

플런저 펌프 설계 및 성능시험

김동수*(한국기계연구원), 서현석(한국기계연구원)

The Optimal Design and Performance Test of Plunger Pump

D. S. Kim (KIMM), H. S. Seo (KIMM)

ABSTRACT

The Paper presents theoretical and experimental investigation of plunger type water hydraulic pump (plunger pump). An analysis of Crank shaft for plunger pump is carried out. With this results, the optimal dimensions of plunger pump are determined. And performance test results about slide resistance, hydraulic leak test, efficiency-pressure, and flow-speed and flow-pressure are presented.

Key Words : Plunger (플런저), Water-Hydraulic (수력), High Pressure (고압), Crank Shaft (크랭크샤프트)

1. 서론

Plunger 방식의 High Pressure Water Hydraulic Pump는 산업현장의 미세한 정밀 제품의 Burr 및 이물질 제거, 완벽한 표면도금막 및 녹 제거, 잔류 미세 물질의 표면 침투 없는 정밀 부품 생산, High Pressure Cleaning, Paint Removal, 석재 가공, 화재진압, 도로주변청소 등 적용 분야가 다양하다. 또한 국내 산업기술의 첨단화에 따른 세척기등 응용분야의 다양화 추세에 있으며, 수요가 급격히 증가하고 있으나 High Pressure Water Hydraulic Pump는 부가가치가 대단히 높음에도 불구하고 아직 국내에서는 개발이 되지 않고 있다. 국내의 Plunger 방식의 고압 Water Hydraulic Pump의 기술력은 선진 3개국의 50 ~ 70% 수준으로 평가받고 있으며, 독창적인 제품 설계 기술이 부족한 실정이다. 따라서 산업 첨단화에 따른 수요예측에 의한 고압 Water Hydraulic 부품의 개발이 전무한 상태에서 매년 약 1,500억 규모의 선진국 제품이 매우 비싼 가격으로 수입되어 사용되고 있다. 또한 전 세계적으로 불에 대한 중요성이 부각되고 있고 한국 또한 과거와는 달리 UN이 정한 물 부족 국가로 되어 Water의 사용 부품 개발이 시급하며 고압, 고 유량의 Pump 수요도 전 세계적으로 매우 빠른 속도로 수요량이 증가하여 독일의 하우헌코사 등 선진국들의 시장점유율이 증가하고 있다.

따라서 본 연구에서는 High Pressure와 Water라는

특성을 고려한 High Pressure Water Hydraulic Plunger Pump의 최적 설계 및 성능시험을 수행하였다.

2. 기본 이론 및 해석

2.1 Plunger Pump 특성 이론^{(1), (2)}

Plunger Pump의 배제용적은 다음과 같이 표현된다.

$$V_m = \frac{\pi d^2}{4} \times 2e \times Z \quad (cc/rev) \quad (1)$$

여기서, d는 플런저 직경이며, e는 편심량, Z는 플런저 개수이다. 또한 Plunger Pump의 이론 평균 토출유량은 다음과 같이 표현되며,

$$Q_m = V_m \cdot N \quad (l/min) \quad (2)$$

순간 토출 유량은 다음과 같다.

$$q = \frac{\pi d^2}{4} \times u = 0.25\pi d^2 \cdot \omega \cdot e \cdot \sin \theta \quad (l/min) \quad (3)$$

이때, 피스톤 행정(S)과 피스톤 속도(u)는 다음과 같다.

$$S = (r_r - e \cdot \cos \theta) - (r_r - e)$$

$$= e(1 - \cos \theta)$$

$$u = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{ds} = ew \sin \theta \quad (5)$$

2.2 강도 해석

Plunger Pump의 최적 설계를 위하여 Crank Shaft의 강도해석을 수행하였으며, 관련식은 다음과 같다.⁽³⁾

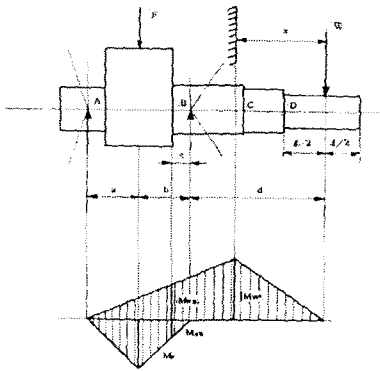


Fig. 1 Stress & Moment Diagram of Crank Shaft

$$\sigma_a = \frac{32M_{WB}}{\pi d^3}, \sigma_m = \frac{32M_{FB}}{\pi d^3}, \tau_a = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (6)$$

축직경은 다음과 같이 계산된다.

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \tau_a} \sqrt{M^2 + T^2}} \quad (7)$$

Fig. 2는 Crank Shaft의 형상을 보여주며, Fig. 3부터 Fig. 5는 그 결과를 보여준다.

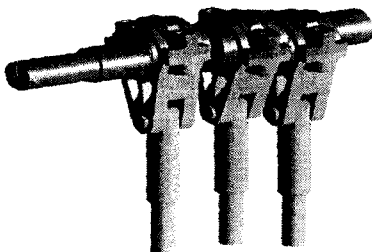


Fig. 2 Shape of Crank Shaft

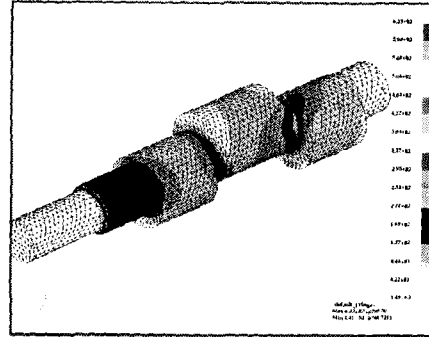


Fig. 3 Simulation Result of Crank Shaft (1)

Fig. 3은 가운데 오른쪽 끝단에 집중하중이 걸릴 때의 결과를 보여주며, Fig. 4는 가운데 부분에 집중하중이 주어질 때의 결과를 보여준다.

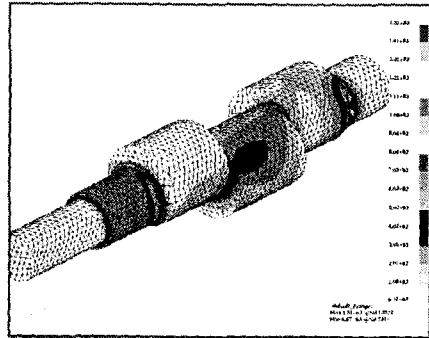


Fig. 4 Simulation Result of Crank Shaft (2)

Fig. 5는 가운데와 끝단에 분포하중이 걸릴 때의 결과를 보여준다.

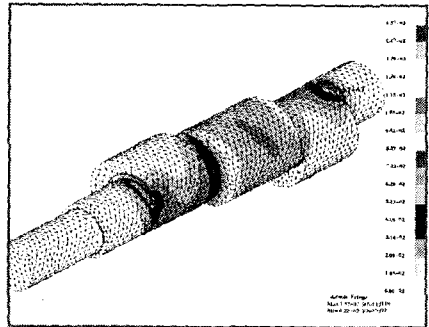


Fig. 5 Simulation Result of Crank Shaft (3)

2.3 Plunger 세라믹 소결기술 개발

Plunger Pump의 성능 및 Plunger의 강도를 위하여 세라믹 소결기술을 개발하였으며, Table 1은 제작된 Plunger의 표면조도를 나타내며, Fig. 6 제작된 Plunger를 보여준다.⁽⁴⁾

Table 1. Surface Roughness of Plunger

시편	평균조도 (Ra, μm)	최대높이 (Rmax, μm)
1	0.18	0.81
2	0.15	0.69
3	0.13	0.76
4	0.13	0.94
평균	0.15	0.80

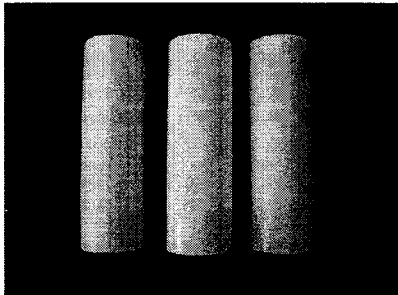


Fig. 6 Plunger with Ceramic Sintering

3. 실험장치 구성

3.1 Plunger Pump 제작

전술한 바와 같이 이론과 강도 해석을 바탕으로 Plunger Pump를 설계, 제작하였으며, Fig. 7은 그 설계도이며, Fig. 8은 제품 사진이다.

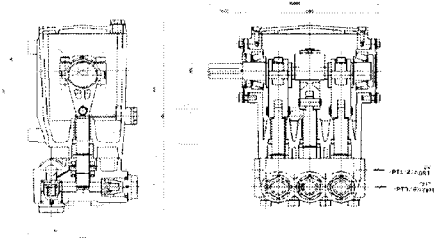


Fig. 7 Drawing of Plunger Pump

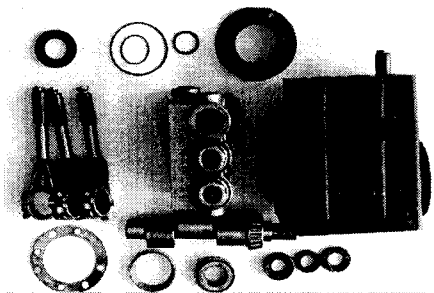


Fig. 8 Parts of Plunger Pump

3.2 성능시험 장치

제작된 Plunger Pump의 성능을 시험하기 위하여 시험기를 제작하였으며, Pump Actuator는 Pump의 마력이 큰 것을 감안해 Engine으로 선정하였고, Engine에 관계하는 Battery, Fuel Pump, Emission, Fuel Tank, Start Motor, Alternator, Heater Glow 등을 설계하였다.

또한 Sensor로는 압력측정을 위한 Pressure Sensor, 유량 측정을 위한 Flow Sensor, 각 부품의 온도 측정을 위한 Temperature Sensor, 전 내구 시간 측정을 위한 Computer / Timmer, 회전수별 압력 유량 특성을 구하기 위한 RPM Sensor를 설계하였으며, Real Time 동시 측정을 위한 각 Sensor의 Indicator 및 Recorder를 설계하여 제작하였으며, Fig. 9는 성능시험기를 보여준다.

또한 Data Acquisition System Line은 검출정도 Full Scale의 $\pm 0.05\%$ 이내로 설계하여 실험 Data의 신뢰성 확보에 역점을 두었다.

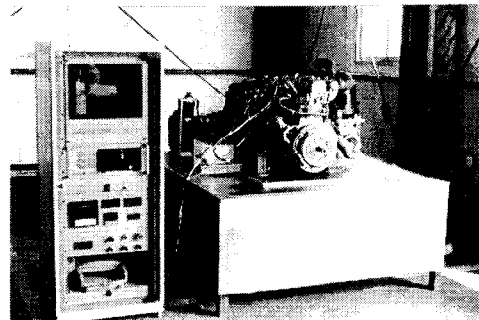


Fig. 9 Performance Tester

4. 실험 결과

제작된 성능 시험기를 통하여 Plunger Pump의 성능을 평가하였으며, Fig. 10부터 Fig. 14는 그 결과를 보여준다.

PLUNGER 습동저항

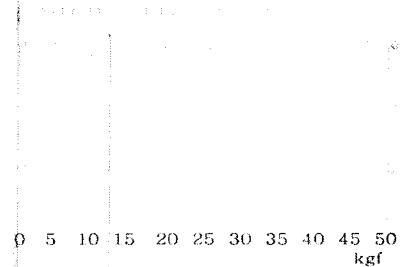


Fig. 10 Slide Resistance of Plunger

Fig. 10은 Plunger의 습동저항을 측정한 결과이며, 12kgf의 비교적 낮은 습동저항 값을 보여준다.

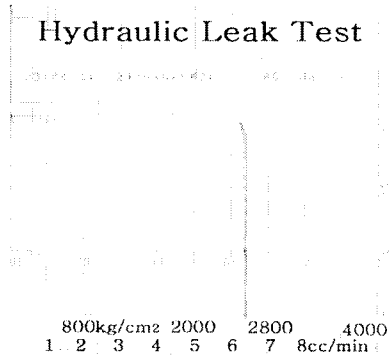


Fig. 11 Hydraulic Leak Test

Fig. 11은 Leak Test 결과로 2,496 kg/cm²의 압력을 가했을 때의 누설이 0cc/min임을 보여준다.

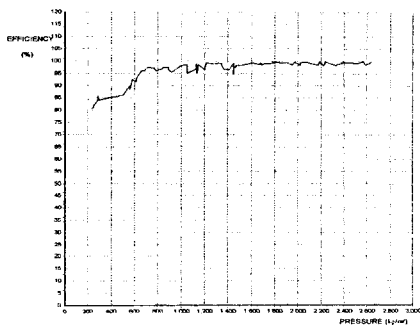


Fig. 12 Efficiency - Pressure Graph

Fig. 12는 압력에 따른 효율 그래프로 Plunger Pump의 사용압력인 2,000 ~ 2,600 kg/cm²의 범위에서 95% 이상의 효율을 나타냄을 알 수 있다.

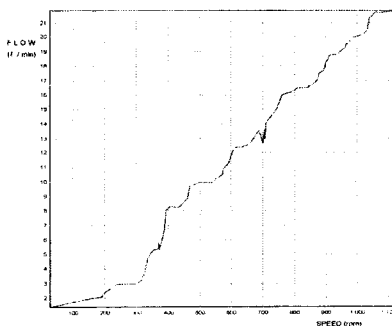


Fig. 13 Flow - Speed Graph

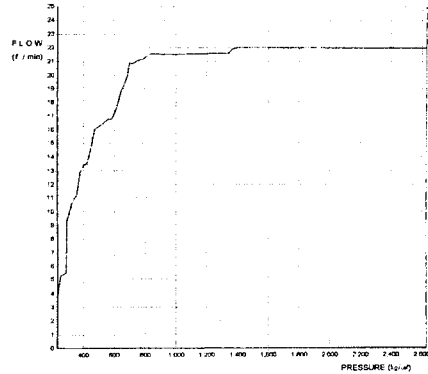


Fig. 14 Flow - Pressure Graph

Fig. 13은 회전수에 따른 유량 그래프이며, Fig 14는 압력에 따른 유량 그래프이다. 압력이 1,400 kg/cm² 이상일 때 22 l/min의 유량을 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 Plunger Pump의 해석 및 Mechanism 설계, 제작을 거쳐 성능시험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 효율 95% 이상의 2,500bar, 22l/min 성능의 Plunger Pump를 최적 설계, 제작하였다. 그리고 성능 시험 결과 기존에 비해 최고 수준 또는 그 이상의 성능을 나타냄을 확인하였다.

2) Plunger Pump의 핵심기술인 Crank Shaft 강도 해석, Plunger 세라믹 소결에 대한 Data를 제시하였다.

후기

본 연구는 산업자원부의 산업기반기술개발사업의 연구비 지원으로 수행된 연구결과와 일부입니다.

참고문헌

1. 송창섭, "유압기술실무매뉴얼", 기술, pp. 60-78, 1991.
2. W. Bolton, "Pneumatic and Hydraulic System", Butterworth Heinemann, pp. 27-37, 1998.
3. 한국기계연구원, "Plunger 방식의 고압 Water Hydraulic Pump 개발에 관한 연구", 산업자원부, 2003.
4. 한국기계연구원, "공압 ISO 밸브 개발", 산업자원부, 1998.