유한요소법을 이용한 알람밸브의 응력 및 변형거동에 관한 연구

*김청균 · 김태환

홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터
(2011년 12월 7일 접수, 12년 4월 5일 수정, 12년 4월 12일 채택)

A Study on the Stress and Deformation Behavior of an Alarm Valve using Finite Element Method

*Chung Kyun Kim · Tae Hwan Kim

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

(Received December 7, 2011; Revised April 5, 2012; Accepted April 12, 2012)

요약

본 연구에서는 유한요소법을 이용하여 알람밸브의 응력 및 변형거동에 대한 해석적 연구를 수행하였다. 알람밸브의 강도안전성에 대한 연구는 최대시험압력이 2.0MPa인 경우에 대하여 계산하였다. 유한요소법으로 계산한 알람밸브의 최대응력은 항복강도 370MPa의 6.1%에 해당하고, 인장강도 485MPa의 4.6%에 해당하는 결과로 제시되었고, 이것은 커버 플랜지와 밸브몸체 사이의 모퉁이 부근에서 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 밸브에서 발생한 최대변형 12 μ m는 알람밸브 몸체의 중간부근에서 형성되는 것으로 예측되었다. 이러한 연구결과는 대부분의 알람밸브에서 지나치게 높은 강도안전성을 갖도록 설계하는 것으로 지적할 수 있고, 이것은 알람밸브의 중량이나 크기가 증가되는 요소로 작용하고 있음을 알 수 있다.

Abstract - The stress and deformation behavior of an alarm valve has been analyzed using a finite element method. The strength safety of an alarm valve is calculated for the given maximum test pressure of 2.0MPa. The FEM computed maximum stress of an alarm valve is only 6.1% of yield strength, 370MPa and 4.6% of tensile strength, 485MPa, which are occurred at the corner part between a cover flange and a valve body. And the maximum deformation of 12 μ m was developed at the middle part of an alarm valve. These results mean that a typical alarm valve was designed with a excessively high strength safety, which may lead to an increase of a weight and a dimension.

Key words : alarm valve, strength safety, stress, deformation, FEM, von Mises stress

1. 서론

알람밸브(alarm valve)는 건물의 천정에 설치한 스프링클러 헤드에 물을 안정적으로 공급하고, 또한 역류하려는 물을 안전하게 차단하기 위해 사용하는 일종의 안전밸브이다. 알람밸브 원형몸통의 내경측에는 클래퍼(clapper)를 설치하여 물의 흐름을 개폐

한다. 또한, 클래퍼는 시트링의 원주방향을 따라서 배열된 다수개의 유동구를 막거나 열기 때문에 수압차가 발생한다. 이 수압차에 의해 작동하는 압력센서의 신호는 알람장치로 보내져 경보를 울리는 시스템으로 구성되어 있다.

알람밸브는 화재가 발생한 위치에 물을 가장 먼저 안정적으로 공급하기 위한 스프링클러용 배관라인에 설치되는 안전밸브이지만, 국내 시장규모가 작아 독자적인 기술개발보다는 외국제품을 모방하여 제조하는 사례가 많다[1].

*주저자:ckkim_hongik@nate.com

종래의 알람밸브는 1차측에서 공급되는 펌프의 충격압력에 견딜 수 있도록 클래퍼를 안정적으로 설치하고 수리할 수 있는 공간을 확보하기 위해 밸브 몸체의 중간부를 넓고 둥글게 제작하였다. 이로 인해 알람밸브의 중량은 많이 나가고, 부피가 커지는 문제점이 발생하였다. 따라서 대부분의 알람밸브는 두께가 증가된 과도설계로 제조원가는 높아지고, 설치공간이 늘어나는 문제점이 제기되었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 과도설계의 문제점을 고찰하기 위해 알람밸브에 대한 응력과 변형량의 특성해석을 통해 강도안전성을 유한요소법으로 해석하고자 한다. 밸브에 걸리는 응력과 변형거동에 기반한 최적설계를 수행한다면 알람밸브의 경량화와 소형화는 가능해질 것이다.

II. 해석방법

2.1. 유한요소 해석모델

본 연구에서 고려한 알람밸브는 Fig. 1에서 보여주는 것처럼 전면에 원형커버 플랜지를 설치하고, 원형몸통의 내부에는 밸브시트와 클래퍼를 설치한 구조물이다.

Fig. 2는 기존의 알람밸브 모델에 대한 강도안전성을 해석하기 위한 FEM 해석모델로 유한요소해석

프로그램 MSC/MARC[2,3]를 사용하였다. 본 연구에서는 FEM 강도해석 시간의 절약과 간편한 해석을 위해 알람밸브 몸체를 1/2로 절단하여 응력과 변형 거동량을 고찰하였다.

2.2. 해석조건

알람밸브를 제조하기 위해서는 주조소재의 성형성과 기계적 강도가 우수한 주철을 사용하는 것이 보통이다. 주철은 생산된 주물제품을 성형하는 주조기술에 따라 기계적 강도가 크게 달라진다. 따라서, 본 연구에서는 알람밸브의 강도안전성을 고찰하기 위해 Table 1에서 제시한 주철소재의 기계적 강도에 대한 평균치를 대표값으로 설정하여 알람밸브 구조물에 대한 FEM 해석을 수행하였다.

본 연구에서 알람밸브의 강도안전성을 고찰하기 위해 사용한 최고사용압력은 1.4MPa이고, 최대시험압력은 2.0MPa를 각각 적용하였다. 또한, 알람밸브 구조물의 파손에 도달하는 극한강도를 해석하기 위해 사용한 시험압력은 1.4~60MPa이고, 각각의 시험압력에 대한 최대응력과 최대변형량을 각각 예측하였다.

Fig. 1에서 볼밸브를 포함하여 파이프나 볼밸브와 같은 부착물을 고려한 알람밸브의 총무게는 19kg이고, 주철로 제조한 몸체만의 무게는 8kg인 경우로, 구조물에 대한 강도안전성을 해석하였다.

Table 1. Mechanical properties of a cast iron[4,5]

Material Property	Values(Average)
Elastic modulus, GPa	147
Poisson's ratio	0.287
Yield strength, MPa	370
Tensile strength, MPa	485

III. 수치적 해석결과 및 고찰

본 연구에서는 알람밸브의 응력 및 변형거동을 FEM으로 간단하게 해석할 수 있도록 하기 위해 Fig. 2에서 보여준 전체모델의 1/2만을 고려하였다. Fig. 3은 알람밸브 모델에 최대시험압력 2.0MPa를

Fig. 1. Conventional alarm valve structure.

Fig. 2. Conventional alarm valve model for FE analysis.

○ Max. von Mises stress 발생 위치

(a) von Mises Stress distribution

(b) Deformation distribution

Fig. 3. Stress and deformation distributions of a conventional alarm valve model.

가한상태에서 예상되는 응력과 변형거동을 해석한 결과이다.

Fig. 3의 유한요소 해석결과에 의하면, 알람밸브에 작용하는 von Mises 최대응력은 22.4MPa이고, 최대변위량은 12 μ m로 예측되었다. 여기서 최대응력은 알람밸브의 원형커버용 플랜지와 연결되는 몸체부근에서 높게 발생하였지만, 밸브의 강도안전성에는 아무런 영향을 미치지 못할 정도로 낮은 수준으로 나타났다. 즉, Fig. 3의 모델에서 발생한 최대응력은 Table 1에서 제시한 평균항복강도 370MPa의 6.1% 수준이고, 인장강도 485MPa의 4.6%로 Fig. 2의 알람밸브 모델은 지나치게 높은 강도안전성을 확보하고 있음을 알 수 있다. 이렇게 높은 안전성을 유지하는 것은 상대적으로 높은 중량과 밸브의 원가상승 원인으로 작용하고, 또한 알람밸브 제품의 증가

Fig. 4. Maximum stress of an alarm valve as a function of an inner pressure.

Fig. 5. Maximum deformation of an alarm valve as a function of an inner pressure.

된 무게로 인해 운반과 현장설치의 어려움을 예상할 수 있다. 특히, 실제의 알람밸브에서는 주물제품 두께의 불균일성으로 인한 국부적인 응력증가 취약부가 존재하는 것이 더 큰 문제점이다.

Figs. 4와 5는 Fig. 3과 같은 알람밸브 해석모델에 최고사용압력을 1.4MPa에서 최대시험압력 60MPa까지 공급하였을 때 알람밸브의 몸체에 작용하는 최대응력과 최대변형량을 각각 해석한 결과이다.

알람밸브에 공급한 시험압력에 따라 알람밸브에 작용하는 최대응력을 보여준 Fig. 4의 해석결과에 의하면, 최고사용압력 1.4MPa와 최대시험압력 2.0MPa 모두에서 강도안전성은 충분한 것으로 나타났다. 알람밸브에 시험압력 34MPa를 가해야 주철소

제의 평균항복강도인 370MPa에 도달하는 것으로 해석되었고, 또한 시험압력 45MPa를 가해야 평균인장강도인 485MPa에 도달하는 것으로 나타났다. 이러한 평균항복강도에 대한 해석결과 34MPa는 최대 시험압력 2.0MPa에 비해 17배나 높은 것으로 알람밸브의 강도안전성은 지나치게 높은 것으로 과도한 설계에 해당된다.

Fig. 5는 알람밸브에 작용하는 소방수의 내부압력 변동에 따라 발생하는 최대변위량을 보여주고 있다. 변위량 해석에서 최대시험압력 2.0MPa를 작용하였을 때 몸체에서 발생한 최대변형량은 12 μ m로 대단히 낮으며 알람밸브가 파손될 정도로 높게 가한 시험압력 45MPa에서 발생한 최대변위량은 0.27mm 정도로 낮은 값이다. 이때 최대변위량은 알람밸브 원통몸체의 반경이 가장 큰 중간부에서 발생하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 일반적인 주철소재로 제조한 알람밸브에 대한 응력 및 변형거동을 유한요소법으로 해석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 알람밸브의 몸체 구조물에 적용한 최대시험압력 2.0MPa에서 발생한 최대응력 22.4MPa는 항복강도의 6.1%, 인장강도의 4.6% 정도로 지나치게 높은 강도안전성을 확보하고 있다.

2. 또한, 몸체의 원통부 중심지역에서 발생한 최대변위량 12 μ m 정도는 변화가 거의 없다는 것으로 알람밸브의 변형거동 안전성에는 아무런 영향을 미치지 않는다.

3. 알람밸브의 항복강도 370MPa에 도달하는 것으로 예측된 시험압력 34MPa는 실제의 사용압력에 비해 대단히 높은 압력으로 본 연구에서 제시한 기존의 설계모델은 과도할 정도로 안전한 것으로 판단된다.

따라서 알람밸브의 강도안전성 측면에서 기존의 알람밸브 모델은 대단히 우수하지만, 밸브의 중량 증가로 인한 제조원가, 설치공간, 운반성 등을 고려할 때 재고할 필요가 있다. 결국 알람밸브에 최적설계를 통한 밸브몸체 두께의 최소화, 원형커버용 플랜지와 몸통 연결부의 곡률설계를 수행한다면 강도 안전성을 확보하면서 경량화와 소형화를 통한 원가 절감을 달성할 수 있다.

참고문헌

- [1] 이정수, 오주환, 김엽래, "소구역용 알람밸브 개발에 관한 연구," 한국소방화재학회 추계학술발표회 논문집, pp.148~154, (2006)
- [2] "MARC user's manual," Ver. K6.1, MARC Analysis Research Co., (1996)
- [3] 김청균, 조승현, "SF₆ 가스 안전밸브 디스크 시일의 최적설계에 관한 연구," Journal of the KSTLE, Vol. 20, No 5, pp. 231-236, (2004)
- [4] 공유식, 김선진, 정민화, "1000A용 버터플라이 밸브 주요부품의 구조해석," 한국해양공학회지 제23권 제1호, pp 140-145, (2009)
- [5] 정재천, 최상훈, 이용복, 장희석, "중합기계설계," 청문각, (2004)