

< 학술논문 >

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2016.40.1.081>

ISSN 1226-4873(Print)
2288-5226(Online)

글로브 밸브의 누설방지를 위한 시트 설계 및 유한요소해석[§]

이성호* · 강경아** · 곽재섭*** · 안주은** · 진동현** · 김병탁***

* 선린대학교 제철산업학과, ** 부경대학교 기계공학과, *** 부경대학교 기계설계공학과

New Seat Design and Finite Element Analysis for Anti-Leakage of Globe Valve

Sung Ho Lee*, Gyeong Ah Kang**, Jae-Seob Kwak***, Ju Eun An**, Dong Hyun Jin**
and Byung Tak Kim***

* Dept. of Steel Industry, Sunlin Coll.,

** Dept. of Mechanical Engineering, Pukyong Nat'l Univ.,

*** Dept. of Mechanical Design Engineering, Pukyong Nat'l Univ.

(Received June 8, 2015 ; Revised September 16, 2015 ; Accepted October 27, 2015)

Key Words: Globe Valve(글로브 밸브), Finite Element Method(유한 요소 해석), Self-Supporting Effect(자체 보강 효과), Seat Design(시트 설계), Structural Analysis(구조해석)

초록: 밸브는 배관의 유량을 차단 및 제어하기 위한 장치로서 게이트 밸브, 글로브 밸브, 체크 밸브 등 많은 종류가 사용되고 있다. 그 중 글로브 밸브는 고압력 조건에서의 유량조절이 용이하여 LNG 선박, 증기 배관 등에 사용된다. 본 논문에서는 글로브 밸브의 누설 문제를 구조적으로 해결하기 위해 시트의 형상을 변형하는 방법을 제시하였다. 또한 유한 요소 해석을 통해 각 모델의 응력분포와 변형량을 비교하고 이를 통하여 제안한 모델에 대한 검증을 진행하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 모델에서 원주 방향의 변형이 줄어들고, 누설을 감소시킬 수 있는 Self-supporting 효과를 확인할 수 있었다.

Abstract: The valves used to control or shut off the flow through a pipeline can be divided into many different types, including gate valves, globe valves, and check valves. Globe valves, in particular, have excellent properties, and because they can easily control the flow under high-pressure conditions, they are generally used in LNG ship and steam pipelines. In this paper, a method for changing the shape of a seat was suggested to solve the valve leakage problem from a structural perspective. In addition, the stress distribution and directional deformation were compared for each model. The suggested models were thus validated, and the optimized seat structure, which includes a self-supporting capability for decreasing the amount of leakage, was determined.

1. 서 론

글로브 밸브(Globe valve)는 많은 산업분야에서 배관의 개폐와 유량을 제어하는 조절하기 위해 보편적으로 사용되는 기구이다. 일반적으로 구체의 몸통 내부에 시트(Seat)가 위치한 격벽이 고정되어 있고 디스크(Disk)가 상하로 움직이며 유량을 조절하는 구조로 구성되어 있다. 하지만 글로브 밸브는 내부의 격벽주변에서 유체의 불연속적인 유

동이 발생하여, 이로 인한 응력의 증가 및 온도차에 의한 열변형 문제뿐만 아니라 스템(Stem)의 굽힘으로 인해 디스크와 시트의 중심축이 서로 어긋나며 누설이 발생하는 문제 등이 발생한다. 또한 유체의 누설로 인한 소음이 발생하기도 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 배기화 와 김동균등^(1,2)은 극저온, 고압조건에서 사용되는 LNG 선박용 글로브 밸브의 유동특성을 분석하고, 유한요소해석을 통해 밸브 내압 및 열변형에 대한 구조해석과 열해석을 수행하여 밸브의 안정성을 확보하고자 하였다. Kaewwaewnoi 등⁽³⁾은 밸브의 크기, 선단 압력, 유체의 누설률과 음향 방출 특성간의 관계와 영향력을 파악하고 Sonawane 등⁽⁴⁾은

§ 이 논문은 2015년도 대한기계학회 부산지회 춘계학술대회(2015.5.8., 동의대) 발표논문임.

† Corresponding Author, jskwak5@pknu.ac.kr

© 2016 The Korean Society of Mechanical Engineers

CFD 프로그램을 사용하여 밸브내부의 유동패턴을 조사하여 밸브의 소음을 줄이고 효율을 높이는 시트와 디스크 디자인을 제안하였다. Jazi 등⁽⁵⁾은 특성 요인도와 음향 방출 특성을 통하여 밸브 내에서 발생하는 캐비테이션에 대해 연구하고 결과간 관계를 분석하였다. 그리고 Kurian 등⁽⁶⁾은 기존의 시트-디스크 형태와 다른 케이지(Cage)-플러그(Plug)형태 글로브 밸브를 제안하고, 유동해석을 통하여 밸브 내부의 압력 분포를 분석하고 구조의 안전성을 확보할 수 있는 압력한계를 결정하였다.

이와 같이 최근 연구에서는 글로브 밸브의 캐비테이션과 소음에 대한 연구 및 열, 유동해석을 통한 유체의 누설 및 압력 분포 해석이 활발하게 진행되고 있으나, 밸브의 누설 문제에 대한 구조적 접근이 부족한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 글로브 밸브의 기밀을 구조적으로 개선시키기 위한 새로운 방안을 제시하고, 이를 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS 를 사용하여 해석하고자 한다.

2. 구조 설계

글로브 밸브는 시트와 디스크를 통해 배관 속 유체를 차단 및 조절하는 장치로써 게이트 밸브에 비해 개방속도가 빠르고 누설률이 적어 고압조건에서 주로 사용된다. 또한 Fig. 1 에 도시된 것과 같이 파손 발생 시 시트와 디스크의 부분적인 교체가 가능하다.

글로브 밸브의 구조적 개선을 위해 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 시트의 형상을 변형시키는 방법을 제안하였다. 시트와 디스크의 재료는 내식성이 우수한 SUS316 을 사용하였으며 재료의 물성치가 Table 1 에 나타나 있다. 또한 현재 보편적으로 쓰이는 시트의 형상 및 치수를 Fig. 2 에 나타내었다. 기존의 시트와 본 논문에서 설계한

시트의 비교, 검증을 위하여 시트를 모델링하고 각 모델의 3D 및 2D 형상을 Fig. 3 에 나타내었다.

Fig. 3 의 (a)는 기존 시트 모델로써 시트와 디스크의 접촉부 높이를 1mm, 접촉부 각도가 45°이다. (b)는 (a)의 보강형으로 접촉부의 유동효율을 향상시키기 위해 접촉부 각도를 30, 45, 60°로 나눈 모델이며, (c)는 접촉부 아래에 높이 1mm, 폭 1.75mm의 홈을 추가하여 본 논문에서 제시하고자 하는 모델이다. Fig. 3 의 (a)와 (b)의 시트는 올바른 설계와 가공에도 불구하고 디스크로부터 높은 압력을 받으면 재료가 탄성한도 내에서 탄성변형을 하게 된다. 그리고 그 탄성변형은 주로 시트 원주 방향의 변형을 일으켜 밸브의 누설의 원인이 되기 마련이다. 따라서 본 논문에서는 시트 원주 방향의 변형을 경감시키기 위하여 Fig. 3 의 (c)와 같이 홈으로 인해 내부방향 벤딩효과를 가지는 형상의 시트를 설계하였다. 각 시트 모델의 형상에 있어서 뚜렷한 차이점이 디스크와 시트의 접촉부에 있기 때문에 Fig. 4 에 모델별 접촉부 형상 및 치수를 상세히 나타내었다.

Table 1 Material property of SUS 316

Property	Value
Density(kg/m ³)	8000
Poisson's ratio	0.27
Tensile Strength(MPa)	515
Yield Strength(MPa)	205
Young's modulus	193 × 10 ⁹

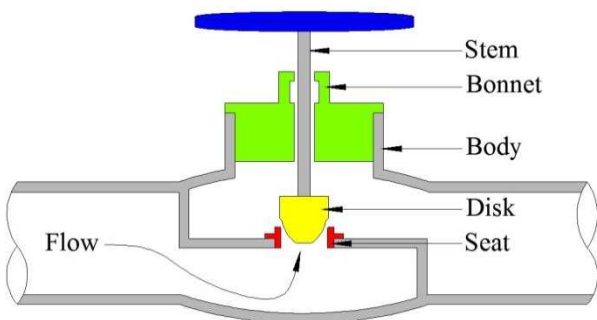


Fig. 1 Schematic of globe valve

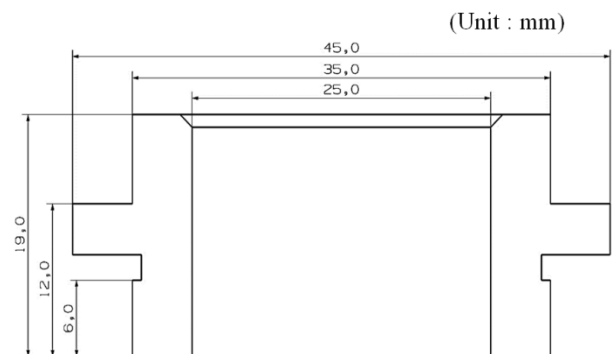


Fig. 2 Dimensions of Model 1

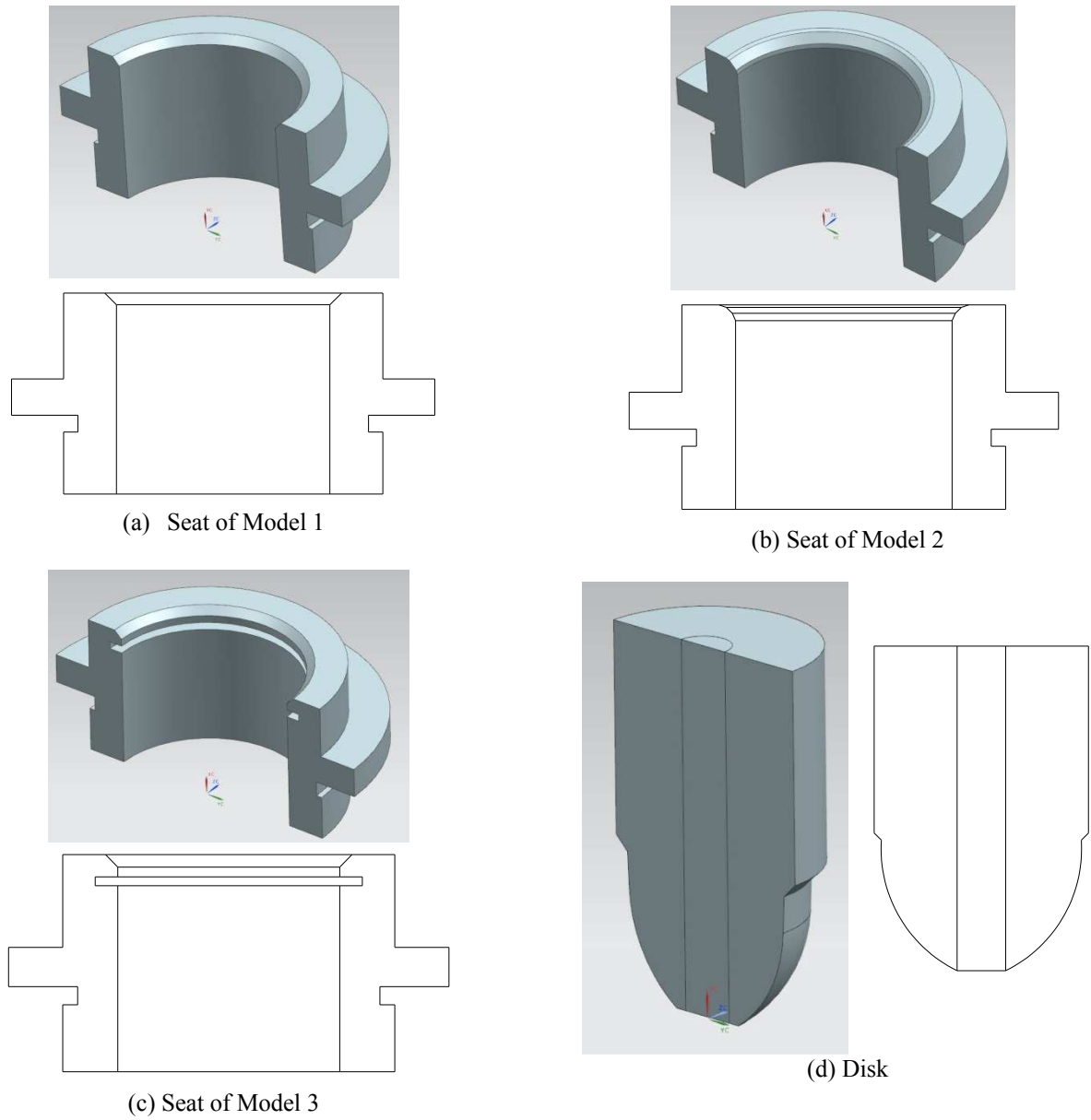


Fig. 3 3D and 2D modeling of models

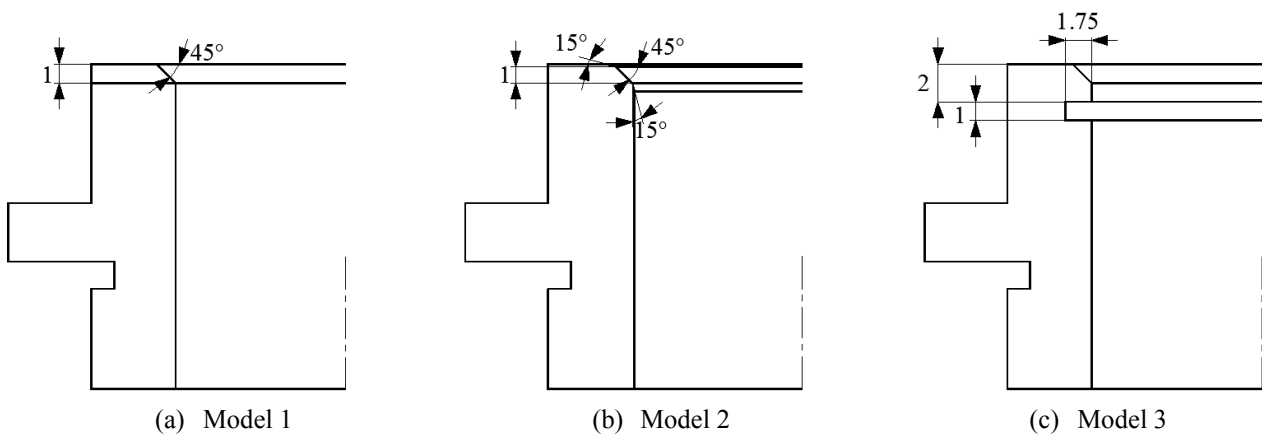


Fig. 4 Detailed dimensions at contact area of seat

Table 2 Number of node and element

Model	1	2	3
Node	44589	52187	48072
Element	18701	23603	20828

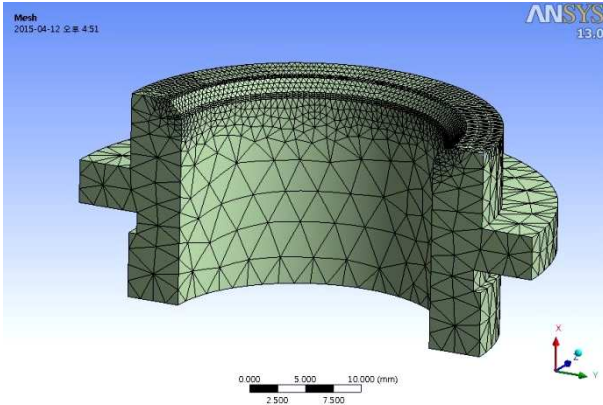


Fig. 5 Mesh information of Model 1

3. 시뮬레이션 조건

모델의 형상이 비교적 단순하므로 Fig. 3 에 도시된 것과 같이 1/2 모델을 사용하고 대칭경계조건을 설정하여 해석을 진행하였다. 모든 모델의 경계조건은 동일하며, 디스크가 시트를 누르는 압력은 3MPa 로 설정하였다. 메쉬의 크기는 기본적으로 Medium 으로 생성하였고, 디스크와 시트가 접촉하는 부분에서 보다 정확한 결과를 얻기 위해 메쉬의 크기를 1/4 로 설정하였다. 기본모델인 Model 1 의 메쉬는 Fig. 5 에 나타나 있고, 각 모델의 절점과 요소의 수는 Table 2 에서 확인할 수 있다.

4. 결과 및 분석

4.1 응력 해석

디스크가 시트를 누르는 압력을 3MPa 로 동일하게 설정했을 때의 응력 해석결과는 Fig. 6 에 나타난 것과 같다. Model 1 의 경우 시트에 발생하는 최대 응력이 46.3MPa, Model 2 와 3 에서는 각각 49.7MPa, 47.5MPa 로 나타났다. Model 1 과 2 는 최대 응력이 시트와 디스크의 접촉면에서 발생하고, Model 3 의 최대 응력은 홈의 위쪽 모서리에서 발생하였다. 하지만 디스크와 시트가 접촉하는 면적의 넓이가 동일하여, Fig. 6 의 그래프에 도시된 것과 같이 모델 간 최대 응력의 차이는 거의 없는

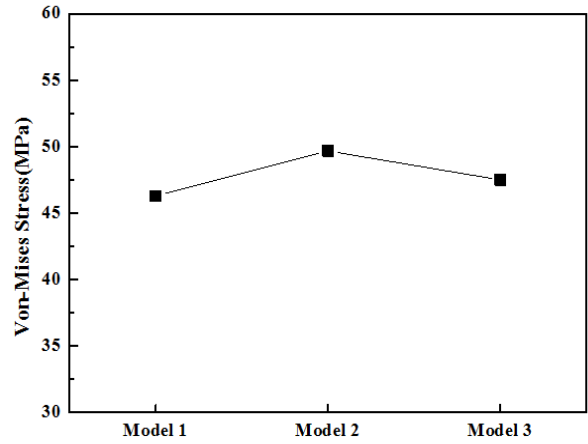


Fig. 6 Stress comparison of each model

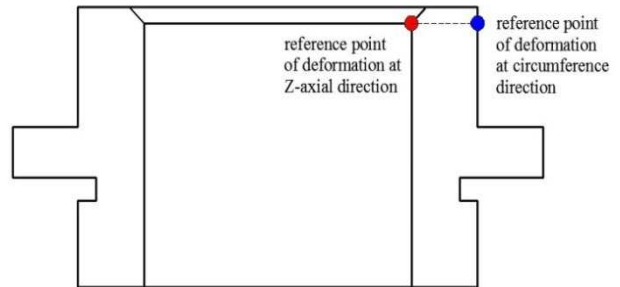


Fig. 7 Reference point at seat

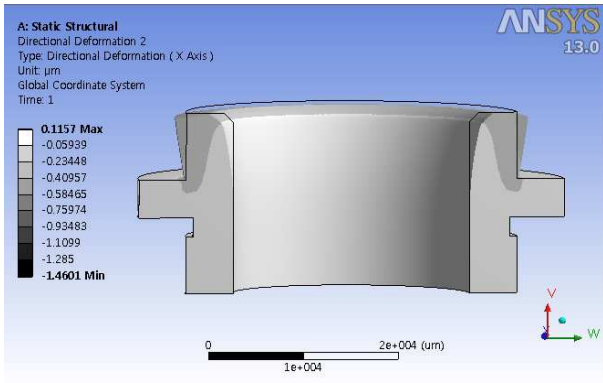
것을 확인할 수 있다. 또한 최대 응력값이 재료의 항복강도인 205MPa 을 넘지 않아 제품의 안전한 사용이 가능할 것으로 판단된다.

4.2 변형량 해석

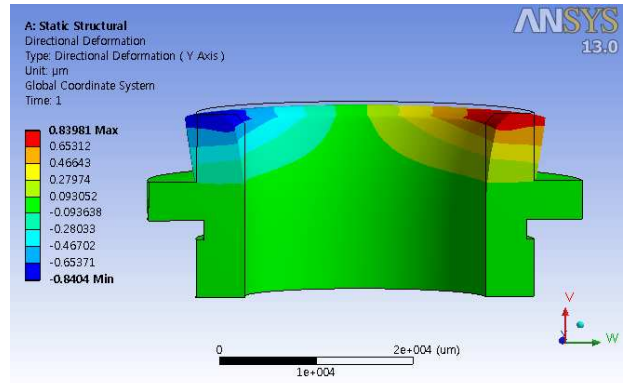
본 연구에서는 시트와 디스크가 접촉하며 발생하는 변형량을 축 방향과 원주 방향으로 나누어 해석하였다. 시트의 축 방향, 원주 방향 변형량은 Fig. 7 에 표시되어 있는 점을 기준으로 측정 하였다.

Fig. 8 은 각 모델의 축방향 변형량을 Auto scale 로 나타낸 것이다. Model 1 과 2 의 축 방향 변형량은 각각 0.07, 0.06 μ m 로 값의 큰 차이가 없었다. 반면 Model 3 의 경우 축 방향 변형량이 0.86 μ m 로 앞의 모델들보다 큰 값을 가짐을 알 수 있었다. 또한 변형의 분포를 Fig. 8 에서 확인할 수 있는데 Model 1 과 2 는 시트의 가장자리에서 축방향 변형이 일어나고, Model 3 는 디스크로부터 압력을 받는 접촉부에서 축방향 변형이 가장 많이 일어난다는 것을 알 수 있다.

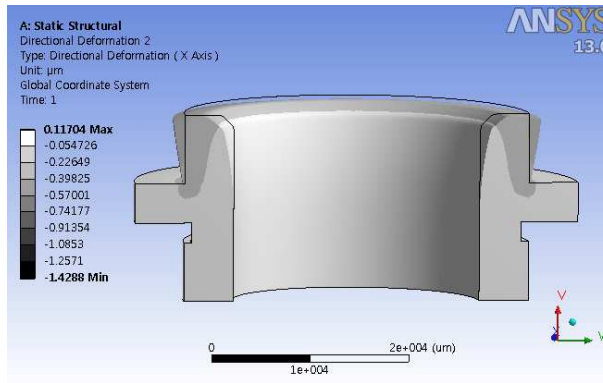
Fig. 9 는 각 모델의 원주방향 변형량을 Auto scale 로 나타낸 것이다.



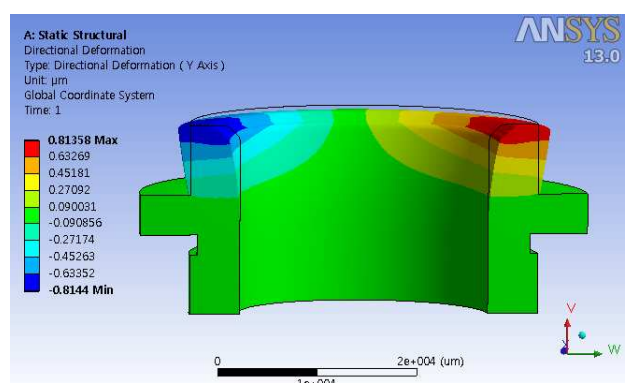
(a) Model 1



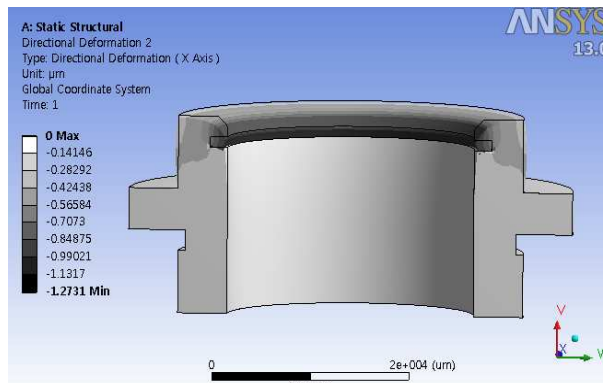
(a) Model 1



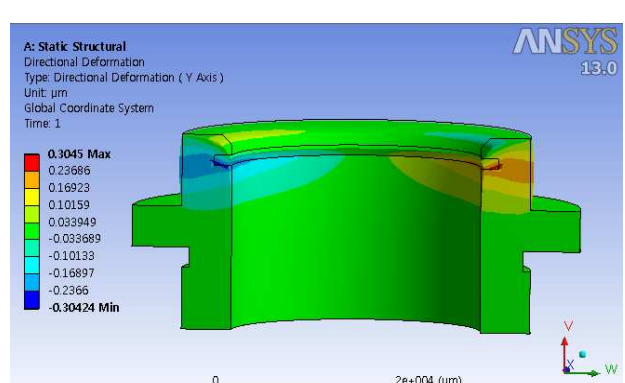
(b) Model 2



(b) Model 2



(c) Model 3



(c) Model 3

Fig. 8 Deformation of axis direction with auto scale

Fig. 9 Deformation of hoop direction with auto scale

원주 방향의 변형량은 Model 1 과 2 가 0.72 μm 로 같은 값을 가졌으나, Model 3 의 경우 0.18 μm 로 다른 모델들과 비교했을 때 원주 방향의 변형량이 많이 감소한 것을 알 수 있다. 이를 Fig. 9 에서 변형 전후 외곽선 변화로 한 눈에 파악할 수 있다.

각 모델에 따른 시트의 전체적인 축과 원주방향의 변형량은 Fig. 10 에 나타난 것과 같다. Model 1, 2 와 Model 3 의 변형량을 비교해볼 때, Model 3 의 축 방향 변형량은 다른 모델보다 크게 나타나지만

원주 방향 변형량이 Model 1, 2 의 약 25% 정도로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

이는 Fig. 11 에 도시된 것과 같이 가공된 홈으로 인해 시트 윗부분에서 내부로 굽힘이 발생하며 Self-supporting 효과가 발생하기 때문이다. 따라서 Model 3 의 경우 Self-supporting 효과에 의해 글로브 밸브의 기밀을 보다 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다.

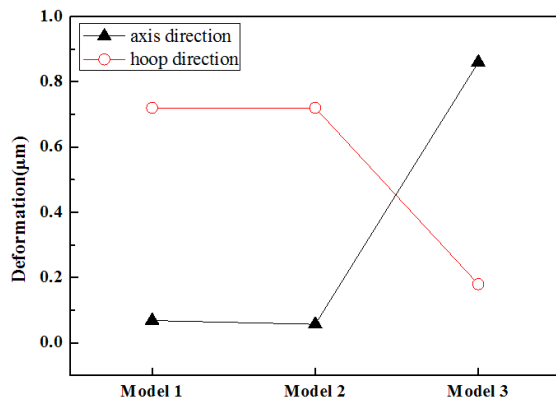


Fig. 10 Deformation on axis and hoop direction

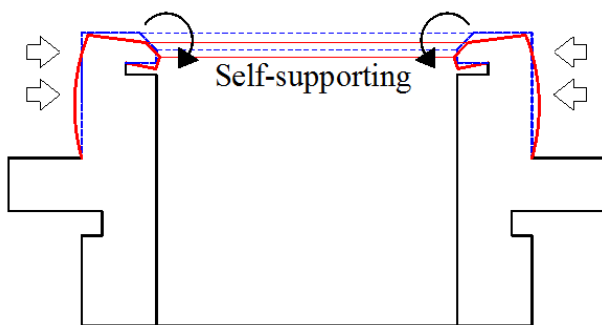


Fig. 11 Schematic of self-supporting effect

5. 결론

본 논문에서는 글로브 밸브 시트의 구조적 개선을 위해 새로운 구조의 시트를 제안하고, 유한요소해석을 통해 시트의 응력과 변형량 값을 비교하여 이를 검증하였다.

(1) 세 모델의 최대 응력값은 크게 차이가 없고, Model 1,2의 경우 경계면에서, Model 3의 경우 홈의 위쪽 모서리에서 최대 응력이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 각 모델의 변형량을 비교할 때, Model 3의 원주방향 변형량이 다른 모델 보다 75% 감소하여 많은 개선을 보임을 확인할 수 있었다.

(3) Flexible 시트인 Model 3에서 밸브의 기밀을 보다 개선시킬 수 있는 Self-supporting 효과를 확인할 수 있었다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의연구비(2015년)에 의하여 연구되었음(No. C-D-2015-1011).

참고문헌 (References)

- (1) Bae, K. H., Park, J. H. and Kang, S. M., 2008, "A Study on the Flow Characteristics Inside a Globe Valve for Ships," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 32, No. 1, pp. 110~118.
- (2) Kim, D. K. and Kim, J. H., 2007, "A Study on Structural Analysis of Globe Valve for LNG Carrier," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 31, No. 8, pp. 1013~1019.
- (3) Kaewwaewnoi, W., Prateepasen, A. and Kaewtrakulpong, P., 2010, "Investigation of the Relationship Between Internal Fluid Leakage Through a Valve and the Acoustic Emission Generated from the Leakage," *Journal of the International Measurement Confederation*, Vol. 43, Issue 2, pp.274~282
- (4) Sonawane, V. J., Rane, T. J., Monde, A. D., Vajarinkar, R.V. and Gawade, P. C., 2013, "Design and Analysis of Globe Valve as Control Valve Using CFD Software," *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol. 4, pp. 63~71
- (5) Masjedian Jazi, A. and Rahimzadeh, H., 2009, "Detecting Cavitation in Globe Valves by Two Methods: Characteristic Diagrams and Acoustic Analysis," *Applied Acoustics*, Vol. 70, Issue 11-12, pp. 1440~1445.
- (6) Kurian, P. C., Krishnamurthy, R. and Rajesh, R., 2014, "Design and Analysis of a High Pressure Globe Valve," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 4, Issue 10, pp. 391~397.