 상단부 사이의 경계 지역에서 발생한 von Mises 최고응력은 99.2 MPa로 나타났다. 99.2 MPa라는 von Mises 최고응력은 황동소재의 항복강도에 비해 낮은 값으로 충분히 안전한 결과이다. 이 경우에, 압력조정기의 상측 오른쪽에서는 최대 변위량 0.002mm가 발생하였다. 최대로 변형된 이 지역은 가스밸브에 설치된 오링이나 다이어프램과 같은 밀봉 부분이 아니므로 의미를 부여할 필요는 없다. 기존의 개폐식 밸브와 압력 조정기를 일체형으로 형성하여 제시한 하이브리드형의 가스밸브 모델은 LPG 용기용으로 가스누출이 없는 메커니즘과 최소로 단순화시킨 크기의 가스모델로 추천된다.

**Abstract** - This paper presents the FEM analysis results on the strength safety of a gas valve for a LPG cylinder. Based on the FEM analysis, the maximum von Mises stress on the boundary zone between a safety valve and the upper area of the thread is 99.2 MPa for the supplied gas pressure of 3.5 MPa in which the gas valve is fully opened. The maximum von Mises stress of 99.2 MPa is considered as safety value, because that value is lower than the yield stress of a brass material. In this case, the maximum deformation at the upper right part of the pressure regulator is 0.002mm. The maximum deformation zone is not a meaning part of the sealing part such as an O-ring or a diaphragm of a gas valve and a pressure regulator. The proposed hybrid gas valve model in which is integrated with a conventional cut-off valve and a pressure regulator is recommended as a gas leakage free mechanism and minimized compact size for a LPG cylinder.

**Key words** : gas valve, LPG cylinder, LPG pressure regulator, stress and displacement, FEM

### 1. 서론

차단기능형의 LPG 용기용 밸브는 LPG 용기의 상단부에 체결되어 저장된 LP가스 연료를 사용하기 위해 안전하게 방출하고, 용기에 저장된 LP가스가 없으면 다시 충전하여 사용하는 구조의 차단밸브이다. 또한, LPG 용기에서 저장된 연료를 연소기

기에 공급하기 위해서는 가스조정기를 사용하여 항상 균일한 공급압력을 유지해야 안정되게 연소할 수 있다.

LPG 용기용 밸브에 대한 연구는 차단기능형 밸브[1]가 개발되면서 처음 시작되었고, 그 후로 용기용 밸브에 대한 연구[2,3]가 거의 없었고, 아직까지 신제품 개발도 전무한 실정이다.

차단기능형의 용기용 밸브에 가스조정기를 체결하는 과정에 가스누출을 차단하기 위해 사용하는 오링의 조립 불량으로 밀봉이 불완전하거나, 또는

†Corresponding author:ckkim\_hongik@naver.com  
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

사용기간이 오래 경과되어 NBR 소재의 탄성변형 거동성이 약화되면서 가스누출이 발생한다. 실제로 밸브와 가스조정기의 연결부에서 발생하는 가스누출로 인한 사고가 많이 발생하였고, 그동안 밀봉 메커니즘의 안전성 문제점에 대한 지적이 많았다 [4,5].

따라서 본 연구에서는 차단기능형 용기용 밸브와 가스조정기의 체결방식을 일체형으로 개선한 새로운 가스밸브에 대한 강도안전성을 유한요소법으로 해석한 기본적 연구를 수행하였다.

## II. 하이브리드형의 가스밸브

본 연구에서 고려한 하이브리드 타입의 가스밸브는 하단부에 LPG 용기용 밸브를 설치하고, 상단부에 가스조정기를 일체형으로 형성한 구조이다.

가스밸브의 하단부에 설치된 용기용 밸브에는 LPG 용기와 나사로 체결하기 위한 3/4" 수나사를 형성하고, 상기 수나사의 상측 연장선 좌측에는 안전밸브를 설치하여 LPG 용기에 저장된 가스압력이 급격하게 상승할 경우 발생하는 용기폭발을 방지하기 위한 구조이다. 또한, 상기 안전밸브의 우측에는 LPG 용기로 유출입하는 LP가스를 개폐하기 위한 스템과 스프링 축을 가스밸브의 몸체에 내장한 핸들 조립체 구조이다.

또한, LPG 용기용 밸브의 상단부 중심축을 따라서 형성된 가스조정기는 연소기기의 종류에 따라 가스공급압력을 균일하게 조정할 수 있도록 가변식의 다이어프램 압력 조정장치를 설치한 하이브리드 타입의 일체형 가스밸브 구조를 대상으로 강도안전성을 고찰하였다.

본 연구에서 개발한 하이브리드형의 가스밸브는 LP가스의 유출입을 담당하는 용기용 밸브와 방출가스의 압력을 항상 균일하게 유지하는 가스조정기를 중심축에 배열함으로써 기존방식 대비 LPG 용기에 장착된 밸브 및 조정기의 무게중심 균형을 맞추기가 용이하다. 또한, LPG 용기에 연료를 충전하기 위한 가스조정기의 탈부착 공정도 없어서 연결부 축소에 따른 밀봉안전을 확보하기가 용이하고, 충전효율을 높일 수 있다.

## III. 사용소재 및 해석조건

본 연구에서는 Fig. 1에서 제시한 하이브리드형의 가스밸브 구조물에 대한 강도안전성을 유한요소법으로 해석하기 위해 밸브의 소재는 황동 C3604, 가스압력 조정기의 소재는 알루미늄 2014를 각각

사용하였다. 이들 소재에 관련된 물리적 특성치는 Table 1와 2에서 각각 제시한다.

FEM 강도안전성에 관련된 응력과 변형거동 특성은 가스압력 0.5 MPa의 저장상태에서 가스밸브를 정상적으로 사용하는 경우와, 최고의 가스압력 3.5 MPa를 공급하여 가스밸브의 강도안전성을 검토한 두 가지 경우에 대해 해석하였다.

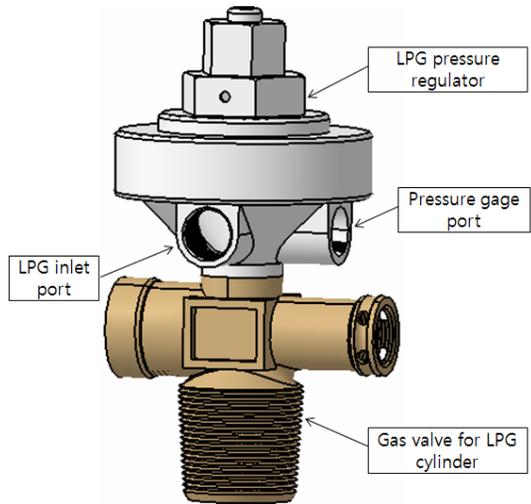


Fig. 1. Gas valve model for a LPG cylinder.

Table 1. Mechanical properties of brass, C3604

Properties	Values
Elastic modulus, MPa	110
Tensile strength, MPa	450
Yield strength, MPa	300
Poisson's ratio	0.32

Table 2. Mechanical properties of aluminium, Al2014

Properties	Values
Tensile strength, MPa	185
Yield strength, MPa	97
Poisson's ratio	0.33

LPG 용기용 가스밸브에 대한 내압시험 강도안전성 검사기준은 KGS AA213[6]에 따른다. 이 기준에서 가스밸브에 가해지는 최고의 내압이 3.0 MPa인 점을 고려하여 가스밸브에 대한 응력 및 변형거동 안전성 해석에 사용한 최저압력은 0.5 MPa이고, 최고압력은 3.5 MPa에 대하여 FEM 해석을 수행하였다.

#### IV. 해석결과 및 고찰

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 가스밸브에 공급한 압력을 밸브 및 가스조정기 구조물에 공급하여 사용하는 가스압력이 0.5 MPa이거나, 또는 가스밸브의 조립체가 최대한 안전하게 견디어야 하는 최고 가스압력이 3.5 MPa일 때의 강도안전성을 고찰하기 위해 유한요소법으로 해석하였다.

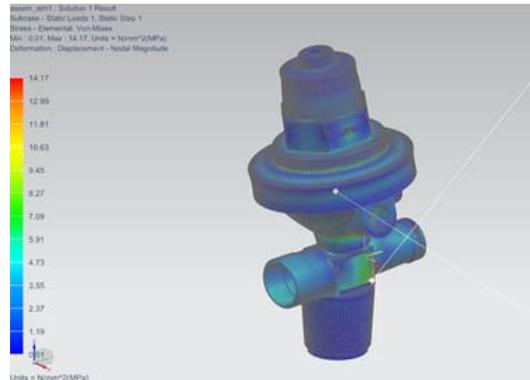
Fig. 2의 FEM 해석결과에서는 가스밸브를 완전히 열어준 상태에서 가스밸브의 모든 구조물 내부에 가스압력 0.5 MPa를 공급하였을 때 발생하는 응력분포와 변형거동 특성을 보여주고 있다. 가스밸브에 0.5 MPa의 가스압력을 공급하였을 때 작용하는 von Mises 최대응력은 Fig. 2(a)에서 보여준 14.2 MPa이고, 이 응력은 체결 나사의 상단부와 스템이 설치되는 밸브몸체의 연결지점 인근에서 발생한 것으로 나타났다. 여기서 가스밸브 구조물에 형성된 최대응력 14.2 MPa는 황동소재의 항복강도 대비 약 4.7% 수준으로 대단히 안전한 경우이고, 상대적으로 과도한 설계라 할 수 있다.

또한, Fig. 2(b)에서 제시한 최대 변위량은 가스조정기의 상단부 우측부근에서 0.012 mm 정도 발생하는 것으로 나타났다. 이 변위량은 가스조정기에서 다이어프램이나 오링을 설치한 밀봉부에서 발생된 것이 아니므로, 가스밸브 구조물은 안전한 것으로 판단된다.

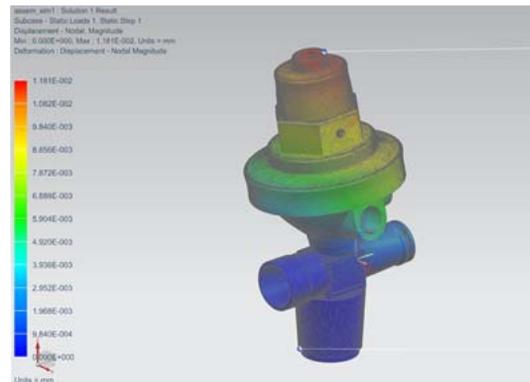
또한, 가스밸브를 열어둔 상태에서 밸브 및 가스조정기에 가장 높은 가스압력 3.5 MPa를 공급하였을 때 발생한 von Mises 최대응력은 99.2 MPa, 그리고 최대 변위량은 0.08 mm로 각각 해석되었다. 여기서 가스밸브의 몸체에 형성된 von Mises 최대응력 99.2 MPa는 항복강도 대비 33.1%로 0.5 MPa의 가스압력을 공급하였을 때보다 7배나 증가하였지만, 아직도 황동소재의 강도에 비해 안전한 범위에 있다 할 수 있다. 가스밸브에 형성된 0.08 mm의 최대 변위량은 적지 않은 수치이지만, 이들 변위량이 가스누출과 관련된 오링이나 다이어프램이 설치된 밀봉부위 또는 나사 체결부에서 발생된 것이 아니므로 안전하다.

Fig. 3의 FEM 해석결과는 가스밸브를 완전히 닫은 상태에서 가스밸브의 유입구에 최고의 가스압력 3.5 MPa를 공급하였을 때 발생한 응력분포와 변형거동 특성을 보여주고 있다. Fig. 3(a)에서 나타난 von Mises 최대응력 35.8MPa는 가스방출을 위한 안전장치와 나사를 연결하는 부근에서 높게 발생하였다. 이 결과에서 가스밸브 구조물에 형성된 최대응력 35.8 MPa는 황동소재의 항복강도 대비 약 12% 수준으로 대단히 안전하고, 응력강도 측면에서는 과도한 설계에 해당된다.

Fig. 3(b)에서 보여준 최대 변위량은 가스조정기의 상단부 우측 부근에서 0.002 mm 정도 발생하였다. 이러한 변위량은 가스조정기의 내부에 설치된 다이어프램과 같은 밀봉부에서 발생된 것이 아니므로 안전하다.

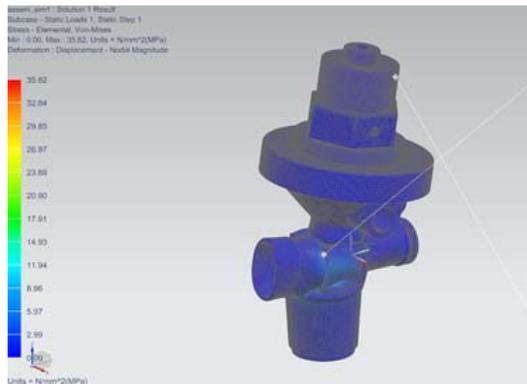


(a) von Miss stress distribution

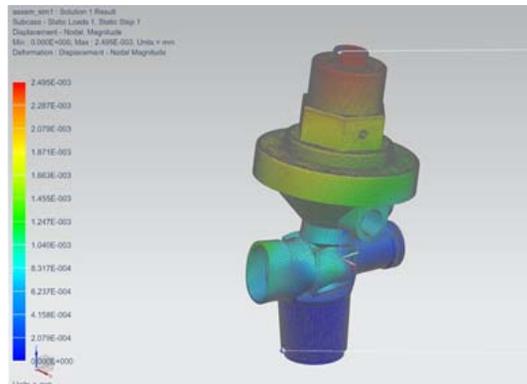


(b) Displacement distribution

Fig. 2. Stress and displacement distributions of a opened gas valve body for the maximum gas pressure of 0.5 MPa.



(a) von Miss stress distribution



(b) Displacement distribution

**Fig. 3.** Stress and displacement distributions of a closed gas valve body for the maximum gas pressure of 3.5 MPa.

또한, 가스밸브를 완전히 닫은 상태에서 가스밸브의 유입구에 가스압력 0.5 MPa를 공급하였을 때의 발생한 von Mises 최대응력은 5.1 MPa, 그리고 최대 변위량은 0.35 $\mu$ m로 각각 나타났다. 이들 해석결과에 의하면, 0.5 MPa의 가스압력을 가스밸브에 적용해도 충분히 안전한 데이터이다.

따라서 본 연구에서 고려한 Fig. 1의 해석모델은 가스밸브를 닫거나 열어둔 상태에서 공급된 가스압력 0.5 MPa~3.5 MPa에서는 충분히 안전하므로, 향후에는 가스밸브의 두께를 줄인 경량화, 가스유출 입구 및 위치배열에 대한 설계변경을 통해 강도안전을 높이면서 응력분산 최적설계에 대한 연구가 필요하다.

## V. 결론

본 연구에서는 그동안 제기된 가스누출 및 강도저하 문제를 해결하기 위해 LPG 용기용 밸브와 가스정압기를 일체형으로 설계한 새로운 하이브리드형의 가스밸브를 개발하였고, 이 가스밸브에 대한 강도안전성을 FEM으로 해석하였다.

가스밸브의 몸체에 최고의 가스압력 3.5 MPa를 공급한 상태에서 해석한 von Mises 최대응력은 99.2 MPa로 높게 나타났지만, 이 데이터는 항복응력의 33.1% 수준으로 충분히 안전하다할 수 있다. 또한, FEM으로 해석한 최대 변위량 0.08 mm은 가스조정기의 상단부 우측 부근에서 발생하였으나, 최대 변위량 지점은 가스조정기에서 다이어프램이나 오링처럼 밀봉을 담당하는 부분이 아니므로 안전한 해석결과이다.

본 연구에서 제시한 하이브리드형의 가스밸브에 대한 FEM 해석결과에 의하면, 응력이나 변형거동 안전성 측면에서 우수한 설계라 할 수 있다.

## REFERENCES

- [1] Young-Gyu Kim, Boo-Gil Kwoon, Ji-Youn Kim, "Development of LPG Cylinder Valve with Self-closing Function", Proceeding of 2006 Energy, Gas and Climate Change Joint Conference, pp. 129, (May 26, 2006)
- [2] C.K. Kim, "A Study on the Strength Safety of Valve Structure for LPG Cylinder", J. of KIGAS, Vol. 18, No. 6, pp. 27-31, (2014)
- [3] C.K. Kim, "Design Study of Automatic Cut-off Horizontal Valve for a LPG Cylinder", J. of KIGAS, Vol. 19, No. 6, pp. 80-84, (2015)
- [4] D.I., Cho, "Very Dangerous Gas Leakage at the Screw Part of LPG Cylinder", Today Energy Newspaper, (2016.05.02.)
- [5] G.C., Park, "Failure Cause and countermeasures of o-rings for LPG pressure regulator?", Gas Newspaper, (2017.02.28.)
- [6] KGS AA312, (2015)