

밀리부품 성형 정밀도 향상을 위한 다단계 미세성형 해석

윤종현* · 허훈* · 김승수** · 최태훈** · 나경환**

Multi-stage forming analysis of milli component for improvement of forming accuracy

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

Abstract

Globally, the various machine components, as in electronics and communications, are demanded to being high-performance and micro-scale with abrupt development of the fields of computers, mobile communications. As this current tendency, production of the parts that must have high accuracy, so called milli-structure, are accomplished by the method of top-down, differently as in the techniques of MEMS, NANO. But, in the case of milli-structure, production procedure is highly costs, difficult and demands more accurate dimension than the conservative forming, processing technique. In this paper, forming analysis of the micro-former as the milli-structure are performed and then calculate the punch force etc. This information calculated is applied to decide the forming capacity of micro-former and design the process of forming stage, dimension of dies in another forming bodies. And, for the better precise forming analysis, elasto-plastic analysis is to be performed, then the consideration about effect of elastic recovery when punch and die are unloaded, have to be discussed in change of dimensions.

Key Words : Milli-structure, forming analysis, Micro-former, Backward extrusion

1. 서론

최근의 컴퓨터 및 이동통신의 급속한 발전과 함께 전자, 통신부품을 비롯한 각종 부품들의 초소형화, 고기능화가 요구되고 있다. 이러한 추세에 따라 수 μm 의 크기와 수 nm 의 정밀도를 갖는 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)기술과 NANO 기술에 대한 연구가 활발히 전개되고 있다. MEMS 기술의 경우 기존의 생산, 가공 공정과

는 완전히 다른 전기도금(electroplating) 기술이나 리소그래피(lithography) 등의 기존 기계공학적 생산, 가공 방법을 넘어선 기술을 사용하게 되며 NANO 기술 역시 분자, 원자 단위를 기초로 한 AFM(atomic force microscope) 기술과 미세식각공정(nanoimprinting) 기술 등의 새로운 기술을 접목시키는 생산 방법이다. 그러나 이러한 미세 기술의 경우 초미세 단위의 치수와 정밀도를 목표로 하므로 수 mm 단위 이상의 구조물을 대량 생산

* 한국과학기술원 기계공학과

** 한국생산기술연구원

하기 위한 기술로는 적합하지 않다. 이러한 MEMS와 NANO 단위 이상의 mm 에서 수 μm 정도에 이르는 미세 성형가공 기술은 정보통신기나 정밀기기, 미세수술 기구, 인공장기 같은 의료 시스템 등에 사용되는 부품 제작에 알맞은 기술로서 크게는 미세 박판 성형과 미세 체적 성형으로 구분할 수 있다. 그러나 대부분의 생산 공정 시 체적성형과 박판 성형이 동시에 이루어지는 복합 성형 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 연구방향이다. 본 논문에서는 이러한 수 mm의 직경을 갖는 원통형 소재를 다단계 성형하여 복잡한 형상을 만들어 내는 micro-former의 성형 부를 해석하며 이를 통하여 성형 정밀도 향상을 위한 방법과 금형의 탄성 해석의 필요성 등을 검토해 보고자 한다. 또한 이러한 성형 해석 결과는 개발 중인 micro-former의 성형 용량을 결정하고 평가하는데 지표로 사용될 수 있다.

2. Micro-former의 형상 및 구조

2.1 Micro-former

fig. 2.1에서 보는 바와 같이 Micro-Former의 경우 mm 단위의 직경을 갖는 원통형 소재를 다단계 성형 단계를 거쳐 복잡한 형상의 미세 구조물을 만들어 내는 시험기로서 모터를 통하여 구동되는 구동부와 펀치와 다이로 구성되는 성형부로 크게 나눌 수 있다. 성형부의 경우 주 모터에 연결된 메인 샤프트(shaft)가 회전하면서 편심 캠(cam)이 샤프트의 회전운동을 펀치의 상하 운동으로 전달하여 성형 공정을 수행하게 된다.

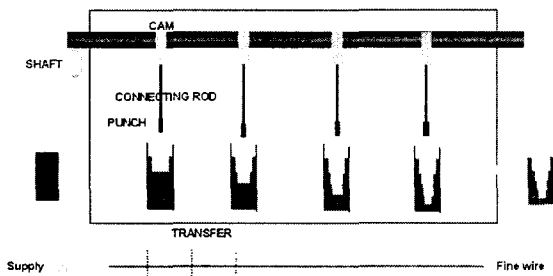


Fig. 2.1 Micor-former

성형부의 각 단계는 7단계로 구성되며 한 단계의 성형 공정이 수행되면 다음단계의 성형공정을 위해 이송기구를 통하여 다음단계의 금형 위치로 옮겨지게 된다. 이와 같은 방식의 다단계 성형 공정을 통하여 최종적으로 복잡한 형상의 성형물을 만들게 된다. 구성된 단계별 성형 모델은 fig. 2.2와 같으며 본 논문에서는 이 과정을 통하여 형광등핀 모델을 성형하게 된다.

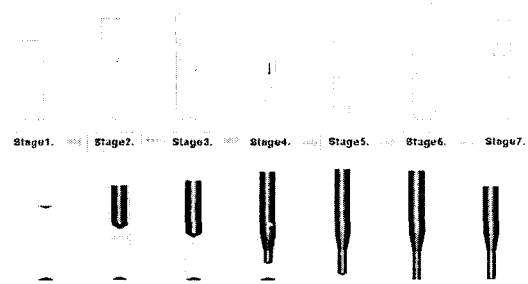


Fig. 2.2 The shape of forming model at each stage

3. 성형 해석

3.1 해석조건

해석은 탄소성 해석 코드인 LS-DYNA3D를 사용하였으며 적용된 재료의 물성은 황동 계열의 재료에 대해 실험으로부터 얻은 fig. 3.1의 물성치를 적용하였다.

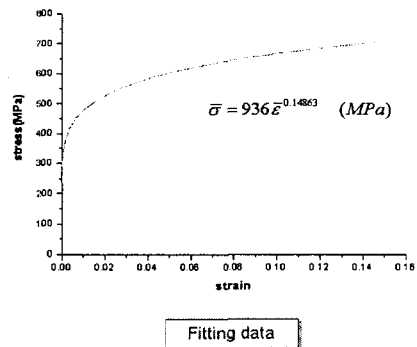


Fig. 3.1 material property

총 7단계로 구성되는 본 예제는 전형적인 후방 압출의 예제가 되며 6단계 성형 공정의 경우 5단계까지의 순차적인 펀치의 진행으로 초기 소재의 안쪽에 흠을 내게 되고 다음 6단계 공정에서는 이 흠 끝단의 살을 밀어내어 구멍을 뚫게 되는 펀칭 과정이 된다. 그러나 이러한 공정은 펀치에 걸리는 반력이 상대적으로 낮고 최종 형상의 결정에 지배적인 영향을 미치지 않으므로 이를 생략하고

전체를 6단계 공정으로 가정하여 해석하였다. 또한 사용된 요소로는 축대칭 요소를 사용하였으며 다단계 성형공정 시 소재가 이동되면서 각 단계의 성형과정을 거치므로 이러한 이송다이(progressive die)의 효과를 고려하기 위하여 fig. 3.2와 같이 모델링 하여 매 전단계의 유효소성 변형률 등의 상태변수들을 다음 단계의 성형해석에 고려할 수 있도록 하였다. 즉, 기준점을 중심으로 각 단계의 펀치와 다이를 정렬한 뒤 금형간의 접촉조건을 조절하여 단계별 다이와 펀치간의 침투와 간섭을 무시하도록 한 뒤, 각 단계의 성형 해석이 끝나는 시점에서 그 단계에 사용된 다이와 펀치를 제거해주는 방법으로 해석을 진행시키게 된다. 초기 소재의 반경이 대략 1.1mm의 작은 치수를 이루므로 초기격자 수는 격자크기 0.1정도의 940개 요소를 사용하였으며 해석 도중에 소재의 왜곡과 변형이 극심해 지므로 적응적 격자분할 방법(adaptive remeshing)을 추가하여 해석의 효율을 높였다.

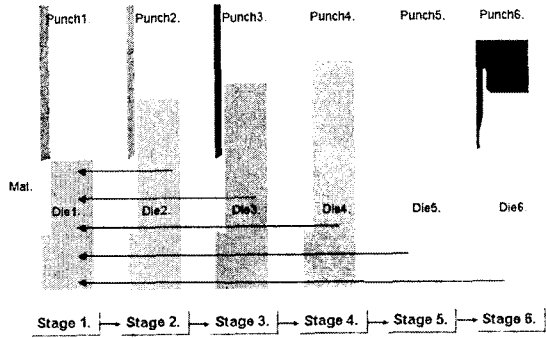


Fig. 3.2 modelling of progressive die

3.2 단계별 성형해석

해석 시 다이와 펀치는 강체로 가정하였으며 각 단계의 성형 해석을 통하여 펀치에 걸리는 하중과 성형 후 최종형상을 계산하였다. 또한 펀치를 제거한 뒤에 소재의 복원에 따라 치수가 어떻게 달라지는지를 평가해 보았다.

3.2.1 성형해석 결과 (shape)

해석 초기에 사용된 격자는 940개 정도였으며 해석 도중에 remeshing 조건에 따라 6900여개 까지 증가되어 변형이 집중되는 부분의 형상을 잘 묘사하고 있다. 각 단계별로 성형 해석을 통해 얻은 최종 형상은 fig. 3.4와 같다. 펀치가 진행함에 따라 소재 안쪽 부분이 깊게 늘

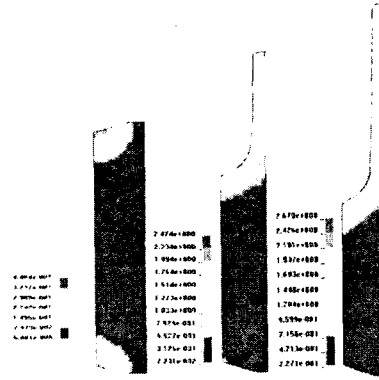


Fig. 3.3 Distribution of effective plastic strain(stage1~stage3)

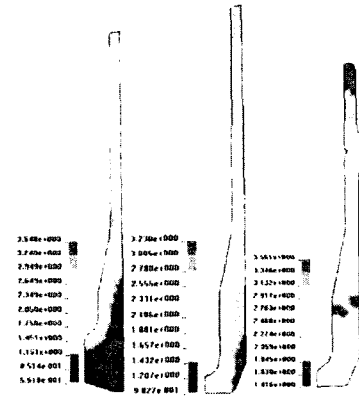


Fig. 3.4 Distribution of effective plastic strain(stage4~stage6)

리게 되어 변형의 대부분이 이 곳에서 일어남을 알 수 있다. 또한 후방으로 밀려나오는 살이 펀치의 진행에 따라 길어지고 있는 것이 관찰되었으며 실제로 이 부분의 반경 방향 요소 수는 최소한 4개가 되도록 해석하여 해석의 정확도를 높였다. 6단계 성형 해석을 거친 후 얻어진 최종형상은 fig. 3.4의 세 번째 그림과 같으며 이는 5 단계까지 해석을 통해 얻어진 소재의 형상을 반경방향으로 유동하도록 하여 불룩한 형상의 벽면을 갖도록 하는 래디얼 압출의 예제가 된다.

3.2.2 성형해석 결과 (punch force)

성형해석을 통하여 펀치와 소재 사이에 발생하는 반력을 계산하며 이렇게 계산된 펀치반력은 개발 중인 micro-former의 성형용량을 결정하는 지표가 되며 성형물의 변화에 따라 적응적으로 공정변수를 설계하고 평가

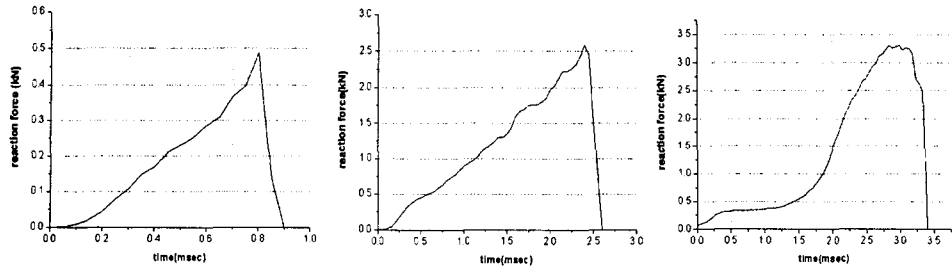


Fig. 3.5 punch force

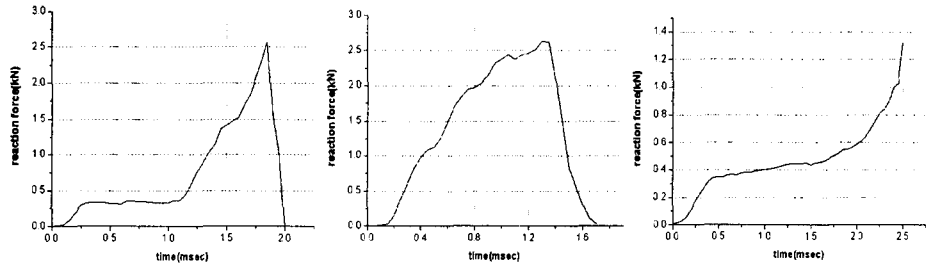


Fig. 3.6 punch force

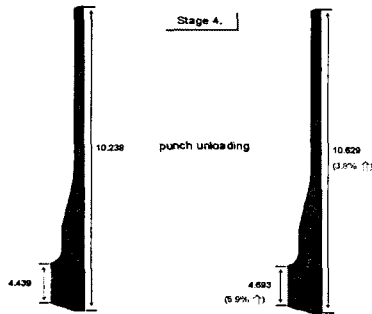


Fig. 3.7 difference of dimension in punch unloading

하는 가이드라인을 제공하게 된다. fig. 3.5에서 보는 바와 같이 1단계 성형공정은 성형 전에 예비성형체를 만드는 단계로서 드로잉 양이 상대적으로 작기 때문에 펀치 반력 또한 작게 평가되고 있다. 전반적으로 비슷한 펀치 반력을 나타내고 있으며 6단계 공정에서는 펀치와 다이 가 닿히는 과정에서 반력이 증가하지만 다소 작은 펀치 반력을 보이게 된다. 또한, 드로잉 후 펀치가 빠지면서 소재에 걸리는 높은 압력과 응력으로 인하여 소재의 치수가 달라지는 결과를 볼 수 있다. fig. 3.8에서 보는 바와 같이 변형이 집중되는 펀치 끝단과 소재가 접촉하는 영역에서의 소재 복원량이 가장 크게 되며 크게는 대략 6%정도까지 최종 치수와의 차이를 보이게 된다. 그러므로 정확한 성형정밀도를 요구하는 해석의 경우 탄소성해석을 통한 탄성 복원량에 대한 효과를 고려하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서와 같이 수 mm의 정밀도를 요구하는 미세 밀리 구조(milli-structure)에 대해서는 성형 정밀도 향상을 위하여 탄소성 해석이 필요하며 펀치와 다이의 unloading 후에 발생하는 탄성 복원량에 대한 고찰도 필요할 것으로 판단된다. 또한 금형의 탄성 효과에 따른 치수 변화 또한 고찰 해 볼 필요가 있다. 이에 대한 정확한 계산은 진행 중이며 앞으로 보다 정확한 해석을 위하여 추가되어야 할 부분으로 판단된다.

참고 문헌

- (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" 한국소성가 공학회지, 제9권, 제7호, 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