

화재 안전용 불 밸브의 열 · 구조 연성해석 Thermal-Structural Coupled Field Analysis for Fire Safety type Ball Valve

*전락원¹, #김시범², 도태완³, 이권희⁴, 이준호⁵

*Rock Won Jeon¹, #Si Peom Kim(spkim@dau.ac.kr)², Tae Wan Do³, Kwon Hee Lee⁴, Joon Ho Lee⁵
^{1,3} 동아대학교 기계공학과 대학원, ^{2,4} 동아대학교 기계공학과, ⁵ 동아대학교 고기능성밸브기술지원센터

Key words :Ball Valve, Thermal-Structural Coupled Field Analysis, Fire safety

1. 서론

세계 각국의 에너지 수요 증가로 인하여 원유 및 LNG 가스 운반선의 수요가 증가하고 있으며 특히 천연 가스의 경우 연소 시 발생하는 이산화 탄소 및 아황산 가스등을 거의 배출하지 않기 때문에 석유의 대체 에너지로 각광 받고 있다. 그러나 천연 가스의 경우 부피가 매우 크고 가스 상태로 운반하거나 저장하기가 어렵기 때문에 천연가스를 액화시켜 운반 및 저장하는 설비가 점차적으로 증가 하고, 천연가스의 사용 비중이 점차적으로 증가하는 추세여서 이를 제어하는 설비 및 운반설비의 수요가 많아지고 있는 실정이다⁽¹⁾⁽²⁾. 이러한 가스 선박의 화재 발생 시에 밸브로부터 기름 또는 가스의 누설이 발생하여 더 큰 재난이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 원유 및 LNG 가스 운반선에 사용되는 밸브에 화재안전 시험 규격을 만족하도록 요구되고 있다.

따라서 선박에 장착되는 밸브의 경우에 화재에 의한 추가적 사고를 완전 방지하기 위하여 화재안전 시험규격에 의한 안정성이 검증된 밸브만 채택하고 있으며 본 연구에서는 열적 충격에 대한 열응력 분포 및 변형 등을 수치적으로 해석하여 실제 불 밸브의 설계에 적용하고자 한다.

2. 화재 안전용 불 밸브의 열 · 구조 연성해석

2.1 해석 모델 및 유한요소모델

수치해석을 위해 상용프로그램인 ANSYS 를 사용하여 해석을 수행하였다⁽²⁾.

유한요소모델은 Fig. 1 과 같고 정렬격자와 비 정렬 격자를 모두 사용하였고 슬라이딩이 가능한 상태의 접촉 조건을 정의하여 수치해석을 하였다.

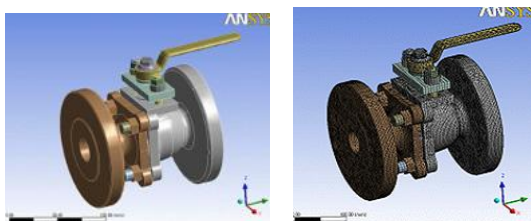


Fig. 1 Grid system and model of ball valve

2.2 열 해석

내부에 가해진 압력은 16bar(1.6MPa)이며 화재가 발생하였을 경우를 고려하여 초기조건(18℃)상태에서 접촉조건과 980℃의 대기조건을 적용하였다.

Fig. 2 는 980℃의 대기조건에 30 분 노출 된 후의 열 해석 결과이고 Fig. 3 은 Transient Thermal 의 convection 조건을 적용한 것이다.

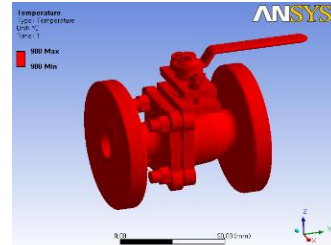


Fig. 2 Thermal distributions

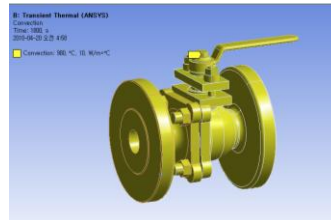


Fig. 3 Transient Thermal

2.3 내압 및 열 · 구조 연성해석
 실제 현상과 같은 조건을 부여하기 위해 Fig. 4 와 같이 강제 변위 구속 조건을 적용하였다.

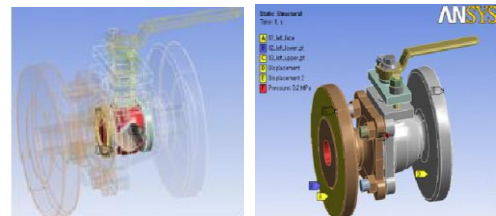
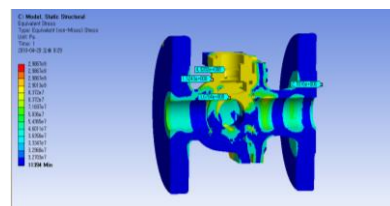
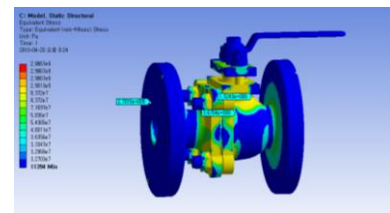
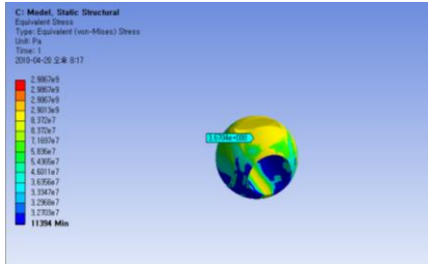


Fig. 4 displacement conditions

불 밸브의 열 · 구조 연성해석의 주요 검토 대상 중 하나인 응력 결과 분석에서 최대 응력을 참조하여 Fig. 5 와 같이 각 부품 별 해석결과를 분석하였다.



(a) Stress distributions of ball valve



(b) Stress distributions of Ball
Fig. 5 Analysis result of ball valve

해석 결과 최대응력은 Ball 상단 부와 valve 의 커버와 body 연결 부에서 발생했다. 그러나 최대 발생응력이 Valve 의 소재인 SUS316 의 허용응력 범위인 586MPa 을 초과하지 않는 432MPa 인 것을 확인하였다.

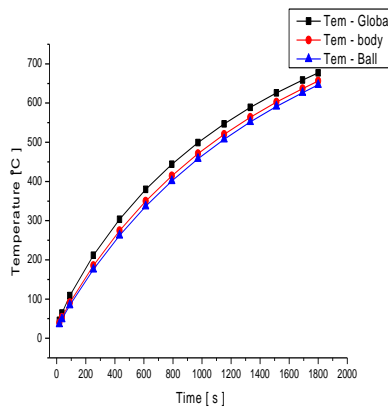


Fig. 6 Graph of Temperature distributions

Fig. 6 은 밸브 전체 및 Body, Ball 의 열 · 구조 연성해석에 의한 온도 변화 그래프이다.

3. 화재 안전 실험

화재안전용 볼 밸브는 화재 안전 시험규격을 만족하도록 요구되고 있다. 그러므로 화재안전용 볼 밸브의 설계 안전성 검증을 위해 화재 안전 시험 평가(API607) 규정에 의거하여 실험을 실시하였고 Fig. 7 에 나타내었다.

또한, Fig. 7 은 화재 안전 실험 시 측정된 볼 밸브 전체의 온도 변화 그래프이다.



Fig. 7 Fire safety test

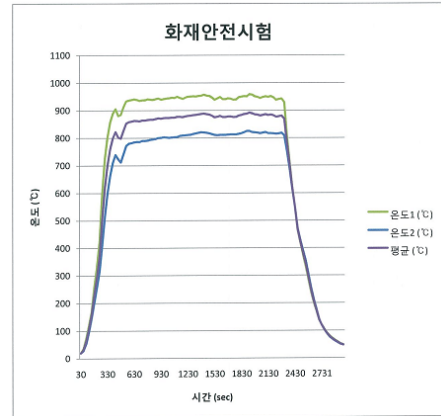


Fig. 8 Global temperatures

4. 결론

본 연구에서는 화재 안전용 볼 밸브의 성능특성을 파악하기 위하여 해석이론을 통한 열 · 구조 연성 해석을 수행하였고, 화재안전시험 및 결과 검토를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 화재 안전용 볼 밸브는 실제와 같은 기하학적 형상과 일치하도록 유한요소 모델링을 하였다.
2. 볼 밸브의 내부 압력은 16bar, 내부온도 18℃, 외부온도 980℃으로 열 · 구조 연성해석을 하였다.
3. 밸브의 주요 부품에서 발생한 최대응력은 422MPa 로써 허용응력의 범위인 586MPa 을 초과하지 않았고, 응력해석 결과를 평가하기 위하여 최대응력을 참조하였다.
4. 열 · 구조 연성해석을 바탕으로 화재안전용 볼 밸브의 특성을 파악 할 수 있었다.
5. 본 연구를 통해서 얻어진 열 및 응력분포를 볼 밸브의 구조 최적 설계에 적용할 예정이며 차후 수행될 연구의 초석을 제공하였다.

후기

본 연구는 지식 경제부의 기술인프라연계 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. Eleftherakis, John G., "Determining valve contaminant sensitivity effect using two contaminants", SAE TP 910960, pp459~464, 1991.
2. Thompson G, Askari, A.R., "Air leak detection through ball plug valves by vibration monitoring", Noise & Vibration control worldwide, V17, pp140~143, 1986
3. Philip L. Skousen, "Valve Handbook" McGraw-Hill, pp. 142~148, 2006
4. ANSYS Software, <http://www.ansys.com>