

밀리부품 성형해석을 통한 Micro-Former 의 거동해석

윤종현* 허훈* 김승수** 최태훈** 나경환**

Structural analysis of the Micro-Former based on results from the forming analysis for milli components

J.H. Yoon, H. Huh, S.S. Kim, T.H. Choi, G.H. Na

Abstract

Manufacturing process for milli components has recently gained researcher's focus with the increasing tendency toward highly integrated and micro-scaled parts for electronic devices. The milli-components cannot be formed by the conventional manufacturing process since the parts require higher dimensional accuracy than the conventional ones. In order to enhance the forming accuracy and productivity, various forming procedures proposed and studied by many researchers. In this paper, forming analysis of milli-components has been studied with a new micro-former. In modeling of progressive dies, multi-stage forming sequence has been analyzed with finite element analysis by LS-DYNA3D. The analysis proposes the sequential die and part shapes with the corresponding punch force and dimensional accuracy. The analysis also considers the effect of elastic dies on the dimensional accuracy of the formed parts. The analysis result demonstrates that the elastic analysis in the milli-forming process is indispensable for accurate forming analysis. The analysis procedure in the paper will provide good information in design of a new micro-former and milli-component

Key Words : Backward extrusion , Elastic die, Forming analysis, Milli-structure, Micro-former

1. 서 론

전자, 통신부품을 비롯한 각종 부품들의 초소형화, 고기능화가 요구됨에 따라 수 mm 크기와 수 μm 의 정밀도를 갖는 부품을 대량 생산하기 위한 기술의 연구가 활발히 진행중이다. 이러한 미세 성형가공 기술은 정보통신기기나 정밀기기, 미세 수술 기구, 인공장기 같은 의료 시스템 등에 사용되는 부품 제작에 적합한 기술로서 크기는 미세 박판 성형과 미세 체적 성형으로 구분할 수 있다.

그러나 대부분의 생산 공정 시 체적성형과 박판 성형이 동시에 이루어지는 복합성형 양상을 띠게 되므로 공정이 복잡하고 정밀도 향상을 위한 후처리 공정 또한 매우 까다롭게 된다. 따라서 고가의 장비를 요구하게 되며 실제로 생산 공정 설계에 많은 비용이 들게 된다. 그러므로 미세성형 공정에서 유한요소 해석과 이를 기반으로 한 시뮬레이션 과정은 반드시 수반되어야 할 연구 방향이다. 본 논문에서는 이러한 수 mm 의 직경을 갖는 원통형 소재를 다단계 성형하여 복잡한 형상

* 한국과학기술원

** 한국생산기술연구원

을 만들어 내는 micro-former 의 성형 부를 해석하며 이를 통하여 성형 정밀도 향상을 위한 방법과 금형의 탄성 해석의 필요성 등을 검토하였다. 또한 이러한 성형해석 결과는 개발중인 micro-former 의 성형 용량을 결정하고 평가하기 위한 구조해석의 경계조건으로 활용될 수 있다.

2. 성형 해석

2.1 해석조건

총 7 단계로 구성되는 본 예제는 전형적인 후방 압출의 예제가 되며 6 단계 성형 공정의 경우 5 단계까지의 순차적인 펀치의 진행으로 초기 소재의 안쪽에 홈을 내게 되고 다음 6 단계 공정에서는 이 홈 끝 단의 살을 밀어내어 구멍을 뚫게 되는 펀칭 과정이 된다. 축대칭 요소를 사용하였으며 다단계 성형공정 시 소재가 이송되면서 각 단계의 성형과정을 거치므로 이러한 이송다이 (progressive die)의 효과를 고려하여 매 전단계의 유효소성 변형률 등의 상태 변수들을 다음 단계의 성형해석에 고려할 수 있도록 하였다. 초기 소재의 반경이 대략 1.1mm 의 작은 치수를 이루므로 초기격자 수는 격자크기 0.1mm 정도의 940 개 요소를 사용하였으며 해석 도중에 소재의 왜곡과 변형이 극심해 지므로 적응적 격자분할 방법 (adaptive remeshing)을 추가하여 해석의 효율을 높였다. 또한 해석 방법에 따른 부품의 치수 정밀도를 검증하기 위하여 다이를 탄성체로 가정하여 추가로 해석하였다.

2.2 성형해석 결과(Punch force)

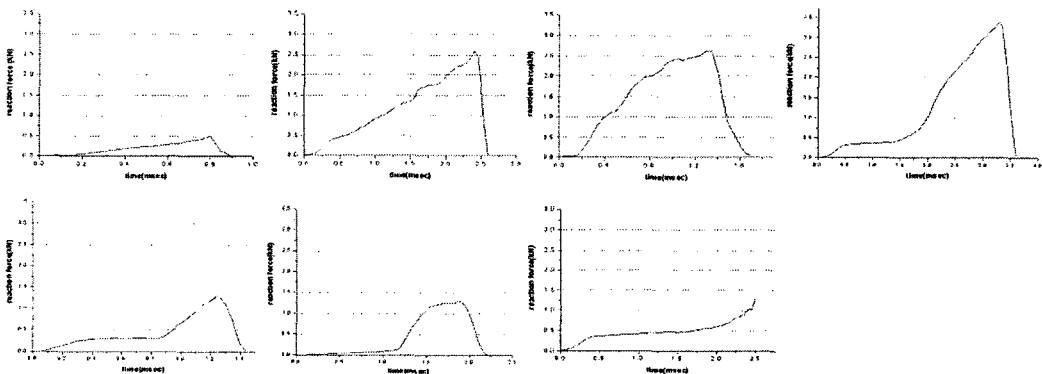


Fig. 1 Punch force vs. time for each process (stage 1~7)

Fig. 1 에서 보는 바와 같이 1 단계 성형공정은 성형 전에 예비성형체를 만드는 단계로서 드로잉 양이 상대적으로 작기 때문에 펀치반력 또한 작게 평가되고 있다. 전반적으로 비슷한 수준의 펀치반력을 나타내고 있으며 드로잉 양이 상대적으로 많은 2, 3, 4 단계 공정에서 다소 높은 펀치반력을 얻을 수 있었다. 또한, Fig. 4 에서와 같이 드로잉 후 펀치가 빠지면서 소재에 걸리는 높은 압력과 응력으로 인하여 소재의 치수가 달라지는 결과를 볼 수 있다. 즉, 변형이 집중되는 펀치 끝 단과 소재가 접촉하는 영역에서의 소재 복원량은 최대 6%정도까지 최종 치수와의 차이를 보이게 된다. 그러므로 정확한 성형정밀도를 요구하는 해석의 경우 탄소성해석을 통한 탄성 복원량에 대한 효과를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

2.3 다이(Die)의 탄성해석

금형의 탄성 효과에 따른 영향을 살펴보기 위하여 다이 금형을 탄성체로 가정하여 해석을 수행하였다. 즉, 이전의 해석과 동일한 조건과 형상을 갖는 금형을 두고 다이를 강체가 아닌 탄성체로 가정하여 해석을 수행하였으며 해석도중에 펀치의 진행으로 인하여 소재에 걸리는 압력이 상승함에 따른 다이의 변형을 도시하였다. 이러한 다이의 변형 양을 정량적으로 표현하기 위하여 Fig. 2 과 같이 펀치의 진행에 따라 해석 단계를 나누고, 정해진 시점에서 다이 벽면과 소재의 바깥쪽 벽면의 위치를 그려보았다. 앞의 3 단계는 펀치가 전진함에 따른 상태를 선정하였으며 뒤의 3 단계는 펀치가 빠지는 단계를 선정하여 다이 벽

면의 변형 양상을 살펴보았다. 위의 그림에서 보는 바와 같이 펀치가 진행되는 동안 소재는 초기 다이의 위치보다 원주 방향으로 더 많은 양 변화하는 것을 볼 수 있다. 즉, 펀치가 진행되는 동안 다이의 탄성 변형으로 인해 소재와 다이가 다소 벌짐(bulging)과 같은 변형을 하고 있는 것으로 판단된다. 이를 자세히 살펴보면 Fig. 3 (a)에서 보는 바와 같이 1 단계 성형 과정에서는 다이의 변형이 일어난 뒤, 펀치가 빠지는 과정에서 다이가 다시 복원되는 것을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 3 (b), (c)에서는 펀치가 빠지고 난 뒤에도 소재가 초기 다이 위치보다 원주방향으로 볼록해져 있는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 이유는 해석 도중에 발생하는 다이에서의 응력 집중이 2, 3 단계에서 가장 크게 나타나기 때문에 펀치가 언로딩(unloading)된 후에도 소재의 가운데 부분이 원주방향으로 볼록해진 형상을 유지하게 되는 것으로 판단된다. 그렇지만 이러한 2, 3 단계를 제외하고 다른 단계의 해석 과정에서는 펀치의 언로딩 후에 다이의 벽면은 초기 위치를 유지하는 것을 볼 수 있다.

3. Micro-Former의 구조해석

3.1 Micro-Former의 형상 및 구조

개발 중인 Micro-Former는 밀리부품의 다단계 성형공정을 수행하는 기기로서 400rpm의 속도로 2회전 당 1개를 생산하는 높은 생산성을 갖는다. 단계별 성형 공정을 수행하기 위해 한단계의 성형이 끝나면 소재를 다음단계로 이송해 주는 방식으로 다단계 성형공정을 수행하게 되며 개략적인 작동원리는 Fig. 5와 같다.

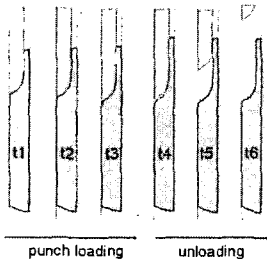


Fig. 2 Progressive time steps during the analysis for loading and unloading

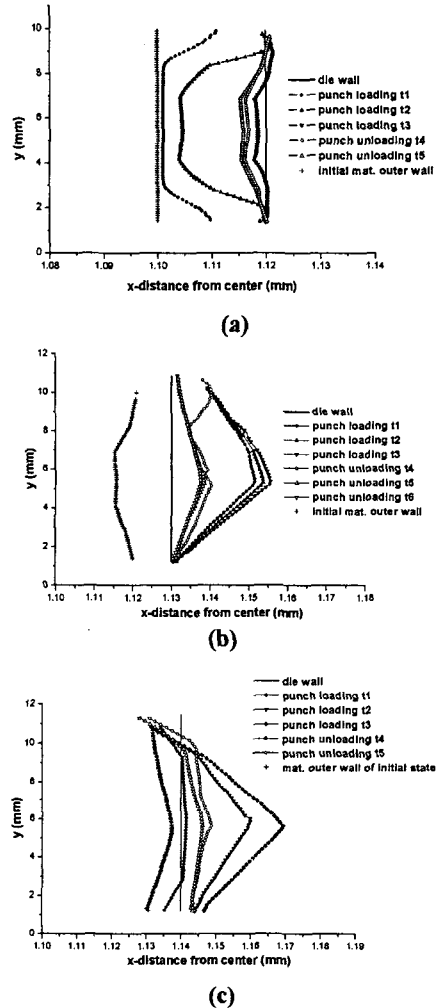


Fig. 3 Dimension change of die and material outer wall during each stage: (a) stage 1; (b) stage 2; (c) stage 3

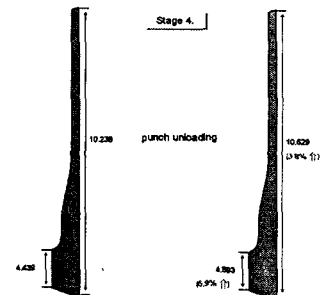


Fig. 4 Difference in dimensions unloading states

3.2 Micro-Former 의 거동해석

Micro-Former 의 거동해석을 수행하기 위하여 Fig. 6 과 같이 모델링을 수행하였으며 이전 성형 해석으로부터 구한 펀치 반력을 Micro-Former 의 거동해석 시 펀치와 다이가 닫히는 순간에 적절히 추가하게 된다(Fig. 9).

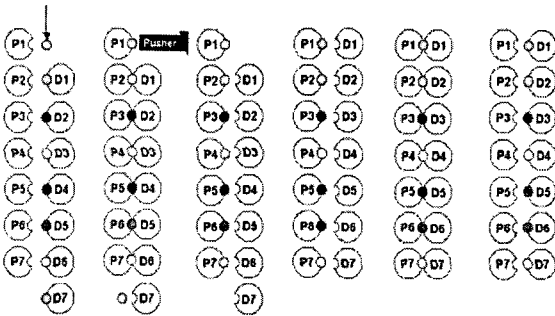


Fig. 5 Forming sequence in Micro-Former

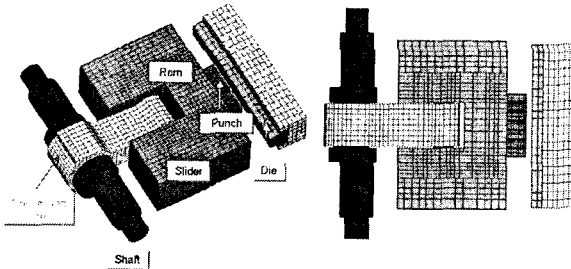


Fig. 6 Modeling of the Micro-Former

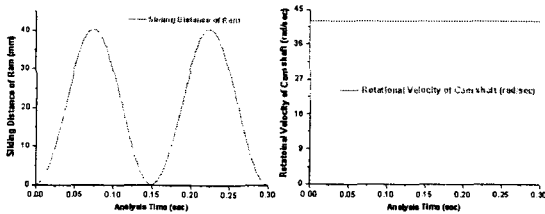


Fig. 7 Sliding distance of ram and rotational velocity of cam shaft

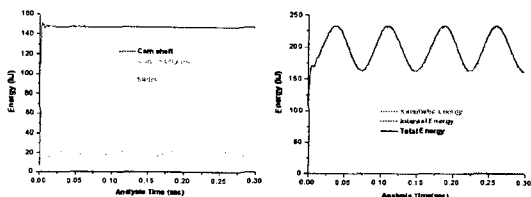


Fig. 8 Kinetic and internal energy during the analysis

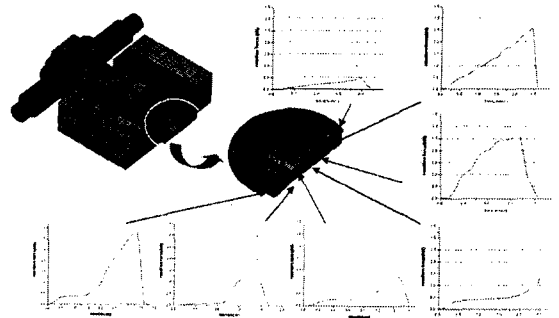


Fig. 9 Input the punch force on the die of Micro-former

4. 결 론

본 논문에서는 개발중인 Micro-former 의 성형 용량을 결정하고 평가하기 위하여 미세부품의 다 단계 성형해석을 수행하였으며 이로부터 계산한 펀치력을 Micro-former 의 거동해석 시에 외부입력 값으로 추가한 뒤 해석을 수행하였다. 해석 결과 Micro-former 의 각 부분은 탄성한계를 넘지 않았으며 대부분의 영역이 다소 오버디자인(over-design)된 결과를 보여 개선과 설계의 변경이 요구됨을 확인하였다. 따라서 Micro-former 성능 향상과 효율적인 설계를 위하여 구조물의 최적설계를 통한 연구가 계속 진행되어야 할 것으로 판단 된다.

참 고 문 헌

- (1) H. Long, R. Balendra, 1998, "Evaluation of elasticity and temperature effects on the dimensional accuracy of back-extruded components using finite element simulation." J. Materials Processing Technology, Vol.80, 665-670
- (2) 장동환, 최호준, 최진화, 2000, "후방압축과 연계한 레이디얼 압출의 성형특성에 관한연구" 한국소성가공학회지, 제 9 권, 제 7 호, 754-760
- (3) Younseon Lee, Junghwan Lee, T. Ishikawa, 2002, "Analysis of the elastic characteristics at forging die for the cold forged dimensional accuracy", J. Materials Processing Technology, Vol.130, 532-539
- (4) 나경환, 2002, "미세 성형 개발 기술 현황", 한국소성가공학회지, 제 11 권, 제 3 호, 217-222
- (5) LS-DYNA 970 Keyword User's Manual