

제조 공정이 Mn-Zn 페라이트의 미세구조와 전기적 특성에 미치는 영향

박형률* · 김진호

*삼성코닝 세라믹 사업팀
경북대학교 무기재료공학과
(1996년 9월 18일 접수)

Effects of Ceramic Processing on the Microstructure and Electronic Properties of Low Loss Mn-Zn Ferrite

Hyung-Ryul Park* and Jin-Ho Kim

*Ceramic Team, Samsung Corning
Dept. of Inorg. Mater. Eng., Kyung Pook Nat. Univ.
(Received September 18, 1996)

요 약

저손실 Mn-Zn 페라이트의 제조공정과 첨가제가 코아의 미세구조와 전기적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. CaO와 SiO₂를 원료분체혼합시에 첨가하는 경우보다 하소분체의 재분쇄시에 첨가할 때가 작고 균일한 소결체를 얻을 수 있었다. 산소분압(Po₂)이 높아짐에 따라 미세구조가 불균일해졌고, 전력손실값과 DF(disaccommodation factor)가 증가하였다. 또한 하소온도가 높고 분쇄시간이 짧은 소결체의 경우 치밀화 속도가 감소하여, 1300°C까지 정상입성장거동을 보였고, 따라서 높은 소결온도에서도 비교적 저손실 Mn-Zn 페라이트를 얻을 수 있었다. 장시간 분쇄하거나 하소온도가 낮은 시편의 경우는 치밀화속도의 증가에 기인하여 1200°C이하의 저온 소결시 미립자의 저손실 Mn-Zn 페라이트를 얻을 수 있었으나 소결온도 1250°C이상에서는 비정상 입성장을 유발시켰다.

ABSTRACT

Effect of ceramic processing was investigated on the microstructure and electronic properties of low loss Mn-Zn ferrite. Addition of CaO and SiO₂ to calcined powder rather than to raw materials mixture resulted in finer-grained microstructure. Higher oxygen pressure during sintering caused microstructural inhomogeneity and the increase in power loss and disaccommodation factor. Relatively low power loss was found for sintering up to 1300°C from powders calcined at high temperature and milled shortly. It was caused by slow densification rate and normal grain growth up to 1300°C. Calcination at low temperature and prolonged milling enhanced densification, which gave a fine grained microstructure and low power loss at sintering temperature below 1200°C. Sintering temperature above 1250°C, however, showed abnormal grain growth.

Key words : Low loss Mn-Zn Ferrite, Equilibrium Po₂, Ceramic processing, Electronic properties, Microstructure.

1. 서 론

최근 소형경량화된 트랜스로부터 양질의 직류전원을 얻을 수 있는 고주파 스위칭 전원방식이 개발되어 이에 적합한 자심재료로서 Mn-Zn 페라이트가 사용됨으로써 재료의 각종 물성을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.

고주파 스위칭 전원방식이란 트랜스의 유도기전력이 주파수에 1차 비례한다는 Faraday법칙을 응용한 것으로서 각종 컨버터, 인버터 등의 제품으로 개발되고 있다.

이 원리에 따르면 스위칭전원을 고주파화할수록 보다 소형 경량화된 트랜스가 가능하나, 이때 사용고주파에서 요구되는 각종 전자기적 특성을 갖춘 자심재료의 개발이 필수 불가결한 과제로 대두된다.¹⁾

Mn-Zn 페라이트는 1 MHz 영역까지 낮은 전력손실과 높은 초투자율을 가지기 때문에 파워페라이트로서 널리 사용되는 재료이다. 지금까지 화학적 조성, 미세구조 그리고 소결조건에 따른 전기적인 성질에 대해서는 많은 연구가 행해졌으나,²⁻⁴⁾ 저손실 Mn-Zn 페라이트의 전기적 특성에 영향을 미치는 분체의 제조공정에 관한

연구는 부족한 편이다.

본 연구는 저손실 Mn-Zn 페라이트의 제조공정에 따른 미세구조와 전기적인 특성을 고찰함을 그 목적으로 하였다. 분체의 제조는 하소온도와 분쇄시간에 따라 조절하였고, 최종 소결체의 소결온도와 분위기의 조절을 통해 미세 구조 및 전자기적 특성간의 관계에 대한 연구를 하였다.

2. 실험방법

2.1. 분말제조

출발원료는 Fe_2O_3 , Mn_3O_4 , ZnO 로서 고순도(>99.5%)이고 미세한 분체(평균입경 < 0.5 μm)를 각각 사용하였다. $(MnO)_{0.35}(ZnO)_{0.11}(Fe_2O_3)_{0.54}$ 조성으로 칭량된 출발원료는 5 mm Φ 의 스틸볼을 polypropylene 용기에 넣고 10시간 습식분쇄하여 혼합하였다. 건조된 혼합분말은 공기분위기에서 900°C와 1000°C에서 각각 2시간씩 하소하였다. XRD 분석과 SEM 관찰로 이 온도영역에서의 하소는 입자의 조대화는 진행되었으나, 존재하는 상의 차이는 거의 없는 것으로 확인하였다. $(ZnMn_2O_4$ 와 Fe_2O_3 사이의 반응에 의해 생성되는 $(Mn_{1.8}Fe_3)_2O_9$, 스피넬 고용체 $(Mn,Zn,Fe)_3O_4$ 그리고 미반응 Fe_2O_3 상이 존재) 하소분말은 stainless steel 용기에 스틸볼과 함께 넣어 3시간 건식분쇄한 후 증류수와 분산제 그리고 조성보정용의 Mn_3O_4 와 ZnO 를 첨가한 후 5, 10, 20시간 각각 분쇄하였다. 분쇄후 하소분체의 입도분포는 레이저 회절분석기(Mastersizer E, Malvern Inst.)로 측정하였다.

Table 1에 그 결과치를 나타내었다. 하소온도에 따른 입자의 조대화 영향으로 1000°C에서 하소한 분체를 5, 10시간 분쇄한 분체는 900°C 하소후 같은 시간 분쇄한 분체보다 평균입자크기 D_M , D_S 와 입도분포의 폭을 나타내는 D_M/D_S 가 더 크게 나타났다. 이 두 하소분체는 분쇄시간이 증가함에 따라 D_M , D_S 그리고 D_M/D_S 가 모두 감소하였고 20시간 분쇄후에는 대수정규분포에 가까워졌다.

한편 CaO 와 SiO_2 의 첨가시기를 달리하여 분체를 제조하였다. $CaCO_3$ 상태의 CaO 600 ppm, colloidal silica

상태의 SiO_2 를 하소전후에 각각 첨가하였다.

(L(H)B : 하소 전 첨가, L(H)A : 하소후 첨가)

2.2. 소결 및 전기적 특성

과립화된 분체는 원판형과 toroid 형태로 1.5 ton/ cm^2 의 압력으로 가압성형하였다. 바인더 소각후 각 시편은 1200°C~1300°C에서 2시간 동안 소결하였다. 평형 산소분압은 50°C 간격으로 조절하였고, Morieneau⁶⁾의 diagram을 참고하여 주어진 식에 의해 분위기 정수 a로 표시하였다. $\log P_{O_2}[\text{atm}] = a - 14,540/T[\text{K}]$

소결시편의 체적밀도와 평균입자크기는 각각 아르키메데스법과 line intercept방법에 의해 측정하였다. 100 kHz에서 초투자율의 온도특성과 DF(disaccommodation factor)는 impedance analyzer(HP4194)를 사용해 측정하였고, 전력손실(P_{cv})의 온도 의존성은 B-H analyzer(SY8232, Iwatsu Inst.)를 사용해 최대자속밀도 50mT에서 주파수 1MHz까지 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시편의 치밀화 및 미세구조 변화

Fig. 1은 900°C 하소, 20시간 분쇄한 분체를 질소분위기에서 CaO 와 SiO_2 의 첨가시기를 달리한 소결시편(L3)들의 치밀화 특성을 나타내었다. 이들 첨가제가 하소 전에 첨가된 시편(LB3)은 치밀화가 1100°C까지 급격히 진행된후 그 이상의 온도에서는 완만해져 전체적으로 첨가제를 첨가하지 않은 시편(LX3)과 비슷한 경향을 나타내었다. 반면에 하소분체에 첨가된 시편(LA3)의 경우 1100°C이하에서는 치밀화가 거의 진행되지 않았다. 그러나 그 이상의 온도에서는 1200°C까지 급격한 치밀화가 일어났고, 소결온도가 1200°C이상일 때는 하소 전 첨가시편(LB3) 및 첨가하지 않은 시편(LX3) 모두 비슷한 소결밀도를 나타내었다. 1200°C이상 소결시에는 모든 시편에서 닫힌 기공만이 존재하였다. CaO 와 SiO_2 를 하소분체에 첨가한 시편(LA3)의 경우 입계에 균일한

Table 1. Powder Characteristics of As-milled Mn-Zn Ferrite Without Additives

Calcining temp. (°C)	Milling time(h)	Sample name	Sauter mean size $D_S(\mu m)$	Mass mean size $D_M(\mu m)$	Size ratio D_M/D_S
900	5	L1	0.44	0.98	2.23
	10	L2	0.39	0.73	1.87
	20	L3	0.36	0.59	1.64
1000	5	H1	0.47	1.36	2.89
	10	H2	0.41	0.92	2.24
	20	H3	0.36	0.64	1.78

편석층을 형성하여 1100°C이하의 온도에서 소결시 입성장을 지연시키는 것으로 생각된다.

Fig. 2는 첨가제를 원료분체 혼합시와 하소후 분쇄시에 첨가하여 1200°C에서 소결한 시편의 산소분압에 따른 미세구조의 변화를 나타내었다. 하소온도는 900°C, 분쇄시간은 20시간으로 하였다. 전반적으로 원료분체

혼합시 첨가제를 첨가한 시편(LB3)의 결정립이 하소후 분쇄시에 첨가한 시편(LA3)보다 크고, 첨가제의 첨가시기가 동일할 경우 산소분압이 증가함에 따라 넓은 입도 분포를 갖는 불균일한 미세구조로 변화함을 볼 수 있다.

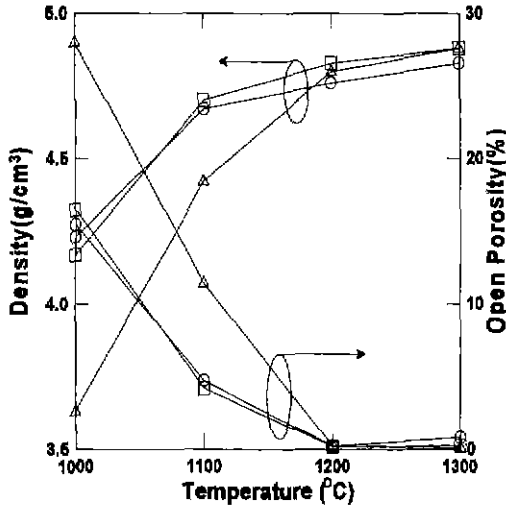


Fig. 1. Density changes of LX3(○), LB3(□) and LA(△) with heating at 300°C/h in N₂ atmosphere.

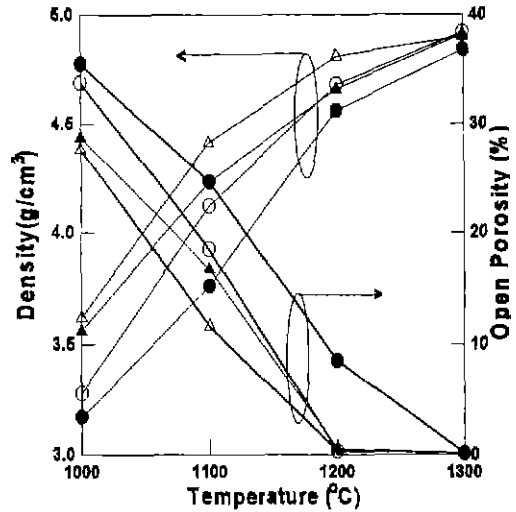


Fig. 3. Density changes of LA(○,△) and HA(●,▲) as a function of milling time, heated at 300°C/h in N₂. Milling times are ○,●) 5h and △,▲) 20h, respectively.

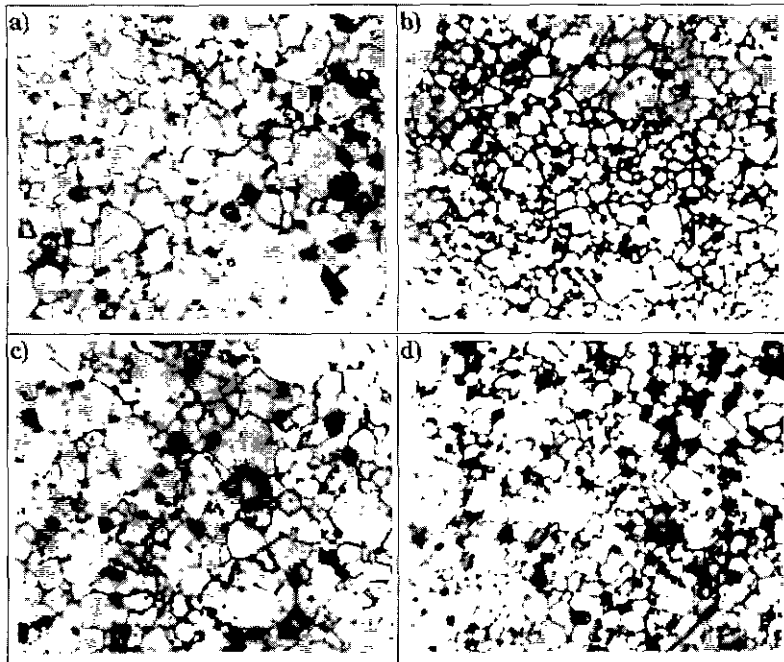


Fig. 2. Microstructure of a,c) LB3 and b,d) LA3 sintered at 1200°C for 2h with a,b) a=7.6 and c,d) a=8.9.

이와 같은 경향은 다음과 같이 해석된다. 즉 원료분체 혼합시에 첨가된 CaO와 SiO₂는 그 양이 적을지라도 하소과정에서 원료성분과 반응함으로써 보다 단단하게 응

집된 조대한 입자를 형성하여 분쇄효율을 저하시키고 결과적으로 미세구조의 불균일성을 증대시킨 것으로 판단된다. 한편 산소분압이 증가할 수록 과잉의 α-Fe₂O₃가 페라이트에 고용되는 반응속도가 낮아져 소결온도에서 O₂가스의 방출을 동반한 기공성장과 불균일한 입성장이 일어난 것으로 생각된다.

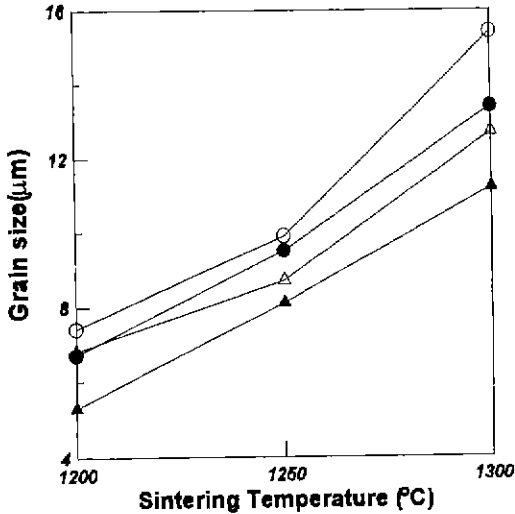


Fig. 4. Grain growth of LA(○,△) and HA(●,▲) as a function of milling time, sintered with a=8.2. Milling times are ○,●) 5h and △,▲) 20h, respectively.

Fig. 3은 질소분위기에서 소결한 시편의 치밀화가 하소와 분쇄상태에 따른 변화를 조사한 결과를 나타내었다. 모든 시편에 있어서 치밀화는 1200°C까지 급격히 일어난 후 1300°C까지는 완만히 진행되었다. 1200°C이하에서의 치밀화속도는 하소온도가 낮을수록 그리고 분쇄시간이 길수록 증가하는 일반적인 경향을 보이나 1300°C소결시 상대밀도는 1000°C 하소후 첨가제를 첨가하고 5시간 분쇄한 시편(HA1, 96.5%)을 제외하고는 98% 전후로 유사하였다. 한편 모든 시편은 1100°C까지는 기공이 열린 상태로 존재하였고, 1000°C 하소후 첨가제를 첨가하고 10, 20시간 분쇄한 시편(HA2, HA3)의 경우 1200°C까지 대부분의 기공이 열린 상태로 존재함을 확인하였다. 치밀화의 증가추세는 소결온도 1200°C까지는 D_M 및 D_M/D_S (Table 1)와 밀접한 관계를 나타내었으나, 1200°C이상의 온도에서는 그 연관성이 미약하였다.

Fig. 4와 5는 900°C와 1000°C 하소후 첨가제를 첨가하고 산소분압 a=8.2로 소결한 시편(LA, HA)의 입성

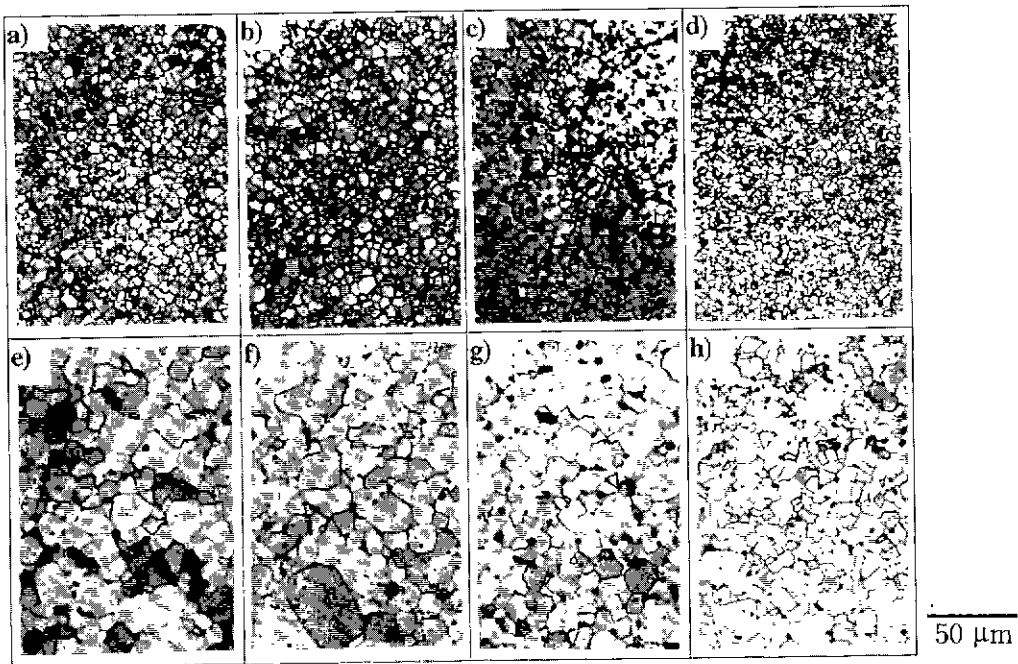


Fig. 5. Microstructure of a,b,e,f) LA and c,d,g,h) HA sintered at a~d)1200°C and e~h)1300°C with a=8.2. Milling times are a,c,e,g) 5h and b,d,f,h) 20h.

장과 미세구조를 나타내었다. 소결 온도 1250°C 이상에서는 100 μm 이상의 비정상입자들이 20시간 분쇄한 시편에서 관찰되었는데, 이 입자들은 입자크기의 측정시 제외시켰다. 1200°C에서 소결한 모든 시편들은 평균입경 5~8 μm의 결정립과 기공이 균일하게 분포된 미세구조를 보였다. 소결온도가 1300°C로 높아지면 평균입경은 11~15 μm로 성장하며, 상당수의 기공이 결정립내에 포획됨을 볼 수 있었다. 한편 하소온도가 동일할 경우 시편의 입성장과 결정립의 불균일성은 분쇄시간이 증가함에 따라 감소하였다. 따라서 분쇄특성 즉 분쇄된 분체의 화학적 불균일성과 불균일한 입자크기 및 입도분포가 소결체의 반응성과 치밀화에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 즉 낮은 온도영역에서 하소한 분체는 짧은 시간의 분쇄로도 충분한 분쇄효과를 얻어 1200°C 이하의 저온소결시에도 미세구조가 균일하고 치밀화된 시편을 얻을 수 있었으나 높은 온도에서 하소한 분체는 충분히 긴 시간의 분쇄가 아닐 경우 불충분한 분쇄로 인해 입자크기가 불균일하고 입도분포가 넓어 상대적으로 치밀화 속도가 낮아져 1200°C 이상까지 느린 입성장과 많은 입계기공을 나타내었다.

3.2. 전기적 특성

Fig. 6은 CaO와 SiO₂의 첨가시기를 달리하여 900°C 하소후 20시간 분쇄한 시편을 1200°C로 소결한 후 20~120°C에서의 전력손실을 500 kHz에서 측정한 결과를 나타내었다. 동일한 산소분압하에서의 원료분체 혼합시에 첨가한 시편(LB3)의 코어손실이 하소후 첨가한 시편

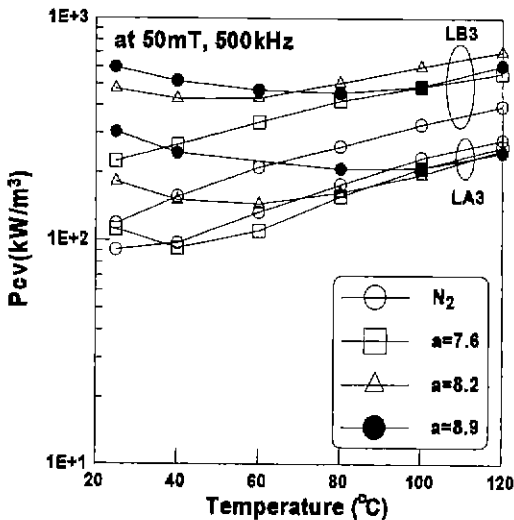


Fig. 6. Changes in P_{cv}-T characteristics of LB3 and LA3 at 50 mT-500 kHz with equilibrium P_{O₂}, sintered at 1200°C.

(LA3)보다 2~3배 이상 큼을 알 수 있다. 특히 하소후 첨가한 시편(LA3)에서는 분위기 정수 a가 증가할 수록 최저손실온도(T_m)와 그 손실값이 증가한다. : 분위기 상수 a가 7.6에서 8.9로 증가함에 따라 전력손실 P_{cv}는 90 kW/m³(T_m=40°C)에서 195 kW/m³(T_m=100°C)로 증가하였다.

이상과 같은 손실의 온도변화는 다음과 같이 해석된다. Mn-Zn 페라이트의 P_{cv}는 자기공명손실을 무시하면 대략 P_{hv}와 P_{ev}의 합으로 주어진다. P_{ev}는 교류자장에 의해 유도된 기전력의 회전성분(∇×E)에 의해 생성되는 와전류손실로서 Fe²⁺←Fe³⁺+e⁻의 전자호핑이 기여하는 바가 크다. 따라서 입계 고정화 편석층이 형성된 Mn-Zn 페라이트의 P_{ev}는 대략 평균결정립이 클수록, 온도가 높을수록 그리고 Fe²⁺이온의 농도가 클수록 증가한다. 산소분압이 증가할수록 Fe²⁺이온농도는 감소하며 이와 동시에 입자크기분포가 넓은 불균일한 미세구조로 변화함을 Fig. 2의 미세구조 변화에서 볼 수 있다. 결정립의 크기분포가 넓은 경우 입계에 의한 방해로 되도록 적게 받는 큰 결정립을 따라 자속이 쇄교하게 되므로 결과적으로 시편내부의 자속밀도의 불균일성을 초래하게 되며 이것이 P_{hv}, P_{ev}를 증가시킨 것으로 판단된다.

Fig. 7과 8에 900°C 하소후 첨가제를 첨가하여 20시간 분쇄한 분체(LA3)를 1200°C로 소결한 시편의 100 kHz에서의 μ_i-T 특성 및 상온의 DF를 나타내었다. 시편의 부극대온도 T_S와 DF는 산소분압이 증가함에 따라 단조적으로 증가하였다. 본 실험조성의 화학양론상태(δ=0)가 갖는 Fe²⁺이온농도는 3.6 wt%로서 이에 상응하는 1200°C에서의 P_{O₂}는 약 1.5×10⁻⁴[atm], a값은

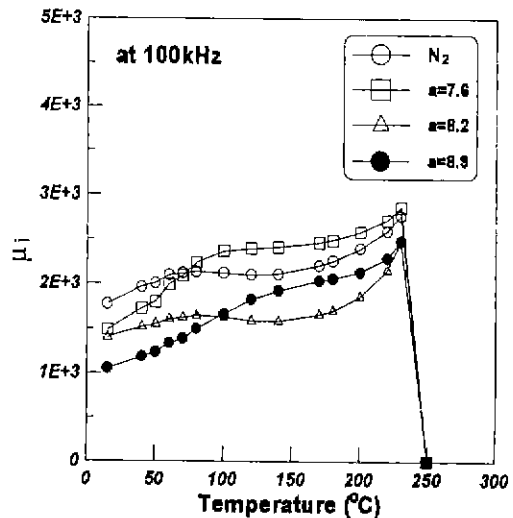


Fig. 7. Change in μ_i-T characteristics of LA3 sintered at 1200°C with equilibrium P_{O₂}.

5.94이다. a 가 8.9로 증가하면 평형상태의 Fe^{2+} 이온농도는 1.95 wt%로 감소하게 된다. 그리고 Mn-Zn 페라이트의 경시열화(DA : disaccommodation)기구는 양이온공공(V_M)을 공유한 Fe^{2+} 이온의 확산이라는 것이 정설로 받아들여지고 있다.⁶⁾ 그러므로 Fe^{2+} 이온농도의 감소와 Fe^{2+} 공공의 증가는 T_s 와 DF증가의 원인으로 판단된다.

Fig. 9에 하소온도를 900°C와 1000°C로 하여 첨가제를 첨가하여 분쇄시간을 달리한 시편(LA, HA)의 P_{cv} 의 기하평균값($\langle P_{cv} \rangle$)을 각각 소결온도의 함수로 나타내었다. 시편은 $a=8.2$ 의 산소분압으로 1200°C~1300°C로

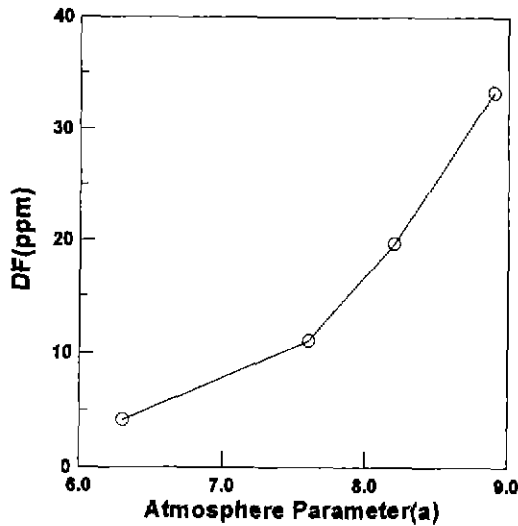


Fig. 8. Change in DF of LA3 at 20°C-100 kHz with e-equilibrium PO_2 , sintered at 1200°C.

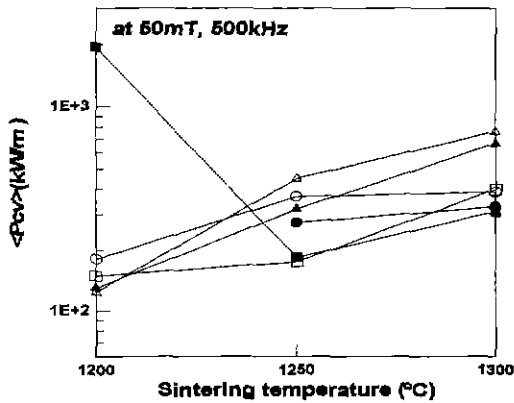


Fig. 9. Changes in $\langle P_{cv} \rangle$ of LA (○, □, △) and HA (●, ■, ▲) at 50 mT-500 kHz with sintering temperature. Milling times are ○, ●) 5h, □, ■) 10h and △, ▲) 20h.

2시간 소결하였다. $\langle P_{cv} \rangle$ 값은 소결특성에 영향을 미치는 분쇄특성에 크게 의존하는 것으로 나타났다. 20시간 분쇄한 시편의 경우 하소온도에 무관하게 소결온도 1200°C에서 가장 낮은 전력 손실값을 보였고, 1300°C에서는 급격한 증가를 나타냈는데 이것은 입자크기분포와 비정상입성장의 형성 때문에 야기된 것으로 생각된다. 1000°C 하소후 첨가제를 첨가하고 5, 10시간 분쇄한 시편(HA1, HA2)의 경우는 1200°C 소결시 낮은 밀도로

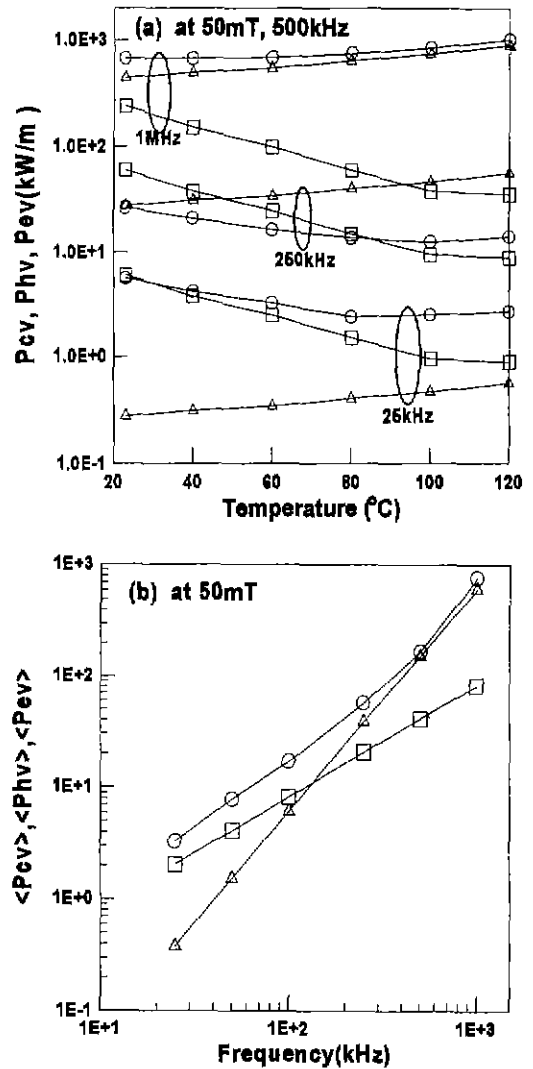


Fig. 10. Changes in (a) : temperature characteristics of power losses ○) P_{cv} , □) P_{lv} and △) P_{ev} with frequency and (b) : frequency characteristics of geometric means ○) $\langle P_{cv} \rangle$, □) $\langle P_{lv} \rangle$ and △) $\langle P_{ev} \rangle$ of LA3 at 50 mT, sintered at 1175°C with $a=8.6$.

인해 비교적 높은 전력손실값을 나타냈지만 1250°C에서는 급격한 감소를 보였는데, 이는 1250°C 이상의 소결 온도에서 급격한 치밀화가 일어났기 때문으로 생각된다.

이상의 결과로부터 하소분체를 장시간 분쇄하고 낮은 온도에서 소결함으로써 미세하고 균일한 저손실 Mn-Zn 페라이트를 얻을 수 있었다. 반면 높은 온도의 하소와 비교적 단시간의 분쇄를 행할 경우는 보다 높은 소결 온도까지 비정상입성장을 억제하여 균일한 미세구조를 얻어 결과적으로 높은 초투자율과 낮은 손실을 겸비한 Mn-Zn 페라이트 소결체가 얻어짐을 알 수 있었다.

Fig. 10의 (a)과 (b)는 900°C 하소후 첨가제를 첨가하여 20시간 분쇄, 산소분위기 상수 $a=8.6$ 으로 하여 1175°C로 소결한 시편(LA3)의 P_{cv} , P_{hv} , P_{ev} 의 온도특성과 각 손실값의 기하평균값을 주파수의 함수로 나타내었다. $\log\langle P_{cv} \rangle - \log f$ 의 기울기가 100 kHz 부근을 경계로 하여 그 이하에서 1로 나타나나 그 이상의 주파수에서는 연속적으로 증가하여 500 kHz 이상에서 2로 증가하였다. $\langle P_{cv} \rangle$ 를 구성하는 $\langle P_{ev} \rangle$ 와 $\langle P_{hv} \rangle$ 의 주파수 의존성은 각각 2차, 1차 함수로 표현되는데 $\langle P_{ev} \rangle$ 가 약 100 kHz 이상에서 $\langle P_{cv} \rangle$ 의 거의 전부를 차지함으로써 $\log\langle P_{cv} \rangle - \log f$ 의 기울기가 1에서 2로 변화함을 알 수 있다. P_{ev} -T와 P_{hv} -T곡선은 주파수의 증가와 함께 그 모양은 유지하면서 보다 높은 전력손실 영역으로 이동하였다. P_{ev} 는 열적으로 활성화된 $Fe^{2+} \leftrightarrow Fe^{3+} + e^-$ 의 전자호핑 때문에 온도가 증가함에 따라 단조증가하며, P_{hv} 는 측정온도와는 무관하게 120°C 부근에서 최소치를 나타내었다. 한편 P_{cv} 는 25 kHz에서는 P_{hv} 에 의해 1 MHz에서는 P_{ev} 에 의해 지배되며 최저손실온도 T_m 은 25 kHz의 80°C로부터 1 MHz의 20°C로 주파수가 증가할수록 저온쪽으로 이동하였다. 이러한 경향은 주파수 증가에 따른 P_{ev} 의 증가폭($\propto f^2$)이 P_{hv} 의 증가폭($\propto f$)보다 큰데 기인하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

CaO와 SiO₂이 첨가된 저손실 (MnO)_{0.95}(ZnO)_{0.11}(Fe₂O₃)_{0.54} 페라이트의 소결거동과 전기적 특성은 분쇄제조 조건과 평형산소분압(P_{O₂})에 강하게 의존하였다. 이것은 다음과 같이 요약된다.

1. CaO와 SiO₂를 원료분체 혼합시에 첨가하는 경우보다 하소분체의 재분쇄시에 첨가할 때가 보다 작은 결정립을 가진 소결체를 얻을 수 있었다. 또한 소결중의 평형산소분압이 클수록 입자크기분포는 넓어지는 경향을

보였다. 이는 원료분체 혼합시에 첨가한 CaO와 SiO₂가 하소시에 원료분체와 반응하여 입자의 응집과 조대화를 촉진함으로써 분쇄효율을 저하시키며, 평형산소분압이 클수록 소결중 O₂가스의 방출이 동반되는 미반응 α -Fe₂O₃의 환원속도가 감소하여 큰 기공성장과 불균일한 입성장을 촉진한 것으로 생각된다.

2. 평형산소분압이 높을 경우 미세구조의 불균일, 전력손실과 DF의 증가를 유발시킨다. 이것은 Fe²⁺의 감소에 의한 양이온 공공의 증가와 밀접한 관련이 있다.

3. 고온에서 하소되어 부분적으로 반응한 조대화된 응집체를 짧은 시간 분쇄한 분체는 느리게 치밀화되어 1300°C까지 정상입성장을 나타내었다. 이것은 상대적으로 고온에서 저손실의 Mn-Zn 페라이트를 얻을 수 있었다.

4. 대부분의 응집체를 분쇄하기에 충분한 장시간 분쇄와 저온하소는 치밀화를 향상시키고 이런 분체를 1200°C이하 저온 소결하면 미립자의 저손실 Mn-Zn 페라이트를 얻을 수 있다. 그러나 장시간 분쇄는 1250°C이상의 소결온도에서 비정상 입성장을 유발시킨다.

감사의 글

본 연구는 1995년도 교육부 신소재분야 연구지원 (Ministry of Education Research Fund for Advanced Materials on 1995)에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. K. Ishino and Y. Narumiya, "Development of magnetic ferrites: control and application of losses," *Ceramic Bull.*, Vol. 66, pp. 1469-1474 (1987).
2. T. Mochizuki, I. Sasaki and M. Torii, "Mn-Zn ferrite for 400-600kHz switching power supplies," *Advances in Ceramics*, Vol. 16, pp. 487-492 (1984).
3. A. Goldman, *Modern Ferrite Technology*, Van Nostrand Reinhold, New York 1990
4. H. Rikukawa and I. Sasaki, "On the sintering atmosphere of Mn-Zn ferrite," *Advances in Ceramics*, Vol. 15, pp. 215-219 (1984).
5. R. Morineau and M. Paulus, "Chart of P₀ versus temperature and oxidation degree for Mn-Zn ferrite," *IEEE Trans. Mag.*, Mag-11(5) 1312-14 (1975).
6. K. Ohta and T. Yamada, "Induced magnetic anisotropy and disaccommodation of Mn-Zn ferrites," *J. Phys. Soc. Jpn.*, Vol. 17, SB-1291 (1962).