

개발한 국산화 유압 액셀피스톤모터의 특성실험

염만오*, 이상윤⁺

(논문접수일 2007. 3. 9, 심사완료일 2007. 8. 13)

Characteristics Experiment of Domestic Developed Hydraulic Axial Piston Motor

Man-oh Yum*, Sang-Yun Lee⁺

Abstract

The purpose of this study is to analyze the characteristics of a domestic developed hydraulic axial piston motor. An experimental apparatus was constructed and the output torque, the input oil pressure, the input flow rate, the speed of motor and oil temperature were measured. They were measured under both no load and load conditions.

The results are as follows;

1. Motion of motor became steady state conditions after 5 seconds.
2. Output torque of motor was proportional to input oil pressure under both load and unload.
3. Speed of motor decreased with increasing load.
4. Oil temperature was almost constant.

The results of this study will offer the basic data in designing and operating hydraulic axial piston motors.

Key Words : Experimental apparatus(실험장치), Axial piston motor(액셀피스톤모터), Oil pressure(오일압력), Torque(토크), Flow rate(유량), Rotational speed(회전수), Oil temperature(유온)

1. 서론

유압 굴삭기로 대표되는 건설기계용 유압기기의 수요는 전체 유압시장의 30%를 점유할 정도로 그 비중이 높으며, 특히 근래의 해외 굴삭기 시장 호조로 인하여 국내 건설기계용 유압기기 시장은 지속적으로 증가하고 있는 상황이다.

굴삭기 핵심부품의 하나인 선회모터는 굴삭기의 상부 선회체를 좌우로 회전시키기 위한 핵심 유압 액추에이터로서, 굴삭기에 탑재되어 있는 각종 유압기기 중에서 사용빈도가 가장 높기 때문에 성능이나 내구성에 있어서 상당히 중요한 위치를 점하고 있다. 최근에는 굴삭기의 고효율화, 고성능화, 저소음화, 친환경화가 강하게 요구됨에 따라 유압기기 제조

* 경남대학교 기계자동화공학부 (yummanoh@kyungnam.ac.kr)

주소: 631-701 마산시 월영동 449번지

+ 경남대학교 기계자동화공학부

업체에 대한 굴삭기 품질의 기준도 더욱 엄격해지고 있다⁽¹⁻³⁾.

이러한 경향은 유압 선회모터에도 적용되어 굴삭기 상부 선회체의 회전력 향상, 선회 도중 정지로 인해 발생하는 충격의 저감, 운전시의 저소음화에 대한 요구 등이 더욱 강하게 제기되고 있다.

이에 따라 관련 자체기술을 축적하고 있는 미국, 독일, 일본 등에서는 파커, 렉스로스, 가와사키 등의 회사를 중심으로 최근의 고성능, 저소음화 기술추세에 맞추어 유압기기의 기술 개발에 총력을 기울이고 있다.

그러나 국내에서 생산되는 굴삭기 대부분의 핵심부품은 해외 유압메이커와의 기술제휴를 통하여 도입된 기술에 의존하여 생산을 해 왔으므로 자체기술이 축적되지 않아, 향후 세계 경쟁력 우위를 점하기 위해 독자적인 설계 및 해석을 위한 기술력이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 산자부의 지역특화기술개발사업의 연구과제로 개발한 국산화 유압 액셀피스톤모터(이하 모터)를 대상으로 하여 그 기본적인 성능을 계측하고 이를 분석한다. 이를 위하여 실험 장치를 제작하여 계측기를 장착하고 계측기에 전달하는 신호처리장치 및 계측에 전달되는 신호의 처리장치를 구성하여 데이터를 받아 컴퓨터에 저장하여 이를 Matlab 및 LabView를 활용하여 개발한 국산화 모터의 정특성과 동특성을 측정하여 성능을 평가 한다.

이 경우 모터로 유입되는 압유의 유량과 압력을 제어하기 위하여 비례제어밸브를 사용하며, 모터에 공급되는 압유의 압력, 유량 및 모터 축 토크와 축의 회전수를 계측하는 압력계, 유량계, 토크미터 및 타코미터를 부착한다. 관성부하로는 플라이휠을 사용하고, 외부 부하로 브레이크를 사용하여 부하의 크기를 임의의 값으로 증감시킬 수 있도록 한다⁽⁴⁻⁹⁾.

실험은 굴삭기 선회모터에 무부하 상태와 브레이크로 외부부하를 가감하면서 모터입구의 공급 압유의 압력, 유량, 축에 걸리는 토크, 축의 회전수 및 유온을 계측한다.

2. 유압모터 작동 원리

Fig. 1은 모터의 토크 발생 원리를 나타낸 것이다.

Fig. 1 (a)와 (b)에서 압유에 의하여 피스톤을 미는 힘 F1과 경사판으로부터 받는 반력 F2의 합력 F3에 의하여 피스톤 및 실린더 블록을 돌리는 토크가 생긴다. 모터의 입구압력을 p1, 출구 압력을 p2, 피스톤 단면적을 A라 하면 유압유가 피스톤을 미는 힘 F1은

$$F1 = \Delta pA \quad (1)$$

이다. 단 $\Delta p = p1 - p2(p2 \neq 0)$ 이다. 경사판의 경사각을 α 라 하면

$$F3 = F1 \tan \alpha = \Delta pA \tan \alpha \quad (2)$$

이 된다.

실린더의 피치원반지름을 R이라 하면, Fig. 1 (b)에서 각 θ 의 위치에 있는 피스톤에 주목하면 F3의 힘에 의한 토크 T1은

$$T1 = F3 R \sin \theta = \Delta pA R \tan \alpha \sin \theta \quad (3)$$

이 된다.

따라서 이 순간에 작동행정 중의 피스톤의 수를 Z라 하면 출력축에서 얻는 순간 이론토크는 Tth(θ)는

$$Tth(\theta) = \Delta pA R \tan \alpha \sum_{i=0}^{Z0} \sin \theta_i \quad (4)$$

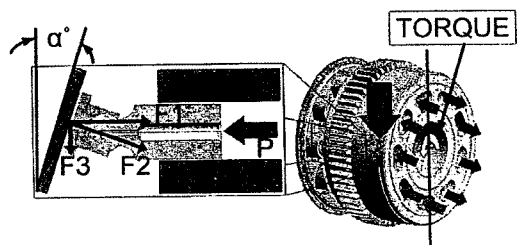
로 된다. 피스톤 행정을 L이라 하면,

$$L = 2 R \tan \alpha \quad (5)$$

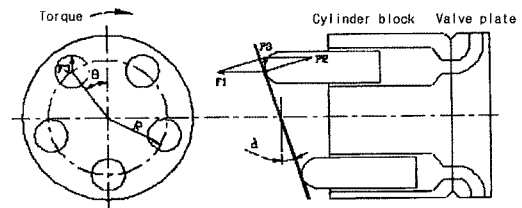
이므로, 식 (4)는 식 (6)과 같이 변형된다.

$$Tth(\theta) = \frac{\Delta pAL}{2} \sum_{i=0}^{Z0} \sin \theta_i \quad (6)$$

또, 모터의 순간유량을 Qt, 각속도를 ω 라 하면, 다음의 에너지 등식이 성립한다.



(a)



(b)

Fig. 1 Principal of torque output

$$T_{th}(\theta)\omega = \Delta p Q t \quad (7)$$

식 (7)에서 $\omega = 2\pi N$, $Q_t = V_m N$ 이므로 식 (7)은 식 (8)과 같이 된다.

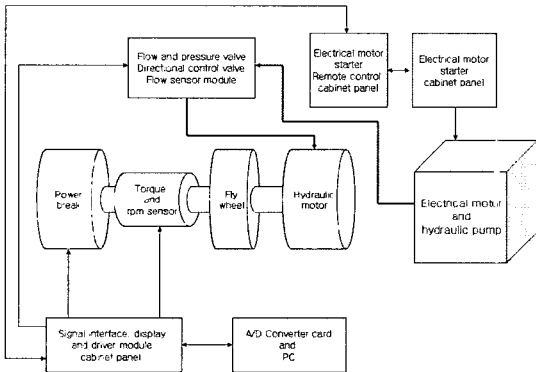
$$T_{th}(\theta) = \frac{\Delta p Q t}{\omega} = \frac{\Delta p V_m}{2\pi} \quad (8)$$

식 (8)에서 V_m 은 모터의 체적이며, 따라서 모터의 토크는 압유의 압력과 모터 체적의 곱으로 표시됨을 알 수 있다.

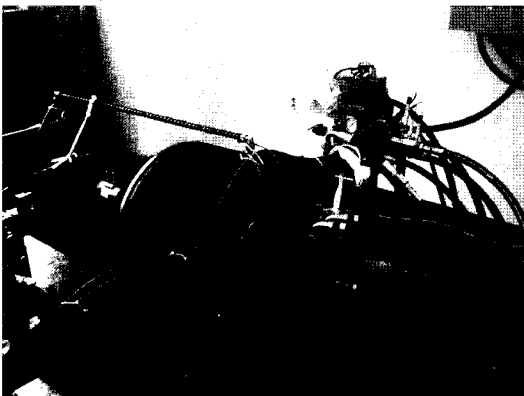
3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

실험장치의 구성도와 사진을 Fig. 2에, 모터의 사양을 Table 1에 나타내었다.



(a) Apparatus block diagram



(b) Apparatus photograph

Fig. 2 Experimental apparatus

Fig. 2는 전기모터, 유압펌프, 모터에 공급되는 압력과 유량을 제어하는 비례전자제어밸브, 전자식방향제어밸브, 모터, 회전관성휠, 부하용 브레이크 등으로 구성된다. 이 경우 관성휠은 직경 600.0mm, 폭 40.0mm이고 따라서 플라이휠 효과 GD2는 22.0kgf·m²이다⁽⁴⁻⁹⁾. 또한 부하용 브레이크로 모터 축에 가할 수 있는 최대 토크는 100kgf·m이다.

계측기로는 압력계, 유량계, 온도계, 토크메터 및 타코메터가 있으며, 각 계측기에서 계측되는 데이터는 컴퓨터에 저장되고 저장된 데이터를 Matlab 및 LabView를 활용하여 graphic 하도록 구성하였다.

3.2 실험방법

모터에 공급되는 압유의 압력과 모터가 발생하는 토크(정지토크)의 관계를 알기 위한 실험을 행한다. 이 경우 회전축에 부착된 브레이크로 축을 정지시킨 상태에서 압유의 압력을 상승 시키면서 발생토크를 계측한다.

Table 1 Specifications of axial piston motor

Item	Specification
Displacement	129.2cm ³ /rev
Swash plate angle	18.0°
Max. speed	1850.0rpm
Max. pressure	400.0kgf/cm ²
Weight	47.0kgf

Table 2 Specifications of experimental equipments

Item	Specification
Speed sensor	1Hz ~ 20KHz (MP981, ONO SOKKI)
Rotary Torque Transducer	1Kg-f-m ~ 100Kg-f-m (TDR-100K, SETech)
Flow Transducer	15 ~ 300 ℓ /min (RE-4-31V7-35.00, Hydrotechnik)
Pressure Transducer	0 ~ 400Bar (HT-PD, Hydrotechnik)
Temperature Transducer	-50°C ~ +200°C (Screw-in sensor, Hydrotechnik)
Power break	0 ~ 100kgf-m (PRB-10Y, PORA Electrical & Machinery Co. Ltd)

다음으로 브레이크부하를 걸지 않은 상태에서 모터를 구동하여(무부하상태) 정상상태(모터 구동 후 5초)와 정상 상태 도달 후 이 경우 30초까지 모터에 공급되는 압유의 압력 변동과 유량변동 그리고 축의 회전수를 계측한다.

브레이크로 회전축에 31.0kgf-m 부하를 인가하면 유압모터가 정지하므로 이 값을 3등분하여 10.0kgf-m, 20.0kgf-m, 31.0kgf-m을 가한 상태에서 위에서 행한 실험을 반복한다. 실험은 모터 구동 후 과도상태(약5초)에서 정상상태 도달 시간의 6배인 30초간 행한다.

3.3 실험결과

Fig. 3은 선회모터를 정지시킨 상태에서 공급유압에 대응하여 유압모터가 발생하는 토크(정지토크)를 측정된 결과이다. 식 (8)에서 압력과 발생토크는 비례하는 것과 같이 실험결과도 공급압력과 발생토크는 비례함을 알 수 있다. 이 결과를 이용하면 공급유압이 210.0kgf/cm²보다 큰 경우에도 모터에 공급되는 유압에 대응하는 발생토크를 유추할 수 있다고 판단한다.

Fig. 4는 모터에 공급되는 압유의 압력이다. 실선은 무부하시의 모터에 공급되는 압유의 압력으로 축의 회전 초기에 정지축을 회전시키는 토크를 발생하기 위해 공급유압은 205.4kgf/cm² 정도의 피크압력이 되고 모터기동 후 정상상태의 압력은 21.8kgf/cm² 이고 30.0초 후에 15.0kgf/cm² 로 감소함을 알 수 있다.

Fig. 4에서 점선은 회전축의 끝단에 장착한 브레이크로 축에 10.0kgf-m의 부하토크를 가한 상태에서 무부하 상태의 실험과 같은 실험을 하여 유압모터에 공급되는 압력을 나타낸 것이다. 유압모터에 공급되는 압력은 0.3초 후에 207.8kgf/cm² 정도의

피크 압에 도달하고 유압모터 구동 후 약 5.0초 까지 과도현상을 나타내다가 그 이후 정상상태의 일정압력 58.0kgf/cm²를 유지함을 알 수 있다. 이 결과로부터 현장에서 유압모터의 이용시 일정압력을 유지하는 시간(5초) 이후에 작업을 해야 한다고 생각한다.

Fig. 4에서 일점쇄선은 축에 부하토크를 20.0kgf-m 걸고 앞의 경우와 동일한 실험을 한 결과를 나타낸 것이다. 각 계측 데이터의 값은 부하토크 크기의 영향으로 부하토크를 10.0kgf-m 가한 경우와 다르나 그 경향은 유사함을 알 수 있다.

Fig. 4에서 세선은 회전축의 부하토크를 31.0kgf-m(축 정지)로 하여 앞의 실험과 동일하게 실험하여 그 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 5는 축에 회전체인 관성부하만 걸린 상태에서 축을

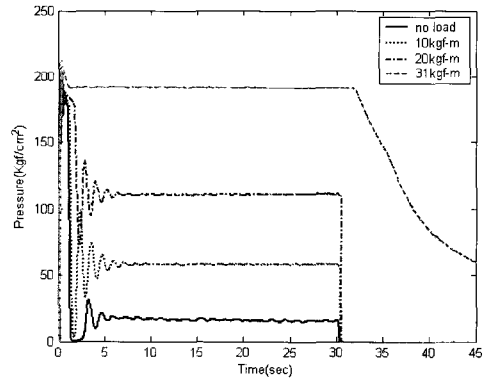


Fig. 4 Input oil pressure

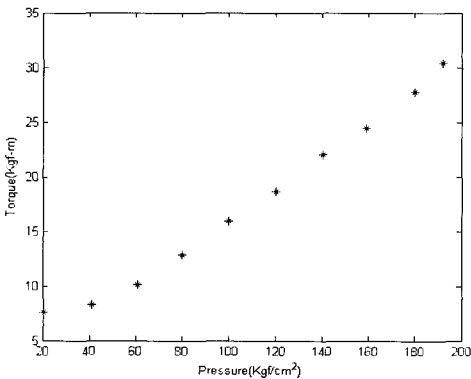


Fig. 3 Stall torque

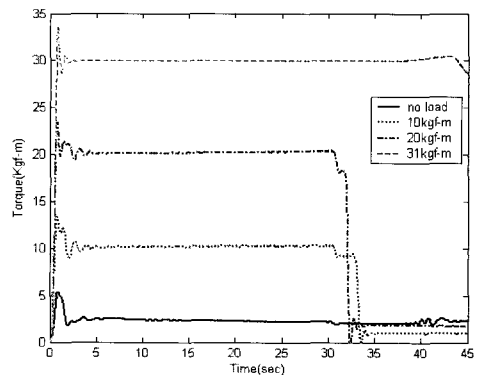


Fig. 5 Output Torque

회전시켜 발생하는 토크이다. 이 토크는 관성부하의 크기, 축을 지지하고 있는 베어링의 상태, 축 중량 등에 의해 크기가 결정되는 것이다. 그림에서 실선은 무부하시 모터기동 후 0.9초에서 최대토크(정지토크)가 5.4kgf-m 발생하고 정상상태(5.0초)에서는 2.6kgf-m이 되고 30.0초에 2.1kgf-m으로 감소함을 알 수 있다.

Fig. 5에서 점선은 회전축에 10kgf-m 부하를 인가하였을 때 발생하는 토크를 측정한 것이다. 정지토크가 모터 기동 후 0.8초에 13.3Kgf-m이 되고 기동 후 5초 후에는 압력의 경우와 마찬가지로 정상상태가 되어 일정한 토크를 유지하다 실험종료 시점에서 급격히 감소함을 알 수 있다.

Fig. 5에서 일점쇄선은 축에 부하토크를 20.0kgf-m 걸고 동일한 실험을 한 결과를 나타낸 것으로 각 계측 데이터의 값은 부하토크 크기의 영향으로 부하토크를 10.0kgf-m 가한 경우와 다르지만 그 경향은 유사함을 알 수 있다.

Fig. 4에서 쇄선은 부하토크를 31.0kgf-m(축 정지)로 하여 실험한 결과이다.

Fig. 6은 모터에 공급되는 유량을 나타낸 것이다. 그림에서 실선은 무부하시의 모터에 공급되는 피크유량이 50.0l/min 까지 증가하는 과정에서 모터 기동 후 0.4초에 26.6l/min으로 되었다가 최대 피크유량 50.0l/min이 되고 모터 기동 후

5.0초 후에 정상상태로 유량의 크기는 47.6l/min이 됨을 알 수 있다.

$Q = V_m \times N$ (Q는 유량, V_m 은 모터의 용량, N은 회전수(rpm))의 관계로부터 공급유량과 유압모터의 크기와 회전수의 관계를 알 수 있다. 실험종료 후에도 소량의 유량이 공급되며 이 유량은 귀환회로로 탱크로 복귀된다.

Fig. 6에서 점선은 부하가 10kgf-m일때 유압모터에 공급되는 유량을 나타낸 것이다. 모터기동 1.7초 후에 최대유량이 50.5l/min이 되고 5초 후 정상상태가 되고 유량은 47.5l/min이 됨을 알 수 있다. 유량은 무부하시 보다 0.15/min 정도 작게 공급됨을 알 수 있고 회전 초기에는 관성 등의 영향으로 약간의 변동이 있고 이 결과는 Fig. 7의 회전수에도 같은 영향을 미침을 알 수 있다.

Fig. 6에서 일점쇄선은 축에 부하토크를 20.0kgf-m 걸고 앞의 경우와 동일한 실험을 한 결과를 나타낸 것으로 부하토크를 10.0kgf-m 가한 경우와 다르나 그 경향은 유사함을 알 수 있다.

Fig. 6에서 쇄선은 회전축의 부하토크를 31.0kgf-m(축 정지)로 실험하여 그 결과를 나타낸 것이다 축이 정지하고 있으므로 공급유량은 거의 없음을 알 수 있다.

Fig. 7은 축의 회전수를 나타낸 것이다. 그림에서 실선은

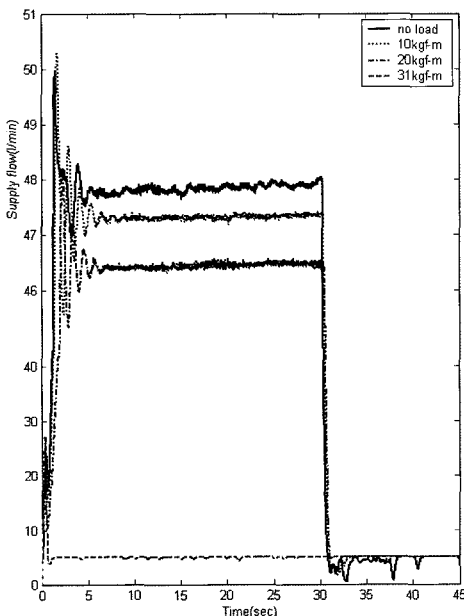


Fig. 6 Suppling flow rate

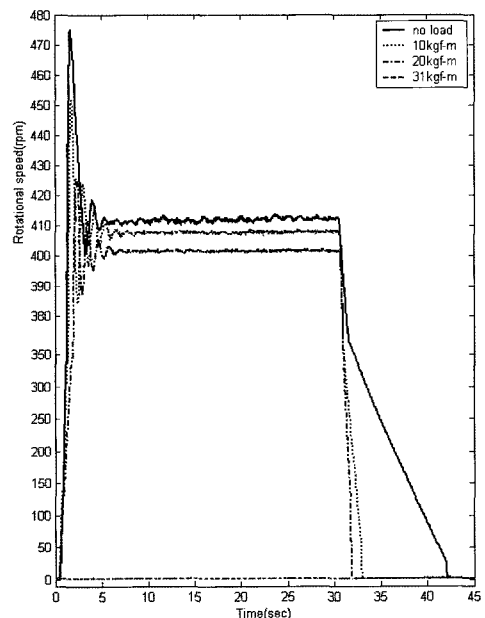


Fig. 7 Rotational speed

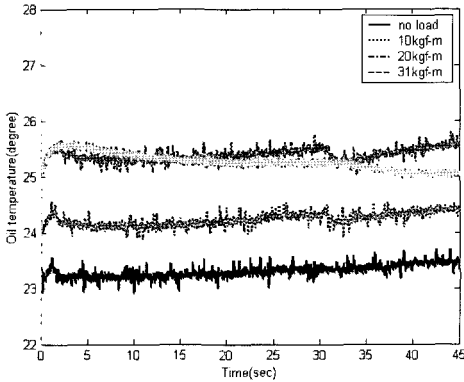


Fig. 8 Oil temperature

무부하시의 모터에 공급되는 유량의 증가에 비례하여 회전수가 증가함을 알 수 있다. 기동 후 1.7초 지난 뒤에 최고 회전수 475.2rpm이 되고 5초 후에 정상상태 회전수 410.0rpm을 유지하다 유량공급을 중단하는 기동 후 30.0초 정도에서 회전수가 서서히 줄어드는 것을 알 수 있다.

Fig. 7에서 점선은 회전수가 모터기동 1.8초 후에 452rpm이 되고 5초 후의 정상상태에서는 무부하의 경우와 같은 410rpm을 유지함을 알 수 있다.

Fig. 7에서 일점쇄선은 축에 부하토크를 20.0kgf-m 걸고 앞의 경우와 동일한 실험을 한 결과를 나타낸 것이다. 부하가 10kgf-m일 때와 그 경향은 유사함을 알 수 있다.

Fig. 7에서 쇄선은 회전축의 부하토크를 31.0kgf-m로 실험하여 그 결과를 나타낸 것이다. 부하토크 31.0kgf-m는 축의 회전을 정지시키며 회전속도의 변화는 거의 없음을 알 수 있다.

Fig. 8은 유온의 변화를 나타낸 것이다. 무부하시는 24.3도, 부하토크가 10.0kgf-m일 때 25.5도, 20.0kgf-m일 때 25.5도 그리고 31.0kgf-m 일 때 25.5도 이었다. 유온은 실험 시작시의 유온이 실험이 종료 될 때까지 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 산자부의 지역특화 연구과제로 개발한 국산화 사판식 유압모터를 대상으로 하여 현장에서 활용할 수 있는 자료를 제공하기 위하여 유압모터의 제 성능을 파악하였다.

실험 장치를 자체 제작하여 무부하 상태와 부하용 브레이

크로 축에 걸리는 부하를 변화시키면서 토크, 공급압력, 공급유량, 축 회전수, 유온을 측정하였다.

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 무부하시나 부하시 토크, 공급압력, 공급유량 그리고 회전수는 5.0초 후 정상상태가 됨을 알 수 있었다.
- (2) 모터를 정지시킨 상태에서 공급유압에 대응하여 유압모터가 발생하는 정지토크를 측정된 결과 유압과 토크는 비례함을 알 수 있었고 부하토크를 변화시킨 경우에도 공급압력과 발생토크는 비례함을 확인 하였다.
- (3) 무부하에서 회전수는 410.0rpm 이었고 부하토크를 10.0 kgf-m에서 20.0kgf-m으로 증가시켰을 때 회전수는 410.0 rpm에서 400.0rpm으로 10.0rpm 감소하였다. 그리고 부하가 31.0kgf-m일 때는 회전수가 0rpm이 되었다. 부하토크의 증가에 대응하여 회전수도 감소함을 알 수 있었다.
- (4) 실험을 하는 동안 유온은 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있었다.

본 연구의 결과는 굴삭기를 비롯한 많은 유압기기의 핵심 부품인 유압모터의 설계 및 해석에 중요한 자료로 활용될 수 있으며, 또한 향후 국산화 유압모터의 성능개선에도 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

후 기

“본 논문은 2006년도 경남대학교 연구조성비 지원으로 연구되었음”.

참고 문헌

- (1) Yamagujji, A., 1965, “The study on Characteristic of axial pump,” *JSM E*, Vol. 31, No. 227, pp. 1115~1354.
- (2) The Buliull oil pressure research group, 1978, *Siritai Yuats*, Japan Machinist, pp. 59~66.
- (3) The Buliull oil pressure research group, 1978, *Siritai Yuats*, Japan Machinist, pp. 28~50.
- (4) VICKERS, 1992, *Industrial Hydraulics Manual*, VICKERS, pp. 7-23~7-32.
- (5) Merrit, H. E. 1967, *Hydraulic Control Systems*, pp. 54~75.
- (6) Lansky, Z. J. and Frank, Y., 1984, *Fluid power*

design handbook, Dekker, pp. 103~136.

- (7) Manring, N. D., and Johson, R. E., 1996, "Modeling and Designing a Variable-Displacement Open-Loop Pump," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, Vol. 118, pp. 267~271.
- (8) Cho, J., Zhang, X. and Manring, N. D., 1999, "Dynamic Modeling of an Indexing Valve Plate

Pump," *Fluid Power Systems and Technology-1999, ASME 1999, FPST-Vol. 6*, pp. 17~24.

- (9) Zeiger, G. and Akers, A., 1985, "Torque on the Swashplate of an Axial Piston Pump," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, Vol. 107, SEPTEMBER 1985, pp. 220~226.