

# 부러지지 않는 고강도 액체금속

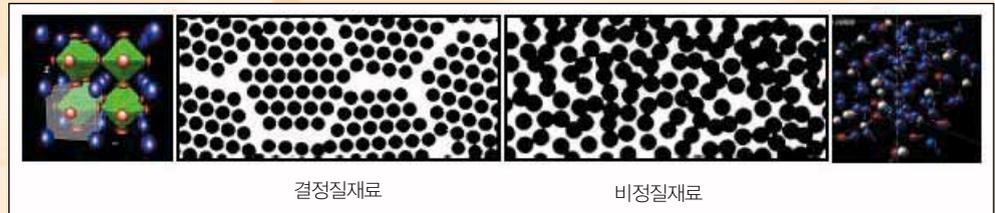
글\_ 김유찬 한국과학기술연구원 박사 chany@kist.re.kr

**최** 근 기계부품의 소형화, 경량화, 다기능화 추세에 따라 기존 구조용 소재의 기계적 특성 및 기능이 두 배 이상 향상된 복합기능화 구조용 금속소재가 필요로 하고 있다. 벌크 비정질금속재료는 이와 같은 시대적 요구에 부응하는 혁신 소재로서 세계적으로 매우 활발한 연구가 진행되고 있다. 원자구조를 비정질화한 벌크 비정질금속소재 개발은 1993년 미국의 캘리포니아 공대에서 최초로 보고된 이래 기존 금속소재의 물성한계를 능가하는 차세대 구조용 금속소재로 주목되고 있으며, 미래의 신산업이 필요로 하는 전략적 금속소재로서 평가되고 있다. 그렇다면 과연 비정질소재는 무엇이며, 문제점과 그 해결책은 무엇인가.

## 비정질재료 원자구조는 액체, 형태는 고체

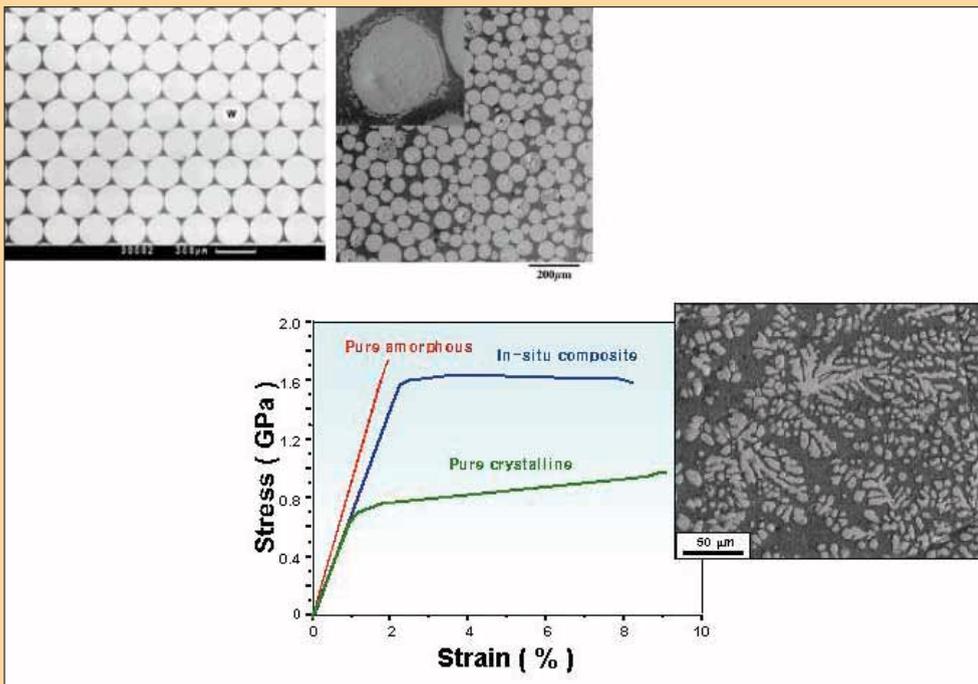
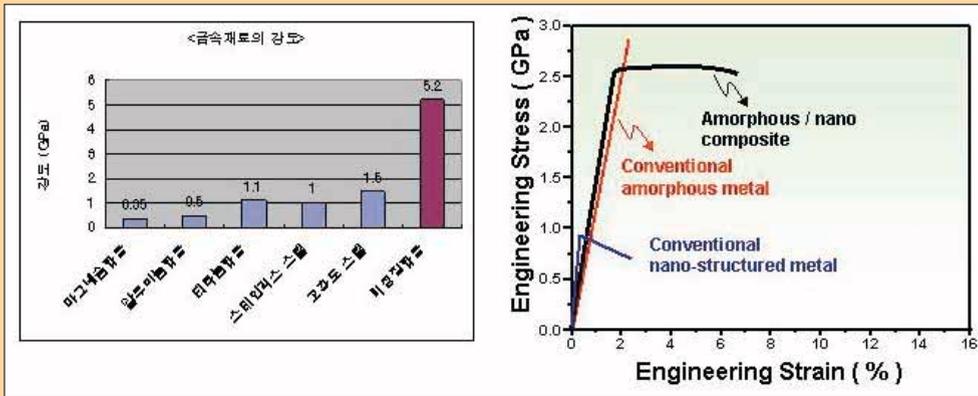
비정질소재를 이해하기 위해서는 금속의 원자구조를 먼저 이해해야 할 필요가 있다. 액체상태의 원자들은 불규칙하게 배열되어 있고, 그 에너지 상태가 매우 높아서 물과 같이 흐르는 특성을 가진다. 이와 같은 액체상태의 금속은 온도를 낮

춰 굳히면 원자들이 규칙적인 원자배열을 하게 되면서 서로를 구속하고 일정한 형태를 가진 고체상태가 된다. 그런데 액체상태의 불규칙적인 원자구조를 매우 빠른 속도로 냉각시키면 액체상태의 불규칙한 원자구조가 규칙적인 원자구조상태로 변화되지 못한 상태에서 원자들이 구속되어 원자구조는 액체상태지만 형태는 고체인 새로운 재료가 형성된다. 이를 결정질재료와 반대되는 개념에서 비정질재료라고 한다. 비정질 재료를 쉽게 액체금속이라고 부르는 이유는 여기에 있다. 이렇게 형성된 재료는 일반 결정질재료와 달리 매우 독특한 물리적 특성을 갖게 되는데 이중 가장 독특한 특성은 재료의 강도이다. 각 재료가 견딜 수 있는 힘의 크기를 그 재료의 강도라고 하는데, 비정질재료는 강도가 기존 결정질재료보다 2~5배 정도 크며, 따라서 기존 물성을 훨씬 능가하는 차세대 구조용 재료로서 각 광받기에 충분하다. 하지만 이와 같은 비정질 재료에도 문제점은 있다. 강도가 매우 큰 반면 강도의 한계를 넘어서면 쉽게 파괴가 일어난다는 단점을 가지고 있다. 강한 재료가 쉽게 부러지는



결정질재료

비정질재료



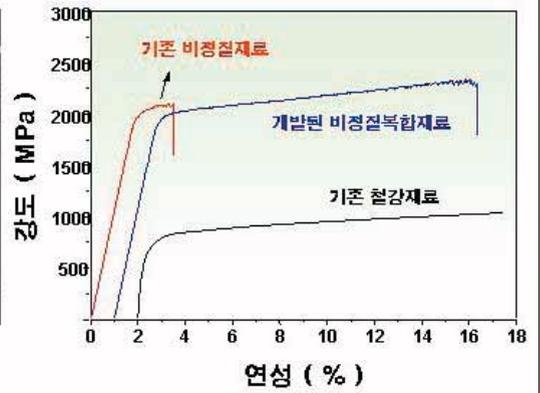
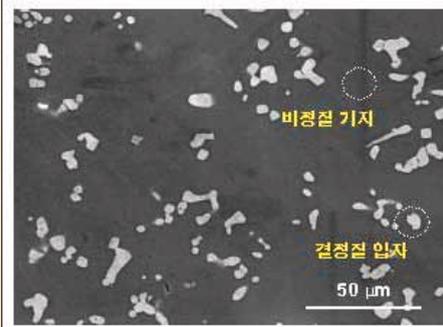
것과 같은 이치다. 이는 비정질재료를 차세대 구조용 소재로 사용하는데 많은 제약을 주고 있으며, 비정질재료의 우수한 특성을 이용하기 위해서는 반드시 해결해야 할 과제이다.

### 일정 한계 넘으면 쉽게 파괴돼

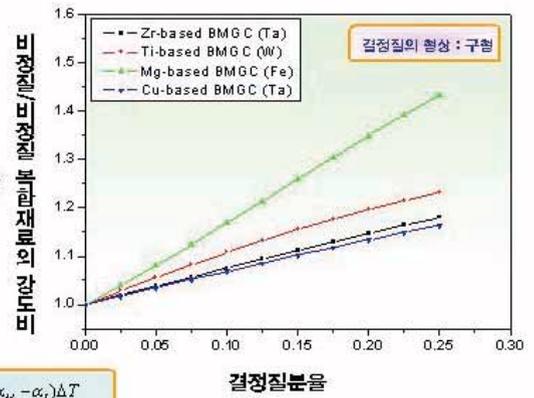
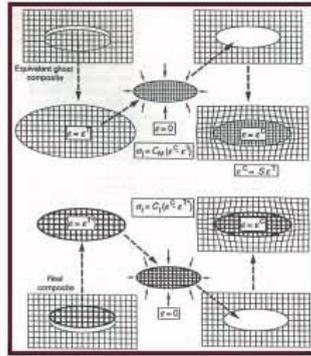
이러한 문제점을 해결하기 위해서 국내외의 많은 연구자들은 비정질재료 내부에 결정질 재료를 포함하는 새로운 비정질복합재료에 대한 연구를 시도하고 있다. 비정질재료의 연신율을 높이기 위한 복합재료에 대한 연구는 미국 캘리

포니아 공대에서 1998년부터 시도되었는데 WC, SiC, W, Mo, Nb, Ta 입자 또는 W, Fe 단섬유를 비정질 용탕 속에 주입시켜 응고시키는 형태로 복합재료를 제조하여 물성을 평가한 결과를 발표하기 시작하였으며, 일본의 도호쿠대에서도 ZrC 입자를 주입하여 기계적 성질을 측정하는 연구를 수행하였다. 이들 결과는 비정질재료의 연성을 증가시키지만 결정질 입자의 체적 분율, 비정질과의 반응성, 비정질과 결정질의 열팽창계수의 차이 등의 문제로 강도가 떨어지거나 보다 세부적이고 지속적인 연구를 필요로 하는

S & T 파일

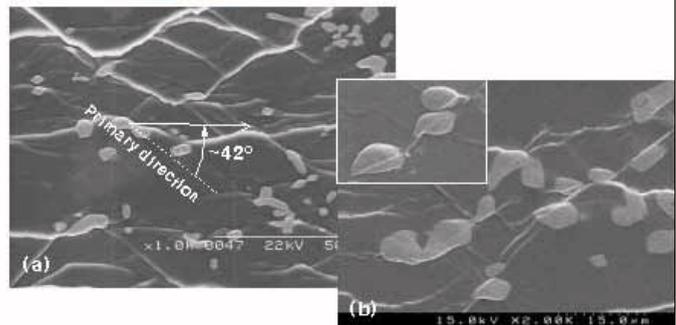
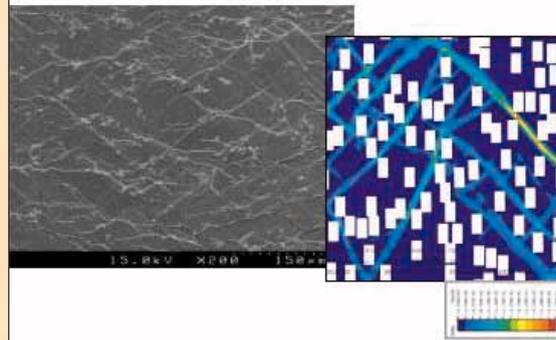


<강도향상기구>



$$\langle \sigma \rangle_{\text{eff}}^2 = -f C_M (S-D) \{ (C_M - C_I) [S - f(S-D)] - C_M \}^{-1} C_I (\alpha_M - \alpha_I) \Delta T$$

<연성향상기구>



상황이다.

최근, 미국 캘리포니아공대는 이종의 입자 혹은 단섬유를 강제로 혼합하는 위의 방법 외에 단일한 주조공정에서 연성이 큰 금속결정상과 비정질 금속상이 혼합된 복합재료를 제조하는 'in-situ 방법'을 보고하기도 했다. 제조된 'in-situ 벌크 비정질복합재료'는 강도 및 탄성변형 한계의 손실을 최소화한 상태에서 높은 연신율을 나타내었으며, 현재까지 보고된 벌크 비정질 복합재료 중에서 가장 우수한 파괴인성을 가지고 있는 것으로 알려지고 있다. 하지만 여전히 강도의 감소를 수반하며, 특정한 합금에 국한되어 나타난다는 점에서 보다 체계적인 연구를 필요로 하고 있는 실정이다.

### 응점 높은 금속 넣어 취성 보완

획기적인 신소재인 비정질재료의 응용을 위해서는 비정질재료가 가지고 있는 우수한 특성을 극대화하면서 단점을 보완할 수 있는 새로운 개념의 구조용 재료가 필요하다. 일반적으로 두 종류의 금속을 같이 녹이면 섞여서 하나의 합금으로 응고하게 되는데, 일부 금속들은 같이 녹이면 서로 분리되어 각각 존재하고자 하는 합금이 있다. 이와 같은 성질을 이용하여 응점이 매우 높은 W, Ta 등의 금속을 첨가해 비정질 내부에 그대로 남아 있게 함으로써 비정질 내부에 결정질이 고르게 분포된 비정질복합재료를 개발하는데 성공하였다. 이 때 비정질은 전체의 80~90% 정도를 차지하여 비정질의 특성은 그대로 유지하면서, 10~20%의 결정질이 취성(脆性, 부서지는 성질)을 효과적으로 제어해 철강 재료의 2~3배에 달하는 강도와 더불어 기존 비정질재료에 비해 300% 이상 취성을 보완함으로써 재료의 특성이 획기적으로 향상되었다. 특히 이번에 개발된 비정질복합재료는 Cu, Ti, Mg, Zr계 등 다양한 계에서 제조가 가능하다는 장점이 있을 뿐만 아니라 연성과 강도를 동시에 증가시켜 재료의



응용가치를 더욱 높였으며, 보다 구체적인 연구를 통해서 강도 및 연성의 향상원인을 밝혔다. 따라서 이를 이용하면 새로운 비정질복합재료의 설계도 가능할 것으로 보인다.

액체금속(비정질재료)은 기존의 결정질 합금 재료 개발 개념, 즉, 성분 및 조직제어와는 매우 상이한 개념으로, 재료의 응고제어 및 결정화 제어를 통한 신금속재료 개발의 새로운 방법을 제시해 기존 금속소재의 특성한계를 월등히 뛰어넘은 것으로 평가되고 있다. 또한 기존 금속소재가 가지지 못하는 독특한 물리·화학적 특성을 갖는 새로운 부품·소재 개발의 가능성을 제시해 21세기 신산업의 기술혁신에 기여할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 특히, 액체금속은 고강도, 내마모, 내부식성이 매우 우수한 소재로서 마모 및 침식이 문제되는 기계 부품에 광범위한 수요 창출이 가능하며, 국방 산업에 있어서는 로켓발사 및 비행기에 사용되는 중고온 경량 합금과 육·해·공 운송장비에 사용되는 내마모 합금으로 적용될 것으로 보인다.

또한 초소형 정밀부품(MEMS), 휴대폰·PDA 등 정보통신기기의 외장부품 등 고부가가치 산업에 이용이 가능할 것으로 보이며, 향후 자동차, 항공부품 등의 친환경 나노소재를 응용하는 새로운 분야가 창출될 것으로 기대되고 있다. **SD**



글쓴이는 연세대학교 금속공학과를 졸업 후, 동 대학원에서 석사·박사학위를 받았다.