

전기 인버터 구동 수압 피스톤 펌프 시스템의 효율 성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Efficiency of the Water Hydraulic Piston Pump System driven by an Electric Inverter

김성동 · 함영복 · 박준형

S. D. Kim, Y. B. Ham and J. H. Park

Key Words : Motor Efficiency(모터 효율), Pump Efficiency(펌프 효율), System Overall Efficiency(시스템 전효율), Pump Volumetric Efficiency(펌프 용적효율), Pump Torque Efficiency(펌프 토크효율)

Abstract: A water hydraulic pump is likely to have serious problems of high leakage, friction and low energy efficiency. A water hydraulic pump has commonly a fixed displacement type and its outlet flow is adjusted by controlling rotation speed of the pump, which can be implemented by using an electric inverter. This study aims to investigate energy efficiency of the water hydraulic pump system which is driven by an electric inverter. The study is based on the experimental results. The pump which is used in the study shows relatively good efficiency and low leakage, low friction as well. The reasons for the good performance of pump is also investigated.

기호 설명

- ω : 펌프 구동축의 회전 각속도(rad/sec)
- p : 펌프 토출 압력
- Q_{th} : 펌프 이론 유량
- Q : 펌프 실제 토출 유량
- T_{th} : 펌프 축 이론 토크
- T : 펌프 축 실제 구동 토크
- V_{th} : 1 회전당 배제용적
- η_o : 시스템 전효율(overall efficiency)
- η_m : 인버터와 모터의 전기부효율 혹은 모터효율
- η_p : 펌프효율 혹은 펌프 동력효율
- η_t : 펌프 토크효율
- η_v : 펌프 용적효율

1. 서 론

기름을 사용하는 유압시스템에 비교하여 물을 사용하는 수압시스템의 가장 큰 장점은 환경보전과 안전성이다. 수압시스템에 관한 연구가 많이 진행되고 있으며, 유압시스템 선진국인 일본과 독일등에서는 이미 상용화 되고 있다¹⁾. 특히 의료분야와 식품가공분야, 핵발전소와 방사능이 발생하는 시설 등에서는 수압시스템의 사용이 일반화되어 있다.

물은 유압 작동유에 비하여 점도가 1/32정도이며, 윤활성이 부족하여 누설과 마찰이 크게 되어 동력손실이 큰 단점을 가지게 된다. 수압시스템의 동력발생장치인 수압 피스톤 펌프의 경우를 살펴보면 구조는 유압 피스톤 펌프의 구조와 대부분 유사하나, 작동유체의 저점도 특성을 고려한 누설과 윤활에 관련한 부분과 내식내마모성 재질 등에 관한 부분에서 차이를 보인다²⁾.

펌프 유량을 제어하는 방법으로 유압펌프에서는 가변용량형 레귤레이터가 많이 사용되지만, 수압펌프에서는 고정용량형 펌프를 사용하며 전기 인버터로 펌프구동속도를 제어하는 방법이 사용된다. 왜냐하면 레귤레이터 장치가 추가됨에 따라 레귤레이터 부분에서의 누설과 동력손실도 증가되기 때문이다²⁾.

접수일 : 2006년 10월 31일
 김성동(책임저자) : 금오공과대학교 기계공학부
 E-mail : sdkim@kumoh.ac.kr, Tel : 054-478-7395
 함영복 : 기계연구원 지능형정밀기계연구본부
 박준형 : 휘닉스 PDE 기술연구소

본 연구에서는 수압펌프 토출유량 제어방법으로 널리 사용되어지는 전기 인버터를 이용하여 수압펌프의 구동속도 및 펌프의 토출유량을 제어하는 시스템의 효율 성능을 실험적으로 조사하고자 한다. 수압기술 선진국에서 상용화된 수압펌프 중에서 우수한 성능의 수압펌프를 선정하여 시험장치를 구성하고, 효율성을 시험한다. 효율의 정량적 측정값으로부터 수압펌프 인버터 제어방식의 효율성을 검토한다. 또한, 시험에 사용된 수압 펌프의 내부 구조와 부품의 가공조립공차와 재질 등을 조사하여, 수압펌프의 효율 성능이 우수한 이유를 규명한다.

2. 효 율

2.1 모터효율, 펌프효율, 시스템 전효율

전기 인버터를 이용하여 수압펌프의 구동속도를 제어하고, 펌프의 토출 유량을 제어하는 시스템의 구성을 Fig. 1에 나타내었고, 효율을 측정하기 위한 측정장치의 구성 방법도 함께 나타내었다.

인버터의 입력 전력에 대한 펌프의 수압동력의 비로 정의될 수 있는 시스템의 전효율(overall efficiency) η_o 는 인버터와 전기모터로 구성되는 전기부의 효율 η_m 과 펌프동력효율 η_p 의 곱으로 주어진다.

$$\eta_o = \eta_m \eta_p \quad (1)$$

전기부의 효율을 편의상 모터효율로 호칭하는데, 모터효율은 입력전력에 대한 모터 축동력의 비로 정의되며, 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_m = \frac{T\omega}{\sqrt{3EI\cos\Phi}} \quad (2)$$

여기서 분모항은 인버터의 입력전력을 의미하며, E 는 삼상 전원의 선간전압이며, I 는 세 개의 대칭 전기부하를 흐르는 전류이고, $\cos\Phi$ 는 역률(power factor)이다. 분자항은 모터의 축동력을 의미하며, T 는 모터축의 출력토크이며 ω 는 각속도이다.

수압펌프가 전기모터로부터 전달 받은 축동력에 대하여 펌프가 토출하는 수압동력의 비를 펌프효율이라 하며, 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta_p = \frac{PQ}{T\omega} \quad (3)$$

여기서 펌프의 출력동력은 펌프 토출압력 P 와 토출유량 Q 의 곱으로 나타낼 수 있다.

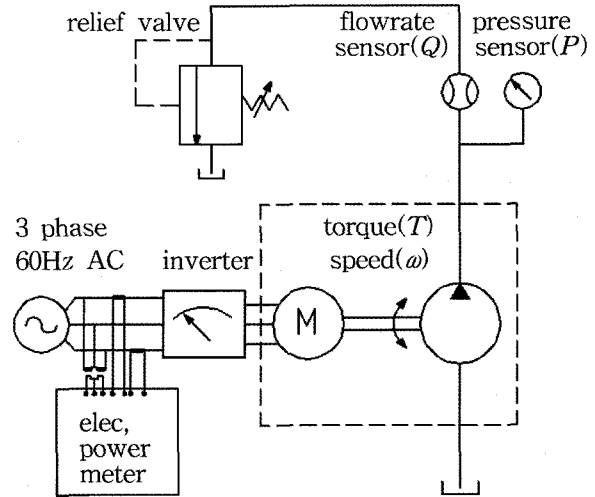


Fig. 1 Configuration of the Inverter-Motor-Pump System and Measuring Devices

2.2 펌프의 용적효율, 토크효율

펌프의 용적효율은 누설의 정도를 표현하는 척도로서 누설이 없다고 가정할 경우에 얻을 수 있는 이론 유량 Q_{th} 에 대하여 누설유량만큼 감소된 실제 토출 유량 Q 의 비로 다음 식과 같이 정의될 수 있다.

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_{th}} \quad (4)$$

여기서 이론유량 Q_{th} 는 1 라디안 회전의 배제용적 $V_{th}/2\pi$ 와 회전속도 ω 의 곱으로 계산되어질 수 있다.

$$Q_{th} = \frac{V_{th}\omega}{2\pi} \quad (5)$$

펌프의 토크효율은 마찰의 정도를 표현하는 척도로서 마찰이 없다고 가정할 경우에 얻을 수 있는 이론 토크 T_{th} 에 대하여 축 구동 토크 T 로 나누어 준 값이다.

$$\eta_t = \frac{T_{th}}{T} \quad (6)$$

여기서 이론 토크 T_{th} 는 1라디안 회전의 배제용적 $V_{th}/2\pi$ 와 토출압력 P 의 곱으로 계산되어질 수 있다.

$$T_{th} = \frac{V_{th}P}{2\pi} \quad (7)$$

에너지에 관한 효율을 의미하는 펌프효율 η_p 는 용적효율 η_v 와 토크효율 η_t 의 곱으로 다음식과 같이 계산할 수 있다.

$$n_p = n_v \cdot n_t \quad (8)$$

3. 실험 및 분석

3.1 실험 장치

Fig. 1에서와 같이 인버터를 이용하여 펌프 토출 유량을 제어하는 시스템의 효율을 측정하는 실험 장치를 Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 구성하였다.

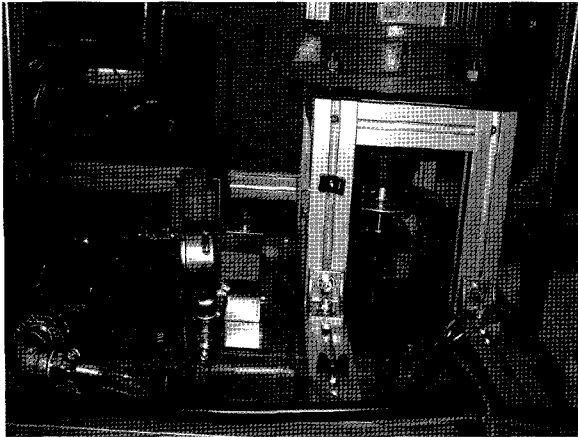


Fig. 2 Picture of Test Equipment

실험 장치에 사용된 수압 펌프는 상용화된 제품 중에서 효율 성능이 우수한 것으로 알려진 D사의 제품으로서 1회전당 배제용적이 12.5 cm^3 이며, 사판식 피스톤형 펌프이다.

전기 인버터와 전기 모터, 수압 펌프로 구성되는 전체 시스템의 효율을 측정할 뿐만 아니라, 모터의 효율과 수압펌프의 효율도 독립적으로 측정할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

전기 인버터로 입력되는 전력은 YOKOGAWA사 CW120 전력 측정계를 사용하였다.

전기 모터의 출력 동력인 축 동력은 수압펌프의 입력 동력을 의미하기도 하는데, 전기 모터의 출력축과 수압펌프의 구동축의 연결 부위에서 토크(torque)와 회전 각속도를 측정하여 계산하였다. 수압 펌프의 출력 동력은 펌프 토출부의 압력과 유량을 측정하여 계산하였다.

실험장치의 구성에 사용된 주요 기기들의 사양은 Table 1과 같다.

3.2 실험 조건

실험 조건으로써 설정이 가능한 변수는 2가지이며, 전기 인버터 출력부의 교류전원의 주파수와 펌프

토출부의 릴리프밸브를 조작하여 설정되는 펌프 토출 압력이다. 인버터의 전원 주파수는 교류 모터의 회전 속도에 비례하는 관계를 가지므로 펌프 구동축의 회전 속도가 비례하여 변화한다. 결과적으로, 펌프 구동속도와 펌프 토출압력의 2가지 조건을 변화시켜 가면서 실험을 수행하는 것이다.

Table 1 Specification of Experimental Apparatus

Equipment		Specification
Electric Power Unit	Motor	1745rpm, 5.1kW
	Inverter	3 Phase, PWM, 9kW, 0.5-400 Hz
Water Hydraulic Unit	Pump	Piston Swash plate type, $12.5 \text{ cm}^3/\text{rev}$
	Relief valve	$25-140 \text{ kgf/cm}^2$
Sensors	Electric Power Meter	Clamp on type, AC 0-500 Arms, Accuracy 1.5%
	Torque Sensor	560 Nm
	Rotary Encoder	10 pulse/rev
	Flow Meter	Turbine Type, Accuracy F.S. 3.0%
	Pressure Meter	250 kgf/cm^2

인버터의 주파수 값을 20, 30, 40, 45, 50 Hz의 5가지 조건에 대하여 실험 하였으며, 펌프 토출압력은 20, 40, 60, 80, 100 kgf/cm^2 의 5가지 조건에 대하여 실험하였다.

3.3 전효율, 모터효율, 펌프효율에 관한 분석

이상의 조건에서 실험한 결과를 정리하여 Table 2에 표현되어있다.

Table 2의 결과로부터 모터효율은 낮은 인버터 주파수 조건과 낮은 압력의 조건에서 효율도 낮으며, 반대의 조건에서 효율이 높은 것을 알 수 있다. 모터효율은 63~82%의 범위에 분포하고, 평균값은 73.85%이다. 펌프효율도 낮은 인버터 주파수 조건과 낮은 압력의 조건에서 효율도 낮으며, 반대의 조건에서 효율이 높은 것이 모터효율의 경우와 유사한 경향을 보이는데 75~86% 범위에 분포되며, 평균값은 79.69%에 이르렀다. 모터효율과 펌프효율을 모두 고려한

수압시스템의 전효율은 45~72%의 범위에 분포하며, 평균 59.03 %에 이르렀다.

에너지 이용 효율의 면에서 가장 중요한 의미를 가지는 인버터 구동 수압펌프시스템의 전효율에 관한 정량적 데이터만으로는 효율이 우수함의 여부에 대한 판단이 어렵다. 일정한 모터속도의 조건에서 가변용량 펌프시스템의 효율 수준과 상대적인 판단이 이루어져야 한다. 아직까지는 가변용량형 수압펌프시스템이 개발된 사례가 없기 때문에 이러한 판단이 용이하지 않다. 다만, 가변용량형 수압펌프시스템의 최대용량에서 최적의 효율을 얻도록 설계되어 있으며, 용량이 작아짐에 따라 펌프의 효율도 감소할 것이다. 또한, 용량가변 레귤레이터 기구 자체에서의 누설도 추가로 발생함에 따라서 펌프효율이 크게 저하할 수 있을 것으로 추정된다.

Table 2 Efficiencies of Water Hydraulic System

Inverter frequency (Hz)	Output pressure (kgf/cm ²)	Overall efficiency (%)	Motor efficiency (%)	Pump efficiency (%)	Pump (%)	
					Volumetric efficiency	Torque efficiency
20	20	44.76	63.58	70.4	81.55	86.28
	40	48.24	63.54	75.92	82.46	92.04
	60	49.42	64.09	77.11	85.61	90.03
	80	50.93	67.12	75.88	84.28	90.03
	100	54.78	72.41	75.65	82.26	91.96
30	20	48.78	63.48	76.85	89.03	86.28
	40	52.81	69.28	76.22	88.31	86.28
	60	54.22	68.41	79.26	88.00	90.03
	80	57.37	73.44	78.13	87.68	89.07
	100	62.28	77.64	80.22	85.96	93.28
40	20	54.98	68.9	79.8	92.44	86.28
	40	57.55	73.13	78.69	91.17	82.28
	60	59.6	76.18	78.24	90.64	86.28
	80	62.58	78.23	79.99	89.78	89.07
	100	64.97	80.44	80.77	88.89	90.82
45	20	58.18	72.63	80.11	92.80	86.28
	40	61.51	77.17	79.72	92.35	86.28
	60	63.75	77.02	82.77	91.89	90.03
	80	65.79	82.01	80.07	89.87	89.07
	100	69.63	82.17	84.74	90.81	93.28
50	20	59.69	75.04	79.54	92.15	86.28
	40	64.99	77.3	84.07	91.31	92.04
	60	67.16	77.94	86.17	90.03	95.67
	80	69.66	82.01	84.95	89.07	95.34
	100	72.19	82.96	87.02	90.82	95.77

사판식 피스톤 펌프의 구조에서 기름을 작동 유체로 사용할 경우에 펌프 효율이 80~90 %의 수준인 것으로 알려져 있는데, 물을 사용한 수압펌프에서도 조금 낮지만, 유압펌프의 수준에 근접된 효율을 나타

내었다. 일반적으로 사판식 피스톤 유압펌프와 동일한 구조로써 수압용으로 사용할 경우에는 효율이 저하되어질 것이다. 본 실험에 사용된 수압펌프는 효율 성능을 높이기 위하여 여러 가지 설계 개념을 적용하였는데, 4장에서 소개한다.

Fig. 에서 인버터 주파수를 50 Hz로 일정하게 유지하고 압력을 변화시켰을 경우의 효율선도들을 보여주고 있으며, Fig. 4에서는 펌프 토출 압력을 20 kgf/cm²으로 일정하게 두고 인버터 주파수를 변화시킨 경우에 대한 효율 선도들을 보여주고 있다. 압력이 증가하거나, 인버터 구동주파수가 증가함에 따라서 모터효율, 펌프효율과 전효율이 모두 증가하는 경향을 뚜렷이 보여 주고 있다. 이것은 속도나 압력이 증가함에 따라서 모터나 펌프의 입력동력과 출력동력이 동시에 증가하는데, 입출력 동력의 증가 정도에 대하여 모터권선에서의 열손실 동력과 펌프에서의 누설손실과 마찰손실이 상대적으로 작은 비율로 증가하기 때문으로 분석된다.

Table 2에서 수압펌프의 용적효율과 토크효율에 관한 결과로부터 용적효율은 82~93%의 범위에 분포하고, 평균값이 88.78%, 토크 효율은 82~95%의 범위에 분포하고, 평균값이 88.60%에 이르렀으며, 수압펌프의 동력에 관한 효율은 75~86% 범위에 분포되며, 평균값은 79.69 %에 이르렀다.

누설의 정도에 대한 척도라고 할 수 있는 용적 효율의 평균값이 89% 정도로 높다는 실험결과는 수압 펌프에서도 누설의 문제를 해결할 수 있다는 것을 시사하고 있으며, 또한 마찰의 정도를 표현하는 토크 효율도 82~95%의 수준을 보이고 있는데, 이는 수압 펌프의 토크 효율로서는 비교적 양호한 것으로 판단 된다.

펌프의 입력 동력에 대한 토출 수압동력의 비율인 펌프 효율도 75~86% 정도의 수준을 보임으로써 유사한 구조의 유압펌프의 효율에 크게 뒤지지 않음을 알 수 있다. Fig. 5에서 인버터 주파수를 30Hz로 일정하게 유지하고 압력을 변화시켰을 경우에 펌프의 용적효율, 토크효율과 동력효율의 선도들을 보여주고 있다.

펌프의 정격 압력이 140kgf/cm²인데, 정격 압력의 범위이내에서 압력이 증가하면 토크효율은 증가하는데 반하여, 용적효율은 감소하는 경향을 보인다. 용적식 구조의 펌프에서 압력의 증가에 비례하여 구동 토크가 증가하는데, 마찰 토크는 보다 낮은 비율로 증가하게 되어서 토크 효율도 증가하게 된다. 펌프의

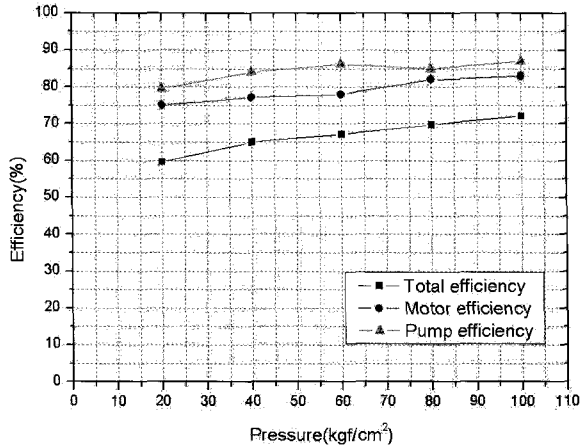


Fig. 3 Efficiency Plots of Motor, Pump and System in Constant Inverter Frequency of 50Hz

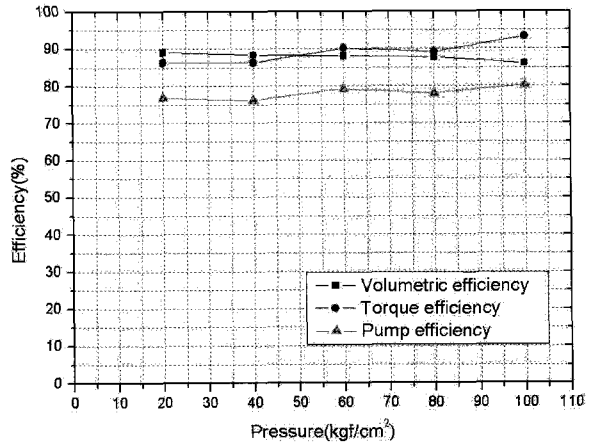


Fig. 5 Efficiency Plots of Pump in Constant Inverter Frequency 30Hz

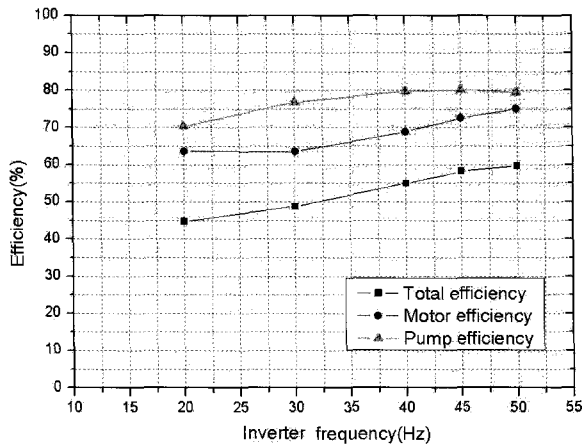


Fig. 4 Efficiency Plots of Motor, Pump and System in Constant Pressure of 20 kgf/cm²

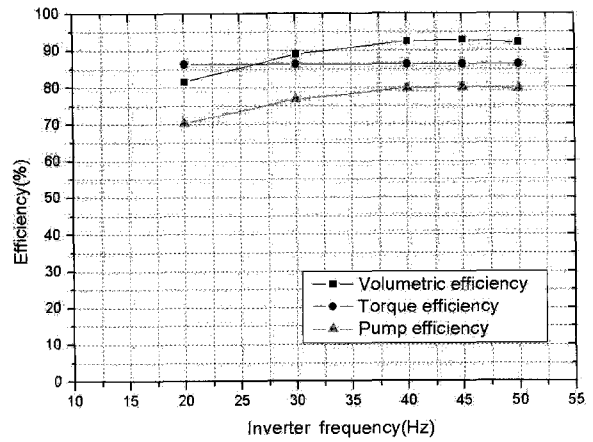


Fig. 6 Efficiency Plots of Pump in Constant Pressure of 20 kgf/cm²

누설은 압력에 비례하여 증가하지만, (4)식의 이론유량은 압력과는 관계가 없이 일정하기 때문에 용적효율은 감소한다. 펌프효율은 용적효율과 토크효율의 곱이지만, Fig. 5의 시험측정영역에서는 토크효율이 미치는 영향도가 용적효율의 훨씬 크기 때문에 토크효율의 경향과 동일하게 펌프효율도 압력의 증가에 따라 증가한다.

Fig. 6에서는 펌프 토출 압력을 20 kgf/cm²으로 일정하게 두고 인버터 주파수를 변화시킨 경우에 대한 효율 선도들을 보여주고 있다.

Fig. 6의 경우에서 인버터 주파수가 증가하고, 펌프 구동 속도가 증가함에 따라 용적효율과 펌프효율이 증가하고, 토크효율이 거의 변화하지 않는 경향을 보인다. 이제까지의 설명과 거의 유사하게 설명되어질 수 있다. 펌프 구동 속도의 증가에 의한 유량이 증가하는 것에 반해서 누설유량은 속도에는

거의 관계하지 않으며 압력에 비례하므로 용적효율이 증가한다. 구동속도가 증가함에 따라서 점성 마찰 저항이 증가하는 것으로 알려져 있는데, 시험측정의 영역에서는 점성 마찰 토크의 증가가 미미하기 때문에 토크효율이 일정한 것처럼 거의 변화하지 않는다. 이는 물의 점도가 매우 낮기 때문에 점성 마찰이 미미할 것이며, 또한 속도가 증가하더라도 마찰력의 변화가 작을 것이라는 이론적 예측과도 일치한다.

압력이 동일할 경우에 펌프 회전속도가 증가함에 따라서 유체 유동속도도 증가하며, 유동저항에 의한 동력의 손실과 압력강하 등이 유발되어진다. 펌프를 연결하는 배관에서의 유동손실은 펌프 자체의 성능과는 무관하므로 이 효과를 배제시키기 위하여 배관의 크기를 충분히 크게 하고, 압력 센서를 펌프 토출부에 가까이 설치하였다.

펌프 내부의 유동 저항의 효과는 Fig. 6에 반영되어 나타나게 되어 있는데, 펌프의 회전속도가 증가하더라도 효율이 낮아지지 않은 점을 미루어 볼 때에 펌프 내부의 유동저항의 효과가 크지 않은 것으로 판단된다.

4. 수압 펌프 고효율 요인 분석

4.1 공업용 플라스틱 재료 적용

본 연구에 수압펌프는 유압 사판식 피스톤 펌프의 효율과 유사한 수준의 효율을 나타내었다. 본 연구의 펌프를 구조를 분석하여 높은 효율에 대한 원인을 규명하였다.

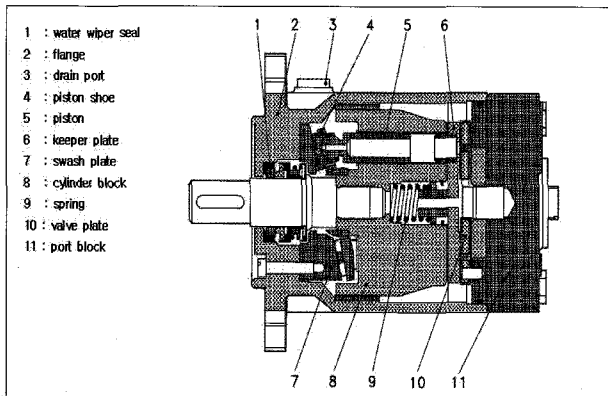


Fig. 7 Structural Drawing of the Water Hydraulic Pump

Fig. 7에서 본 연구의 효율 시험 장치에 사용된 D사 수압 펌프의 내부 구조를 보여 주고 있다.

물을 사용하는 수압 펌프에서 부품의 재료가 갖추어야 할 특성은 내식성, 내마모성과 윤활성이다. 본 연구의 수압 펌프는 내식내마모성과 윤활성이 우수한 것으로 알려진 공업용 플라스틱인 PEEK(Poly Eter EterKeton) 재질을 부품 사이에 상대운동이 발생하는 부위에 적용하였다. Fig. 7 펌프 구조도의 2번 플랜지 부품에서 8번 실린더 블록을 지지하는 미끄럼 부쉬 베어링의 재질로 PEEK를 사용하며, 8번 실린더 블록에서 5번 피스톤과 접촉하는 피스톤 내경 부위와 4번 피스톤 슈 부위와 10번 밸브 플레이트 부위, 피스톤 슈 플레이트와 접촉하는 구면 워셔 부분 등에서 PEEK를 사용한다.

물이 윤활 유체로 도포된 상태에서 PEEK 재질과 강철 재질 사이의 마찰계수는 0.02 정도의 수준인 것으로 알려져 있다⁶⁾.

4.2 높은 가공 정밀도

물의 점도는 석유계 유압작동유 점도의 32분의 1의 정도로 낮은 점도를 갖기 때문에, 유압 펌프와 유사한 누설과 용적효율을 가지기 위해서 미끄럼 운동 부위의 정밀한 간극을 유지하여야 한다. 유압펌프와 유사한 수준의 누설 유량을 얻기 위해서 부품 간극의 크기가 3분의 1정도로 감소되어야 하는 것으로 알려져 있다²⁾.

본 연구에 사용된 수압 펌프는 부품의 간극을 최소화하여 누설 유량을 줄이고자 하였다. 피스톤의 공칭 외경이 22.973mm 인데, 피스톤과 실린더 내경 사이의 간극의 크기가 5~8 μm 영역에 분포하였다. 일반적인 유압 펌프 피스톤의 간극의 크기가 12~20 μm 영역인 점을 감안하면 정밀하게 가공되었음을 알 수 있다.

4.3 누설 방지 기구 적용

일반적인 유압 펌프에서는 실린더 블록이 밸브 플레이트에 직접 접촉하는 구조로 되어 있다. Fig. 7의 수압 펌프에서는 실린더 블록과 밸브 플레이트 사이의 누설을 줄이기 위하여 누설 방지용 부품인 6번 키퍼 플레이트(keeper plate)를 추가로 삽입하였다. Fig. 8에서 누설 방지 기구가 분해되어 있는 모습을 보여주고, Fig. 9에서 개념적 원리를 보여준다.

실린더 블록과 밸브 플레이트가 직접 접촉하는 구조에서는 부품의 가공오차가 누적되어 조립된 상태에서 편각 오차가 존재하거나, 부품의 진동과 편심하중에 의해서 실린더 블록과 밸브 플레이트 사이에 틈새의 벌어짐이 발생할 수 있을 것으로 추정된다^{3~4)}. 이 틈새를 통하여 과도한 누설이 초래될 수 있다.



Fig. 8 Sealing Mechanism between Cylinder Block and Valve Plate

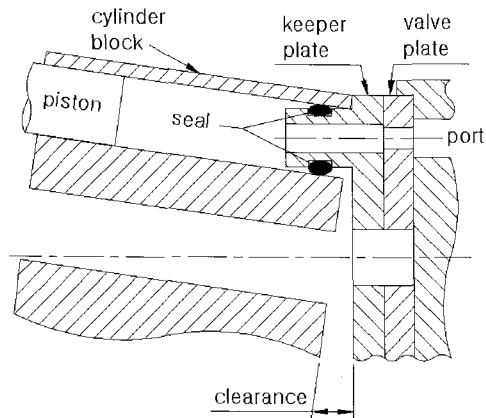


Fig. 9 Conceptual Drawing for the Sealing Mechanism of the Keeper Plate

Fig. 8과 Fig. 9에서 키퍼 플레이트의 한 쪽 면이 밸브 플레이트의 접촉면을 따라서 누설 틈새가 최소화된 접촉 상태를 이루어서 누설을 최소화한다. 키퍼 플레이트의 반대쪽 면과 실린더 블록 사이에 편각 벌어짐이 발생하더라도 피스톤 내경 부위에 설치된 고무재질의 실(seal) 부품이 누설을 거의 완벽하게 제거하는 구조이다.

5. 결 론

본 연구에서는 인버터를 이용하여 수압 펌프의 유량을 제어하는 시스템의 효율 성능을 측정하고 분석하였으며, 수압 펌프의 효율 성능을 우수하게 하는 요인을 관찰하였다.

- 1) 본 연구에서 구성된 시험장치로부터 측정된 결과에 의하면, 펌프의 정격 압력과 운전속도 범위 내에서 모터효율이 63~82% 범위이며, 펌프효율이 75~86% 범위이고, 시스템 전 효율이 42~72% 범위이었다.
- 2) 압력과 운전속도의 정격 범위 이내에서 압력과 인버터 주파수 값이 증가할수록 모터효율, 펌프효율과 전효율이 증가하였다.
- 3) 펌프의 정격 압력의 범위 내에서 압력이 증가할수록 용적효율이 감소하는 반면에 토크효율과 펌프동력효율이 증가하였다.
- 4) 펌프의 운전속도의 정격 범위 이내에서 인버터 주파수 값이 증가할수록 용적효율과 펌프동력효율이 증가하였다.
- 5) 시험에 사용된 수압 펌프의 효율이 유압 펌프의 것과 유사한 수준이었는데, 정밀가공에 의한 간극의 축소와 누설 방지 기구의 적용, PEEK 재질의

적용 등에서 그 이유를 찾을 수 있다.

후 기

이 연구는 금오공대학교 지원에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

참고 문헌

- 1) S. Kubo, "수압 시스템 개발의 방향상: 고압영역", 일본유공압학회지, Vol. 29, No. 7, pp. 645~647, 1998.
- 2) M. Takashima and A. Yuge, "물 유통 수압 펌프의 개발", 일본유공압학회지, Vol. 29, No. 7, pp. 620~623, 1998.
- 3) A. Adelstrop, "Trends in Fluid Power Year 2000 and Beyond", Proceeding of- the Workshop on Water Hydraulic System and Application, 1999.
- 4) P. Sorensen, "News and Trends by the Industrial Application of Water Hydraulics", 6th Scandinavian International Conference on Fluid Power, 1999.
- 5) N. Songlin and N. Zhungyun, "Design Techniques for Water Hydraulic Axial Piston Pumps(Motors)", Proceedings of the 48th National Conference on Fluid Power, Chicago, USA, April 4-6, 2000.
- 6) K. E. Rydberg, "Energy Efficient Water Hydraulic Systems", Division of Fluid and Mechanical Eng. Systems, Dept. of Mechanical Eng., Linköping University, Sweden.
- 7) 광재련 외 4인, "유압 피스톤 펌프의 밸브 플레이트 형상에 따른 실린더 블록과의 유막 특성", 2003년도 유공압시스템학회 학술대회논문집 pp. 26~31, 2003.
- 8) X. Wang and A. Yamaguci, "Characteristics of Hydrostatic Bearing/Sel Parts for Water Hydraulic Pumps and Motors. Part 2: On Eccentric Loading and Power Losses", Tribology International, Vo. 35, pp. 435~442, 2002.
- 9) X. Wang and A. Yamaguci, "Characteristics of Hydrostatic Bearing/Sel Parts for Water Hydraulic Pumps and Motors. Part 1: Experiment and Theory", Tribology International, Vol. 35, pp. 425~433, 2002.