

유압밸브 신뢰성 평가 기준 개발

Reliability Assessment Standard Development of the Hydraulic Valves

윤 소 남* , 황 태 영* , 김 형 의*

So-Nam YUN* , Tae-Young Hwang , Hyoung-Eui KIM

* 한국기계연구원 기계류부품신뢰성평가센터

Abstract

In this study, selecting methods of the hydraulic valve and evaluation item for development of reliability testing standard are clearly defined. And, we developed reliability testing standard of the hydraulic valves which are as follows,

- Hydraulic directional control valve, - Hydraulic on-off solenoid valve
- Hydraulic PWM valve, - Hydraulic check valve, - Hydraulic relief valve,
- Hydraulic reducing valve, - Hydraulic flow control valve

1. 서 론

산업기계에서 중요한 비중을 차지하는 유공압기기는 그 사용분야나 사용 목적에 따라서 다종 다량의 부품들이 현재 생산 판매되고 있다. 유압 시스템에서 최종 액츄에이터의 속도 및 방향을 제어하는 방법으로는 펌프제어방식과 밸브 제어방식이 있다. 펌프제어방식은 유압펌프의 사판을 제어하여 토출방향 및 토출유량으로 액츄에이터를 제어하기 때문에 동력 손실면에서는 유리하나 응답성 면에서는 불리하며, 밸브 제어방식은 유압원으로부터의 유체동력을 변환시키거나 줄이는 과정에서 동력손실을 유발시키기는 하나 응답성이 우수하기 때문에 현재 유압분야에서는 거의 밸브 제어방식이 쓰이고 있다. 유압제어밸브의 경우도 제어 대상에 따라 방향제어, 압력제어, 유량제어 밸브로 구분되며, 구동 액츄에이터에 따라서 수동방식, 온오프 솔레노이드 방식, PWM방식, 비례솔레노이드 방식, Force/Torque Motor 방식으로 구분되어 수십종류의 밸브가 사용되고 있는 실정이다.

따라서, 이 밸브들의 전부에 대해서 독립적으로 시험항목을 정하는 것도 어려울 뿐만 아니라 더 나아가서는 신뢰성 평가 항목으로 정하기에도 매우 부적절한 면이 있기 때문에 아직까지 정상적인 규격들이 정밀하게 정해져 있지 않으며, 일부분의 규격들만이 존재하고 있어 이에 대한 대처가 필요하다 사료된다. 또한 국내 생산중인 유압 밸브에 대한 신뢰성 규격을 정립하게 되면 국제적으로도 기술 우위를 확보할 수 있을 뿐만 아니라 국제 경쟁력에서 이기는 계기가 되므로 매우 중요하다 판단된다.

본 연구에서는 유압밸브 신뢰성 평가 기준 개발을 위하여 신뢰성 평가 기준 대상 밸브의 선정방법과 신뢰성 평가항목 선정방법에 대해서 기술하고, 선정된 평가항목에 대해서 어떠한 평가절차를 거쳐야 하는지에 대해서 기술하고자 한다. 또한 평가의 관심대상인 수명(내구성) 관련 평가에 대하여 고찰하고, 평가기준을 개발하고자 한다.

2. 본 론

2.1 밸브의 분류

표 1에는 밸브를 기능별, 액츄에이터 구동방식, 형식상으로 나누어 분류를 하였으며, 표 1에서부터 신뢰성 평가 대상 밸브를 다음과 같이 선정하였다.

- 1) 방향제어 밸브군
 - 유압 방향제어 밸브(4방밸브, 스펴형식)
 - 유압 온오프 솔레노이드 밸브(2방밸브)
 - 유압 PWM 밸브(펄스조절밸브의 대표)
 - 유압체크밸브(수동방식)
- 2) 압력제어 밸브군
 - 유압 릴리프 밸브
 - 감압 밸브
- 3) 유량 제어 밸브군
 - 유량 조정 밸브

신뢰성 평가대상 밸브를 선정하는데 있어서 유압방향제어밸브, 유압릴리프밸브, 유량조정밸브는 방향, 압력, 유량제어밸브를 대표하는 것이기 때문에 기본적으로 선정하였으며, 수동조작용이면서 중요한 밸브인 유압체크밸브와 감압밸브도 평가대상 밸브로 선정하였다. 그리고 솔레노이드 방식이면서 단순 온오프인 경우와 온오프의 주기를 조정할 수 있는 밸브로 나누어, 이와 유사한 밸브들을 대표할 수 있도록 하였다.

표 1 유압밸브의 분류

No	기능상 분류	액츄에이터 구동방식에 의한 분류	형식상 분류
1	방향제어밸브	- 수동방식 - 온오프 솔레노이드방식 - PWM, PFM, PNM, PCM, PAM 방식	- 2방밸브(볼체크밸브, 포켓체크밸브) - 3방, 4방밸브(스플밸브)
2	압력제어밸브	수동방식	- 릴리프밸브, 안전밸브 - 감압밸브, 시퀀스밸브
3	유량제어밸브	수동방식	- 교축밸브 - 압력보상형 밸브

2.2 밸브 규격 여부 검토

평가대상 밸브의 평가기준 개발을 위한 초기 과정으로서 표 2에 표시한 바와 같이 규격 존재 여부를 조사하였다. 서론에서도 서술한 바와 같이 종류가 매우 다양하기 때문에 밸브명을 정하고 규격을 정하는 경우가 드물고, 스펴이나 포켓 혹은 솔레노이드로 나누어 독립적인 부분 규격들이 제시되고 있다. 이것은 밸브 규격제정 면에서는 간단하면서도 확실한 규제가 가능하나, 임의의 밸브 전체를 시험하는 경우에는 적당한 규격을 찾아서 밸브에 맞게 재구성을 하는 과정이 필요하기 때문에 현실성 면에서 문제가 있다.

2.3 신뢰성 평가 항목 결정

표 3에는 대상 밸브의 평가기준을 정하는 두 번째 과정으로 2.1절에서 선정된 밸브들은 어떠한 규격을 기본으로 하고 있는가를 보여주는 것이고, 이를 토대로 하여 선정된 평가항목들에 대해서 표 4에는 전기전자 부분을 제외한 밸브의 신뢰성 평가항목을, 표 5에는 솔레노이드 관련 평가 항목을 보여주고 있다.

표 2 밸브 규격 여부 조사

No	평가기준 대상 밸브	국내 규격 여부	국외 규격 여부
1	유압 방향제어 밸브	없음	- NFPA/T3.5.14M(1983) - ISO-4401-1980(E) - ISO-7790-1986(E)
2	유압 온오프 솔레노이드 밸브	없음	없음
3	유압 PWM 밸브	없음	없음
4	유압 체크 밸브	없음	ISO 6403(1988-E)
5	유압 릴리프 밸브	없음	- BFPR-159-164(1978) - ISO 6403(1988-E)
6	감압 밸브	없음	없음
7	유량 조정 밸브	KS B 6343(1988)	- NFPA T3.5.16(1991) - ISO 6263(1997-E) - ISO 6403(1988-E)

표 3 신뢰성 평가항목 선정을 위한 참조 규격

No	평가기준 대상 밸브	국내 규격	국외 규격
1	유압 방향제어 밸브	KS B 6346	- NFPA/T3.5.14M(1983) - ISO-4401-1980(E) - ISO-7790-1986(E)
2	유압 온오프 솔레노이드 밸브	KS B 6346	- NFPA/T3.5.14M(1983) - ISO-6403-1988(E) - SAE ARP 4945
3	유압 PWM 밸브	KS B 6346	- NFPA/T3.5.14M(1983) - ISO-6403-1988(E) - SAE ARP 4945
4	유압 체크 밸브	KS B 6507	- ISO 6403(1988-E)
5	유압 릴리프 밸브	KS B 6507	- BFPR-159-164(1978) - ISO 6403(1988-E)
6	감압 밸브	KS B 6508	- NFPA/T3.5.28(1980) - ISO-6403-1988(E) - SAE J 1117
7	유량 조정 밸브	KS B 6343(1988)	- NFPA T3.5.16(1991) - ISO 6263(1997-E) - ISO 6403(1988-E)

표 4 유압밸브와 신뢰성 평가 항목

No	밸브종류	시험항목	체크	릴리프	유량	감압	방향	온오프	PWM
			밸브	밸브	조정	밸브	제어	밸브	밸브
1	정적 특성 시험	시운전 시험	○	○	○	○	○	○	○
2		입력신호에 대한 제어압력특성 시험	-	○	-	○	-	-	-
3		입력신호에 대한 제어유량특성 시험	-	-	○	-	-	-	-
4		분해능시험	-	-	-	○	-	-	-
5		유량변화에 대한 제어압력변화 특성시험	-	○	-	○	-	-	-
6		공급압력 변화에대한 제어압력특성시험	-	○	-	○	-	-	-
7		공급압력 변화에대한 제어유량특성시험	-	-	○	-	-	-	-
8		반복성 시험	-	○	○	○	-	-	-
9		기름온도변화에 의한 제어압력변화특성 시험	-	○	○	○	-	-	-
10		외부드레인 시험	-	-	○	○	-	-	-
11		외부누설 시험	○	○	○	○	○	○	○
12		내부누설 시험	○	○	○	○	○	○	○
13		압력강하 특성시험	○	○		○	○	○	○
14		보증내압력시험	○	○	○	○	○	○	○
15		자유(역)흐름 압력강하 특성시험	-	-	-	○	-	-	-
16		절연저항시험					○	○	○
17		내전압시험					○	○	○
18	동적 특성 시험	스텝응답 시험	-	○	○	○	○	○	○
19		주파수 응답시험	-	-	-	○	-	-	-
20	환경 시험	내진동 시험	○	○	○	○	○	○	○
21		내습 및 내수시험	○	○	○	○	○	○	○
22		고온 및 저온시험	○	○	○	○	○	○	○
23		수명(내구성)시험	○	○	○	○	○	○	○

표 5 솔레노이드 신뢰성 평가 항목

No	밸브종류	시험항목	체크	릴리프	유량	감압	방향	온오프	PWM
			밸브	밸브	조정	밸브	제어	밸브	밸브
1	솔레노이드 시험	흡인력시험	-	-	-	-	○	○	○
2		저항변화시험	-	-	-	-	○	○	○
3		시동전류시험	-	-	-	-	○	○	○
4		유지전류시험	-	-	-	-	○	○	○
5		작동시험	-	-	-	-	○	○	○
6		온도상승시험	-	-	-	-	○	○	○
7		절연저항시험	-	-	-	-	○	○	○
8		내전압시험	-	-	-	-	○	○	○
9		내구시험	-	-	-	-	○	○	○

3. 결과 및 고찰

2.3절의 밸브규격조사, 참조규격조사 과정을 통하여 표 4, 5와 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 상세히 규격내용을 분석하고, 산업계의 요구와 축적된 데이터를 통하여 평가대상 밸브의 평가기준을 개발하였다. 결과의 한 예를 표 6에 나타내었는데, 국내산업계의 유압밸브발전에 커다란 공헌을 할 것이라 사료된다.

표 6 신뢰성 평가 항목 및 평가기준 개발 예(감압밸브)

No	시 험 항 목	시험 방법	시험조건	성 능 기 준
1	시운전 시험	10.1	- 공급압력:40~315[bar] - 작동회수 : 10회	- 정상작동 - 외부누설 없음
2	입력신호에 대한 제어압력 특성시험	10.2	- 공급압력:40~315[bar] - 1회 왕복운전	- 정격압력의 $\pm 2\%$ - 불감대:10% 이내
3	분해능 시험	10.3	- 사용압력의 15%, 50%, 80%에서 10초 정지후 운전	- 최대입력신호의 3% 이내
4	유량변화에 대한 제어압력 변화특성 시험	10.4	- 사용압력의 0%, 50%, 100%에서 운전	- 최대사용압력의 5% 이내
5	공급압력 변화에 대한 제어압력변화 특성시험	10.5	- 공급압력:40~315[bar] - 1회 왕복운전	- 설정제어압력 범위에서 $\pm 5\%$ 이내
6	반복성 시험	10.6	- 정격압력의 50%로 조절	- 압력편차 3% 이내
7	기름온도변화에 대한 제어압력 변화 특성시험	10.7	- 계측점에서 1분간 온도 유지	- 최고사용압력의 4% 이내
8	외부 드레인 시험	10.8	- 최대사용압력의 50% 설정	- 최대사용유량의 2% 이내
9	내부 누설시험	10.9	- 최대사용압력의 50% 설정	- 최대사용유량의 0.5% 이내
10	외부 누설시험	10.10	- 최대사용압력 인가 - 허용배압 가함	- 누설없음
11	보증내압력 시험	10.11	- 최대사용압력의 1.5배를 3분간 가함	- 외부누설, 영구변형, 파손없음
12	압력강하 특성시험	10.12	- 최대사용압력 가함 - 최저~최대유량 1왕복공급	- 설계자 기준에일치
13	자유(역)흐름 압력강하특성시험	10.13	- 제어포트에 역으로 압력 공급	- 압력손실 1bar 이내
14	스텝응답 시험	10.14	- 최대사용압력 인가	- 정상응답시간 300msec 이내
15	주파수 응답시험	10.15	- 정격압력의 50% 설정	- 3~7Hz
16	내진동 시험	10.16	- 사용여부에 따라 최대 100Hz	- 정상작동
17	내습 및 내수시험	10.17	- 습기, 살수, 침수	- 정상작동
18	고온 및 저온시험	10.18	- $-30 \sim 135^{\circ}\text{C}$	- 정격압력과 분해능 변화 $\pm 25\% \sim 2\%$ 이내
19	수명(내구)시험	10.19	- 300회/1일×10년	- 800000~1200000회

4. 결 론

본 연구에서는 유압밸브 신뢰성 평가 기준 개발을 위하여 신뢰성 평가 기준 대상 밸브의 선정방법과 신뢰성 평가항목 선정방법에 대해서 기술하고, 선정된 평가항목에 대해서 어떠한 평가절차를 거쳐야 하는지에 대해서 서술하였으며. 궁극적으로 유압 방향제어 밸브(4방밸브, 스펀형식), 유압 온오프 솔레노이드 밸브(2방밸브), 유압 PWM 밸브(펄스조절밸브의 대표), 유압체크밸브(수동방식), 유압 릴리프 밸브, 감압 밸브, 유량 조정 밸브의 신뢰성 평가 기준을 개발 할 수 있었다. 본 연구에서 얻어진 결론을 이용하면, 국내 유압밸브 산업의 국제적 위상이 향상됨은 물론이려니와 국내 유압밸브 산업의 발전에 커다란 공헌을 할 것이라 사료된다.

참고문헌

- 1) 이치우 외 3인(1993), 신뢰성 공학, 원창출판사
- 2) Michael Pecht(1995), Product Reliability, Maintainability, and Supportability handbook, CRC Press
- 3) 기술표준원(2000), 부품·소재 신뢰성 workshop 2000
- 4) 기술표준원(2001), 부품·소재 신뢰성 workshop 2001
- 5) Fitch 외(1983), Fluid Power Engineering, FES, INC
- 6) KS, JIS, MIL, ISO, SAE, NFPA, ARI, UL, API, AWWA