

## Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> 소결자석의 자기적 특성에 미치는 Zr의 영향

정우상\* · 김윤배 · 정원용

한국과학기술연구원, 금속공정센터  
서울 성북구 하월곡동 39-1

(2002년 9월 10일 받음, 2002년 10월 16일 최종수정본 받음)

Sm-Co 소결자석의 자기적 특성에 미치는 Zr의 영향을 연구하기 위해 Zr 함량별로 잉곳을 제조하여 용체화처리 및 시효 조건에 따른 소결자석의 미세구조와 자기적 특성을 조사하였다. Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> (0.013 ≤ x ≤ 0.026) 합금의 주조직은 x가 증가함에 따라 공정조직의 분율이 작아지고 공정 영역의 크기가 감소하였다. 반면, 수지상 조직은 x=0.022 합금이 가장 미세하였다. Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> 소결자석은 SmCo<sub>5</sub> 상과 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상으로 이루어진 셀 구조를 형성하며 셀 경계상인 SmCo<sub>5</sub> 상의 두께는 20 nm이고 120°의 각을 갖고 형성되었다. 또한, Zr 함량이 증가함에 따라 셀 크기가 감소하였다. 그러나 x=0.026 합금은 셀 경계가 분명하게 정의되지 않고 셀 형태가 x=0.022 합금에 비해 불규칙하였다. 이러한 미세조직 차이로 인해 x=0.022 합금의 자기적 특성이 가장 높았다. Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> 합금의 최적 용체화처리온도는 1170 °C였고, 보자력 향상을 위한 2단시효 공정중 최적의 1단 시효 온도는 850 °C였다.

주제어 : Sm-Co, 소결자석, 미세조직, 자기적특성

### I. 서 론

희토류계 소결자석은 기존의 알니코 및 페라이트 자석에 비해 아주 높은 자기적 특성을 갖고 있어서 전기기기등의 소형 경량화에 반드시 필요한 기능성 재료로 각광을 받고 있다. Sm-Co 계 자석은 1967년 Strnat[1]가 SmCo<sub>5</sub> 자석을 개발한 이후 그 자기적 특성을 향상시키기 위해 많은 연구[2-4]가 이루어졌으며, 1974년에는 SmCo<sub>5</sub>보다 최대자기에너지적의 이론치가 높고 결정 자기 이방성이 우수한 Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub> (M=Fe, Cu, Zr)계 합금이 발견되었다[5,6]. Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub> 자석은 높은 큐리 온도와 결정 자기 이방성[7]을 갖고 있어서 특히 고온이 요구되는 전자 부품등에 주로 사용되고 있다.

Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub> 계 자석의 제조 공정은 여러공정으로 이루어져 있다. 즉 합금의 용해, 분쇄후 자장중 성형하여 소결 및 용체화처리한 후 시효처리에 의해 금속간화합물 SmCo<sub>5</sub> 상과 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상으로 분리된 셀 구조가 형성되어 강자성 특성을 나타낸다[8,9]. Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub> 계 소결자석의 자기적 특성을 향상시키기 위해 첨가하는 원소에는 Fe, Cu, Zr등이 있다. 이 중 Fe는 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상에 고용되어 Fe-Co상을 석출시킴으로써 보자력과 결정 자기 이방성을 저하시키는 반면 포화자속밀도를 증가시키는 역할을 한다. 이는 Fe가 주로 Co와 치환되는 경우 Co에 비해 Fe의 스핀 모멘트가 더 크다는 사실에 기인함이 알려져 있다[10]. 한편, Cu가 첨가되는 경우 Cu가 Co와 치환되어 단위체적당 자기 모멘트가 감소하나 주로

SmCo<sub>5</sub> 상에 고용되어 상대적으로 SmCo<sub>5</sub> 상의 분율을 증가시키며 이들 SmCo<sub>5</sub> 상이 역자구 이동의 pinning site로 작용하여 역자구의 이동을 억제함으로써 보자력을 증가시킨다[11]. Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub> 계 자석의 가장 중요한 첨가원소중의 하나인 Zr은 Fe-Fe 원자쌍의 Fe 원자간 반강자성 상호작용으로 인해 불안정하게 되는 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상의 아령 위치 Fe 원자를 치환하여 Zr-공공쌍으로 존재하며 이로 인해 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상을 안정화시켜 강자성상인 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상에 고용된 Fe 함량이 증가됨으로써 보자력을 증가시킨다고 보고되었다[12,13]. Sun[14] 등은 Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub> 계 자석의 고보자력을 유지하기 위해서는 Fe 함량 증가시 Zr 함량을 증가시켜야 한다고 보고하였다. 그외에 Zr이 주로 SmCo<sub>5</sub> 상에 고용되어 경계상의 두께를 증가시켜 상분리를 위한 원자들의 확산 통로를 제공함으로써 결국 상경계가 명확하게 되어 보자력이 증가된다는 보고도 있었다[15]. 본 연구에서는 고특성의 Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub> 계 소결자석 제조를 위한 최적 Zr 함량을 조사할 목적으로 Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> 합금에서 소결자석의 미세구조와 자기적 특성을 평가하여 이에 대한 Zr의 영향을 조사하였다.

### II. 실험방법

본 연구에 사용할 합금은 진공유도용해로를 이용하여 용해하였다. 알루미늄 도가니에 순금속을 장입한후 Sm 금속이 용해되기 직전 560 Torr의 Ar 분위기로 유지하였으며 용해 완료후 탈산처리를 거쳐 수냉동 몰드에 주조하여 급냉함으로써 편석을 억제하고자 하였다. 이렇게 하여 4 조성의 합금을 제

\*Tel: (033)730-0415, E-mail: wsjung@kistmail.kist.re.kr

**Table I.** Chemical composition of  $\text{Sm}(\text{Co}_{0.688-x}\text{Fe}_{0.242}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_x)_{7.404}$  alloys. (wt.%)

x	nominal composition	measured composition	
		Sm	Zr
0.013	$\text{Sm}(\text{Co}_{0.675}\text{Fe}_{0.242}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_{0.013})_{7.404}$	24.4	1.39
0.018	$\text{Sm}(\text{Co}_{0.670}\text{Fe}_{0.242}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_{0.018})_{7.404}$	24.4	1.87
0.022	$\text{Sm}(\text{Co}_{0.666}\text{Fe}_{0.242}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_{0.022})_{7.404}$	24.1	2.30
0.026	$\text{Sm}(\text{Co}_{0.662}\text{Fe}_{0.242}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_{0.026})_{7.404}$	24.7	2.79

조하였으며 목표 조성 및 분석 조성은 Table I과 같다.

용해된 잉고트는 Ar 분위기하에서 조분쇄기로 200  $\mu\text{m}$  이하로 분쇄하였다. 조분쇄된 분말 45 g과 스테인레스 볼 620 g을 유성밀에 넣고 미분쇄하였다. 이때 분말의 산화를 방지하기 위하여 분쇄 매개체로 에탄올을 사용하였다. 예비 실험에 의해 자기적 특성이 가장 좋은 소결자석을 얻기 위해서는 분말의 평균 입도가 4.2~4.6  $\mu\text{m}$ 인 경우가 적절함을 알 수 있었다. 이를 위한 미분쇄시간은 15분이었다. 미분쇄된 분말은 산화 억제제를 위해 유기물로 표면처리를 행한 후 진공중에서 건조하였다.

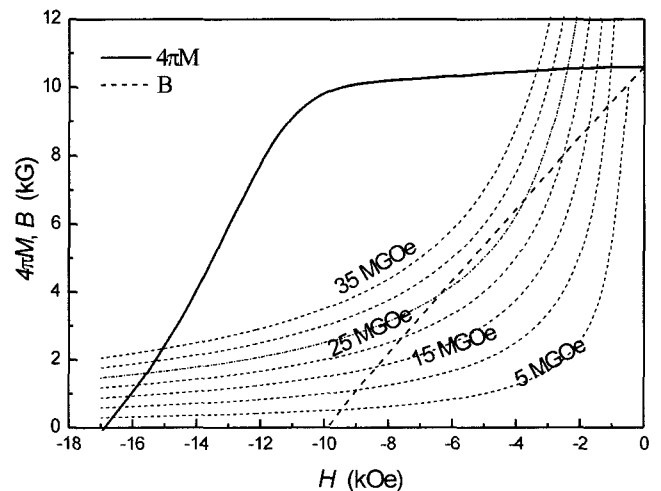
건조된 분말을 성형 금형에 장입한 후 10 kOe의 자장하에서 0.2 tons/cm<sup>2</sup>의 압력을 가해 20×30×6 mm<sup>3</sup>의 크기로 성형하였다. 이 성형체를 수직관상로에 장입하여 소결 및 용체화처리를 행하였다. 소결로는 알루미늄 튜브를 사용하였고 400 °C 이하에서의 승온속도를 3 °C/분으로 느리게 하여 표면처리를 위해 첨가한 유기물을 제거하였으며 소결로의 온도가 1100 °C가 될 때까지는 진공 분위기, 1100 °C 이상에서는 Ar 분위기를 유지하였다. 소결조건은 1200 °C에서 2시간 행하였으며 소결이 완료된 후 동일로에서 1140~1180 °C 구간에서 1시간 용체화처리한 다음 수냉동관에서 급냉하였다. 소결 및 용체화처리가 끝난 시편은 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상과 SmCo<sub>5</sub>상의 상분리를 위해 810~870 °C에서 10시간 1단 시효처리한 후 400 °C까지 서냉한 다음 400 °C에서 10시간 유지하는 2단 시효처리를 행하였다. 2단 시효처리 중 400 °C에서 10시간 유지하는 이유는 1단 시효처리에서 분리된 상의 상경계를 명확히 하여 안정된 셀 구조를 형성시킴으로써 유효한 보자력을 얻기 위한 것이다. 제조된 영구자석의 자기적 특성은 직류자속측정장치(Recording Type Integrating DC Fluxmeter, Japan, Toei, model no. TRF-5)를 사용하여 4 $\pi$ M-H 자기이력곡선을 그리고 이로부터 잔류자속밀도와 보자력, 최대자기에너지적을 구하였다. 자석의 밀도는 아르키메데스 원리를 이용하여 증류수에서의 무게와 공기중에서의 자석의 무게로부터 측정하였다. 주조 잉고트 및 소결자석은 연마 후 5% nital 용액으로 에칭하여 광학현미경으로 조직을 관찰하였으며, 국부적인 조성 차이는 EPMA로 분석하였다. 또한 시효처리에 의해 형성된 셀 구조를 관찰하기 위해 SEM을 이용하였다.

### III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 x=0.026 합금을 소결 후 1170 °C에서 1시간 용체화처리하고 850 °C에서 10시간 시효한 경우의 4 $\pi$ M-H 곡선으로 제 2 사분면의 demagnetization 곡선은 매우 양호한 각형비 및 보자력을 보인다. 비교를 위하여 유도자기장 B에 대한 B-H 곡선을 같이 나타내었다.  $\text{Sm}(\text{Co}_{0.662}\text{Fe}_{0.242}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_{0.026})_{7.404}$  소결자석은 잔류자속밀도(Br) 10.6 kG, 진보자력(iHc) 16.6 kOe, 보자력(bHc) 9.7 kOe이며 최대자기에너지적((BH)max)은 26.5 MGOe였다.

$\text{Sm}(\text{Co}_{0.688-x}\text{Fe}_{0.242}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_x)_{7.404}$  합금의 Zr 함량 및 용체화온도에 따른 소결 자석의 잔류자속밀도, 진보자력 및 최대자기에너지적을 Fig. 2에 나타내었다. 잔류자속밀도는 Zr 함량에 따라 큰 차이를 보이지는 않으나 용체화온도 증가에 따라 증가하였다. 반면 진보자력은 용체화온도보다는 Zr 함량에 크게 의존하였다. 즉 Zr 함량 증가에 따라 보자력이 증가하다가 x=0.022에서 최대를 보인 후 다시 감소하는 경향을 나타냈다. 또한 최대자기에너지적은 Zr 함량 증가에 따라 연속적으로 증가하여 포화되는 경향을 보인다. Fig. 2의 결과로부터  $\text{Sm}(\text{Co}_{0.688-x}\text{Fe}_{0.242}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_x)_{7.404}$  합금의 자기적 특성은 합금의 조성, 특히 Zr 함량과 매우 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. x=0.022 합금을 1170 °C에서 용체화처리하는 경우가 가장 높은 자기적 특성을 나타냈다.

Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub> 계 자석의 자기적 특성은 합금의 조성 이외에도 열처리에 매우 민감하다. 그중에서도 특히 용체화처리에 크게 영향을 받는다. 본 연구에서는 x=0.026 합금을 1140 °C~1180 °C 구간에서 용체화처리한 후 2단 시효처리하여 자



**Fig. 1.** Demagnetization curve for sintered  $\text{Sm}(\text{Co}_{0.662}\text{Fe}_{0.242}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_{0.026})_{7.404}$  magnet. It was made by sintered at 1200 °C for 2 hours, solution treated at 1170 °C for 1 hour and two step aged at 850 °C for 10 hours.

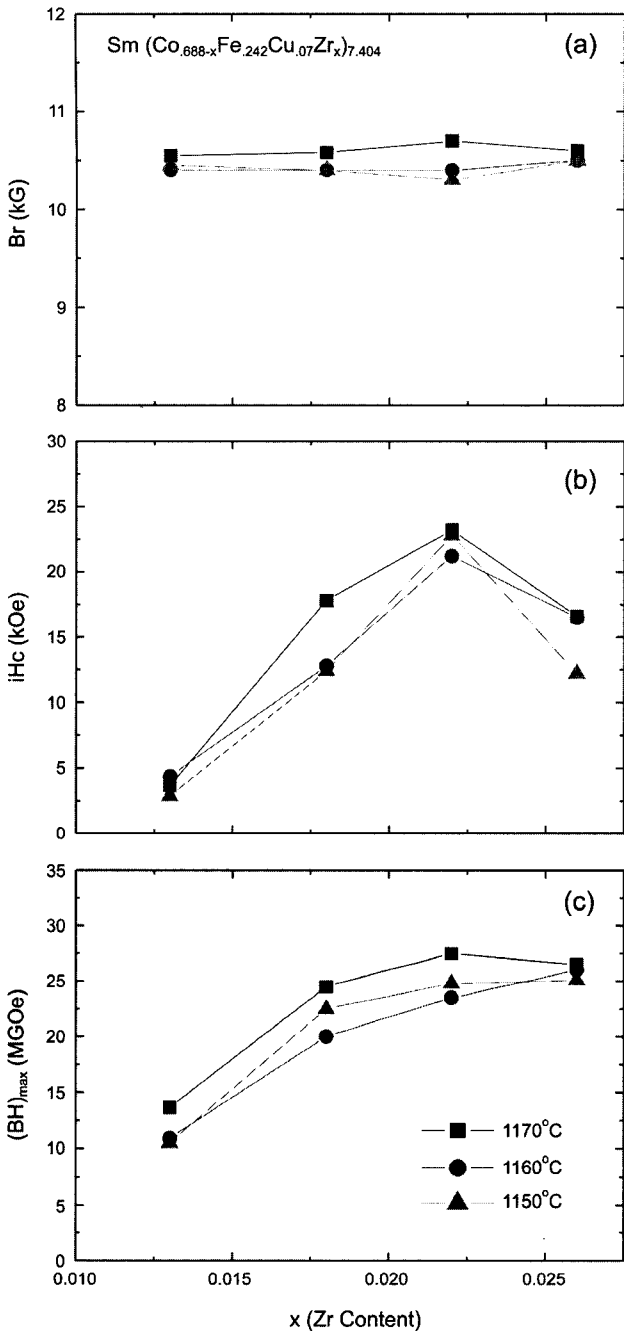


Fig. 2. Variation of (a) remanence, (b) coercive force and (c) maximum energy product of Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> magnets with Zr contents at various solution treatment temperatures.

기적 특성을 측정된 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 잔류자속밀도는 용체화온도 증가에 따라 증가하여 1170 °C에서 최대치를 보인후 1180 °C에서는 급격히 감소하였다. 보자력도 용체화온도 증가에 민감하여 1170 °C에서 가장 높은 값을 가졌다. 즉 x=0.026 합금의 경우 최적의 용체화온도는 1170 °C임을 알 수 있었다. 또한, Zr 함량이 다른 x=0.022, x=0.018 합

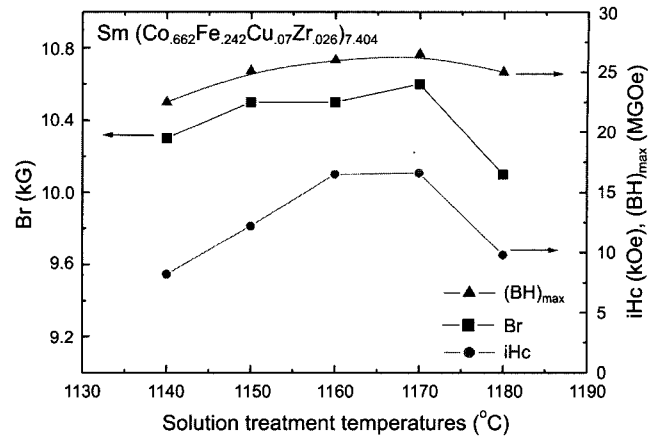


Fig. 3. Variation of magnetic properties with the solution temperatures for Sm(Co<sub>0.662</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>0.026</sub>)<sub>7.404</sub> alloy.

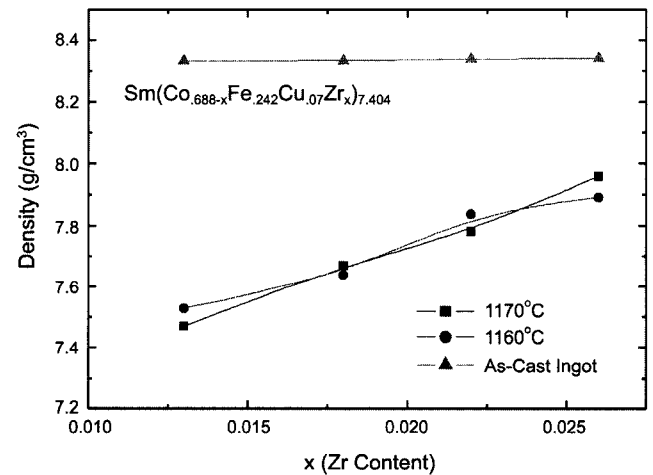


Fig. 4. Variation of sintered magnet density with Zr contents.

금에서도 유사한 경향을 나타냈다.

Fig. 4는 주조상태 및 1170 °C, 1160 °C에서 1시간 용체화 처리한 소결자석의 밀도를 측정된 결과이다. 주조시의 주괴의 밀도는 Zr 함량 변화에 따라 일정하였다. 그러나 소결자석의 경우 Zr 함량 증가에 따라 상대 밀도가 증가하였다. Fig. 2의 결과와 비교하여 볼때 Zr 함량에 따른 소결자석의 자기적 특성 차이는 소결체의 밀도와는 관련이 없는 것으로 보인다.

Zr 함량에 따른 주조 조직의 광학현미경 관찰 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 주조 조직은 수지상 영역(사진상 회색부분)과 그 사이의 공정 영역으로 이루어져 있었다. 본 연구에서 선정된 합금의 조성은 상태도상의 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상과 SmCo<sub>5</sub> 상의 혼합 영역이며 응고시 초정도로 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상이 석출되는 조건이다. 따라서 주조 조직에서 관찰되는 수지상 영역은 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상이며 공정 영역은 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상과 SmCo<sub>5</sub> 상의 lamellar 구조임을 유추할 수 있다. 공정영역 및 수지상 영역의 조성을 EPMA로 분석한 결과를 Table 2에 나타내었다.

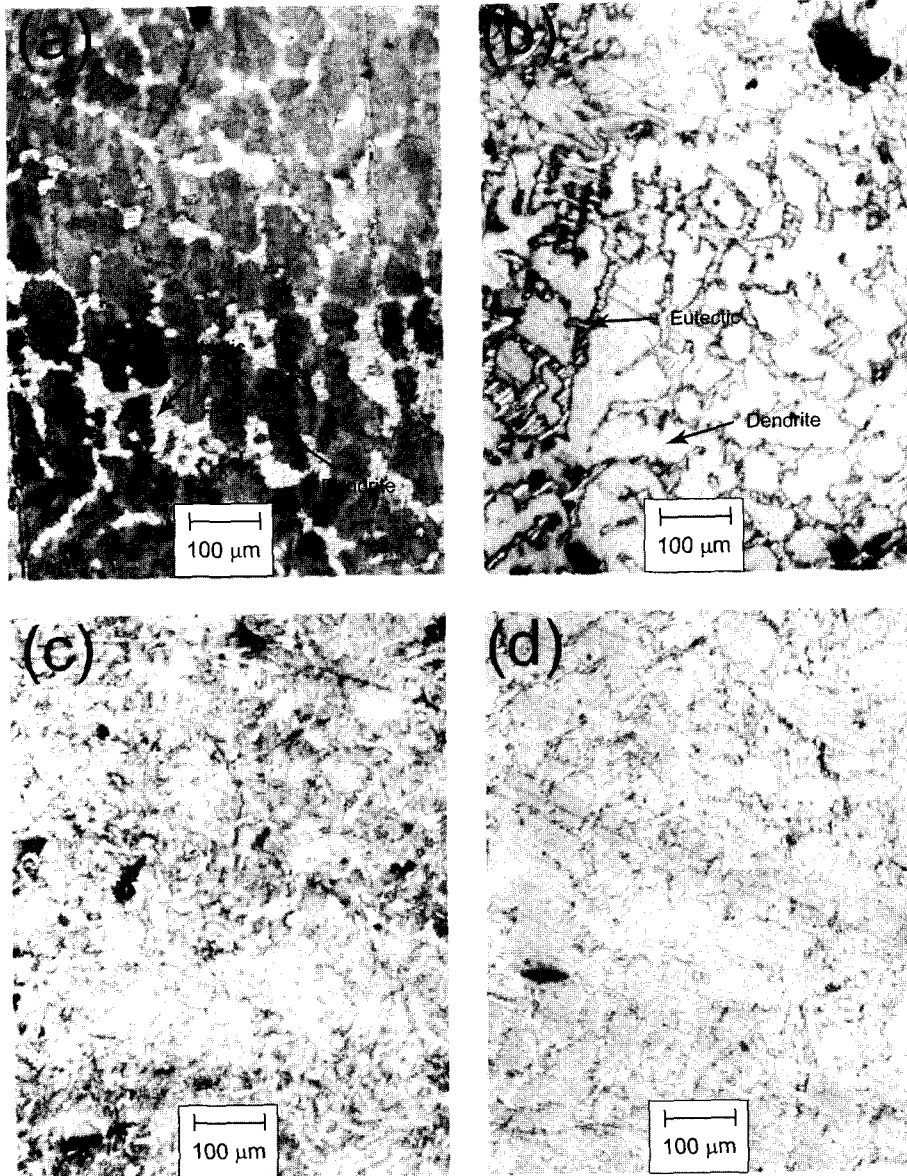


Fig. 5. Optical microscope images of cast Sm (Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> ingots.

공정영역에서는 수지상 영역에 비해 Sm 함량이 많고, Fe는 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상인 수지상에, Cu, Zr은 SmCo<sub>5</sub>가 상대적으로 많은 공정영역에 존재함을 알 수 있다. Zr 함량이 증가함에 따라 공정조직 분율이 상대적으로 감소하며 공정영역의 크기가 미세해졌다. x=0.026인 경우에는 x=0.022에 비해 수지상 크기가 증가하였다. Fig. 2에 보여준 Zr 함량 변화에 따른 소결자석의 자기적 특성차이는 주조 조직내의 SmCo<sub>5</sub> 상과 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상의 상대 분율과 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 셀 크기에 의존되는 것으로 판단된다. 즉 첨가된 Zr 함량에 따라 Sm-Co 계 합금의 주조 조직이 변화하며, 수지상과 공정조직 모두 미세하게 형성되는 x=0.022 합금의 자기적 특성이 가장 우수하였다.

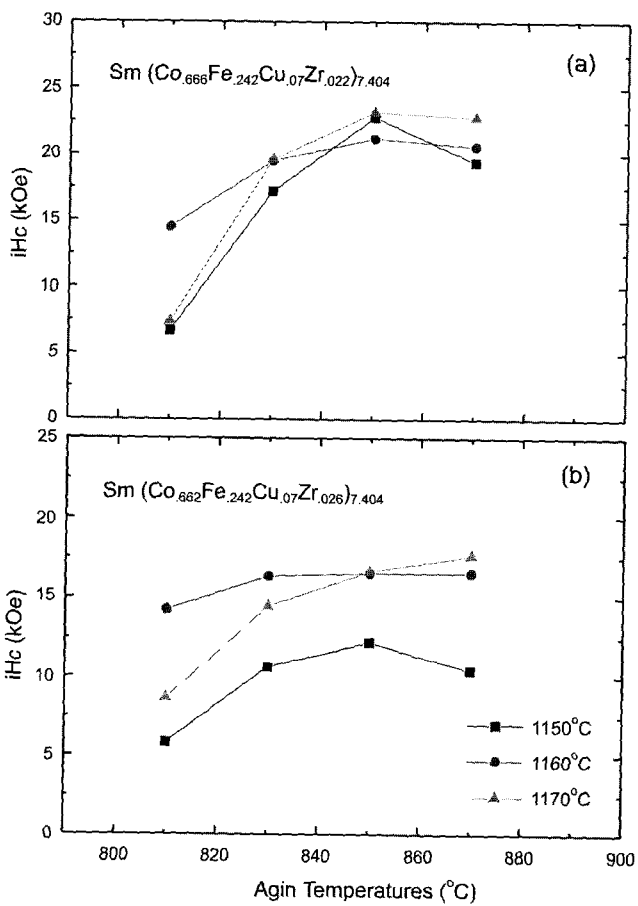
Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub>계 소결자석의 보자력을 얻기 위해서는 시효처

리가 필수적이다. Fig. 6은 x=0.026 및 x=0.022 인 합금의 1단 시효온도를 810~870 °C로 변화시켜 얻은 소결자석의 자기적 특성을 나타낸 것이다. 1단 시효 온도에 따라 보자력은 증가하여 850 °C에서 최대치를 보인 후 870 °C에서는 약간 감소하였다. 따라서 본 연구에서의 Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> 합금의 고보자력을 위한 최적의 1단 시효 온도는 850 °C임을 알 수 있었다.

Fig. 7은 1200 °C에서 2시간 소결 후 최적 열처리조건인 1170 °C 1시간 용체화처리, 850 °C에서 10시간 시효 처리하여 제조된 소결자석의 자장 인가 방향에 수직인 면의 미세조직을 SEM으로 관찰한 결과이다. 소결자석의 미세조직은 두께 20 nm 이하의 SmCo<sub>5</sub> 상이 약 120°의 각을 갖고 형성된

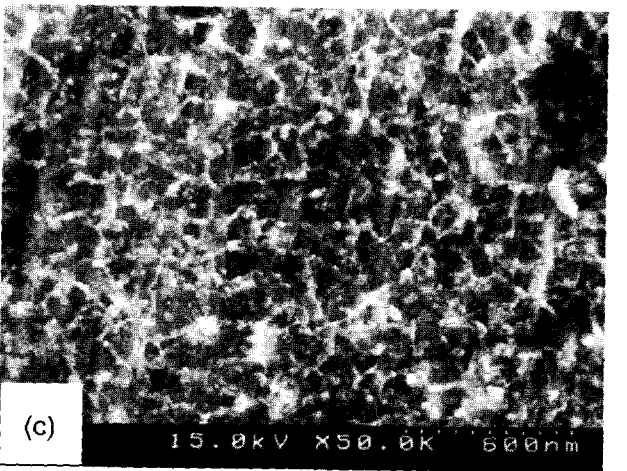
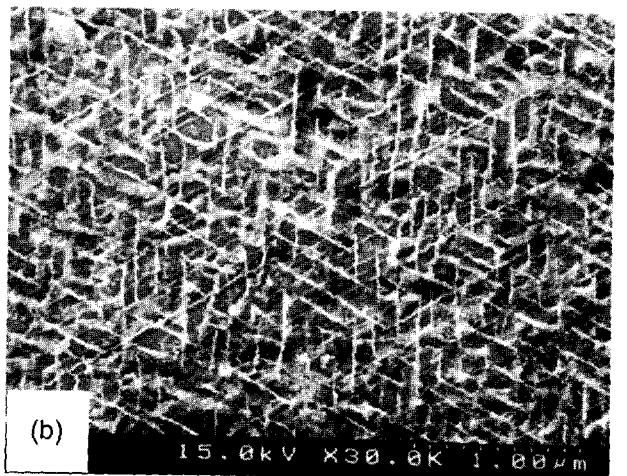
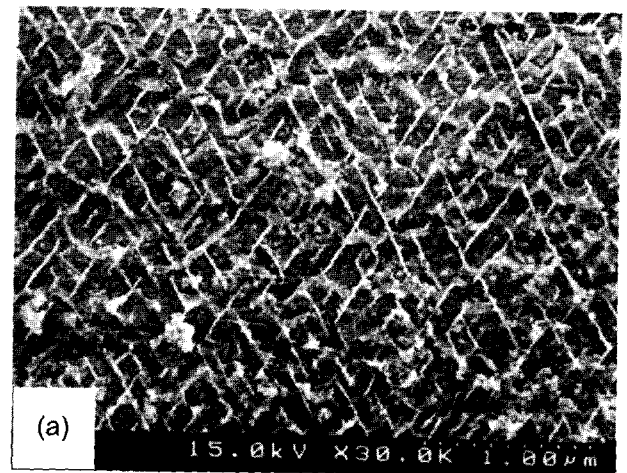
**Table II.** EDS analysis results of the as-cast Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> ingots.

x	dendrite region				
	Co	Sm	Fe	Cu	Zr
0.013	52.0	23.5	19.7	3.7	1.1
0.018	51.1	22.8	20.8	3.9	1.4
0.022	51.1	23.4	20.5	3.3	1.7
0.026	50.8	22.8	21.0	3.4	2.0
x	eutectic region				
	Co	Sm	Fe	Cu	Zr
0.013	38.2	36.1	10.1	10.6	5.0
0.018	41.4	33.5	10.8	7.0	7.3
0.022	37.5	34.1	11.1	11.3	6.0
0.026	41.7	32.5	11.6	6.3	7.9



**Fig. 6.** Variation of coercive force with the aging temperatures for (a) x=0.022 and (b) x=0.026 alloys.

전형적인 셀 구조를 갖고 있었다. 동시에 Zr-rich 상으로 알려진 Z-상도 기지인 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상들 사이에 불규칙적으로 석출되어 있음을 알 수 있다. 셀 크기는 x=0.018 합금의 경우 200 nm, x=0.022 합금은 140 nm, x=0.026 합금은 120 nm로 감소하였다. 그러나 x=0.026 합금의 경우 셀 경계가 명확



**Fig. 7.** SEM morphology of sintered Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> magnet, (a) x=0.018, (b) x=0.022 and (c) x=0.026. The image was obtained from the normal plane to the applied magnetic field.

하지 않고 그 형태가 매우 불규칙하였다. 이러한 소결자석의 미세조직 차이는 잉곳트의 주조조직에 영향을 받는 것으로 판단된다. 즉, 수지상과 공정 조직이 미세한 x=0.022 합금으로

부터 제조된 소결자석이 셀 크기가 작고 규칙적인 미세조직을 갖고 있으며 이로 인해 보자력이 크게 향상되는 것으로 판단된다. 그러나 Zr 함량이 더욱 증가된 x=0.026 합금은 셀 크기는 감소하나 셀 구조가 불규칙하게 되어 보자력이 저하되는 것으로 판단된다.

### IV. 결 론

Sm<sub>2</sub>(CoM)<sub>17</sub> 소결자석의 미세구조와 자기적 특성에 미치는 Zr 및 열처리 조건의 영향을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> 소결자석은 1200 °C 2시간 소결, 1170 °C 1시간 용체화처리 조건에서 가장 우수한 자기적 특성을 가졌으며 소결자석 제조를 위한 2단 시효 공정중 최적의 1단 시효 온도는 850 °C였다.

2. Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> 합금은 Zr 함량이 증가함에 따라 공정조직의 분율이 감소하며 공정영역의 크기가 미세해졌다. 또한 수지상 조직의 크기가 작은 x=0.022 조건에서 자기적 특성이 가장 높았다.

3. Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> 소결자석은 SmCo<sub>5</sub> 상과 Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> 상으로 이루어진 전형적인 셀 구조를 갖고 있으며 두께 20 nm 크기의 SmCo<sub>5</sub> 상이 120°의 각도로 셀 경계상을 형성하였다. 또한 Zr 함량이 증가함에 따라 셀 크기는 감소하나 x=0.026 합금은 셀 경계가 분명하게 정의되지 않고 셀 형태가 x=0.022 합금에 비해 불규칙하였다.

4. Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> 소결자석은 셀 경계가 분명하고, 셀 크기가 작을수록 보자력 및 최대자기에너지적이 증가하였다.

### 참고문헌

- [1] K. J. Strnat, *Cobalt*, **36**, 133(1967).
- [2] Y. Tawara and H. Senno, *Japan J. Appl. Phys.*, **7**, 966(1968).
- [3] D. K. Das, *IEEE Trans. Mag.*, **MAG-5**, 214(1969).
- [4] D. L. Martin and M.G. Benz, *Cobalt*, **50**, 11(1970).
- [5] H. Senno and Y. Tawara, *IEEE Trans. Mag.*, **MAG-10**, 313 (1974).
- [6] H. Senno and Y. Tawara, *Japan J. Appl. Phys.*, **14**, 1619(1975).
- [7] G. Hoffer and K. J. Strnat, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-2**, 487 (1966).
- [8] R. K. Mishra and G. Thomas, *Proc. 4th Int. Workshop R-Co magnet*, 301(1971).
- [9] J. D. Livingston and D. L. Martin, *J. Appl. Phys.*, **48**(3), 1350 (1997).
- [10] T. Shimoda, I. Okonogi, K. Kasai and K. Teraishi, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-16**, 991(1980).
- [11] A. E. Ray, *J. Appl. Phys.*, **55**(6), 2094(1984).
- [12] A. E. Ray, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-20**, 1614(1984).
- [13] K. H. J. Buschow, *Rep. Prog. Phys.*, **40**, 1179(1977).
- [14] D. Sun, Q. Yi, H. Hong, C. He and X. Jin, *Proc. 7th Int'l Workshop on RE-Co Perm. Mag.*, (X. Pan, W. Ho and C. Yu eds.) Beijing, China, 477(1983).
- [15] T. S. Shin, W. C. Chang, R. T. Chang, M. P. Hung and H. T. Lee, *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-25**, 3782(1989).

## Effect of Magnetic Properties on the Zr contents of Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> Sintered Magnets

Woo Sang Jung\*, Yoon Bae Kim and Won Young Jeung

*Metal Processing Research Center, KIST, P.O. Box 131 Cheongryang, Seoul 130-650, Korea*

(Received 10 September 2002, in final form 16 October 2002)

Microstructure and magnetic properties of Sm-Co sintered magnet were investigated with the variation of Zr content and their solution treatment and aging temperatures. The fraction of eutectic structure and the size of eutectic area decreased with increasing x value of cast Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> alloys. On the other hand, x=0.022 ingot had finer dendritic structure compared to the other alloys. The sintered magnet of Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> had well defined cell structure which is composed of cell boundary SmCo<sub>5</sub> and cell interior Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub> phase. Cell boundary SmCo<sub>5</sub> phase has 20 nm thickness and its relative angle was 120° in x=0.018 and 0.022 alloys. Cell size was decreased with increasing Zr contents. But, x=0.026 alloy has diffuse cell boundary and irregular shape compared to x=0.022 and 0.018 alloys. Maximum value of coercive force and maximum energy product were obtained from x=0.022 alloys. Optimum solution treatment temperature of Sm(Co<sub>0.688-x</sub>Fe<sub>0.242</sub>Cu<sub>0.07</sub>Zr<sub>x</sub>)<sub>7.404</sub> alloy was 1170 °C and 1st aging temperature of two step aging process for higher coercivity was 850 °C.

**Key words** : Sm-Co, Sintered magnets, Microstructure, Magnetic properties