

# 극저온 밸브의 구조안전성 분석에 관한 연구

## English A Study on the Structural Stability Analysis of the Cryogenic Valve

\*김형훈<sup>1</sup>, #한근조<sup>2</sup>, 한동섭<sup>3</sup>

\*H. H. Kim<sup>1</sup>, #G. J. Han(gjhan@dau.ac.kr)<sup>2</sup>, D. S. Han<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 동아대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>동아대학교 기계공학부, <sup>3</sup>동아대학교 BK21총괄사업단

Key words : Needle Valve, Cryogenic, Thermal-Structural Coupled Field Analysis

### 1. 서론

현재 국내 조선산업의 세계시장 점유율은 세계 1위의 부동의 자리를 지키고 있으며 수출 효자종목이라 할 수 있다. 특히 2000년 이후부터 고 부가가치를 창출하는 LNG 및 LPG선이 주력 품목으로 자리 잡고 있다.

그러나 이러한 조선산업의 세계적 위상에도 불구하고 고부가가치를 낳는 LNG, LPG선 및 해양구조물에 사용되는 기자재의 국산화율은 극히 저조하여 대부분을 일본이나 유럽에서 수입하고 있는 실정이다. 따라서 LNG나 LPG선박에 대량으로 필요한 계측용 극저온 진공밸브를 국산화 개발하면 밸브시장에서도 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

계측용 극저온 진공밸브는 계측기를 장치하여 유체가 극저온을 유지하는지를 평가하는 밸브로써 유체의 흐름과 차단을 목적으로 하는 밸브에 비하여 크기가 클 필요가 없다. 그리고 일반적으로 극저온 유체에 사용하는 밸브는 구동부의 얼림현상을 방지하기 위하여 밸브의 개폐를 위한 구동부의 길이가 긴 형상을 가지고 있지만 계측용 극저온 밸브는 배관 곳곳에 계측을 목적으로 설치되므로 밸브 구동부인 스프링들의 크기가 매우 작은 구조로 되어있다.

이러한 밸브크기의 특성상 외부온도에 의한 극저온 유체의 온도변화가 발생하여 정확한 계측이 어려운 문제점이 있으며 밸브의 온도차에 의한 열변형이 발생하여 유체가 누설되는 문제가 발생할 수 있어 그리하여 본 연구에서는 밸브내부의 온도유지를 위하여 밸브외부에 케이스를 적용하고 밸브와 케이스 사이를 진공상태로 유지한 진공단열밸브에 대한 구조안전성평가를 실시하여 계측용 극저온 밸브에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

### 2. 밸브의 3차원 형상 및 해석조건

밸브 내부에 극저온 유체의 유입 시 밸브의 단열효과를 검증하기 위하여 INVENTOR를 이용하여 3차원 모델링을 수행하여 Fig. 1에 나타내었다. 밸브 외부는 단열을 위한 단열케이스를 적용하였으며 해석결과에 영향을 미치지 않는 내부의 나사산등은 간략하게 처리하였다.

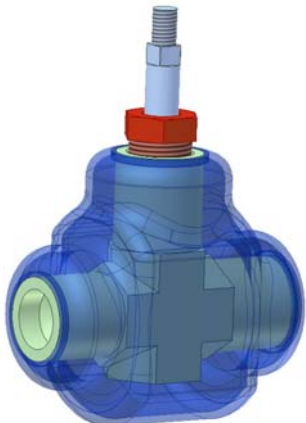


Fig. 1 3D Model of Cryogenic Needle valve

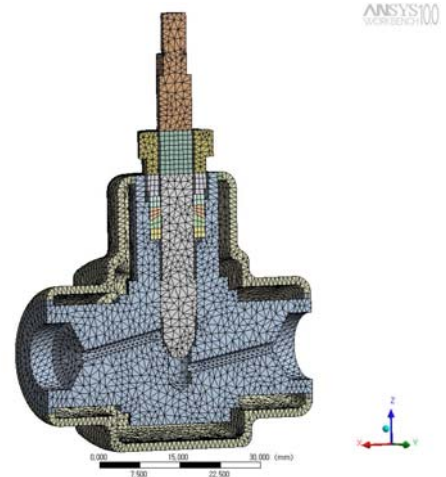


Fig. 2 FEM Model of Cryogenic Needle valve

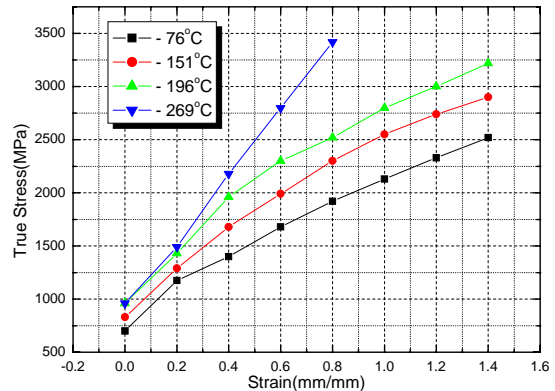


Fig. 3 True Stress - True Strain Curve

그리고 열해석 및 연성해석을 위하여 생성된 유한요소모델을 Fig. 2에 나타내었다. 밸브는 x-z평면을 기준으로 대칭의 형상이므로 해석시간을 고려하여 대칭형상을 적용하였다.

일반적으로 온도는 시간의 함수이기 때문에 밸브의 열해석을 진행할 때 과도열해석으로 수행하여야 하지만 밸브의 테스트조건인 15분후에는 밸브의 크기가 작기 때문에 온도분포가 정상상태에 도달하므로 정상상태 열해석을 수행하였다.

밸브 내부는 -196°C의 온도를 적용하였으며, 진공케이스와 밸브사이의 진공상태이므로 복사에 의한 열전달만 일어난다고 가정하여 복사열전달 조건을 적용하였다. 그리고 그 이외에 대기에 노출되는 부분은 모두 대류열전달 조건을 적용하여 해석을 수행하였다.

그리고 열해석 결과를 바탕으로 연성해석을 수행하였다. 연성해석은 열해석 결과로 얻은 밸브의 온도분포를 열하중으로 적용하였으며 밸브의 최대설계압력인 7kgf/cm<sup>2</sup>의 압력을 밸브내부의 유동로에 적용하여 해석을 수행하였다. 그리고 연성해석 시 사용되는 재료의 물성치는 온도에 따라 변하기 때문에 비선형 해석을 수행하였으며 Fig. 3에 밸브의 재료로 사용된 SUS316L의 온도에 따른 S-S curve를 나타내었다.

### 3. 열해석 및 연성해석 결과

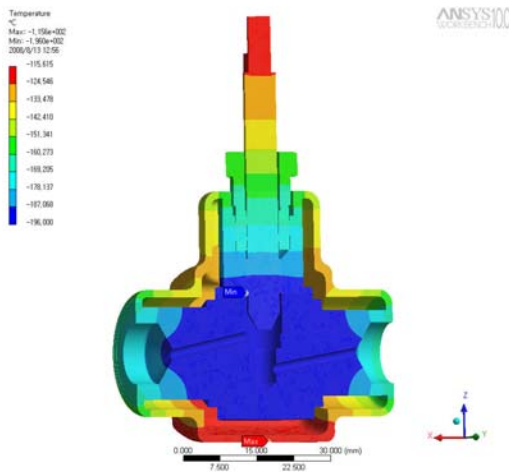


Fig. 4 Temperature Distribution of valve

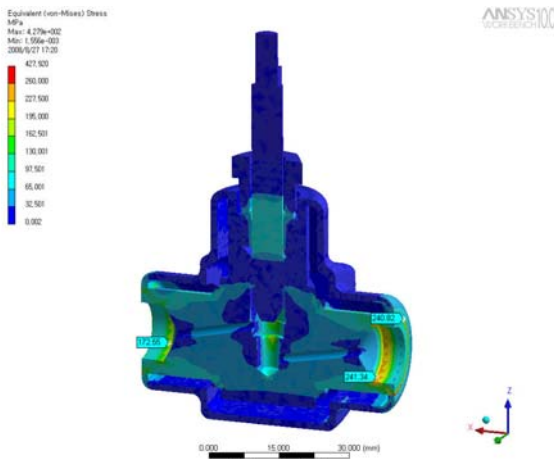


Fig. 5 Stress Distribution of valve

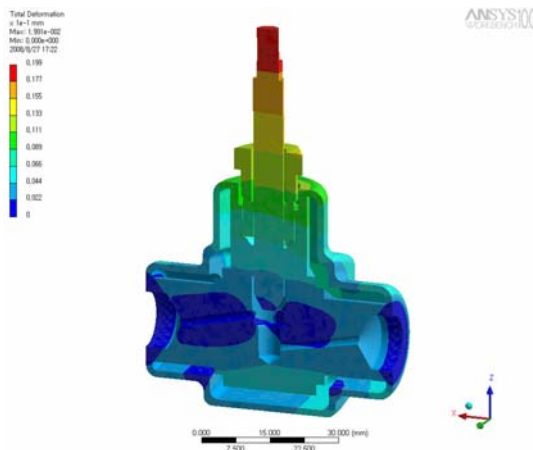


Fig. 6 Deformation of valve

밸브내부의 극저온 유체 유입 시 온도분포를 Fig. 4에 나타내었다. 밸브내부 유동로부근의 온도분포는  $-196^{\circ}\text{C}$ 로 극저온 유체의 온도유지에는 영향이 없을 것으로 판단되며 스프링들 최상부의 온도는 약  $-110^{\circ}\text{C}$ 까지 하강하는 것으로 나타났다. 이는 사람의 손으로는 작동이 불가능한 온도이지만 스프링들의 높이를 키움으로써 해결할 수 있는 문제이고 본 연구에 사용된 밸브의 개폐는 안전을 고려하여 공구를 이용하는 것으로 되어있기 때문에 낮은 온도에 의한 문제는 없을 것으로 예측된다.

그리고 이러한 온도분포에 의한 응력분포를 Fig. 5에 나타내었

다. 밸브 양쪽 끝 배관이나 계측장비가 장착되는 부분에서 약  $260\text{MPa}$ 의 최대응력이 발생하였으며 재료의 극저온에서의 항복강도를 기준으로 통상 밸브업체에서 요구하는 안전율 약 2.3이상 을 확보하는 것으로 나타났다.

극저온 밸브는 열변형에 의한 가스나 유체가 누설되는 문제가 발생한다. 그리하여 극저온에 의한 열변형에 대한 검토를 수행하였고 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

밸브는 저온에 의하여 팽창이 아닌 수축이 발생하며 누설방지를 위한 와셔나 씰(seal)의 수축이 다른 부품보다 더 크게 발생하여 오히려 더 압축되는 결과를 보임으로 열변형에 의한 누설을 없을 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 극저온 유체의 계측을 위한 극저온 진공밸브에 대한 구조 안정성평가를 수행하였다. 정확한 계측을 위한 유체의 온도유지는 진공케이스를 적용함으로써 해결하였으며 열해석 결과 밸브내부의 유동로 부근의 온도는 유체의 온도와 같은  $-196^{\circ}\text{C}$ 를 유지하는 것으로 나타났다.

그리고 이러한 밸브의 온도에 의해 발생하는 변형이나 열응력에 대한 분석결과 밸브의 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단되었다.

극저온 진공밸브는 현재 전량 수입에 의존하는 제품으로 본 연구결과가 극저온 진공밸브의 국산화개발을 위한 기초 자료가 될 수 있을 것으로 생각된다.

### 후기

본 연구는 지식경제부의 지역산업기술개발사업(#7002079)의 연구결과로 수행되었음

### 참고문헌

1. 정호승, 김영환, 조종래, 김정환, 김정렬, 박재현, “유한요소법을 이용한 극저온 미니어처 글로브 밸브의 구조설계에 관한연구”, 한국마린엔지니어링학회지, 31권, 4호, 343-349, 2007. 5
2. 김동균, 김정환, “LNG선박용 글로브 밸브 구조해석에 관한연구”, 한국마린엔지니어링학회지, 31권, 8호, 1013-1019, 2007. 11
3. 김동수, 배상규, 김현섭, “고압 초저온 볼밸브의 열응력 해석에 관한 연구”. 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 3411-3416, 2006
4. J. Y. Kim, ANSYS Heat Transfer Analysis, TSNE, 2003