

초미세 마이크로 소성성형 가공시스템 기술 개발

이 글에서는 일반적인 마이크로 팩토리 시스템에서 소성성형 모듈로 사용되는 마이크로 소성성형 가공시스템 개발에 관한 기술을 언급하고자 한다. 마이크로 소성성형 가공시스템은 수십 μm 에서 수 mm까지의 초소형 부품을 데스크탑(desk-top) 형태의 장비로 성형할 수 있는 초정밀 성형시스템이다.

마이크로 프레스는 수십 μm 에서 수 mm 치수를 갖으며 sub- μm 에서 수 μm 의 정밀도를 갖는 판재 또는 벌크 부품을 성형하기 위한 초정밀 성형용 프레스로서 마이크로 팩토리의 공정 모듈로 적용될 수 있는 소형의 미소기계 시스템을 뜻한다. 기존의 성형용 프레스는 주로 유압이나 기계적 방식을 이용한 구동기(actuator)를 사용하고 있으며 장비의 크기가 커서 많은 공간을 차지하게 된다. 이러한 큰 용량의 성형용 프레스를 가지고 수십 μm 에서 수 mm 치수를 갖으며 sub- μm 에서 수 μm 의 정밀도를

갖는 정밀 부품을 성형한다는 것은 비효율적이고 성형목적에 적합하지 않다고 볼 수 있다. 본 연구를 통해 제시하는 마이크로 성형 프레스는 서보모터(servo motor)를 이용하며, 그림 1(b)에 나타난 바와 같이 데스크탑 형태로서 소요 전력과 공간을 크게 절약할 수 있다. 그림 1은 기존의 성형용 프레스와 본 연구에서 주요 목표로 하고 있는 마이크로 성형 프레스를 비교하기 위해 제시한 사진이

고, 표 1에 기존 성형 프레스와 마이크로 성형 프레스의 간략한 비교를 나타내었다. 물론 장비 크기, 성형품 크기, 성형품 정밀도는 성형 부품의 재질, 형상 등에 따라서 표 1의 범위를 벗어날 수도 있으며, 이와 같은 마이크로

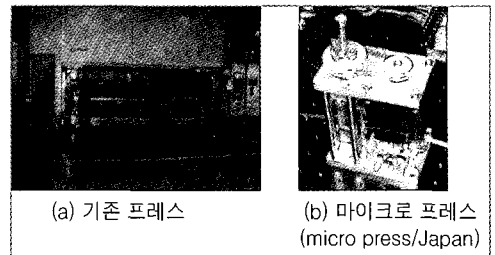


그림 1 성형 프레스의 비교

성형 프레스와 관련된 크기(size) 및 정밀도(accuracy)는 성형품의 생산량 및 기존 프레스를 제작하는 경우와의 장비 제작비용 등을 총괄적으로 감안하여 결정되어야 한다.

이와 같은 마이크로 프레스의 등장은 마이크로 로봇, 초소형 액츄에이터, 초소형 치차 모듈 등의 정밀 기계 부품, 초소형 필터, 초소형 고효율 열교환기 등의 유체 공학적 부품, 초소형 의료용 부품, 첨단 전자 통신 기기 등은 빠른 추세로 소형화되고 있으며, 이 분야의 시장이 큰 폭으로 확대되고 있는 상황에 기인하며, 이와 같은 변화에 대응하기 위해서는 다양한 소재에 관하여 초소형 고정밀 생산이 가능하면서 생산성이 높은 마이크로 성형 및 기계 가공 기술 개발이 필요하다. 이중 마이크로 성형 기술은 금속, 폴리머 등 다양한 소재의 임의의 3차원 초소형 형상 제조에 적용이 가능하고 재료 이용 효율을 극대화할 수 있는 생산성 높은 생산 기술로서 일본, 독일 등 기술 선진국에서도 개발이 진행 중인 기술이며 국내에서도 관련 연구가 활발히 진행 중이다.

성형품의 크기가 작아지게 되면, 금형의 크기와 성형 하중도 작아지게 되므로 전체적인 성형 장비의 크기가 작아지는 것이 보다 효율적이다. 이러한 마이크로 성형 장비의 소형화는 구동부의 이동 거리 최소화, 작업 공간의

효율적 이용 등의 장점을 확보할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한, 장비 및 공구(tool)가 소형화됨에 따라 관성력 감소와 시스템의 높은 고유 진동수를 얻을 수가 있으므로 이를 통해 고정밀 제어가 가능하여 성형 정밀도를 증대할 수 있다. 그리고 장비 및 전체 공정의 축소를 통하여 생산공장의 이동성이 확보되므로 수요처에 가까운 곳에서 생산이 가능하므로 물류비 절감, 신속한 시장 개척 및 해외 시장 진출 등이 가능하다.

성형 장비의 소형화는 이와 같이 여러 가지 장점을 가지고 있지만 이를 성취하기 위해서는 고강성을 갖는 정밀 프레임, 초미세 해상도를 갖는 고정밀 구동부, 마이크로 팩토리 내부의 다른 마이크로 장비와의 간섭을 막고 자체 구동 특성을 높이기 위한 구조 해석 및 동특성 해석, 높은 표면 조도를 갖는 정밀 공구 등에 관

한 기술이 확보되어야 한다. 또한 성형품이 미세해짐에 따라서 기계적인 정밀 제어가 필수적이다. 현재까지 국내에서는 미세한 크기를 갖는 부품 성형에 관한 연구는 진행 중이지만 장비의 소형화는 연구가 미흡한 상황이므로 본 연구에서 마이크로 성형 기술의 효율을 극대화하기 위해서 필수적인 박판 성형용 마이크로 프레스 장비 개발 및 이와 관련된 연구결과에 대해 기술하고자 한다.

인치웜 모터를 이용한 마이크로 고정밀 구동 시스템

마이크로 팩토리의 마이크로 성형 프레스를 개발하기 위해서는 반드시 고하중, 대변위의 특성을 가지는 고정밀 구동시스템이 필요하다. 본 연구에서는 고하중, 대변위의 특성을 가지는 압전 가

표 1 기존 프레스와 마이크로 프레스의 비교

	기존 성형 프레스	마이크로 성형 프레스
장비크기	수십cm ~ 수m	수cm ~ 수십cm
성형품 크기	수cm ~ 수십cm	수백 μm ~ 수십mm
성형품 정밀도	수십μm ~ 수백μm	수백nm ~ 수μm
생산성	고	고
형상	3D	3D
제어성	중	고
성형소재 종류	금속, 폴리머, Glass 등	금속, 폴리머, Glass 등
성형품 종류	자동차용 부품, 주방용품 등	초소형 전자 부품 등
설치비	고	저
부가가치	저	고

진기(piezo actuator)를 이용한 소형 인치웜(inchworm) 형태의 구동기를 개발하였고, 개발된 인치웜 형태 구동기의 신뢰성을 확보하기 위해 시스템의 정/동적 구조해석(structural analysis)을 수행하였다. 일반적인 인치웜 형태의 구동기는 구동부(actuating component)가 고정가이드(fixed guide)를 따라 움직인다. 그러나 본 연구에서 개발한 구동기는 구동부가 Z축에 고정되어 있고, 고정 가이드가 움직이는 형태를 하고 있다. 이러한 방식의 고정 가이드를 기존 인치웜 형태와 구분하기 위해 공구 가이드(tool guide)라고 명칭을 부여하였다. 본 연구를 통해 개발한 인치웜 형태의 구동기는 고정용 구동기(clamping actuator), 신장용 구동기(extender actuator) 그리고 공구 가이드의 세 부분으로 구성되어 있다. 그림 2에 개

발된 구동기 시스템의 구동절차를 나타내었다.

구조해석은 압전 가진기(piezo actuator)가 가지고 있는 고유 이력특성(hysteresis characteristic)을 줄이고, Al6061-T6

재질로 제작된 구동부의 신뢰성을 향상시킬 수 있도록 수행되었다. 그림 3(a, b)에 나타낸 바와 같이 구동부의 좌측면은 모든 자유도가 구속되었고, 우측면은 최대 변위(고정부: $79\mu\text{m}$, 신장

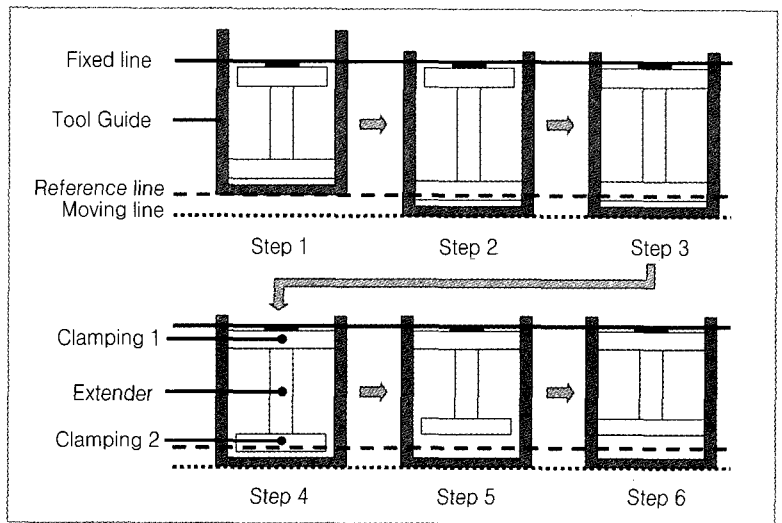


그림 2 개발된 인치웜 구동기의 구동절차

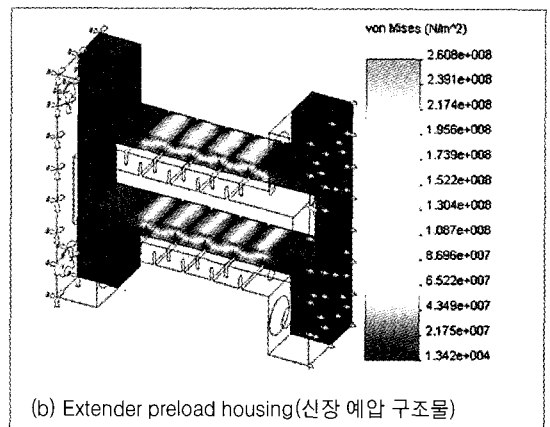
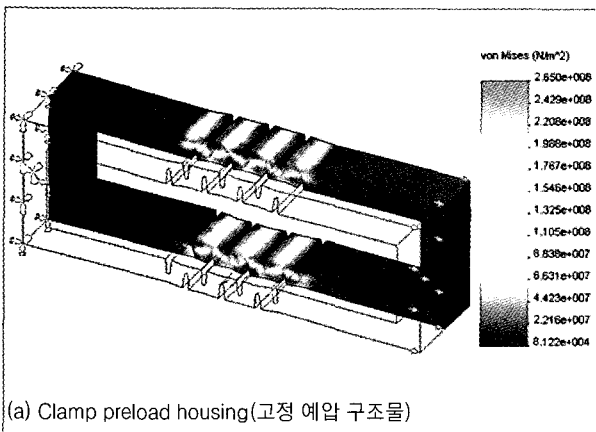


그림 3 고정/신장 구조물의 구조해석 결과

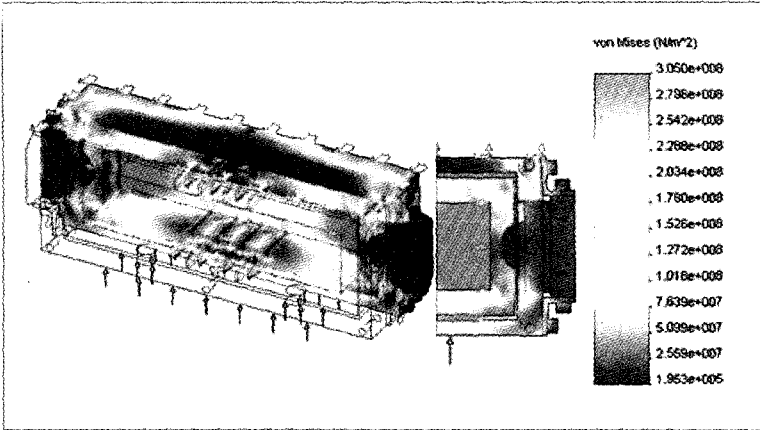


그림 4 개발된 인치침 구동 시스템의 해석결과

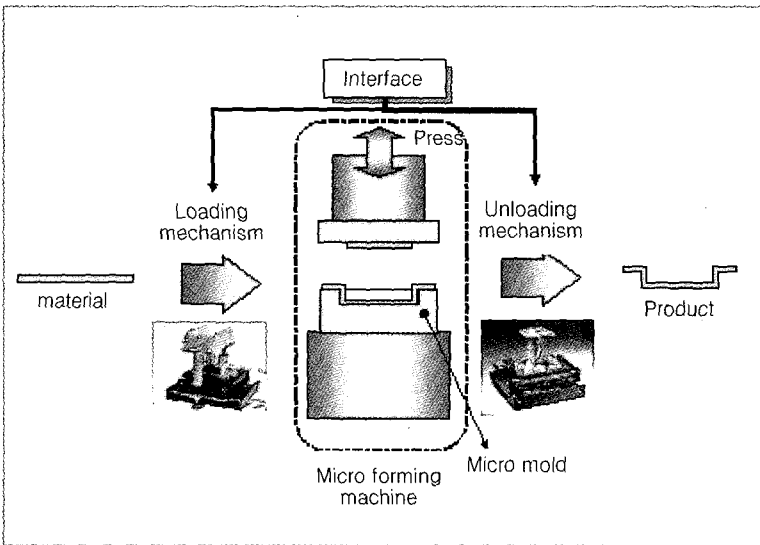


그림 5 Loading/unloading 시스템 원리

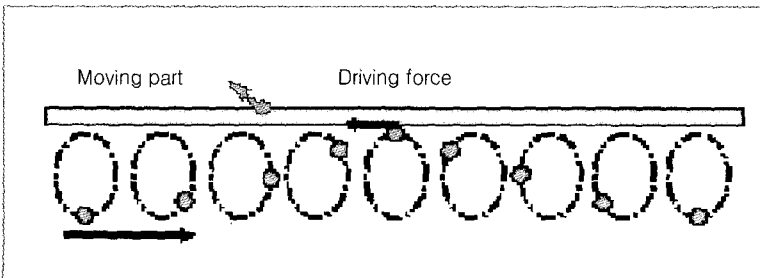


그림 6 웨이브 구동방식 구동기의 구동원리

부:67 μ m)로 움직인 경우로 구조 해석을 수행하였다.

그림 3(c)에 고정 예압 하우징의 실제 구속조건과 동일한 조건에서 해석한 구조해석 결과를 나타내었다. 해석에 사용한 구속조건은 상부면을 Z축에 고정하고, X축 방향으로 40 μ m 변위를 주었고, 하부면은 신장부의 구동력인 1,600N이 가해진 것으로 하였다. 해석결과와 해석결과를 바탕으로 실제 제작된 시스템의 사진을 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 고정부와 신장부의 최대응력은 재료(Al6061-T6)의 항복응력보다 낮게 나왔고, 최대응력이 작용하는 부위가 외부 케이스에 있으므로 구조적으로 안전한 것으로 확인이 되었다.

소재의 정밀 loading/unloading 시스템

Loading/unloading 시스템(그림 5)은 가공하고자 하는 원소재를 소성성형시스템에 공급을 하고, 가공된 제품을 외부로 내보내는 시스템으로 다양한 대상품목에 대해 유연성을 가져야만 하므로 모듈화 개념으로 설계되었다.

본 연구에서는 loading/unloading 시스템의 구동원으로 웨이브(wave) 구동방식의 압전 가진기를 사용하였다. 이러한 웨이브 구동방식의 구동기는 적은 부피, 고속도, 간단한 구조와 최

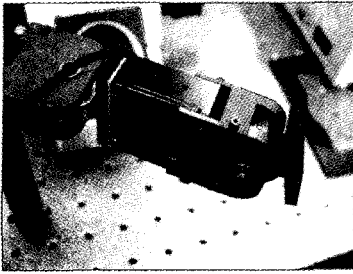


그림 7 제작된 R-R 형태의 Loading/unloading 시스템의 사진

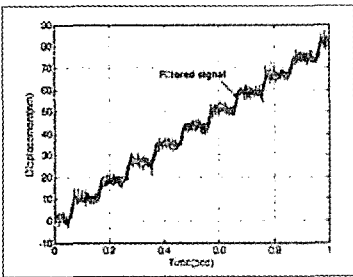


그림 8 제작된 R-R 형태의 Loading/unloading 시스템 실험결과

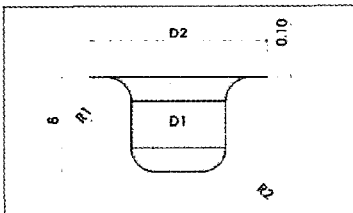


그림 10 블랭크 크기 계산 대상

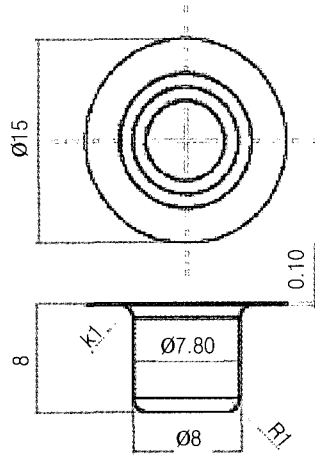


그림 9 성형 대상의 형상과 크기

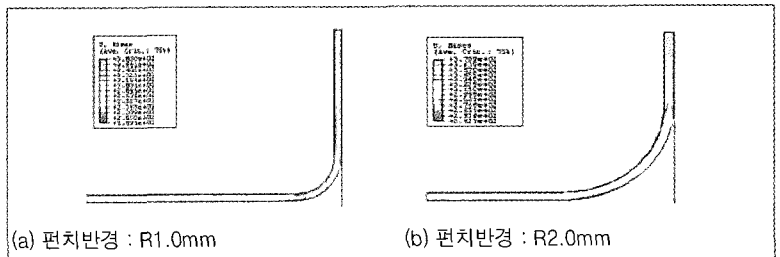
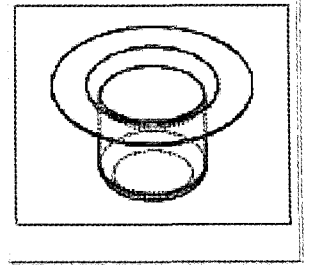


그림 11 펀치반경의 응력집중결과 비교

적의 토크를 가지는 장점을 가지고 있다. 구동원리는 그림 6에 나타내었다.

실제 제작된 R-R(Rotation to Rotation) 형태의 Loading/unloading 시스템의 사진을 그림 7에 나타내었다. 소재 취급을 위한 그림부(grip part)는 R-R 형태의 loading/unloading 시스템의 끝단에 장착될 것이다. 제작된 시스템은 그림 8에 나타낸

실험결과와 같이 0.0025°의 회전 정밀도를 가진다.

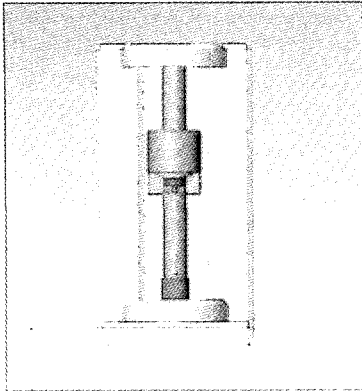
데스크 탑 형태의 마이크로 프레스 시스템의 성형성 해석결과와 실험결과

마이크로 소성성형(press) 시스템의 성형성을 평가하기 위한 성형대상의 형태와 크기는 그림 9와 같고, 해석 및 실험에서

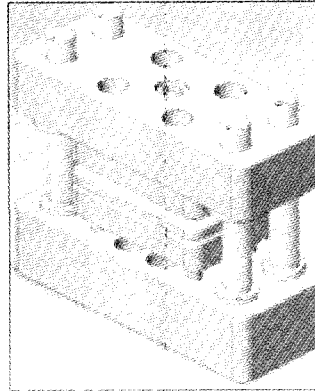
100μm 두께를 가지는 AISI-304 마이크로 박판소재를 사용하였다.

성형해석을 통해 구해진 최적의 블랭킹 압력(blanking pressure)은 3.1MPa이었고, 블랭크(blank)의 크기는 식 (1)로부터 구해진 값인 Ø24.429mm를 사용하였다.

$$D_{\text{blank}} = \sqrt{D_2^2 + 4D_1[H - (0.43R_1 + 0.43R_2)]} \quad (1)$$



구동부(Loading component)



프레스부(Press component)

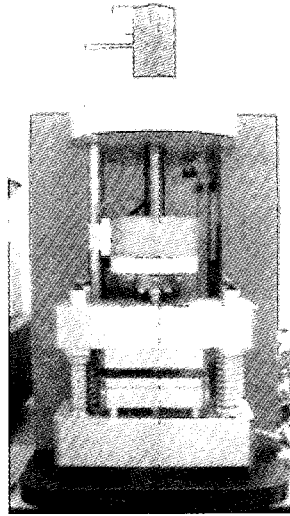
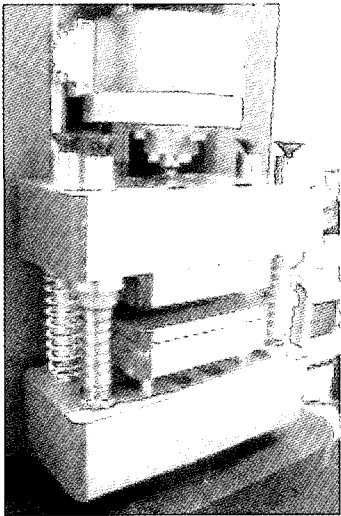
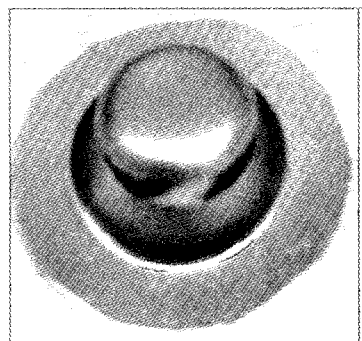
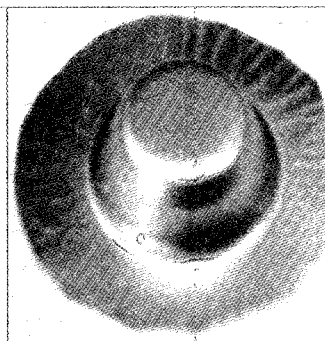


그림 12 제작된 마이크로 소성성형 시스템



(a) 펀치반경 : 1.0mm



(b) 펀치반경 : 2.0mm

그림 13 마이크로 소성성형 실험결과

성형해석결과를 그림 11에 나타내었고, 그림 11(a)에서와 같이 펀치반경을 1.0mm로 하여 해석한 결과 펀치반경부위에 집중된 응력이 소재의 항복응력을 초과하여 펀치반경을 2.0mm로 변경(그림 11(b))하여 재해석을 수행하였다. 해석한 결과 펀치반경부위에 발생했던 응력집중현상이 제거되었고, 최대 응력값도 안전한 것으로 파악되었다. 이러한 결과로 보아 마이크로 소성성형 공정(deep drawing process)에서는 펀치 및 다이의 반경이 가장 중요한 공정변수인 것으로 파악이 되었다.

성형성을 평가하기 위해 그림 12와 같이 마이크로 소성성형 시스템을 구동부와 프레스부로 나누어 제작을 하였다. 구동부와 프레스부는 시스템의 정밀 정렬을 위해 점접촉을 할 수 있도록 구성되었고, 2공정으로 대상소재가 성형될 수 있도록 제작되었다. 성형실험은 두께 100 μ m의 AISI-304 마이크로 박판소재를 사용하였고, 실험결과는 그림 13과 같다. 실험결과를 분석한 결과 해석결과와 같이 펀치 반경이 마이크로 소성성형공정(deep drawing process)에서 가장 중요한 변수라는 결론을 얻을 수 있었다.