

파이로스타터용 립쳐디스크 개발

박호준* · 홍문근* · 이수용*

Development of a Rupture Disk for Pyrostarters

Hojun Park* · Moongeun Hong* · Soo Yong Lee*

ABSTRACT

Pyrostarters play a role as a turbopump starter in liquid propellant propulsion systems by supplying pressurized gas to power turbines for engine start. A rupture disk in pyrostarters, which is usually installed behind a nozzle throat, not only isolates the charged solid propellants from the external environment but also improves the ignitability of the solid propellants by increasing a chamber pressure at the beginning of combustion. Experimental tests have been performed to study the effects of rupture disk thickness, depth and shape of scores, and pressure build-up rates on burst pressures and burst diameters. The experimental results show that the developed rupture disk fulfills the performance requirements expected in a real operational condition.

초 록

파이로스타터는 터보펌프 터빈의 초기 구동을 위해 터빈에 고압의 가스를 공급함으로써 액체추진기 관의 터보펌프 시동기 역할을 수행한다. 파이로스타터는 일종의 가스발생기로써, 내부에 충전된 저온 고체추진제의 연소가스를 통해 시동에 필요한 에너지를 터빈에 공급하게 된다. 파이로스타터 내부에 충전되는 고체추진제의 외부와의 환경적인 격리뿐만 아니라, 연소 초기 연소실 내부의 충분한 압력 증가를 통해 저온 고체추진제의 점화특성을 향상시킬 수 있는 파이로스타터용 립쳐디스크 개발을 위해 립쳐디스크의 두께, 스코어의 깊이 및 형태, 가압 속도에 따른 파열압력과 파열반경 경향에 대한 시험을 수행하였으며, 설계파열압력 및 요구 파열반경 등 실제 운영 조건을 만족하는 파이로스타터용 립쳐디스크의 성능을 시험결과를 통해 확인하였다.

Key Words: Rupture disk(립쳐디스크), Pyrostarter(파이로스타터), solid propellant gas generator(고체추진제 가스발생기)

1. 서 론

립쳐디스크는 정압력에 작동하는 비복구형 압력방출 장치를 말하며 립쳐디스크에 의해 밀폐된 공간 내부의 압력 및 파열압력에 의해 설계된다[1]. 특히 내부 내용물의 온도가 민감하게

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

변하는 경우에 많이 사용되며 비교적 단순한 형태의 구조로 구성되어 있어 유지/보수 측면에서 효과적이다[2]. 또한 장치물의 과압 방지와 방출 물질로 인한 인체 상해 방지에도 쓰이고 있다. 럽쳐디스크는 또한 액체추진기관 터보펌프 터빈의 시동을 위해 고압의 가스를 제공하는 고체 추진제 가스발생기, 즉 파이로스타터에도 적용되어 진다. 파이로스타터는 터보펌프 터빈의 초기 구동을 위해 터빈에 고압의 가스를 공급함으로써 액체추진기관의 터보펌프 시동기 역할을 수행하는데, 파이로스타터의 고온/고압 가스는 터빈 블레이드의 손상을 초래할 수 있기 때문에 낮은 연소온도가 요구되며, 부식 방지를 위해 부식성분이 적게 포함되어 있어야 한다[3][4][5]. 반면 이와 같은 가스발생기용 저온 고체추진제는 일반적으로 점화성이 좋지 않은 단점을 가지고 있으며, 이러한 단점을 개선하기 위해 럽쳐디스크를 사용한다. 일반적으로 파이로스타터 노즐부 후단에 설치되는 럽쳐디스크는 충전된 고체추진제의 외부와의 격리뿐만 아니라, 연소 초기 연소 실 내부의 충분한 압력 증가를 통해 저온 고체추진제의 점화특성을 향상시킨다.

본 논문 2장에서는 럽쳐디스크 개발을 위한 시험 장치 및 시험 방법을 소개하고, 3장에서 각 시험 조건에 따른 시험 결과를 소개하도록 한다. 마지막으로 4장에서는 시험 결과 및 향후 개발 계획을 정리하도록 한다.

2. 시험 장치 및 시험 방법

2.1 럽쳐디스크 해석 및 제작

시험에 사용된 럽쳐디스크는 연성의 재질인 AL1050-H14로 제작되었으며 재질의 강도는 낮지만 가볍고 절삭가공성이 좋고 내식성이 매우 뛰어난 소재이다. Table 1에서 럽쳐디스크 재질의 특성을 확인할 수 있다. 럽쳐디스크 제작에 앞서 Fig. 1과 같이 예비 구조해석을 통해, 스코어 깊이 및 길이 등 럽쳐디스크 제작에 필요한 기본 가공 규격을 선정하였다. 럽쳐디스크는 외경(40 mm)을 가공한 후 MCT 장비로 스코어 깊

이를 가공하였으며, 고정 치구를 인덱스를 이용해 전 방향 가공을 수행하였다. 스코어 가공 시 가공 툴은 45° 컷터를 사용하였으며, 스코어 직경은 22.8 mm로 결정하였다.

Table 1. Mechanical properties of AL1050-H14

밀도 (g/cc)	2.705
종탄성계수 (MPa)	69
최대인장강도 (MPa)	110
항복 강도 (MPa)	103
포와송 비	0.33
신장율 (%)	10

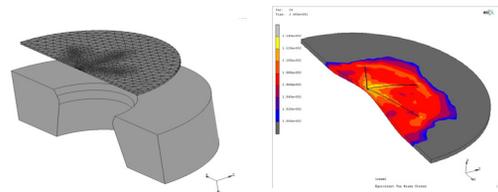


Fig. 1 Preliminary structural analysis for rupture disks

2.2 시험 장치

시험 장치는 고압의 질소가스에 의해 작동하는 피스톤에 의해 럽쳐디스크를 파열시키는 가압 실린더 장치와 파열 후 발생하는 금속 파편을 포집할 수 있고 내용물을 쉽게 여과할 수 있도록 제작된 아크릴 용기, 그리고 실린더, 아크릴 용기, 전기/전자 장치를 조립할 수 있도록 제작된 알루미늄 프레임으로 구성되어진다. 솔레노이드 밸브의 온/오프 작동을 통해 고압의 질소가스가 가압 실린더 장치로 공급되며, 가압 실린더 장치 내부의 압력 측정을 위해 keller 압력센서 2개를 장착하였다.

2.3 시험 방법

럼쳐디스크를 가압 실린더 장치 하부 노즐부에 장착하고 실린더 내부에 물을 충전한 후, 피스톤 상부에 고압의 질소가스를 주입시켜 럽쳐디스크의 파열 상태를 확인하였다. 시험 초기 럽쳐디스크 두께에 따른 파열압력 변화 경향을 파

악하여, 6등분 형태의 스코어의 립체디스크 두께는 0.8 mm로 결정하였다. 두께 0.8 mm의 립체디스크를 스코어 깊이 변화에 따른 파열압력을 시험하였으나, 파열 후 립체디스크가 충분히 벌어지지 않는 문제를 해결하기 위해 가압 실린더 내부에 고압의 질소가스를 직접 공급하여 파열 시험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 스코어 깊이에 따른 파열압력

수차례의 파열시험 결과를 통해, 설계파열압력과 립체디스크의 충분한 파열반경을 만족할 수 있는 최소 립체디스크 스코어 두께는 대략 0.7~0.8 mm정도인 것으로 나타났다. 립체디스크 스코어 두께가 상대적으로 두꺼워지면 파열압력 증가와 파열반경 감소가 초래되며, 반대의 경우는 파열압력이 감소하게 된다. 립체디스크 두께 0.8 mm일 때 스코어 깊이 변화와 등분형태에 따른 파열압력 시험결과를 Fig. 2에 정리하였다. 스코어 깊이가 깊어질수록 파열압력이 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 립체디스크를 4등분으로 스코어를 준 경우가 6등분으로 준 경우보다 파열압력이 증가하는 경향이 나타났다. 설계파열압력을 고려하여 스코어 깊이는 0.07 mm로 선정하였다.

3.2 스코어 형태에 따른 파열형태

스코어 형태에 따른 립체디스크의 파열형태를 알아보기 위해 4, 6, 8등분으로 스코어를 준 평판형태의 립체디스크와 4, 6등분으로 스코어를 준 돔형태의 립체디스크, 그리고 6등분으로 스코어를 내고 스코어 끝에 3 mm 원주 방향으로 홈을 추가한 립체디스크의 파열시험을 수행하였다. 시험결과 4등분으로 스코어를 낸 립체디스크의 경우가 평판 및 돔형태에 상관없이 파열형태가 가장 양호한 것으로 나타났다.(Table 2 참조)

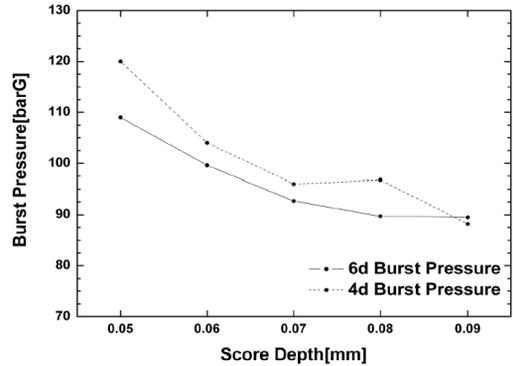
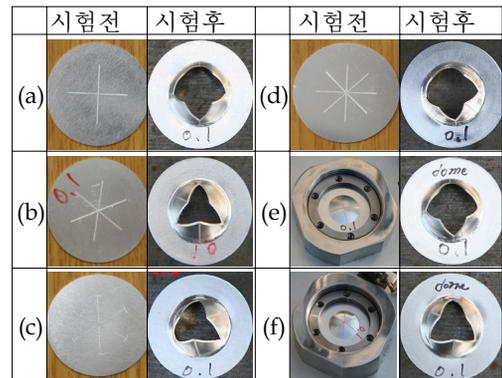


Fig. 2 Burst pressures according to score depths (thickness : 0.8 mm)

Table 2. Rupture disks: (a) 4d (b) 6d (c) add 3 mm at 6d (d) 8d (e) 4d dome (f) 6d dome



3.3 압력 속도 변화에 따른 파열압력 및 파열반경

립체디스크 내부 가압속도에 따른 립체디스크의 파열경향을 파악하기 위해, 일정압력(100 bar)에 도달하는 시간을 달리 해가며 립체디스크의 파열시험을 수행하였으며, 설계파열압력 및 파열반경을 만족하는 것으로 나타난 두께 0.8 mm, 스코어 깊이 0.07 mm, 그리고 4등분으로 스코어를 낸 평판형태의 립체디스크를 파열시험에 사용하였다. Fig. 3와 Fig. 4에서 압력 상승 시간에 따른 립체디스크의 파열압력 및 파열반경 변화를 정리하였다. 미미하나마, 립체디스크 내부 압력 상승 속도가 빠를수록 파열압력 및 파열반경이 증가하는 경향을 확인할 수 있다. Fig. 5는

각 립쳐디스크의 파열시험 후 사진 및 파열반경 측정 내용을 나타낸 것이다.

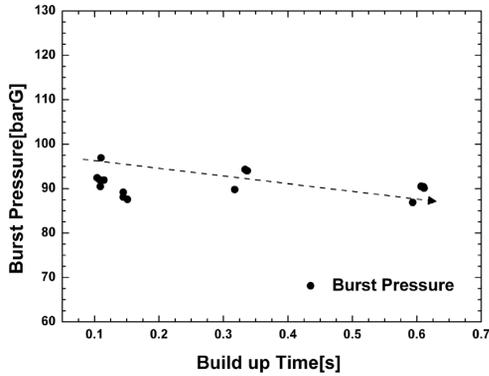


Fig. 3 Burst pressures according to the build-up time up to 100 bar

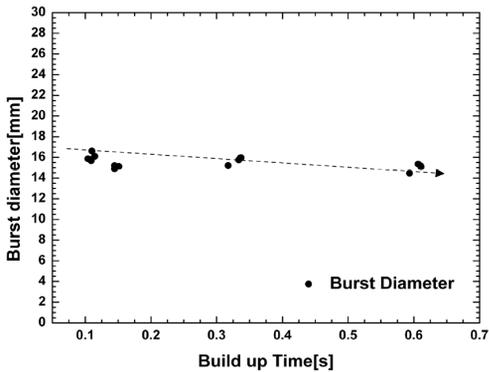


Fig. 4 Burst diameters according to the build-up time up to 100 bar

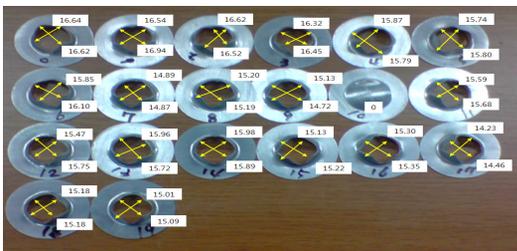


Fig. 5 Burst diameters and burst shapes according to pressure build-up rates

4. 결 론

파이로스타터용 립쳐디스크 개발을 위해 립쳐디스크 두께, 스코어 깊이와 모양, 압력 상승 속도 변화 등에 따른 립쳐디스크의 파열압력과 파열반경에 대한 시험을 수행하였으며, 시험결과를 바탕으로 립쳐디스크 재질, 설계파열압력 및 파열반경을 고려한 립쳐디스크 두께, 스코어 형태 및 깊이를 최종 선정하였다. 최종 개발 제작된 립쳐디스크의 파열시험 결과 설계파열압력 $\pm 10\%$ 내에서 파열되었으며, 파열반경 또한 설계 최소 요구 값보다 넓은 것으로 나타났다.

개발/제작된 립쳐디스크는 파이로스타터에 설치하여 실제 환경에서의 성능을 확인하였으며, 실제 운영환경에서 보다 구조적으로 안정된 립쳐디스크 개발을 위해 재질 변경을 통한 립쳐디스크의 추가 개발을 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

1. Stanley S. Grossel. "Handbook of Highly Toxic-Materials Handling and Management" Marcel Dekker, 1995
2. 강영규 "Rupture disc 의 성형 압력 및 파열 압력 해석" 한국정밀공학회지 제18권 제6호 2001. pp109~113
3. 이인철, 변용우, 구자예, 이상도, 김귀순, 문인상, 이수용 "파이로시동기의 압력 변화와 터빈 블레이드 회전수 변화에 따른 충동형 터빈 블레이드 입구의 가스온도 분포해석" 한국추진공학회지 2008, pp94~97
4. P. A. O. G. korting, F. W. M. Zee, J. J. Meulenbrugge "Combustion characteristics of Low Flame Temperature, Chlorine-Free Composite Solid Propellants" prins Maurits Laboratory TNO, Rijswijk, the Netherlands.
5. Junli-li, Yaking -xu "some recent investigation in solid propellant technology for gas generator" xin Feng chemical engineering institute.