

유한요소법을 이용한 고압유압펌프용 오목형 피스톤 조립체의 소켓 형상 설계

엄재근*(경상대 대학원 기계공학과), 이민철(오하이오주립대학 기계공학과),
최인수(경상대 대학원 기계공학과), 전만수(경상대 기계항공공학부), 조유종(동명중공업㈜)

Finite Element Approach to Socket Shape Design of a Concave Piston Assembly for a High Pressure Hydraulic Pump

J. G. Eom(Mech. Eng. Dept., GSNU), M. C. Lee(Mech. Eng. Dept., OSU), I. S. Choi(Mech. Eng. Dept., GSNU),
M. S. Joun(Mech. Eng. Dept., GSNU), Y. J. Cho(TongMyung Heavy Industries)

ABSTRACT

A finite-element based approach to socket shape design of a concave piston assembly for a high pressure hydraulic pump of an excavator is presented in this paper. The approach is applied to developing a concave piston assembly which fulfills its strength requirement and it is verified that the predictions are in good agreement with the experiments.

Key Words : Socket Shape Design, Piston Assembly, Finite Element Method

1. 서론

건설장비용 유압기기의 고압화는 필수적이며, 유압펌프 발전의 역사라고 할 수 있다. 피스톤 조립체는 고압화에 가장 민감한 핵심 부품이다. 피스톤 조립체는 볼(ball)과 소켓(socket) 체결법에 의하여 연결되어 있는 피스톤과 슈(shoe)로 구성되어 있다. 기존의 볼록형 피스톤 조립체(convex piston assembly)의 볼은 피스톤에 부착되어 있으며, 볼과 피스톤의 연결 부위가 구조적으로 허약한 단점을 지니고 있어 고압화에 적합하지 않다. 따라서 관련 업계에서는 오목형 피스톤 조립체(concave type piston assembly)의 채택을 검토하고 있다.

본 논문에서는 체결 공정을 고려한 오목형 피스톤 조립체의 형상설계 기술을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

피스톤 조립체의 슈와 피스톤은 볼과 소켓 연결 방식으로 조립되어 있으며 볼과 소켓은 소성가공 공법으로 체결된다. 체결 이후의 후속 가공이 불가능하므로 변형형상의 측정과 잔류 변형률의 예측은 설계의 필수 정보이다. 그리고 체결된 피스톤 조립체는 볼과 피스톤을 분리하는데 필요한 인장하중이 규제되어 있으므로 분리하는데 필요한 인장하중의

예측이 필수적이다. 체결 공정과 인장하중 측정 시험은 모두 소성변형이 주도적인 문제이다. 따라서 본 논문에서는 강소성 유한요소법을 전술한 문제의 해석 목적으로 사용하였다.

3. 피스톤의 형상 설계

Fig. 1 은 오목형 피스톤 조립체의 구성과 설계 모델을 나타내고 있다. 오목형 피스톤 조립체는 피스톤과 슈로 구성되어 있으며, 이 두 부품은 볼과 소켓 연결 방식으로 체결되어 있다. 피스톤의 소켓 부의 설계는 볼과 소켓의 체결 공정과 무관하지 않다. 체결 후 후가공이 사실상 불가능하고, 체결공정에서 발생한 변형경화의 정도가 소재의 초기조건으로 고려되어야 하기 때문이다. 오목형 피스톤의 볼과 피스톤 체결공정은 공간상 제약을 많이 받기 때문에 볼록형 피스톤에 비하여 난이도가 훨씬 높다. 따라서 가급적 성형상의 난이도를 줄이기 위하여 소켓 부의 두께를 작게 해야 한다.

체결공정 이후 기계가공이 사실상 불가능하므로 설계의 대상은 체결 이전의 소켓 부의 형상이 되어야 하며, 체결공정이 소켓의 형상을 좌우하므로 체결공정 자체도 고려되어야 한다.

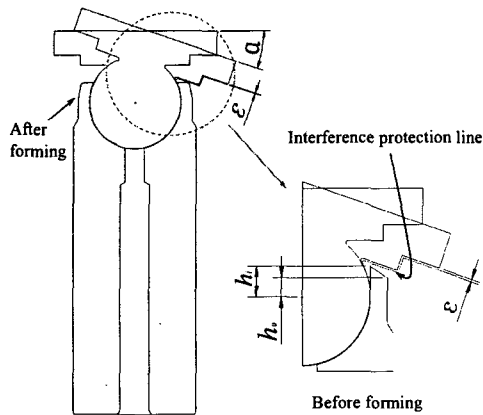


Fig. 1 Design model of the ball and socket

본 연구에서 제안하는 체결 이전의 소켓 부의 설계 모델은 제작 공정(회전단조 공법)의 응용을 감안하여 그림에서 보는 바와 같이 두께 t , 외벽의 높이 h_b , 내벽의 높이 h_i 등으로 정하였다. 물론 설계는 간섭방지선을 침범해서는 안 되며, 하중에 대한 요구조건을 만족해야 한다.

전술한 바와 같이 소켓의 초기 형상의 예측을 위한 체결공정의 해석은 필수적이다. 체결공정으로 점진적 성형 방법의 사용이 불가피한데, 회전단조가 고려되었으며, 관련 연구 결과, 유격량의 최소화 및 동심도 요구조건을 충족을 위하여 두 개 이상의 롤이 사용되어야 한다. 이 경우, 체결 중 소재의 중심 이동이 거의 없으며, 변형 형태가 가상의 2차원 단조와 매우 유사하다.

적용 예제로 중형 굴삭기에 사용되는 유압펌프용 피스톤 조립체를 선정하였다. 피스톤 재료의 변형저항식은 $\bar{\sigma} = 91.6 \times \bar{\epsilon}^{0.17}$ 이며, 초기항복응력을 75MPa 로 간주하였다. 접촉면에서 마찰상수를 0.1 로 가정하였다. 하중의 요구조건을 19,000N 으로 하였으며, 각도 a 의 허용치를 21.0° 로 하였다. 선택된 설계에 관한 해석 결과를 Fig. 2 와 Fig. 3 에 나타내었다.

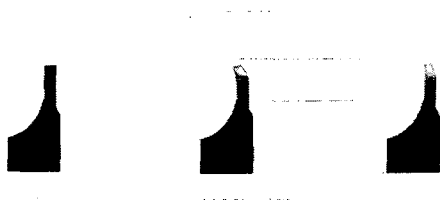


Fig. 2 Simulation of the socketting and the separating test

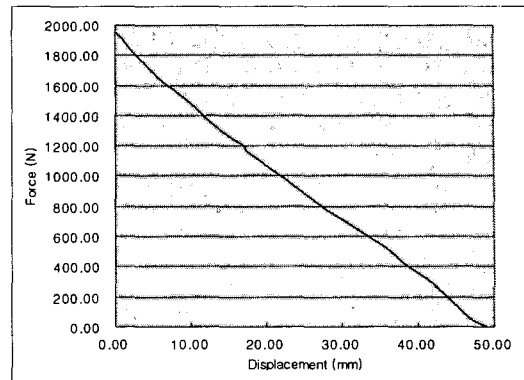


Fig. 3 Separating force

시작품에 대한 시험 결과와 해석 결과를 비교한 결과, Fig. 4 에서 보는 바와 같이 단면 형상이 예측 결과와 유사하다. 7 개의 제품을 인장시험하여 얻은 최대 인장하중의 평균값은 19,100 N 이며, 본 논문에서 제시한 방법으로 예측한 최대 인장하중 19,500N 과 매우 비슷한 값을 나타내었다.

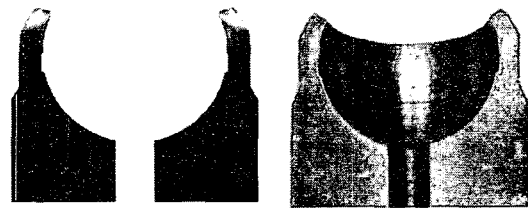


Fig. 4 The predicted profile and the experiment

4. 결론

본 연구에서는 볼과 소켓의 체결공정을 고려한 소켓의 초기형상 설계 방안이 제시되었다. 설계 과정에서 필요한 체결공정과 인장시험의 해석을 위하여 강소성 유한요소법을 사용하였다. 볼과 소켓의 체결공정은 두 개 이상의 롤이 사용된다는 가정 하에 축대칭 공정으로 간주하였다.

참고문헌

1. 전병윤, 조현섭, 서관수, 조유중, 전만수, "볼과 소켓의 정밀 체결을 위한 회전성형 장치," 대한기계학회 논문집 투고, 2006.
2. Moon, H. K., Lee, M. C., Chung, J. H., Joun, M. S., "Finite Element Analysis of a Rotary Forging for Bearing Assembly," Proc. of the 8th ICTP, p. 333, 2005