



퓨즈콕 밸브의 강도안전성에 관한 수치적 연구

†김청균

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터
(2015년 7월 31일 접수, 2015년 9월 1일 수정, 2015년 9월 2일 채택)

Numerical Study on the Strength Safety of a Fuse Cock Valve

†Chung Kyun Kim

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

(Received July 31, 2015; Revised September 1, 2015; Accepted September 2, 2015)

요 약

본 연구에서는 퓨즈콕 메인몸체에 대한 강도안전성을 유한요소법으로 해석하였다. 볼밸브와 퓨즈콕 안전장치 연결부 사이에 형성되는 ㉠지역의 두께를 변화시켜가면서 응력과 변위량에 대한 거동특성을 고찰하였다. FEM 해석결과에 의하면, 퓨즈콕에 공급된 가스압력이 1.5~3.5MPa일 때 ㉠지역에 대한 최적의 두께는 1.55mm~1.6mm 정도인 것으로 나타났다. 이 결과는 퓨즈콕의 메인몸체에 작용하는 강도안전성과 경량화를 고려한 최적치라 할 수 있다.

Abstract - In this paper, the strength safety of a fuse cock main body has been analyzed by the finite element method. The stress and displacement behaviour characteristics have been investigated for thickness variations at the region of ㉠ between a ball valve and a fuse cock safety connector. The FEM analyzed results recommend that the optimized thickness at the region of ㉠ is from 1.55mm to 1.6mm for the supplied gas pressure of 1.5~3.5MPa. This is considered for the optimized strength safety and light weight of a fuse cock main body.

Key words : fuse cock, valve, strength safety, stress, displacement, FEM

1. 서 론

퓨즈콕(fuse cock)은 배관과 연소기 사이에 설치되어 가스의 공급을 허용하거나 차단하는 일종의 개폐장치이다. 퓨즈콕의 한쪽은 가스를 공급하는 강제 배관에, 다른 한쪽은 연소기에 연결되는 고무호스에 끼워서 사용하기 때문에 중간밸브라고도 한다.

퓨즈콕 메인몸체의 중간부에는 볼밸브를 설치하여 가스의 공급을 차단하는 역할을 담당한다. 반면에 가스가 정상적으로 공급되는 중간에 고무호스가 빠지거나 절단되어 규정량 이상의 가스가 외부로 방출되는 긴급 상황에는 퓨즈장치의 앞쪽에 설치된 플

라스틱 반구형 컵이 유로구를 일시적으로 막아서 가스공급을 차단한다.

퓨즈콕은 볼밸브에 퓨즈장치를 접목한 개폐식 안전장치로 과도하게 공급되는 가스량, 즉 가스압력차로 플라스틱 반구형 컵을 이동시켜 가스유동을 차단함으로써 안전성을 확보하는 밸브이다. 퓨즈콕의 사용은 고무호스나 배관의 손상에 의한 가스의 유출과, 이에 따른 가스폭발 및 화재사고를 예방할 수 있다는 점에서 사용량이 증가하고 있다.

따라서 가스 연소기에서는 과류에 의한 사고발생을 사전에 차단하기 위해 우리나라에서도 퓨즈콕을 필수적으로 설치하지만, 제품에 대한 강도안전 및 기밀안전, 경량화 등에 대한 연구가 진행된 사례는 거의 없다[1]. 국내에서 퓨즈콕을 생산하는 업체의 대부분은 원천기술을 보유한 일본의 제품을 유사하게

†Corresponding author:ckkim_hongik@naver.com
Copyright © 2015 by The Korean Institute of Gas

모방하여 공급하고 있으며, 신기술을 자체적으로 개발한 사례는 없다.

본 연구에서는 퓨즈콕의 메인몸체에 대한 강도안전성을 기존의 퓨즈콕 모델과, 이의 두께를 수정하여 경량화를 추구한 퓨즈콕 모델을 대상으로 고찰하였다. 퓨즈콕의 메인몸체에 가스를 공급하여 강도안전성을 FEM으로 해석하였다.

II. 퓨즈콕

퓨즈콕은 Fig. 1에서 보여준 것처럼 가스의 유동을 허용하거나 차단하기 위한 개폐용 볼밸브, 규정량 이하의 가스유량은 통과시키지만 규정량 이상의 가스는 플라스틱 반구형 캡에 의해 유동구를 막아주도록 설치한 퓨즈장치, 연소기로 연결하기 위한 호스 연결장치로 구성된다. 볼밸브, 퓨즈장치, 호스연결장치의 작동성을 확보해주고, 가스압력을 감당하기 위한 퓨즈콕의 메인몸체는 강도안전성을 확보할 수 있도록 단조용 황동소재를 사용한다.

퓨즈콕에 작용하는 하중용량은 공급되는 가스압력에 의해 결정되며, 볼밸브와 퓨즈장치의 밀봉 기능성을 감안한 경량화 제품개발은 원가절감의 핵심이다.

퓨즈콕은 사용하는 가스연료와 가스압력에 따라 LPG용과 도시가스용으로 구분된다. 가스유출에 관련된 퓨즈콕의 과류차단 기능은 가스의 공급유량과 공급압력에서 차이가 발생할 때 작동한다. 퓨즈콕의 과류차단 기능은 가스배관의 길이에 따른 유동저항에 의해 압력차가 발생하므로, 퓨즈콕에 연결되는 고무호스 길이를 가능한 짧게 설치할 것이 바람직하다.

Fig. 1은 기존에 사용하는 대표적인 퓨즈콕으로 볼밸브와 퓨즈장치가 설치되는 사이의 소재는 두껍고, 다른 부분에서의 두께는 상대적으로 얇게 설계한 것이 특징이다.

또한, Fig. 2는 기존의 퓨즈콕 메인몸체에서 강도안전성을 확보하면서 경량화를 추구하기 위해 설계한 해석모델을 보여주고 있다. 본 연구에서는 퓨즈콕 메인몸체의 강도안전성에 관련된 응력과 변위량의 거동특성을 해석하기 위해 Fig. 2에서 보여준 ㉠ 지역의 두께를 1.55~5.55mm까지 바꾸어가면서 해석하였다.

III. 해석조건

3.1 해석모델 및 사용소재

Fig. 2에서 보여준 기존의 퓨즈콕 메인몸체에 공급된 가스압력에 의해 내압이 걸리면서 나타나는 강

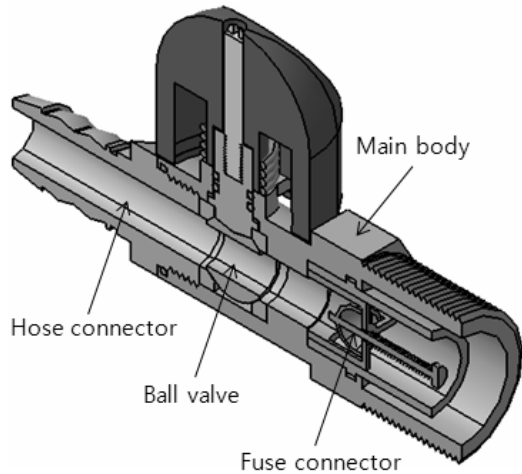


Fig. 1. Fuse cock valve assembly.

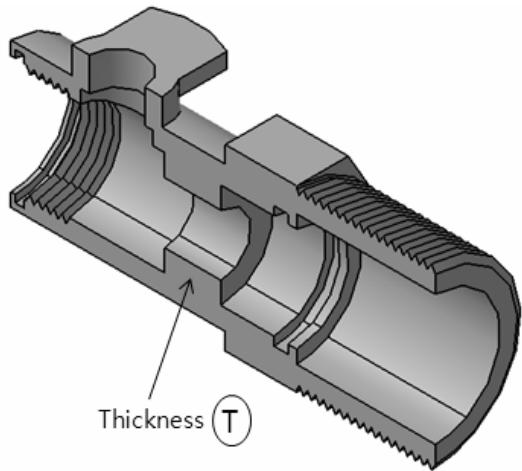


Fig. 2. Typical fuse cock main body.

Table 1. Mechanical properties of brass, C3771

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

도안전성을 유한요소법[2]으로 해석하였다. 퓨즈콕 메인몸체의 특징은 굴곡이 없는 일직선 구조에 가스를 공급하기 때문에 변형거동 특성은 단순할 것으로 예상된다.

본 연구에서 사용한 유동체는 LP가스이고, 이에 적합한 소재는 단조용 황동이다. 퓨즈콕을 제조하기 위해 사용한 황동소재의 기계적 특성은 KS D 5101 [3]에서 제시하고 있다.

3.2 하중조건

퓨즈콕의 성능시험에서는 구조물의 강도에 관련된 내압시험과 밀봉장치에 관련된 기밀시험의 두 가지를 체크하는 것이 일반적이다. 퓨즈콕에 대한 강도안전성을 제시한 규정으로는 KGS S AA001[4]이 있다.

본 연구에서는 황동 구조물의 강도안전성을 고려한 최적설계를 수행하기 위해 가스내압시험을 기준으로 유한요소해석을 수행하였다. Fig. 2에서 보여준 퓨즈콕 메인몸체에 대한 강도안전성을 고찰하기 위해 1.5~3.5MPa의 가스압력을 공급하여 응력강도

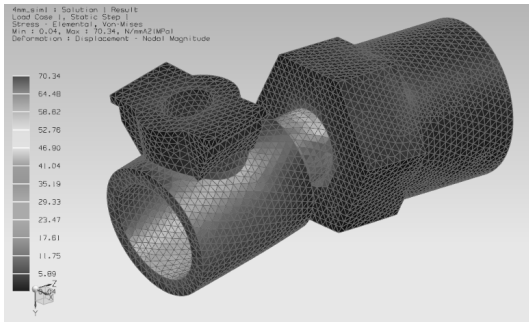
및 변형거동 안전성 연구를 수행하였다.

IV. 해석결과 및 고찰

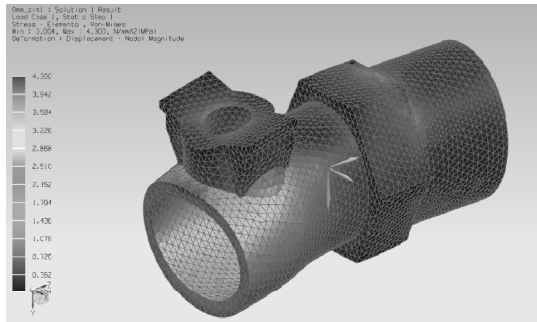
Figs. 3과 4는 퓨즈콕 메인몸체에 3.5MPa의 가스압력을 공급하였을 때 발생한 응력 및 변위량 분포도를 보여준 FEM 해석결과이다.

Fig. 2에서 제시한 기존의 퓨즈콕 메인몸체에 가스압력을 공급하면, 축방향을 따라서 볼밸브와 퓨즈장치가 비대칭 형상으로 배열됨으로 인해 두께의 변화가 큰 ㉠지역에서 높은 응력이 형성되고 있음을 Fig. 3에서 보여주고 있다. Fig. 3에서는 ㉠지역의 두께를 최소 1.55mm와 최대 5.55mm의

두 가지 경우에 예측된 응력분포를 제시하고 있다. FEM 해석결과에 의하면, 퓨즈콕 메인몸체의 두께가 크게 변하는 지역, 즉 ㉠지역에서 최대응력이 걸리므로 퓨즈콕 메인몸체의 두께 변화를 가능한 작도록 설계하는 것이 바람직하다. 그러나 Fig. 3에서 계산된 최대응력은 황동소재의 항복강도 145MPa에 비해 크게 낮으므로 충분히 안전한 것으로 나타났다.

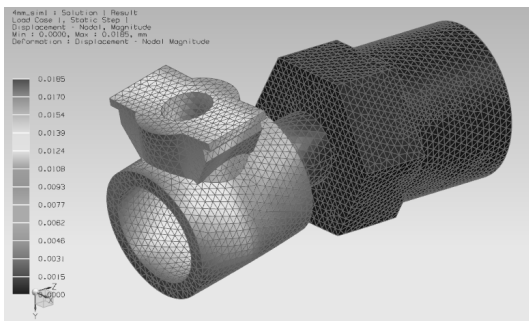


(a) For 1.55mm thickness at ㉠ zone

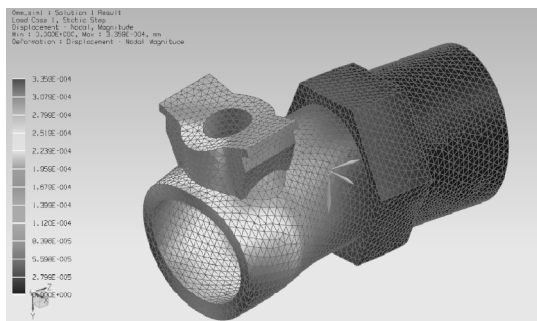


(b) For 5.55mm thickness at ㉠ zone

Fig. 3. Stress distributions of a fuse cock main body.



(a) For 1.55mm thickness at ㉠ zone



(b) For 5.55mm thickness at ㉠ zone

Fig. 4. Displacement distributions of a fuse cock main body.

따라서 퓨즈록 메인몸체의 두께를 좀 더 얇게, 그리고 균등하게 변하는 최적설계를 수행하는 것이 바람직하다.

Fig. 4에서는 3.5MPa의 가스압력을 공급하였을 때 퓨즈록 메인몸체에 작용하는 변위거동 분포도를 보여주고 있다.

Fig. 4의 변형거동 해석결과에 의하면, 볼밸브와 퓨즈장치의 연결부분을 나타내는 ㉠지역에서 응력차가 크게 발생함으로써 인해 퓨즈록 메인몸체의 좌측 끝단부에서 최대변위량이 형성되고 있음을 알 수 있다. 여기서 변위 거동량이 큰 볼밸브의 끝단부에서는 시트링이 설치된 밀봉부를 벗어나 고무호스가 체결되는 위치이기 때문에 최대변위량이 발생해도 퓨즈록의 기능에는 영향을 미치지 않아 안전한 설계조건에 해당된다.

본 연구에서는 볼밸브와 퓨즈장치를 연결하는 ㉠지역의 두께를 변화시켜가면서 퓨즈록의 강도안전성을 고찰한 FEM 해석결과를 Figs. 5와 6에서 제시한다.

Fig. 5는 퓨즈록의 메인몸체에 1.5~3.5MPa의 가스압력을 공급하였을 때 발생한 Von Mises 최대응력을 유한요소법으로 해석한 결과이다. FEM 해석결과에 의하면, 퓨즈록 메인몸체에서 볼밸브와 퓨즈장치 사이의 공간을 나타내는 ㉠지역의 두께를 최소 1.55mm에서 최대 5.55mm까지 증가시켰을 때 Von Mises 최대응력은 급격하게 줄어드는 강도안전성을 보여주고 있다. 즉, 퓨즈록 메인몸체에 공급된 가스압력이 1.5MPa일 때, 메인몸체의 ㉠지역 두께가 1.55mm이면 Von Mises 최대응력은 29MPa이고, 5.55mm이면 6MPa로 79.3%나 급격하게 줄어든 결과를 제시한다.

또한, 퓨즈록 메인몸체에 공급한 가스압력을 3.5MPa로 높였을 때, 메인몸체의 ㉠지역 두께가 1.55mm이면 Von Mises 최대응력은 67.6MPa이고, 5.55mm이면 13.9MPa로 79.4%나 줄어든 결과를 제시한다.

Fig. 5의 해석결과에 의하면, 퓨즈록 밸브몸체에 작용하는 Von Mises 최대응력은 메인몸체의 ㉠지역 두께를 1.55mm에서 5.55mm로 증가시킬수록 급격하게 낮아지는 경향을 보여준다. 본 연구에서 사용한 황동소재의 항복강도가 145MPa인 점을 고려하면, 메인몸체의 ㉠지역 두께가 1.55mm이고 가스압력이 3.5MPa일 때의 Von Mises 최대응력은 67.6MPa로 2.15배로 낮아진다. 반면에 ㉠지역의 두께가 5.55mm이고 가스압력이 1.5MPa일 경우는 24배로 대단히 높게 유지되고 있음을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 고려한 퓨즈록 메인몸체에 가스압력 1.5~3.5MPa를 공급할 때 ㉠지역의 두께는 1.55~1.6mm 정도로 설계하는 것이 강도안전성과 경량화

측면에서 바람직한 설계라 할 수 있다.

Fig. 6은 퓨즈록의 메인몸체에 1.5~3.5MPa의 가스압력을 공급하였을 때 발생한 최대변위량을 유한요소법으로 해석한 결과이다. FEM 해석결과에 의하면, Fig. 2에서 보여준 ㉠지역의 두께를 1.55~5.55mm로 늘렸을 때 발생하는 최대변위량은 급격하게 줄어들지만, 최대 $6.3 \times 10^{-4} \text{mm}$ 를 넘지 않을 정도로 변형거동은 안전하다. 즉, 퓨즈록 메인몸체에 공급된 가스압력이 1.5MPa일 때, 메인몸체의 ㉠지역 두께가 1.55mm이면 최대변위량은 $2.7 \times 10^{-4} \text{mm}$ 이고, 5.55mm이면 $4.3 \times 10^{-4} \text{mm}$ 로 62.8%나 줄어든다.

또한, 퓨즈록 메인몸체에 공급된 가스압력이 3.5MPa로 높였을 때, 메인몸체의 ㉠지역 두께가 1.55mm이면 최대변위량은 $630 \times 10^{-4} \text{mm}$ 이고, 5.55mm이면 $9 \times 10^{-4} \text{mm}$ 로 85.7%나 줄어든 FEM 해석결과를 제시한다.

Fig. 6의 해석결과에 의하면, 퓨즈록 메인몸체에 작용하는 최대변위량은 ㉠지역의 두께를 1.55mm에서 5.55mm로 증가시킬수록 급격하게 줄어드는 경향을 보여준다. 본 연구에서 해석한 최대변위량은 메인몸체의 ㉠지역 두께가 1.55mm이고 가스압력이 3.5MPa일 경우 최대변위량은 $63 \times 10^{-4} \text{mm}$ 로 가장 높게 나타나지만, 두께가 5.55mm이고 가스압력이 1.5MPa일 경우의 최대변위량은 $43 \times 10^{-4} \text{mm}$ 로 가장 낮게 변형되는 거동특성을 보여주고 있다.

Fig. 2와 같은 설계모델에서 발생한 최대변위량은 최대 $63 \times 10^{-4} \text{mm}$ 이하로 제품을 가공하기 어려운 공차범위 이내에 있어 대단히 안정된 설계 데이터라 할 수 있다. 또한, 최대변위량이 발생하는 ㉠지점은 밀봉부나 체결부가 아니기 때문에 퓨즈록의 성능과 강도안전성에도 어떠한 영향을 주지 않는다.

Fig. 7은 Fig. 2에서 보여준 퓨즈록 밸브몸체의 ㉠지역에서 1mm의 최대변위량을 발생시키는데 필요한 퓨즈록 메인몸체의 중량비를 수치적으로 해석한 결과이다. Fig. 7에서는 퓨즈록 메인몸체의 ㉠지역 두께가 5.55mm이고, 가스압력이 3.5MPa일 때는 최대변위량 1mm를 발생시키는데 필요한 중량은 69.5kg으로 무겁지만, ㉠지역의 두께가 1.55mm이고 가스압력이 3.5MPa일 때는 9.5kg으로 86.3%나 상대적으로 가벼워지는 경량화 해석결과를 제시하고 있다.

Fig. 7의 해석결과에 의하면, 메인몸체의 최대변위량 1mm를 발생하는데 필요한 중량은 ㉠지역의 두께가 두꺼울수록, 그리고 공급되는 가스압력이 낮을수록 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 퓨즈록 메인몸체의 ㉠지역 두께가 증가되면서 강도는 높아져 안전성 확보에는 유리하지만, 무게가 많이 나가 원가상승이라는 문제점 때문에 가스공급압력을

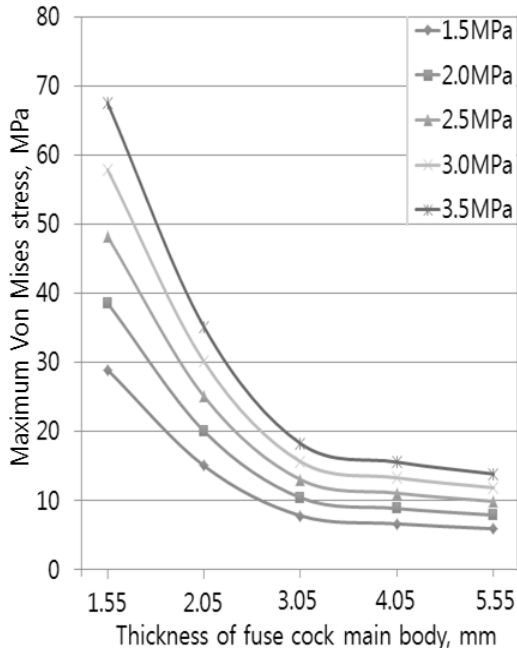


Fig. 5. Maximum Von Mises stress vs thickness of a fuse cock main body for various gas pressures.

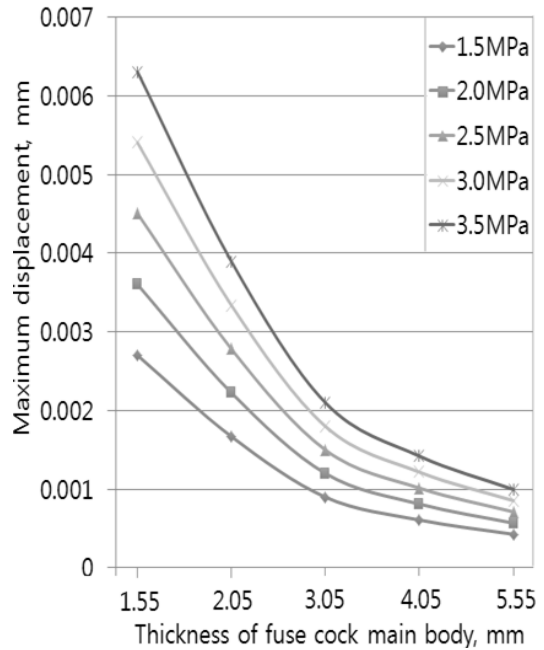


Fig. 6. Maximum displacement vs thickness of a fuse cock main body for various gas pressures.

충분히 견디면서 얇아진 두께의 경량화 설계가 중요함을 알 수 있다. 또한, 퓨즈콕 메인몸체의 ㉠지역 두께가 5.55mm이고, 가스압력을 1.5MPa로 줄였을 때는 최대변위량 1mm를 발생시키는데 필요한 중량이 162kg으로 대단히 무겁지만, 두께가 1.55mm이고 가스압력이 1.5MPa일 때는 22kg으로 86.3%나 가벼워지는 해석결과를 보여주고 있다.

결국 본 연구에서 제시한 Fig. 2와 같은 퓨즈콕에 공급되는 가스압력을 충분히 견디기 위해서는 두께를 두껍게 설계하는 것이 강도안전성에서 유리하지만, 무거워지고 원가가 높아지는 문제점 때문에 강도안전성과 중량을 함께 고려하여 ㉠지역의 두께를 1.55~1.6mm 정도로 설계하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

V. 결론

퓨즈콕 메인몸체에서 볼밸브와 퓨즈장치가 설치된 연결부의 ㉠지역 두께를 변화시켜가면서 가스압력을 공급하였을 때 발생하는 응력과 변형에 대한 강도안전성을 유한요소법으로 해석하였다.

FEM 해석결과에 의하면, 퓨즈콕에 공급되는 가스압력을 충분히 견디기 위해서는 두께를 두껍게 설

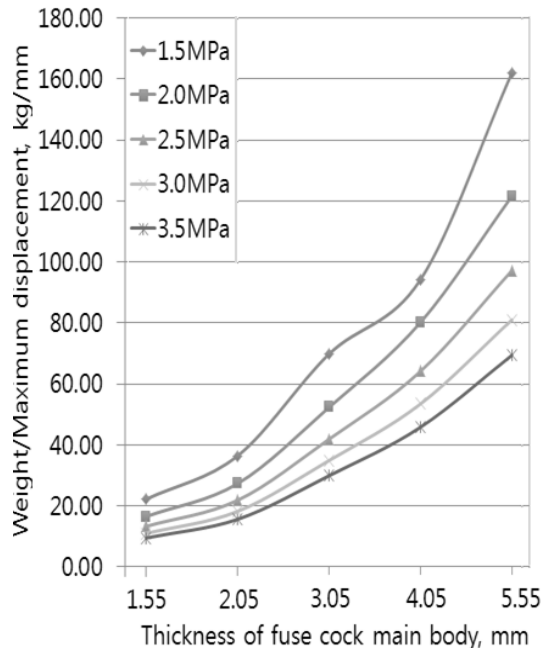


Fig. 7. Weight vs maximum displacement of a fuse cock main body for various gas pressures.

계하는 것이 강도안전성에서 좋지만, 무게가 많이 나가고 원가상승 요인으로 작용하므로, 강도안전성과 중량을 함께 고려할 때 ㉠지역의 두께를 1.55~1.6mm 정도로 설계하는 것이 가장 바람직함을 알 수 있다.

후 기

이 논문은 2015학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었습니다.

REFERENCES

- [1] P.J. Kim, J.S. Park, H.G. Lim, and S.H. Jeong, "Safety Evaluation of a Fuse Cock and Low Pressure Valve with Leak Detecting Function", Proceeding of the Korea Energy Engineering Society, (2007)
- [2] "NX NASTRAN 7.5", (2011)
- [3] KS D 5101, "Copper and Copper Alloy".
- [4] KGS S AA001, "Facilities, Technology, and Inspection of Fuse Cock Manufacturing for Gas Leak Detection", (2014)