위성추진시스템 솔레노이드 밸브 개발

김경식* · 백기봉* · 박은주* · 조승환*† · 김수겸**

A Development of Solenoid Valve for Satellite Propulsion System

Kyungsik Kim* · Kibong Baek* · Eunjoo Park * · Seunghwan Cho*† · Sugyeom Kim**

ABSTRACT

The Dual-type Solenoid Valve was developed for a domestic production of a fuel-supply valve on the satellite attitude control thruster system. The satellite valve using a hydrazine as a fuel must fulfill the cycle life, shock, vibration and the environment of an extremely low temperature In addition to the basic performance of the response time, mass flow and leakage etc.. in this paper, the design, production and performance experiment using the nitrogen pneumatic equipment were conducted.

초 록

위성의 자세제어용 추력시스템에 대한 연료 공급용 솔레노이드 밸브의 국산화를 위해 Dual-Type의 솔레노이드 밸브를 개발하였다. Hydrazine을 연료로 사용하는 위성용 밸브는 반응속도, 유량, 누설 등의 기본성능 외에 수십만 번의 Cycle life, 충격 및 진동, 극저온 등의 환경 요인을 만족해야 한다. 본 논문에서는 설계 및 제작하고 질소 공압 장치를 이용한 성능 시험을 수행하였다.

Key Words: Solenoid Valve(솔레노이드 밸브), Satellite(위성), Plunger(플런저), Stroke(스트로크), Hydrazine(하이드라진)

1. 서 론

위성의 연료 공급용 솔레노이드 밸브는 산업용 솔레노이드 밸브와는 달리 응답성, 유량, 누설 등의 기본적인 성능뿐만 아니라 용도 및 환경적인 요인으로 인해 수십만 번의 Cycle life, 충격 및 진동, 온도변화에 대한 저항성 등의 까다로운 요구조건을 만족해야 한다. 그러므로 내구성과 Hydrazine의 내부식성을 가지는 소재의 선정, 내외부의 누설에 대한 Seat와 용접 부위의 품질 유지, 온도, 충격 등의 외부 환경에 일정한 성능을 유지할 수 있는 정밀 공차 유지, 추력기의 안전을 위한 연료의 역류 방지 등이 요구된다. 본 논문에서는 Normally Closed On-Off 형태의 Dual-Type의 솔레노이드 밸브를 설계 및 제작하고 질소 공

* (주)한화 구미사업장 개발2부
** 한국항공우주연구원 위성 열/추진팀
† 교신저자, E-mail: josungwh@hanwha.co.kr

압 장치를 이용하여 성능 시험을 수행하였다.

2. 솔레노이드 밸브의 설계 및 제작

2.1 정자계(Magnetic-static Field) 시뮬레이션

FEMM(Finite Element Method Magnetics) 4.2를 이용하여 솔레노이드 밸브의 핵심부품인 Plunger, Stopper 그리고 Coil에 대한 전자장 해석을 수행하여 Stroke에 따른 흡입력을 계산하였다.

Figure 2에서 Stroke에 따른 Plunger와 Stopper의 흡입력을 나타내었다. Plunger와 Stopper의 흡입력은 작동압력과 스프링력과의 역학관계에 의해 결정한다. 솔레노이드 밸브가 열릴 경우 항상 작동압력과 스프링력보다 흡입력이 커야하며, 반대로 닫힐 경우 잔류 자속과 반응속도에 감안하여 스프링력을 결정한다.

본 설계에서는 작동최고압력 600psi 경우 유체에 의한 힘은 5.3N이지만, 안전율을 감안하여 유체에 의한 힘이 10.6N(1,200psi) 일때, 반응속도, 요구 유량을 감안하여 Stroke 0.3㎜, 흡입력 17N, 스프링력은 3~3.5N으로 결정하였다.

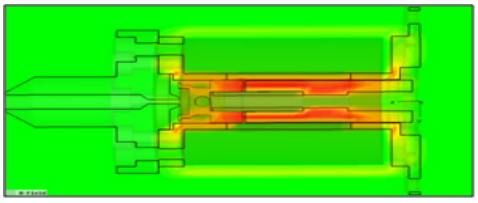

Fig. 1 Magnetic Force Density

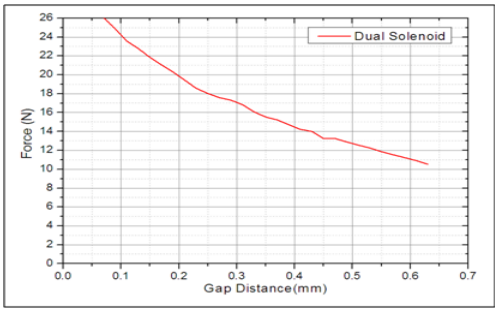

Fig. 2 Magnetic Force for the Stroke

2.2 솔레노이드 밸브의 구조와 작동원리

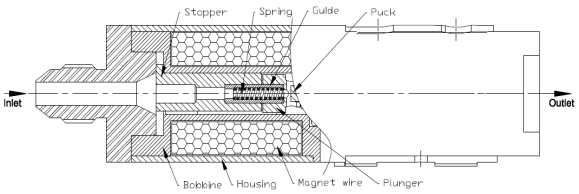

Fig. 3 Schematic Diagram of Valve

Figure 3은 위성용 밸브의 구조를 나타내며, 주요 구성 부품은 밸브의 열고 닫는 역할을 하는 Stopper, Plunger, Spring, 압축 유체의 Seat 부분인 Puck, Plunger의 끼임 방지와 잔류 자속의 영향을 최소화하는 Guide, 자속의 이동방향을 결정하는 Bobbine, Housing, 누설을 차단하는 O-ring 등으로 구성되어 있으며, O-ring의 경우 내구성으로 인해 응답률, 유량 등의 기본적인 성능 시험을 한 후, 용접으로 밀봉한다.

소재의 선정은 연료인 Hydrazine에 직접 노출되며, 자성이 필요한 부분의 경우 강한 내부식성과 강자성체를 가지는 재료를 적용하였으며, 나머지 부품들은 비자성체 STS 계열의 소재를 적용하였다. Seat 부분의 Puck 소재는 EPDM 계열의 소재를 적용하여 밸브의 긴밀성과 Hydrazine의 내부식성을 만족시켰다.

위성용 밸브의 작동원리는 Normally closed 구조로 스프링력과 유체 압력으로 인해 Seat부분이 막혀 있다. 통전시 자속의 제곱에 비례하여 생긴 흡입력으로 인해 Plunger가 Stopper로 이동하여 Seat부분이 열리게 되며, 비통전시 스프링의 복원력으로 인해 Seat부분이 닫히게 된다. 이때 잔류자속의 영향으로 복원이 되지 않거나 응답률이 느려질 수 있다. 이를 방지하기 위해 비자성체인 Guide를 넣어 Plunger와 Stopper가 0.05㎜ 간격을 유지할 수 있도록 설계하였다.

3. 솔레노이드 밸브의 성능 시험

3.1 솔레노이드 밸브의 설계사양

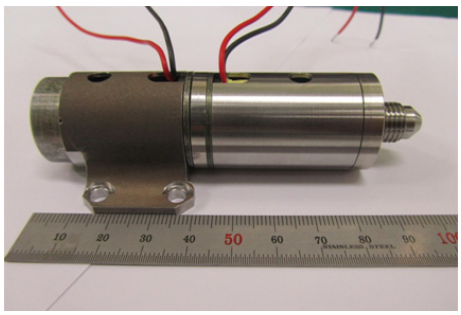

Fig. 4 A Satellite Solenoid Valve

Table 1. Design Specifications

Parameter		Unit	Spec.
Operating pressure		psi	400
Nonoperating pressure		psi	600
Proof pressure		psi	1725
Weight		g	276
Size		㎜	Ø30, L100
Response time(max.)	Open	ms	20
	Close		10
Cycle life(wet, dry)		cycles	500,000
Voltage range		Vdc	21~38.3
Power		Watt	15
Coil Turns		Turns	3100
Coil Diameter		㎜	0.17
Stroke		㎜	0.3

3.2 질소 공압 성능 시험

Table 2. Performance Test Results of Inlet Valve

Pressure (psi)	Response times		Flow ($㎤/s$)
	Open(ms)	Close(ms)	
0	4.22	1.29	-
100	4.49	2.09	424.75
200	4.7	1.98	873.10
300	4.76	2.04	1321.45
400	4.81	2.04	1722.60
500	4.97	2.25	2123.76
600	5.13	2.3	-

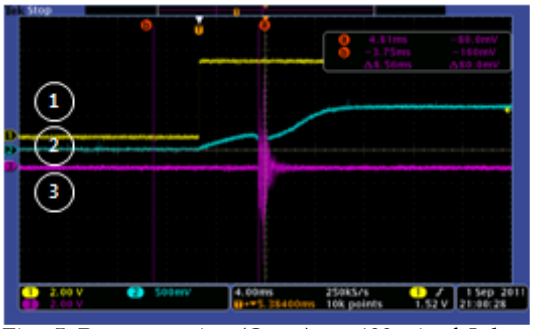

Fig. 5 Response time(Open) at 400psi of Inlet Valve

Table 3. Performance Test Results of Outlet Valve

Pressure (psi)	Response times		Flow ($㎤/s$)
	Open(ms)	Close(ms)	
0	4.18	2.52	-
100	4.39	2.46	424.75
200	4.70	2.25	873.10
300	4.81	2.36	1321.45
400	4.81	2.14	1722.60
500	4.82	2.14	2123.76
600	4.92	2.14	-

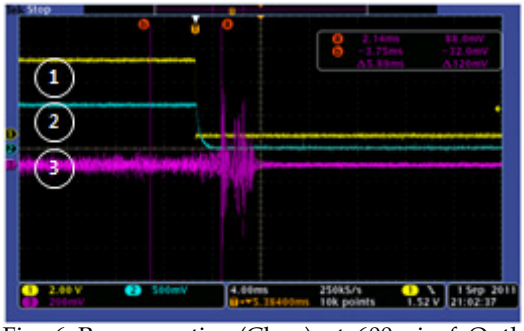

Fig. 6 Response time(Close) at 600psi of Outlet Valve

질소 공압 장치를 이용하여 응답률, 유량, Internal Leakage를 측정하였다. 또한, 응답률 측정데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 Fig. 5와 6에 보듯이 전원(①) 신호에 따른 전류(②) 값과 함께 가속도 센서를 출력(③) 값 신호를 함께 측정하였다. Table 2과 3에서 보는 바와 같이 Open시 응답률이 5ms미만, Close시 응답률이 3ms미만으로

측정되었다. 이 결과는 설계 요구 조건인 Open시 20ms, Cose시 10ms를 충족함을 알 수 있다. 또한, 설계 요구 조건보다 4배 이상 빠른 응답률을 보이므로 작동유체가 질소 가스이나 상대적으로 점성이 높은 Hydrazine을 사용해도 설계 요구 조건을 충분히 만족할 것이다.

4. 결론

본 논문은 위성의 자세제어용 추력시스템에 대한 연료 공급용 솔레노이드 밸브의 설계 및 제작 및 성능평가에 관한 것이다. 기본적인 작동상태, 응답률, 유량 등을 시험하였으며, 설계 요구 조건을 충분히 만족하였다.

향 후, 위성용 밸브의 특수성으로 인해 진동, 충격, 누설, Cylcle life 등의 환경시험을 수행할 것이다.

참 고 문 헌

1. 전용식, 오영철, 주민진, 조수정, 김동수, “산업용 ISO 솔레노이드 밸브 특성 해석,” 2008 유체기계 연구개발 발표회 논문집, 2008, pp.521-524
2. Green, W. L., “The Poppet Valve-Flow Force Compensation," Proceedings of Fluid Power International conference, 1970, pp.S1-S6