

# 연소기 산화제 개폐밸브 진동특성

김대영\*

\*한국항공우주연구원

e-mail:dykim6636@kari.re.kr

## Vibration Characteristics of a Main Oxidizer Shut-off Valve

Dae-Yeong Kim\*

\*Korea Aerospace Research Institute

### 요약

본 논문에서는 액체로켓엔진용 연소기 산화제 개폐밸브에 대한 발사 진동 이력으로 수행한 정현파진동과 랜덤진동 시험과 이를 검토하기 위한 진동해석에 관한 것이다. 정현파진동, 랜덤진동 시험은 표준절차에 따라 수행하였고 입력 프로파일 대비 만족스러운 시험결과를 확인하였다. 유한요소해석에 의한 진동 응답결과가 시험과 다소 차이를 보이는 부분도 있지만 이것은 유한요소해석모델의 정확한 강성, 감쇠특성 모사, 해석 경계조건 차이로 향후 추가적 검토와 수정이 필요하다. 연소기 산화제 개폐밸브 개발에 활용될 수 있다.

### 1. 서론

액체로켓엔진(Liquid propellant rocket engine)은 추진체를 연소실로 공급하기 위해 다양한 추진체 공급시스템을 필요로 하며, 이러한 공급시스템 구성품에는 다양한 정밀밸브가 포함된다. 이 중 연소기 산화제 개폐밸브(MOV, Main Oxidizer shutoff Valve)는 연소실로의 산화제를 공급 및 제어하며, 고진동, 고압, 극저온의 극한 환경에서도 유량성능, 기밀성능, 적절한 응답속도 및 압력손실 등을 만족하는지가 중요한 설계 변수이다[1]. 다양한 설계 변수 가운데 발사시 인가되는 극심한 진동 환경조건에 대한 구조 안전성 검증 및 평가는 중요한 설계 인자가 된다[2]. 우선 발사시 유발되는 진동 환경시험에는 크게 음향하중, 충격하중, 저준위 사인 진동하중 및 랜덤 진동이 있다[3,4].

본 논문에서는 산화제 개폐밸브의 발사 진동 이력을 토대로 정현파 진동과 랜덤 진동 특성에 대해 진동시험 결과를 검토하고, 이를 진동해석 결과와 검토하고자 한다.

### 2. 개폐밸브 진동특성

#### 2.1 진동조건 및 시험

본 논문에서는 정현파진동 시험과 랜덤진동 시험을

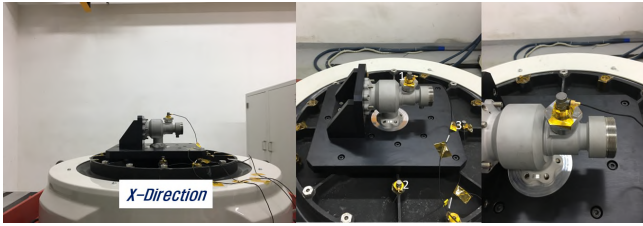
수행하였다. 진동방향은 그림 1처럼 X축 가진으로 밸브 인/아웃이 수직으로 놓여진 상태로 시험지그에 고정하여 시험을 수행하였다. 각 가진에 대한 응답 확인 위치는 그림 1과 같이 지그 상단에 입력 프로파일 확인용 2개와 밸브 상단 추진체 입구에 소켓 볼트를 제작하여 그 상단에 1개 장착하여 응답을 확인하였다. 정현파진동과 랜덤진동 수행을 위한 가진 프로파일은 표 1, 2와 같다. 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 전체 해석 구간인 5~2000Hz 중 5~17Hz는 변위가 일정하게 유지되는 변위제어가 적용되었고, 17~2000Hz 구간은 가속도가 일정하게 유지되는 가속도제어를 하였다. 랜덤진동 시험은 20grms로 시험지그 바닥면을 수직으로 가진 하였다. 저차의 20개 모드를 사용하여 스펙트럼 및 과도해석 결과를 얻었으며 1st 모드는 1599.1Hz, 2nd 모드는 1793.6Hz 로 모두 굽힘 모드이다.

[표 1] 정현파진동 프로파일

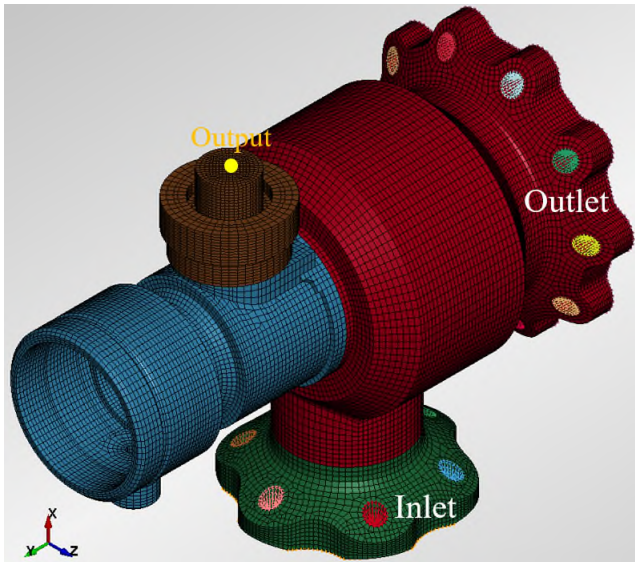
Frequency (Hz)	Power Spectral Density (PSD)	Tolerance	Duration & direction
5~17	Amplitude 10 mm	Amplitude: ±3dB Frequency:±2%	2 Oct/min., over 3 axis
17~60	Acc. 12g		
60~200	Acc. 22g		
200~2000	Acc. 12g		

[표 2] 랜덤진동 프로파일

Frequency (Hz)	Power Spectral Density (PSD)	Tolerance	Duration & direction
20	0.089 g <sup>2</sup> /Hz	PSD: ±3dB	4 min., along 3 axis
20~60	+3 dB/oct		
60~1000	0.273 g <sup>2</sup> /Hz		
1000~2000	-6dB/oct		
Overall	20 g RMS	RMS: ±10%	



[그림 1] 진동시험 모델



[그림 2] 진동시험 모델

## 2.2 진동해석 및 결과비교

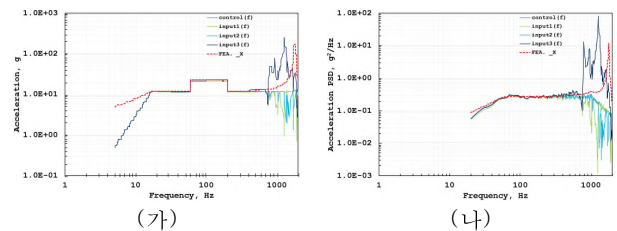
정현파 진동과 랜덤 진동 해석 수행은 상용 유한요소 소프트웨어인 LS-DYNA가 사용되었다. 시험 조건과 가장 유사하게 구현될 수 있도록 모델링하였다. 진동해석을 위한 유한요소 모델링은 육면체(Hexahedral), 빔(Beam)요소를 사용하여 요소분할을 진행하였다. 밸브 및 홀캡은 육면체 요소로 요소분할 하였고, 볼트는 빔요소로 모델링하였다. 요소수(Element)는 93,000개, 질점수(Node)는 120,000개로 구성하였다. 그림 2는 해석을 나타낸 것이며, 가진에 의한 응답위치도 함께 나타내었다. 유한요소해석모델에 적용한 재료 물성치는 표 3에 나타내었는데 밸브는 Inconel-718, 홀캡은 탄소강으로 적용하였다. 밸브 각 부품간 접촉부위의 접촉조건은 해석 프로그램에서 제공하는 \*CONTACT\_TIED\_SURFACE\_TO\_

SURFACE를 사용하여 완전접촉 상태를 모사하였다. 그리고 밸브 인/아웃부분 고정을 위한 경계조건 구속은 빔요소 각 끝 질점에 대해 6자유도(DOF)를 구속하였다.

응답을 표현하는 변수는 변위, 속도, 가속도 또는 힘이 될 수 있다. 본 논문에서는 가속도 표현으로 나타내었는데 결과는 그림 3과 같다. 정현파진동과 랜덤진동 프로파일을 유사하게 따라가지만 고유진동수에서 응답 양상이 실험과 다르게 확인되었다. 이것에 대해서는 강성,감쇠 특성을 고려하여 추가적으로 검토가 필요하다.

[표 3] 재료 물성치

	Inconel-718	Steel
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	8221	7830
Yield stress [MPa]	1034.2	330
Young`s Modulus [GPa]	202.7	207
Poisson`s ratio	0.29	0.3



[그림 3] 진동시험 모델: (가) 정현파진동, (나)랜덤진동

## 3. 결론

본 논문에서는 연소기 산화제 개폐밸브에 대한 진동시험과 이것에 대한 전산 진동해석으로 결과를 검토하였다. 1000Hz 이상에서 차이가 있는 부분에 대해서는 해석적 경계조건 등의 부분을 추가적으로 검토가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] 정대성, 홍문근, 한상엽, “액체로켓엔진용 연소기 산화제 개폐밸브 성능 특성”, 한국추진공학회논문지, 제 21권 4호, pp. 28-35, 2017년.
- [1] 서현석, 김홍배, 우성현, 채장수, 오태식, “한국형 위성 발사체 성능 검증위성의 진동환경에 관한 연구”, 한국소음진동학회추계학술대회논문집, pp. 966-970, 2005년.
- [2] Thomas P. S. and Wiley J. L., “Thomas P. Sarafin, and Wiley J Larson, “Spacecraft Structures and Mechanisms-From concept to Launch”, 1995년.
- [3] 조희근, 이상현, 차원호, “샌드위치 패널 구조로 된 소형 위성의 동적거동 응답 및 연구”, 한국항공우주학회논문지, 제 40권 9호, pp. 771-780, 2012년.