

물분사형 소음기의 설계 변수가 액체로켓엔 소음특성에 미치는 영향

박희호*, 조병선*, 김 유*, 지평삼**, 김선진***

An effect of design parameters of water injection silencer on the characteristics of noise generated by Liquid Rocket Engine

Hee-Ho Park*, Byoung-Sun Cho*, Yoo Kim*, Pyung-Sam Ji** and Seon-Jin Kim***

ABSTRACT

To reduce the supersonic jet noise from the liquid rocket engine, water injection silencers were designed and tested.

Test variables were the mass flow rate of water jet, the length of primary pipe and the diameter of expansion pipe.

Followings are the results of this study.

1. From the same mass flow rate of water, longer primary pipe was more effective to reduce the noise.
2. Noise level was significantly reduced with increasing water flow rate.
3. The optimum water flow rate was 10~12 times of the propellant flow rate.
4. By installing expansion pipe, noise level was reduced approximately 30dB compared to without expansion pipe

초 록

액체로켓엔진에서 발생하는 초음속 제트 소음을 감소시킬 수 있는 물 분사형 소음기를 설계, 제작하여 물의 질량 유동률, 1차관 길이, 그리고 2차 확장관의 지름과 같은 기하학적 변화에 따른 성능 시험을 수행하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 동일한 물의 질량 유동률에서, 1차관의 길이가 길수록 효과적이다.
2. 물의 질량 유동률이 증가하면, 소음은 감소한다.
3. 최적의 물 질량 유동률은 추진제 공급량의 10~12배 정도이다.
4. 소음기에 2차 확장관을 부착할 경우, 약 30dB 정도 소음감소 효과를 얻을 수 있다.

* 충남대학교 기계공학과 (Chung-Nam National University, Dept. of Mechanical Engineering)

** 한국전력연구원 (Korea Electric Power Research Institute)

*** 항공우주연구소 (Korea Aerospace Research Institute)

1. 서 론

우리 나라는 최근 항공 우주 개발 중장기 계획을 수립한 바 있으며, 이의 일환으로 현재 액체로켓을 이용한 발사체에 대한 연구가 진행 중에 있다.

액체로켓을 개발하기 위해서는 무엇보다 이를 안전하게 실험할 수 있는 지상 연소 실험 시설이 필요하지만, 국도가 협소한 우리 형편으로는 적절한 실험 부지를 선정한다는 것은 매우 어려운 일이다.

연소실험 중 발생 가능한 안전사고는 적절한 방호 시설을 마련하여 처리할 수도 있으나, 이로 인하여 발생하는 소음은 심각한 민원의 대상이 될 수 있다.

충남대학교에서는 그 동안 소형 액체로켓에 대한 연구를 수행하여 왔으며, 최근 들어 연구되는 로켓의 규모가 점차 증대하면서 소음에 대한 적절한 대책을 세우지 않는 한 더 이상 연구를 수행할 수 없는 막다른 단계에 도달하게 되었다.

이에 대한 대안으로, 물을 사용하여 초음속 제트 소음을 감소시킬 수 있는 장치를 설계, 제작하여 실험 중에 있으며, 본 연구 결과는 앞으로 대형로켓의 소음감쇄에도 적용이 가능할 것으로 예상되고 있다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

중요 실험장치는 소음발생장치인 액체로켓엔진과 추진제 공급장치를 들 수 있으며, 소음 감쇄 장치인 소음기, 소음기내에 물을 분사하는 물공급장치, 그리고

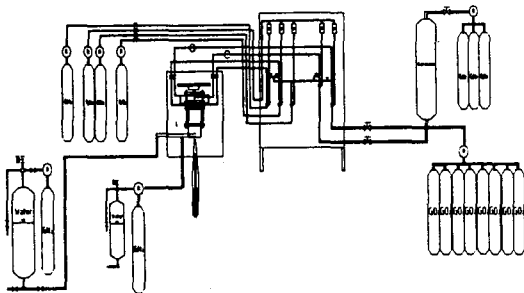


Fig. 1. Feed system of Ground Firing for Liquid Rocket Engine

로켓엔진 연소시 발생하는 소음강도를 측정하기 위한 음압 측정장치가 있다. 그 외 전체적인 시스템을 운영하는 자동 제어 장치와 연소시 시스템을 감시하는 비디오로 구성이 되어 있다.

추진제 공급장치는 질소 가스가 추진제 탱크내에서 직접 추진제와 접촉하여 가압하는 방식을 선정하였다. 액체로켓엔진 지상연소실험을 위한 추진제 탱크는 1 l 용량의 스테인레스강으로 제작된 압력탱크로 고압의 공급압에도 견딜 수 있도록 하였다. 로켓엔진까지 모든 배관은 스테인레스강을 사용하였으며, 추진제 탱크에서 배관 판넬까지는 1/4관을 이용하여 배관하였다. 배관 구성요소로는 시스템의 자동제어를 위한 솔레노이드 밸브와 액추에이터 밸브, 역회 방향을 위한 체크밸브, On-off 밸브 등으로 구성되어 있다. 점화장치는 가스수소와 산소를 12 Volt Battery에 점화코일을 연결시켜 고전압을 발생시킨 후 배전기와 연결된 Spark plug에서 발생하는 Spark에 의해 점화가 되도록 구성되었다.

그림. 2는 소음발생장치로 초음속 제트(Mach 2.4)를 분출하는 추력 25 lbf, 연소압 200 psia액체 로켓엔진이며 추진제로 질산과 케로신을 사용하였다.

그림. 3은 자체 개발된 소음기를 엔진에 부착시킨 형상이다. 소음을 소음발생이전에 차단할 수 있도록 Potential Core 내부에 관을 삽입하여 물을 공급할

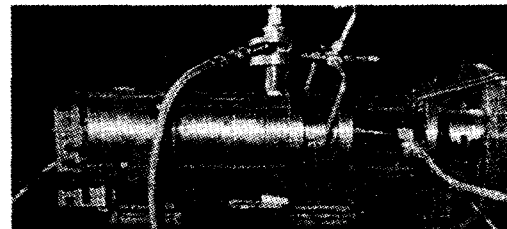


Fig. 2. 25lbf 액체로켓엔진

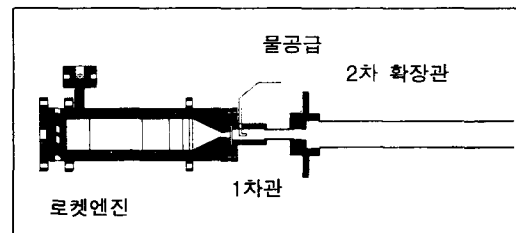


Fig. 3. 엔진과 소음기의 결합도

수 있도록 하였다. 그리고 실험시 고온의 제트로 인해 소음기가 파손되지 않도록, 물이 관 둘레를 냉각할 수 있게 설계했다. 또한 관 끝부분에 확장관을 연결할 수 있도록 하였고, 이들을 쉽게 설치와 교체가 가능하도록 하였다.

2.2 실험 방법

작동 유체 물을 실험 조건에 맞게 질소로 가압하여 제트발생 3초 전에 on-off밸브를 열어 공급하여 준다. 소음강도 측정은 로켓엔진 노즐의 출구 방향으로 부터 30도, 거리 10m에서 측정하였다. 이때 소음 측정은 B&K 소음계와 FFT analyzer를 사용하였다.

실험조건은 표. 1에 보인바와 같이 첫째, 길이가 다른 두 개의 관 각각에 공급유량을 변화시키고, 둘째, primary pipe에 2차 확장관을 부착하고, 관의 지름을 변화시켜가며 소음의 세기를 알아보았다, 마지막으로, 150g/s의 물을 노즐출구와 가까운 소음기 둘레에 고루 분사하여 고온의 제트에도 소음기가 견딜 수 있는지 막냉각 효과를 알아보았다.

Table. 1. Experimental conditions

Fluid	water
Mass flow rate (g/s)	150, 250, 300, 350, 400, 450
The fixed mass of film cooling (g/s)	150
1차관의 길이 (cm)	15, 45
2차 확장관의 지름 (mm)	30, 50, 70

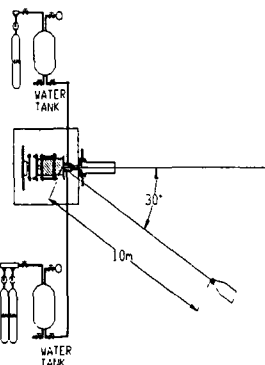


Fig. 4. Experimental set-up to measure noise with water injection silencer

3. 실험 결과 및 고찰

액체 로켓 엔진의 주 소음원인 potential core의 속도를 줄일 수 있는 방법으로, core에 냉매를 가하여 에너지를 줄이는 방법을 택하였다. 따라서 본 실험에서는 물의 공급 유량을 길이가 다른 1차관에서 변화시킴으로써, 어떠한 효과가 나타나는지를 알아보았다.

그림. 5는 관의 길이에 관계없이 모두 공급유량의 증가에 따라서, 음압이 감소함을 알 수 있지만, 그 경향이 다름을 볼 수 있다. 짧은 관의 경우, 유량이 증가함에 따라서 음압이 급속히 감소하고 있는 반면에, 긴 관의 경우, 일정유량 이상에서는 음압의 감소가 완만함을 알 수 있다.

짧은 관에서는 충분한 유체를 공급하여도 core와 물이 평균 온도에 도달할 수 있는 혼합시간을 갖지 못하고 대기로 분사되고 만다. 따라서 물의 공급량이 증가하게 되면, 이에 비례하여 core의 온도는 떨어지게 되고, 출구에서 분출되는 증기의 온도 또한 낮아지게 되어, 음압은 계속해서 떨어지게 된다. 그러나 긴 관에서는 물과 core가 충분한 혼합시간을 갖게됨으로 일정 유량 이상을 공급할 경우, 음압의 감소는 완만하게 되는 것이다.

그림. 6은 공급유량 600g/s에 대하여, 주파수 대역에 따른 dB를 비교한 것이다. 긴 관의 경우가 전 영역에 걸쳐 소음이 낮음을 알 수 있다.

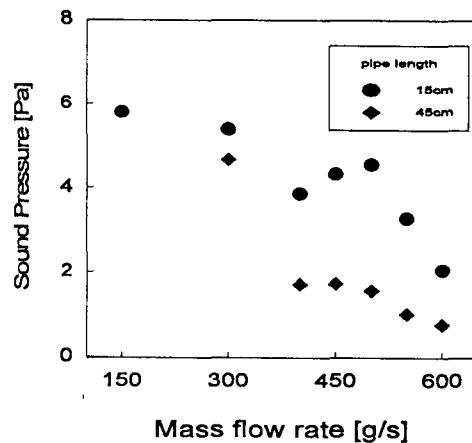


Fig. 5. sound pressure according to mass flow rate [without expansion pipe]

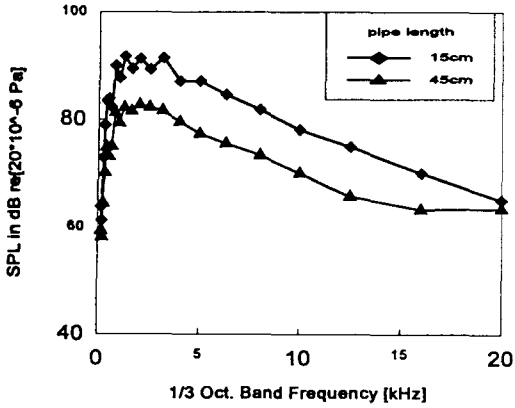


Fig. 6. The comparison of dB according to pipe length [without expansion pipe]

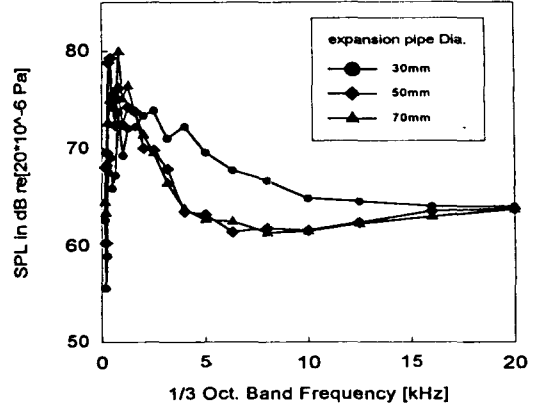
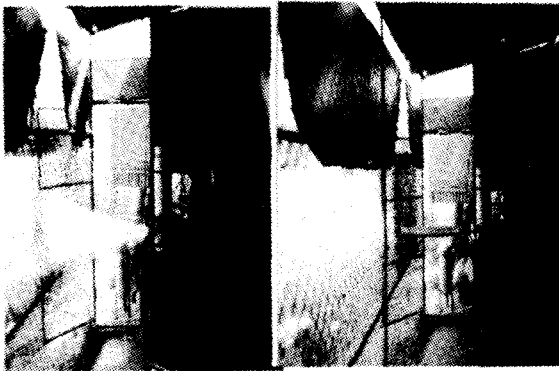


Fig. 8. SPL according to expansion chamber Dia



[1차관만 부착 시] [2차 확장관 부착 시]

Fig. 7. Hot fire test with water injection silencer

그림. 7은 소음기에 부착된 2차 확장관의 영향을 보여주는 것으로써, 이를 부착한 경우, 배출가스 속도가 육안으로도 식별할 수 있을 정도로 감소함을 나타내고 있다. 따라서 1차관만을 부착할 경우보다는 2차 확장관을 부착할 경우에 소음감소에 좀더 효과적임을 알 수 있다.

그림. 8은 소음기 1차관에 2차 확장관을 부착하였을 때, 확장관의 지름에 따른 소음정도를 나타낸 것이다. 50과 70mm 지름의 경우, 주파수 2~15kHz 구간에서 30mm에 비해서, 소음감쇄 효과가 크게 나타나고 있으나, 2kHz 이내에서는 영향이 없음을 알 수 있다. 이는 2차 확장관을 부착함으로써, 분출되는 증기의 속도가 감소되어 감음 효과를 얻을 수 있다.

Table. 2. The comparisons of dB according to conditions

	conditions	dB
1차관의 길이 [cm]	15	100.2
	45	91.5
2차 확장관의 지름 [mm] - 45cm의 1차관	30	88.3
	50	87.2
	70	86.2
No silencer		121

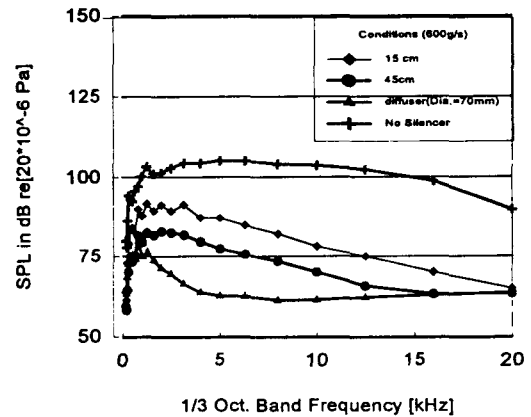


Fig. 9. SPL according to all conditions. [600g/s of water flow rate]

표. 2는 물공급량을 최적유량인 600g/s로 하였을 경우, 기하학적 조건 변화에 따라서 측정된 소음도를 나타낸 것이다. 1차관의 길이가 45cm이고, 여기에 70 mm의 지름을 가진 2차 확장관을 부착하여, 소음 강도를 35dB 정도 떨어뜨렸다.

그림. 9는 소음기 형상에 따른 소음감소 효과를 주 파수 대역별로 나타낸 것으로서, 소음기를 부착하면 전 영역에 걸쳐 소음이 감소함을 알 수 있다.

4. 결 론

1. 동일한 물 분사량 조건에서, 소음기의 1차 관의 길이가 노즐출구 직경의 10배 보다 30배에서 9dB 정도 감음효과를 보였다.
2. 물 분사량이 증가함에 따라 소음레벨은 감소하였고, 30배 모델의 경우 물 분사량이 추진제 공급량의 10~12배 조건에서는 소음레벨을 91dB 까지 줄일 수 있었다.
3. 상기조건(소음레벨 91dB)에 확장관을 부착함으로써, 소음레벨을 약 86 dB 까지 줄일 수 있었다.
4. 본 형태의 물 분사방식을 채택할 경우 고온의 배기가스로 인한 소음기 파손을 방지하기 위해서 반드시 막냉각장치의 설치가 요구된다.

결론적으로 본 연구에서는 소음 완화를 위해서 물을 potential core 내부에 분사하여 core를 깨뜨리는 것이 상당한 효과가 있었으며, 유체의 공급유량, 혼합시간을 위한 소음기의 길이, 그리고 확장관의 부착으로 최적 형상을 찾을 수 있었고, 응용능력 또한 갖추게 되었다.

후 기

본 연구는 1996년도 한국과학재단의 초공에서의 로켓 연소과제(과제번호965-1000-001-2) 연구비에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. McInerny, S.A., "Rocket Noise", AIAA-90-3981
2. McInerny, S.A., "Spectral and Time Domain Characteristics of the Non-linear Acoustics Generated by Launch Vehicles", AIAA 93-4384
3. Ribner H.S., "Quadrupole correlations governing the pattern of jet noise", J.Fluid Mech., vol.38, part 1, pp.1~24.
4. Lush, P.A., "Measurements of subsonic jet noise and comparison with theory", J.Fluid Mech. vol. 46, part 3, pp.477~500
5. Leo L. Berank & Istvan L. Ver. "Noise and vibration control engineering" pp.524~532, 1992
6. 이 동훈, 권 영필, 한 희갑, "평판에 충돌하는 원형분류의 공력소음에 관한 실험적 연구", 한국소음진동공학회지 제7권 제1호, pp.71~79, 1997
7. 김희강 외 3명 공저 "최신 소음 진동학" 동화 기술 출판사 pp.1~721, 1991