

# 벌크 비정질합금을 이용한 극미세 형상체 성형 기술 연구 현황

나영상, 임영목, 이정환, 이종훈 | 한국기계연구원

## 1. 서론

핸드폰, PDA, 정보저장장치 등 각종 전자기기의 소형화(miniaturization) 경향은 여전히 빠르게 진행되고 있으며 이와 더불어 의료분야, 센서기술 등에서도 소형화의 필요성이 계속 대두되고 있다. 이러한 경향은 다기능의 소형 전자기기에 관심을 갖는 소비자들의 단순한 호기심이나 그에 따른 수요에 기인할 뿐 아니라 앞서 언급한 의료, 센서, 광전자 기기 등 새롭게 대두되는 응용분야에서도 장치 시스템의 소형화가 필요하기 때문이다. Mp3-player와 같은 새로운 기능이 추가되고 있는 셀룰러폰의 소형화, 디지털카메라나 mp3-player 기능을 갖춘 손목시계(그림 1), 저장용량 4GB 수준인 동전 크기의 마이크로 하드디스크 시스템(그림 2), 먹는 캡슐형 무선 카메라(그림 3) 및 SPM 기술을 응용한 데이터 나노 storage 기술(그림 4) 등이 전자기기의 소형화를 보여주는 좋은 예라 할 수 있다.

이러한 소형화된 기기들은 기계적 강도와 전자기적 기능이 동시에 요구되는 극미세 형상체(features)의 미세 부품들을 포함하고 있다. 극미세 형상체로는 커넥터 핀(connector pins), 미니어처 스크류(miniature screws), 접촉 스프링(contact spring) 등의 기계류 소형부품으로부터 lead frames, micro-probes, micro-channels, data storage 등 기능성 부품에 이르기까지 매우 다양하며 일반적으로 하나의 기기에 많은 수의 극미세 형상 부품들이 사용된다. 또한 이미 응용되고 있는 이러한 부품 외에도 새로운 기능의 소형 전자기기들이 개발됨에 따라 새로운 형상 및 보다 작은 크기를 갖는 새로운 부품들이 꾸준히 요구되고 있다.

이러한 극미세 부품의 제조는 지금까지 주로 LIGA 공정과 같은 인쇄법(lithographic technology)에 기초하여 제조되어왔으며 현재도 인쇄법에 기초한 새로운 기술들이 개발되고 있다. 인쇄법은 높은 정밀도와 mass production이 가능하다는 큰 장점을 가지고 있기 때문에 현재까지 기술적으로 많은 발전이 이루어져 왔으나, 제조 비용이 높고 특히 인쇄법을 통해 제조할 수 있는 재료가 금속에서는 주로 순금속 및 2원계 합금 수준으로 제한되어 있는 단점을 가지고 있기 때문에<sup>[1]</sup> 결과적으로 응용 분야의 확대에 많은 제한 사항으로 작용하고 있다. 따라서 재료의 종류에 제한을 받지 않고 mass production이 가능하며 near-net shape 또는 net shape의 성형이 가능한 통상의 금속 성형 기술 개념을 적용하여 극미세 형상체를 제조하기 위한 연구가 최근 관심을 끌고 있다.

본 논문에서는 금속 성형 기술이 극미세 부품 제조에 적용되어 온 지금까지의 사례와 마이크로 성형 기술의 일반적인 개요를 살펴보고, 보다 광범위한 적용을 위해 기술적인 발전이 필요한 분야 등을 살펴보고자 한다. 또한 최

근 극미세 부품 성형용 금속 소재로 기대되고 있는 벌크 비정질 합금의 특성과 이를 이용한 극미세 부품 성형 기술 개발 현황에 대해 살펴보고자 한다.



그림 1. 첨단 다기능 손목시계

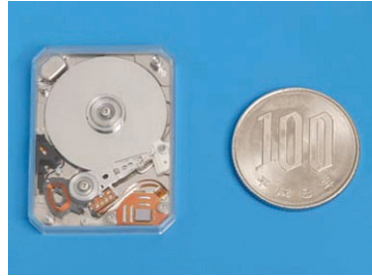


그림 2. 세계 최 소형 마이크로 하드디스크 시스템

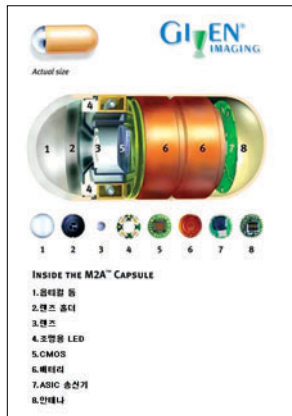


그림 3. 먹는 캡슐형 무선 카메라

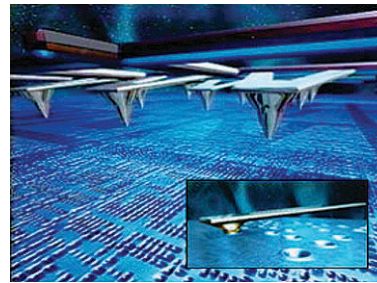


그림 4. SPM 기술을 응용한 데이터 저장 (Nanodrive by IBM)

## 2. 마이크로 금속 성형 기술의 개요

통상의 금속 성형 기술은 높은 생산성 (production rate), 성형중 재료 손실의 최소화, 성형품의 우수한 기계적 특성, near-net shape 또는 net-shape 성형을 통한 성형품의 치수 제어 등 우수한 특징을 갖는 성형 기술로 알려져 있다. 앞서 언급한 장점과 더불어 2004년 현재 마이크로 부품 시장이 전 세계적으로 350억불 수준<sup>[1]</sup>에 이룸에도 불구하고 통상의 금속 성형 기술이 지금까지 극미세 마이크로 부품의 성형에 거의 적용되지 않고 있는 실정이다. 이처럼 통상의 금속 성형 기술이 적용되지 못하는 것은 매크로 규모 (macro scale) 에서 확립되어 온 공정 기술, 성형 장치 및 툴 (tool) 등이 마이크로 규모 (micro scale) 에 그대로 적용될 수 없기 때문으로 여겨지며, 마이크로 성형에 적절한 재료 및 재료의 미세 변형 거동에 대한 이해가 부족하기 때문이다.

지금까지 통상의 금속 성형 기술이 마이크로 부품 성형에 적용되어진 사례는 주로 블랭킹 (blanking), 벤딩 (bending) 및 드로잉 (drawing) 등이다. 블랭킹 공정을 통해 제조되는 대표적인 마이크로 부품으로는 그림 5에 보여준 리드프레임 (lead frame) 및 내외부 리드 (outer and inner lead) 등이 있으며, 또 다른 사례로는 그림 6과 같

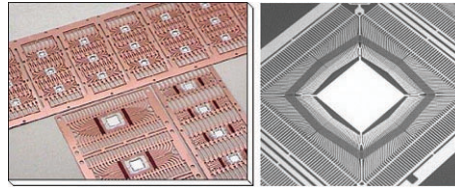


그림 5. 다양한 리드 프레임 및 리드

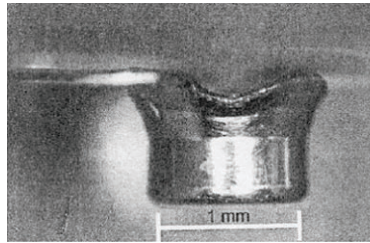


그림 6. Cup for electron gun

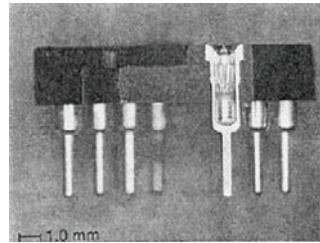


그림 7. 일체형 캔 및 로드 (핀)

은 cup for electron gun 부품 제조에 적용되는 드로잉 기술이나 그림 7과 같은 일체형 캔 및 로드 (can and rod) 를 제조하기 위해 적용되는 다단계 성형 기술 등이 있다<sup>[2]</sup>. 그러나 블랭킹, 벤딩 등의 성형 기술은 통상의 금속 성형 기술중 극히 일부에 해당되는 기술로서 단조, 압출과 같은 massive 성형 기술을 통해 극미세 부품을 제조한 사례는 거의 살펴볼 수 없다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 성형용 재료, 성형용 장치, 적절한 공정 제어 기술, 미세 금형 및 틀과 같은 세부 분야에서 극미세 부품 성형에 적용 가능한 기술 개발이 이루어지지 못하고 있을 뿐 아니라 극미세 부품 성형시 대두되는 크기 효과 (size effect)에 대한 기술적 이해가 부족하기 때문이다.

금속 성형 기술을 극미세 부품 제조에 적용하기 위해서는 부품 소형화에 따라 발생하는 문제점을 살펴보고 그 해결책을 모색할 필요가 있다. 이를 위해 먼저 마이크로 금속 성형 기술에 대한 세부 기술 분야를 살펴볼 필요가 있다. 통상의 금속 성형 기술과 마찬가지로 마이크로 금속 성형 기술은 그림 8에서 보여주는 바와 같이 성형용 재료 (materials), 공정 (process), 틀 (tool) 및 장치 시스템 (machine and equipment) 등 4개의 세부 기술 분야로 분류될 수 있다<sup>[3]</sup>. 극미세 부품 성형에 따른 문제점은 4개의 세부 기술 분야 모두에서 나타난다. 성형용 재료 측면에서 살펴보면 극미세 부품 성형시 부품의 소형화로 인해 소재 유동 능력, 재료의 이방성 (anisotropy) 및 연성 등이 벌크 재료와는 다른 특성을 나타내며, 마이크로 부품의 성형 한계 (forming limit) 역시 결정립 크기와 같은 재료의 미세조직에 의존하게 된다<sup>[3,4]</sup>. 뿐만 아니라 부품의 크기 등에 따라 재료의 유동 (materials flow) 거동이 달라 요구되기 때문에 새로운 재료의 개발과 더불어 미세조직 제어 등을 통한 재료의 적절한 개량 (modification)이 중요한 이슈가 될 수 있다. 현재 나노 구조 재료 (nano-structured materials)를 비롯하여 결정립이 없는 벌크 비정질 합금 등 극미세 부품 성형에 적용 가능한 새로운 물질들이 많이 보고되고 있다.

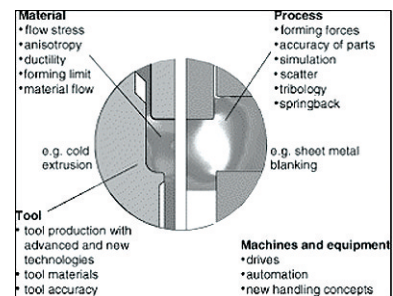


그림 8. 마이크로 금속 성형 기술의 세부 분류 및 세부 기술

공정 (process) 분야의 경우 재료의 거동과 매우 밀접하게 연관되어 있지만 그 외에도 성형 하중, 금형-소재간 마찰 (tribology), 탄성 회복 (spring back) 및 그에 따른 성형 정밀도 등이 극미세 부품 성형시 주의해야 할 사항이다. 또한 공정 설계를 위해 유한요소법에 기초하여 수행하는 공정 시뮬레이션 분야도 극미세 부품 성형에 적용할 경우 통상의 금속 부품 성형에 적용해오던 방법을 그대로 적용할 수 없다. 이는 극미세 부품 성형의 경우 소재의 변형량이 극히 작기 때문이며 이에 대한 새로운 해석 방법 등이 연구되고 있다<sup>[5-8]</sup>.

툴 (tool) 분야의 경우 극미세 부품 성형에 필요한 미세한 형상 (contour)을 갖는 미세 금형을 제조할 수 있는 기술의 개발이 시급한 상황이다. 특히 압출 금형 (extrusion die)과 같이 내부의 형상을 가공해야 할 때, 더욱이 정확한 공차 제어와 적절한 표면 개질 등이 함께 이루어져야 하는 경우 미세 금형의 제조는 매우 어려운 문제이다. 하지만 이러한 문제점들을 극복하기 위해 새로운 제조 기술 등이 개발되어지고 있다. 일례로 전자빔을 이용한 인쇄-에칭 기술 등을 적용하여 200nm 이하의 치수를 갖는 엠보싱 툴 (embossing tool) 등이 개발되어진 바 있다<sup>[9]</sup>.

마이크로 성형용 장치 시스템 (machine and equipment)의 경우 통상적인 매크로 성형시 무시되었던 구동부 및 편치의 공차 (clearance)나 편치의 반동 (backlash) 등이 극미세 부품의 정밀도와 연관되어 중요한 고려사항이 된다. 또한 성형용 소재의 크기가 극히 작기 때문에 소재 이송시 소재를 정확히 잡기 위한 도구 (gripper)가 필요하며, 성형용 소재가 너무 작고 가볍기 때문에 grip과 소재간의 유착 (adhesion)으로 인해 수  $\mu\text{m}$  수준의 정확도를 가지고 소재를 정확히 위치시킬 수 있는 기술적 문제 등이 해결되어야 한다. 뿐만 아니라 최종 성형된 극미세 부품의 성형 정밀도를 측정하기 위해 극미세 형상의 치수 측정을 위한 방안들도 마련되어야 한다. 특히 극단적으로 미세한 극미세 부품 성형의 경우 공정 자체가 클린룸 (clean room) 내에서 수행되어야 할 수도 있으며 이 경우 공정 비용 측면과 장치의 개념 측면에서 새로운 접근이 필요할 수도 있다. 장치 분야의 문제점을 해결하기 위해 일본 등에서는 마이크로 공장 (micro-factory) 개념의 장치 개발을 위한 연구, 극초정밀 생산 로봇 개발 등이 활발히 진행되고 있으며<sup>[9,10]</sup>, 가까운 시일 내에 기술적으로 해결이 가능할 것으로 기대된다.

이러한 많은 문제점에도 불구하고 재료, 공정 제어, 툴 및 장치 시스템에서 새로운 기술들이 꾸준히 연구, 발표되고 있으며 가까운 시일 내에 각각의 문제점들이 해결되어 실용화가 가능할 것으로 기대된다. 통상의 금속 성형 기술을 이용한 극미세 부품 제조 기술은 기존의 인쇄법으로 해오던 극미세 부품 제조와 비교할 때 기술적으로나 산업적으로 큰 변화를 가져올 수 있을 것이다. 장치 시스템 분야에서는 기존에 비해 훨씬 단순하고 간단한 시스템이 될 수 있으며 이는 초기 투자 비용의 최소화가 가능함을 의미한다. 또한 극미세 부품의 생산 비용 측면에서도 크게 개선될 수 있을 것이다. 일례로 미국 MIT에서는 인쇄법을 적용하여 극미세 마이크로 터빈을 실리콘 위에 제조할 경우와 마이크로 주조 (micro-casting) 기법을 적용하여 제조할 경우의 제조비용을 비교할 때 후자의 제조비용이 전자의 약 10%에 지나지 않을 것으로 계산한 바 있다<sup>[11]</sup>. 원재료보다 공정 비용이 훨씬 더 큰 비용을 차지하는 IT 소형 부품의 특성을 고려하면 이러한 개선은 패러다임 변화에 비견할 만 하다.

### 3. 마이크로 성형용 금속 소재로서의 벌크 비정질 합금 및 응용 연구 사례

고체 상태에서의 제조도 가능한 것으로 알려져 있지만 대부분의 경우 비정질합금은 액상의 합금이 용점 (melting point) 이하로 냉각되는 동안, 과냉각 상태에서 결정화 (crystallize) 되지 못한 채 그대로 응고 (solidification) 된 것으로서 기계적, 화학적 특성이 향상되고 전자기적 특성이 우수하다. 따라서 1980년대 초부터

꿈의 신소재로 많은 관심을 받아왔으나 제조 기술의 어려움 등으로 인해 실제적인 활용은 많이 이루어지지 못하여 왔다.

그러나 1988년 이래로 미국, 일본 등 기술 선진국에서 비정질 구조를 얻기 위해 임계냉각속도가 낮은 다성분계 합금들을 발견하고<sup>[12-20]</sup> 최대 100mm의 두께를 갖는 비정질 소재를 제조하고<sup>[21]</sup>, 비정질 분말이나 리본(ribbon)을 이용하여 벌크 비정질합금을 제조하기 위한 기술들을 개발함으로써<sup>[22-24]</sup> 신 기능성 엔지니어링 소재로의 응용 가능성도 증대되고 있다. 뿐만 아니라 기존의 melt spinning 법에 의해 제조된 비정질 합금과는 달리 벌크 비정질 합금의 경우 유리전이온도(Tg)와 결정화온도(Tx) 사이, 즉 과냉각 액상 영역이 비교적 넓은 합금들이 보고됨으로써 극미세 부품 성형에의 활용 가능성이 대두되었다.

과냉각 액상 영역에서 벌크 비정질 합금은 비교적 빠른 변형속도에서도 유사 초소성 (superplastic-like) 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이러한 특성은 비정질 합금 변형이 고분자의 변형과 유사한 뉴턴 점성 유동 (newtonian viscous flow) 거동을 나타내기 때문이다. 즉 변형에 대한 합금의 저항력은 소재의 변형률 속도에 비례하며  $\tau = \eta \dot{\epsilon}^m$ 으로 나타내어진다. 여기서  $\tau$ 는 합금의 전단 유동응력,  $\dot{\epsilon}$ 는 변형률 속도이며  $\eta$ 는 점성도 (viscosity)이고  $m$ 은 변형률 속도 민감도이다. 여타의 결정 금속과는 달리 벌크 비정질 합금은 매우 높은  $m$  값을 보이며 이는 소재의 파단 (failure) 없이 큰 변형량을 얻을 수 있음을 의미한다. 벌크 비정질 합금의 경우 일반적으로 고분자 소재 보다는 훨씬 큰 점성도 (viscosity)를 갖지만 적절한 응력과 온도 제어를 통해 극미세 부품의 성형이 가능한 것으로 보고된 바 있다<sup>[6]</sup>. 특히 비정질합금은 일반적인 결정질 합금과는 달리 장범위 규칙성의 결정구조를 갖지 않기 때문에 이론적으로는 원자크기의 나노 성형공이 가능하다<sup>[25]</sup>.

앞서 언급한 바와 같이 극미세 부품 성형에 벌크 비정질 합금을 적용할 수 있음에도 불구하고 아직까지 해결해야 할 많은 기술적인 문제점들을 안고 있는 것도 사실이다. 무엇보다 과냉각 액상영역에서 벌크 비정질 합금의 점성 유동 거동 및 그 기구 (mechanism)에 대한 이해가 선행되어야 할 것이다. 많은 연구가 활발히 진행되고 있음에도 불구하고 현재까지 과냉각 액상영역에서 벌크 비정질 합금의 변형 기구에 대한 충분한 이해가 이루어지지 못하고 있으며, 결과적으로 점성 유동 거동을 표현하는 정량적 구성방정식이 부족하고 극미세 성형 공정 해석, 공정 조건 최적화 및 성형 한계 설정 등에서 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 하지만 최근 국내외적으로 free volume 모델<sup>[26]</sup>을 비롯하여 VFT 점성도식<sup>[27]</sup>, Cohen-Grest 모델<sup>[28]</sup>, transient state 이론<sup>[29]</sup>, fictive stress 모델<sup>[7,30]</sup> 등이 제안되고 있으며 이들 모델을 이용하여 극미세 성형 공정에 대한 컴퓨터 시뮬레이션이 시도되고 있다<sup>[5]</sup>.

이 외에도 벌크 비정질 합금의 열적, 물리적, 화학적 특성에 대한 많은 연구가 요구되고 있으며 더불어 소재의 인성 (toughness)을 향상시키기 위한 꾸준한 연구도 필요하다. 뿐만 아니라 과냉각 액상 영역에서 벌크 비정질 합금의 결정화가 발생하기 때문에 이들 합금의 온도 및 변형에 따른 결정화 거동에 대한 연구도 함께 진행되어야 한다. 그 외에 극미세 부품 성형시 합금 표면과 금형간의 마찰 현상은 실제 성형 공정에서 중요한 사항이 되기 때문에 이와 관련된 분야도 세심한 연구가 진행되어야 할 것이다.

벌크 비정질 합금을 이용한 극미세 부품 성형은 일본에서 가장 활발히 진행되고 있다. 일본의 경우 통상의 금속 성형 기술을 이용한 극미세 금속 부품 성형 기술이 차세대 생산 기반 기술임을 인식하고 1990년대 초반부터 연구 개발에 매진하고 있다. 비정질합금의 우수한 기계적 특성과 더불어 마이크로 규모에서의 소재의 균질성 (homogeneity) 및 우수한 성형성 (formability) 등을 이용하여 MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) 등 미세 전자기 부품용 소재로 활용하기 위한 노력이 진행된 바 있으며, 그림 9 - 그림 12에서 보여주는 바와 같이 마

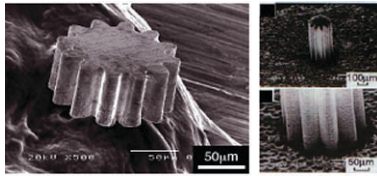


그림 9. 마이크로 기어 및 기어 샤프트 [31]

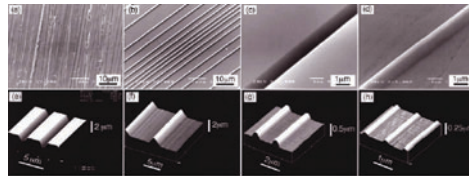


그림 10. V자형 극미세 패턴 [32]

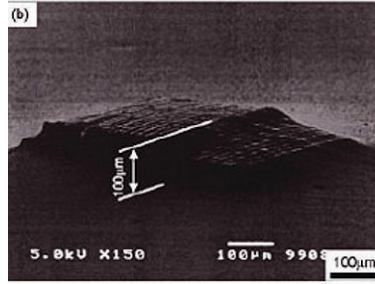
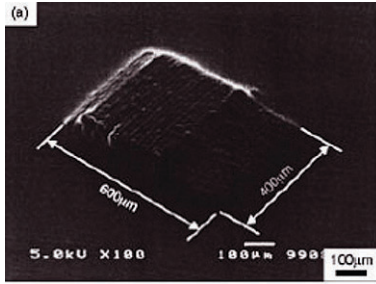


그림 11. 자동차 차체 형상의 마이크로 점진 성형품 [33]

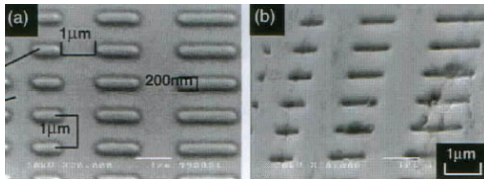


그림 12. DVD와 같은 저장 매체용 극미세 패턴 형성 [32]

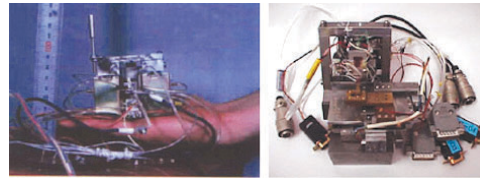


그림 13. 마이크로 압출(좌) [31] 및 마이크로 점진성형 장치(우) [33]

이크로 기어 및 마이크로 기어 샤프트 (shaft), V자형 극미세 패턴, 자동차 차체 형상의 마이크로 점진성형 (incremental forming), DVD와 같은 데이터 저장 매체용 미세 패턴 형성 등에 벌크 비정질 합금을 활용한 바 있다. 이러한 연구는 그림 13에 보여주는 바와 같이 극미세 성형에 필요한 마이크로 압출 장치, 마이크로 점진성형 장치 등의 개발과 함께 이루어졌다.

또한 최근에는 박막의 벌크 비정질 합금 소재를 이용하여 3차원 마이크로 성형에 대한 연구를 수행하고 있다. 박막 금속 유리의 성형은 소둔법, 가열변형법 및 변형가열법 등의 다양한 방법을 통해 시도하고 있으며 모두 과냉각 액상영역에서 벌크 비정질 합금의 점성 유동 특성을 활용한 기술이다. 이러한 기술을 활용하여 마이크로 액추에이터용 마이크로 스프링, 마이크로 블로우 성형을 통한 중공형 미세 구조체, 집적화 마이크로 프로브 (probe) 등의 제조에 응용을 시도하고 있다[34].

마이크로 형상 성형 분야는 유럽 등에서도 발전되고 있는 기술로서 특히 유럽에서는 EU Framework Program 6 stage (FP6)의 프로그램으로 수행하고 있다. 본 프로그램에는 영국, 프랑스, 독일뿐 아니라 스페인, 이탈리아, 스웨덴, 헝가리, 슬로베니아, 불가리아, 오스트리아 등 총 15개 유럽 국가들이 참여하여 마이크로 금속 형상 성형에 관련된 장치 시스템 분야뿐 아니라 nano-structured 금속, 형상기억합금 및 BMG와 같은 신금속을 활용한 극미세 형상 제조 기술과 이들 신금속의 특성 분석(characterization)도 포함하고 있다. 본 프로그램은 크게 공정

(processing), 작업 툴(tooling) 및 표면관련기술(surfaces)의 3 분야로 나뉘어 있다. ‘Processing’ 분야에서는 마이크로 기계가공에서부터 마이크로 벌크 forming 및 hot embossing 공정까지 신공정, 신소재에 대한 각 공정 기술간의 격차, 상호 공정 조합 및 한계, 소재의 characterization 등을 수행한다. ‘Tooling’ 분야는 마이크로 옵틱스, microfluidics 및 센서, 액츄에이터 적용에 필요한 극미세의 툴 및 관련 삽입물의 형상 크기, 표면 조건 및 aspect ratio 등과 관련하여 현재의 기술적 한계를 극복하기 위한 새로운 툴 제조 기술을 제안하기 위해 EDM, ECM, UP milling 등을 포함한 기술들을 연구하고 제조하기 위한 분야이다. ‘Surfaces’ 분야는 표면 마모(wear), 마찰(tribology), 표면색, 표면촉각 등을 제어하기 위한 분야로서 레이저, PVD 및 관련 표면처리 기술에 대한 연구를 수행한다.

한국기계연구원에서는 극미세 부품 성형을 위해 마이크로 스탬핑 및 마이크로 압출 장치(그림 14)를 자체 제작하여 보유하고 있으며 약 2년여전부터 벌크 비정질 합금의 극미세 패턴 성형 기술에 대한 연구를 수행하여 그림 15에서 보여주고 있는 바와 같이 피라미드 형상의 패턴과 V자 및 U자형 패턴의 성형을 시도하고 있다.

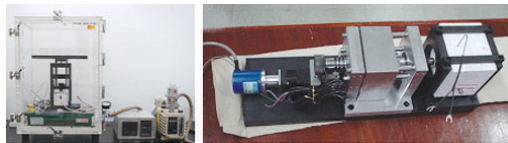


그림 14. 마이크로 스탬핑(좌) 및 마이크로 압출 장치(우)

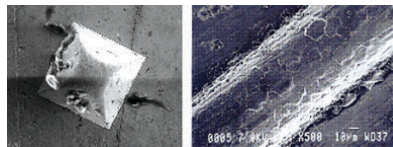


그림 15. 피라미드 및 V자형 패턴

#### 4. 극미세 금속 부품의 시장 규모 및 특허 동향

본 논문에서 다룬 극미세 금속 부품 성형 기술이 적용될 수 있는 대표적인 시장은 MEMS 부품 분야라 할 수 있다. MEMS 부품의 세계 시장은 2003년 현재 약 3조 8천억원 규모 정도인 것으로 추산되고 있으며 2007년경에는 약 7조원 정도의 시장 규모를 보일 것으로 예상되고 있다<sup>[35]</sup>. 하지만 극미세 금속 부품 성형 기술은 MEMS 부품 분야 외에도 반도체 및 전자기기를 비롯한 IT 분야, 산업용 로봇 및 소형 로봇 등을 비롯한 기계류 부품 분야, 미세수술 및 인공장기와 같은 의료분야 등 다양한 분야에 응용될 수 있으며 이러한 분야를 모두 총괄할 경우 2015년경에 약 60조 4천억원 정도의 시장 규모를 기대하고 있다<sup>[36]</sup>.

한편, 벌크 비정질 합금에 대한 물질특허는 현재 미국 내에 백여 건이 검색되고 있지만 극미세 금속 부품 성형 기술과 관련된 특허는 현재까지 거의 검색되지 않고 있다. 이는 극미세 금속 부품 성형 기술이 극히 태동기의 기술로서 주요 키워드(keyword)가 혼재되고 특허 기술로서 공개하기를 주저하기 때문으로 판단된다. 따라서 본 논문에서는 극미세 금속 부품 성형 기술의 상용화에 필수적으로 요구되는 지능형 극초정밀 생산 로봇 기술 분야에 대한 특허 동향을 통해 극미세 금속 부품 성형 기술에 대해 간접적으로 접근해 보고자 한다.

지능형 초정밀 생산 로봇 기술과 관련한 한국내 특허 동향을 살펴보면 한국 전체 특허를 기준으로 극히 미미한

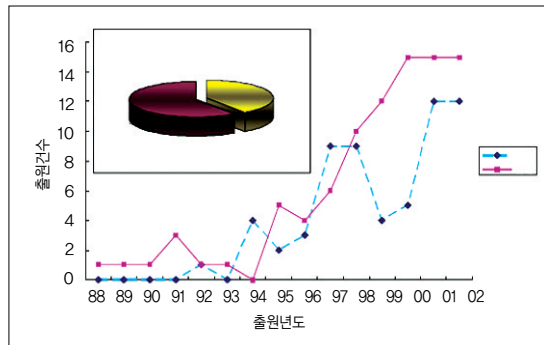


그림 16. 내외국인별 한국내 특허 출원 동향

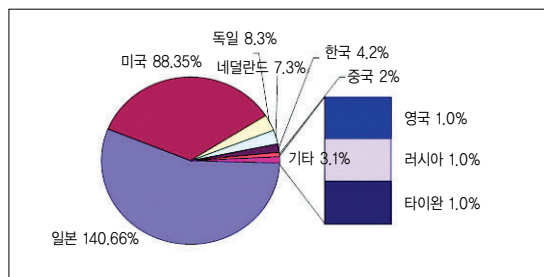


그림 17. 각 국가별 미국 등록 특허 점유율

수준에 머무르고 있지만 1996년 이후 소폭의 증가세를 보이고 있었다. 내외국인을 구분하여 연도별 한국내 특허 출원 동향을 살펴보면 (그림 16) 외국인은 1994년 이후 꾸준한 증가세를 유지하고 있으나, 내국인의 경우 1996년부터 증가세를 보이다가 IMF 영향으로 1999-2000년동안 감소세를 나타냈지만 2001년 이후 다시 증가세를 보이고 있다. 기술별로 살펴보면 한국은 주로 제어기술에서 특허활동이 높은 반면 외국인은 요소기술의 특허활동이 활발한 것으로 조사되었다<sup>[37]</sup>.

미국내 특허의 경우도 한국내 특허와 유사하게 초정밀 생산 로봇 관련 특허는 전체 미국내 특허의 극히 일부 (1984년-2003년 사이에 총 252건)를 차지하고 있었으나 1998년부터 상대적으로 점유율의 신장세를 보이고 있었다. 각 국가별 미국 등록 특허의 점유율을 살펴보면 (그림 17) 지능형 극초정밀 생산로봇의 전체 특허중 미국과 일본의 등록특허가 전체의 90%로 거의 대부분을 차지하고 있고, 그 외에 독일, 네델란드, 한국, 중국 등이 그 뒤를 이은 등록 점유율을 나타내고 있었다. 다만 미미한 등록을 나타내던 국가, 특히 네델란드 및 독일의 등록수가 2002년 이후 크게 증가함을 알 수 있었다<sup>[37]</sup>. 특히 미국과 일본은 상호간의 공동연구를 통해 많은 특허 등록을 달성한 것으로 분석되었다.

이상에서와 같이 한국 및 미국에 출원된 지능형 극초정밀 생산로봇 기술과 관련된 특허 기술을 살펴본 결과, 한국의 특허 출원량은 외국에 비해 상대적으로 적었으나 최근에 증가하는 경향을 보이고 있으며 향후 요소기술의 중요성이 점점 높아지고 있는 것으로 나타났다. 이러한 조사 결과로 미루어보면 향후 극초정밀 생산 로봇을 이용한 극미세 금속 부품 성형 기술 분야의 중요성도 함께 증가할 것으로 판단되며 특히 요소 기술의 발전이 중요한 사항이 될 것으로 판단된다.



2002년 이후 미국과 한국내 특허에서 공히 미국과 일본을 제외한 다른 국가들의 특허 출원이 늘어나고 있으며 이는 지능형 극초정밀 생산 로봇 기술뿐 아니라 극미세 금속 부품 성형 기술에 대한 연구 활동과 관심이 세계적으로 늘어나고 있음을 짐작하게 한다.

## 5. 맺음말

앞서 언급한 바와 같이 극미세 금속 부품 성형 기술은 재료분야, 공정설계 분야, 마이크로 금형 툴 (tool) 및 초정밀 장치 및 제어 분야 등 다양한 분야의 요소기술이 조합된 총체적 기술로서, 이러한 기술들이 균형 있게 조화를 이루면서 발전할 때 상업적 응용 및 안정적 제품 생산이 가능하다. 이를 위해서는 다양한 분야의 학제간 공동연구는 필수적이라 할 수 있다. 뿐만 아니라 기존에 IT 산업에서 축적된 한국의 풍부한 기술을 극미세 금속 부품 성형 기술과 접목할 경우 기술 발전의 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 기대된다. 일례로 IT 산업에서 발전된 반도체 공정을 극미세 금속 부품 성형에 필수적으로 요구되는 마이크로 금형을 제조하기 위한 방안으로 활용할 수 있을 것이다. 특허 분석을 통해 간접적으로 살펴본 바와 같이 한국의 경우 지능형 정밀 생산 로봇 및 정밀 가공 분야에서는 많은 연구 결과가 도출되고 있지만 상대적으로 다양한 요소기술의 연구개발이 소홀한 실정으로, 향후 극미세 성형용 재료, 윤활 등을 비롯한 공정 설계, 극미세 금형 제조 기술 등에서 요소기술 개발을 위한 연구 활성화가 시급히 요구된다 하겠다.

## ❁ 참고 문헌

- [1] F. Vollertsen, Z. Hu, H. Schulze Niehoff and C. Theiler : J. Materials Processing Technology, 151, p.70, 2004
- [2] M. Geiger, M. Kleiner, R. eckstein, N. Tiesler and U. Engel : Annals of the CIRP, 50/2, p.445, 2001
- [3] U. Engel and R. Eckstein : J. Materials Processing Technology, 125-126, p.35, 2002
- [4] Y. Saotome, T. Zhang and A. Inoue : Mater. Res. Soc. Symposium Proceedings, 554, p.385, 1999
- [5] H. S. Kim, H. Kato, A. Inoue and H.S. Chen : Acta Materialia, 52, p.3813, 2004
- [6] H. Kato, Y. Kawamura, A. Inoue and H.S. Chen : Materials Science and Engineering, A304-306, p.758, 2001
- [7] J. Lu, G. Ravichandran and W.L. Johnson : Acta Materialia, 51, p.3429, 2003
- [8] M.D. Demetriou and W.L. Johnson : Acta Materialia, 52, p.3403, 2004
- [9] 박장선 : 3차원 마이크로 디바이스용 나노 가공기 개발, 첨단기술정보 분석보고서, 원로과학기술인회, 2004년
- [10] 박장선 : 마이크로 팩토리 기술동향, 기술동향분석보고서, 한국과학기술정보연구원, 2002년
- [11] <http://web.mit.edu/3.082/www/team2s/pres/03-15-01-slide4.gif>
- [12] A. Inoue, K. Ohtera, K. Kita and T. Masumoto : Japan. J. appl. Phys., 27, p.L2248, 1988
- [13] A. Peker and W. L. Johnson : Appl. Phys. Lett., 63, p.2342, 1993
- [14] L. Q. Xing, P. Ochin, M. Harmelin, F. Faudot, J. Bigot and J. P. Chevalier : Mater. Sci. Eng., A220, p.155,

1996

- [15] L. Q. Xing, G. P. Gorler and D. M. Herlach : Mater. Sci. Eng., A226-228, p.429, 1997
- [16] R. B. Schwarz and Y. He : Mater. Sci. Forum, 235-238, p.231, 1997
- [17] A. Inoue : Mater. Sci. Eng., A304-306, p.1, 2001
- [18] A. Inoue, T. Zhang, S. Ishihara, J. Saida and M. Matsushita : Scripta Mater., 44, p.1615, 2001
- [19] S. Yi, J. K. Lee, W. T. Kim and D. H. Kim : J. of Non-crystalline Solids, 291, p. 132, 2001
- [20] A. Inoue and N. Nishiyama : Mater. Sci. Eng., A226-228, p.401, 1997
- [21] A. Inoue : Acta Mater., 48, p.279, 2000
- [22] R. B. Schwarz, P. Kasiraj, T. Vreeland, Jr. and T. Ahrens : Acta Metall., 32, p.1243, 1984
- [23] C. Cline and R. Hopper : Scripta Metall., 11, p.1137, 1977
- [24] P. Shingu : Mater. Sci. Eng., 97, p.137, 1988
- [25] 정현갑 : 마이크로 소성가공 기술의 현황과 전망, 첨단기술정보 분석보고서, 원로과학기술인회, 2003년
- [26] P. de Hey, J. Sietsma and A. van den Beukel, Acta Materialia, 46, p.5873, 1998
- [27] M. Cohen and D. Turnbull : J. Chem. Phys., 31, p.1164, 1959
- [28] M. Cohen and G. Grest : J. Non-cryst. Sol., 61, p.749, 1980
- [29] A. I. Taub, Acta Metallurgica, 28, p.633, 1980
- [30] H. S. Chen, H. Kato and A. Inoue : Mater. Trans, JIM, 42, p.597, 2001
- [31] Y. Saotome and H. Iwazaki : J. of Materials Processing Technology, 119, p.307, 2001
- [32] Y. Saotome, K. Itoh, T. Zhang and A. Inoue : Scripta Materialia, 44, p.1541, 2001
- [33] Y. Saotome and T. Okamoto : J. of Materials Processing Technology, 113, p.636, 2001
- [34] <http://www.nano.pi.titech.ac.jp/index.html>
- [35] 전세계 MEMS 시장 (Ultimate MEMS market analysis), Yole Development, 2005년 4월
- [36] 박규열 : 정밀 가공 기술 연구실, 울산대학교, 2004년 1월
- [37] 지능형 극초정밀 생산 로봇기술 특허동향, '국과위 후속조치관련 특허동향조사 시범사업' 보고서, 특허청 · 한국특허정보원, 2005년 5월



**나 영 상**

- 한국기계연구원 재료안전연구센터 선임연구원
- 관심분야 : 미세성형, 재료물성평가
- E-mail : nys1664@kmail.kimm.re.kr



**임 영 목**

- 한국기계연구원 재료안전연구센터 선임연구원
- 관심분야 : 재료 미세구조분석, 주강품 개발
- E-mail : rhyim@kmail.kimm.re.kr



**이 정 환**

- 한국기계연구원 소재성형연구센터 센터장
- 관심분야 : 정밀단조, 분말단조, 반응고성형, 초소성
- E-mail : ljh1239@kmail.kimm.re.kr



**이 종 훈**

- 한국기계연구원 첨단재료연구본부 본부장
- 관심분야 : 항공기 부품 개발, 재료물성
- E-mail : ljh1343@kmail.kimm.re.kr