

하이드라진 추력기 래칭 밸브 개발

윤호성* · 채현정* · 이재현* · 조남경**

Development of Hydrazine Thruster Latching Valve

Hosung Yoon* · Heonjung Chae* · Jaehun Lee* · Namkyung Cho**

ABSTRACT

Latching valves are operated like solenoid valves by open/close command and they maintain final open or close command without electric power source, so they are widely used in propulsion system of satellite and launch vehicle requiring reliability and being subject of restriction of power. This paper present design and test procedure of latching valve using permanent magnet polarized solenoid, which is developed for 45N Hydrazine propulsion system, to estimate feasibility of design and manufacture of latching valve.

초 록

발사체 자세제어용 추력기로 하이드라진 단일 추진제 방식이 널리 적용되며, 발사체 자세제어용 추력기 시스템은 신뢰성을 높이는 것이 중요한 요구조건인 하나다. 이를 위해 추력기 시스템에서 연료저장 탱크로부터 공급되는 하이드라진을 추력기들로 공급 또는 차단하는 밸브로 래칭 밸브를 적용한다. 래칭 밸브를 적용함으로써 밸브의 특성상 전원이 공급되지 않을 경우에도 공급(열림) 또는 차단(닫힘)의 상태를 계속하여 유지할 수 있으므로 여러 경우에 있어 신뢰성 있게 사용할 수 있다. 즉 래칭 밸브는 개폐명령에 대하여 솔레노이드 밸브와 같이 동작함과 아울러, 전원이 꺼진 상태에서도 마지막 작동 상태를 유지할 수 있는 기능이 추가된 형태이며, 이러한 래칭 메커니즘을 구현하기 위해서는 적절한 메커니즘이 구현되어야 한다. 본 논문에서는 45N급 하이드라진 래칭 밸브의 개발을 목표로 지상시험용 래칭 밸브의 설계 및 시험내용을 기술하였다. 밸브를 구성하기 위한 기본 구성품과 래칭 기능을 위한 메커니즘 등을 제시하였으며, 특히 밸브의 래칭 기능을 구현하기 위한 메커니즘으로 판스프링을 이용한 기계식 방식이 아닌 영구자석을 활용한 자기잠금 방식에 대해 상세하게 기술하였다. 또한 기밀시험, 작동시험, 사이클 시험 등을 통해 개발된 래칭 밸브의 설계요구 조건 부합여부를 확인하였으며, 본 하이드라진 추력기 시스템 래칭 밸브 시제품 개발을 통해 추력기의 국산화 개발 안정성 향상할 수 있었다.

Key Words: Latching Valve(래칭 밸브), Solenoid(솔레노이드), Permanent Magnet(영구자석), Hydrazine(하이드라진),

* (주)스페이스솔루션

** 한국항공우주연구원 추진제어그룹

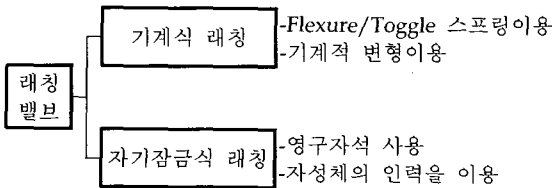
연락처, E-mail: eng@spacesolutions.co.kr

1. 서 론

발사체 및 인공위성의 자세제어시스템에 있어 자주 활용되는 래칭 밸브는 솔레노이드, 토크 모터 또는 리니어 모터등과 래칭 메커니즘이 결합된 형태로 사용하는 밸브의 하나로 유량제어의 목적보단 기초적인 차단 및 공급유지에 사용목적이 주로 있다.

솔레노이드 밸브와 같은 전기구동 밸브는 정상상태에서 작동상태를 유지하기 위해서는 지속적인 전원공급이 수행되어야 하나, 래칭 밸브는 구조특성상 최종의 작동상태를 별도의 전원공급 없이도 유지하고 있다는 것이 다른 점이며, 또한 열림 또는 닫힘의 상태에서 간단한 작동신호로 작동상태를 전환하여 유지할 수 있다.

래칭 밸브는 래칭 메커니즘의 방식에 따라 다음과 같이 기계식과 자기잠금식으로 구분할 수 있다.



기계식과 자기잠금식 래칭밸브는 각각의 장단점을 보유하고 있으며, 기계식에 비해 자기잠금식이 비교적 제작성이 용이하여 현재에는 자기잠금식 래칭밸브가 더 많은 응용분야에 적용되고 있다.

인공위성이나 발사체에 사용될 수 있는 고신뢰도와 정밀도를 갖는 래칭 밸브는 전 세계적으로 생산하는 국가도 드물 뿐만 아니라 수출허가 품목으로 규정되어 있어 국내에서 신뢰도 있는 추력기 시스템을 자체 개발하기 위해서는 핵심 부품인 이러한 래칭밸브의 국산화 개발이 필수적이다.

본 논문에서는 45N급 하이드라진 추력기 시스템 래칭 밸브 개발을 목표로 수행된 자기잠금식 래칭 밸브의 탐색개발 과정을 기술하였으며, 이를 통해 자기잠금식 래칭 밸브의 국산화 가능성을 확인하였다.

2. 성능 요구조건

탐색개발을 통하여 구현하고자 하는 래칭 밸브의 성능 요구조건은 비행 Heritage가 있으며 현재 사용하고자 하는 OOO사의 래칭 밸브와 비교 분석하여 다음과 같이 설정하였다.

Table 1. 래칭 밸브의 성능 요구조건

항목	해외 OOO사	탐색 개발 규격
작동 압력	0 to 24 bar	0 to 24 bar
검증 압력	36 bar	36 bar
Flow / ΔP	0.8 bar 이내 @ 32 gram/s	1.5 bar 이내 @ 40 gram/s
외부 누수	1.0 X 10 ⁻⁶ scc/s 이내 (헬륨 압력 24 bar)	1.0 X 10 ⁻⁴ scc/s 이내 (헬륨 압력 24 bar)
내부 누수	10 scc/hr GN2	50 scc/hr GN2
운영 전압	24 VDC ~ 32 VDC	24 VDC ~ 32 VDC
파워	15 W 이내 @ 28 VDC, 20 °C	50 W 이내 @ 28 VDC, 20 °C
절연 저항	500 VDC에서 100 Mohm 이상	500 VDC에서 100 Mohm 이상
응답 시간	Open : < 30 msec Close : < 20 msec	Open : < 80 msec Close : < 80 msec
수명	Min 5,000 cycle	Min 500 cycle
무게	under 0.5 kg	under 1.5 kg

상기와 같은 성능 요구조건을 목표로 개발을 진행하였으며, 다음과 같이 기계적, 전기적 성능시험을 통하여 검증하고자 하였다.

■ 기계적 성능시험

- External • Internal Leakage Test
- Proof • Burst Pressure Test
- Pressure Drop
- Configuration/Interface/Weight

■ 전기적 성능시험

- Response Time
- Operating Voltage & Power
- Insulation Resistance & Dielectric Strength
- Cycle Life & Continuous Cycle

3. 설계 및 해석

3.1 구조형상 설계

영구자석을 이용한 자기잠금방식의 래칭 밸브를 개발하기 위해 Fig. 1과 같이 연료유동부와 구동 코일부를 갖는 밸브를 설계하였다.

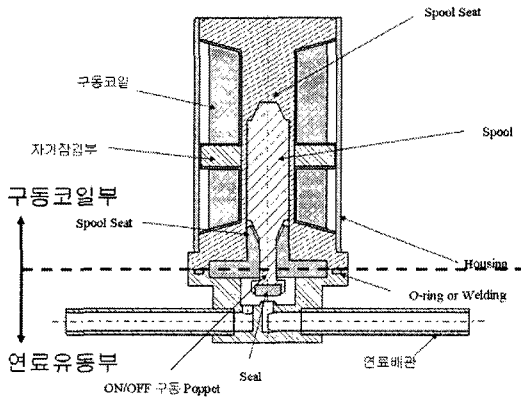


Fig. 1 래칭밸브 구조형상

연료유동부는 Puck형상의 Seal Set와 Inline 형태의 입·출부 배관형식으로 구성하였으며, 하우징부에 독립적으로 감긴 두 개의 코일로 여닫음을 수행할 수 있도록 하고 자기잠금 역할을 고려하여 중간에 영구자석을 설치하여 래칭 밸브의 역할을 할 수 있도록 하였다.

3.2 상세 설계

상기와 같이 구조형상 설계 후 다음과 같은 설계항목에 따라 상세설계를 수행하였다.

■ 연료 유동부 설계

■ 연료유동부 최적설계

- 배관압력손실 등을 고려한 총압력손실 계산
- 오리피스 설계/연료 유동부 유체해석

■ ON/OFF 구동 Poppet 설계

- 연료 가압력이 Poppet에 미치는 힘 계산
- 최적 이동행정 설계

■ 누설방지 Seal 설계

- 작동 유체 및 압력 등을 고려한 Seal Seat

설계

■ 구동 코일부

■ 구동 Coil부 설계

- Wire Diameter 및 권선수 선정/등급 선정
- 권선부 및 구성부품의 전자기력 계산

■ Spool 형상 설계

- 구동력 증가를 위한 형상 최적 설계
- Spool 적합 재질 선정

■ 자기 잠김부 설계

- Magnetic Flux Path를 고려한 자기 잠김부 형상 설계/주변 재질 선정/자기감감력 해석

특히 영구자석을 이용한 자기잠금 메커니즘의 타당성을 검증하기 위해 사용한 영구자석과 주변 재질 및 형상에 따른 자기장 해석을 수행하였으며, 이를 통해 최적의 배치형상 및 영구자석의 특성과 주변 재질에 따른 잠금특성을 파악할 수 있었다.

다음의 그림은 래칭 밸브의 자기장 해석 결과이다.

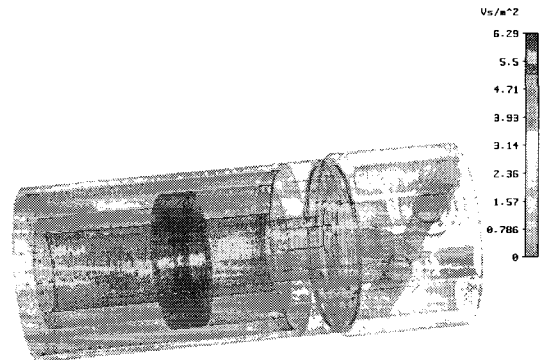


Fig. 2 래칭밸브의 자기장 해석(열림)

상기와 같은 해석결과를 바탕으로 간극 및 위치의 최적화를 수행하였고, 제작성과 탐색개발 제품을 고려하여 분해가 용이하도록 유로부를 용접형식에서 볼트조임 형식으로 상세설계를 수행하였으며 설계가 완료되어진 제품의 3차원 형상은 다음과 같다.

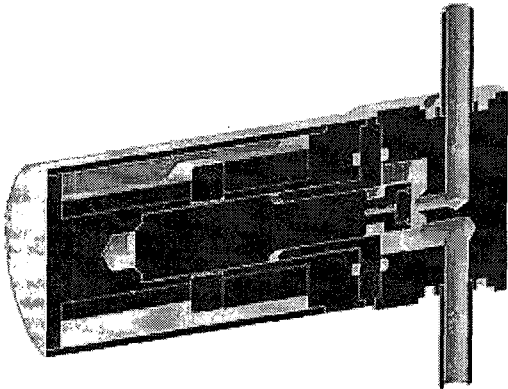


Fig. 3 래칭 밸브 3차원형상(상세설계완료)

4. 제작 및 시험

4.1 제작

모든 제작은 사내에서 수행하였으며 검사기준과 사내품질방침에 의거 단품 및 서브조립품에 대한 검사를 수행하였다.

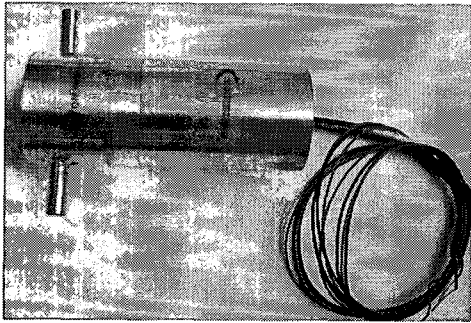


Fig. 4 제작이 완료된 래칭 밸브

4.2 시험

제작이 완료된 래칭 밸브는 Table 1.의 설계요구조건을 충족하는 가를 검증하기 위해 Table 2.와 같은 내용과 순서에 따라 시험을 수행하였으며, 개발가능성 검토를 위한 탐색개발임을 고려하여 환경시험은 추후에 수행하기로 하였다.

래칭 밸브의 시험을 위해 일부 기보유 장비를 시험목적에 맞도록 수정하였으며, 기계/전기적

시험을 위한 시험장비의 전체 구성도는 Fig. 5와 같다.

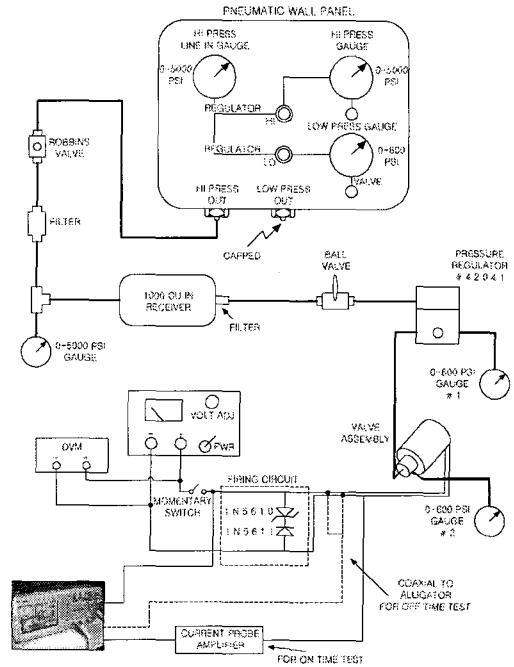


Fig. 5 래칭 밸브 시험장치 구성도

Table 2 시험절차 및 결과

순	시험 항목	시험 결과
1	제품 검사	OK
2	무게 측정	562g
3	칭정도	OK
4	보증압력 시험	OK
5	유량 시험	OK
6	IPA Flush/Purge	-
7	내부 누설 시험	20 scc/hr GN2
8	외부 누설 시험	-
9	절연 저항 시험	OK
10	Dielectric Strength 시험	OK
11	Pull-in 전압 시험	16 Volt
12	소비 전력	25W
13	응답 시간 시험(ms)	O/C : 11/7.8
14	IPA Flush/Purge	-
15	내부 누설 시험	20 scc/hr GN2
16	최종 육안검사	OK

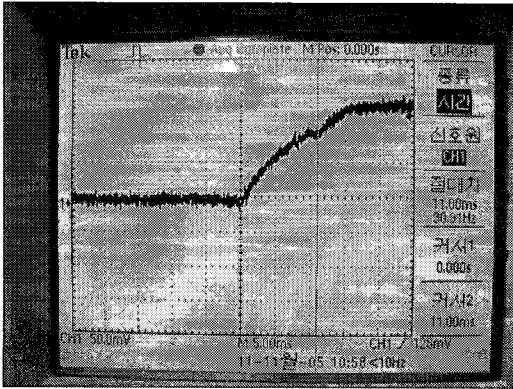


Fig. 6 응답시간(열림) 측정결과

5. 결론

45N급 하이dra진 추력기 시스템 래칭 밸브 개발을 목표로 수행되었던 자기잠금식 래칭 밸브의 탐색개발을 통해 자기잠금 메커니즘을 정확하게 이해할 수 있었으며 이러한 래칭 밸브 개발 가능성을 확인하였을 뿐만 아니라, 국산화 적용 가능성 또한 확인할 수 있었다. 처음 개발 목표 대상으로 설정하였던 해외 OOO사의 제품과 비교하여 일부 성능적인 면에서는 전혀 손색이 없는 제품을 구현할 수 있었으며, 처음에 설

정하였던 성능 요구조건을 월등하게 능가하는 제품을 개발하였다. 따라서 일부분에 대한 성능 개선과 발사체 조건에 따른 환경시험을 수행하고 반복적인 시험을 통하여 적용에 필요한 Data를 확보한다면 향후 수입에만 의존하던 래칭 밸브를 국산화 하여 우리 발사체에 적용할 수 있을 것이라 확신한다.

감사의글

본 연구는 항공우주연구원 추진제어그룹의 부품 국산화 개발의 일환으로 수행되었으며, 개발을 성공적으로 이끌수 있게 지원해주신 우주발사체 사업단과 추진제어그룹에 감사드립니다.

참고문헌

1. Jerry L. Lyons P.E. and Carl L Askland, jr "Lyons' Encyclopedia of Valve"
2. Jerry L. Lyons P.E. "Lyons' Valve Designer's Handbook"
3. 홍 희식, 정 현필 "기초 전자기학"
4. 조 인현 "추력기 래칭밸브 개발 보고서"