

강도 안전성을 고려한 알람 밸브의 최적설계에 관한 연구

김태환 · 김청균

홍익대학교 트리보 · 메카 · 에너지기술 연구센터

A study on the optimized design of the alarm valve with strength safety

Kim, Tae Hwan · Kim, Chung Kyun

Research Center for Tribology, Mechatronics and Energy Technology
Hongik University

요 약

알람밸브는 습식 스프링쿨러 시스템에 필수적으로 사용되는 밸브로써 알람밸브의 오작동 및 고장 등은 치명적인 인명 및 재산의 손실을 가져 올 수 있으므로 소방밸브의 안전성 기준은 매우 높다. 이에 현재 제작되고 있는 알람 밸브는 강도 안전성 측면에서 매우 안전하게 설계가 되어있으며 주철 재질로 주물을 통해 제작된다. 하지만 이러한 과도한 안전설계는 오히려 과도한 무게의 부담으로 시스템에 무게 부담을 주기도 한다. 그러므로 본 논문에서는 밸브의 무게를 경감시키면서 충분한 강도안전성을 가지는 밸브의 설계안을 제시하고 유한요소 해석을 통하여 그 결과를 살펴보았다.

1. 서 론

알람밸브는 습식 스프링쿨러 시스템에 필수적으로 사용되는 밸브로써 화재시에 배관 내 물의 흐름을 자동감지하고 이를 이용하여 수신기에서 해당구역에 경보음을 울리게 하는 기능을 담당한다. 알람 밸브는 소방관계 법령으로 건물의 건축시 스프링쿨러 시스템과 함께 필수적으로 설치되어야 하며 알람밸브의 오작동 및 고장 등은 치명적인 인명 및 재산의 손실을 가져 올 수 있으므로 소방밸브의 안전성 기준은 매우 높다. 이에 현재 제작되고 있는 알람 밸브는 강도 안전성 측면에서 매우 안전하게 설계가 되어있으며 주철 재질로 주물을 통해 제작된다. 하지만 이러한 과도한 안전설계는 오히려 과도한 무게의 부담으로 시스템에 무게 부담을 주기도 한다. 본 연구에서는 이러한 알람밸브의 강도안전성에 대하여 응력과 변형량의 관점에서 유한요소해석 기법을 통하여 안전성 검증을 해보았으며 이러한 결과를 바탕으로 현재 시중에 제작 판매중인 알람밸브의 설계기준의 적합성 여부에 대하여 판단하고 더 나아가 강도 안전성을 확보함과 동시에 앞서 언급한 무게와 원가의 절감을 동시

에 도모할 수 있는 설계안을 제시하고자 하며 이러한 과정을 통하여 향후 알람 밸브의 설계시의 기초 자료로 삼고자 한다.

2. 해석방법

2.1 해석모델

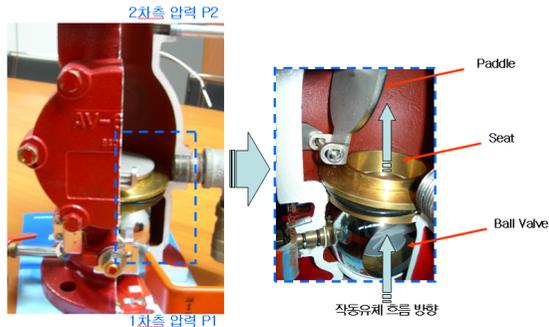


그림 1. 알람밸브 내부 구조

본 연구에서 해석 수행한 밸브는 기본적으로 축을 기준으로 대칭의 형상인 압력용기의 형상을 가지고 있으며 용기의 전면부에 유체의 흐름, 차단과 감지를 위한 볼 밸브 및 paddle과 같은 부품들을 밸브 바디 내부에 체결할 수 있는 입구가 있으며 그 입구는 밸브 조립 후 밸브 바디 재질과 같은 주철 커버로 막혀지게 된다. 또한 본 연구에서 사용된 밸브의 최대 사용 압력 14Kgf/cm^2 (1.4MPa), 시험압력 20Kgf/cm^2 (2MPa)이다.

2.2 사용재료 및 해석 조건

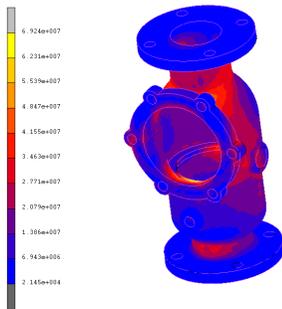
소재는 소방용 알람 밸브의 소재로 널리 사용되는 주철로 제작된 밸브에 대하여 해석하였다. 보통 주철은 맨홀뚜껑등과 같은 주물 제품에 널리 사용이 되며 탄소의 함유량, 냉각 속도 등에 의하여 강도 및 소재의 물성이 다양하다. 그 중 본 논문에서 사용된 재질은 GCD450(구상흑연 주철)로 그 기계적 성질은[2] 표 1. 과 같으며 밸브의 해석은 MSC marc를 이용하였다.

표 1. GCD450의 물성

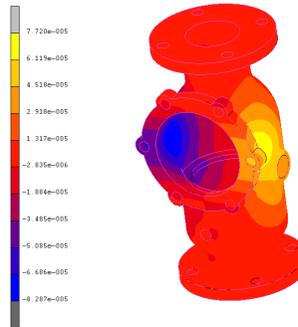
Material	Young's Modulus (Gpa)	Poisson's Ratio	Tensile Strength (Mpa)	Yield Strength (Mpa)
GCD 450	110	0.28	485	370

3. 해석결과 및 고찰

3.1 강도안전성 해석



von Mises Stress at 2MPa



Displacement at 2MPa

그림 2. 최대 von Mises Stress 및 변형량 분포도

그림 2는 밸브 바디에 대하여 시험압력인 2MPa의 내압을 주었을 때의 유한요소해석결과로 응력과 변형 량의 관점에서 살펴보면 밸브 바디에 발생하는 최대 von Mises Stress는 48.5MPa이며 변형량은 0.05mm로 나타났다. 이는 재료의 항복강도인 370MPa의 약 13%로 매우 안전한 강도안전성을 확보하고 있는 것을 알 수 있으며 주철재료를 사용하는 기계부품의 일반적인 안전율[4]을 적용하여도 190MPa로 항복강도의 약 50% 수준에 불과하다.

3.2 경량화 설계

앞서 살펴본바와 같이 본 연구에서 해석 수행한 알람 밸브 바디의 강도 안전성은 매우 우수한 것으로 나타났다. 하지만 서두에 언급 하였듯이 과도한 안전설계는 경제성을 고려하였을 경우 바람직하지 못한 설계이며 또한 과도한 무게로 시스템에 부담을 줄 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 기존의 해석한 밸브 바디와 같은 강도안전성을 가짐과 동시에 밸브 바디의 무게를 줄이며 나아가 재료의 사용을 최소화 할 수 있는 설계를 하고자 하였으며 아래와 같이 앞서 강도 안전성을 살펴본 모델을 Modify하여 세 가지의 모델을 추가적으로 제시하였다. 그림 4는 밸브에 사용되는 유체의 압력인 1.4MPa부터 최대 20MPa까지 밸브 바디 내부에 압력을 가해 그 때의 최대 von Mises Stress와 최대 변위량을 아래 제시한 네 가지 모델에 대하여 관찰한 결과이다. 결과를 살펴보면 재료의 항복응력을 기준으로 보았을 때 네 가지 모델 모두 사용 압력(1.4MPa)과 시험압력(2MPa)에서 매우 안전한 강도 안전성을 가지는 것을 알 수 있다. 또한 각 모델들을 비교해보면 본 연구에서 새롭게 제시한 모델이 기존모델(Model 1)에 비해 약 40% ~60%까지 더 높은 사용 유체의 압력을 견디는 것으로 나타났다. 새롭게 제시한 Model 2의 최대 응력과 최대 변형 발생 지점을 살펴보면 그림 3.과 같으며 모두 내부 부품 조립을 위한 전면부의 조립공에서 발생하는 것으로 나타났는데 이는 최대 응력의 경우 조립공의 예지부에 응력집중이

Model 1 : Base Model로 현재 M사에서 제작 중이며 시중에 널리 상용중인 모델

Model 2 : Base Model을 Modify하여 Valve바디의 전체 길이와 두께를 재 설계한 모델

Model 3 : Model 2를 Modify하여 응력집중이 일어날 것으로 예상되는 부위를 보강 설계한 모델

Model 4 : Model 2를 Modify하여 최대 변형이 일어날 것으로 예상되는 부위를 보강 설계한 모델

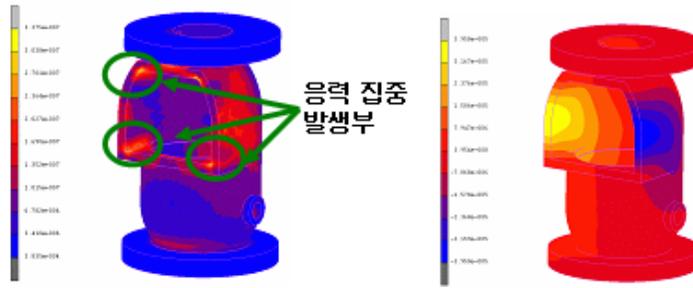


그림 3. 모델 2의 Max von Mises Stress & 변형량

발생한 원인으로 판단되며, 최대 변형 발생 원인은 조립공의 위치가 원통 용기의 중심 축에서 가장 멀리 떨어져있고 형상 또한 원형의 다른 형상들과 달리 직선부의 형상 때문인 것으로 판단된다. Model3과 Model 4는 이러한 점들을 추가 보완한 모델이며 그 결과 Fig 4.에 보여지는 바와 같이 Model 2와 비교하여 Model 3, 4의 최대 von Mises Stress가 낮게 나타났으며 특히 최대 변형량의 경우 최대 응력 감소폭(14%)대비 최대 변형량 감소폭(23%)이 큰 것으로 나타났다.

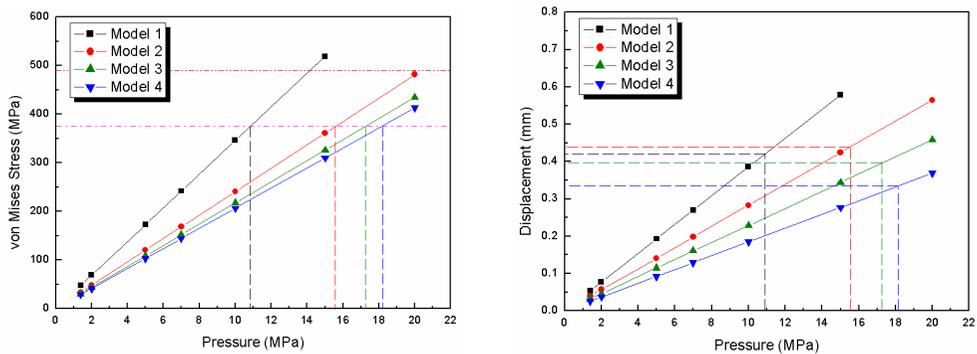


그림 4. 각 모델들의 내압에 따른 최대 von Mises Stress 및 최대 변형량

4. 결론

1. 밸브 바디의 강도안전성은 매우 우수하며 유한요소해석의 결과만으로 볼 때 밸브 설계시 과도한 안전계수를 가져간 것으로 판단된다. 주철 소재의 기계부품의 일반적인 안전계수를 적용하여도 밸브의 시험압력조건에서 발생하는 최대 응력이 재료의 항복응력의 50%수준에 불과하다. 이에 본 연구에서는 밸브의 강도안전성은 현재와 같이 충분하게 유지 하면서 재료의 사용 절감 및 제품의 무게를 경량화 할 수 있는 새로운 모델을 제시 하였다.

2. 본 연구에서 제시된 모델은 밸브 바디의 두께 편차를 줄임으로써 균일한 강도안전성을 확보하고자 하였으며 그 결과로 현재 시중에 사용 중이며 본 연구의 기본 모델로 사용된 밸브보다 높은 강도안전성을 확보함과 동시에 제품의 무게 또한 절감하였다 수치로 살펴보면 밸브 바디의 강도 안전성은 모델에 따라 40~60% 추가 확보하였으며 무게는 기본 모델과 비교하여 약 18%정도 감소하였다.

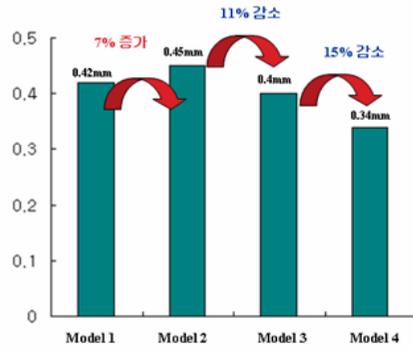
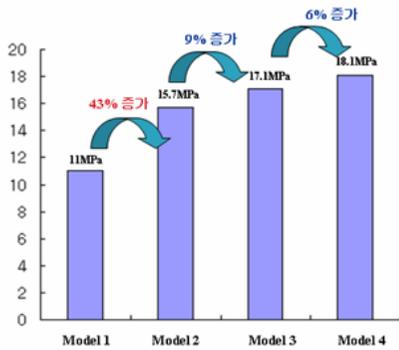


그림 5. 각 모델들의 내압에 따른 최대 von Mises Stress 및 최대 변형량
 따라서 본 연구에서 제시한 새로운 밸브의 형상은 추가 연구를 통하여 밸브 바디의 두께의 감소 등을 통하여 추가로 무게 및 소재의 절감이 가능 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이병관, 심종현, 김청균, “자동차용 Ringtank type LPG봄베에 관한 연구,” 한국가스학회 추계학술발표회 논문집, 2007, pp. 229~236
2. 공유식, 김선진, 정민화, “1000A용 버터플라이 밸브 주요부품의 구조해석,” 한국 해양공학회지 제23권 1호, pp 140-145, 2009년 2월
3. “MARC user’s manual,” Ver. K6.1, MARC Analysis Research Co., 1996.
4. 정재천, 최상훈, 이용복, 장희석, *종합 기계설계*, 청문각, (2004년 2월 15일)
5. 이경수, 오주환, 김엽래, “소구역용 알람밸브 개발에 관한 연구,” 한국소방화재 학회 추계학술발표회 논문집, 2006, pp. 148~154