

급냉응고된 분말로부터 CAPA 법으로 제조한 NdFeB 영구자석의 자기적 특성

김형태**** · 김윤배* · 전우용** · 김학신***

*한국표준과학연구원, 대전 305-600

**광양보건대학 제철금속과, 광양 545-703

***전북대학교 신소재공학부, 전북 561-756

(2001년 9월 3일 받음, 2001년 12월 11일 최종수정본 받음)

급냉응고법으로 제조된 NdFeB 분말로부터 Current applied(CA)-press 및 Current applied(CA)-deformation 공정에 의해 등방성 및 이방성 NdFeB 영구자석을 제조하고, 이로부터 자기적 특성을 조사하였다. 등방성 NdFeB 영구자석의 보자력은 시료에 가해지는 압력에 따라 크게 다르며, 상대적으로 높은 압력에서 보자력이 크게 나타났다. 반면 잔류자화는 시료에 가해졌던 압력 및 전류의 변화에 관계없이 거의 일정하였다. 등방성 시편인 경우 대체로 최대자기에너지적이 15 MGOe 이상이며, CA-deformation에 의해 40 MGOe 이상의 이방성 NdFeB 영구자석이 얻어졌다. 이방성 시편의 가공도가 클수록 B_r 의 증가로 인하여 최대자기에너지적이 증가하였으며, 시편의 가공도가 81 %일 때 44.2 MGOe의 고에너지적을 가지는 이방성 NdFeB 영구자석이 얻어졌다.

주제어 : NdFeB, 등방성, 이방성, CAPA

I. 서 론

NdFeB 영구자석이 개발된 후 많은 연구자들에 의해서 자기특성 향상을 위한 새로운 조성과 제조방법에 대한 개발이 이루어져 오고 있다. 이방성 NdFeB 영구자석을 제조하는 방법은 크게 2가지로 대별된다. 하나는 분말야금법[1]으로 NdFeB 모합금을 기계적으로 분쇄한 후 자장 중에서 입자들을 정렬시켜 소결하는 것이다. 다른 방법은 급냉응고법(MQ process)으로서 급냉응고에 의해서 제조된 NdFeB 분말로부터 등방성 성형체를 제조하는 hot-press[2] 단계와 등방성 성형체를 고온에서 소성변형에 의해 $Nd_2Fe_{14}B$ 입자를 정렬시켜 이방성 자석을 얻는 hot-deformation[3] 단계로 나뉘어 진다. 급냉응고법에 의해 제조된 자석의 경우, 소결자석에 비하여 열적안정성 및 내부식성이 강하고, 또 미세분말로 분쇄해도 벌크 상태의 자기적 특성을 그대로 유지하므로 이방성 본드자석의 원료로 사용할 수 있다[4]. 경자기적 특성이 우수한 이방성 본드자석을 얻기 위해서는 근본적으로 우수한 이방성 자기적 성질을 갖는 분말이 요구되고, 고에너지적을 가지는 이방성 NdFeB 자석의 제조가 우선되어야 한다. 그러나 급냉응고법은 고온에서 열간 가공을 거치면서 입자성장에 의

한 자기 특성의 저하, 특히 보자력이 많이 감소하는 문제점을 나타내고 있다.

고온에서의 오랜 시간 노출을 억제하고 짧은 시간 내에 영구자석을 제조할 수 있는 새로운 방법에 대한 연구도 시도되고 있다. 폭발법(Shock compression)은 화약 폭발로 인한 수 GPa의 충격파(Shock wave)로 짧은 시간 내에 분말로부터 영구자석을 얻는 방법이다[5-7]. 방전플라즈마 소결법은 시료 자체에 AC 전류를 흘려주어 분말 입자간의 방전을 유도한 후 프레스에 의하여 압력을 가함으로써 NdFeB 분말로부터 영구자석을 제조하는 방법이다[8-11]. 이러한 방법들은 일반적인 소결법으로 제조가 어려운 고용점 분말이나 세라믹 분말 등의 소결에 이용되는 방법으로서 NdFeB 영구자석을 제조하는데 성공적으로 응용되고 있다.

본 연구에서는 NdFeB 영구자석의 새로운 제조 기술의 일환으로, 고용점 금속간 화합물, 세라믹, 복합재료 등의 고밀도 소결체를 제조하는데 이용하는 통전활성연소합성법[12-14]을 응용하여, 급냉응고법으로 제조된 NdFeB 분말로부터 등방성 영구자석을 제조한 후 등방성 영구자석을 소성변형시켜 이방성 NdFeB 영구자석을 제조하였다. 또한 제조 조건에 따른 시료의 여러 가지 자기적 특성(B_r , H_c , $(BH)_{max}$)을 비교 분석함으로써 우수한 영구자석 제조에 대한 기초자료를 제시하고자 하였다.

*Tel: (042)868-5161, E-mail: ybkim@kriss.re.kr

II. 실험 방법

실험에 사용된 NdFeB 분말은 급냉응고법으로 제조되어 상용적으로 판매되고 있는 MQPA(Magnequench International) 분말이며, 입도분석기를 사용하여 분말의 크기를 측정된 결과에 따른 평균 입도는 236 μm 이었다. 등방성 NdFeB 영구자석의 제조방법은 다음과 같다. 외경 45 mm, 내경 20 mm, 높이 40 mm 크기의 흑연 몰드(ISO63) 내부에 분말 15 g을 충전시킨 후 직경 20 mm, 높이 20 mm 크기의 상부, 하부 흑연 펀치(MGY12)로 고정한다. 진공챔버 내부 프레스의 램과 연결되어 있는 상부, 하부 전극 사이에 몰드를 고정시킨다. 진공도를 4×10^{-2} Torr로 유지시킨 후 Ar 가스 분위기에서 상부, 하부 펀치를 가압함과 동시에 직류전류를 인가한다. 이때 기록계에 표시되는 LVDT의 길이 변화로부터 분말의 수축 정도를 관찰하면서 분말의 수축이 끝나는 지점에서 전류의 공급을 중단하고 상온까지 냉각시킨다. 이후 약 600 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 냉각속도로 급속히 강하하여 최종적으로 약 20 mm(Φ) \times 7 mm(l)의 크기를 갖는 등방성 NdFeB 자석을 제조하였다. 이와 같은 공정을 Current-Applied press(CA-press)라고 명명하였으며, Fig. 1(a)에 개략적인 과정을 도시하여 나타내었다. 이때 전류와 압력의 변화가 제조되는 시편의 자기 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 서로 다른 전류 및 압력 조건에서 시료를 제조하였다.

이방성 NdFeB 영구자석의 제조방법은 다음과 같다. 20 mm(Φ) \times 7 mm(h)의 크기를 갖는 CA-pressed 등방성 자석을 대략 1/6 정도 크기로 절단한 후, 몰드는 사용하지 않고 상부, 하부 흑연 펀치(MGY12) 사이에 고정시킨다. 진공도를 4×10^{-2} Torr로 유지한 후 Ar 가스 분위기 하에서 CA-press 공정에서와 같이 압력과 직류전류를 동시에 가함으로써 시료에 소성변형을 유도하였다. 이때 전류는 1500 A이고 압력은 60~70 MPa였다. 펀치 사이에 위치한 등방성 자석은 프레스 가압방향과 같은 방향으로 수축하고 수직방향으로는 팽창된 형태의 소성변형을 일으키고, 자동기록계에 표시되는 LVDT 길이 변화가 완만해지는 지점에서 전류의 공급을 중단하고 상온까지 냉각시켰다. 이와 같은 과정에서 최종적으로 얻어지는 시료의 변형량은 약 70~80 %이었으며, 변형량이 자기적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 시료의 길이 변화가 급속히 일어나는 중간에서 전류의 공급을 중단시켜 약 50 %의 변형량을 가지는 시료를 제조하였다. Fig. 1(b)에 고온에서 소성변형을 부과하는 개략적인 과정을 나타냈으며, 이 단계의

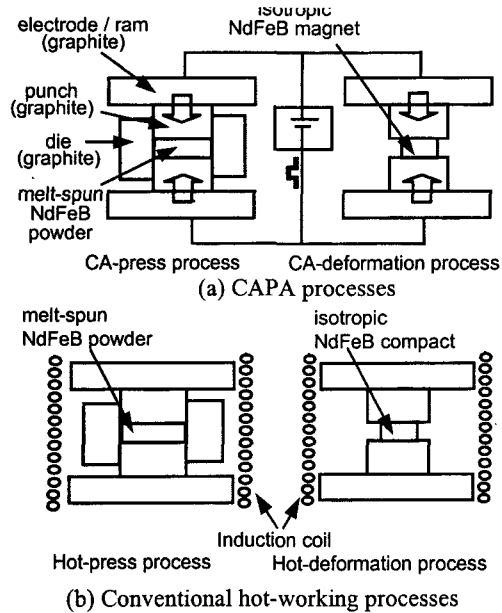


Fig. 1. Schematics of the CAPA (Current-Applied Pressure-Assisted) process and the conventional hot-working process.

공정을 Current-Applied deformation(CA-deformation)이라고 명명하였다.

제조된 등방성 및 이방성 NdFeB 자석은 펄스자석(LDJ, 3000-6 18kJ)에서 약 90 kOe의 자장으로 착자한 후, B-H loop analyzer를 이용하여 25 kOe의 자장에서 $4\pi M-H$ 자기이력곡선을 측정하였고, 측정된 자기이력곡선으로부터 잔류자화(B_r), 보자력(H_c) 및 최대자기에너지적($(BH)_{\text{max}}$)을 구하였다. 결정상 분포 및 변화는 X선 회절 분석기(일본, Rigaku)를 이용하여 조사하였다. 사용된 X선은 Ni filtered Cu- $k\alpha$ (0.154 nm)이었으며, 가속전압은 30 kV, 전류는 40 mA였다. $2\theta = 20\sim 80^{\circ}$ 범위에서 5 $^{\circ}/\text{min}$. scan speed로 제조된 시편의 프레스 방향에 수직인 면에 대한 회절 패턴을 구하였다. 제조된 시편의 밀도는 아르키메데스 원리에 의하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

전류공급장치에서 상부, 하부 전극에 흘려 준 직류전류(I_{dc})를 2000 A 및 3000 A로 고정하고, 프레스에 의해서 가해 준 압력(P_a)을 달리하여 제조한 CA-pressed 등방성 NdFeB 자석의 자기적 특성 및 밀도의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 $P_a > 20$ MPa에서 얻어진 모든 시편에서 완전히 치밀화된 성형체를 얻을 수

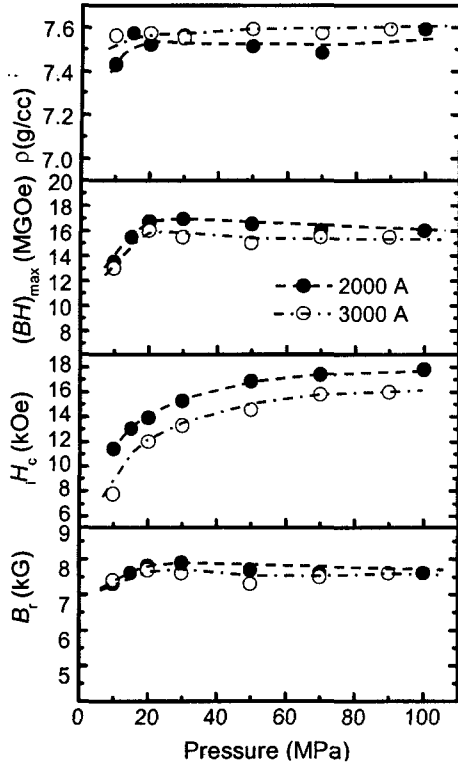


Fig. 2. Magnetic properties and density of the CA-pressed NdFeB magnets produced at 2000 and 3000 A as a function of applied pressure.

있었으며, $P_a \leq 20$ MPa에서는 완전한 치밀화가 이루어지지 않은 것으로 판단된다. $P_a = 30$ MPa에서 최대치의 B_r 를 나타내고 있으며 이로 인하여 $(BH)_{max}$ 또한 최대치를 나타내고 있다. 이후 계속적으로 P_a 이 증가함에 따라 B_r 가 약간 감소하고 있으며 $(BH)_{max}$ 또한 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 H_c 은 P_a 이 증가함에 따라서 계속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 현상은 압력 증가에 따른 응축향상 효과로 인하여 시료가 높은 온도에 노출되는 시간이 적어져, $Nd_2Fe_{14}B$ 상의 성장이 억제되기 때문인 것으로 판단된다. 전반적으로 같은 압력이 인가된 상태에서 B_r 는 I_{dc} 에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내고 있는 반면, $I_{dc} = 2000$ A에서 제조된 시편의 H_c 은 $I_{dc} = 3000$ A에서 제조된 시편의 H_c 보다 약 1 kOe 높게 나타나고 있다.

일정한 압력 하에서 가해진 전류량이 제조된 시편의 자기적 특성 및 밀도에 미치는 영향을 평가하기 위하여, $P_a = 70$ MPa로 고정하고 I_{dc} 를 달리하여 제조한 CA-pressed 등방성 NdFeB 자석의 자기적 특성 및 밀도를 Fig. 3에

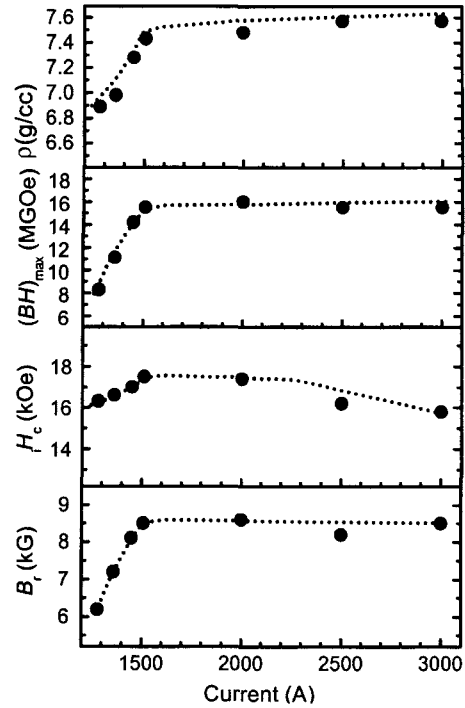


Fig. 3. Magnetic properties and density of the CA-pressed NdFeB magnets produced at 70 MPa as a function of applied current.

나타낸다. 1500 A 이상에서 제조된 시편의 경우 8 kG보다 높은 B_r 값을 나타내는 반면 1500 A 이하에서 얻어진 시편의 경우 8 kG 이하의 값을 보이고, 밀도 또한 낮은 값을 나타내는 것으로 보아 $I_{dc} < 1500$ A에서는 완전한 치밀화가 이루어지지 않은 것으로 판단된다. $I_{dc} \geq 1500$ A에서 제조한 시편의 경우, I_{dc} 증가에 따라 B_r 와 $(BH)_{max}$ 은 큰 변화를 나타내지 않는 반면에, H_c 은 약간씩 감소하는 경향을 나타내고 있다.

결과적으로 1500 A 정도의 전류량에 의해서 치밀화된 등방성 NdFeB 영구자석을 제조할 수 있었으나, 상대적으로 시료에 가해진 압력이 높을수록 보자력이 높은 영구자석을 얻을 수 있었다. 따라서 CA-pressed 등방성 자석의 잔류자화 특성은 제조과정 중에 가해진 전류량에 따라 크게 변화하지 않는 반면, 보자력은 압력에 의해서 민감하게 영향을 받고 있다고 사료된다.

Fig. 4에는 $I_{dc} = 2000$ A, $P_a = 20$ MPa에서 제조된 등방성 NdFeB 영구자석(Fig. 4(b)) 시편을 710 °C에서 기존의 고주파유도 가열방식으로 열간가공한 이방성 NdFeB 자석(Fig. 4(c))과 $I_{dc} = 2000$ A 및 $P_a = 70$ MPa에서 CA-deformation에 의해 제조한 이방성 NdFeB 자석(Fig.

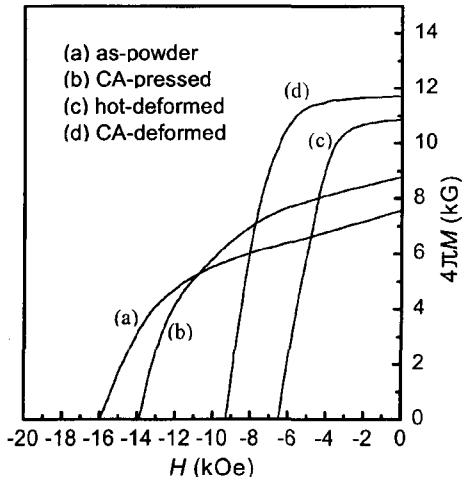


Fig. 4. Demagnetization curves of (a) raw powder, (b) CA-pressed magnet, (c) hot-deformed magnet, and (d) CA-deformed magnets.

4(d)의 자기소거곡선을 나타내었다. 제조된 시료의 변형량은 거의 동일하였으나(약 70%), 기존의 고주파유도 가열 방법으로 제조한 시편($B_r = 10.9$ kG, $H_c = 6.4$ kOe)보다 CA-deformation에 의해 얻어진 시편($B_r = 11.7$ kG, $H_c = 9.3$ kOe)의 자기적 특성이 우수함을 알 수 있다. 일반적으로 die-upset에 의해서 등방성 자석이 이방성으로 변화할 때, 온도와 시료의 변형속도 및 변형량에 의해서 B_r 값이 결정되어지기 때문에 본 실험에서 CA-deformed 자석과 비교하기 위하여 고주파유도 가열방식으로 제조한 이방성 NdFeB 자석의 자기 특성이 최적조건에서 얻어졌다고 볼 수 없지만, CA-deformation 공정에 의해 우수한 이방성 자기적 특성을 갖는 NdFeB 영구자석 제조가 가능하다는 것을 알 수 있다. 여기에서 시료의 변형량은 시편의 초기 높이에 대한 변형 후의 높이 비를 백분율로 표시하는 가공도(Thickness reduction ratio, TR(%))로 나타낸다.

$I_{dc} = 2000$ A, $P_a = 20$ MPa일때 CA-press에 의해 제조된 등방성 자석(Fig. 4(b))과 CA-deformation(Fig. 4(d))에 의해 얻어진 이방성 NdFeB 자석의 프레스방향에 수직 한 면의 X선 회절분석 결과를 Fig. 5에 나타내었다. JCPDS 카드에 의하면, Nd₂Fe₁₄B의 최대피크는 (410)에서 나타나며 (214), (411), (314), (105) 순서로 회절강도가 낮아진다. (410) 피크의 회절강도를 100으로 하면, (006) 피크의 상대강도는 17이다. 등방성 자석(a)에서 나타나는 회절피크들은 Nd₂Fe₁₄B 피크들과 일치한다. 그러나 (214), (410), (210) 피크의 회절강도가 거의 비슷하고

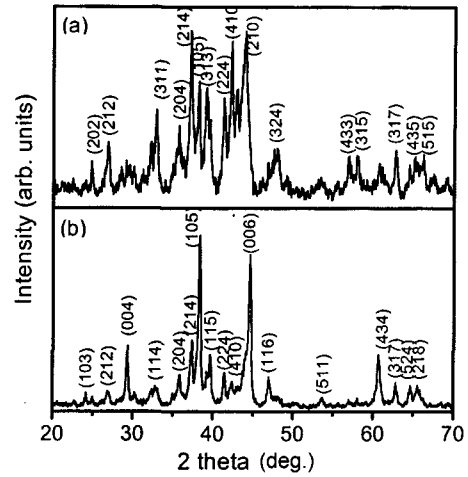


Fig. 5. XRD patterns of (a) CA-pressed and (b) CA-deformed NdFeB magnet.

주요피크로 성장한 것으로 보아 본질적으로 등방성 영구 자석이 부분적으로 결정립이 정렬되어 있는 이방성 조직이 형성되고 있음을 알 수 있다. 이방성 자석(Fig. 5(b))의 XRD 회절패턴을 살펴보면 등방성 자석에서 우세하게 나타났던 피크의 상대강도는 크게 낮아졌으며, (105), (006) 회절피크가 주요 피크로 크게 성장하였다. 이것은 등방성 영구자석의 정방정 구조를 갖는 Nd₂Fe₁₄B 결정립이 소성변형과정에서 <100> 방향으로 성장하고, 입자 정렬에 의해 이방성 조직이 형성되기 때문이라고 생각된다. Die-upset에 의해 이방성 NdFeB 자석을 제조하는 경우에 시료의 변형량이 증가함에 따라 B_r 값이 증가하는 것으로 알려져 있다. 따라서 시료의 변형량에 따라 시료 내부에 분포하는 우선방위(Prealigned texture) 정도가 상이할 것으로 생각된다. 이때 집합조직 형성은 X선 회절시험 등을 이용하여 확인할 수도 있으나, 영구자석의 B_r 값에 직접적인 영향을 미치므로 일반적으로 자기특성의 측정을 통해서도 간접적으로 확인할 수 있다.

$I_{dc} = 2500$ A, $P_a = 70$ MPa에서 CA-press에 의해 제조된 등방성 영구자석을 다시 CA-deformation에 의해 가공도 52%, 74%, 81%인 이방성 자석으로 제조한 후 각 자석에 대해 프레스 압축응력 방향에 수직 한 면의 자기소거곡선을 Fig. 6에 나타내었다. CA-press에 의해 제조된 등방성 자석의 B_r (8.2 kG)이 초기분말 자체의 B_r (7.5 kG)보다 높은 것은 CA-press 공정에 의해 얻어지는 영구자석이 부분적으로 집합조직을 이루고 있음을 예시해 주는 결과이다. 등방성 자석을 모체로 CA-deformation에 의한 이

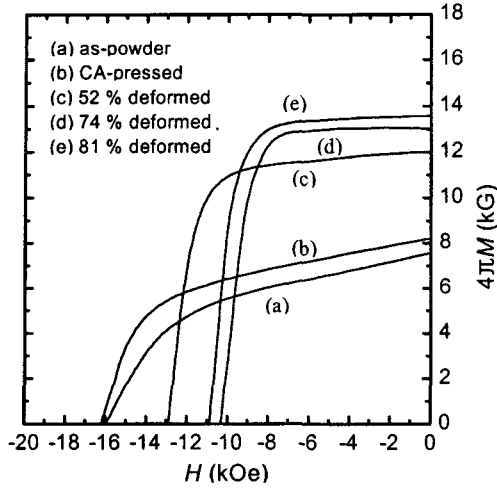


Fig. 6. Demagnetization curves of (a) raw powder, (b) CA-pressed magnet and CA-deformed magnets with the thickness reduction of (c) 52 %, (d) 74 %, and (e) 81 %.

방성 자석의 가공도가 52 %, 74 %, 81 %로 증가함에 따라 H_c 는 12.9 kOe, 10.3 kOe, 10.9 kOe로 변하고, B_r 는 12 kG, 13 kG, 13.6 kG로 증가하였다. 이 결과 $(BH)_{max}$ 은 33.5 MGOe, 41.5 MGOe, 44.2 MGOe를 나타내고 있다. 이와 같이 가공도가 증가함에 따라 B_r 가 증가하는 것은 소성변형효과에 의해 $Nd_2Fe_{14}B$ 결정립이 방향성을 가지며 이방성 조직을 형성하기 때문으로 사료된다. 일반적으로 NdFeB 영구자석의 경우 B_r 의 증가는 결정립 미세화에 의한 $Nd_2Fe_{14}B$ 입자간 상호작용 효과와 자화용이축인 c-축 정렬에 기인하는 것으로 생각할 수 있다. Croat[15] 등의 연구에 의하면 일반적인 hot-deformation에 의해 제조된 이방성 NdFeB 영구자석(MQ3 자석)의 경우 가공도가 약 60 %에 도달할 때까지 B_r 가 계속 증가한 후 그 이상에서는 포화상태에 이르게 된다.

가공도에 따른 이방성 NdFeB 영구자석 시편의 X-선 회절패턴을 Fig. 7에 나타내었다. 가공도 52 %에서 (105)와 (006) 회절강도가 등방성 자석의 경우보다 상대적으로 크게 나타나고 있는 반면, 가공도 74 %, 81 %에서는 (105)와 (006) 회절피크가 크게 성장하여 주요피크로 나타나고 있다. 이와 같이 CA-deformation 공정에 의해 제조된 이방성 NdFeB 영구자석은 hot-deformation 공정에 의해 제조되는 이방성 영구자석과 마찬가지로 소성변형에 의한 가공도가 클수록 결정의 특정방향에 대한 배향성이 증가하여 상대적으로 잔류자화가 증가하고, 이로 인하여

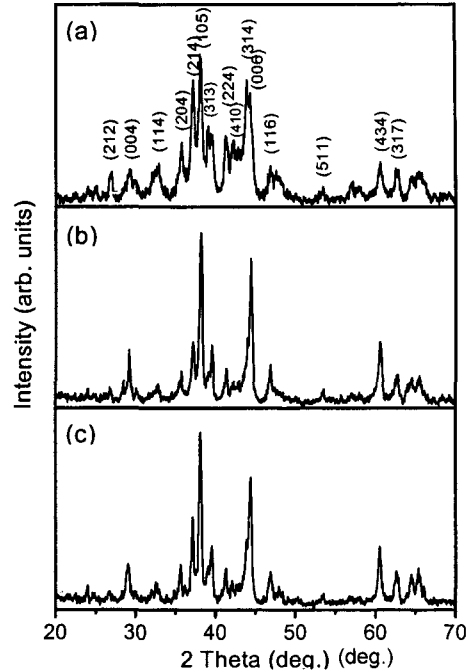


Fig. 7. XRD patterns of CA-deformed magnets with the thickness reduction of (a) 52 %, (b) 74 %, and (c) 81 %.

고에너지적이 얻어지는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

급냉응고법으로 제조된 NdFeB 분말로부터 CA-press 및 CA-deformation 공정에 의해 등방성 및 이방성 NdFeB 영구자석을 제조하고, 이로부터 자기적 특성을 조사한 결과 CA-press에 의하여 제조된 등방성 NdFeB 영구자석의 보자력은 시료에 가해지는 압력에 따라 크게 다르며, 상대적으로 높은 압력에서 보자력이 크게 나타났다. 반면 잔류자화는 시료에 가해졌던 압력 및 잔류의 변화에 관계없이 거의 일정하였다. 등방성 시편인 경우 대체로 $(BH)_{max} \geq 15$ MGOe이며, $I_{dc} = 2000$ A, $P_a = 50$ MPa에서 $B_r = 8.7$ kG, $H_c = 16.9$ kOe, $(BH)_{max} = 16.5$ MGOe의 등방성 NdFeB 영구자석이 얻어졌다. CA-deformation에 의해 $(BH)_{max} \geq 40$ MGOe인 이방성 NdFeB 영구자석을 얻었으며, 시편의 가공도가 클수록 B_r 의 증가로 인하여 $(BH)_{max}$ 이 증가하였다. 시편의 가공도가 81 %일때 $B_r = 13.6$ kG, $H_c = 10.9$ kOe, $(BH)_{max} = 44.2$ MGOe의 고에너지 특성을 가지는 이방성 NdFeB 영구자석을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] M. Sagawa, S. Fujimori, N. Togawa, H. Yamamoto, and Y. Matsuura, *J. Appl. Phys.*, **55**(6), 2083(1984).
- [2] R. W. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, **46**, 790(1985).
- [3] R. W. Lee, E. G. Brewer, and N. A. Schafel, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-21**, 1958(1985).
- [4] L. J. Eshelman, K. A. Young, V. Panchanathan and J.J. Croat, *J. Appl. Phys.*, **64**(10), 5293(1988).
- [5] T. Saito, M. Fujita, K. Fikuoka and Y. Syono, *J. Jap. Inst. Metals*, **62**(5), 457(1998).
- [6] S. Guruswamy, M.K. McCarter, J.E. Shield and V. Panchanathan, *J. Appl. Phys.* **79**(8), 4851(1996).
- [7] M. Leonowicz, W. Kaszuwara, E. Jerieroka, D. Januszewski, G. Mendora, H.A. Davies and J. Paszula, *J. Appl. Phys.*, **83**(11), 6634(1998).
- [8] F. Fukunaga, H. Tomita, M. Wada and F. Yamashita, *J. Appl. Phys.*, **736**(10), 6846(1994).
- [9] Z. G. Liu, M. Umemoto, S.Hirasawa and H. Kanekyo, *J. Mater. Res.*, **14**(6), 2540(1999).
- [10] M. Wada and F. Yamashita, *IEEE Trans. Magn.*, **26**, 2601(1990).
- [11] F. Ymashita, S. Hashimoto and Y. Sasaki, *IEEE Trans. Magn.*, **35**(5), 3304(1999).
- [12] I. J. Shon, Z. A. Munir, K. Yamazaki and K. Shoda, *J. Am. Ceram. Soc.*, **79**, 1875(1996).
- [13] 최국선, 김진영, 이동희, *대한금속학회지*, **30**(7), 840(1992).
- [14] 오장환, 조원승, 최상욱, 최장민, *대한금속학회지*, **35**(3), 231(1998).
- [15] J. J. Croat, V. Panchanathan and K. H. Sec, *Proc. 10th Int. Workshop on Rare-Earth Magnets and Their Applications*, Kyoto, Japan, 389(1989).

Magnetic Properties of NdFeB Permanent Magnets Fabricated by CAPA Process with Melt-spun Powder

H. T. Kim^{*,***} · Y. B. Kim^{*} · W. Y. Jeon^{**} · H. S. Kim^{***}

**Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-600*

***Kwangyang College, Kwangyang 545-703*

****Chonbuk National University, Chonbuk 561-756*

(Received 3 September 2001; in final form 11 December 2001)

Magnetic properties of the isotropic and anisotropic NdFeB magnets obtained by the Current-Applied Pressure-Assisted (CAPA) process from a melt-spun NdFeB powder were investigated using B-H loop analyser. The coercivity of the isotropic magnets is sensitive to the applied pressure in the CA-pressing and increases with increasing the pressure. The remanence of the anisotropic magnet increases with increasing the degree of deformation, and it results in the increase of a maximum energy product. The best magnetic properties of the isotropic and anisotropic magnet are $B_r = 8.7$ kG, $H_c = 16.9$ kOe, $(BH)_{max} = 16.5$ and $B_r = 13.6$ kG, $H_c = 10.9$ kOe, $(BH)_{max} = 44.2$ MGOe, respectively.

Key words : NdFeB, isoropic, anisotropic, CAPA