

Co-Zn 복합 Y-형 육방정 페라이트의 자기적 특성

이종협 · 권순주

포항공과대학교 재료금속공학과

경북 포항시 효자동, 790-784

(1994년 2월 24일 받음, 1994년 6월 22일 최종수정본 받음)

$Ba_2Co_{2-x}Zn_xFe_{12}O_{22}$ ($x = 0.0 \sim 2.0$, $Co_{2-x}Zn_xY$) 분말을 공침법으로 합성하고 1150 ~ 1250 °C에서 4시간 동안 소결을 하였다. 소결체의 미세구조와 자기적 특성(포화자화, Curie 온도)과 복소투자율을 측정하였다. $Co_{2-x}Zn_xY$ 의 조성식에서 $x=0$ 에서 $x=2.0$ 까지 x 의 증가에 따라 복소투자율의 실수항은 증가하였고, 공명주파수는 7 GHz에서 1 GHz 감소하였다. Y-형 육방정 페라이트는 수 GHz대역에서 공명이 일어나므로 스피넬 페라이트보다 더 높은 주파수에서 사용가능하고, 회전공명보다 높은 주파수에서 관찰된 2차공명 기구에 대한 더 많은 연구가 필요하다.

I. 서 론

철과 바륨(또는 스트론, 납, 칼슘) 그리고 2가의 전이금속으로 구성되어 있는 육방정 페라이트에는 M-형 ($BaO \cdot 6Fe_2O_3$), Y-형 ($2MeO \cdot 2BaO \cdot 6Fe_2O_3$), Z-형 ($2MeO \cdot 3BaO \cdot 12Fe_2O_3$), W-형, X-형, U-형 등이 있으며 2가의 전이금속을 이름으로 하여 간단히 Me_2Y , Me_2Z 등으로 표기한다.[1]

한편 본 연구의 대상인 Y-형 육방정 페라이트는 Jonker[2]가 처음으로 합성한 이후, 현재 고주파 대역에서 사용되고 있는 스피넬 페라이트의 대체재료로 관심이 되고 있다. 기존의 스피넬 페라이트는 입방정계 결정체로서 a, b 및 c축의 결정자기이방성에 의한 Snoek 한계에[3] 의하여 그 사용주파수가 공명주파수에 근접하므로 손실이 매우 커지기 때문에 수 십 MHz까지가 사용주파수로 제한되어 있다. 그러나 Y-형 육방정 페라이트는 c축의 큰 일축이방성과 c면의 자화용이성에 의하여 Snoek 한계를 벗어나며, 또한 수 백 MHz부터 수 GHz까지 초투자율이 감소하지 않고 손실율도 증가하지 않는 특성을 나타내고 있다. 이는 planar anisotropic한 재료에서는 자기모멘트가 면내에 존재하려는 경향 외에는 특정방향에 대한 선호도가 없기 때문에 면내에서만 자유로이 회전할 수 있어, 매우 높은 고주파에서 자기공명이 발생하기 때문이다.

Y-형 육방정 페라이트는 1970년대 중반까지 자기적 특성, 결정구조, 합성방법, 응용가능성이 다양하게 연구되었다. 최근에도 습식 분말 합성법 그리고 X선 회절, 중성자 회절을 통한 결정구조해석에 대한 연구가 진행되어 왔다.[4, 5, 6, 7] 그동안 Y-형 육방정 페라이트를 소결체 또는 고무복합체의 형태로 밀리미터파와 마이크로파의 주파수 대역에서 trans 재료, isolator, circulator, mag-

netic head, power supply, 그리고 전파흡수체로 다양하게 응용하려는 연구가 보고되고 있다.[8, 9, 10] 이와 같은 용도에 사용되기 위해서는 Y-형 육방정 페라이트의 고주파특성 연구가 필수적이며, 특히 주파수에 따른 복소투자율의 변화 및 공명주파수의 관찰은 매우 기본적인 연구이다. 그러나 Y-형 육방정 페라이트의 주파수에 따른 투자율 분산 스펙트럼은 Smit[11], Verweel, Harvey 등[12] 몇몇 연구자에 의하여 보고된 것 이외에는 거의 연구가 진행되고 있지 않다.

본 연구에서는, 스피넬 페라이트에 비해 공명주파수가 매우 높은 Y-형 육방정 페라이트 중에서, 포화자화가 가장 크나 큐리온도가 낮은 Zn_2Y 와 상대적으로 큐리온도가 높은 Co_2Y 의 $Co_{2-x}Zn_xY$ 복합 Y-형 육방정 페라이트 소결체를 제조하였다. x 의 변화와 소결온도를 달리하여, 조성 변화와 소결온도에 따른 복합 Y-형 육방정 페라이트 소결체의 기본적인 자성 특성 측정과 주파수에 따른 투자율의 분산 스펙트럼 및 공명주파수를 관찰함으로써, 이들 재료의 고주파대역에서 응용가능성을 검토하였다.

II. 실험 방법

$FeCl_2 \cdot 4H_2O$, $CoCl_2 \cdot 2H_2O$, $ZnCl_2$, $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ 등을 $Fe^{2+} : Co^{2+} : Zn^{2+} : Ba^{2+}$ 의 몰비가 목적조성이 되게 하여 수용액에 용해시킨 다음, H_2O_2 가 혼합되어 있는 NaOH용액과 산화공침반응을 시켰다. 이때 Fe^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} 이온의 합을 0.1 mole이 되게 하여, 증류수 1200 ml에 완전히 용해시켰으며, 침전제인 NaOH는 $[OH^-] / [Ba^{2+} + Co^{2+} + Fe^{2+}]$ 이 8이 되게 하여 1800 ml의 증류수에 완전히 용해시켰다. 그리고 H_2O_2 는

NaOH용액에 Fe^{2+} 이온이 Fe^{3+} 이온으로 완전히 산화하는데 필요한 양의 2배를 혼합하였다. 반응은 상온에서 H_2O_2 가 함유된 NaOH 용액을 반응용기 내에서 교반시키면서, 동시에 금속 2가이온 용액을 투입한 후 약 30분간 유지하는 방법으로 하였다. 공침물은 에탄올을 이용하여 공침물의 pH가 중성이 되도록 공침물 1 g당 100 ml의 비로 세척을 수행하였으며, 여과된 공침물은 건조기에서 100 °C로 48시간 유지한 후 분쇄하였다. 이 반응을 Fe^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} 의 몰비가 12 : 2 : 0 : 2, 12 : 1.6 : 0.4 : 2, 12 : 1.2 : 0.8 : 2, 12 : 1 : 1 : 2, 12 : 0.8 : 1.2 : 2, 12 : 0.4 : 1.6 : 2, 12 : 0 : 2 : 2이 되는 조성에서 수행하였다. 그림 1은 본 연구에서 수행한 공정을 개략적으로 나

본 연구의 모든 시편에 대해 동일하게 공기중에서 분당 3 °C로 승온하고, 4시간 유지한 후 분당 3 °C로 노냉하였다. X선 회절 분석의 결과 x가 1.6, 2.0에서의 약 5%의 2차상이 보이거나 그외의 실험조성에서 소결체의 단일상 생성 확인을 하였으며, 주사전자현미경으로 측정에 사용된 시편을 파쇄하여 파단면의 미세구조를 관찰하였다. 소결체의 밀도 측정은 Archimedes 원리를 이용하여 구하였다. 진동시료 자기 측정기와 열 자기분석기를 이용하여 분말시료와 소결체 시편의 상온 포화자화와 소결체 시편의 Curie온도를 측정하였다. 복소투자율의 측정은, 주파수가 250 MHz 이하에서는 HP4284A LCR Meter(10 KHz ~ 1 MHz)와 HP4191A RF Impedance Analyzer(1 MHz ~ 100 MHz)를 이용하여 상온에서 복소임피던스를 구한 후 복소투자율을 계산하였다. 또한 300 MHz 이상의 초고주파에서는 HP 8510B Network Analyzer(300 MHz ~ 10 GHz)를 이용하여 시편의 S-parameter로부터 복소투자율을 계산해냈다. 그림 7, 8, 9에서 보이듯이 LCR Meter과 RF Impedance Analyzer 사이에는 연속적인 이어짐으로 관찰되어지나 Network Analyzer과 RF Impedance Analyzer 사이에는 불연속이 일어나므로 이에 대한 보정이 필요하다. 그러나, 이 실험은 공명 주파수의 관찰이므로 주파수 스펙트럼의 형태의 관찰과 이로부터 공명주파수를 도출해내는 실험이었으므로 불연속의 보정을 크게 고려하지 않았으며 저주파로부터 고주파까지의 주파수 스펙트럼의 형상은 각각의 대역에서 모두 증감이 무리없이 이어짐으로부터 위의 자료의 신빙성을 확인하였다. 그러나, 앞으로 이러한 RF Impedance Analyzer와 Network Analyzer에서의 불연속인 값의 차이의 원인에 대한 연구는 계속 이루어질 것으로 예상된다.

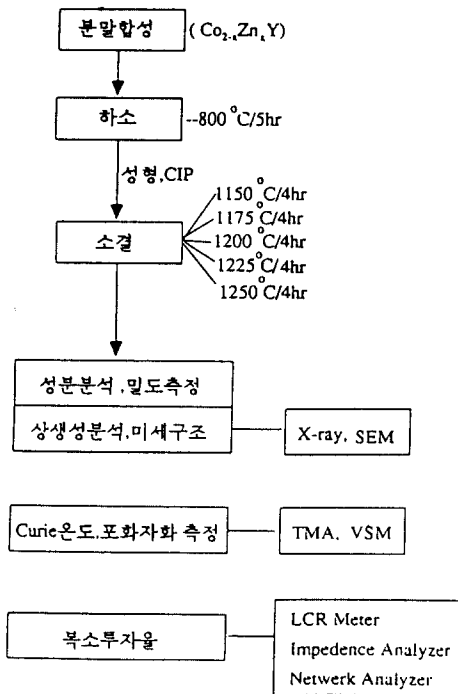


Fig. 1. Procedure for the measurement of the $Co_{2-x}Zn_xY$ powder and specimens.

타낸 것이다. 소결을 하기 위해 제조한 공침물을 공기중에서 800 °C 5시간 동안 하소하였다. 하소한 분말을 펠릿형과 toroid형으로 각각 성형하였으며, 제조한 성형체를 2.5 ton/cm²의 압력으로 CIP(Cold Isostatic Pressing)를 수행하여 균일한 압력으로 치밀화 하였고, 성형체를 ZnO의 분위기 조성을 위해 ZnO가 깔린 알루미늄 트레이에 놓고 1150~1250 °C에서 4시간 동안 소결하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 미세구조와 자성(포화자화, Curie온도) 특성

그림 2는 $Co_{2-x}Zn_xY$ 의 1250 °C에서 소결한 시편의 XRD 무늬를 보여준 것이다. 소결체 시편이 조성에 따라 단일상임을 확인할 수 있었으나, $x = 1.6$, $x = 2.0$ 인 소결체에서는 35°와 63° 근처에서 약간의 이차로 스피넬상이 생성되었으며 Zn의 증가에 따라 피크의 상대강도가 높아졌다. $x = 0.0$ 인 소결체 시편의 소결온도에 따른 파단면의 미세구조를 관찰한 것을 그림 3에 나타내었다. 결정립의 크기는 1150 °C에서 소결한 시편은 대략 2-4 μm 이고, 1250 °C 소결 시편은 6-8 μm 정도였다. 결정립은 전형적인 육각판상의 형태를 보였다. 소결밀도는 그림 12

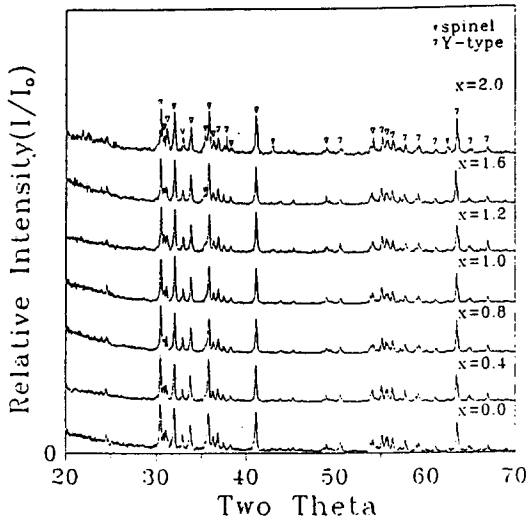


Fig. 2. XRD patterns of $Co_{2-x}Zn_xY$ specimens of various x sintered at $1250\text{ }^\circ\text{C}$.

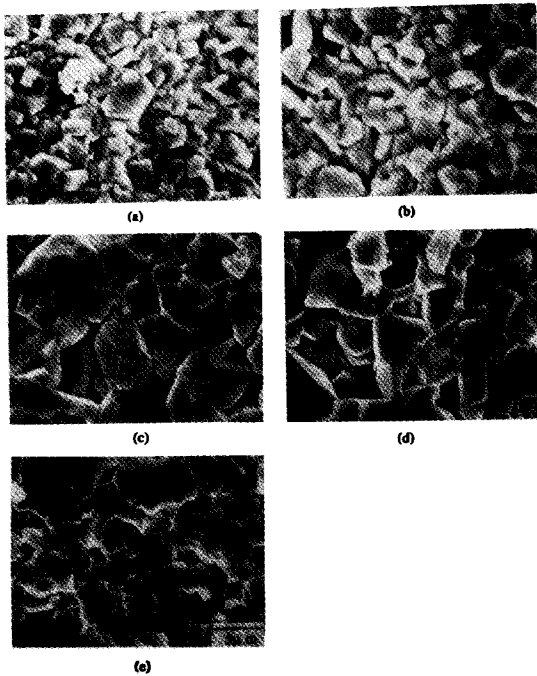


Fig. 3. SEM photographs of $Co_{2-x}Zn_xY$ specimens ($x = 0.0$) sintered at (a) $1150\text{ }^\circ\text{C}$, (b) $1175\text{ }^\circ\text{C}$, (c) $1200\text{ }^\circ\text{C}$, (d) $1225\text{ }^\circ\text{C}$, (e) $1250\text{ }^\circ\text{C}$

에 제시하였듯이 이론 밀도($Zn_2Y : 5.41\text{ g/cm}^3$, $Co_2Y : 5.35\text{ g/cm}^3$)에 80 ~ 90 %의 밀도를 보여주었다.

그림 4는 x 의 변화에 따른 여러 온도에서 소결한 $Co_{2-x}Zn_xY$ 소결체 시편과 분말시료의 상온에서 측정된 포화자

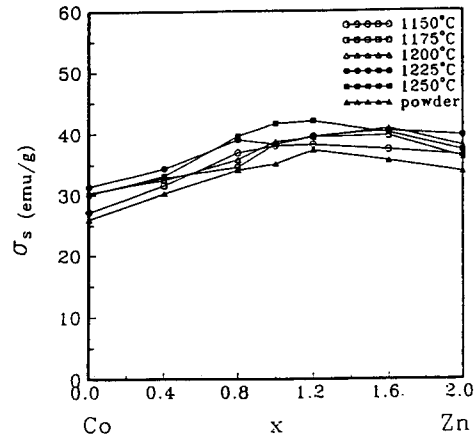


Fig. 4. Saturation magnetization of $Co_{2-x}Zn_xY$ powder and specimens as various x , measured at room temperature (applied field : 16500 Oe)

화 결과를 보여주고 있다. 그림 4에서 알 수 있듯이 $x = 1.2$ 까지는 x 가 커질수록 포화자화가 증가함을 알 수 있으며, $x = 1.0$ (36 emu/g)과 $x = 1.2$ (37.2 emu/g)인 조성에서 포화자화가 가장 크게 나타났으며, 이는 상온에서 $Co_{2-x}Zn_xY$ 분말의 포화자화를 측정할 때 보고한 [7] 결과 및 경향과 일치하였다. 그림 5는 $1250\text{ }^\circ\text{C}$ 에서

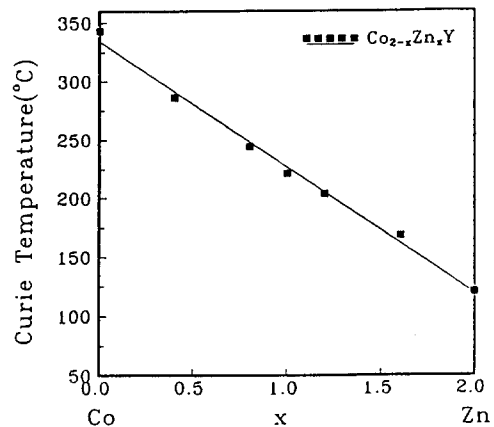


Fig. 5. Dependence of T_c on the composition of $Co_{2-x}Zn_xY$ specimens sintered at $1250\text{ }^\circ\text{C}$, measured by TMA.

소결한 시편의 Curie온도를 측정한 결과이며 Curie온도가 Zn의 증가에 따라 선형적으로 감소하였다.

2. 조성에 의한 복소투자율의 변화와 공명현상 관찰

LCR Meter와 Impedance Analyzer를 이용하여 측정된 소결온도가 1250 °C인 시편의 조성에 따른 복소임피던스 스펙트럼을 그림 6에 나타내었다. 이 복소임피던스

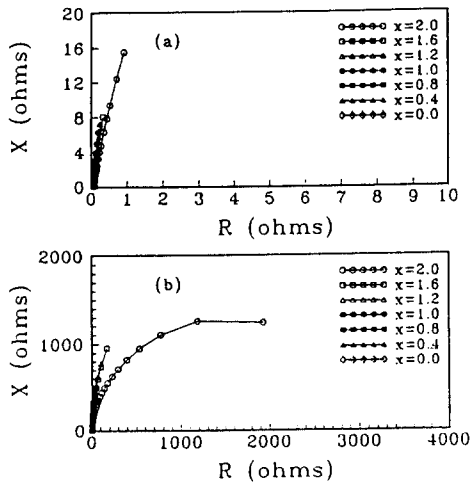


Fig. 6. Complex impedance patterns of $Co_{2-x}Zn_xY$ specimens sintered at 1250 °C, measured by (a) LCR Meter, (b) Impedance Analyzer.

스펙트럼은 R-L 직력 등가회로로 해석할 수 있으며, 이로부터 복소투자율을 계산하였다. 그림 7과 8은 복소임피던스로부터 복소투자율의 실수항과 허수항의 계산 결과를 나타낸 것이다. 복소투자율의 실수항은 이 주파수대역에서 거의 주파수에 따라 일정하였으며, 공명 현상도 나타나지 않았다. 그러나 주파수가 100 MHz에 접근함에 따라 실수항의 값이 미세하게 증가하고, 허수항의 값은 급격히 증가하는 변화를 관찰할 수 있다. 특히 $x = 2.0$ 인 조성의 시편(Zn_2Y)은 100 MHz 근처에서 실수항의 값이 감소하고 허수항이 급격히 커지는데 이는 복소임피던스 스펙트럼에서도 알 수 있다. 이 원인은, 측정 코일이 가지고 있는 stray capacitance에 의한 것이다.[13] Network Analyzer로 측정된 1250 °C 소결체의 복소투자율 분산스펙트럼을 그림 9에 조성 변화에 따라 보여주었다. Zn의 양이 증가할수록 복소투자율의 실수항과 허수항은 증가하였고, 공명은 오히려 낮은 주파수에서 발생하였다.

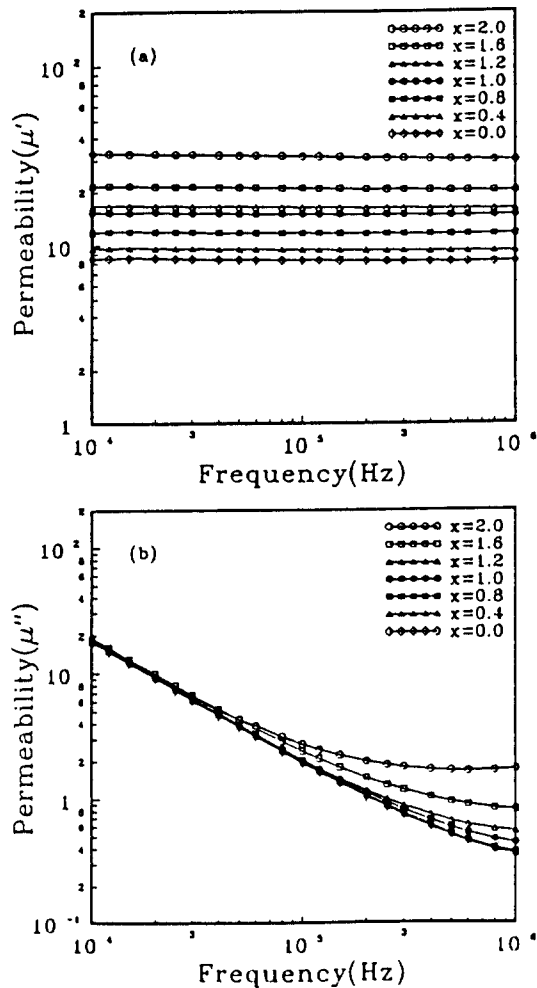


Fig. 7. Complex permeability spectrums of $Co_{2-x}Zn_xY$ specimens sintered at 1250 °C as a function of frequency, measured by LCR Meter (a) real, (b) imaginary.

그림 7, 8, 9에서 소결온도에 관계없이 Zn의 증가에 따라 투자율이 증가함을 알 수 있다. Y-형 육방정 페라이트의 자화는 회전자화가 지배적이고 조성에 의해 크게 영향을 받는다. Zn의 증가에 따른 투자율의 증가는 정자장에서 투자율을 결정하는 포화자화($4\pi M_s$)와 이방성자장에 의해서 설명할 수 있다. Y-형 육방정 페라이트의 공명 주파수는 두 이방성 자장에 의하여 결정된다. H_1^A 과 H_2^A (그림 13)의 크기는 각 재료의 자기 이방성에 의해 결정되며 특히 H_2^A 는 자기결정 이방성이 매우 작으면 응력(또는 형상) 이방성에 의해 결정된다. Smit은[11] Zn_2Y 의

이방성자장이 Co_2Y 에 비해서 매우 작다는 것[12] 실험적으로 확인하였고 이 자료를 Sneck의 식[3]에 대하여 얻은 공명주파수는 Co_2Y 의 경우 5.83 GHz, Zn_2Y 의 경우는 1.83 GHz이므로 Zn이 증가할수록 공명주파수는 낮아지고, 투자율은 증가하게 된다. 그림 4에서 포화자화는 각 조성에 따라 큰 차이가 없음을 알 수 있고, 따라서 Zn의 증가(이방성자장의 감소)에 따라 투자율은 증가하고 공명주파수는 낮아지는 것이다.

$$2\pi f_r = \gamma \sqrt{H_0^A H_0^B} \quad (\text{Sneck의 식})$$

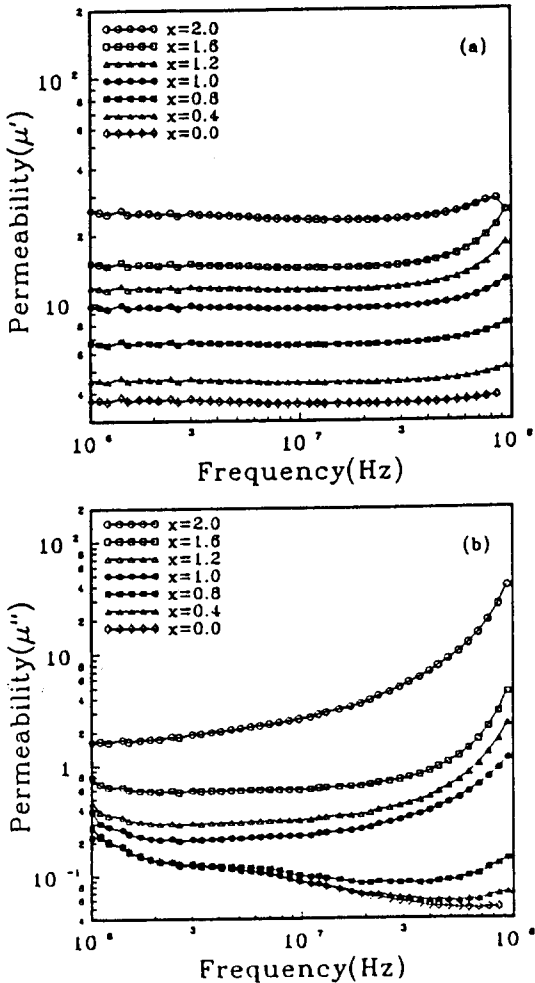


Fig. 8. Complex permeability spectrums of $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Y}$ specimens sintered at 1250 °C as a function of frequency, measured by Impedance Analyzer (a) real, (b) imaginary.

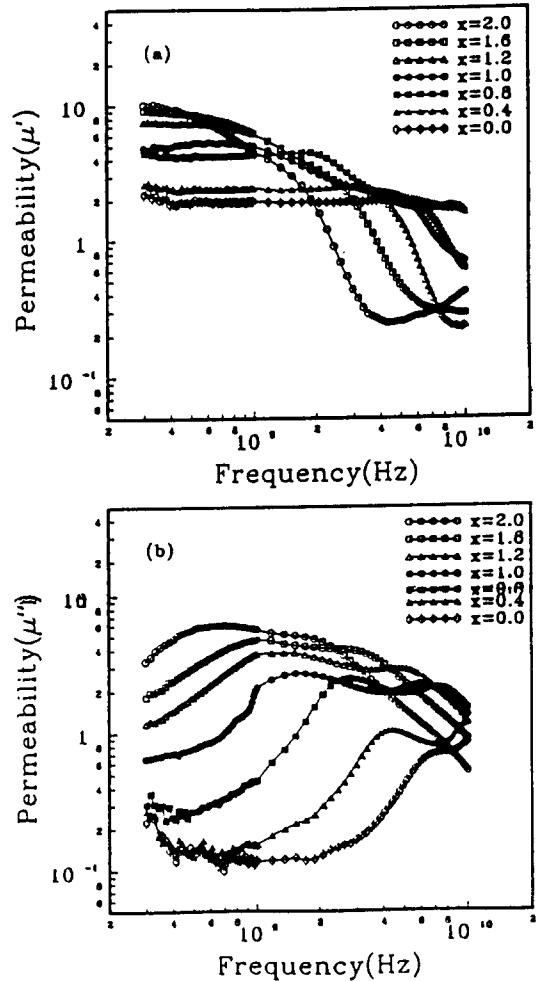


Fig. 9. Complex permeability spectrums of $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Y}$ specimens sintered at 1250 °C as a function of frequency, measured by Network Analyzer (a) real, (b) imaginary.

3. 소결온도에 의한 복소투자율의 변화 및 공명 현상 관찰

그림 10은 조성이 $x = 0.0$ 인 시편의 Network Analyzer로 측정된 여러 소결온도에서의 주파수 분산스펙트럼이다. 소결온도에 따른 투자율과 공명주파수의 변화는 거의 없음을 알 수 있고 동시에 Y-형 육방정 페라이트에서는 회전자화에 의한 회전공명이 지배적인데 이는 회전공명이 자벽공명보다 더 높은 주파수 영역에서 나타난다는 A. Miles[16]의 이론과, Sneck의 이론[3]에 의하여 구한 회전자화에 의해서 형성되는 공명현상의 주파수 대역이 수 GHz(Ⅲ-4)이며 이 이하의 주파수에서의 공명현

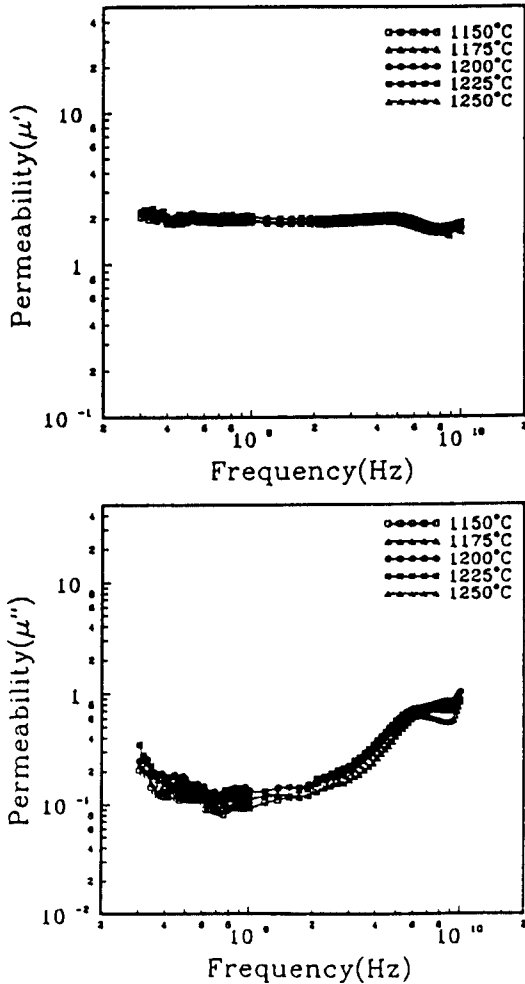


Fig. 10. Complex permeability spectrums of $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Y}$ specimens of $x = 0.0$ as a function of frequency, measured by LCR Meter (a) real, (b) imaginary.

상을 관찰이 안됨을 근거로 삼고 있다. 이상의 결과로부터 Y-형 육방정 페라이트의 투자율에 미치는 미세구조 영향은, 기존의 스핀넬페라이트에 비해 거의 없음을 알 수 있다. 그리고, 이는 Y-형 육방정 페라이트의 자화는 회전 자화가 지배적이라는 기존의 보고[11]와 일치하는 것으로, 회전자화는 조성에 따라 다양한 변화를 보여주기 때문이다.

소결온도, 소결시간 등 미세구조를 변화하여 Y-형 육방정 페라이트의 주파수에 따른 복소투자율 및 공명현상의 미세구조 의존성을 밝히려는 연구가 없었다. 단지 pore에 의한 영향과 결정립이 자화용 이면에 수직으로 성

장할 때 발생하는 반자장효과 등이 자화에 크게 영향을 미친다고만 알려져 있다. 본 연구에서 측정된 $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Y}$ 시편의 소결밀도는, 그 차이가 소결온도에 따라 10% 이내였기 때문에 밀도에 의한 영향 변화는 매우 작았다. 결정립은 소결온도 증가에 따라 증가하였고 5 μm 정도의 차이를 보여주었다. 결정립 성장에 따라 투자율의 증가는 나타나지 않았는데, 최근에 Li[14]는 NiZn 페라이트에서 회전자화에 의한 투자율의 변화는 결정립의 차이가 매우 크지 않을 때는 결정립의 크기에 무관하다고 보고하였다. 그러므로 회전자화가 지배적인 $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Y}$ 소결체의 결정립에 의한 투자율의 변화는 거의 없다고 할 수 있다.

4. 제2공명 현상의 해석

그림 9에서 복소투자율 허수항의 주파수 분산스펙트럼을 관찰하면, 회전공명 현상이 나타나는 주파수보다 높은 주파수에서 또 다른 공명현상을 관찰할 수 있다. 이를 좀 더 명확히 관찰하기 위해서 100 MHz ~ 10 GHz 대역의 복소투자율의 실수항과 허수항에 대한 Cole Cole plot을 그림 11에 그려 보았다. 그림에서와 같이 공명이 두개가

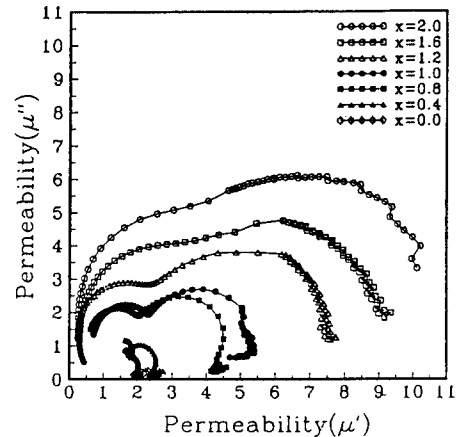


Fig. 11. Cole-Cole plots of $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Y}$ specimens of various x sintered at 1250 °C.

나타나는 시편에서는 반원도 두개가 나타나며 각 반원의 정점(허수항의 최대치)이 Y-형 육방정 페라이트의 공명이다. 본 연구에서 관찰한 바 있는 Co_2Y 와 Zn_2Y 의 회전공명은 각각 6 ~ 7 GHz, 1 GHz로 나타나고 있으며(이는 Sneek의 이론[3]에 의하여 계산된 식과 잘 일치한다) 이로부터 Y-형 육방정 페라이트의 회전공명은 수 GHz 대역에 존재할 것이며 Zn가 없을 경우로부터 Zn의

양이 증가함에 따라 점차 낮은 대역으로 가는 데 그림 9와 일치함으로써 인해 돌출에 낮은 주파수 영역의 공명(수 GHz)은 회전자화공명이며 이보다 더 높은 주파수에서 나타나는 공명 현상은 보고되고 있지 않다. 본 연구에서 처음으로 관찰된 공명현상을 형상공명(dimensional resonance)을 [15] 도입, 손실이 있는 매질에서 형상 공명이 발생하는 아래식을 적용하여 계산해 보았다.

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{\sqrt{2\pi c_0}}{\omega \sqrt{[\mu' \epsilon' + \mu_s \epsilon_p (1 - \tan \delta_m \tan \delta_d)]}} \quad (10)$$

여기서, $\tan \delta_m = \mu_s' / \mu_s$, $\tan \delta_d = \epsilon_p' / \epsilon_p$ 그리고 c_0 는 진공에서의 전자기파의 속도 $= (\mu_0 \epsilon_0)^{-1/2}$

표 1에 시편내의 반파장($\lambda/2$) 값과 시편의 크기를 비교하였다. 표 1에서도 알 수 있듯이 반파장과 시편 크기와 의 차이는 시편에 따라 다양하게 나타났으며, 비교적 제2 공명이 명확하게 발생한 시편일수록 그 차이가 작았다. 향후 $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Y}$ 소결체 시편에서 관찰된 공명이 어떤 현상에 의해서 발생하였는가에 대한 해석이 필요하며, 계속적으로 이에 대한 연구가 따라야 한다.

Table I. The results of caculation of a half wave-length in some loss $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Y}$ specimens.

Composition	(λ, d : mm)													
	Sintering Temp. 1150 °C							1250 °C						
	μ'	μ''	ε'	ε''	λ/2	d	μ'	μ''	ε'	ε''	λ/2	d		
x=0.0	1.63	0.84	5.03	0.68	2.66	1.825	1.72	0.71	4.93	0.28	2.69	1.85		
x=0.4	1.76	1.08	5.82	0.15	2.08	1.825	1.82	0.87	4.33	0.16	2.82	1.81		
x=0.8	1.02	2.43	6.12	0.29	1.59	1.925	0.99	2	5.45	0.44	2.09	1.825		
x=1.0	0.57	2.32	4.72	0.2	2.27	1.825	0.84	1.72	5.2	0.09	2.54	1.825		
x=1.2	0.72	1.56	5.7	0.46	2.59	1.863	0.26	1.67	6.03	0.65	2.52	1.875		
x=1.6	0.15	1.14	5.58	0.16	4.0	1.834	0.3	1.2	5.95	0.06	3.46	1.825		
x=2.0	0.39	0.66	5.75	0.37	5.58	1.9	0.33	0.74	6.63	0.85	4.65	1.85		

IV. 결 론

공침법으로 조성이 $\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{Y}$ ($x = 0.0 \sim 2.0$)인 복합 Y-형 육방정 페라이트 분말을 합성, 여러 소결온도에서 시편을 제조하였다. 조성 변화 및 소결온도에 따른 자기적 특성을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

소결체가 단일상임을 확인하였고, 소결온도에 따라 결정립의 크기가 증가하였으며 육각판상의 형태를 나타내었다. 상온에서 측정된 분말 및 소결체의 포화자화는 $x = 1.0, 1.2$ 에서 가장 큰 값(약 37 emu/g)을 보여주었으며, Curie 온도는 Zn의 증가에 따라 선형적으로 감소

하였다. Zn이 증가할수록 복소투자율의 실수항은 증가하였으나, 소결온도에 따라서는 큰 차이를 볼 수 없었다. 또한 Zn이 증가할수록 공명주파수(1-7 GHz)는 낮아졌다. 회전자화공명이 발생한 주파수보다 더 높은 주파수에서 제2공명이 관찰되었으나, 향후 이 공명현상에 대한 보다 많은 연구가 필요하며 Y-형 육방정 페라이트는 스피넬 페라이트에 비하여 높은 대역에서의 공명현상은 고주파대역에서의 전파 흡수체로의 이용이 가능하다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 교육부 신소재 분야 연구지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

V. 참고 문헌

- [1] M. Sugimoto, "Properties of Ferroplana-Type Hexagonal Ferrites," *Ferromagnetic Materials Vol. 3*, North-Holland Pub., Amsterdam, (1982), pp. 393-440.
- [2] G. H. Jonker, H. P. J. Wijn, and P. B. Braun, "Ferroplana, Hexagonal Ferrimagnetic Iron-Oxide Compounds for very High Frequency," *Philips Tech. Rev.*, **18**(6), 145(1956)
- [3] J. L. Snoek, "Dispersion and Absorption in Magnetic Ferrites at Frequencies above one megacycle," *Physica*, **14**, 207(1948)
- [4] A. Collomb, J. Muller, J. C. Guitel, and J. M. Desvignes, "Crystal Structure and Zinc Location in the $\text{BaZnFe}_6\text{O}_{11}$ Y Type Hexagonal Ferrite", *J. Mag. Mag. Mater.*, **78**, 77(1989)
- [5] 김태욱, "Hexagonal Ferrites에 관한 연구 (I) Ferroplana $\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Y}$ ($\text{Ba}_2\text{Zn}_{2(1-x)}\text{Mn}_{2-x}\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$)의 자성", *요업학회지*, **13**(3), 13(1972)
- [6] G. Albanese, M. Carbucicchio, A. Deriu, G. Asti, and S. Rinaldi, "Influence of the Cation Distribution on the Magnetization of Y-type Hexagonal Ferrites," *Appl. Phys.*, **7**, 227 (2975).
- [7] 이상길, "Co-Zn복합 Y형 육방정 산화철의 포화 자화와 이에 미치는 Zn의 영향", 석사학위논문, 포항공대, 포항, 1992.
- [8] M. B. Amin and J. R. James, "Technics for Utilization of Hexagonal Ferrites in Radar

Absorbers-Part I Broad band Planar Coating" Radio & Electronic Engineer, **51**(5), 209 (1981).

[9] T. Iwasawa and H. Abe, "The Application of Ferroxplana Single Crystals to VTR Heads", Proc. of I. C. F., Tokyo University Press, 1970, pp349.

[10] 内藤喜之, "電波吸收體", Ohm社, 東京, 1987.

[11] J. Smit and H. P. J. Wijn, "Physical properties of Ferromagnetic Oxides in Relation to the their technical Applications", in Ferrites, Philips. Research Lab., Eindhoven, 1959, pp. 177-211.

[12] K. -H. Hellwege, "Magnetic and Other Properties of Oxides and Related Compounds", in Landolt-Bornstein, 4, 1980, pp 597-605.

[13] 이상석, "MHz 대역에서의 Impedance Analyzer 를 이용한 Ni-Zn Ferrite의 투자율 측정에 관하여", 석사학위논문, 포항공대, 포항, 1993.

[14] S. X. Li, IEEE Trans. Mag., **22**, 14(1986).

[15] E. C. Snelling, "Soft Ferrites", Butterworths, London, 1988.

The Magnetic Properties of Co-Zn Mixed Y-type Hexagonal Ferrite

J. H. Lee, S. J. Kwon

Dept. of Material Sci. & Eng., POSTECH

(Received 24 February 1994, in final form 22 June 1994)

A $Ba_2Co_{2-x}Zn_xFe_{12}O_{22}$ ($x = 0.0 \sim 2.0$, $Co_{2-x}Y$) powder was prepared by a oxidation-coprecipitation method and sintered at $1150 \sim 1250$ °C for 4 hours. The microstructures and magnetic properties(saturation magnetization, Curie temperature), complex permeability of sintered body were measured. As increasing Zn content from $x = 0$ to 2.0 in $Co_{2-x}Zn_xY$, the real value of complex permeated from 7 GHz to 1 GHz. Because of resonance in few GHz range, Y-type hexagonal ferrite is more applicable than spinel ferrite in high frequency range, and more research would be necessary to find the mechanism of the second resonance observed in higher frequency.