



가스밸브의 변형거동 안전성에 관한 유한요소해석

†김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터
 (2017년 3월 13일 접수, 2017년 7월 23일 수정, 2017년 7월 24일 채택)

Finite Element Analysis on the Deformation Behavior Safety of a Gas Valve

†Chung Kyun Kim

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology
 Hongik University, Seoul 121-791, Korea
 (Received March 13, 2017; Revised July 23, 2017; Accepted July 24, 2017)

요약

본 연구에서는 차단기능형 수평식 가스밸브와 기존 수직식 가스밸브의 변형거동 안전성을 FEM으로 해석하였다. FEM 해석결과에 의하면, 차단기능형 수평식 가스밸브의 나사부와 가스방출구에 가스내압이 작용할 때 밸브몸체의 우측 끝단부에서 최대 변형량 $4.4\mu\text{m}$ 가 발생하였다. 두 번째로 큰 변형량 $2.9\mu\text{m}$ 는 안전밸브가 설치된 포트의 끝단부에 형성된 것으로 나타났다. 이렇게 작은 변형량이 발생한 것은 나사부, 가스방출구, 스템 및 스피들 축이 장착되는 포트, 안전밸브 포트로 구성되는 수평식 가스밸브의 평형이 잘 이루어지도록 설계되었기 때문이다. 반면에 나사부와 가스방출구에 가스내압이 작용할 때, 기존 차단기능형 수직식 가스밸브의 상단부에서 최대 변형량 0.076mm 가 형성된 것으로 나타났다. 가스유출구의 좌측 끝단부에서 두 번째로 큰 최대 변형량 0.055mm 가 발생하였다. 이러한 변형량은 차단기능형 안전장치의 그루브에 삽입된 오링의 밀봉간극에 영향을 미칠 가능성이 높다. 따라서 본 연구에서는 LPG 용기용 가스밸브의 가스누출을 완벽하게 차단할 수 있는 메커니즘을 갖춘 차단기능형 수평식 가스밸브가 수직식 가스밸브에 비해 우수하다할 수 있다.

Abstract - This paper presents the FEM analysis results on the deformation behavior safety of automatic cut-off horizontal and conventional vertical gas valves. Based on the FEM analysis, the primary maximum deformation of $4.4\mu\text{m}$ was formed on the right end side of a valve body when the internal gas pressure was supplied on the screw port and gas discharge port of an automatic cut-off horizontal gas valve. And the secondary maximum deformation of $2.9\mu\text{m}$ was formed on the end side of safety valve port. This small deformation of an automatic cut-off horizontal gas valve is strongly related to the balanced design of a horizontal gas valve main body, which is composed of a screw part, gas outlet port, port for a stem and spindle shaft assembly, and safety valve port. But, the primary maximum deformation of 0.076mm was formed on the upper part of a conventional automatic cut-off vertical gas valve when the internal gas pressure was supplied on the screw port and gas discharge port. And the secondary maximum deformation of 0.055mm was formed on the left end side of a gas outlet port. This may effect on the sealing clearance of o-ring that is inserted on the groove of an automatic cut-off unit. Thus, this paper recommends an automatic cut-off horizontal gas valve compared with that of a conventional gas valve for a gas leakage free mechanism of a LPG cylinder valve.

Key words : gas valve, automatic cut-off horizontal gas valve, vertical gas valve, deformation, fem

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

I. 서론

LPG 용기에 저장된 LP가스를 연소기기에 안전하게 공급하거나 차단하기 위해서는 개폐식의 차단기능형 가스밸브를 사용한다.

LPG 용기용 가스밸브에서 차단기능을 구비한 가스밸브는 우리나라에서 처음 개발[1]하여 보급한 한국형 모델로 외국에서는 차단기능형 가스밸브가 없다.

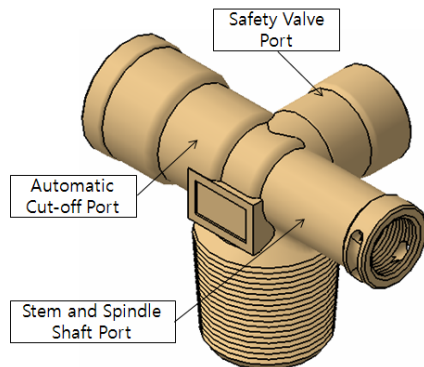
그동안 LPG 용기용 가스밸브에 대한 연구가 거의 없었던 것은 외국 제품을 그대로 모방하여 제작하였기 때문이다. 또한, 우리나라에서는 유독 LPG 용기에 관련된 고의적인 가스사고가 많이 발생하였기 때문에 차단기능형의 수직식 가스밸브가 개발되었고, 이에 대한 강도 안전성을 해석한 사례[2]가 한건 있을 뿐이다.

또한, LPG 용기용 가스밸브의 전고를 낮춰 용기의 전도나 외부충격 때문에 밸브가 파손될 경우, 급격한 가스누출 폭발사고를 방지할 수 있는 수평식의 가스밸브[3]가 개발되었다. 현상에서는 가스밸브의 가스누출 차단 안전성을 높이거나 편의성을 부가한 신기술 개발보다는 저가형의 단순기능 밸브제품을 선호하기 때문에 기술개발 수요가 없어 가스밸브에 대한 연구가 없는 실정이다.

본 연구에서는 기존의 수직식 가스밸브 대비 새로이 개발한 차단기능형 수평식 가스밸브의 변형거동 안전성을 FEM으로 해석하고자 하였다.

II. 차단기능형 수평식 가스밸브

차단기능형 수평식 가스밸브는 가스유출입구의 내경부에 고압호스를 나사로 체결하면 차단기능형



(a) Main valve body

안전장치가 자동으로 열려서 외부가스의 유입과 내부가스의 유출을 허용하는 구조이다. 또한, 고압호스를 가스유출입구로부터 분리하면, 열렸던 차단기능형 안전장치는 스프링에 의해 닫히면서 오링에 의한 기밀성이 확보된다.

수평식 가스밸브에서 가스유출입구의 반대편에는 밸브몸체의 시트부에 압착되어 밀봉작용을 하는 디스크 패킹이 인서트 사출로 접합된 스템, 이 스템과 키 홈으로 조립되어 핸들의 회전토크를 전달해주는 스펀들 축이 일직선으로 연결한 구조가 차단기능형 수평식 가스밸브이다.

Fig. 1에서 보여준 차단기능형 수평식 가스밸브는 LPG 용기의 상단부에 형성된 네크링에 3/4" PT 나사로 체결된다. 여기서 가스밸브 수평부의 일직선을 따라 좌측 끝단부에는 가스유출입구, 우측 끝단부에는 스펀들 축과 조립된 핸들이 배열되어 있고, 이들 수평부와 직각으로 꺾어진 수직 하방향에는 3/4" PT나사가 형성되어 LPG 용기의 네크링에 체결된다.

III. 해석모델 및 해석조건

Fig. 2에서는 수평식 가스밸브 몸체의 변형거동 특성을 고찰하기 위해 사용한 절단형상의 해석모델을 보여준다. 여기서 차단기능형 안전장치가 설치되는 가스유출입구의 내경부를 10~10.8mm로 변화시켜가면서 변형거동 안전성을 FEM으로 해석하였다.

LPG 용기용 가스밸브에 대한 내압시험 강도안전성 검사기준은 KGS AA213[4]에 따른다. 이 기준에서 가스밸브에 가하는 최대가스내압이 3.0MPa인 점을 고려하여 가스밸브에 대한 변형거동 안전성을 0.5~3.5MPa에 대하여 해석하였다.



(b) Assembled automatic cut-off valve

Fig. 1. Horizontal gas valve for a LPG cylinder.

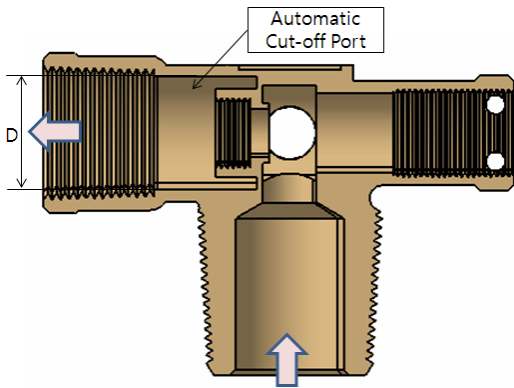


Fig. 2. Cross sectional area for a main valve body.

Table 1. Mechanical properties of brass, C3771

Properties	Values
Elastic modulus, MPa	110
Tensile strength, MPa	98.1
Yield strength, MPa	145
Poisson's ratio	0.35

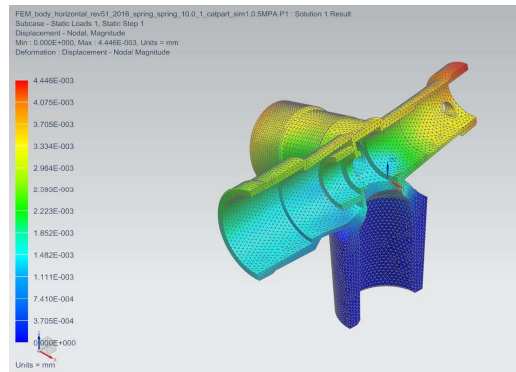
본 연구에서 사용한 유체는 LPG 연료이다. 또한, 차단기능형 가스밸브를 제조하기 위해 사용한 황동 소재의 기계적 특성은 Table 1에서 보여준 데이터로 KS D 5101[5]에 제시되어 있다.

IV. 해석결과 및 고찰

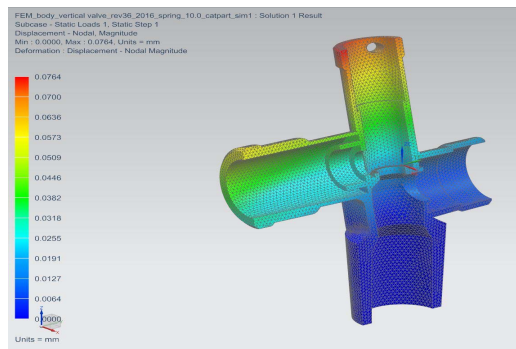
가스밸브는 가스내압에 의해 발생된 응력강도보다 렌치를 사용하여 압력용기에 PT나사로 체결할 때 과도한 토크 체결력으로 인해 파손되는 경우가 많다. 따라서 밸브몸체의 강도 안전성은 이점을 고려하여 설계하지만, 토크하중에 대한 규정을 엄격하게 지키도록 교육하는 것도 중요하다.

가스밸브에서 토크 체결력이 직접적으로 영향을 미치지 않으면서 경량설계가 가능한 지역은 Fig. 2에서 보여준 직경 D의 지역이다. 이곳에 조립되는 차단기능형 안전장치의 핵심부품인 슬라이더의 외주면에는 오링을 조립하여 LP가스의 축방향 누출을 차단하도록 설계되어 있다.

본 연구에서는 차단기능형 안전장치를 설치한



(a) Horizontal valve



(b) Vertical valve

Fig. 3. Deformation distributions of horizontal and vertical valve bodies for the maximum gas pressure, 3.5MPa of FEM analysis model 1.

가스유출입구의 내경부 직경 D를 10~10.8mm로 변화시켜가면서 설계할 때, 가스압력 변동에 따른 변형거동 안전성을 유한요소법으로 해석하였다.

Fig. 3에서는 수평식 가스밸브와 수직식 가스밸브에서 가스유출입구 D=10mm인 해석모델에 가스내압 3.5MPa이 나사부의 내경부와 가스유출입구에 작용한다고 가정할 때(FEM 해석모델 1), 밸브몸체의 변형거동 특성을 보여주고 있다.

수평식 밸브몸체에 대한 변형거동 특성을 보여준 Fig. 3(a)의 해석결과에 의하면, 최대 변형량은 밸브몸체의 중심에서 가장 멀리 떨어진 오른쪽 끝단부, 즉 스템과 스프링 축이 설치된 밸브몸체 포트에서 최대 변형량 4.4 μ m가 발생하였다. 또한, 수평식 가스밸브에서 두 번째로 큰 변형량 2.9 μ m는 안전밸브가 설치된 밸브몸체 포트에 형성된 것으로 나

타났다.

반면에 동일한 작동조건을 적용한 상태에서 수직식 밸브몸체의 변형거동 해석결과를 보여준 Fig. 3(b)에 의하면, 최대 변형량은 밸브몸체의 상단부 끝단에서 0.076mm가 발생하였고, 이것은 수평식에 비해 17.2배나 큰 변형량이다. 또한, 수직식 가스밸브에서 두 번째로 큰 변형량 0.055mm는 가스유출입구에서 발생한 것으로 나타났다.

FEM 해석결과에 의하면, 수평식 가스밸브는 나사부, 가스유출입구, 스템 및 스프링 축 장착 포트, 안전밸브 포트가 구조적으로 평행이 잘 형성되도록 설계되었기 때문에 작은 변형량이 발생한 것으로 나타났다. 반면에 수직식 가스밸브는 나사부와 스템 및 스프링 축 장착 포트가 일직선으로 배열되어 있지만, 가스유출입구와 안전밸브 포트는 편심되게 설

계되어 가스압이 공급되면 굽힘 모멘트가 크게 작용하는 구조이다. 따라서 수직식 가스밸브에 공급된 가스압력이 높을수록 변형거동에 따른 강도 안전성은 취약해질 수밖에 없다.

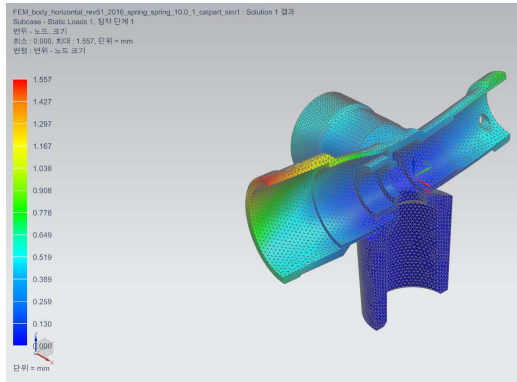
특히, 수직식 가스밸브에서 발생하는 최대 변형량은 차단기능형 안전장치의 슬라이더 외주면에 형성된 그루부에 삽입된 오링의 밀봉성에 미치는 영향이 크다는 것이다. 실제로 수직식 가스밸브의 차단기능형 안전장치에 관련된 가스누출사고가 발생하였다[6,7].

Fig. 4에서는 최대압력 3.5MPa이 밸브몸체에 모두 작용한다고 가정할 때(FEM 해석모델 2), 수평식 밸브몸체와 수직식 밸브몸체의 변형거동 특성을 각각 보여준다. 수평식 밸브몸체에 대한 변형거동을 보여준 Fig. 4(a)에 의하면, 최대 변형량은 왼쪽 끝단부에 위치한 가스유출입구에서 1.557mm가 발생하였다. 이렇게 큰 최대 변형량이 실제로 발생한다면, 차단기능형 안전장치에 설치된 오링의 밀봉간극에 영향을 미쳐 가스누출이 발생할 가능성이 매우 높다. 다행이도 실제의 작동조건에서는 3.5MPa의 가스내압이 밸브몸체에 모두 작용하지 않기 때문에 문제가 되지는 않는다. 다만, 가스밸브를 LPG 용기에 체결할 때 과도하게 가해지는 순간토크에 의해 최대 변형량이 발생할 수는 있다.

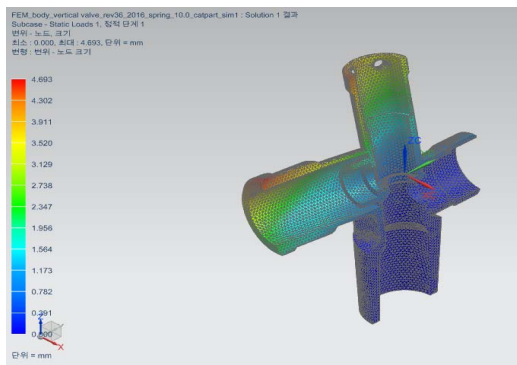
또한, Fig. 4(b)에서는 수평식 가스밸브와 동일한 작동조건을 적용하여 수직식 밸브몸체의 변형거동 해석결과를 보여주고 있다. 이때 최대 변형량은 밸브몸체에서 핸들과 체결되는 상단 끝단부에서 4.69mm라는 큰 변형량이 발생하였다. 이것은 수평식 가스밸브 몸체의 최대 변형량에 비해 3배나 높은 변형량으로 대단히 위험한 수준이다.

Fig. 4의 해석결과에서 보여준 것처럼 가스내압을 밸브몸체 모두에 적용한 해석모델 2의 경우는 수평식 가스밸브와 수직식 가스밸브에서 최대 변형량이 대단히 높게 발생하는 것으로 나타났다. 이렇게 큰 변형량이 밸브에서 실제로 발생한다면, 오링의 밀봉간극이 크게 벌어져 가스누출사고는 발생한다. 따라서 본 연구에서 고려한 해석모델 2의 경우는 가스밸브의 두께를 더 두껍게 설계하든지 아니면 가스내압을 낮추어 사용해야 안전하다.

Fig. 5(a)는 수평식 가스밸브의 FEM 해석모델 1, 즉 가스내압 0.5~3.5MPa이 나사부와 가스유출입구에 작용한다고 가정할 경우, 변형거동 특성을 FEM으로 해석한 결과이다. 여기서 차단기능형 안전장치가 설치된 가스유출입구의 직경이 D=10mm에서 10.8mm로 증가할 경우, 수평식 가스밸브의 우측 끝단부에 형성되는 최대 변형량은 가스밸브에 작용

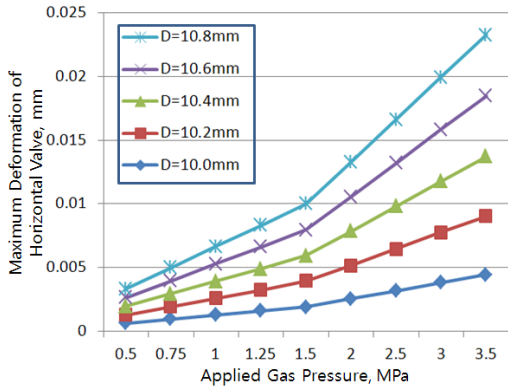


(a) Horizontal valve

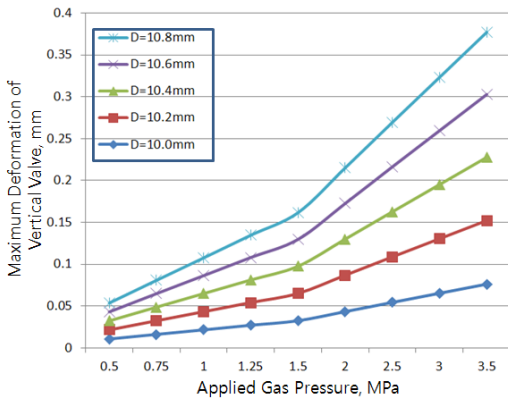


(b) Vertical valve

Fig. 4. Deformation distributions of horizontal and vertical valve bodies for the maximum gas pressure, 3.5MPa of FEM analysis model 2.



(a) At the right end part of a spindle zone, horizontal valve

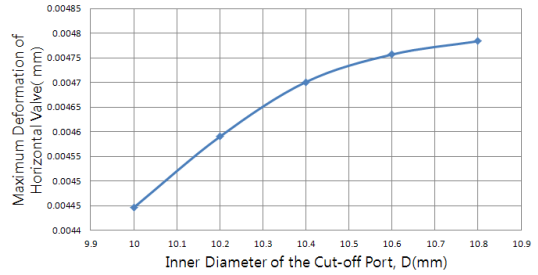


(b) At the left end part of an outlet port zone, vertical valve

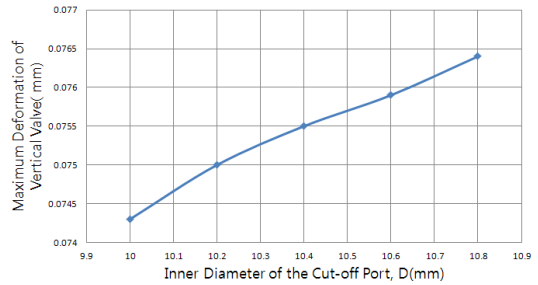
Fig. 5. Maximum deformations of horizontal and vertical valve bodies for various inner diameters.

하는 가스내압이 1.5MPa를 넘어서면서 약간 가파르게 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 가스밸브의 직경이 10.8mm이고, 가스압력이 3.5MPa 정도로 높게 작용해도 스템과 스템들 축이 설치되는 밸브 몸체의 끝단부에 형성된 나사부의 최대 변형량이 0.024mm로 예측되었기 때문에 나사부의 체결기능에 미치는 영향은 거의 없을 것으로 판단된다.

Fig. 5(b)에서는 수평식 가스밸브와 동일한 작동 조건을 수직식 가스밸브에 적용하였을 때, 발생한 최대 변형량을 해석한 결과이다. 가스유출입구의 직경을 D=10~10.8mm로 증가하였을 때, 최대 변형량은 수직식 가스밸브의 상단 끝단부에서 발생하는 것으로 나타났다. 가스밸브의 직경이 10.8mm이고, 가스압력이 3.5MPa로 높을 경우, 발생한 최대 변형



(a) For horizontal valve



(b) For vertical valve

Fig. 6. Maximum deformations of horizontal and vertical valve bodies at the inner diameter of the cut-off port for a gas pressure of 3.5MPa.

량은 0.38mm로 밸브몸체의 상단부에 형성된 암나사가 스템부에 형성된 수나사와 맞물려 작동할 때 마모가 발생할 우려가 높다.

Fig. 6에서 3.5MPa로 가장 높은 가스내압이 작용할 경우, 차단기능형 안전장치가 설치된 가스유출입구의 직경 D가 커질수록 최대 변형량은 증가하는 것으로 나타났다. 수평식 가스밸브에서는 가스유출입구의 직경이 커질수록 최대 변형량은 가파르게 증가하다가 직경 D=10.4~10.6mm에 도달하면 최대 변형량 증가가 둔화하는 현상을 보여준다. 따라서 수평식 가스밸브에서 가스내압이 3.5MPa 정도로 높게 작용하면 10.4~10.6mm 정도에서 가스유출입구의 직경을 설계할 수 있지만, 실제로는 이보다 낮은 가스내압에서 작동하므로 10.8~11.0mm로 설계해도 변형거동 안전성에서는 문제가 없을 것으로 예측된다.

또한, 수직식 가스밸브에서 가스유출입구의 직경 D가 커질수록 최대 변형량은 가파르게 증가하다가 직경 D=10.6mm 정도에 도달하면 최대변형 증가량

이 둔화되는 현상을 보여준다. 따라서 수직식 가스밸브에서 가스내압이 3.5MPa로 높게 작용한다면 10.6mm 정도에서 설계하는 것이 좋다. 그러나 실제의 가스내압은 이보다 낮게 작용하므로 10~10.2mm로 설계하는 것이 변형거동 안전성 측면에서 문제가 없을 것이다.

Fig. 6의 해석결과에서 예측되는 것처럼 수평식 가스밸브에서 발생한 최대 변형량은 밸브몸체의 우측 끝단부이다. 여기서 발생한 최대 변형량은 스템의 외주면에 조립된 오링의 밀봉간극에 영향을 미치지 못하기 때문에 안전한 구조라 할 수 있다.

반면에 수직식 가스밸브에서 발생한 최대 변형량은 스프링 축과 핸들을 스크루에 의해 체결된 위치로 스크루의 체결력에 영향을 미칠 수 있다. 또한, 가스유출입구의 끝단부에서 발생한 변형량은 차단기능형 안전장치의 슬라이더 외주면에 조립된 오링의 밀봉간극에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 구조적인 문제점으로 지적된다.

따라서 동일한 가스내압을 수평식 및 수직식 가스밸브에 적용하였을 때 수직식보다는 수평식 가스밸브의 설계구조가 변형거동 안전성 측면에서 더 유리하다는 것을 본 연구를 통해 알 수 있다. 가스밸브에서 변형량이 작게 발생한다는 것은 오링의 기밀성 확보에 긍정적이라는 의미이다.

V. 결론

본 연구에서는 차단기능형 수평식 가스밸브와 기존 수직식 가스밸브의 변형거동 안전성을 FEM으로 해석한 결과를 상대적으로 비교·고찰하였다.

수평식 가스밸브에 가스내압이 작용할 때 밸브몸체의 우측 끝단부에서 최대 변형량 4.4 μ m가 발생하였고, 두 번째로 큰 변형량 2.9 μ m는 안전밸브가 설치된 포트에 형성되었다. 이렇게 작은 변형량이 발생하는 것은 나사부, 가스 유출입구, 스템 및 스프링 축의 장착 포트, 안전밸브 포트에 구성되는 수평식 가스밸브의 구조가 평형되도록 잘 설계되었기 때문이다.

반면에 기존의 수직식 가스밸브에서는 밸브몸체

의 상단 끝단부에서 최대 변형량 0.076mm가 발생되었다. 또한, 가스유출입구에서 발생한 최대 변형량 0.055mm는 차단기능형 안전장치에 설치된 오링의 밀봉간극 변화에 영향을 미칠 정도로 크기 때문에 수직식 가스밸브의 밀봉내구 안전성이 상대적으로 떨어지는 것으로 나타났다.

수평식 가스밸브에서 가스유출입구의 직경이 증가할수록 최대 변형량은 가파르게 늘어나지만, 직경 D=10.4~10.6mm에 도달하면 둔화하는 현상을 나타낸다. 반면에 수직식 가스밸브에서는 가스유출입구의 직경 D가 증가할수록 최대 변형량은 지속적으로 증가하는 현상을 보여주고 있다.

후 기

이 논문은 2016학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었습니다.

REFERENCES

- [1] Young-Gyu Kim, Boo-Gil Kwon, 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] KGS AA213, (2014)
- [5] KS D 5101, (2015)
- [6] D.I., Cho, "Very Dangerous Gas Leakage at the Screw Part of LPG Cylinder", Today Energy Newspaper, (2016.05.02.)
- [7] G.C., Park, "Countermeasure for Leaking Self-closing LPG Cylinder Valve?", Gas Newspaper, (2016.04.20.)