

위성 추진시스템 추력기 밸브 내 원형 판스프링 유한요소해석 및 설계 검증시험

고수정* · 손미소* · 김남희* · 김종학* · 윤호성*†

Finite Element Analysis and Design Verification Test of Circular Plate Spring in Thruster Valve of Satellite Propulsion System

Sujeong Ko* · Miso Son* · Namhui Kim* · Jonghak Kim* · Hosung Yoon*†

ABSTRACT

The thruster valve, which is one of the key components applied to the mono-propellant system for the satellite, has a circular plate spring structure. It can be designed as a structure that does not have positional deformation and particles by friction and repetitive motion. In this study, finite element analysis and verification were performed by setting the width of the circular plate spring as a design parameter with the material, thickness and radius of the circular plate spring as fixed variables. The linearity of the spring constant is shown by the graph that is spring force with displacement. It is confirmed that the optimization design of the circular plate spring is possible by the spring force tendency according to the total area of circular plate spring.

초 록

위성용 단일추진제 시스템에 적용되는 핵심부품 중 하나인 추력기 밸브는 솔레노이드 방식을 이용하여 추진제를 공급/차단한다. 밸브에 장착되는 원형 판스프링은 마찰과 반복운동에 의한 위치변형 및 파티클이 없다. 본 연구에서는 원형 판스프링 소재, 두께, 반경을 고정변수로 원형 판스프링 내부 패턴의 너비를 설계변수로 설정하여 유한요소해석 및 검증시험을 하였다. 시험결과 변위에 따른 스프링 상수 k 가 선형적인 특성이 나타났다. 원형 판스프링 총면적에 따른 스프링력의 경향성을 통해 원형 판스프링의 설계가 가능함을 확인하였다.

Key Words: Satellite Propulsion System(위성 추진시스템), Thruster Valve(추력기 밸브), Circular Plate Spring(원형 판스프링), Spring Force(스프링력), Spring Constant(스프링 상수 k), Circular Plate Spring Arm(원형 판스프링 암)

1. 서 론

위성 추진시스템은 위성의 자세제어 및 궤도 조정을 위해 사용된다. 현재 차세대중형위성 등 국가우주개발 계획에 따른 위성 및 추진시스템 부품에 대한 수요가 증가하고 있다. 국내 우주산업은 추진제 탱크 및 추력기 밸브 등 유량을 공급하는 주요 핵심부품을 적극적으로 개발하고 있다[1].

추력기 밸브는 솔레노이드 방식을 이용하여 추진제를 공급/차단한다. 위성용 솔레노이드 밸브는 플런저와 스톱로드 사이의 공극 및 스트로크가 중요한 역할로 작용한다. 미세전류와 원형 판스프링 등의 변화에 따라 솔레노이드 밸브의 특성이 달라진다[2,3].

본 연구에서는 밸브 내 원형 판스프링의 패턴 너비에 변화를 주어 변위에 따른 하중 및 스프링 상수 k 경향성을 확인하였다. ANSYS를 이용하여 유한요소해석을 수행하였고 시험결과와 비교 및 분석하였다.

2. 본 론

2.1 원형 판스프링 설계

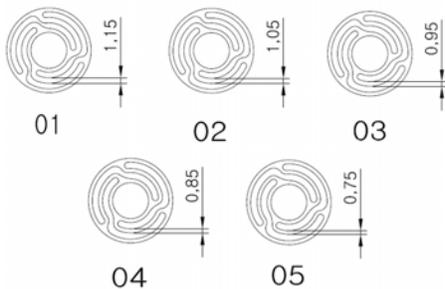


Fig. 1 Circular Plate Spring Design

원형 판스프링 설계의 고정변수는 소재, 두께, 반경이다. Fig. 1에서 보이는 바와 같이 원형 판스프링 암 너비에 변화를 주었다. 설계된 원형

판스프링은 유한요소 해석을 통해 스프링력을 확인하고, 실험을 통해 스프링 상수 k 를 확인한다.

2.2 해석 경계조건

솔레노이드 밸브의 아마추어가 움직이는 거리는 최대 0.2 mm를 기준으로 한다. 원형 판스프링 초기 변형거리를 0.15 mm로 하였을 때 최대 변형거리는 0.35 mm가 된다.

솔레노이드 밸브에서 판스프링의 실제 움직임을 모사하도록 아래와 같은 경계조건을 적용한다.

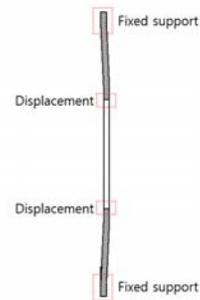


Fig. 2 Boundary Condition for Spring Simulation

2.3 해석결과

Figure 3은 원형 판스프링 05의 해석결과이며 설계된 5가지 형태의 원형 판스프링에 대해서 Fig. 3과 같은 경향성을 보인다. 원형 판스프링 암 끝단에서 최대 응력이 나타나며 x축 방향으로 스프링력을 가진다.

* (주)스페이스솔루션

† 교신저자, E-mail: hoffman48@naver.com

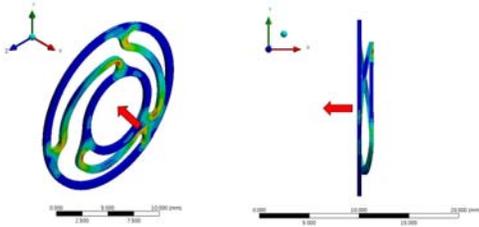


Fig. 3 Analysis Results for Circular Plate Spring

각 타입의 원형 판스프링 해석결과 그래프는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 각 타입의 원형 판스

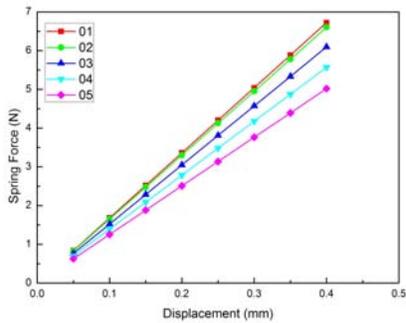


Fig. 4 Plot for Analysis Results

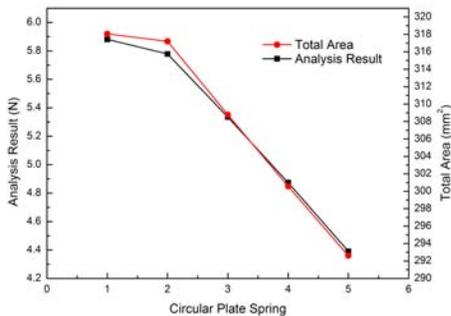


Fig. 5 Plot for Analysis Results and Total Area by Each Circular Plate Spring

프링의 변위에 따른 스프링력을 확인할 수 있다. 변위가 증가할수록 스프링력은 선형적으로 증가

한다. 따라서 스프링 상수 k 가 일정함을 보인다.

원형 판스프링 압은 약 0.1 mm의 일정한 차이가 나타나지만 원형 판스프링의 스프링력은 일정하지 않다. 최대변형거리인 0.35 mm에서 해석한 스프링력과 원형 판스프링의 총면적은 같은 경향성을 보인다. 따라서 원형 판스프링의 스프링력은 원형 판스프링 압의 너비가 아닌 총면적에 영향을 받으며 Fig. 5에서 확인할 수 있다.

2.4 시험

설계된 원형 판스프링의 지그는 솔레노이드 밸브의 어셈블리를 고려하여 Fig. 7과 같이 제작하였다. 또한 원형 판스프링에 힘이 분산되어 작용할 수 있도록 강제 변위를 주는 지그는 원뿔



Fig. 6 Experiment Jig



Fig. 7 Experiment instrument for spring force

형태로 제작되었다.

원형 판스프링은 아래와 같은 시험장비로 시험하였다. 0.05 mm 간격으로 0부터 0.4 mm까지 스프링력을 측정하였다. 최대 시험 하중은 500 N이며 매 시험마다 영점 조절하여 시험을 진행

하였다.

2.5 시험 결과

시험결과는 Fig. 8과 같다. 원형 판스프링의 스프링 상수 k 는 선형적으로 일정한 값을 확인할 수 있다. 또한 각 타입의 원형 판스프링은 0.35 mm에서 시험결과와 해석결과를 Fig. 9에서 확인할 수 있다.

시험결과는 해석결과에 비해 평균 약 8.13% 낮아진 것을 확인하였다. 시험결과 값이 해석결과보다 낮게 나타난 원인은 해석에서 적용된 강체(Rigid Body)가 아니며 실제 시험할 때 원형 판스프링의 움직임에서는 x축 방향의 움직임과

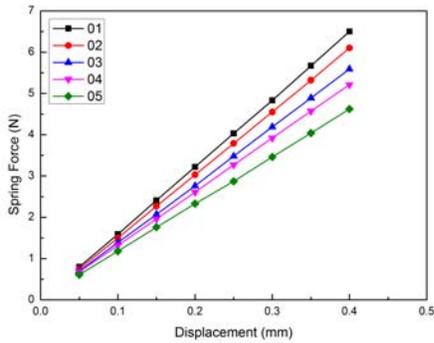


Fig. 8 Plot for Test Results

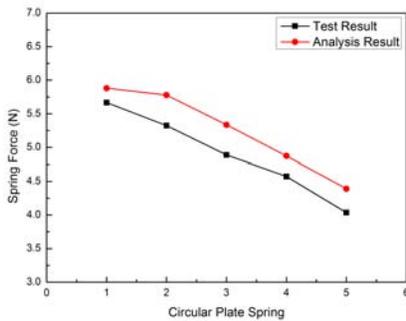


Fig. 9 Plot for Test Results and Total Area by Each Circular Plate Spring

x축 모멘트가 발생하기 때문이다. 또한, 시험지그와 원형 판스프링 사이 미끄러짐(slip)과 마찰

운동이 작용되지만 해석에 고려하지 않았기 때문이라 판단된다.

실제 제작한 원형 판스프링은 석출경화계 소재를 사용하며 방전 가공을 통해 제작된다. 따라서 소재에 발생하는 열전달 및 변형이 소재특성을 변화시킨다.

3. 결 론

시험과 해석에서 원형 판스프링 압의 변위가 증가함에 따라 스프링력의 선형적 증가를 확인하였다. 응력은 면적에 비례하므로 원형 판스프링의 총면적에 따른 스프링력을 나타내었다. 시험과 해석결과는 약 8.13% 차이를 보였다. 시험결과가 해석결과에 비해 낮은 스프링력이 나타나는 원인은 원형 판스프링은 실제 강체가 아니며 x축 방향의 힘과 모멘트의 공존, 시험지그와의 미끄러짐 및 마찰력, 소재가공법으로 인한 소재특성 변화이다. 약 8.13% 차이를 보였음에도 시험과 해석의 경향성이 유사하므로 추후 설계를 수행할 경우 원형 판스프링의 변위에 따른 하중을 예측할 수 있다고 판단된다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 위성 추진시스템 QM 급 부품 개발 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 안성용, 위정현, 윤호성, 박대중, 권세진 "300N 급 단일추진제 역추진 추진 모듈 설계 및 구현," 한국항공우주학회, 2009, pp.705-708
2. Roderick F. Bailey., "SOLENOID FLOW CONTROL VALVE AND FRICTIONLESS PLUNGER ASSEMBLY," United States Patent, 1994
3. David Hodge, "PRECISION FLOW CONTROL COMPONENTS SUPPORTING THE EVOLUTION OF SPACECRAFT

PROPULSION SYSTEM," Proceesings of the
7th JFPS International Symposium on fluid
Power, 2008, pp.149-152