# 연자성 재료로의 적용을 위한 철계 비정질 합금 설계 전략

**이승훈***
경북대학교 금속신소재공학과

자성 모멘트가 큰 철 (Fe)을 주성분으로 하는 철계 비정질 합금은 독특한 단범위 규칙 (short range order)을 가지는 원자 배열을 가짐에 따라 자기 이방성이 매우 작아서 연자성 재료로서의 적용이 이루어져 왔다. 철계 비정질 합금의 개발 초기인 1960년대에는 주로 공정 기술의 혁신을 통하여 급냉 응고를 촉진함으로써 철계 비정질 합금을 제조 하였다. 즉, 약 $10^6$ K/s 내외의 냉각 속도를 부여하기 위하여 수십 마이크론 이하의 두께를 가지는 리본이나 수 마이크론 이하의 분말 형태로만 생산이 가능하였다. 수마이크론 크기의 분말이나 리본을 이용하여 벌크 부품을 제조하는 경우, 철손이 낮아지는 등 많은 장점을 가지고 있으나 생산 단가 또는 생산성의 저하로 실질적인 상업적 적용이 곤란 하다. 특히, 경쟁 소재인 결정질 전기 강판이 가지는 월등히 우수한 생산성 및 제조 단가 측면의 한계를 극복하지 못하고 제한적 적용만 이루어져 왔다.

그러나, 최근 고주파 영역에서 높은 효율과 저손실을 가지는 전자기 부품의 요구가 증가함에 따라, 이러한 조건을 충족할 수 있는 높은 포화자속밀도와 낮은 철손을 가지는 철계 비정질 연자성 합금의 개발이 시급한 실정이다. 또한, 전자기 부품의 소형화 및 복잡한 형상화로 인하여 판재 형상의 전기 강판보다는 분말 형태의 연자성 재료가 상업화에 유리하며, 이 경우, 철손을 크게 줄일 수 있는 철계 비정질 합금이 궁극적인 해결책으로 판단된다. 현재 상업적으로 시판되고 있는 철계 비정질 합금인 Metglas$^{TM}$의 경우, 우수한 연자성 특성을 가지고 있지만, 전기강판 대비 포화 자속밀도가 상대적으로 낮아서 이 단점을 보완한 Nanomet$^{TM}$이 최근에 개발 보고 되었다. 그러나, 이들 합금들은 비정질 형성능이 작아 상업적인 분말제조 공정을 통하여 수십 마이크론 크기의 비정질 분말 제조가 곤란하다.

한편, 철계 비정질 분말은 열처리를 통하여 원자구조완화 (structural relaxation) 또는 나노 결정화 (nanocrystallization)가 가능하며 이를 통하여 연자성 특성들의 향상 또는 적정화가 가능하다. 즉, 적절한 합금설계 기법이 적용된 비정질 전구체 (amorphous precursor)를 저온 열처리를 실시함으로써 Finemet$^{TM}$과 같이 연자성 특성이 제어된 철계 나노결정질 합금의 제조가 가능하다.

본 발표에서는 새로운 철계 비정질 합금의 설계 전략을 수립함에 있어서, 비정질 형성능, 열처리 공정, 연자성 특성 및 생산성을 동시에 고려한 합금 설계 전략을 제안하고자 한다. 기존 철계 비정질 합금의 사례를 검토하고, 최근에 보고된 연자성 특성과 생산 단가를 고려한 합금 설계 사례를 검토하여, 향후 새로운 철계 비정질 합금 개발에 요구되는 고려 사안들에 대한 토론을 진행 하고자 한다.