

오목형 피스톤 조립체의 볼과 소켓의 체결을 위한 점진적 성형공정의 유한요소해석

이민철¹, 엄재근², 전만수[#]

Finite Element Analysis of an Incremental Forming Process for Joining the Ball with the Socket of a Concave Piston Assembly

M. C. Lee, J. G. Eom, M. S. Joun

Abstract

A three-dimensional finite element approach to process analysis and design for joining the socket with the ball by a kind of the rotary forging processes is presented in this paper. The rigid-plastic finite element method is employed and its results are used to reduce the number of process design tryouts. The approach is applied to developing a concave piston assembly for a high pressure hydraulic pump. Experiments show that the developed piston assembly satisfies the quality requirement on geometrical tolerance.

Key Words : Incremental Forming, Ball and Socket Joint, Concave Piston Assembly, Computer Simulation

1. 서론

건설장비는 고효율화, 친환경화, 장수명화, 회전 반경의 최소화, 저비용화 등의 방향으로 발전하고 있으며, 이에 따라 건설장비의 핵심 조립체인 유압기기는 점차 소형화되고 고압화되고 있다. 고압화에 따라 핵심 부품의 재설계는 불가피하며, 피스톤 조립체는 고압화에 가장 민감한 핵심 부품이다[1].

피스톤 조립체는 볼과 소켓 연결(ball and socket joint) 방식에 의하여 체결되어 있는 피스톤과 슈(shoe)로 구성되어 있다. 피스톤 조립체는 수많은 상대 운동과 반복하중 하에서 운용되기 때문에 고강도가 요구되며, 내마모 특성이 우수해야 하므로 고경도를 요하는 부품이다. 기존의 볼록형 피스톤 조립체(convex piston assembly)의 볼은 피스톤에 부착되어 있으며, 볼과 피스톤의 연결 부위가

구조적으로 취약한 단점을 지니고 있어 고압화에 적합하지 않다. 따라서 관련 업계에서는 오목형 피스톤 조립체(concave piston assembly)의 채택을 검토하고 있으며, 일부 선진 업체에서는 이미 채택하여 운용중에 있다.

오목형 피스톤 조립체는 제조가 어렵고 비싼 단점이 있는 반면, 강과 강의 접촉이 발생하므로 불순물의 오염에 강하며, 구조적으로 목 부위의 강도가 높다. 그리고 오목형 피스톤이 볼록형 피스톤에 비하여 운동의 허용 범위가 상대적으로 크다. 반면, 제조가 용이하지 않다. 피스톤 조립체의 개발 시 중점 고려 사항은 접촉율과 마모특성, 볼과 피스톤 분리력, 피스톤과 볼의 유격량 등이다. 이러한 요구 사항은 모두 제조공정과 직결되어 있다.

피스톤 조립체는 피스톤과 슈를 성형공정에 의하여 조립함으로써 제조되고 있다. 볼과 소켓 체

1. 경상대학교 항공기부품기술연구소
2. 경상대학교 대학원 기계공학과
교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,
E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

결을 위하여 성형가공은 불가피하며, 체결 과정에서 발생한 소재의 변형경화로 인하여 강도가 증가하여 궁극적으로 볼과 피스톤의 분리력을 증가시키는 효과도 있다. 성형가공에서 주요 고려 사항은 경한 소재의 파괴, 피스톤과 볼의 유격량, 형상으로부터 발생하는 공간적 제약 등이다. 이러한 조건을 충족시키기 위해서는 적은 하중으로 성형이 가능한 점진적 성형 방법이 효과적이다. 따라서 본 연구에서는 체결을 위한 성형공정으로 회전성형(rotary forming) 공법[2-10]을 채택하였다.

회전성형(rotary forming) 또는 궤도성형(orbital forming)은 압연공정과 단조공정을 조합한 것으로 공구와 소재를 회전시켜서 소재의 일부분을 반복적으로 가공하여 제품을 만드는 특수 성형 기술의 일종이다. 궤도단조에서는 금형과 원통 또는 파이프 형상의 소재와의 상대적인 회전운동을 이용하여 주로 소재의 축방향 압축변형에 의해 원하는 형상으로 가공하는 방법이다. 이러한 성형 방법은 최근 베어링 제조 공정중 조립단계에서 많이 사용되고 있다[5,6,10]. 베어링 제조 공정과 같이 축방향 압축변형이 지배적일 경우, 하나의 롤 형태의 금형을 사용하여도 무방하다. 그러나 하중이 원주방향으로 주로 작용하는 경우에는 하나의 롤 타입 금형으로 진원도와 허용 유격량을 만족시키기 매우 어렵다. 피스톤 조립체의 체결 공정은 공간상 제약으로 하중을 원주방향으로밖에 가할 수 없다.

본 논문에서는 피스톤 조립체의 체결 공정 개발을 목적으로 롤의 수가 성형 공정에 미치는 영향을 유한요소해석[10]을 통하여 조사하고자 한다.

2. 볼과 소켓 체결 공정의 유한요소해석

Fig. 1 에 오목형 피스톤 조립체를 나타내었다.

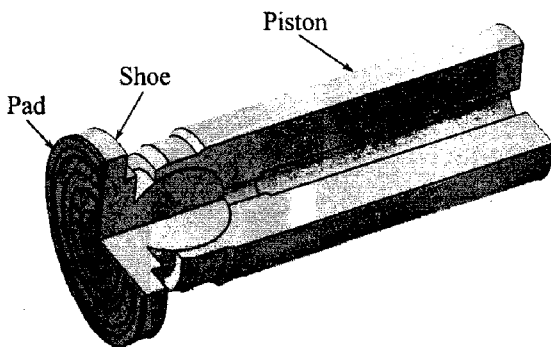


Fig. 1 Concave type piston assembly

오목형 피스톤 조립체는 슈에 부착되어 있는 볼과 피스톤에 부착되어 있는 소켓을 회전성형 공법으로 체결함으로써 제작된다.

성형장치는 범용 선반과 유압 장치로 구성되어 있으며, 오목형 피스톤 조립체의 체결 성형을 위한 전용 장치 목적으로 개발되었다[11]. 체결공정은 피스톤의 회전 운동과 형상 롤의 이송 운동으로 이루어져 있다. 형상 롤은 핀으로 연결되어 있어 회전이 가능하지만, 자체적으로 동력원을 갖고 있지 않다.

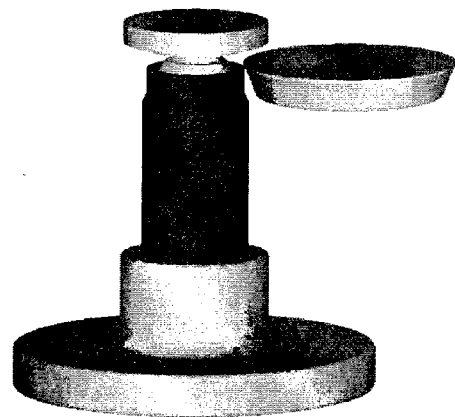


Fig. 2 Single roll socketing process

Fig. 2 는 한 개의 롤을 사용했을 경우의 유한요소 해석모델을 나타내고 있다. 성형 도중에 볼은 피스톤과 비접촉 상태를 유지하다가 마지막 단계에서 접촉하게 된다. 볼과 피스톤이 접촉하게 되면, 접촉력에 의하여 약간의 변형이 존재하지만, 그 영향이 크지 않을 것으로 간주하여 볼을 강체로 가정하였다. 모든 접촉면에서 마찰이 작용하지 않는 것으로 가정하였다. 피스톤의 하단부는 회전 운동만 할 수 있도록 경계조건을 부과하였다. 롤은 중심축을 향하여 이송되며, 롤의 속도는 Fig. 3 에서 보는 바와 같다. 피스톤의 회전속도는 20 rad/sec 로 일정하며, 피스톤의 외경은 25mm 이다. 소재의 변형저항식은 $\sigma = 91.6 \times \epsilon^{0.17}$ 이다.

체결 장치의 개발 측면에서 볼 때, 활용할 수 있는 공간은 크지 않다. 슈의 형상이 공간적으로 제약을 가하고 있기 때문이다.

회전성형 장치의 설계에서 중요한 요소 중의 하나는 롤의 수를 결정하는 문제이다. 본 논문에서는 유한요소법을 이용하여 롤의 수가 진원도에 미치는 영향을 관찰하였다. 진원도는 볼의 유격량

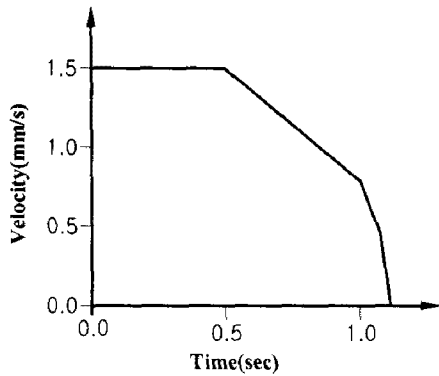


Fig. 3 Velocity profile of the roll moving toward the central line

과 직결되기 때문이다. 해석 조건은 롤의 수만 차이가 있고 동일하다. 진원도는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 해석 결과를 축 방향으로 관찰함으로써 조사되었다.

Fig. 4는 하나의 롤을 사용한 공정에 대한 유한요소해석 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 성형 중 소켓과 볼이 접촉하기 이전에는 편심이 눈에 띄게 나타났다. 특히, 소켓의 성형부가 볼에 접촉하기 직전까지 편심이 되어 있다는 것을 확인할 수 있다. 실 공정에서는 피스톤의 회전 구동부의 구조가 탄성변형을 받을 것이기 때문에 편심량은 더 많아질 것으로 예상된다. 따라서 롤을 하나 사용하는 공정으로 요구 사양을 만족하는 제품을 생산하는 것은 용이하지 않다고 사료된다. Fig. 5에 성형 중 피스톤의 변화 과정을 나타내었다.

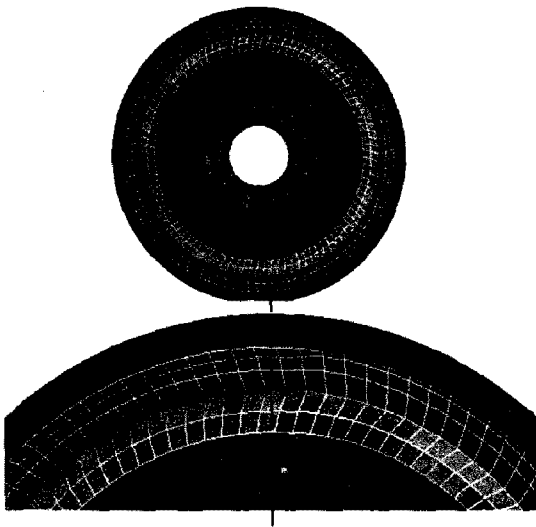
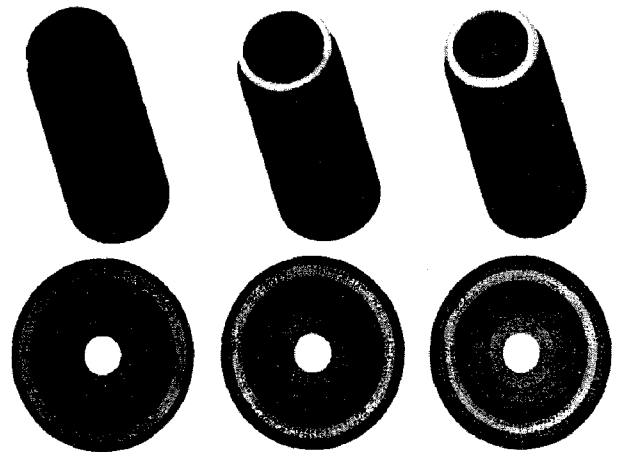
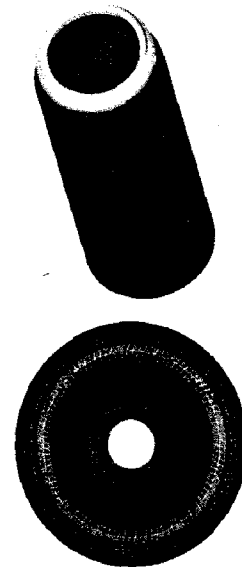


Fig. 4 Final socket shape of the single roll socketing process



(a) Before ball and socket contact



(b) After ball and socket contact

Fig. 5 Simulation results of the single roll socketing process

Fig. 6은 두 개의 롤을 사용한 공정을 나타내었으며, Fig. 7에 유한요소해석 결과를 나타내었다. Fig. 8에 성형 중 피스톤의 변화 과정을 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 두 개의 롤을 사용할 경우 성형 중 편심이 육안으로 관찰되지 않았다. 특히 소켓의 성형부가 롤에 접촉하기 이전에 안정적인 동심도를 보이고 있다. 따라서 비교적 양호한 진원도를 얻을 수 있다고 사료된다.

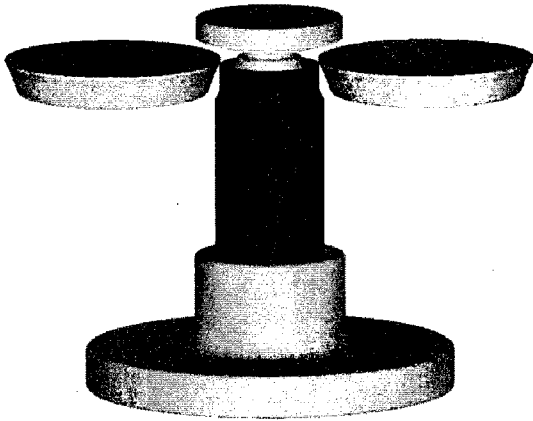
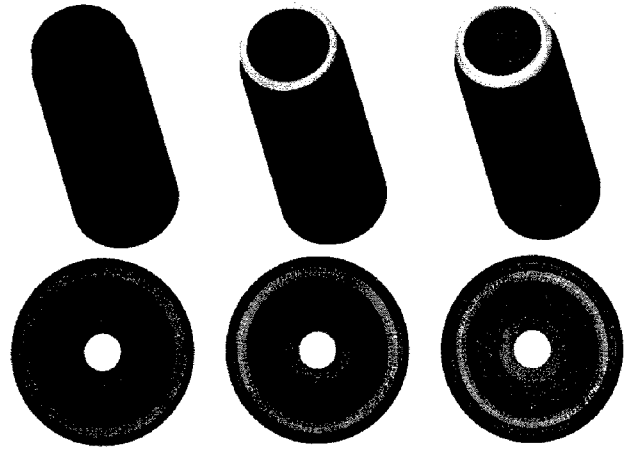


Fig. 6 Double roll socketing process



(a) Before ball and socket contact



(b) After ball and socket contact

Fig. 8 Simulation results of the double roll socketing process

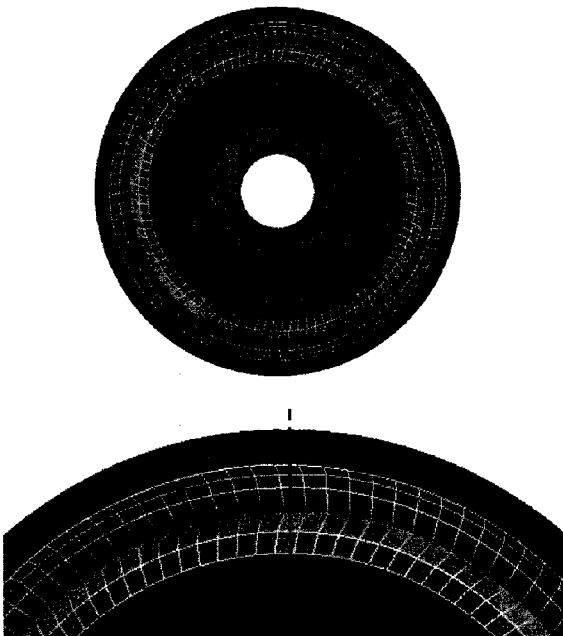


Fig. 7 Final socket shape of the double roll socketing process

Fig. 9 는 세 개의 롤을 사용한 공정을 나타내었으며, Fig. 10 에 유한요소해석 결과를 나타내었다. Fig. 11 에 성형 중 피스톤의 변화 과정을 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 세 개의 롤을 사용할 경우 성형 중 편심이 육안으로 관찰되지 않았으며, 비교적 양호한 진원도를 얻을 수 있다고 사료된다.

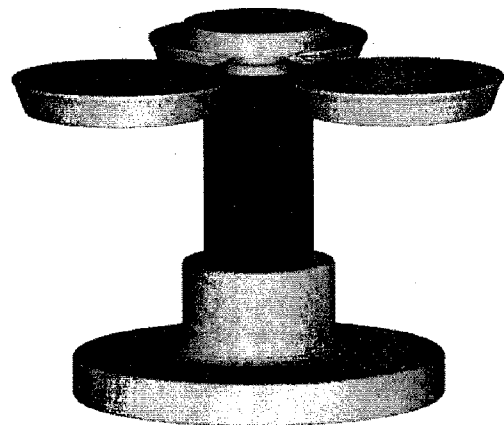


Fig. 9 Triple roll socketing process

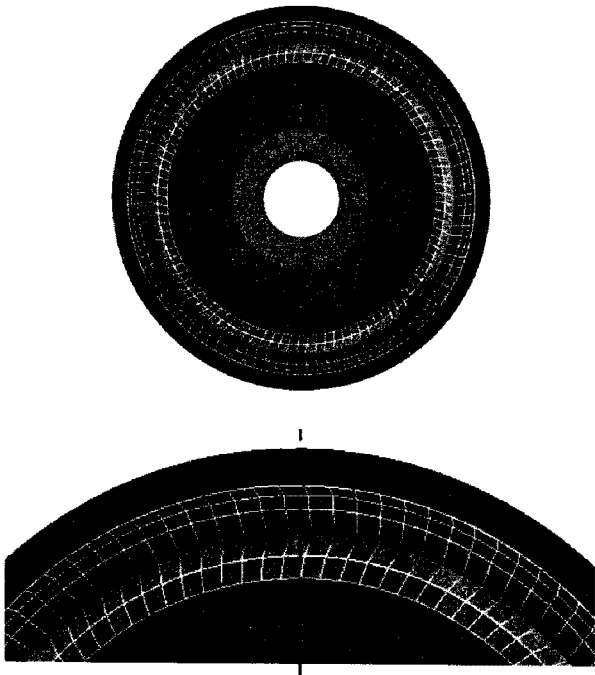


Fig. 10 Final socket shape of the triple roll socketing process

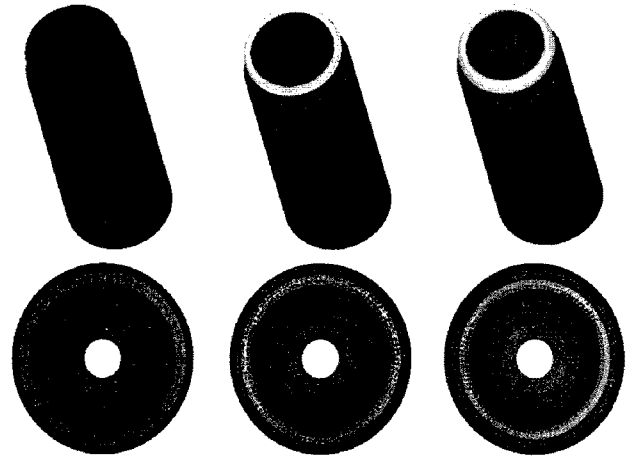
3. 결론

본 논문에서는 공작물의 회전방향과 롤의 이송방향이 직각을 이루는 회전성형 공정에서 롤의 수를 결정하기 위한 유한요소법을 이용한 접근방법을 제시하였다. 공정 적용 문제로 불과 소켓의 체결 공정을 선택하였으며, 롤의 수가 동심도에 미치는 영향을 조사함으로써 공정의 건전성을 평가하였다. 성형 공정은 강소성유한요소법에 의하여 해석되었다.

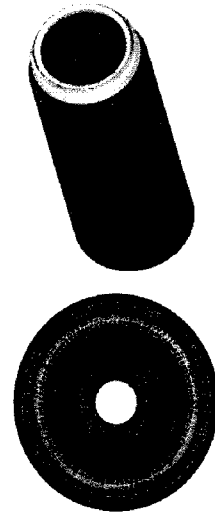
하나의 롤을 사용한 불과 소켓 체결공정은 고압유압펌프용 피스톤 조립체가 요구하는 동심도, 유격량 등을 만족시키는데 한계가 있음을 확인하였고, 두 개의 롤을 사용했을 경우 해석결과와 시험생산 결과 모두 양호한 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 한국산업기술재단에서 지원한 지역 혁신인력양성사업 및 2006 년도 지방대학혁신역량강화사업(NURI)의 일환으로 실시된 연구 결과의 일부임.



(a) Before ball and socket contact



(b) After ball and socket contact

Fig. 11 Simulation results of the triple roll socketing process

참 고 문 헌

- [1] 엄재근, 이민철, 최인수, 전만수, 조유중, 2006, 유한요소법을 이용한 고압유압펌프용 오목형 피스톤 조립체의 소켓 형상 설계, 대한기계학회 투고중.
- [2] H. X. Su, K. Kawai, M. Hayama, 1991, Deformation mechanism in ring rotary forging of rings, JSTP, Vol. 32, No. 361, pp. 207~213.
- [3] M. Hayama, 1992, New rotary forming: Theoretical and application, Tokyo, Japan, pp. 55~122.

- [4] D. J. Yoon, S. Choi, K. H. Na, J. H. Kim, 1995, Simulation of rotary forging process by model material technique, KSTP, Vol. 4, No. 1, pp. 9~16.
- [5] K. Toda, T. Ishii, S. Kashiwagi, T. Mitarai, 2001, Development of hub units with shaft clinching for automotive wheel bearings, KOYO Engineering Journal, English Edition, No. 158E, pp. 26~30.
- [6] I. Hirohide, K. Takeyasu, 2001, Development of hub unit bearing with swaging, NSK Technical Report, Vol. 10, pp 9~14.
- [7] N. Cho, N. Kim, T. Altan, 2003, Simulation of orbital forming process using 3-D FEM and inverse analysis for determination of reliable flow stress, 3rd JSTP International seminar on precision forging May 12~15, Nagoyam Japan.
- [8] S. Katayama, M. Kakiuchi, T. Wada, 2003, Metal flow behavior to fill grooved die by rotary forging, JSTP, Vol. 44, No. 508, pp. 58~62.
- [9] S. Katayama, M. Kakiuchi, T. Wada, 2003, Rigid-plastic FEM analysis of deformation property in rotary forging, JSTP, Vol. 44, No. 513, pp. 38~42.
- [10] H. K. Moon, M. C. Lee, J. H. Chung, M. S. Joun, 2005, Finite element analysis of ring compression, Appl. Of Num. Methods to Forming Process, ASME, AMD 28, pp. 163~174.
- [11] 전병윤, 조현섭, 서관수, 조유중, 전만수, 2006, 불과 소켓의 정밀 체결을 위한 회전 성형 장치, 대한기계학회 춘계학술대회 투고증.