

초음파 진동소자용 Fe-Co-Ge계 합금 복합체의 자기변형 특성 및 WC 첨가 효과

윤용운, 유광현, 김상우, 나석민*, 임상호*

한국과학기술연구원 나노재료연구센터, *한국과학기술연구원 나노소재연구센터

Abstract

평균 입도가 $100\mu\text{m}$ 인 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{62}\text{Ge}_2$ 합금 분말과 10wt%의 페놀계 고분자 바인더, 그리고 평균 입도가 $1.36\mu\text{m}$ 인 WC 분말을 SPEX Mixer/Mill에 넣고 8시간동안 혼합한 후 150°C 에서 Warm press를 이용하여 0.9 ton의 압력으로 2시간 동안 유지하였다. VSM을 사용하여 자기적 특성을 조사한 결과 WC의 첨가량이 증가할수록 포화자화값(Ms)은 $174\sim 128\text{ emu/g}$ 로 감소하였다. 또한 스트레인게이지를 이용하여 자기변형을 측정하였다. WC의 분포를 알아보기 위해 전자현미경으로 복합체의 단면을 관찰하였다. WC의 함량이 10~30wt%로 증가할수록 밀도와 영률(Young's Modulus) 값이 각각 $5.15\sim 6.27\text{ g/cc}$, $45.5\sim 93.6\text{ GPa}$ 로 증가하였다. 특히 영률은 WC를 30wt%로 첨가하였을 때의 값이 첨가하지 않았을 때보다 2배 이상 증가하였다. 그러나 비자성상의 첨가로 희석효과가 나타났으며 길이 방향으로의 자기변형률(λ_{11})과 d_{33} 의 경우 각각 18%와 20% 정도가 감소되었다. 이러한 기계적 특성의 향상은 길이 10mm의 자기변형 복합체의 공진 주파수를 71 kHz 증가시키게 되며, 따라서 초음파 진동소자용으로서의 상업적 활용범위를 증가 가능성을 제시하였다.

1. Introduction

최근 개발된 Fe-Co-Ge 자기변형 합금 복합체는 낮은 자기장에서도 높은 자기변형 민감도를 가지며, 급속 자기변형 분말이 바인더에 의해 절연되어 있기 때문에 저항이 크고 와전류 손실이 작아 고주파에서도 우수한 특성을 보인다. 따라서 희토류계 자기변형 복합체에 비해 성능은 떨어지지만, 희토류계에 비해 가격이 저렴하므로 높은 성능/가격 비를 가진다. 이는 초음파 발진소자와 같은 상업적 응용가능성을 제시해준다[1]. 그러나 이러한 복합체는 고분자 바인더와 결합되어 있어 기계적 특성이 취약하고, 사용 주파수 대역의 향상이 요구되어 진다. 본 실험에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 670 GPa의 큰 영률을 갖는 WC 분말을 첨가하여 이 때의 기계적 및 자기변형(정적 및 동적) 특성을 조사하였다.

2. Experimental

본 연구에서 사용한 실험공정도를 Fig.1에 나타내었다. 먼저 복합체를 제조하기 위하여 자기변형 합금 분말을 제조하였다. $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{62}\text{Ge}_2$ 의 조성으로 용해된 합금 잉고트를 분쇄기(pulverizer)를 사용하여 직경 1mm 크기 정도로 분쇄한 다음, SPEX 8000 mixer/mill(SPEX CertiPrep社)을 사용하여 8시간동안 분쇄하여 최종 분말을 제조하였다. 분말은 체(sieve)를 이용하여 평균 입도가 $100\mu\text{m}$ 인 분말에 대하여 SEM을 측정하였다. 이렇게 제조한 분말은 극성 용매인 THF(tetrahydrofuran)에 페놀을 용해시킨 용액과 잘 혼합한 후 WC를 10~30wt% 첨가하여 8시간동안 혼합하였다. 이렇게 혼합한 분말을 150°C 에서 Warm press를 사용하여 성형하였다. 이렇게 제조된 벌크 복합체에 대하여, 자기적 성질은 VSM을 이용하여 최대 10kOe의 자기장을 인가하면서 측정하였고, 자기변형특성은 스트레인 게이지(KFG-1-120-C1 series)를 시료의 길이 방향으로

부착하여 측정하였다.

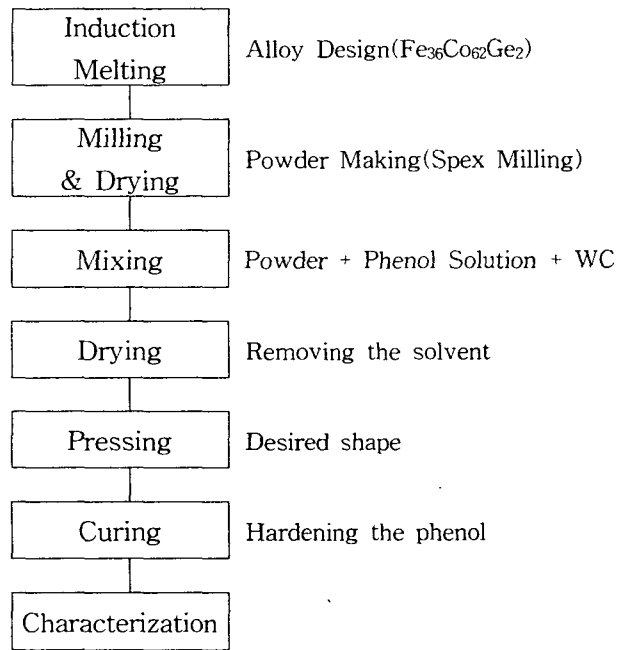


Fig. 1 The experimental procedure of bulk composites

3. Results and Discussion

Fig. 2는 평균입도 100 μm 인 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{62}\text{Ge}_2$ 분말과 10wt%의 페놀계 고분자 바인더와 평균입도가 1.36 μm 인 WC 분말을 8시간동안 혼합한 후 찍은 SEM 이미지를 나타내었다.

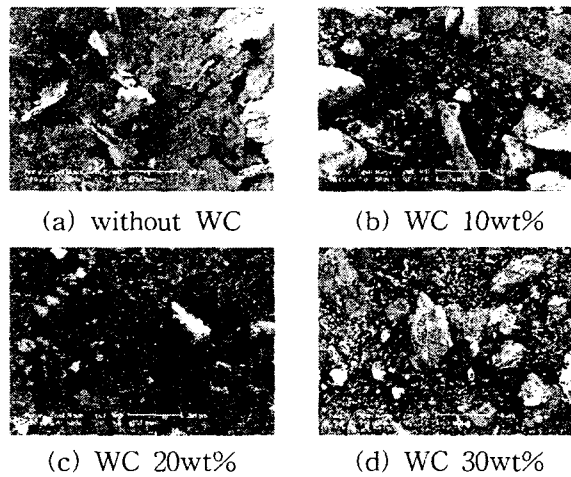


Fig. 2 Micrographs of the mixed powder with an average size of 100 μm $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{62}\text{Ge}_2$ and a binder content of 10wt% , an average size of 1.36 μm WC(0~30wt%) powder during 8 hours.

WC를 첨가하지 않았을 때의 $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{62}\text{Ge}_2$ 의 분말은 매우 얇은 판상의 형상을 보이고 있었다. Fig. 3은 8시간동안 혼합한 분말을 150 $^{\circ}\text{C}$ 의 Warm press를 사용하여 만든 벌크의 단면을 관찰한 SEM 이미지를 나타내었다.

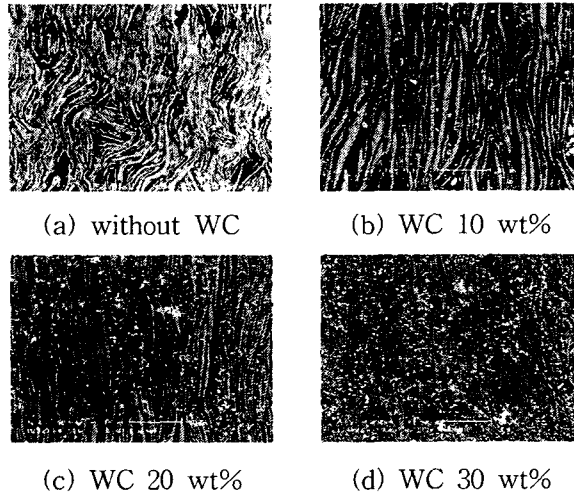


Fig. 3 Micrographs showing the cross section of the composites with a various contents of WC, a binder content of 10 wt% and a compaction pressure of 0.9 ton.

단면 이미지를 통해 분말들은 성형방향에 수직인 방향으로 배열되어 있었으며, 일부에는 고분자 바인더가 묻쳐있는 것을 관찰할 수 있었다. 고분자 바인더의 묻침현상은 압축강도를 열화시키거나 분말의 변형에 의해 자기적 및 자기변형 특성에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한 WC 30 wt%에서는 관상의 분말이 성형 압력에 의해서 변형되어 접힌 부분이 관찰되었다.

Fig. 4는 WC의 첨가에 따른 자기변형특성을 스트레인게이지를 이용하여 측정된 결과이다.

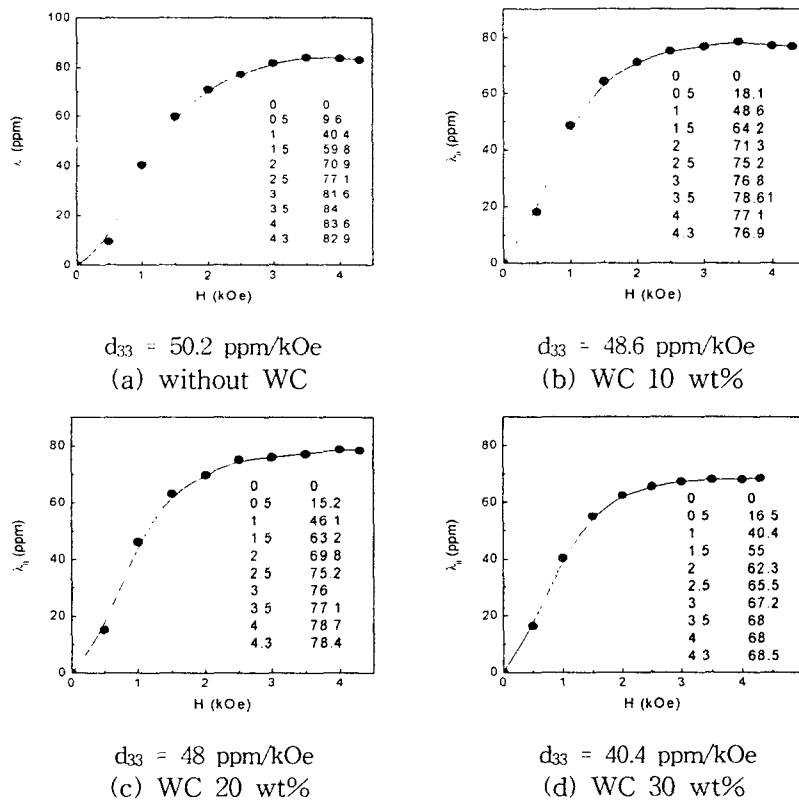


Fig. 4 The λ_{H} -H plot for a composite of $\text{Fe}_{36}\text{Co}_{62}\text{Ge}_2$ alloy with various contents of WC. The dimension of the composites is 3.5 mm × 3.5 mm × 10 mm(length)

비자성상인 WC의 첨가로 인하여 희석효과가 나타났으며 길이 방향으로의 자기변형값($\lambda_{||}$)과 d_{33} 의 경우 각각 18%와 20% 정도의 감소를 보였다. 표 1에는 WC 첨가에 따른 복합체의 전체적인 특성을 나타낸 것이다.

Table 1. Characterization of the composites added to WC

WC (wt%)	Density (g/cc)	$\lambda_{ }$ (10^{-6})	λ_{\perp} (10^{-6})	d_{33} ($10^{-9}/\text{Oe}$)	M_s (emu/g)	H_c (Oe)	E_{33} (GPa)
0	5.15	84	-29	50.2	174	37	45.5
10	5.39	78.6	-30.1	48.6	165	41	59
20	5.6	78.7	-34.3	48	144	45	75
30	6.27	68.5	-32.5	40.4	128	54	93.6

표 1에서 보는 바와 같이 WC의 함량이 증가할수록 밀도와 영률은 증가하였다. WC의 첨가로 인한 기계적 특성의 향상은 길이 10 mm의 자기변형 복합체의 공진 주파수를 71 kHz 로 증가시키게 된다. 따라서 초음파 진동소자로서 초음파 발생 가능성을 제시할 수 있다.

References

- [1] S. M. Na, K. H. Shin, Y. S. Lee, and S. H. Lim, J. Appl. Phys., 93(10), 8501 (2003)