

# 다구찌법을 이용한 Safety Relief Valve Trim 부 형상설계 Design of a Trim Part in the Safety Relief Valve by using Taguchi Method

\*김성진<sup>1</sup>, 송명준<sup>1</sup>, 김철<sup>2</sup>, 조해용<sup>3</sup>

\*S. J. kim<sup>1</sup>, M. J. Song<sup>1</sup>, S. Y. Jung<sup>2</sup>, C. Kim<sup>2</sup>, H. Y. Cho<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 창의공학시스템 협동과정, <sup>2</sup> 부산대학교 기계기술연구원, <sup>3</sup> 충북대학교 기계공학부

Key words : Safety Relief Valve, FEM, Taguchi Method, Pressure

## 1. 서론

현재 국내 조선산업은 세계 시장 점유율 1 위의 세계적 위상에도 불구하고 LNG 선, LPG 선, 해양구조물 등의 고부가가치 선박에 탑재되는 조선기자재의 국산화율은 극히 저조하여 대부분을 유럽, 일본 등지에서 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서, 고부가가치선박 중의 하나인 LNG 및 LNG-FPSO 선에 대량으로 장착되는 초저온 고압용 밸브를 국산화 개발한다면 밸브 시장에서도 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만, 국내의 경우 LNG 선박 또는 여러 산업분야에서 사용되는 초저온, 고압 밸브와 관련하여 글로브 밸브, 버터플라이 밸브, 볼 밸브 등의 On-Off 밸브 및 유량제어밸브에 관한 연구는 다수 진행되었으나 압력제어밸브의 한 종류인 Safety Relief Valve 에 관한 국내연구는 미흡한 실정이다.<sup>[1]</sup>

LNG 선박용 Safety Relief Valve 는 고부가가치 밸브로써 초저온, 고압상태의 LNG(액화천연가스) 저장탱크 및 배관과 연결되어 있어서 시스템의 압력이 설정압력 이상이 되었을 때 내부 유체를 방출하여 일정한 압력을 유지시켜주는 중요한 기능을 한다. 작동환경이 초저온, 고압이므로 내압과 열충에 대한 충분한 구조적 안정성을 가져야 하며, 민감한 스프링 설계를 통해 내부압력 변동에 신속히 동작할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 고압 환경하에서 Safety Relief Valve Trim 부의 유한요소해석과 다구찌법을 이용한 Trim 부 형상설계를 통해 초저온 / 고압환경에서 사용될 안전밸브의 상온 설계에 대한 안전계수를 제시하고, 충분한 구조적 안정성을 갖는 제품을 설계하는 것에 목적이 있다.

## 2. 초기 모델의 구조해석

Valve Trim 부를 최적 설계하기 위한 초기 모델을 Fig. 1 에 나타내었다. 구조해석은 유한요소해석 프로그램인 Ansys workbench 11.0 을 이용하였으며, 해의 정확도와 해석시간의 단축을 위해 2 차원 축 대칭 문제로 단순화하여 해석을 수행하였다.

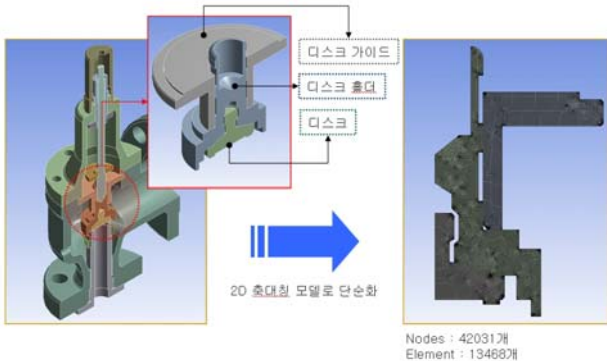


Fig. 1 Simplification of the analysis

재료 물성은 디스크, 디스크 홀더, 디스크 가이드 모두 SUS 316 으로 탄성계수  $E=193\text{GPa}$ , 포아송비  $\nu=0.31$  을 적용하였다. Fig. 2 는 압력에 대한 Trim 부의 응력해석에 적용된 경계조건을 나타낸다. 디스크와 디스크 홀더 하부의 작

용압력은 밸브 유량테스트 기준 (사용압력의 110%)에 근거하여 밸브가 완전 개방되었을 때의 압력 11MPa 을 적용하였다. 디스크 가이드의 끝단은 밸브 바디와의 연결성을 고려하여 Frictionless 조건을 부여하였으며, Trim 부 단품간의 접촉정도는 Frictional 로써 마찰계수 0.1 을 부여하였다.

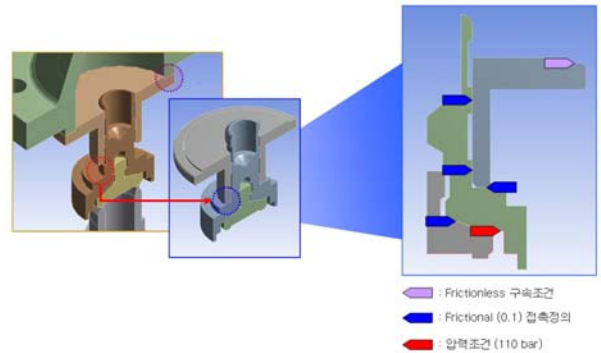


Fig. 2 Boundary conditions

구조해석 결과 발생하는 최대응력이 디스크의 경우 57.067MPa, 디스크 홀더의 경우 147.79MPa 로써 소재의 항복강도가 534MPa 이므로 초저온 열응력을 고려하여 상온에서 밸브 설계시 안전계수 3.0 이상을 설계기준으로 하면 충분한 구조적 안정성이 확보됨을 알 수 있다. 디스크 가이드의 경우 전체적으로 곡률이 작아지는 영역 A, B, C 에서 응력집중에 의해 큰 응력이 발생하였다. Fig. 3 에서처럼 영역 A 에서 최대응력 686.65MPa 이 발생하였다. 소재의 항복강도가 534MPa 임을 감안한다면 구조적 안정성이 확보되지 못하므로, 형상변경을 통한 재설계가 요구되는 부분이다.

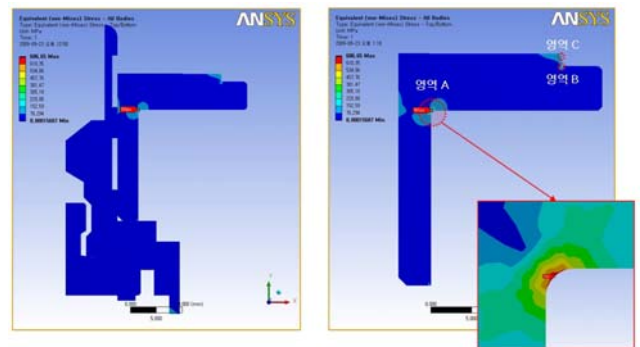


Fig. 3 Stress distribution of the first model

## 3. 다구찌법을 이용한 Trim 부 형상설계

디스크 가이드에서 발생하는 응력이 설계기준으로 결정한 안전계수 3.0 이상을 만족시키도록 하기 위해 다구찌법을 이용하여 형상설계를 수행하였다.<sup>[2]</sup> 목적함수는 A, B, C 영역에서 발생하는 응력 중의 최대응력으로 하였으며, 설계변수는 Fig. 4 에서처럼 R1, R2, H 로 결정하였다.

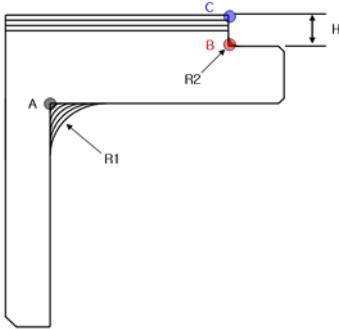


Fig. 4 Design variables of the disc guide

디스크 가이드의 설계변수 수준을 선정하기 위해 A, B, C 영역의 응력에 대한 R1, R2, H의 영향도를 분석하여 Fig. 5에 나타내었다.

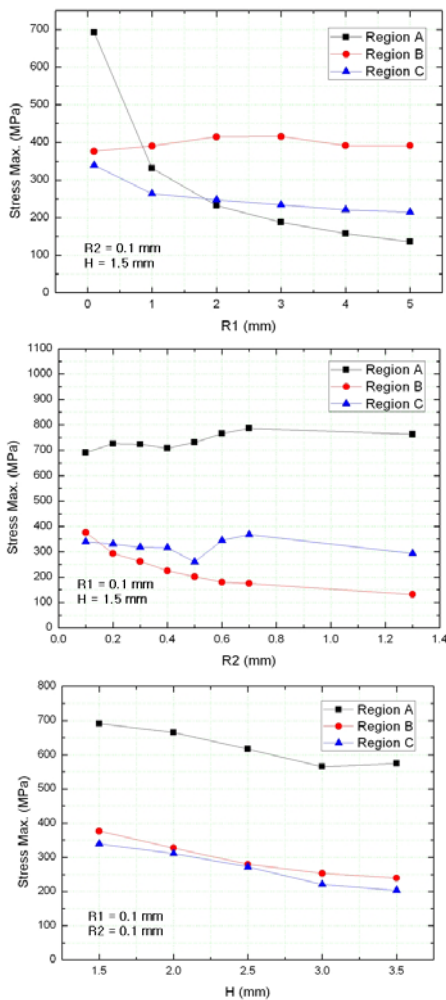


Fig. 5 R1, R2, H effects on stress max.

최대응력 발생지점을 영역 C로 결정하기 위해 변수 수준을 Table 1과 같이 선정하였다.

Table 1 Design variables and levels

| variables | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|-----------|---------|---------|---------|
| R1 (mm)   | 3.0     | 4.0     | 5.0     |
| R2 (mm)   | 0.5     | 1.0     | 1.5     |
| H (mm)    | 2.0     | 2.5     | 3.0     |

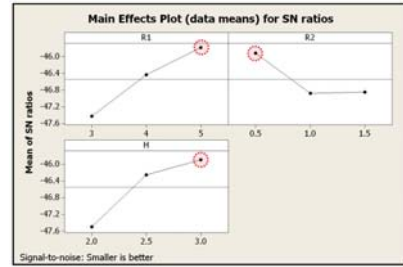


Fig. 6 S-N ratio

영역 C에서 발생하는 응력에 대한 설계변수의 영향도는 R1, H, R2 순으로 크게 나타나며, 목적함수를 최소로 하는 설계변수 값은 R1=5.0mm, R2=0.5mm, H=3.0mm이다.

다구찌법으로부터 도출된 설계변수에 대해 디스크 가이드 형상을 수정하고 초기 모델에서의 경계조건을 동일하게 적용하여 유한요소해석을 수행한 결과 Fig. 7과 같이 발생하는 최대응력이 175.42MPa로 약 3.0의 안전계수를 만족하였다.

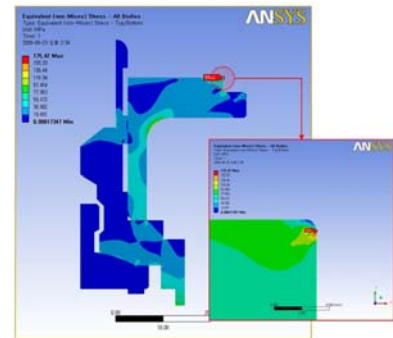


Fig. 7 Stress distribution of the modified model

#### 4. 결론

본 연구에서는 Safety Relief Valve Trim부의 구조적 안정성을 확보하기 위해 밸브 작동조건에서의 유한요소해석과 다구찌법을 이용하여 디스크 가이드 형상의 최적설계를 수행함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 초기 모델의 구조해석을 통해 디스크 하부의 압력에 대한 구조적 취약부위가 디스크 가이드임을 확인할 수 있었다.

(2) 다구찌법을 이용하여 디스크 가이드에서 발생하는 응력의 최대값이 안전계수 3.0 이상을 만족시키기 위해 R1, R2, H를 설계변수로 결정하고 최적 형상 설계를 수행하였다.

(3) 목적함수를 최소로 하는 설계변수 값 R1=5.0mm, R2=0.5mm, H=3.0mm을 획득하여 유한요소해석을 수행한 결과 최대응력이 175.42MPa로 안전계수 3.0 이상을 만족시키는 디스크 가이드를 설계할 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부의 대학전력연구센터 지원사업의 지원으로 이루어졌으며, 이에 관계자 분들께 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. 김동균, 김정환, "LNG 선박용 글로브 밸브 구조해석에 관한 연구," 한국마린엔지니어링 학회지, 8, 1013-1019, 2007.
2. 박영철, 강영미, 강진, 이영훈, 오승환, "직교배열표와 연성해석을 이용한 Butterfly Valve의 형상 최적설계," 동아대학교, 10, 7-15, 2005.