

# Nd<sub>8</sub>Fe<sub>86-x</sub>Nb<sub>x</sub>B<sub>6</sub> nanocomposite magnet의 자기적 특성에 미치는 Nb 치환 효과

남성진, 한중수, 김웅찬, 남효덕  
영남대학교

## The effect of Nb addition on magnetic properties of Nd<sub>8</sub>Fe<sub>86-x</sub>Nb<sub>x</sub>B<sub>6</sub> nanocomposite magnet

Sung-Jin Nam, Jong-Soo Han, Eng Chan Kim and Hyo-Duk Nam  
Yeungnam Univ

**Abstract :** 초미세립 복합상 영구자석은 연·경자성상의 크기와 분포에 큰 영향을 받는 자성재료이다. 또한, 결정립간 교환상호작용력은 초미세립 복합상 영구자석의 잔류자속밀도에 큰 영향을 미친다. 이에 Nd<sub>8</sub>Fe<sub>86-x</sub>Nb<sub>x</sub>B<sub>6</sub>(x=0,1,2,3) 조성으로 급냉자성 분말을 제조하고, 열처리 후 자기특성을 평가하였다. Nb 첨가에 따른 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 상과 α-Fe 상과의 교환상호작용력을 Henkel(δM) plot을 통해 평가하고, 각 상의 크기와 분포를 조사하여 자기특성 변화를 합리화하였다. 본 연구에서 얻은 최대 자기특성은  $B_r = 9.791$  kG,  $iH_c = 5.565$  kOe, 그리고  $(BH)_{max} = 14.61$  MGOe였고, Nb를 첨가함으로써 보자력이 증가하였다.

**Key Words :** 교환상호작용력, 초미세립 복합상 영구자석, Henkel plot

### 1. 서론

Nd계 희토류 조성의 초미세립 복합상 영구자석은 nanoscale의 결정립으로 혼성, 복합화된 연자성상(α-Fe 혹은 Fe<sub>3</sub>B)과 경자성상(Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B)간의 교환상호작용(exchange coupling)에 의해 자기특성을 크게 개선할 수 있다[1~3]. 이러한 장점으로 인해 많은 연구자들이 nanocomposite에 대한 연구와 용도개발을 진행중에 있다[4~5]. Nanocomposite magnet을 합성하는 일반적인 방법은 melt-spinning[6~7], mechanical alloying, sputtering 등이 있다. 특히, melt-spinning 기법은 초기에 양호한 비정질 상태의 리본제조 및 적절한 열처리를 통해 초미세립의 연경자성상을 결정화시켜 양호한 자기특성을 발현하는 수단이다.

현재까지 우리는 높은 잔류자속밀도를 가지는 Fe<sub>3</sub>B base의 nanocomposite에 대한 연구를 해왔다. 그러나, Fe<sub>3</sub>B base는 현재까지 3.5 kOe의 낮은 보자력을 가짐으로 인해 제품 응용에 어려움을 겪고 있었다. 그래서, 본 연구는 5 kOe 이상의 고보자력을 지니는 nanocomposite 자성 재료를 개발하고자 한다.

전술한 바와 같이 melt-spinning 기법으로는 양호한 비정질 리본의 제조와 적정 열처리가 아주 중요하다. 이에 본 연구에서는 냉각속도에 따른 비정질 리본을 제조하고, 초기의 비정질 상태와 적정 열처리 후 자기특성과의 상관 관계를 찾고자 하였다. 이는 초기 제작된 nanocomposite 상태를 통해 최종 상태를 예측, 대량 생산시의 효율을 높

이고자 하는 것이다.

### 2. 실험

Ar 분위기 하에서 플라즈마 아크 용해 방법을 사용하여 균일한 조성의 주괴(ingot)를 제조하고, 제조한 주괴를 축출형 용융회전식(extractive melt spinning) 급냉장치를 사용하여 급속냉각 자성리본으로 제조하였다[8]. 첨가원소 Nb의 영향을 파악하기 위해 급냉회전체의 냉각속도는 15.5, 20, 23.7 m/s, 이후 제조한 급냉 자성리본의 자기특성은 적정 열처리 후 VSM으로 조사하였다. XRD, DTA, TEM, AGM 등으로 자기특성 변화요인을 고찰하고자 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서 얻은 최대 자기특성은 그림 1에 나타내었다. Nd<sub>8</sub>Fe<sub>85</sub>Nb<sub>1</sub>B<sub>6</sub> 조성, 냉각속도 20 m/s에서  $B_r = 9.791$  kG,  $iH_c = 5.565$  kOe, 그리고  $(BH)_{max} = 14.61$  MGOe였고, Nd<sub>8</sub>Fe<sub>86</sub>B<sub>6</sub> 조성보다 보자력이 1.1 kOe 증가하였다. 그림 2에서 보인 바와 같이 가장 큰 양의 값을 갖는 Nd<sub>8</sub>Fe<sub>85</sub>Nb<sub>1</sub>B<sub>6</sub> 조성에서 대체적으로 잔류자속밀도가 큼을 확인할 수 있다. 이는 교환상호작용력이 잔류자속밀도와 밀접한 관련이 있다는 것을 반증하는 결과이다. 그림 3을 통해 Nd<sub>8</sub>Fe<sub>85</sub>Nb<sub>1</sub>B<sub>6</sub> 조성의 결정입도가 더 작음을 확인할 수 있다.

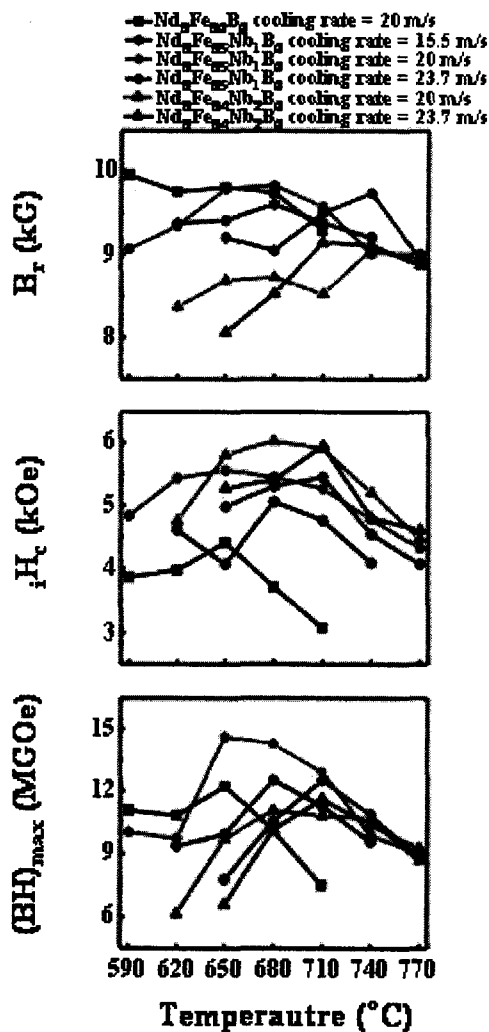


그림 1. Magnetic properties measured from melt spun powders followed by post annealing as in the figure.

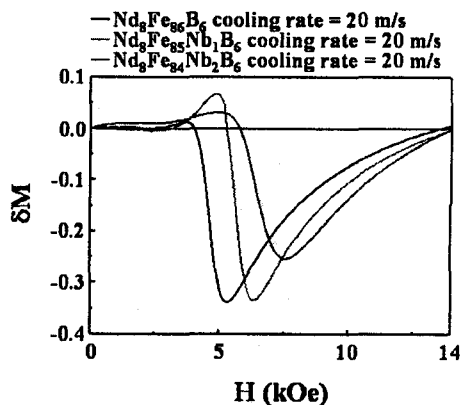


그림 2. Henkel plot of  $Nd_8Fe_{86-x}Nb_xB_6$  ( $x=0,1,2,3$ ) ribbons at the denoted cooling rate.

#### 4. 결론

Nb 첨가로 인한 결정립 미세화, 균일화가 nanocomposite 의 교환상호작용력을 증가시킨다. 이로 인해 Nb을 첨가



그림 3. Microstructure of (a)  $Nd_8Fe_{86}B_6$  and (b)  $Nd_8Fe_{85}Nb_1B_6$  ribbons (a), (b)as-spun(left) and (c) (d) annealed(right) at 650 °C/10 min

하지 않은 조성에 비해 잔류자속밀도는 변화하지 않고, 보자력이 증가한다고 판단된다.

#### 참고 문헌

- [1] R. Skomski and J. M. D. Coey, IEEE. Trans. Magn., 29, 2860(1993).
- [2] R. Ficsher, T. Schrefl, H. Kronmuller and J. Fidler, J. Magn. Mater., 153, 35(1996).
- [3] G. C. Hadjipanayis and W. Gong, J. Appl. Phys., 64, 5559(1988).
- [4] E. F. Kneller, R. Hawig, IEEE Trans. Magn. 27, 3588(1991)
- [5] G. C. Hadjipanayis, L. Withanawasam, R. F. Krause, IEEE Trans. Magn. 31, 1596(1995).
- [6] C. J. Yang and E. B. Park, J. Magn. Mater. 186, 243(1997).
- [7] C. J. Yang, E. B. Park, Y. S. Hwang and E. C. Kim, IEEE. Trans. Magn. 35, 3328(1999).
- [8] C. J. Yang, E. B. Park and S. D. Choi, Mat. Let., 24, 347(1995).