

유동-구조 연성해석을 통한 SAFETY VALVE 내 STEM RING 형상 최적설계

Optimization Stem Ring Shape of SAFETY VALVE for FSI

*강상훈¹, #박영철¹, 서부교¹, 김경권², 김연수²

*S. H. Kang¹, #Y. C. Park(parkyc67@dau.ac.kr)¹, B.K.Seo¹, K.K.Kim², Y.S.Kim²

¹동아대학교 기계공학과, ²(주)조광 I.L.I

Key words : Safety valve, Optimization, Fluid-Structure Interaction, Stem ring

1. 서론

유독성 및 인화성 액체 저장탱크 및 액화가스 저장탱크 등에 설치되는 압력 안전밸브(Pressure Safety Valve)는 탱크의 내부 압력을 일정하게 유지시키기 위하여 사용된다. 특히, 저장탱크 주위의 내 외적인 요인에 의하여 전체 배관 시스템의 작동 정지를 방지하며, 유체 저장탱크에서 발생 가능한 위험으로부터 설비와 인명을 보호할 목적으로 시스템 내부의 과잉된 압력을 외부로 안전하게 배출하기 위해 사용된다.

본 연구에서는 안전밸브에 대한 유동해석을 통해 밸브 내부에 발생하는 압축성 유동현상을 고찰하였고, 기존에 사용되어지는 Stem의 형상 변경을 통해 제조 단가를 줄일 수 있는 새로운 형상의 Stem 설계 및 압력 안전밸브의 작동 상태에 따른 구조 안전성 평가를 수행하였다.

2. 압력 안전밸브 유동특성

고압용 배관 시스템에 사용되는 압력 안전밸브는 Water, Air 및 Steam의 유체에 모두 사용이 가능하며 Fig. 1과 같이 Disc와 Stem을 포함한 총 13 개의 주요 부품으로 구성되어 있다.

압력 안전밸브는 입구를 통해 총 3종의 압력유체가 유입되며, 출구를 통해 대기로 방출된다고 가정한다. 압력 안전밸브에서 설정 압력(Setting Pressure)보다 초과된 압력이 배관 시스템에 걸리게 되면 Disc가 개방되며 과잉된 압력을 외부로 분출시키며 배관 시스템의 압력을 일정하게 유지하게 된다.

유동해석을 수행하기 위해서 범용 프로그램인 ANSYS CFX를 이용하였고, 유동 격자는 Tetra & Prism를 사용하여 132,129 Nodes와 419,428

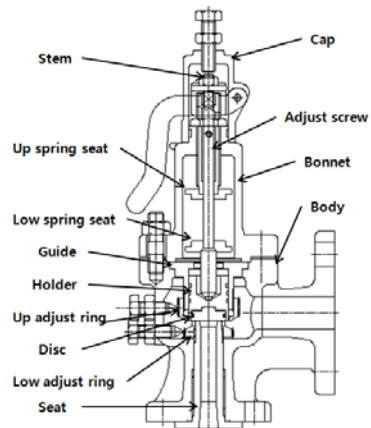


Fig. 1 Vertical cross-section of the Pressure safety valve

Elements로 구성하였다. 그리고 Fig. 3과 같이 입구와 출구에 일정 길이의 배관을 설치하여 작동 유체의 흐름을 안정화시켰다.

작동유체로 Water를 사용하여 Disc의 거동을 0%, 30%, 50%, 70% 및 100%의 총 5단계에 따라 Disc부가 받은 유체력을 산출한 결과, Disc가 완전히 개방상태에서 2.19[N]의 가장 큰 유체력이 발생하는 것을 알 수 있었다. 그리고 각 각의 작동유체에 대해서 Disc가 완전 개방상태에서의 유동해석 결과, 작동유체가 Air일 경우 0.83[N], Steam일 경우 1.31[N]이 산출되었다. 따라서 작동유체가 Water일 경우 압력 Disc에 가장 큰 유체력이 발생

Table 1 Fluid Force of Disc area using CFD

Disc Lift	0 %	30 %	50 %	70 %	100 %
Fluid Force [N]	0.56	0.12	0.19	1.05	2.19

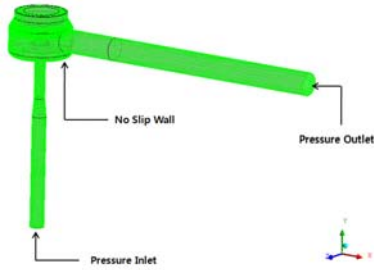


Fig. 2 Three-dimensional grid fluid Model

한다는 결과를 얻었다.

3. 압력 안전밸브 Stem별 구조 안전성 평가

기존의 압력 안전밸브의 Stem은 Fig. 3의 (a)와 같이 Stem 하부의 두께가 증가하는 형상으로 이루어져있고, 변경된 Stem은 Fig. 3의 (b)와 같이 일정한 두께를 가지며, Low Spring Seat를 지지하기 위하여 Stem ring이 추가로 삽입되는 형상을 가지고 있다. 변경된 Stem의 경우, 기존의 Stem에 비해 재료비를 약 60% 줄이는 효과를 가지고 있어 제품의 경쟁력을 높일 수 있다.

변경된 Stem에 대한 구조 안전성 평가 및 Stem ring 최적설계를 위해서 가장 큰 유체력이 발생하는 개방상태의 유체력 DATA를 내부 압력조건과 Spring의 압축력을 함께 사용하여 유동-구조 연성 해석(FSI)을 수행하며, 범용 프로그램인 ANSYS STRUCT -URAL를 이용하였다.

단순 비교를 통한 최적 설계를 수행하기 위해 압력 안전밸브를 구성하는 모든 부품의 재료를 Structural Steel으로 한정하였으며, 시행착오법을 사용하여 Stem ring의 최적 형상을 찾으려 한다. 최적 설계를 위한 설계 변수는 Stem의 구조 형상 및 Stem ring의 가공 한계에 근거하여, 변경 가능한 Stem ring의 높이를 변수로 사용한다.

완전 개방상태에서 Stem ring의 형상을 직경에

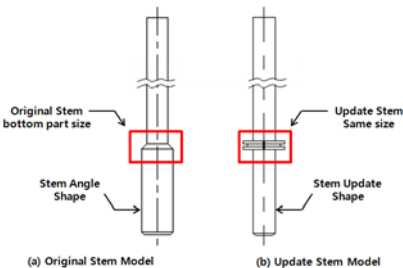


Fig. 3 Original & Update Stem Shape

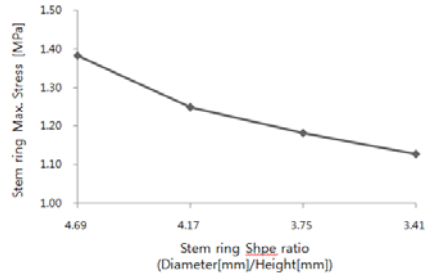


Fig. 4 Stress of Stem ring Shape ratio

따른 높이의 비율로 3.41~ 4.69까지 총 4번의 유동-구조해석을 수행하였다. 그 결과, Stem의 높이가 가장 작은 형상에서 1.38[MPa]의 가장 큰 응력이 산출되었다. 이는 Stem의 형상을 변경하여도 구조적으로 안정하다고 판단되며, Stem ring의 형상 비율 4.69가 가장 작은 체적을 가지므로 최적의 형상이라고 판단된다.

4. 결론

압력 안전밸브에 대한 유동해석 결과, 작동유체가 Water이고, Disc가 완전 개방상태에서 가장 큰 유체력이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이를 이용하여 변경된 Stem에 대한 Stem ring의 형상 비율에 따른 유동-구조 연성해석 결과, 4.69의 형상 비율을 갖는 Stem ring이 최적의 형상이라고 평가되었다.

후기

본 연구는 지역혁신센터(RIC) 연구개발과제인 안전밸브 STEM 연마봉 사용 시 스프링 받침대 Washer 등의 설계 방안의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Jeong, H. S., Kim, Y. H. and Park, J. H., "A Study on Structural Design of Cryogenic Miniature Globe Valve using Finite Element Method," J. of KOSME, Vol. 37, No. 4, 343-349, 2007.
2. Kim, S. J., Jung, Y. S. and Kim, D. J., "Study on Flow Characteristics and Discharge Coefficient of Safety Valve for LNG/LNG-FPSO Ship," Transactions of the Korean Society of mechanical engineers, A, 487-494, 2011.