

발사체 엔진 시동시 PSD 유무에 따른 터보펌프 입구 배관 압력 섭동 해석

정영석* · 김주완* · 박광근* · 백승환* · 조기주*

Analysis for Pressure Oscillation on the Inlet of Turbo-Pump at the Moment of Launch Vehicle Engine Startup

Youngsuk Jung** · Juwan Kim* · Kwangkun Park* · Seungwhan Baek* · Kiejoo Cho*

ABSTRACT

It was reviewed about the pressure oscillation on the inlet of turbo-pump at the moment of engine startup and shutdown. Specially, This research was performed how much is the effect of PSD(Pogo Suppression Device) about the pressure oscillation on the inlet of turbo-pump at the moment of engine startup and shutdown. For analysis, propellant tank PSD and Engine are modelled with Flowmaster which is the commercial 1D program. As the analysis results, even though the PSD is installed in the pipeline, the pressure drop or rising at the moment of engine startup and shutdown is same compared to the case without PSD. However, it was confirmed that PSD reduces the pressure oscillation of the high frequency band as the original purpose of PSD.

초 록

발사체 엔진 시동 및 정지시 발생하는 압력 섭동 및 압력 강하에 대한 검토를 수행하였다. 특히 PSD(Pogo Suppression Device)이 존재하는 경우 엔진 시동 혹은 정지시 이에 대한 영향을 검토하기 위해 연구를 수행하였다. 해석을 수행하기 위해 상용 1D 해석 프로그램인 Flowmaster를 사용하여 추진제 탱크 및 PSD, 엔진을 모델링하였다. 해석 결과 PSD가 설치되어 있어도 엔진 시동 및 정지시 터보펌프 입구에서의 압력 강하 및 상승에 변화가 없음을 확인하였다. 단, PSD의 본래 목적에 맞게 배관에서의 높은 주파수 대역의 압력 섭동을 낮추는 효과를 확인하였다.

Key Words: · KSLV-II, Propulsion System(추진기관), LOx(액체산소), PSD(포고억제장치),

1. 서 론

터보펌프식 엔진에 의해 운용되는 발사체는 엔진 시동시 터보펌프의 구동에 의해 고유량의 추진제가 연소기로 공급된다. 이와 같은 엔진 시동과정에서 터보펌프 입구 배관에서는 압력이

* 한국항공우주연구원 발사체추진기관체제팀

† 교신저자, E-mail: ysjung@kari.re.kr

급격히 하강한다. 이유는 배관내 추진제가 순간적으로 터보펌프에 의해 강하게 빨려 나가게 되고 바로 이어서 추진제의 이동이 이루어지지 않으므로 배관내 정압이 떨어지는 상황이 발생하게 된다.[1] 배관부에서 생기는 압력 강하는 펌프 입구에서 케비테이션을 일으키는 주요 원인이 됨으로 매우 중요하게 검토되어야 한다. 이를 해결하기 위해서는 엔진 시동 시퀀스를 수정하거나 시동시 추진제를 임의로 공급하는 시스템을 구성하는 것이 필요하다.

엔진 시동 시퀀스를 수정하여 터보펌프 입구 압력 강하를 방지하는 방법은 제시한 바 있다.[1] 그러나 시동시 추진제를 임의로 공급하는 시스템에 대한 검토는 아직 하지 않았다. 본 논문에서는 이에 대한 검토 결과를 제시하고자 한다.

발사체 산화제 라인에는 PSD(Pogo Suppression Device)가 장착되어 있다. PSD는 유체 고유진동과 구조체 고유진동이 일치하여 발사체의 심각한 진동이 발생하는 것을 방지하기 위한 것이다.[2] PSD에 의해 엔진 시동 및 정지 시퀀스에서 발생하는 터보펌프 입구에서의 압력 섭동이 완화되지 않을까하는 의문점에서 본 연구를 수행하게 되었다.

본 연구에서는 발사체와 PSD를 상용 프로그램인 Flowmaster를 이용해 모델링 하였고, 엔진 시동시와 엔진 정지시 터보펌프 입구에서의 압력 섭동을 해석하였다.

2. 발사체 및 PSD 모델링

발사체 모델링은 PSD가 장착되어 있는 산화제(Liquid Oxygen) 라인에 대해서 수행하였다. 간단한 해석을 위해 모델링은 최대한 단순화 하였다. 압력 섭동에 영향을 줄 수 있는 산화제 탱크 모델링, 배관부 모델링, 곡관 및 벨로우즈, 필터와 같이 차압을 줄 수 있는 부품을 모사할 수 있도록 압력 손실로 모델링을 수행하였다.

PSD 모델링은 산화제 탱크 모델과 같이 가스 층과 액체층이 존재하는 탱크로 모델링하였다.

탱크에 공급되는 헬륨 가스는 고압탱크로부터 오리피스를 통해 일정유량으로 공급되는 것으로 모델링하였다. 탱크에서 액체가 주 배관으로 공급되고 역류하는 과정과 PSD 내 산화제의 수위에 따라 가스가 외부로 배출되는 과정을 모사하기 위해 모델링을 Flowmaster의 Advanced Tank 모델을 사용하였다.

엔진으로의 산화제 유량 변화를 모사하기 위해 실험 결과를 통해 얻은 엔진 시동 및 정지시 유량을 직접 사용하였다. 모델에서는 Flowmaster의 Flow Source를 사용하였다.

최종 모델 구성 결과는 Fig. 1과 같다.

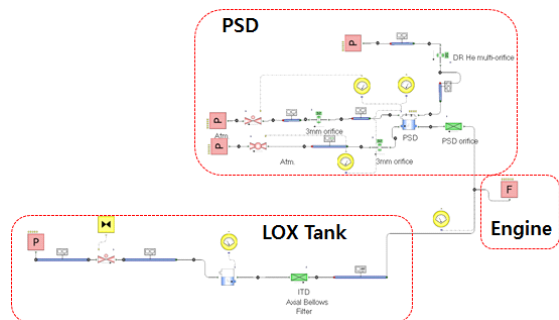


Fig. 1 Flowmaster Model for Piping System of LOX Line with PSD.

PSD 유무에 따른 터보펌프 입구에서의 압력 섭동 해석 결과를 비교하기 위해 PSD 가 없는 경우도 모델링을 하였다. 모델은 Fig. 1에서 PSD 모델 부분만 삭제한 상태와 같다.

3. 해석 결과

3.1 엔진 시동시의 압력 섭동 예측 결과

엔진 시동시의 압력 섭동 예측 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 보듯이 엔진 시동시 터보펌프 입구에서의 압력 강하 정도의 차이가 없음을 볼 수 있다. PSD 있어도 엔진 시동시 터보펌프 입구에서의 압력 강하는 완화시킬 수 없음을 확인 하였다.

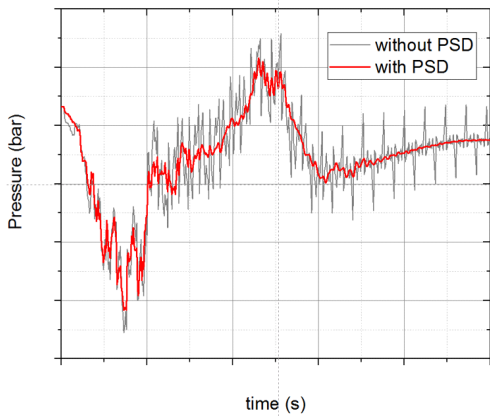


Fig. 2 Analysis result about pressure oscillation on the inlet of turbopump at the moment of engine startup.

이에 대한 사유는 엔진 시동시 PSD를 통해 엔진으로 공급되는 추진제 유량이 주 배관에서 공급되는 유량 대비 매우 적기 때문이다. 단, PSD의 본래 목적에 부합하는 결과를 볼 수 있다. PSD가 없는 경우 배관 내 압력 섭동이 매우 잦은 것을 볼 수 있으나 Fig. 3과 같이 PSD를 설치한 경우 상대적으로 높은 주파수 대역의 압력 섭동을 낮춘 것을 볼 수 있다.

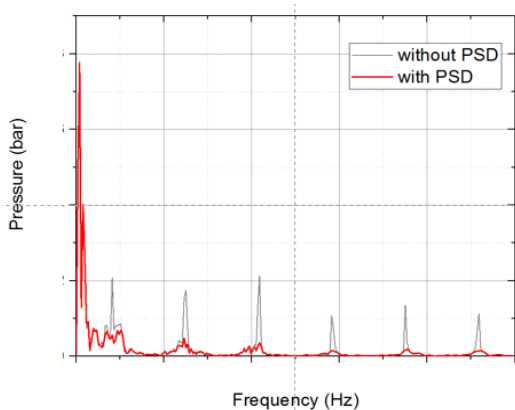


Fig. 3 Frequency Analysis result about pressure on the inlet of turbopump at the moment of engine startup.

Fig. 4는 엔진 정지시 압력 섭동에 대한 해석

결과이다. 그림에서 보듯이 엔진 시동시 해석결과와 동일한 결론을 얻었다. 즉, PSD는 엔진 정지시 엔진 입구 압력 상승에 대해 별다른 영향을 줄 수 없음을 확인하였다. PSD가 없는 경우와 동일한 결과를 보였다. 단, 엔진 시동시와 마찬가지로 PSD가 존재하는 경우 Fig. 5와 같이 배관내 높은 주파수 대역의 압력 섭동은 없어짐을 확인하였다.

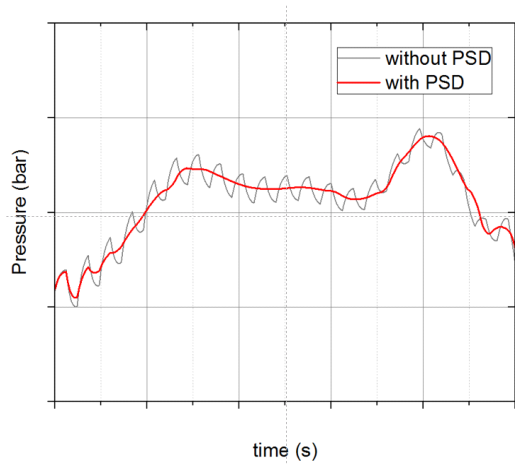


Fig. 4 Analysis result about pressure oscillation on the inlet of turbopump at the moment of engine shutdown.

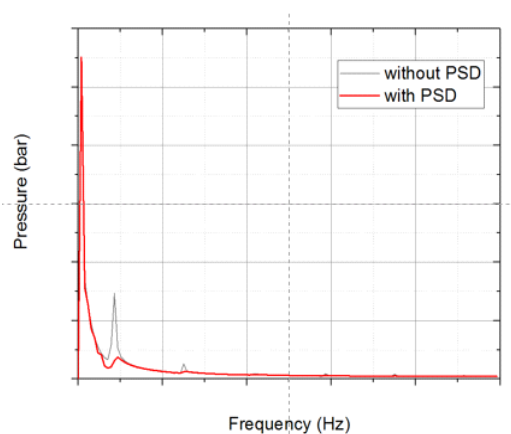


Fig. 5 Frequency Analysis result about pressure on the inlet of turbopump at the moment of engine shutdown.

4. 결론

해석 결과 PSD가 존재하더라도 엔진 시동시 및 엔진 정지시 터보펌프 입구 배관에서의 압력 강하 및 상승에 큰 영향을 주지 않음을 확인하였다. 이유는 주배관을 통해 공급되는 유량대비 PSD를 통해 공급되는 추진제 유량이 매우 적기 때문임을 확인하였다. 단, PSD 원래 목적에 부합하는 높은 주파수 영역의 압력 섭동은 낮추는 효과가 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. 정영석, 김상현, 오승협, 베르샤드스키, "로켓 엔진 시동시 발생하는 배관부 케비테이션에 대한 연구," 2008 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 303-304, 2008.
2. NASA, *Prevention of Coupled Structure-Propulsion Instability (POGO)*, SP-8055, NASA, 1970.