

탠덤 펌프의 토크효율 시험방법에 관한 연구

유진산*(한국기계연구원), 함영복(한국기계연구원), 김성동(금오공과대학교)

A Study on Torque Efficiency Test Method of Tandem Pump

Jin-San Yoo*(KIMM), Young-Bog Ham(KIMM), Sung-Dong Kim(KNUT)

ABSTRACT

The torque efficiency of oil hydraulic pump is an important factor for its performance characteristics. A study on the performance test method of oil hydraulic pump is based on test standard, but there is to be desired an study for double or tandem type oil hydraulic piston pump. So in this study present a test method on the tandem pump for torque efficiency and analysis method of the results.

Key Words : tandem pump(탠덤 펌프), variable displacement(가변용량) piston pump(피스톤 펌프), front pump(앞측 펌프), rear pump(뒤측 펌프), torque efficiency(토크 효율), pump test method(펌프 시험 방법)

1. 서론

일반적으로 유압펌프의 성능을 나타내는 양으로는 유량, 구동토크, 축동력 및 효율의 기본적인 특성치가 있으며 이밖에 흡입성능, 소음특성, 내구성 등이 있다. 이는 유압펌프의 선정단계 및 운전·보수에 대한 고려사항이 된다. 각 성능에 대한 시험장치, 시험순서, 측정의 정밀도, 시험 결과의 표시법과 함께 유량, 압력, 소음 등의 기본적인 특성치의 측정법이 표준시험규격에 정해져 있다.^[1] 이러한 표준시험규격을 바탕으로 유압펌프의 성능시험에 관한 연구가 진행되어져 왔는데 성능 시험기의 안정과 실험 데이터의 측정 및 컴퓨터를 이용한 시험방법에 관한 것으로 펌프 성능시험시 압력 변동에 의한 맥동을 최소화하고 기기의 손상을 피하기 위해 어큐뮬레이터(accumulator)를 장착하는 시험방법,^[2] 작동유의 점도변화에 의한 시험 펌프의 토출유량의 변동을 피하여 정확한 유량의 측정을 위해 점도 변화에 큰 영향을 주는 작동유의 온도를 일정하게 유지하기 위해 2중 열교환 시스템을 오일탱크에 부착하는 시험방법,^[3] 진공 펌프를 이용하여 유압펌프 성능 시험 전에 펌프내의 공기를 제거함으로써 공기혼입에 의한 캐비테이션(cavitation)피해를 최소화하는 방법,^[4] 성능 시험 측정데이터의 수집 및 시험 펌프의 입력

속도제어·부하압력제어 등 각종 제어를 컴퓨터가 담당하여 유압 펌프 시험의 전과정을 자동화한 방법이 있다.^[5] 또한 시험펌프의 구동토크의 손실을 최소화하기 위한 방법으로 시험펌프와 성능 시험기의 중심축 맞춤장치를 고안하여 시험자의 편리성을 도모한 시험방법이 있으며^[6] 유압 펌프가 구동될 때 발생하는 유량 누설계수·토크 손실계수를 측정하여 펌프의 효율을 무차원계수인 $\Delta p/\mu N$ 의 함수로 구하여 표시하는 방법과 펌프의 성능을 최적으로 발휘할 수 있는 유압 작동유의 점도를 측정하는 시험방법이 있다.^[7]

그러나 탠덤 펌프(tandem pump)와 같이 다소 복잡한 메카니즘(mechanism)을 가진 유압 펌프의 성능 시험방법에 관한 연구는 미비하였다. 따라서 본 논문은 탠덤 펌프의 성능 중 토크효율에 관한 시험방법과 이론식을 제시하고, 실험결과를 보여 탠덤 펌프의 토크효율을 보다 정밀하게 표시하고자 하였다.

2. 이론적 배경

Fig. 1은 시험에 사용된 탠덤 펌프의 유압회로도이다. 탠덤 펌프는 가변 토출형 사판식 액셀 피스톤 펌프(variable delivery swash plate type axial piston pump) 두 개가 한 축에 연결되어 있으며 레귤레이터

(regulator)와 기어펌프로 구성되어있다. Fig. 1의 전기 모터와 연결된 순서부터 프론트 펌프(front pump), 리어 펌프(rear pump)라 한다. 레귤레이터는 펌프의 토출 압력을 감지하여 사관 경사각을 조절하므로써 토출 마력을 일정하게 유지하는 기능과 레귤레이터에 부착된 전자 비례 감압 밸브(electric proportional pressure reducing valve : EPR valve)를 통해 토출 마력을 가변시키는 기능을 갖고 있다. 또한 외부로부터 파일럿 압력을 입력받아 펌프의 용량을 조절 할 수도 있다. 기어펌프는 EPR 밸브와 레귤레이터에 오일을 공급한다.

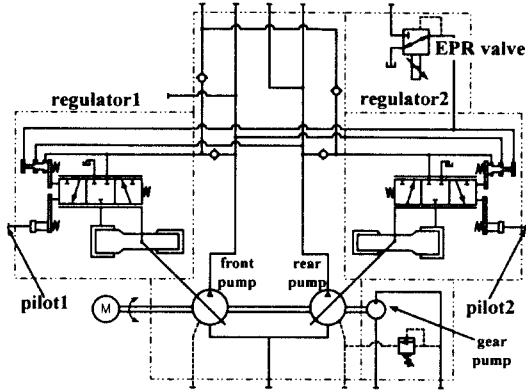


Fig. 1 Hydraulic circuit of tandem pump

탠덤 펌프는 하나의 전기 모터 또는 엔진으로 두 개의 펌프를 구동되므로써 사용상 효율을 높인 장점은 있으나 프론트 펌프 또는 리어 펌프 중 하나의 펌프만 부하(load)를 받으면서 동작할 때에도 나머지 펌프가 무부하(unload)로 회전되기 때문에 부하를 받는 펌프의 입력토크 손실이 발생된다. 따라서 프론트·리어 펌프의 개별적인 토크 효율을 계산할 때에는 위와 같은 이유로 발생하는 입력토크의 손실을 고려해야만 한다.

토크 효율을 η_{to} , 이론 토크를 T_{th} , 입력 측정 토크를 T_L 이라 할 때 유압 펌프의 일반적인 토크 효율 관계식은 식(1)과 같다.

$$\eta_{to} = \frac{T_{th}}{T_L} \quad (1)$$

식(1)에서 이론 토크 T_{th} 는 유압 펌프의 배제 용적을 D_m , 유압 펌프의 부하 압력을 P_L 이라 하면 이론 토크 T_{th} 는 식(2)와 같다.

$$T_{th} = \frac{D_m \cdot P_L}{2\pi} \quad (2)$$

배제용적 D_m 은 실험적으로 누설이 없다고 가정 한 이상적인 유압 펌프를 무부하로 하여 일정한 회전수로 회전시켰을 때의 토출 유량을 회전수로 나눈 값이므로 회전수를 n , 무부하시 토출 유량을 Q_{UL} 라 하면 배제 용적 D_m 은 식(3)과 같다.

$$D_m = \frac{Q_{UL}}{n} \quad (3)$$

식(3)을 식(2)에 대입해서 식(1)을 다시 정리하면 토크 효율 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$\eta_{to} = \frac{D_m \cdot P_L}{2\pi T_L} \quad (4)$$

탠덤 펌프의 경우, 프론트 또는 리어 펌프에만 부하를 가하고 나머지 펌프는 무부하로 하여 시험할 때, 탠덤 펌프가 부하를 받을때의 전체 입력토크와 무부하일 때의 입력 토크를 각각 T_L, T_{UL} 이라 하고 프론트·리어 펌프의 입력토크를 T_f, T_r 이라하면 부하를 받는 개별 펌프의 토크 효율 관계식은 다음과 같다.

$$T_f \text{ or } T_r = T_L - \frac{T_{UL}}{2} \quad (5)$$

$$\eta_{ti} = \frac{D_{mf} \cdot P_L}{2\pi \cdot T_f} \text{ or } \frac{D_{mr} \cdot P_L}{2\pi \cdot T_r} \quad (6)$$

식(6)은 기어 펌프의 토크손실을 무시하였으며, 한 개의 입력축에 두 개의 펌프가 연결되어 동시에 구동되지만 그중 한 개의 펌프에 대한 토크효율을 나타낸다.

탠덤 펌프의 토크 효율관계식은 프론트·리어 펌프의 양 출력축에 같은 부하를 가하는 시험이므로 프론트·리어 펌프의 배제용적을 각각 D_{mf}, D_{mr} 이라 하면 식(4)로부터 식(7)과 같이 표현된다.

$$\eta_{to} = \frac{(D_{mf} + D_{mr}) \cdot P_L}{2\pi(T_f + T_r)} \quad (7)$$

3. 실험장치 및 방법

Fig. 2는 실험장치의 유압 회로도이다. 탠덤 펌프의 구동은 110KW AC 전기 모터를 사용하였으며, Vector Inverter Controller를 사용하여 최대 2000rpm 까지 무단 변속시킬 수 있다. 펌프와 모터의 연결 축

사이에 속도, 토크를 측정할 수 있는 센서를 부착하였고, 탠덤 펌프의 2개의 토출측에 압력, 유량, 온도를 측정할 수 있는 센서를 부착하였다. 펌프의 부하 압력을 조절하기 위해 무부하에서 최대 350bar까지 변화시킬 수 있는 2개의 비례 압력 제어밸브(proportional relief valve)와 부하압력의 방향을 전환하기 위해 1개의 방향밸브를 사용하였다. 또한 탠덤 펌프의 레귤레이터에 입력되는 파일럿 압력을 조절하기 위해 2개의 감압 밸브(pressure reducing valve)를 사용하여 펌프의 배제용적(displacement)을 조절하였다.

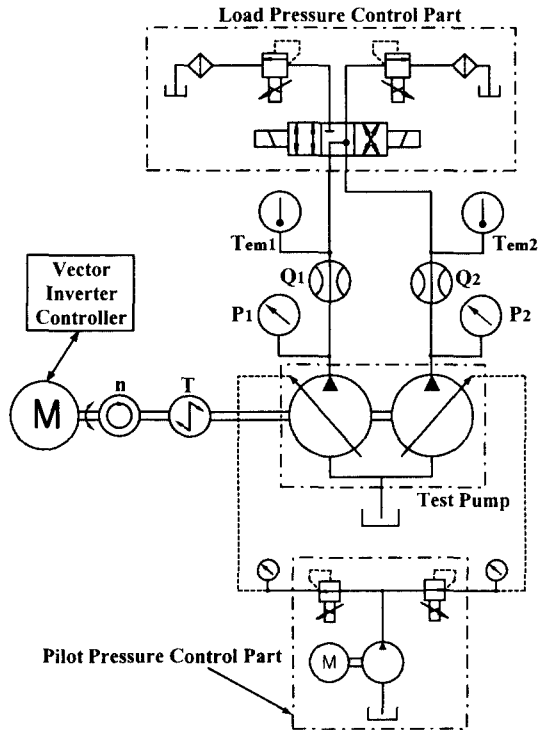


Fig. 2 Test hydraulic circuit

실험순서는 탠덤 펌프의 구동속도를 1000rpm으로 하고 부하압력을 0~300bar로 가변시켰을 때 측정된 압력·유량·토크·속도·온도 값이 A/D 컨버터를 거쳐 컴퓨터에 저장된다. 이러한 순서를 바탕으로 펌프의 토출측에 연결된 방향밸브로 토출라인을 한 곳으로 모이게 하거나 분리시켜 펌프의 용량별(경전각을 조절하므로서) 토크 효율 실험을 반복하였다. 모든 실험 과정은 LabView로 작성된 시험 프로그램을 통해 자동으로 진행된다.

실험조건과 주요 센서의 사양을 Table 1, 2에 나타내었다.

Table 1. Test conditions

Item	Range
Load pressure(bar)	0~300
Pilot pressure(bar)	0~40
Input speed(rpm)	1000
Temperature(°C)	30~60

Table 2 Specification of the sensors

	Torque	Pressure	Flowrate
Model	01224-014	PCH-500k	GFM-300
Capacity	10000lbf·in	490.3bar	305.4lpm
Non-linearity	0.1% of F.S	0.2% of O.R	-
Hysteresis	0.1% of F.S	0.2% of O.R	± 0.5%

*F.S : Full Scale, O.R : Output Rate

4. 실험결과 및 고찰

Fig. 3과 Fig. 4는 각각 프론트 와 리어 펌프의 토크효율 실험결과이다. 실험조건은 펌프의 구동속도는 1000rpm, 배제용적은 120cc/rev으로 하여 부하압력을 무부하에서 300bar까지 증가 시켰다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 곡선 중 E_{if} 와 E_{ir} 은 식(6)에 의해 계산된 프론트 펌프의 토크효율을 나타내고, E_o 는 식(7)에 의해 계산된 탠덤펌프의 토크효율을 나타낸 것이다. 또한 그림에 표시된 T_i , T_r 은 식(5)를 참고로 하여 프론트 또는 리어 펌프의 입력토크곡선을 표시한 것이다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 E_{if} 및 E_{ir} 과 E_o 의 효율값이 차이를 보이는 것은 토크효율을 계산할 때 두 개중 한 개의 펌프는 무부하 상태로 구동되어 그 손실토크를 포함시켜 나타낸 것(E_o)과 부하가 가해진 펌프만의 토크효율을 나타낸 것(E_{if} , E_{ir})과의 차이를 나타낸다.

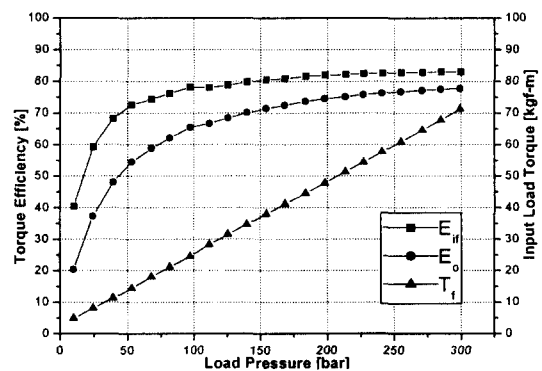


Fig. 3 Torque efficiency of front pump at 1000rpm, 120cc/rev, 46°C

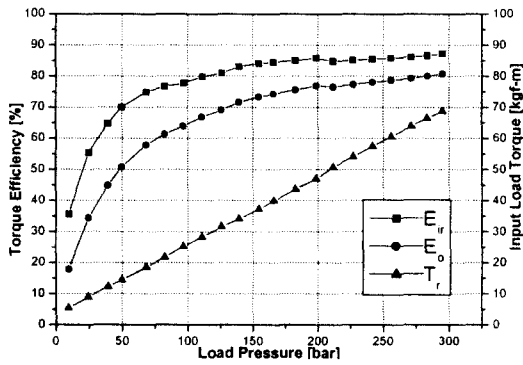


Fig. 4 Torque efficiency of rear pump at 1000rpm, 120cc/rev, 41 °C

Fig. 5는 탠덤 펌프의 전체 토크효율 실험결과와 앞서 실험한 프론트·리어 펌프의 개별 토크를 더하여 토크효율을 계산한 결과를 비교하고 있다.

탠덤 펌프 전체의 토크효율 실험은 두 토크출라인을 한 지점으로 모이게 하여 프론트·리어 펌프에 같은 부하압력을 받게 하였다. 부하압력은 실험 여건상 무부하에서 200bar까지 가변 시켰다.

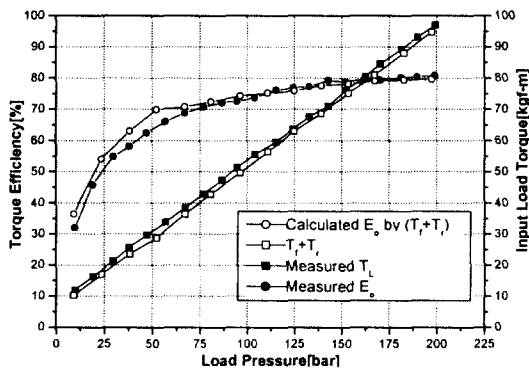


Fig. 5 Torque Efficiency of tandem pump at 1000rpm, 240cc/rev, 43 °C

Fig. 5에서 토크효율값의 차이는 부하압력 범위 25bar에서 60bar영역을 제외한 나머지 영역에서 약 1% 내외의 미소한 차이를 보이고 있으며, 입력토크값의 차이는 약 2kgf·m을 나타내고 있다. 이렇게 토크효율 및 입력토크값의 차이가 생기는 가장 큰 원인은 토크효율의 계산과정에서 리어펌프측에 장착된 기어펌프에 입력되는 토크량을 무시한 결과로 보이며, 기타 회전축을 지지하는 베어링 등 토크손실이 발생하는 부위의 토크손실량을 무시한것도 한 원인으로 볼 수 있다.

5. 결론

탠덤 펌프의 토크효율 시험방법을 연구하고자 무부하 펌프의 손실 토크를 감해주는 방법으로 프론트·리어 펌프의 개별 토크효율을 측정하는 방법을 제시하였고, 이때 프론트·리어 펌프의 입력토크값을 더하여 계산하는 방법으로 탠덤 펌프의 토크효율을 얻을 수 있음을 보였고, 실험을 통해 비교 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 프론트·리어 펌프의 개별적인 입력 토크 측정 실험을 수행한 다음 그 결과로부터 탠덤펌프의 토크효율을 알 수 있다. 이는 프론트·리어펌프에 동시에 부하 동작시키면서 실험하게 되면 펌프를 구동시키는 전기모터의 전기용량이 상당히 커야하는 경제적인 부담을 덜 수 있는 장점이 있다.

(2) 탠덤펌프의 효율을 측정할 경우 프론트 또는 리어 펌프측을 개별적으로 측정할 때와 두 개를 종합적으로 측정할 때 모두를 만족할 수 있는 탠덤 펌프의 시험방법을 제시하였다.

(3) 리어 펌프측에 장착된 기어펌프 등 기타 토크 손실을 일으키는 부위의 손실량을 고려하면 보다 정확한 토크효율을 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 森田啓二部, “容積式ポンプ及びモータ待險基準”, JFPS1004, 日本フルードパワー工學會, 1999
2. 정재연, “유압펌프 성능 시험기”, 대한민국특허청, 1997
3. 정재연, “2중 열교환 시스템을 채용한 유압펌프 성능 시험기”, 대한민국 특허청, 1999
4. 정재연, “진공 시스템 부착 유압펌프 성능시험기”, 대한민국 특허청, 1997
5. 정재연, “컴퓨터 제어를 이용한 유압펌프 자동 성능측정시험기”, 대한민국 특허청, 1997
6. 김종진, “유압펌프 성능시험기의 중심축과 시험할 유압펌프의 중심축 맞춤장치”, 대한민국 특허청, 1998
7. 염만오, “유압 펌프의 성능 특성에 관한 연구”, 부산대학교, 1981