

유압펌프의 성능 평가를 위한 ISO 규격 해설

Review on ISO Standards for the Performance Test of Hydraulic Pumps

조유종 · 장동혁 · 권정호

Y. J. Cho, D. H. Jang and J. H. Kwon

1. 서 언

유압 장치는 단위 중량당 동력의 크기가 크고, 대량의 동력전달이 용이하며, 직선운동과 회전운동을 용이하게 구현할 수 있기 때문에, 건설 중장비, 운반 기계, 자동차, 선박, 항공기 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 그러한 유압 장치 중에 유압 동력원을 발생시키는 유압펌프와 유압 에너지를 기계적 동력으로 변환시키는 유압 모터가 전체 유압시스템의 성능을 결정하는 핵심 요소라고 할 수 있다.

이러한 유압장치들은 최대의 성능을 얻기 위하여 각기의 용도에 적합한 부하조건하에서 작동되는 것이 일반적이다. 그런데 그러한 유압 장치들 특성을 파악하기 위해서는 규정에 의하여 성능 시험을 하는 것이 필요하다. 그러한 요구에 부합하여 WTO는 각국의 규격 제정에 국제 규격의 채택을 의무화하고, 자국의 규격을 국제 규격에 일치시키는 활동을 강화하는 추세로 발전하고 있다. 그에 ISO에서는 여러 가지 유압 장치에 대한 규격을 발행하였으며 우리도 그 규격에 따라 KS 규격을 정하고 있다.

유압 펌프 및 모터에 관한 주요 ISO 규격을 Table. 1에 나타내었다. 유압 기호 및 세부 특성에 관한 규격까지 감안한다면 수십 가지가 된다. 그 중 유압 펌프 및 모터의 성능시험에 관련된 것은 약 17 중에 달한다. 그 중 대부분은 현재 KS 규격으로 번역되어 있어 사용자는 해당 KS 규격을 검색하여 적용할 수 있다. 그러나 현재 ISO에는 효율, 자흡성, 소음, 맥동 등 제한된 내용만 규격화되어 있다.

유압펌프의 성능 평가는 여러 가지 부분을 통하여 이루어지기 때문에 하나의 규격에 모두 규정하기에는 힘들다. 그래서 본 해설은 유압펌프 및 모터의 시험 방법 및 그 성능 평가 방법을 기술한 ISO 17559 및 ISO 4409를 바탕으로 현재 당사에서 적용 중인 메인펌프의 시험 종류 및 시험 방법을 기술하고 또한 그 평가 방법에 대해 설명하도록 한다. 맥동과 소음에 관한 시험 방법(ISO 10767)은 또 다른 저자에

의하여 다루어질 것이므로 여기서는 생략하였다.

본 해설에서는 굴삭기용 유압 펌프를 주 대상으로 하여, 유압펌프의 성능 특성을 어떻게 파악하는지 기본적인 시험 방법을 소개하며 실제 예를 들어 설명하여 차후 사용자가 유압 펌프에 대해 이해가 쉽도록 한다.

2. 관련 용어 정의

본 해설에서 사용되는 기본적인 용어의 정의는 다음과 같다.

- a) 배제용적 : 1 회전당 토출되는 유량을 말한다.
- b) 이론 토출량 : 배제용적과 회전속도와의 곱으로 나타내는 토출량을 말한다.
- c) 정격압력 : 정격 회전속도로 연속 작동 가능한 최대 압력으로 정의한다.
- d) 정격 회전 속도 : 정격 압력으로 연속 작동가능한 최대 회전속도로 정의한다.
- e) 전효율 : 유압 펌프의 전효율(overall efficiency of a motor)은 기계효율(mechanical efficiency)과 용적효율(volumetric efficiency)의 곱한 것으로, 출력과 입력의 비로 정의한다.
- f) 기계효율 : 입력토크와 출력토크의 비로 정의한다.

$$\eta_t = \frac{\eta_m \times \eta_v}{100} (\%)$$

여기에서 η_t : 전효율(%)

η_m : 기계효율(%)

η_v : 용적효율(%)

f) 기계효율 : 입력토크와 출력토크의 비로 정의한다.

$$\eta_m = \frac{V_{th} \Delta P}{2\pi T} \times 100 [\%]$$

여기에서 V_{th} : 배제용적(cm^3/rev)

ΔP : 압력차(MPa)

T : 입력토크(N·m)

g) 용적효율 : 이론 토출유량과 실제 토출유량의 비로 정의된다.

Table 1 ISO Standards for Hydraulic Pumps and Motors

순번	ISO규격	내용	비고
1	ISO 3019-1:2001(Ed,3)	Hydraulic fluid power, Dimensions and identification code for mounting flanges and shaft ends of displacement pumps and motors, Inch series shown in metric units	KS
2	ISO 3019-2:2001(Ed,3)	Hydraulic fluid power, Dimensions and identification code for mounting flanges and shaft ends of displacement pumps and motors, Metric series	KS
3	ISO 3662:1976(Ed,1)	Hydraulic fluid power — Pumps and motors — Geometric displacements	KS
4	ISO 4391:1983(Ed,2)	Hydraulic fluid power — Pumps, motors and integral transmissions — Parameter definitions and letter symbols	KS
5	ISO 4392-1:2002(Ed,3)	Hydraulic fluid power — Determination of characteristics of motors — Part 1: At constant low speed and constant pressure	KS
6	ISO 4392-2:2002(Ed,3)	Hydraulic fluid power — Determination of characteristics of motors — Part 2: Startability	KS
7	ISO 4392-3:1993(Ed,1)	Hydraulic fluid power — Determination of characteristics of motors — Part 3: At constant flow and at constant torque	KS
8	ISO 4409:2007(Ed,2)	Hydraulic fluid power — Positive-displacement pumps, motors and integral transmissions — Methods of testing and presenting basic steady state performance	
9	ISO 4412-3:1991(Ed,1)	Hydraulic fluid power — Test code for determination of airborne noise levels — Part 3: Pumps — Method using a parallelepiped microphone array	KS
10	ISO 8426:2008(Ed,2)	Hydraulic fluid power — Positive displacement pumps and motors — Determination of derived capacity	
11	ISO 17559:2003(Ed,1)	Hydraulic fluid power — Electrically controlled hydraulic pumps — Test methods to determine performance characteristics	
12	ISO 4412-1:1991(Ed,2)	Hydraulic fluid power — Test code for determination of airborne noise levels — Part 1: Pumps	KS
13	ISO 4412-2:1991(Ed,2)	Hydraulic fluid power — Test code for determination of airborne noise levels — Part 2: Motors	KS
14	ISO 10767-1:1996(Ed,1)	Hydraulic fluid power — Determination of pressure ripple levels generated in systems and components — Part 1: Precision method for pumps	KS
15	ISO 10767-2:1999(Ed,1)	Hydraulic fluid power — Determination of pressure ripple levels generated in systems and components — Part 2: Simplified method for pumps	KS
16	ISO 10767-3:1999(Ed,1)	Hydraulic fluid power — Determination of pressure ripple levels generated in systems and components — Part 3: Method for motors	KS
17	ISO 16902-1:2003(Ed,1)	Hydraulic fluid power — Test code for the determination of sound power levels of pumps using sound intensity techniques: Engineering method — Part 1: Pumps	KS

$$\eta_v = \frac{Q \times 1000}{V_{th} N} \times 100 \text{ [%]}$$

여기에서 Q : 토출유량(L/min)
 V_{th} : 배재용적(cm³/rev)
 N : 입력 회전수(rev/min)

3. 굴삭기용 유압펌프의 구조

제 4절에서는 굴삭기용 유압 메인펌프의 시험 방법에 대해 기술할 것이다. 그 전에 사용자가 본 해설서를 이해하기 쉽도록 메인펌프의 구조를 간략하게 설명하도록 하겠다. Fig. 1 에는 일반적으로 사용되는 텐덤형 메인펌프의 구조를 나타낸다.

유압 제품의 메이커가 제공하는 카탈로그를 참조하면 사용하고자 하는 유압장치의 기본적인 구조를 알 수 있으며 일반적으로 제품의 흡입구 및 토출구는 SAE 규격에 준하여 생산된다. 그리고 특별히 규정하지 않는 한, 펌프의 회전방향은 구동축에서 보아 시계방향으로 하는 것이 바람직하다.

Fig. 1 에 나타난 굴삭기용 유압 메인펌프는 2대의 펌프를 스플라인 커플링으로 결합하고 다시 리어(Rear) 펌프의 뒤에 기어 펌프가 구동축(R)의 암스플라인(Female Spline)에 결합되는 구조로 되어있고, 원동기의 회전을 프런트(Front) 펌프의 구동축(F)에 전달함으로써 2대의 펌프와 1대의 기어 펌프를 동시에 구동하게 된다.

작동유의 흡입, 토출구는 2대의 펌프 연결부 즉, 밸브 블록에 있으며 흡입구는 프런트 펌프와 리어 펌프 공통으로 되어 하나의 흡입구로 2대의 펌프에 유량을 공급하게 된다.

본 펌프를 크게 나누면, 회전운동을 하는 회전체 그룹과 토출유량을 변화시키는 사판(Swash Plate) 그룹과 작동유의 흡입·토출의 방향을 바꿔주는 밸브 커버(Valve Cover) 그룹으로 구성이 된다.

회전체 그룹은 구동축, 실린더 블록, 피스톤 Assembly, 푸시 플레이트, 구면 부시, 스페이서, 실린더 스프링 등에 의해서 구성된다. 구동축은 양단이 롤로베어링에 의해서 지지되어 회전한다.

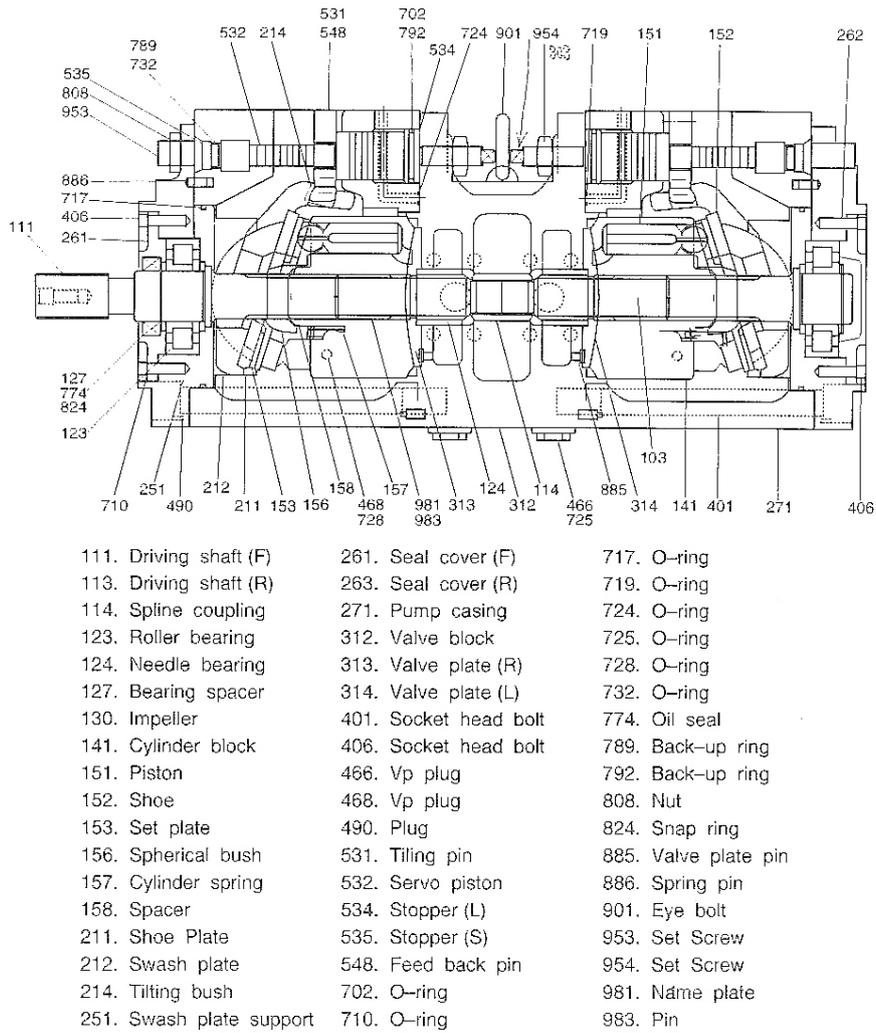


Fig. 1 A Hydraulic Pump

슈는 피스톤에 스웨이징 되어 구면접촉을 형성하고, 부하압력에 의해 발생하는 스러스트(Thrust) 하중을 경감시키고, 슈플레이트 윗면을 부드럽게 섭동하도록 유압 밸런스를 형성하기 위한 포켓 부를 가지고 있다.

피스톤·슈 Assembly는 슈플레이트 상을 원활히 섭동할 수 있도록 하기 위해 푸시 플레이트와 구면 부시가 조립되어 있고, 실린더 스프링에 의해서 슈플레이트에 밀착되도록 되어 있습니다. 또, 실린더 블럭도 마찬가지로 실린더 스프링에 의해서 밸브 플레이트에 밀착되도록 조립된다.

사판 그룹은 사판, 슈 플레이트, 사판 서포트, 틸팅 부시, 틸팅 핀, 서보 피스톤 등으로 구성된다.

사판은 슈 섭동면의 반대측에 형성된 원통상의 부분이 사판 서포트에 지지된다. 그리고 레귤레이터에 의해 제어된 유압력이 서보 피스톤의 양측에 공급됨

으로서 서보 피스톤이 좌우로 움직이고, 여기에 조립된 틸팅 핀에 의해, 사판은 경사각을 변화시킨다.

밸브 커버 그룹은 밸브 블럭, 밸브 플레이트, 밸브 플레이트 핀으로 구성되 있다. 바나나 모양의 원호형 포트를 가진 밸브 플레이트는 밸브 블럭에 취부되고, 실린더 블럭에 작동유를 흡입하고 토출하는 작용을 하며 작동유는 밸브 블럭을 통하여 외부로 연결된다.

4. 성능 평가 기준 및 시험 방법

본 절에는 앞서 설명한 메인펌프의 성능 평가 기준 및 시험 방법에 대하여 설명하도록 한다.

4.1 시험장치

시험 장치는 Fig. 2와 같이 구성한다.

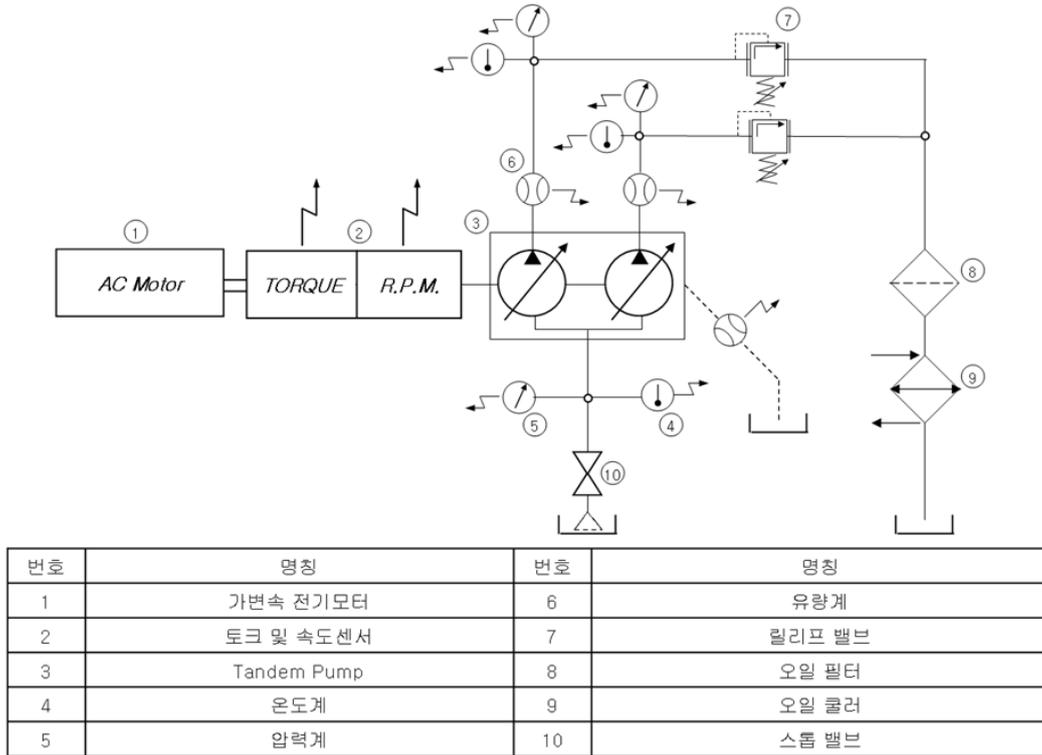


Fig. 2 General test apparatus for Hydraulic Pumps

4.2 시험조건

유압 메인펌프의 성능 시험은 ISO 에 규정된 아래와 같은 조건하에서 실시된다. 작동유의 온도 및 점도는 펌프의 효율에 많은 영향을 미치기 때문에 아래와 같은 조건을 부합하여 시험할 수 있도록 하여야 한다.

a) 주변 환경

- 1) 기온 : (23±10) °C
- 2) 기압 : (0.1±0.01) MPa
- 3) 상대습도 : (50±30) %

b) 유압 작동유

- 1) 작동유 : ISO VG 32 또는 ISO VG 46 상당
- 2) 시험조건 : 일반적으로 성능시험은 (50±5)

°C에서 시험

c) 오염도

- 1) 관리범위 : ISO 18/15~20/17 (ISO A/B)
- 2) 오염도 표시법 : A=1 mL 중 5 μm 이상의 모든 분자수, B=1 mL 중 15 μm 이상의 모든 분자수

4.3 시험방법

Table 2에는 메인펌프의 성능을 평가하기 위한 테스트 방법에 대해 나타내었다.

a) 배제용적 시험

무부하 상태에서 정격회전속도의 50 %, 100 %로 작동하였을 때 토출 유량을 확인한다.

$$Q_{th} = \frac{V_{th} \times \omega_{in}}{1000}$$

여기서 V_{th} : 배제용적(cm³/rev)

ω_{in} : 입력속도(rev/min)

Q_{th} : 이론 토출유량(L/min)

b) 정격 유량 시험

펌프 토출부를 무부하, 파이롯트 압력을 최소, 비례감압밸브의 입력전류를 최소로 유지한다. 펌프의 입력회전수를 최저속도에서 정격속도까지 구동한다. Front Pump와 Rear Pump를 각각 실시한다.

c) 자흡성 시험

토출부를 무부하 상태, 파이롯트 압력을 최소, 비례감압밸브의 입력전류를 최소로 한다. 펌프의 입력회전수를 최저속도 및 최대속도로 구동한다. 각각의 속도에서 조정유량의 97 %가 될 때까지 흡입부 밸브를 서서히 흡입압력을 측정한다. Front Pump와 Rear Pump 각각 실시한다.

d) 효율시험

정격 회전속도, 토출부 무부하 상태를 유지한다. 토출부의 부하압력을 사판 경사각이 변하기 전까지 증가시키면서 회전수, 토크 토출유량 등을 측정한다.

Table 2 Test methods to determine performance characteristics

No	시험 항목	시험 조건
1	배제용적시험	무부하, 정격입력속도의 50 %, 100 %로 한다.
2	정격 유량 특성시험	무부하 상태에서 입력속도를 최저속도에서 정격입력속도까지 변화시킨다.
3	자흡성 시험	최저 및 최대 속도에서 토출유량이 조정유량의 97 %가 되도록 흡입압력을 조절한다.
4	효율 시험	무부하, 정격입력속도 상태에서 사판 경사각이 변하기 전까지 부하압력을 증가시킴, Front Pump와 Rear Pump를 각각 실시한다.
5	부하 동특성 시험	정격입력속도 상태에서 부하압력을 무부하에서 정격압력까지 급작스럽게 변화시킨다.
6	맥동 시험	최대 부하 압력, 정격입력속도 상태로 유지한다.
7	과속 시험	무부하 상태에서 정격입력속도의 120 %로 10 초간 유지한다.
8	Negative정특성 시험	무부하, 정격입력속도 상태에서 Pilot압력을 최소에서 최대, 최대에서 최소로 서서히 변화시킨다.
9	Negative동특성 시험	무부하, 정격입력속도 상태에서 Pilot압력을 최소에서 최대, 최대에서 최소로 급작스럽게 변화시킨다.
10	Pressure Cut-off Test	정격입력속도 상태에서 토출부 부하 압력을 최대 압력까지 상승시킨다.
11	Power Shift Test	무부하, 정격입력속도 상태에서 비례 감압 밸브에 최대 전류를 입력한다.
12	정마력 시험	정격입력속도 상태에서 부하압력을 최소에서 최대로 상승시킨다.
13	전마력 시험	Front Pump 정격입력속도 상태에서 Rear Pump의 부하압력을 최대부하 압력의 25 % 상태에서 Front Pump의 부하압력을 최소에서 최대로 상승시킨다. Rear Pump의 부하압력을 50, 75, 100 % 상태에서 반복 시행한다.
		Rear Pump Front Pump와 Rear Pump의 역할을 바꿔서 동일하게 시험한다.
14	비례감압밸브정특성시험	무부하, 정격회전속도 상태에서 비례감압 밸브 입력 전류를 최소에서 최대, 최대에서 최소로 서서히 변화시킨다.

Front Pump와 Rear Pump를 각각 실시한다.

e) 부하 동특성 시험

토출부를 무부하 상태, 파이롯트 압력을 최소, 비례감압밸브의 입력전류를 최소로 유지하고 입력축 속도를 정격속도로 회전시킨다. 토출부의 부하압력을 정격압력까지 스텝 입력신호로 상승시킨다. 2 초 동안 유지 후 무부하 상태를 유지한다. 일련의 과정을 2~3회 반복한다. 시험 중 토출유량을 계측한다. Front Pump와 Rear Pump 각각 실시한다.

f) 맥동 시험

파이롯트 압력을 최소, 비례감압밸브의 입력전류 최소로 유지하고 입력 축을 정격 회전속도로 회전시킨다. 펌프 토출부의 릴리프 밸브를 조절하여 무부하, 최대 부하의 50 %, 최대부하 압력으로 설정한다. 토출압력을 측정한다. Front Pump와 Rear Pump 각각 실시한다.

g) 과속 시험

무부하, 파이롯트 압력을 최소, 비례감압밸브의 입력전류 최소 상태에서 입력속도를 정격 회전속도의 120 %까지 10 초간 유지한다. Front Pump와 Rear Pump 각각 실시한다.

h) Negative 정특성 시험

무부하, 비례감압밸브의 입력전류 최소 상태로 유지하고 입력축 속도를 정격 회전속도로 한다. 사판 제어용 Pilot 압력을 최소에서 최대까지 파이롯트 압력의 변화가 동적인 영향을 받지 않도록 서서히 상승시킨다. 다시 파이롯트 압력을 최대에서 최소로 동적인 영향을 받지 않도록 서서히 하강시킨다. Front Pump와 Rear Pump 각각 실시한다.

i) Negative 동특성 시험

무부하, 비례감압밸브의 입력전류 최소 상태로 유지하고 입력축 속도를 정격 회전속도로 한다. 사판 제어용 파이롯트 압력을 최소에서 최대까지 스텝 신호로 상승시킨다. Front Pump와 Rear Pump 각각 실시한다.

j) Pressure Cut-off Test

무부하, 파이롯트 압력을 최소 상태로 유지하고 입력축 속도를 정격 회전속도로 한다. 토출부의 부하압력을 최대 압력까지 상승시킨다.

k) Power Shift Test

무부하, 파이롯트 압력을 최소, 비례감압밸브의 입력전류 최소 상태로 유지하고 입력축 회전속도를 정

격 회전속도로 한다. 비례 감압 밸브에 최소 입력전류를 인가한다. 스텝 입력신호로 비례 감압 밸브에 최대 입력전류를 인가한다. 일련의 과정을 2~3 회 반복한다.

l) Constant Horse Power(정마력) 시험

무부하, 비례감압밸브에 입력전류 최소, 파이롯트 압력을 최대, 정격회전속도 상태를 유지한다. 펌프 토출부 부하를 최대로 선형적으로 상승시킨다. Front Pump와 Rear Pump 각각 실시한다.

m) Total Horse Power(전 마력) 시험

펌프 토출부를 무부하, 비례감압밸브에 입력전류 최소, 파이롯트 압력을 최대, 정격회전속도 상태를 유지한다. Rear Pump의 부하압력을 정격압력의 25%에 고정한다. Front Pump의 부하압력을 최소에서 최대로 상승시킨다. Rear Pump의 부하압력이 정격압력의 50%, 75%, 100%일 때 Front Pump의 부하 압력을 최소에서 최대로 상승시키는 실험을 각각 실시한다.

n) Proportional Reducing Valve(비례감압밸브) 정 특성시험

무부하, 입력측 회전속도를 정격 회전속도 상태를 유지한다. 비례감압밸브의 입력전류를 최소에서 최대까지 동적 효과가 발생하지 않도록 서서히 상승시킨 후 다시 최대에서 최소로 서서히 하강시킨다.

5. 결 언

유압 펌프의 경우 그 특성을 결정하는 고유의 특성치는 효율, 자흡성, 동특성, 정특성 등 여러 가지가 있다. 사용자는 시험방법 및 장치 구성을 명확히 설명해 둔 정보가 없기 때문에 그 특성을 파악하기 힘들다.

본 해설에서는 ISO 4409와 ISO 17559에 규정된 시험 기준에 대해 설명하였다. 또한 현재 당사에서 수행하고 있는 시험 방법에 대해 설명하였다.

향후 유압 펌프 관련 기술자 및 유압 장치 관련 기술자들이 본 해설서의 각종 시험 방법을 숙지한다면 유압 펌프의 신뢰성 있는 시험 평가를 하는 데 도움이 될 것으로 판단한다.

참고 문헌

1) ISO 4409, "Hydraulic fluid power -- Positive-displacement pumps, motors and integral

transmissions -- Methods of testing and presenting basic steady state performance", 2007.

2) ISO 17559, "Hydraulic fluid power -- Electrically controlled hydraulic pumps -- Test methods to determine performance characteristics", 2003.

3) ISO 8426, "Hydraulic fluid power -- Positive displacement pumps and motors -- Determination of derived capacity", 2008.

4) RS B 0032, "굴삭기용 메인펌프의 신뢰성 평가 기준", 2005.

[저자 소개]



조유종

E-mail: yujong.cho@doosan.com

Tel: 051-269-5208

1960년 1월 3일생

1983년 서울대학교 기계설계학과 졸업, 1983년 코리아타코마 조선공업(주) 입사, 1989년 (주)두산 모트롤 입사, 유압기기의 생산 기술개발에 종사, 현재 기술연구소 상무로 재직, 유공압시스템학회 기술 이사.

[저자 소개]



장동혁

E-mail: donghyuk.jang@doosan.com

Tel: 051-269-5641

1965년 10월 19일생

1989년 부산대학교 조선공학 학사 과정 졸업, 2009년 부산대학교 기계공학과 석사 과정 졸업, 1992년 (주)두산 모트롤 입사. 현재 기술연구소 수석연구원으로 재직.

[저자 소개]



권정호

E-mail: jungho.kwon@doosan.com

Tel: 051-269-5646

1978년 8월 20일생

1997년 부경대학교 기계공학부 졸업, 2007년 부경대학교 기계공학부 석사 과정 졸업, 2007년 (주)두산 모트롤 입사. 현재 기술연구소 주임연구원으로 재직.