

이방성 Sr-페라이트/ 레진본드 영구자석에서 Sr-페라이트 자성분말의 방향성

정원용

한국과학기술연구원 금속부
서울시 성북구 하월곡동 39-1, 136-791

조태식 · 문탁진

고려대학교 재료공학과
서울시 성북구 안암동 5가 1, 136-701

(1994년 7월 7일 받음, 1994년 9월 13일 최종수정본 받음)

이방성 Sr-페라이트/레진본드 영구자석에서 외부자장과 성형체의 유동성이 Sr-페라이트 자성분말의 방향성에 어떤 영향을 미치는지 조사하였다. 이방성 Sr-페라이트 자성분말의 방향성은 외부자장의 세기와 충전율과 성형온도의 함수인 유동성에 따라 변화하였다. 자성분말의 방향성은, 자성분말의 충전율이 56 vol% 이고 1000 sec^{-1} 의 전단속도에서 성형체의 겔보기점도가 약 3000 poise 이하인 성형온도에서 5 kOe 이상의 자장을 가해주었을때, 본 실험에서 얻을 수 있는 최대값을 나타내었다. 이러한 조건에서 직류자기이력곡선으로부터 측정된 Sr-페라이트 자성분말의 방향성은 배향도가 84~85% (0.84~0.85) 이었다. 이 결과는 23~40° 범위의 2θ 에서 X-선 회절분석 결과인 0.85의 방향계수와 일치하였다. 이러한 Sr-페라이트 자성분말의 방향성에서 이방성 레진본드 영구자석은 잔류자속밀도가 2.2 kG, 최대자기에너지적이 2.2 MGOe 인 자기특성을 나타내었다.

I. 서 론

레진본드 영구자석은 레진에 자성분말을 혼합하여 레진의 가공성과 자성분말의 기능성을 혼합시킨 복합재료 영구자석이다 [1]. 레진본드 영구자석은 고무를 결합제로 사용한 고무자석, 플라스틱을 결합제로 사용한 플라스틱자석이 광범위하게 사용되고 있다. 레진본드 영구자석의 자기특성은 혼합한 자성재료의 종류, 자성분말의 입도, 충전율, 그리고 자성분말의 방향성에 따라 변화한다. 레진본드 영구자석은 자성재료만으로 제조된 소결자석 [2]에 비하여 비자성체인 레진이 혼합되어 있기 때문에 결합체가 차지하는 분율에 비하여 자기적 특성이 감소한다. 그러나 레진본드 영구자석은 소결자석과 비교하여 이방성 자성분말을 이용한 다양한 방향과 다극으로 이방화가 가능하며, 2차 가공없이 복잡한 형상의 영구자석을 제조하는 것이 가능한 장점을 갖는다. 그러므로 이방성 SrO-6Fe₂O₃ (이하 Sr-페라이트) / 레진본드 영구자석은 이방성 자성분말의 방향성을 향상시킴으로써 자기특성이 우수한 영구자석을 제조할 수 있다.

본 연구에서는 이방성 Sr-페라이트/레진본드 영구자석에서 외부자장과 분말의 충전율과 성형온도의 함수인 유동성이 Sr-페라이트 자성분말의 방향성에 어떤 영향을

미치는지 조사하였다. 또한 자장중 사출성형시 외부자장의 세기의 따른 이방성 Sr-페라이트 자성분말의 자화과정이 연구되었다. 이 연구를 통하여 다극 이방성 Sr-페라이트/나일론6 레진본드 영구자석의 제조시 자성분말의 방향성과 자기특성과의 관계를 규명하고, 이를 토대로 최적의 제조조건에 관한 기준을 제시하고자 하였다.

II. 실험방법

본 실험에 사용된 이방성 Sr-페라이트 자성분말은 벵가라사(일본)의 평균입도가 1.0~1.2 μm 로 알려진 레진본드자석용 자성분말이다. 레진본드자석에 결합제로 주로 사용되는 나일론6는 100 °C 이하의 온도에서는 고체상태로 존재하기때문에, 기초실험에서는 100 °C 이하에서 액체상태로 우수한 유동성을 나타내는 파라핀왁스(Paraffin Wax)를 결합제로 사용하였다. 용융온도가 69 °C 인 파라핀왁스는 일본의 Nippon Seiro사의 제품을 사용하였다. Sr-페라이트 자성분말과 파라핀왁스는 잔존하는 수분의 제거를 목적으로 진공오븐에서 60 °C 에서 10시간 동안 건조되었다. 건조 후 시료는 Z-blade형 혼합기에서 100 °C 에서 2시간동안 혼합되었다. 본 실험에서는 Sr-페라이트의 입체충전율인 60 vol% 이하에서 자장중 성형

이 용이하므로 Sr-페라이트의 충전율을 52, 56, 60 vol%로 변화시켜서 혼합하였다. 혼합된 시료는 펠렛화 하였으며, 외부에서 가해주는 자장의 세기를 0~10kOe로 변화시키면서 자장중 성형되었다. 자장중 성형온도는 60, 80, 100℃로 변화시켰다. 실제 사용가능한 8극 이방화된 링형의 Sr-페라이트/나일론6 레진본드 영구자석은 파라핀왁스를 결합제로 이용한 기초실험의 결과를 이용하여 자장중 사출성형으로 제조되었다.

다극 이방성 레진본드 영구자석의 제조시 자성분말의 방향성과 자기특성과의 관계를 규명하기 위하여, 직류자화이력곡선 측정장치를 이용하여 자장방향의 잔류자속밀도(B_r , //)와 자장수직방향의 잔류자속밀도(B_r , ⊥)를 측정하였다. 자성분말의 이방화율인 배향도는 다음의 식을 이용하여 계산되었다[3].

$$\text{배향도}(\%) = \frac{B_r(//)}{B_r(//) + B_r(\perp)} \times 100$$

또한 자성분말의 방향성은 X-선 회절분석을 이용하여 연구되었다. 이 X선 회절패턴을 이용하여 방향계수(q)는 Lotgering과 Gillan에 의하여 제시된 식[4, 5]을 기초로 하여 본 실험 결과를 고려한 보정식으로 제시되었으며, ϕ_1 , ϕ_2 는 기저면과 (107), (108)면이 이루는 각도이다.

$$q = \frac{I_{006} + I_{008} + I_{107} \cdot \cos \phi_1 + I_{108} \cdot \cos \phi_2}{\sum I_{hkl}}$$

사출성형체의 유동성의 척도인 걸보기점도는 Capillary Rheometer를 이용하여 성형온도의 범위에서 측정되었다. 사용된 Capillary는 직경이 0.765mm, 길이가 25.542mm이다. 표면자속밀도는 Hall-Probe와 자체 제작한 측정장치를 이용하여 측정되었다.

III. 결과 및 고찰

Sr-페라이트 자성분말과 결합제로 혼합된 시료를 자장중 성형하는 경우 Sr-페라이트 자성분말은 외부자장하에서 자화된다. 자성분말의 자화과정에서 각각의 자성분말이 단자구 상태로 존재하는지 다자구 상태로 존재하는지의 문제는 중요하다. 이러한 문제는 자성분말의 크기에 영향을 받는다. 그림 1은 본 실험에 사용한 이방성 Sr-페라이트 자성분말의 형상과 평균입도를 조사하기 위한 SEM 사진과 입도분포이다. 이방성 Sr-페라이트 자성분

말의 평균입도는 SEM사진의 입자들의 직경을 산술평균한 결과 약 1.1 μm 이었으며, 0.3 μm 이하의 입도는 분율이 작기때문에 제외시켰다. Sr-페라이트 자성분말이 단자구 거동을 하는 임계크기는 0.2 μm 이며, 입자들이 구형이고 단자구 상태라고 가정할 경우 진보자력은 약 17 kOe이다. 또한 K. Watanabe 등에 의하면[6], 이방성 Sr-페라이트 자성분말은 0.5 μm 이하의 입도에서는 주로 단자구 상태로 거동하고, 0.5~2.0 μm 사이의 입도에서는 단자구와 다자구가 동시에 존재가능하고, 2.0 μm 이상의 입도에서는 주로 다자구 상태로 존재하는 것으로 보고되었다. 이상의 논의에서 본 실험에서 사용한 이방성 Sr-페라이트 자성분말은 0.5 μm 이하의 단자구 상태와 다자구 상태의 자성분말이 공존하고 있는 것으로 판단되며, 보자력(iH_c)은 일체적으로 반전하는 단자구 입자들만으로 이루어지지 않았기때문에 그림 3에서 볼 수 있듯이 17 kOe의 진보자력보다 크게 감소한 약 4 kOe의 값을 나타내었다.

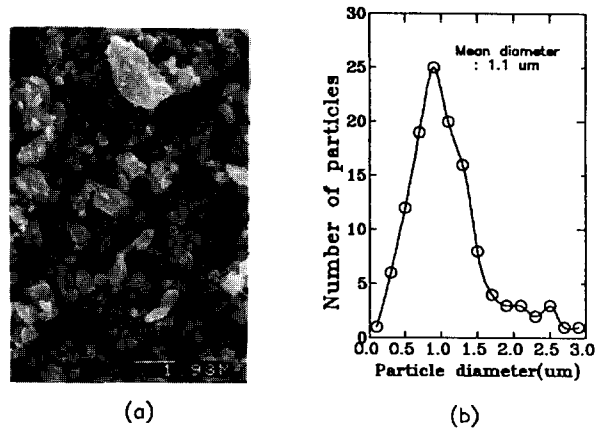


Fig. 1. SrO-6Fe₂O₃ magnetic powder (a) SEM micrograph (b) particle size distribution

이방성 Sr-페라이트 자성분말은 결정자기이방성을 갖기때문에 자기특성은 측정하는 방향에 의존하며, c축방향으로 하나의 자화용이축만을 갖고 있다. 자구의 분립이 정자기에너지를 감소시키므로 임계크기 이상의 Sr-페라이트 자성분말은 다자구 상태로 존재하지만, 자화방향은 상향 또는 하향만을 갖는 일체결정의 자구구조를 갖는다. 그러므로 본 실험에서 이방성 Sr-페라이트 자성분말의 자구회전에 의한 자화는 각각의 자성분말 내의 자구들이 독립거동을 한다는 가정하에서 Stoner-Wohlfarth Mode에 의하여 아래의 식으로 설명될 수 있다[7].

$$E = K_0 + K_1 \cdot \sin^2 \theta - HM_s \cdot \cos(\phi - \theta)$$

K_0 는 θ 에 의존하지 않는 에너지항이다. 두번째 항인 $K_1 \cdot \sin^2 \theta$ 는 이방성에너지로서 그림 2에서 보듯이 가해진 자장 H 가 단자구의 M_s 벡터를 자화용이축 방향으로부터 각 θ 만큼 회전시키면, 이러한 회전은 자기이방성의 되돌리려는 힘에 저항해서 일어나는 것으로서 이를 표현한 식이다. 세번째 항은 외부자장 H 가 자화용이축과 각 ϕ 를 이루고 있을때의 포텐셜에너지로서 $-HM_s \cdot \cos(\phi - \theta)$ 로 주어진다. 60, 80, 100 °C의 자장중 성형온도에서, L. Jahn 등에 의하면[8] Sr-페라이트 자성분말의 결정이방성 상수인 K_1 는 약 3. 15, 3. 05, 2. 95($\times 10^6$ erg/cm³)의 값을 갖으며, 포화자화값인 M_s 는 약 330, 320, 310 (erg/Oe·cm³)의 값을 갖는 것으로 보고되었다[8].

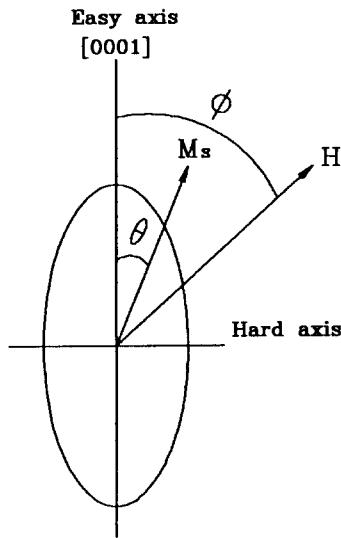


Fig. 2. Rotation of magnetization with magnetic field in a Sr-ferrite particle.

본 실험에서 자장중 성형시 각각의 이방성 Sr-페라이트 자성분말은 외부자장 H 와 자화용이축이 각 ϕ 만큼의 방향의 차이가 존재하면, 외부자장방향과 동일한 방향으로 자성분말 내부의 스핀이 회전하거나 자성분말 자체가 회전하면서 자화될 것이다. Stoner-Wohlfarth Mode에서 두번째 항인 이방성에너지는 자성분말 내부의 스핀회전과 관련한 항이며, 세번째 항인 포텐셜에너지는 자성분말 자체가 회전하는 것과 관련한 항이다. 또한 자성분말

자체의 회전은 자장중 사출성형시 Sr-페라이트 자성분말이 파라핀왁스 결합제와 혼합되어 있기때문에, 자성분말과 결합제의 계면에서 자성분말의 회전을 방해하는 힘의 존재를 동시에 고려해야 한다.

그림 3은 레진본드자석에서 단자구와 다자구 상태가

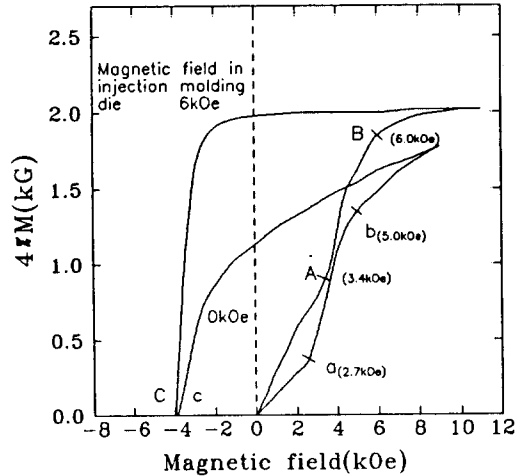


Fig. 3. Applied magnetic field dependence of hysteresis loop.

공존하는 Sr-페라이트 자성분말의 자화곡선으로서, 자장을 가하지 않고 사출성형한 등방성 시편 (oabc)과 최대 배향도가 가능한 6 kOe의 자장중에서 사출성형한 이방성 시편 (OABC)의 자화이력곡선이다. 시편은 사출성형 후 냉각시켰기때문에 외부자장하에서 자성분말 자체는 회전할 수 없는 상태이다. Oa와 OA 구간은 자성분말이 자화용이축 방향으로 스핀반전에 의해 지배적으로 자화되는 구간이다. 이러한 자성분말의 자화는 등방성 시편에서는 2.7 kOe 이하의 자장에서, 이방성 시편에서는 3.4 kOe 이하의 자장에서 일어났다. 또한 이방성 시편 내의 자성분말들은 자장방향으로 이미 정렬된 상태이므로 OA 구간에서 큰 자화량을 나타내었다. 외부자장의 세기를 증가시킨 ab와 AB 구간은 다자구 상태로 존재하는 자성분말이 자벽이동에 의하여 단자구의 거동을 하면서 급격히 자화되는 구간이다. 이러한 다자구 입자들의 자벽이동에 의한 자화는 등방성 시편에서는 약 5.0 kOe 이하의 자장에서, 이방성 시편에서는 약 6.0 kOe 이하의 자장에서 일어났다. 또한 이방성 시편내의 다자구 상태의 입자들은 자장중 성형시 자장방향으로 이미 정렬되어 있으므로 AB 구간은 큰 자화량을 나타내었다. 점 b와 B에서 포화자화가 가능한 외부자장까지의 영역은 자장방향으로 Sr-페라이트

트 자성분말의 회전자화에 의한 자화영역이다. 이방성 시편에서는 최대배향도가 가능한 외부자장에서 성형되었기 때문에 등방성 시편과 비교시 각각의 자성분말의 자화용이축과 자장방향 사이의 각이 크지않으며, 따라서 회전자화에 의한 자화량의 증가는 작게 나타났다. 이상의 결과에서 레진본드자석의 자장중 성형시 가해주는 외부자장의 세기가 증가할수록 자성분말의 자장방향으로의 배열이 증가하여 자기특성이 향상되나, 약 6kOe 이상의 자장에서는 자장방향으로 자성분말의 회전자화가 일어나므로 자성분말의 방향성이 낮아지고 자기특성도 감소하는 사실을 알수 있었다. 그러므로 최대 자기특성의 레진본드자석은 회전자화를 일으키지않는 6kOe 이하의 외부자장에서 충전율과 성형온도의 함수인 성형체의 유동성을 조절하는 것에 의하여 자성분말의 최대배향도는 얻는 방법으로 제조할 수 있었다.

그림 4는 자장중 사출성형시 외부자장과 동일한 방향으로 자성분말 자체가 회전하는 현상을 규명하기 위한 X선 회절분석 결과이다. X-선 회절분석은 자성분말의 방향성을 측정하는 한 방법으로서, 자성분말 내의 스핀회전과 관계없이 자성분말 자체가 회전하는 정도를 측정할 수 있는 방법이다. 또한 그림 9에서 볼 수 있듯이 다극 이방성 레진본드자석인 경우, 직류자화이력곡선 장치를 이용하여 자성분말의 방향성을 측정하는 방법은 시편의 제조가 어렵기 때문에 X-선 회절분석 방법은 유용하다. 그림 4는 충전율이 56 vol%인 성형체를 100℃의 성형온도에서 한 방향으로 외부자장의 세기를 변화시켜 가면서 시편을 제작하여 X-선 회절분석을 한 실험결과이다. 방향성에 따른 이방화율은 이 X-선 회절패턴을 이용하여 Lotgering-Gillan에 의하여 제시된 식을 기초로 방향계수(q)로 계산되었다.

그림 5는 외부자장에 따라서 직류자화이력곡선 장치를 이용한 자성분말의 방향성인 배향도와 X-선 회절분석을 이용한 자성분말의 방향성인 방향계수와의 관계를 나타낸 것이다. 일방향 자장중 성형된 시편에서 배향도는 무자장중에서 50%(0.50)이고 5kOe 이상의 자장에서 84%(0.84)의 최고값을 나타내었다. 방향계수는 가해준 외부자장의 세기가 증가함에 따라 연속적으로 증가하였다. 또한 방향계수는 20~60° 범위의 2θ에서 회절강도를 고려한 경우, 무자장중에서 0.35이고 최고값은 0.67로서 전체적으로 배향도보다 낮은 값을 나타내었다. 20° 이하의 2θ에서 회절강도는 특성피크가 나타나지 않아서 제외시켰다. 이를 보정하기 위하여 (006)면과 (108)면 사이의 회절강도만을 고려하여 23~36° 범위의 2θ에서 방향계수를 계산한 결과, 무자장중에서 0.60 이고 최고값은 0.90

으로서 전체적으로 배향도보다 오히려 높은 값을 나타내었다. 배향도와 일치하는 방향계수를 얻기위하여 2θ의 범위를 23~40°로 보정하였을 경우, 방향계수는 무자장중에서 0.52이고 최고값은 0.85로서 전체적으로 배향도와 거의 일치하는 결과를 나타내었다. 이러한 사실은 배향도를 측정하기 어려운 다극 이방성 레진본드자석에서 방향계수만을 측정하여 자성분말의 방향성을 연구하는데 유용하다.

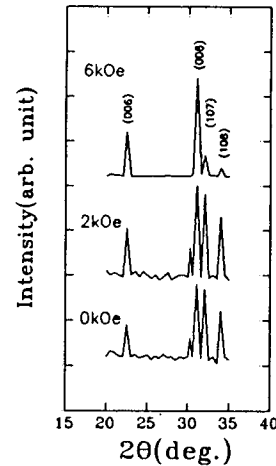


Fig. 4. Applied magnetic field dependence of X-ray diffraction pattern.

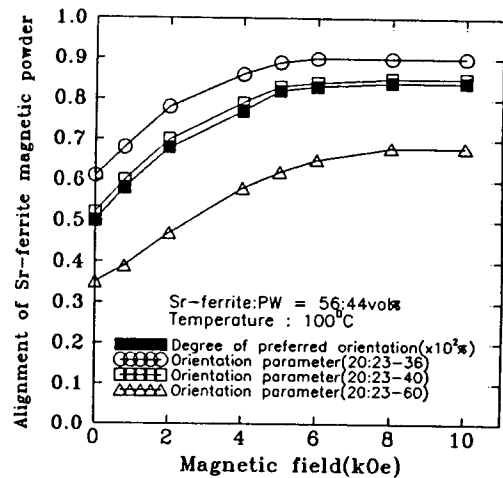


Fig. 5. The relationship between orientation parameter and preferred orientation according to the applied magnetic field.

자장중 성형시 이방성 레진본드자석의 자기특성은 가해진 자장방향으로의 자성분말의 배향도가 증가할수록 증가한다. 이때 자성분말의 배향도는 성형체의 유동성에 영향을 받으므로 성형조건은 중요하다. 그림 6은 자장중 성형시 자성분말 자체가 회전할때 자장중 성형온도와 충전율에 따른 자성분말과 결합제의 계면에서 자성분말의 회전을 방해하는 힘의 척도인 성형체의 유동성에 관하여 측정된 결과이다. 겔보기점도는 성형체의 유동성의 척도로서, 성형온도가 증가하면 감소[9]하고 충전율이 증가하면 증가[10-11]하는 것으로 보고되었다. 유동성이 우수한 순수 파라핀왁스는 100℃의 온도에서 약 10 poise의 겔보기점도를 나타내었다. 56 vol%의 Sr-페라이트 충전율과 결합제로 파라핀왁스를 사용한 경우, 겔보기점도는 성형온도가 증가함에 따라 감소하였으며, 60℃의 성형온도에서 5400 poise, 100℃의 성형온도에서 2800 poise의 값을 나타내었다. 100℃의 일정한 성형온도에서 겔보기점도는 52 vol%의 충전율에서는 2300 poise이고 60 vol%의 충전율에서는 3600 poise로서, 충전율이 증가함에 따라 증가하였다.

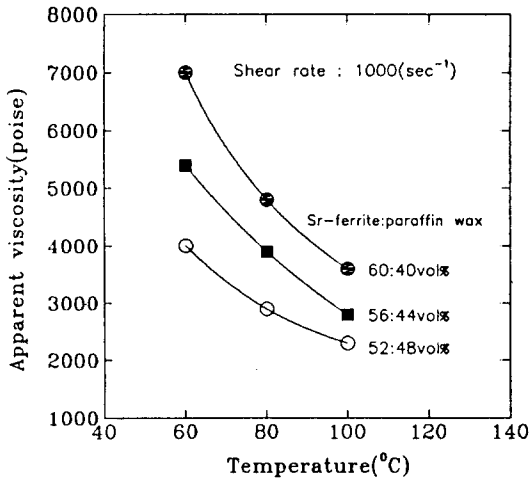


Fig. 6. The relationship between molding temperature and fluidity according to the Sr-ferrite packing ratios.

그림 7은 자장중 성형시 성형온도에 따른 성형체의 유동성을 측정된 실험결과로서, 56 vol%의 일정한 충전율에서 성형온도에 따른 외부자장의 세기와 잔류자속밀도와의 관계를 나타내고 있다. 결합제로 사용한 파라핀왁스는 온도가 증가함에 따라 겔보기점도가 감소하였다. 성형온도가 증가하면 Sr-페라이트 자성분말의 유동성이 증가하여 자장방향으로의 자성분말의 배향도가 증가하였다.

그러므로 최대 잔류자속밀도는 성형온도가 60℃에서는 1.95 kG, 80℃에서는 2.05 kG, 그리고 100℃에서는 2.2 kG의 값을 갖었으며, 성형온도가 증가함에 따라 증가하였다. 자성분말의 최대배향도는 성형온도가 60℃에서는 76%, 80℃에서는 79%, 그리고 100℃에서는 84%의 값을 나타내었다.

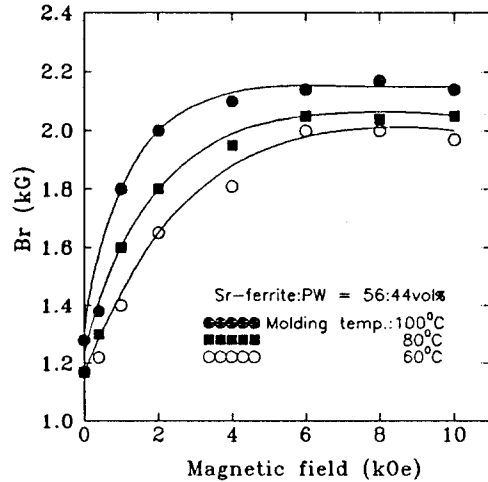


Fig. 7. The Relationship between applied magnetic field and remanent flux density (B_r) according to the molding temperatures.

그림 8은 일정한 성형온도에서 자성분말의 충전율에 따른 외부자장의 세기와 배향도와의 관계를 나타내고 있다. Sr-페라이트 자성분말의 충전율이 증가하면 성형체의 점도가 증가하여 자성분말의 유동성이 감소하기 때문에 자성분말의 배향도는 감소하였다. 60 vol%의 자성분말의 충전율은 임계충전율이므로 자성분말 표면에 결합제가 충분히 존재하지 않으므로 유동성이 급격히 감소하여 자장방향으로의 자성분말의 배열이 용이하지 못하다. 그러므로 자성분말의 배향도가 80% 이하의 값을 나타내었다. 56 vol%의 충전율은 52 vol%와 비교하여 4 kOe 이하의 외부자장에서는 작은 배향도를 갖고, 4 kOe 이상의 외부자장에서는 큰 배향도를 나타내었다. 이것은 자성분말의 충전율이 56 vol%로 증가하면 비자성체인 파라핀왁스의 양이 감소하므로 잔류자속밀도가 증가하게 되지만 유동성이 감소하여, 4 kOe 이하의 외부자장에서는 자성분말의 배향도가 감소하나 4 kOe 이상의 큰 외부자장에서는 유동성과 관계없이 자성분말이 자장방향으로 정렬이 가능하므로 84%의 큰 배향도를 나타내었다. 자성분말의 충전율이 56 vol%이고 1000 sec⁻¹의 전단속도

에서 성형체의 겔보기점도가 약 3000 poise 이하인 100 °C의 성형온도에서 5kOe 이상의 자장을 가해주었을때 최대배향도는 84%이었으며, 이때 시편은 잔류자속밀도가 2.2kG, 보자력이 4kOe, 그리고 최대자기에너지적이 2.2MGOe의 값을 나타내었다.

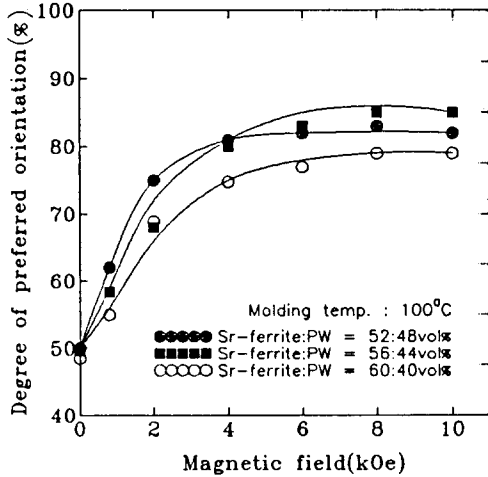


Fig. 8. The relationship between applied magnetic field and preferred orientation according to the Sr-ferrite packing ratios.

Sr-페라이트/파라핀왁스 레진본드자석은 기계적, 열적 특성이 나쁜 관계로 실제 사용할 수가 없다. 그러므로 기초실험 결과를 이용하여 실제 사용가능한 8극 이방성 Sr-페라이트/나일론6 레진본드 영구자석을 제조하였으며, Sr-페라이트 자성분말은 56 vol%의 충전율로 나일론6와 혼합되어 자장중 사출성형되었다. 자장중 사출성형온도는 1000 sec⁻¹의 전단속도에서 겔보기점도가 3000 poise 이하인 285-290 °C 영역이었다. 외경 60mm, 내경 50mm인 사출성형 다이 내에는 5kOe 크기의 외부자장을 8극 이방화가 가능하도록 가해주었다.

그림 9(a)는 제조된 8극 이방화된 링형의 Sr-페라이트/나일론6 레진본드자석의 형상을 나타낸 것이다. 그림 9(b)는 사출성형 다이내에 가해진 자장방향과 이에 따른 자성분말의 배열상태를 나타낸 개략도이다. 8극 이방화된 링형자석 내부의 표면자속밀도는 sin 곡선을 그리며 +1200~-1200G의 값으로 변하였다. 표면자속밀도는 극 경계위치에선 0G로 최소이며, 중간위치에선 880G의 값을 갖고, 극 위치에선 1200G로 최대값을 갖는다. 표면자속밀도가 서로 다른 세 위치에서의 자성분말의 방향성은 극 경계위치에서 배향도는 34%이며 극위치로 갈수록 증가하였다. 극 경계위치에서 배향도가 50% 이하

로 나타나는 이유는 자장방향이 극위치와 수직이며, 방향성의 측정방향이 자성분말의 자화난이축 방향인 것에 기인하였다. 극위치에서 최대배향도는 85%로서 결합제로 파라핀왁스를 사용한 기초실험 결과인 84%와 거의 일치하는 유용한 결과를 보였다. X-선 회절분석으로 측정된 방향계수는 23~40° 범위의 2θ에서 극 경계위치에서 0.35이며 극위치로 갈수록 증가하였다. 극위치에서 최대 방향계수는 0.85로서 기초실험 결과인 0.85의 방향계수와 일치하였다. 또한 극 경계위치에서의 방향계수는 0.35로서 극 경계위치에서의 배향도인 34%와 거의 일치하였다. 이상의 조건에서 제조된 이방성 Sr-페라이트/나일론6 레진본드 영구자석의 극 방향에서의 자기특성은 잔류자속밀도가 2.2kG, 최대자기에너지적이 2.2MGOe의 값을 나타내었다.

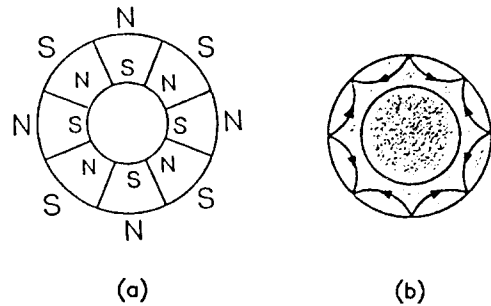


Fig. 9. The shape of 8-pole anisotropic Sr-ferrite/nylon resin-bonded magnet (a) shape (b) alignment of magnetic powder.

IV. 결 론

이방성 Sr-페라이트/레진본드자석에서 Sr-페라이트 자성분말의 방향성에 관한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Sr-페라이트 자성분말의 방향성은 충전율과 성형온도의 함수인 유동성과 외부자장에 비례하였다. 56 vol%의 충전율과 성형체의 겔보기점도가 3000 poise 이하가 되는 성형온도에서 약 5~6kOe의 외부자장을 가한 경우 자성분말은 최대 방향성을 나타내었다.
- 2) 이방성 Sr-페라이트 자성분말의 최대배향도는 84~85% (0.84~0.85)로서, 23~40°의 2θ 범위에서 X-선 회절분석 결과인 0.85의 방향계수와 거의 일치하는 결과를 나타내었다. 이 조건에서 이방성 Sr-페라이트/레진본드 영구자석의 최대 자기특성은 잔류자속밀도가 2.2kG, 최대자기에너지적이 2.2MGOe인 값을 나타내었다.

참고문헌

[1] M. Hamamo, Plastic age, May, 127(1988).
 [2] Intern. Powder Metallurgy Conf., 75(1980).
 [3] P. A. Denes, Ceramic Bull., **41**(8), 509(1962).
 [4] F. K. Lotgering, J. Inorg. Nucl. Chem., **9**, 113 (1959).
 [5] E. Gillan, E. Smethurst, Proc. Brit. Cerem. Soc., **2**, 129(1964).
 [6] K. Watanabe, T. Sakurai and K. Goto, 제 8회 일본응용자기학회학술강연요약집, 149(1984. 11).
 [7] B. D. Cullity, "Introduction to Magnetic Materials", chapter 7, (Addison-Wesley Publishing Co.) pp. **212-215**(1972).
 [8] L. Jain and Muller, Phys. Status Solidi, **35**, 723(1969).
 [9] C. I. Chung, B. O. Rhee, M. Y. Cao and C. X. Liu, Adv. in Powder Tech., **3**, 67(1989).
 [10] A. B. Metzger, J. of Rheology, 1985, **29**, 739 (1985).
 [11] D. I. Lee, Trans. of the Soc. of Rheology, **13**, 273(1969).

The alignment of Sr-ferrite magnetic powder in anisotropic
 Sr-ferrite /resin-bonded magnets

W. Y. Jeung

Div. of Metals, KIST, Seoul 136-791

T. S. Cho, T. J. Moon

Dept. of Mater. Eng., Korea Univ., Seoul 136-701

(Received 7 July 1993, in final form 13 September 1994)

The alignment of Sr-ferrite magnetic powders, which is usually related to the fluidity and the applied magnetic field, is investigated in the anisotropic Sr-ferrite/resin-bonded permanent magnets. The magnetic powder alignment is observed to increase with the applied magnetic field and the fluidity which is a function of molding temperature and powder packing ratio. The best magnetic powder alignment is achieved at the following conditions: Sr-ferrite packing ratio of 56 vol%, apparent viscosity of about 3000 poise in 1000sec^{-1} shear rate, and applied magnetic field of about 5kOe. The degree of preferred orientation of the magnetic powders in the field direction, as determined by the dc hysteresis graphs, is 84~85%(0.84~0.85). This result is in agreement with the value of 0.85 obtained by the X-ray experiments in the 2θ range of $23\sim 40^\circ$. The best magnetic properties obtained are :2.2kG of remanent flux density, 2.2MGOe of maximum energy product.