

가스발생기 산화제 개폐밸브 구조 해석

류승훈* · 홍문근* · 유재한* · 이수용*

Structural Analysis of a Gas Generator Oxidizer Shut-Off Valve

Seunghun Ryoo* · Moongeun Hong* · Jaehan Yoo* · Sooyong Lee*

ABSTRACT

For the liquid rocket engine, the gas generator oxidizer shut-off valve which supplies the oxidizer to a gas generator needs structural safety under the internal pressure, which is higher than the chamber pressure. In this study, static stress analyses of the various design in the vicinity of the region where the stress is concentrated were performed for designing the lightweight valve, A lightest model of which the concentrated stress does not exceed the yield criteria has been suggested. Also, whole size effect of the valve on the concentrated stress was investigated.

초 록

액체로켓 엔진에서 산화제를 가스발생기에 공급하는 가스발생기 산화제 개폐밸브는 가스 발생기 연소압 이상의 높은 압력에서 구조적인 안정성을 확보하여야 한다. 본 연구에서는 내압 하중 조건을 받는 밸브의 경량화를 위하여 응력 집중 부위의 형상을 변화시켜가며 정적 응력 해석을 수행하였다. 그리고 최대 응력이 항복응력을 넘지 않으며 최소 중량을 가지는 밸브 형상을 제시하였다. 또한, 응력 집중부에 대한 전체 밸브 사이즈 변화의 영향도 살펴보았다.

Key Words: Gas generator Oxidizer Valve (가스발생기 산화제 밸브), Liquid Rocket Engine (액체로켓엔진), Static Stress Analysis (정적 응력 해석)

1. 서 론

액체 로켓 엔진시스템에서 가스발생기(gas generator)는 고압의 연소가스를 발생시켜 터보

펌프를 구동시키는 역할을 한다. 그리고 터보펌프는 고압으로 추진제를 연소기와 가스발생기에 공급한다. 본 연구에서는 액체 산소와 케로신을 사용하는 이중 추진제 가스발생기를 다루며 이러한 가스발생기는 고온, 고압에서 작동하는 특성을 가지게 된다. [1, 2, 3]

가스발생기에는 일정압력 이상의 산화제가 공

* 한국항공우주연구원 발사체미래기술팀
연락처, E-mail: tonup@kari.re.kr

급되어야 하는데 그 역할을 산화제 개폐 밸브(oxidizer shut-off valve)가 하게 된다. 산화제 밸브는 들어오는 산화제의 압력이 일정 치에 도달하면 스프링 강성에 의해 차단되어 있던 포핏(poppet)이 열리면서 산화제가 공급된다. 따라서 산화제 밸브는 산화제의 높은 압력에 견딜 수 있도록 설계 되어야 하므로 따라서 구조 강도를 검증하기 위해서 구조 해석과 시험이 필요하다.

본 논문에서는 가스발생기 산화제 밸브의 구조적인 안전성을 평가하고, 경량화 된 가스발생기 산화제 밸브를 설계하기 위하여 구조해석을 수행하였다. 또한 밸브의 전체사이즈에 대한 영향도도 살펴보았다.

구조해석은 유한요소법과 상용 프로그램인 Msc.Marc 2007을 사용하였다. 해석 결과는 Von-Mises Stress criteria를 이용하여 비교 분석하였다.

2. 가스발생기 산화제 밸브의 구조해석

2.1 해석 모델

Figure. 1 는 본 연구에서 고려된 가스발생기 산화제 개폐 밸브의 전체적인 형상이다.

산화제 밸브에 헬륨이 공급되면 스프링 강성에 의해 고정되어 있는 포핏(poppet)을 들어 올려 산화제가 공급된다.

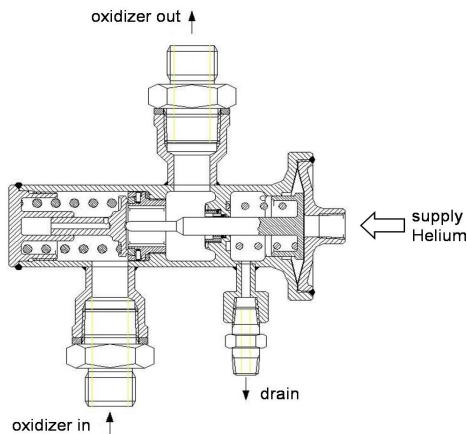


Fig. 1. Configuration of the gas generator oxidizer valve

구조해석 모델링에 사용된 형상은 내부의 구조물들을 모두 제거하였으며, 배수구 부분(drain part)에 작용하는 공간은 산화제 압력에 의해 거의 변형이 발생하지 않고 해석결과에 영향이 적어 제외시켰다.

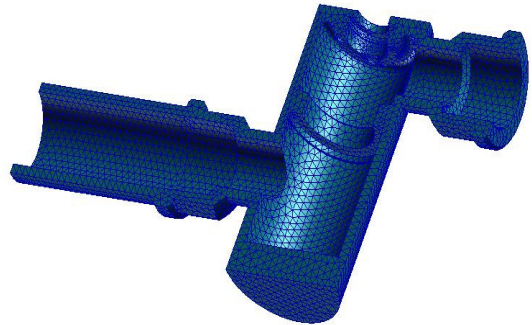


Fig. 2. 3D finite element mesh for the oxidizer valve model

가스 발생기의 산화제 밸브는 산화제에 의한 부식과 높은 압력에 견딜 수 있어야 하므로 내산화성이 좋으며 높은 강도를 가지는 재료를 선정해야 한다. Table. 1은 본 연구에서 사용된 재료의 기계적 물성치를 나타낸다.

Table 1. Mechanical properties of valve model

Density (kg/m^3)	7918.0
Yield strength (MPa)	250
Young's Modulus(MPa)	1.985×10^5
Poisson ratio	0.3

모델링에 사용된 요소는 3차원 10절점 4면체 요소(tetra element)이며 요소개수와 절점 수는 각각 36,404와 59,969개이다. Fig. 2와 같이 요소 분할하였다.

2.2 구조 해석 경계조건

경계조건은 Fig. 3에서 보듯이 내부에 작용하는 산화제의 압력인 11.8 MPa에서 MEOP(maximum expected operating pressure)를 적용

한 14.2 MPa로 적용하였으며, 대칭(symmetry)경계조건을 적용하여 구조해석을 수행하였다. 메쉬의 수렴성 테스트 결과 5%이내에 응력결과가 수렴했다는 것을 확인하였다. Fig. 3에서 산화제 입력부의 배관의 길이가 출력부에 비해 늘려져 있는 것을 볼 수 있다. 이는 입력부의 배관을 실제 연결되어 있는 상태를 나타내기 위해 70 mm 확장하였고, 출력부의 배관은 강체로 표현될 수 있는 부분이어서 각각 고정지지하여 구속 처리하였다.

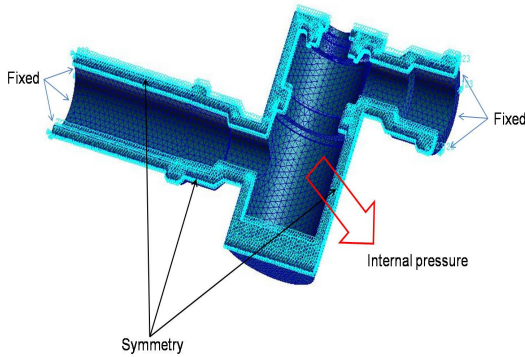


Fig. 3. Boundary conditions of the structure model

2.3 기본모델의 구조 해석 결과

구조해석 한 밸브의 두께는 3.0 mm로써 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 밸브 두께가 충분한 여유를 가져 응력을 적게 받는 것을 알 수 있다. 그러나 산화제의 주입 부분과 연결되는 부분(in line)에서는 굽힘 모멘트의 작용으로 최대응력(maximum stress) 333.8 MPa으로 소성변형 되는 것을 알 수 있다. 또한 경계조건으로 잡았던 in line 배관안에 작용하는 내압으로 인해 작용한 하중이 밸브의 수직방향으로 작용하였다. 이에 따라 밸브와 배관의 연결 부분에서 굽힘 모멘트의 작용으로 인해 응력이 최대로 작용하는 것을 볼 수 있었다.

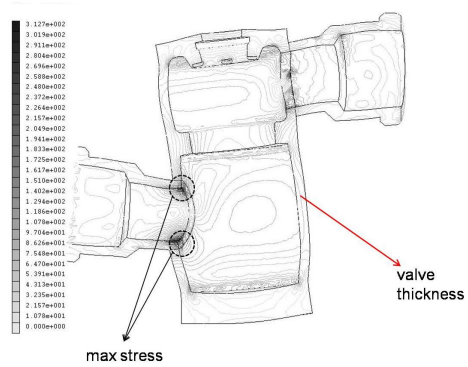


Fig. 4. Von mises stress contour result of the base valve model

2.4 설계변경 해석조건

산화제의 유량 조절을 위해서 두께를 유지한 상태에서 전체 스케일을 90%로 조정하였다.

또한 굽힘 모멘트의 작용을 줄이고, 밸브의 두께는 충분한 여유를 가지므로 두께를 2.0 mm로 조정하고 in line부분을 보강하고, 경계조건은 동일한 경계 조건을 유지 시켜 구조해석을 실시하였다. Fig. 5는 설계 변경의 2가지 변수에 대해 나타낸 것으로 Table. 2는 이 변수를 바탕으로 설계 변경 한 모델들을 나타낸 것이다. Δh 는 보강 높이의 변화로 2~6 mm로 변하고, Δt 는 보강 두께의 변화로 2~3 mm의 변화를 주어 case 를 만들었다.

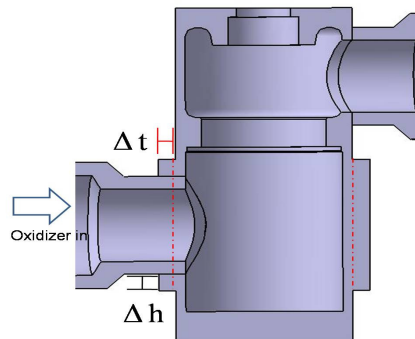


Fig. 5. Design variables of the model

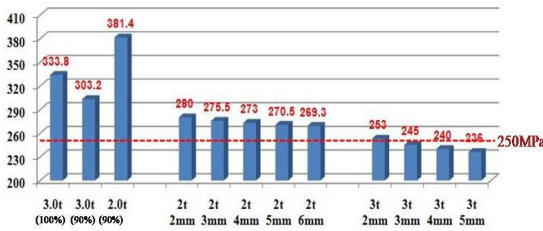
Table 2. Cases of valve model

Size (%)	valve thickness	case	$\Delta t(\text{mm})$	$\Delta h(\text{mm})$
100	3.0t	ⓐ	.	.
90	2.0t	ⓑ	.	.
		ⓒ	.	.
		ⓓ	2	2
		ⓔ	2	3
		ⓕ	2	4
		ⓖ	2	5
		ⓗ	2	6
		Ⓢ	3	2
		Ⓣ	3	3
		Ⓚ	3	4
		Ⓛ	3	5

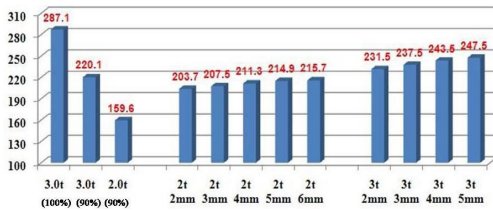
이(h)의 변화에 따른 응력의 변화보다 더 큰 것을 알 수 있으며, 두꺼운 두께의 상태에서 응력의 변화량이 더 큰 차이를 나타냄을 알 수 있었다. 가볍고 항복강도(yield strength)를 넘지 않는 모델은 최대응력이 245 MPa이 작용하고 237.5 g 질량을 가지는 case Ⓣ 모델($\Delta t : 3 \text{ mm}$, $\Delta h : 3 \text{ mm}$)이 적합한 모델임을 알 수 있다. 최대응력 333.8 MPa, 질량 287.1 g 이었던 기본모델에 비해 최종으로 선정된 모델의 응력은 73%, 질량은 82%로 감소되어 항복응력을 넘지 않으며, 경량화된 모델을 선정할 수 있었다.

2.5 해석 결과

3. 결론 및 향후 계획



(a) Stress



(b) Mass

Fig. 6 Comparisons of stresses and masses for the various case

Figure. 6는 각 case에 따른 응력과 질량을 비교한 것이다. 밸브 사이즈 90% 모델이 100%의 모델에 비해 작은 응력이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 전체적인 밸브의 사이즈가 작아지면서 in line 배관이 위치하는 밸브 벽면의 높이의 감소로 인하여 굽힘 모멘트가 작게 걸리게 되어 최대응력이 줄어든 것을 알 수 있다.

또한 두께(t)의 변화에 따른 응력의 변화가, 높

본 연구에서는 가스발생기 산화제 개폐밸브의 여러 형상에 대하여 Von-Mises Stress criteria를 이용하여 구조해석을 수행 하였다. 내압 하중 조건을 받는 밸브의 경량화를 위하여 응력 집중 부위의 형상을 변화시켜가며 정적 응력 해석을 수행하여 최대 응력이 항복응력을 넘지 않으며 최소 중량을 가지는 밸브 형상을 제시하였다. 또한, 응력 집중부에 대한 전체 밸브 사이즈 변화의 영향도 살펴보았다

향후에는 본 논문에서 고려되지 않은 배관과 산화제 개폐밸브의 Brazing용접의 영향성을 고려하여 구조해석 할 예정이다.

참고 문헌

- Huzel, D.K. and Huang, D.H., Modern engineering for design of Liquid-propellant rocket Engines, AIAA, 1992.
- Sutton, G. P., Rocket Propulsion Elements, 7th ed., John Wiley & Sons Inc., 2001.
- 류청성, 최환석, "가스발생기 재생냉각 챔버 구조해석" 대한기계학회논문집 2007, pp. 1046~1052.
- MSC/MARC User's Guides, The Macneal - Schwendler Corp., 2003.