

스프링 힘에 의한 배압부가 단조 공정의 3차원 유한요소해석

장성민¹· 김민철²· 이민철³· 전병윤⁴· 전만수[#]

Three-dimensional finite element analysis of forging processes with back pressure exerted by spring force

S. M. Jang, M. C. Kim, M. C. Lee, B. Y. Jun, M. S. Joun

Abstract

In this paper, back pressure forging processes of which back pressures are exerted by mechanical forces including spring reaction are simulated by three-dimensional finite element method. The basic three-dimensional approach extended from two-dimensional approach is accounted for. An axisymmetric backward and forward extrusion process having a back pressing die, which is exposed to oscillation of forming load due to variation of reduction ratios with stroke and its related frequent variation of major deforming region, is simulated by both two and three dimensional approaches to justify the presented approach by their comparison. A three-dimensional forging process having a back pressing die attached to the punch by a mechanical spring is simulated and the results are investigated to reveal accuracy of the presented approach.

Key Words : Back Pressure Forging (배압단조), Finite Element Analysis(유한요소해석), Spring Force(스프링 력)

1. 서론

단조 기술은 정형 생산(net shape manufacturing)의 방향으로 발전해 가고 있다. 정형단조가 지향하는 것은 소성가공된 상태의 제품을 절삭 공정 등의 후공정을 통하여 정밀 가공을 실시하지 않고, 소성가공된 제품을 그대로 사용하자는 것이다.

정형단조 또는 준정형단조는 기본적으로 정밀단조를 전제로 하며, 폐쇄단조, 배압단조, 분류단조 등이 정밀단조의 대명사가 되고 있다[1]. 폐쇄단조는 금형으로 닫혀진 공간 속에 재료를 채우는 성형 방법이며, 베벨기어 이 등을 성형하는 목적으로 널리 사용되고 있다[2]. 그러나 헬리컬 기어나 스크롤과 같이 복잡한 형상을 정형 또는 준정형 상태로 성형하기 위해서는 다른 방식이 필요하다. 이러한 제품의 정밀단조 목적으로 배압단조가 널리

시행되고 있다[1,3]. 배압단조는 재료의 선단부에서 재료의 흐름과 반대의 방향으로 힘을 가하여 전방 또는 후방으로 압출되어진 소재가 금형과의 접촉 상태를 유지토록 함으로써 형상 또는 치수 정도를 높이고 정형의 정도를 높이자는 것이다. 물론 공정의 단 수를 줄일 수 있고, 소재의 수율을 증대시킬 수도 있다.

배압단조에서 배압을 가하는 방식에 따라 유공압식과 기계식이 있으며, 기계식은 주로 재료의 탄성변형에 의하여 발생하는 스프링 력에 의하여 배압을 가하기 때문에 배압의 크기를 제어하는데 한계가 있다는 단점이 있다. 반면, 유공압식은 장치의 제작에 많은 비용이 소요되고 양산성이 떨어지는 단점이 있다.

배압단조에 관한 연구를 살펴 보면, 산업적 중요성에 비하여 관련 문헌이 극히 부족한 실정이다.

1. 경상대학교 기계공학과 대학원

2. 경상대학교 기계항공공학부

3. 경상대학교 공학연구원

4. 진엔지니어링

경상대학교 기계항공공학부/항공기부품기술연구소

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

H. Ando 와 K. Miyoshi[1]는 정밀단조 관점에서 배압 단조의 적용 분야를 상세하게 소개하였다. Joun 등 [4]은 스프링이 부착된 금형이 포함된 단조공정의 유한요소해석 기술을 개발하여 2 차원 단조 시뮬레이터인 AFDEX 2D[5]에 적용하였다. 이 기법은 스프링이 부착된 금형을 가진 단조공정의 시뮬레이션의 해석[4]과 배압단조 공정의 개발[3]에 성공적으로 적용되었다.

본 논문에서는 선행연구에서 개발된 기법[4]을 3 차원 배압단조 공정의 시뮬레이션 목적으로 확장하고, 그 타당성과 적용성을 입증하고자 한다.

2. 배압단조 공정의 해석

배압단조 공정이 일반단조 공정과 다른 점은 금형의 기구학적 운동이 미리 결정되어 있지 않고 대신 기지의 하중이 가해진다는 점이다. 즉, 금형 또는 공구의 속도가 미지수가 된다는 점이 다르며, 이는 문제의 난이도를 증가시키는 요소가 된다.

Joun 등[4]은 선행연구에서 스프링 부착 금형이 포함된 단조공정의 유한요소해석에서 스프링 부착 금형의 속도를 결정하기 위한 방법을 제안하였으며, 적용을 통하여 그 타당성이 입증되었다. 이 방법에서는 금형의 속도를 축차적인 방법으로 결정하였다. 즉, 하나의 해석스텝에서 해석에 의하여 예측된 스프링 부착 금형의 성형하중이 요구된 힘과 허용 오차 범위 이내에서 균형을 이룰 때까지 속도를 반복적으로 개선시키는 방식으로 금형의 속도를 구하였다. 이 때, 반복 계산의 수를 최소화하기 위하여 반복 계산 과정의 정보를 이용하였으며, 속도와 하중 오차를 이용하여 미지의 스프링 부착 금형의 속도를 결정하였다.

본 논문에서는 금형에 작용하는 배압하중의 크기를 보다 유연하게 하기 위하여 즉, 유압 등에 의한 임의 가변 배압하중을 취급할 수 있도록 하기 위하여 스프링이 부착된 금형의 기준 속도의 개념을 도입한다. 해석 시에 부과된 하중의 계산에 필요한 스프링의 수축량은 금형의 실제속도와 기준속도의 차이에 의하여 계산된다. 기본적인 개념은 동일하므로 상세한 것은 참고문헌[4]으로 대신한다. 그 대신, 접근 방법의 타당성과 적용성 검증에 대한 목적으로 전형적인 두 가지의 문제에 적용한다.

2.1 접근 방법의 검증

접근 방법의 검증을 목적으로 전후방 압출 공정을 선택하였다. 전후방 압출공정은 공정해석 중 수치적 요인에 기인하는 압출비의 변화로 인하여 성형하중의 진동이 불가피하고, 주요 소성영역의 상하 진동이 극심하므로 정교한 해석이 필수적인 배압단조 공정의 해석 측면에서 매우 어려운 문제에 속한다.

Fig. 1은 축대칭 전후방압출 공정으로써 그림에서 보는 바와 같이 금형③의 하단에 스프링이 부착되어 있는 배압단조 공정을 나타내고 있다. 스프링상수는 0N/mm이고(일정한 하중이 작용함), 124kN의 예압하중이 작용하고 있으며, 최대 허용 행정이 10mm이다. 소재의 유동응력은 $\bar{\sigma} = 976.0\bar{\epsilon}^{0.11}$ MPa이고, 마찰계수는 0.05로 간주하였다. 스프링 부착 금형의 기준속도는 0mm/s이다.

이 문제는 축대칭 문제이기 때문에 2차원 해석이 가능하지만, 본 연구에서는 비교를 목적으로 2차원 해석과 3차원 해석을 동시에 실시하였다. Fig. 2에 단조 과정 중에 소재의 변형 형상을 나타내었으며, Fig. 3는 성형하중-스트로크 곡선을 나타내고 있다. Fig. 3의 성형하중-스트로크 곡선에서는 2차원 해석과 3차원 해석을 비교하고 있다. 비교 결과, 두 결과가 매우 유사함을 알 수 있다. 해석 결과, 허용오차를 5%로 하였으나, 실제의 최대 오차는 약 2.2%이었다.

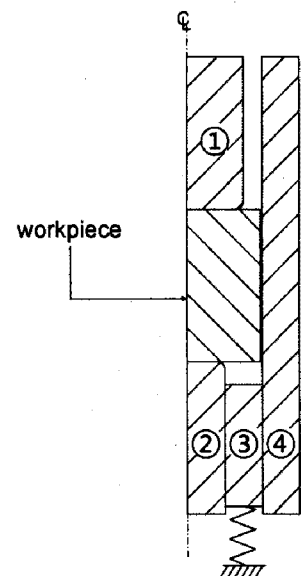


Fig. 1 Test axisymmetric back pressure forging process

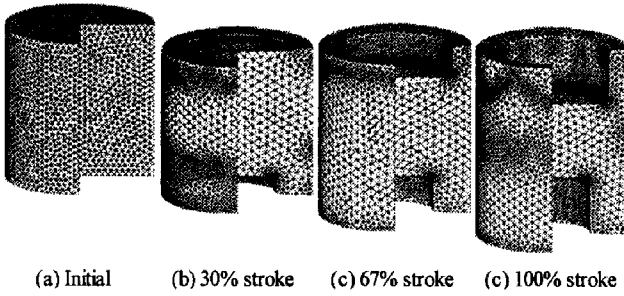
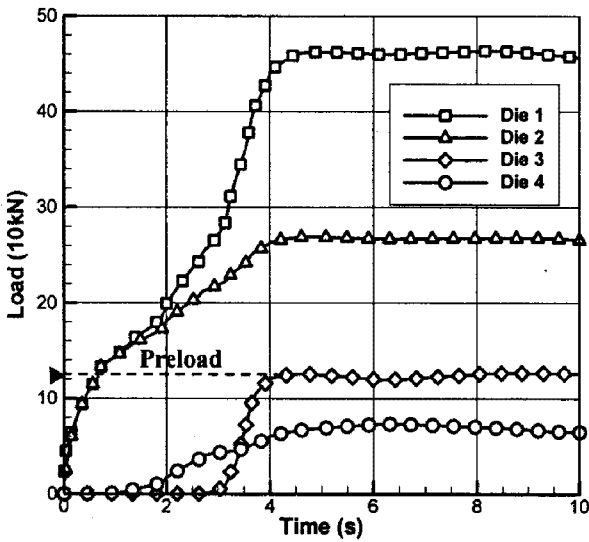
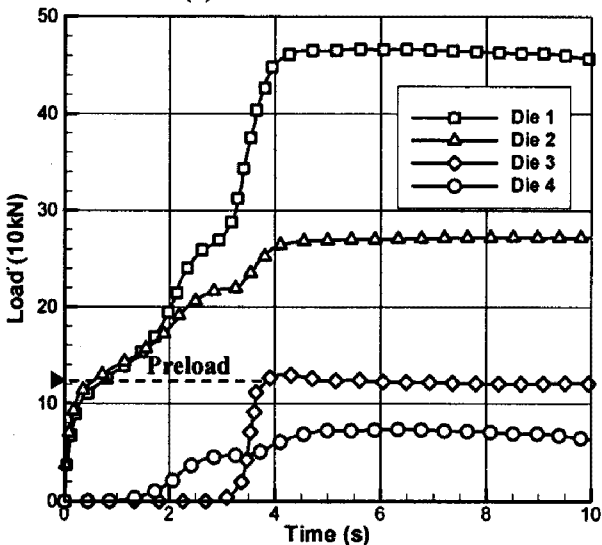


Fig. 2 History of plastic deformation



(a) Two-dimensional



(b) Three-dimensional

Fig. 3 Comparison of forming loads

2.2 적용 예제

적용 예제로 Fig. 4의 공정을 선정하였다. 이 공정은 펀치에 소매 금형(sleeve die)이 스프링으로 연결되어 있다. 스프링에는 124kN의 예압하중이

작용하고 있고, 스프링 상수는 1kN/mm, 스프링의 최대 허용 압축 길이는 10mm이다.

따라서 124kN이하의 하중이 소매 금형에 작용할 경우 펀치와 동일한 속도로 움직이고, 일정 이상의 하중이 작용하게 되면 힘의 균형을 유지하기 위하여 펀치와 소매 금형 간에는 상대운동이 발생한다.

소재의 유동응력은 $\bar{\sigma} = 757.0\bar{\epsilon}^{0.2}$ MPa이고, 마찰계수는 0.05로 가정하였다. 펀치의 속도를 1.0mm/s로 하였고, 소매 금형의 기준속도를 펀치의 속도와 동일하게 하였다. 따라서 소매 금형과 펀치의 상대속도에 의한 스프링의 압축량에 따라 소매 금형에 작용하는 하중이 선형적으로 변화한다.

해석 결과로 얻은 변형의 이력을 Fig. 5에 나타내었고, 성형하중과 스트로크의 관계를 Fig. 6에 나타내었으며, 소매 금형의 속도 변화를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 6과 Fig. 7로부터 소매 금형의 성형하중이 예압하중에 도달하는 순간까지는 소매 금형은

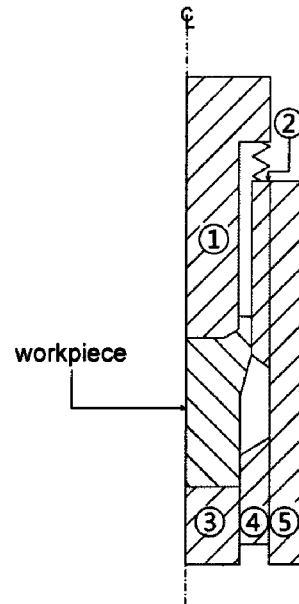


Fig. 4 Three-dimensional application example

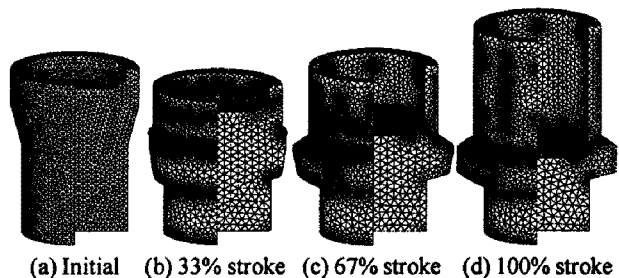


Fig. 5 History of plastic deformation

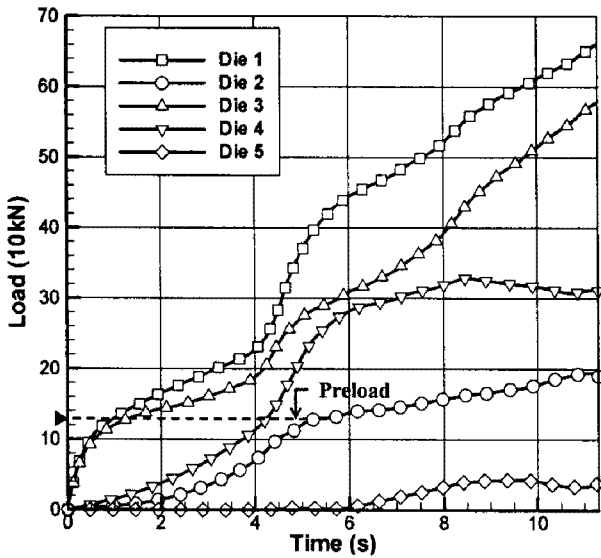


Fig. 6 Forming load variation with time

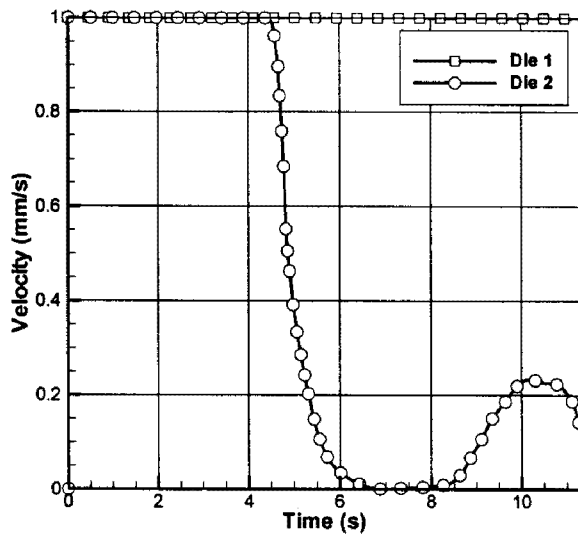


Fig. 7 Velocity of the back pressing die with time

기준속도로 움직이며 하중이 작아서 스프링의 압축이 발생하지 않았으므로 성형하중도 스프링과 무관하게 결정되었음을 알 수 있다. 그 이후에는 펀치와 소매 금형간의 상대운동이 발생하면서 스프링을 압축시키므로 요구된 스프링 상수에 비례하여 하중이 증가하고 있음을 Fig. 6의 금형②의 속도에서 보는 바와 같이 확인할 수 있다.

3. 결론

논문에서는 3차원 단조 공정 시뮬레이션에서 배압단조 공정의 해석기법을 제시하였다. 배압하중은 금형에 부착된 스프링 등의 수축력에 의하

여 부과되는 기계식 방법에 의하여 작용되는 것으로 간주하였다. 그리고 배압하중의 크기를 유연하게 조절하기 위하여 스프링이 부착된 금형에 기준속도를 도입하였으며, 이 속도에 따라 유공압 방식의 임의 가변 배압하중도 취급할 수가 있도록 하였다.

이미 검증이 된 바 있는 2차원 배압단조 공정 시뮬레이션 결과와 비교하기 위하여 수치적으로 비교적 까다로운 축대칭 전후방압출 공정을 선정하여 접근 방법의 타당성을 검증하였다. 그리고 펀치와 스프링으로 연결되어 있는 소매 금형이 포함된 전형적인 3차원 배압단조 공정의 시뮬레이션에 적용하였으며, 성형하중-스트로크 곡선을 평가한 결과, 요구된 거동 특성을 해석 결과가 잘 반영하는 것을 확인하였다. 따라서 확보된 기법을 활용하면, 예제에서 보는 바와 같이 난성형 정밀 단조 공정의 개발에 이바지할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 청정기반전략기술개발 사업 및 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0066590).

참 고 문 헌

- [1] H. Ando, K. Miyoshi, 2000, Net Shape Forging (Backpressure Forging), Journal of The Society for Technology of Plasticity, Vol. 41, No. 477, pp. 990 ~ 994.
- [2] 최상호, 전병운, 이민철, 박래훈, 엄재근, 전만수, 2006, 폐쇄단조용 복동링크유압식 다이세트의 개발, 한국소성가공학회지, 제15권, 제5호, pp. 373 ~ 381.
- [3] 전병운, 이진혁, 엄재근, 박정휘, 전만수, 2007, 후방 가압식 피어싱 및 중공축 압축 공법에 의한 난성형 재료 중공장축의 단조, 한국소성가공학회 학술대회 논문집, pp. 338 ~ 343.
- [4] M. S. Joun, S. W. Lee, J. H. Chung, 1998, Finite element analysis of a multi-stage axisymmetric forging process having a spring-attached die for controlling metal flow lines, Int. J. Mech. Tools and Manu., Vol. 38, No. 7, pp. 843 ~ 854.
- [5] <http://www.afdex.com>