

복합알람밸브의 강도안전성에 관한 유한요소해석

김청균*, 김태환⁺

(논문접수일 2011. 08. 02, 수정일 2011. 11. 03, 심사완료일 2011. 11. 08)

Finite Element Analysis on the Strength Safety of a Hybrid Alarm Valve

Chung-Kyun Kim*, Tae-Hwan Kim⁺

Abstract

This paper presents the strength safety of a hybrid alarm valve by a finite element analysis. The stress and strain of a conventional hybrid alarm valve are calculated for the given maximum test pressure of 2MPa. Especially, the FEM computed maximum stress of a conventional hybrid valve is only 18.6% of yield strength, 370MPa. This means that the conventional valve is designed with a thick thickness of a valve structure. But, new hybrid alarm valve model, which is developed by optimized design method in this study, shows more low level of 43% in maximum stress and strain compared with that of a conventional hybrid valve. These results may recommend the reduction of a weight and a dimension for an optimized hybrid alarm valve.

Key Words : Hybrid alarm valve(복합알람밸브), Strength safety(강도안전성), Stress(응력), Displacement(변형량), Finite element analysis(유한요소해석)

1. 서론

복합알람밸브(hybrid alarm valve)는 습식용 스프링클러 시스템에서 스프링클러 헤드에 물을 신속하게 공급하고, 역류를 방지하기 위해 배관의 일단에 설치한 안전밸브이다. 화재가 발생하면 스프링클러 헤드는 화점을 향해 물을 뿜어주게 되고, 물의 유동이 감지되면 복합알람밸브 몸체의 중간부에 설치한 클래퍼(clapper)는 수압차에 의해 신속하게 열리면서 체류하고 있던 물은 2차측으로 유동하게 된다. 이러한 유동을 감지할 수 있는 압력차 또는 유속차 시그널은 알람장치로 전달되어 경보음을 울리는 기능을 담당하기 때문에 알람밸브는 스프링클러 시스템의 핵심장치이다.

본 연구에서 해석하려는 복합알람밸브 모델은 알람밸브와 볼밸브를 일체형으로 제작한 것이다. 기존에는 알람밸브와 볼밸브를 배관라인에 별도로 설치한 것에 비해 설치공간이 줄어들고, 무게를 줄일 수 있으며, 특히 시공성 측면에서 간편하다는 장점을 갖고 있다.

복합알람밸브는 물의 이동을 차단하거나 허용하는 개폐기능을 갖는 단순한 안전장치이지만, 화재가 발생하는 순간에 물을 화점에 가장 빠르게 직접 뿌려주고, 또한 알람기능에 의해 주변의 사람들에게 신속하게 알려주기 때문에 대단히 유용한 안전장치이다.

복합알람밸브가 정상적으로 작동할 경우는 화재로 인한 피해를 크게 줄여줄 수 있지만, 오작동이나 고장이 발생할 경우는

* 홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터 (ckkim_hongik@naver.com)

주소: 121-791 서울시 마포구 상수동 72-1

+ 홍익대학교 트리보·메카·에너지기술 연구센터

화재발생을 인지하지 못함으로 인한 인명과 재산의 피해가 커질 수 있다는 측면에서 복합알람밸브에 대한 안전설계와 품질관리를 엄격하게 적용해야 한다.

현재 유통되고 있는 복합알람밸브는 주철소재를 두껍게 제작하기 때문에 강도안전성은 높아지지만, 무게가 많이 나가므로 제조원가가 높아지고 운반이나 설치가 어렵다는 문제점이 있다. 이러한 원가부담을 낮추기 위해 대부분의 복합알람밸브 제조사는 외국에서 제작한 주물밸브를 수입하여 조립하는 정도의 마무리 작업과 품질검사를 수행하기 때문에 특히 주물제품의 균질성과 품질 내구성이 많이 떨어지는 문제점을 안고 있다. 복합알람밸브의 강도안전성은 주물모체 구조물에 의해 결정되므로 강도를 충분히 확보하기 위해 주물두께를 두껍게 하지만, 그 결과로 인한 밸브의 원가상승과 늘어나는 중량문제를 감내해야 한다.

따라서, 본 연구에서는 과도하게 두꺼워진 복합알람밸브 구조물의 강도안전성을 충분히 확보하면서 중량을 낮게 유지할 수 있는 새로운 복합알람밸브 해석모델을 개발하고자 한다. 이것을 위해 기존의 복합알람밸브에 대한 강도안전성을 유한요소법으로 해석하여 기본적인 설계 데이터를 확보한다. 그 결과를 기반으로 새로운 복합알람밸브 모델을 개발하여 궁극적으로는 강도안전성을 충분히 확보하면서 중량을 줄일 수 있도록 연구결과를 제시하고자 한다.

2. 해석모델

2.1 해석방법

본 연구에서 해석한 대표적인 복합알람밸브는 물의 안정된 유출과 역류를 차단하기 위한 것으로 최근에 사용하기 시작하였다. 기존의 복합알람밸브는 알람밸브와 볼밸브를 일체형으로 제작한 모델로 Fig. 1에서 보여주고 있다.

Fig. 1에서 보여준 것처럼 복합알람밸브의 상단부는 알람밸브를 형성하고, 하단부는 볼밸브를 일체형으로 연결하여 물을 안전하게 공급하고, 역류를 방지하는 기능을 담당하도록 구성되어 있다.

Fig. 1에서 보여준 기존의 복합알람밸브 모델에 대한 강도안전성을 고찰하기 위해 유한요소해석 프로그램 MSC/MARC⁽¹⁾을 사용하여 응력과 변형거동을 해석하였다.

2.2 사용재료 및 해석조건

복합알람밸브의 몸체는 복잡한 형상에 대한 성형 가공성과 적정의 강도안전성을 확보하기 위해 주철소재를 사용한다. 주철은 탄소 함유량, 냉각속도 등에 따라 기계적 강도가 크게 달라지므로 주물제품의 용도에 적합한 소재를 선정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 복합알람밸브용으로 많이 사용하는 구상

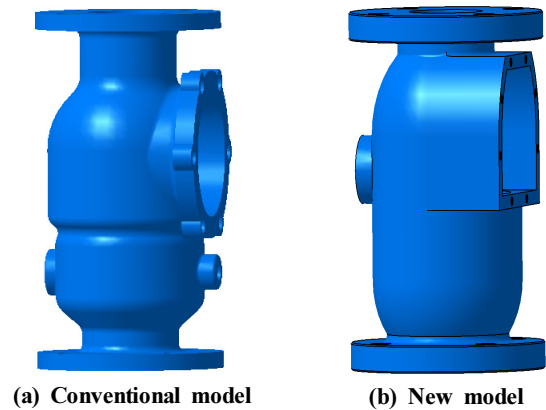


Fig. 1 Hybrid alarm valves

Table 1 Material property of GCD 450^(2,3)

Property	Values
Elastic modulus, GPa	110
Poisson's ratio	0.28
Tensile strength, MPa	485
Yield strength, MPa	370

흑연주철(GCD 450)을 대상으로 강도안전성을 고찰하였다. GCD 450 주철의 기계적 특성치는 Table 1에서 제시하고 있다.

또한, 본 연구에서 고려한 복합알람밸브의 강도안전성을 해석하기 위해 복합알람밸브에 적용한 최고사용압력은 1.4MPa 이고, 최대시험압력은 2.0MPa이다. 복합알람밸브 구조물에 형성된 응력강도와 변형률 거동특성은 유한요소법으로 해석하였다.

3. 해석결과 및 고찰

Fig. 2는 기존의 복합알람밸브의 몸체 구조물에 최대시험압력 2.0MPa의 내압을 작용시켰을 때 밸브몸체에 걸리는 응력 및 변형거동 분포도를 보여주고 있다. 응력분포를 보여준 Fig. 2의 해석결과에 의하면, 밸브몸체에 작용하는 von Mises 최대 응력은 69MPa이고, 최대변형량은 0.06mm로 나타났다. 이것은 주철소재의 항복강도인 370MPa의 18.6% 수준으로 대단히 높은 강도안전성을 확보하는 데이터로 복합알람밸브의 두께가 대단히 두껍다는 것을 의미한다.

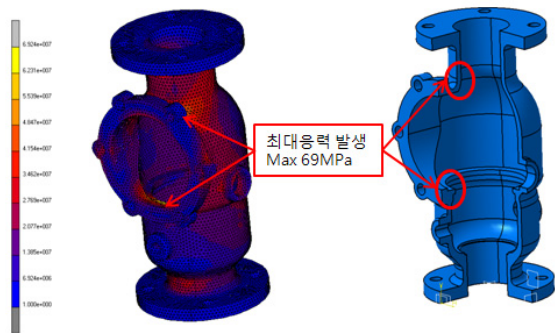
응력거동 특성을 보여준 Fig. 2(a)의 복합알람밸브 해석모델에서 최대응력은 복합알람밸브의 상단부와 원형 플랜지를 연결하는 굴곡부분, 복합알람밸브의 하단부와 볼밸브, 볼밸브와 플랜지를 연결하는 굴곡부분 등에서 높게 나타났다. 이것은 복합알람밸브의 몸체와 원형 플랜지, 볼밸브를 연결하는 굴곡부와 연결부위에서 불가피하게 발생하는 응력집중이지만 연결부의 곡률설계 데이터에 따라 달라진다. 따라서 높은 응력집중 현상을 분산·완화시키기 위해서는 가능한 연결부의 곡률을 완

만하게 연결하는 것이 바람직하다.

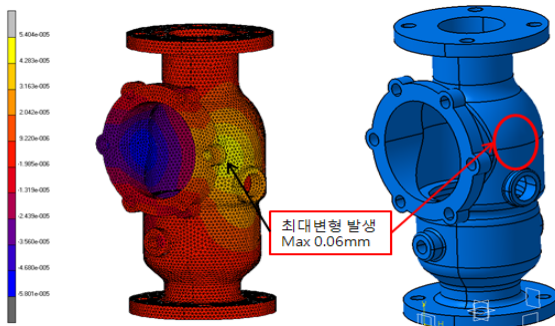
또한, 복합알람밸브의 최대변형거동은 밸브의 동근 측면부 양쪽에서 발행하였다. Fig. 2(b)에서 보여주는 형상처럼 복합알람밸브의 몸통부는 물의 안전한 유출입을 위해 설치한 클래퍼의 열림과 닫힘을 보장할 수 있도록 충분한 공간을 확보해 주어야 한다. 이것을 위해 복합알람밸브는 측면부에 큰 반경을 갖도록 설계하기 때문에 수압이 작용하면 가장 큰 변형거동을 나타낼 수밖에 없다. 그렇지만, 복합알람밸브에서 나타난 0.06mm의 최대변형량은 강도안전성 측면에서 볼 때 과도할 정도로 안전한 수치이다. 결국 변형거동 측면에서는 커버 플랜지를 설치하기 위해 원형에 가까운 볼형상 설계보다는 실린더 형상의 원기둥으로 설계하는 것이 바람직함을 알 수 있다.

Fig. 2에서 제시한 FEM 해석결과에서 제시한 강도안전성에 대한 적절성은 기계주물 구조물이나 압력용기 구조물의 강도안전 사례와 비교할 때 지나치게 높다는 사실이다. 즉, 일반적으로 기계제품에서 사용하는 강구조물의 강도안전성이 항복강도의 50% 정도⁽³⁾라는 것을 고려할 때 지나치게 높은 수준이다. 특히, 압력용기 구조물의 강도안전성도 항복강도의 30~35%를 넘지 않도록 설계한다는 것을 고려할 때 Fig. 2에서 제시한 응력강도 18.6%는 지나치게 높기 때문에 과도한 안전설계라 생각된다.

Fig. 2에서 제시한 복합알람밸브 모델의 강도안전성을 높게



(a) von Mises stress distribution



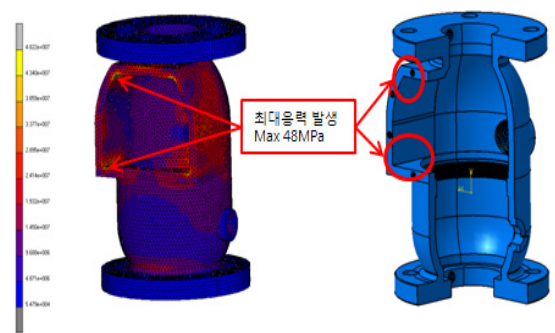
(b) Displacement distribution

Fig. 2 von Mises stress and displacement distributions of a conventional hybrid alarm valve structure

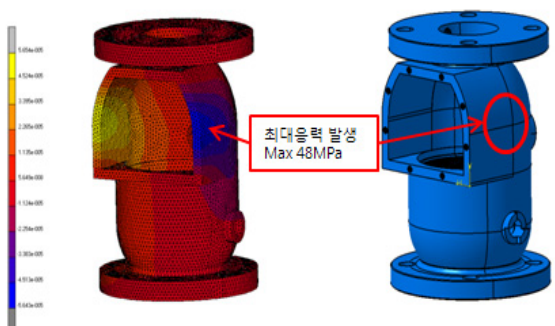
유지한다는 것은 복합알람밸브의 두께를 지나치게 높게 설정하였다는 것을 의미한다. 그 결과는 복합알람밸브의 중량이 많이 나가고, 제조원가와 운반비가 상승한다는 문제점으로 설명될 수 있다. 특히 무거운 복합알람밸브를 건물의 배관라인에 안전하게 설치하기 위해서는 배관과 지지용 조물의 강도 또한 높여야한다는 문제점이 제기된다.

Fig. 3은 Fig. 1(a)에서 제시한 대표적인 기존의 복합알람밸브 대비 중량을 줄이고, 강도안전성을 더 높이기 위해 새롭게 설계한 FEM 강도해석용 복합알람밸브 모델로 응력 및 변형거동 분포도 해석결과를 보여주고 있다. 여기서 새로운 복합알람밸브 해석모델 Fig. 1(b)에 가해진 최대시험압력은 2.0MPa로 Fig. 2에서 기존모델에 사용하였던 해석조건을 그대로 사용하였다.

Fig. 3의 응력거동 해석결과를 보면, 새로이 설계한 복합알람밸브의 상단부와 플랜지를 연결하는 굴곡부분이나 하단부와 볼밸브, 볼밸브와 플랜지를 연결하는 각각의 굴곡부분에서 응력집중 현상이 발생하지 않았다. 다만, 복합알람밸브의 개구부를 Fig. 2에서 보여준 원형에서 각형으로 형상을 바꾸면서 각형 개구부의 연결부 구조물에서 집중응력이 형성되었다. 이러한 결과는 복합알람밸브의 전체적인 강도안전성에 영향을 미치는 것이 아니고, 각형 구조물에 국한되는 것이므로 안전한 설계라 할 수 있다.



(a) von Mises stress distribution



(b) Displacement distribution

Fig. 3 von Mises stress and displacement distributions of new hybrid alarm valve structure

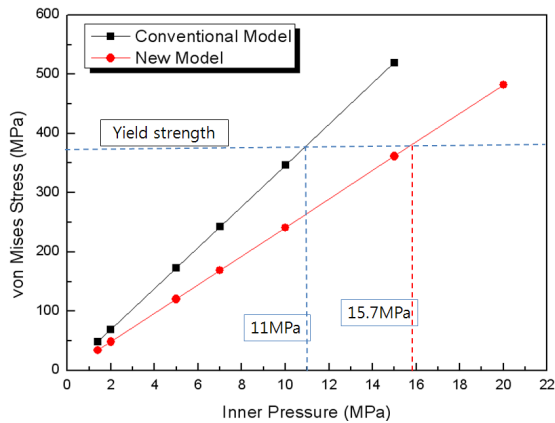


Fig. 4 Maximum von Mises stress of typical hybrid alarm valve and new alarm valve model

또한, 복합알람밸브의 변형거동 특성을 보여준 Fig. 3(b)의 해석결과에 의하면, Fig. 2의 변형거동과 유사한 특성을 보여 주고 있다. 즉, 복합알람밸브의 중간부에는 물의 개폐를 위해 클래퍼를 설치하기 때문에 상대적으로 넓은 공간을 확보해야 하는 복합알람밸브의 양쪽 측면부에서 높은 변형거동이 발생 하는데, 이것은 구조적으로 불가피하게 나타나는 변형거동현상이다.

Fig. 4에서 제시한 해석결과는 기존의 복합알람밸브 모델과 본 연구에서 새롭게 개발한 복합알람밸브 해석모델에 대한 응력강도를 상대적으로 비교한 데이터이다. 이때 복합알람밸브에 가해진 내압은 최대시험압력 2.0MPa에서 20MPa에 이르기 까지 폭 넓게 작용시켜 복합알람밸브에 걸리는 강도안전성을 고찰하였다.

Fig. 4의 FEM 해석결과에 의하면, 기존의 복합알람밸브 모델은 최대시험압력 11MPa에서 항복응력 370MPa에 도달하고, 최대시험압력은 14MPa에서 인장강도 485MPa에 도달하면서 파손이 발생한다. 반면에 본 연구에서 개발한 복합알람밸브 해석모델은 최대시험압력 15.7MPa에서 항복응력에 도달하고, 최대시험압력 20MPa에서 인장강도에 도달하는 것으로 나타났다.

결국, 기존의 복합알람밸브 모델을 기반으로 Fig. 3처럼 새롭게 설계한다면, 강도안전성 측면에서 항복강도는 42.7%, 인장강도는 42.8%나 향상시킬 수 있다는 해석결과이다. 이것은 기존의 복합알람밸브를 최적설계로 개발한다면, 전제적인 형상

크기와 무게를 크게 줄여도 강도안전성에는 아무런 문제가 발생하지 않을 것이라는 예측이다. 즉, 기존의 복합알람밸브는 과도한 두께로 설계되었음에도 불구하고 새로운 복합알람밸브에 비해 강도안전성은 떨어진다는 문제점을 제시하고 있다. 새로운 복합알람밸브는 균일한 두께와 안정된 곡률반경에 대한 최적설계로 기존 복합알람밸브에서 발생한 문제점을 해결하였다.

4. 결론

본 연구에서는 대표적인 복합알람밸브에 대한 강도안전성을 유한요소법으로 해석하고, 응력강도와 변형거동, 과도한 안전성 확보의 문제점에 대해 고찰하였다. 또한, 기존의 복합알람밸브 모델 대비 강도안전성을 높이면서 중량을 줄인 새로운 복합알람밸브 해석모델을 제시하였다.

기존의 대표적인 복합알람밸브에 최대시험압력 2.0MPa를 작용할 때 걸리는 최대응력을 보면, 주철소재의 항복강도인 370MPa의 18.6% 수준으로 가장 엄격하게 설계하는 압력용기의 강도안전 기준치보다 높다는 사실이다. 또한, 복합알람밸브에서 응력이 작용하는 취약부는 복합알람밸브와 플랜지, 복합알람밸브와 볼밸브를 일체형으로 연결하기 위한 굴곡부에서 나타났다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 새롭게 설계한 복합알람밸브 모델에서는 응력집중 현상이 없어졌고, 항복강도에서는 42.7%, 인장강도에서는 42.8%나 향상된 강도안전성 해석결과를 제시하였다. 결국, 기존의 복합알람밸브에 최적설계를 수행한다면 과도하게 확보하고 있는 강도안전성은 충분히 유지하면서도 무게와 크기를 크게 줄일 수 있다는 가능성을 제시하였다.

참고 문헌

- (1) MSC/MARC, 1999, *MARC User's Manual, Ver. K6.1*, MARC Analysis Research Co., USA.
- (2) Kong, Y. S., Kim, S. J., and Jung, M. W., 2009, "Structure Analysis of Key Components of Butterfly Valve for 1000A," *J. of the KSOE*, Vol. 23, No. 1, pp. 140~145.
- (3) Jung, J. C., Choi, S. H., Lee, Y. B., and Jang, H. S., 2004, *Mechanical Design*, Cheongmookgak, Korea.