

산화제 개폐밸브 플랜지 기밀 해석 및 시험에 관한 연구

유재한* · 홍문근* · 배영우** · 이수용*

Study on Leakage Analyses and Experiments on a Main Oxidizer shut-off Valve

Jaehan Yoo* · Moongeun Hong* · Youngwoo Bae** · Soo Yong Lee*

ABSTRACT

In the leakage test of a Main Oxidizer shut-off valve, gas leakage was found on the middle flange with a metal conical seal. The structural analysis was performed for three models with different numbers of bolts and flange shapes and then one model was selected in consideration of the minimum axial gap deformation as well as the weight increment due to the change of flange shapes. Experimental leakage tests for the simulated flanges of the selected model has resulted in no gas leakage, and consequently the structural analysis method for the design of the middle flanges has proved feasible.

초 록

산화제 개폐밸브 개발 과정의 시험에서 금속 코니컬 씰이 장착된 밸브 중간 플랜지부에서 외부 누설이 발생하였다. 이에 기밀과 관련된 형상 변수인 볼트 수 및 플랜지 형상이 변경된 3가지 모델에 대하여 구조 해석을 수행하여, 설계 변경에 따른 무게 증가를 줄이고 동시에 플랜지간 벌어짐 양이 가장 적은 모델을 개선 모델로 선정하였다. 선정된 모델의 플랜지 부를 모사하는 시험 치구를 제작하여 기밀시험을 재수행하여 누설이 발생하지 않는 것은 확인하였으며, 결과적으로 플랜지 부의 기밀을 확보할 수 있는 설계 해석 방법을 검증하였다.

Key Words: Liquid Rocket Engine(액체로켓엔진), Main Oxidizer Valve(산화제 개폐밸브), Leakage test(누설 시험), finite element analysis (유한요소해석)

1. 서 론

우주발사체 액체추진기관용 산화제 개폐밸브(MOV, Main Oxidizer shutoff Valve)는 연소기에 산화제를 공급 및 제어하는 엔진부품으로, 일반적인 산업용 밸브에 비해 작동 조건이 매우 극한적이고 제한적이다. 압력손실과 무게를 최소화 하 할 뿐만 아니라, 동시에 요구되는 기밀성능

* 한국항공우주연구원 발사체미래기술팀

** 한화 항공우주기술연구소

*** 교신저자, E-mail: tonup@kari.re.kr

을 유지해야 하는 등의 어려움이 있다[1]. MOV는 고압이 작용하고 발사체 엔진의 다른 배관에 비해 비교적 직경이 커서 분리 하중에 의한 모멘트가 크게 되어 기밀 성능이 상대적으로 불리한 측면이 있다.

MOV 개발 과정에서 기본 모델의 상온 기밀 시험 결과, 80 bar에서 기밀이 유지되었으나 중간 플랜지 부위에서 100 bar에서는 누설이 있었다. 현재 개발 중인 MOV의 중간 플랜지는 금속 재질의 코니컬 씰 (conical seal)이 사용되었다. 이 씰은 볼트 하중에 의해 압착이 되어 스프링 처럼 양쪽 기밀면을 누르는 힘이 발생하여 기밀을 유지하다가 내부 압력에 의해 플랜지가 벌어지게 되고 기밀면을 누르는 힘이 감소하여 누설이 발생할 수 있다. 기밀을 평가하기 위한 여러 가지 해석과 측정값이 있으나 본 연구에서는 압력에 의한 플랜지 부의 벌어짐 양을 이용하였다.

MOV의 기밀을 평가하고 개선하기 위하여 기본 모델과 개선 모델에 대하여 상용 구조해석 프로그램인 Abaqus v6.9를 이용하여[2] 볼트 기하중 (bolt preload) 및 접촉 비선형성이 고려된 정적 구조 해석을 수행하였다. 벌어짐 양을 개선하기 위하여 볼트의 개수와 플랜지 형상을 변경시킨 3가지 모델에 대하여 해석을 수행하고 가장 기밀 성능이 유리할 것으로 판단되는 모델의 플랜지 부를 제작하여 기밀 시험을 재수행하였다.

2. 해석 및 시험

2.1 구조 해석 결과

구조 해석에 사용된 기본 모델의 유한요소는 Fig. 1과 같다. 시험을 모사하기 위해 산화제 입구 및 출구에 플랜지를 나타내는 원판구조물이 부착이 되었으며 금속 코니컬 씰과 내부 구조물은 포함되지 않았다. 정적 응력 해석을 위하여 해석 결과에 영향을 미치지 않는 범위에서 출구 쪽 원판의 일부를 고정지지하였다. 하중은 내압만이 적용되었으며 16개의 M12 볼트에는 각각 31770N의 축력이 작용되며 이 값은 시험자가 토크 렌치로 가해진 56.5 Nm의 값에서 구해졌다. 볼트 머리와 플랜지 및 너트와 플랜지의 접촉면

은 상호 구속 경계조건이, 중간 플랜지면들은 마찰력이 없으며 분리가 가능한 접촉 조건이 사용되었다. 유한요소는 10절점 4면체 요소가 사용되었으며 중간 플랜지 부근은 4mm 크기의 격자가 사용되었다. 물성치는 탄성계수 200 GPa과 포아송 비 0.3이 사용되었다. 기밀 평가를 위한 물리량은 Fig. 2의 플랜지와 금속 씰이 닿는 점들의 가압 후에 축방향 벌어짐 양으로 하였다.

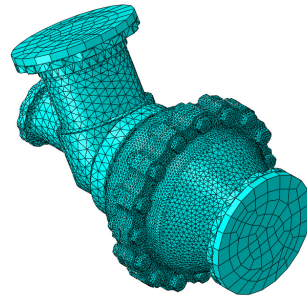


Fig. 1 Base Model Finite Element Mesh

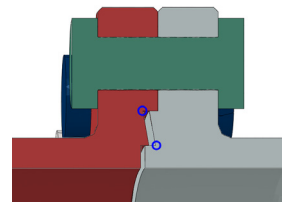


Fig. 2 Axial Deformation Measurement Points.

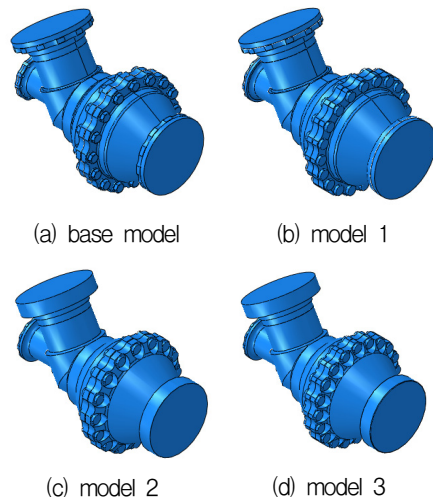


Fig. 3 base and reinforced model.

Table 1. Model Configurations

모델명	플랜지	볼트수(개)	중량증가(kg)
기본	플랫	16	-
# 1	플랫	20	0.062
# 2	테이퍼	16	1.227
# 3	테이퍼	20	0.926

Table 2. Axial Deformations of Analysis Results

모델명	내압 (bar)	벌어짐양 (μm)
기본	80	39
기본	100	70
# 1	100	33
# 2	100	42
# 3	100	23

구조 해석을 위한 모델은 기본 모델을 포함하여 Fig. 3에 있는 총 4가지이며 각각의 형상 조건은 Table 1, 해석 결과는 Table 2에 나와 있다. 구조 해석으로 구해진 벌어짐 양으로 기밀을 예측하면, 기본 모델의 100 bar보다 벌어짐 양이 적은 모델 #2 및 #3은 100 bar에서 기밀이 유지될 것으로 판단된다. 모델 #3이 모델 #2보다 중량이 적게 증가하므로 모델 #3이 가장 적절한 개선안으로 판단된다.

2.2 기밀 시험 결과

MOV 기밀 시험을 위하여 Fig.3과 같이 상온에서 질소 가스를 충전/가압하였다. 기본 모델의 100 bar 누설량은 0.2 cc/sec이다. 구조 해석 결과 가장 기밀에 유리할 것으로 판단되는 모델 #3에 대하여 플랜지 부위만 제작하여 기밀 시험을 재수행한 결과 100 bar에서 기밀이 유지되었다.



Fig. 3 Leakage Test.



Fig. 4 Manufactured Flange Model #3.

3. 결론 및 향후 계획

산화제 개폐밸브 개발 과정의 시험에서 금속 코니컬 씰이 장착된 플랜지부 누설이 발생하였다. 기밀과 관련된 형상 변수인 볼트 수 및 플랜지 형상이 변경된 3가지 모델에 대하여 구조 해석을 수행하여 벌어짐 양이 가장 적은 모델을 선정하였다. 선정된 모델의 플랜지 부위를 제작하여 기밀 시험을 재수행한 결과, 누설이 발생하지 않았다. 또한 벌어짐 양만 및 중량면에서 테이퍼보다는 볼트 수 증가가 효율적인 개선안이다. 그리고 플랜지 부위만 제작된 경우에 대하여 해석을 수행하여 전체 MOV 모델의 해석 결과와 비교할 계획이다.

참고 문헌

1. 전재형, 홍문근, 김현준, 이수용, "산화제 개폐밸브의 힘평형에 관한 연구", 한국항공우주학회지, 제37권 8호, 2009, pp.812-818
2. Abaqus Analysis User's Manual.