

고주파 대역 EMI 노이즈 필터 제조시 전자기적 특성에 미치는 첨가물 효과

박진채* · 김병호* · 김왕섭 · 김경용

한국과학기술연구원 세라믹공정실

*고려대학교 재료공학과

(1992년 5월 21일 접수)

Effects of Additives on Electromagnetic Properties in EMI Noise Filters for High Frequency Region

Jin-Chae Park*, Byung-Ho Kim*, Wang-Sup Kim and Kyung-Yong Kim

KIST Ceramic Processing Lab.

*Dept. of Material Sci. and Eng., Korea Univ.

(Received May 21, 1992)

요 약

고주파 대역 노이즈 필터용 Ni-Cu-Zn계 페라이트의 첨가물 영향에 대한 전자기적 특성 변화를 연구하였다. Mn_2O_3 함량을 1 wt%까지 첨가시 비저항 및 투자율은 증가하였으나 그 이상 첨가하였을 때는 비저항 및 투자율이 감소하였다. Co_2O_3 을 첨가한 경우에는 첨가량의 증가에 따라 투자율이 감소하였고 공진 주파수가 고주파 대역으로 이동하였다. 이러한 효과는 자벽의 안정화에 기인한 것으로 추정된다. 따라서 Mn_2O_3 와 Co_2O_3 를 동시에 첨가하여 투자율 및 손실의 증대 효과와 차단 주파수(cut-off frequency)를 조절할 수 있었다.

ABSTRACT

Effects of additives on electromagnetic properties of a Ni-Cu-Zn ferrite for a noise filter in high frequency regions were studied. Both resistivity and permeability were increased with the amount of Mn_2O_3 up to 1 wt%, then decreased with further addition. Addition of Co_2O_3 decreased the permeability of the ferrite and shifted the resonance frequency to a higher frequency region, which was thought due to the stabilization of domain walls. Therefore it was possible to improve both the permeability and the loss and to control the cut-off frequency by the concurrent addition of Mn_2O_3 and Co_2O_3 .

1. 서 론

전자통신기술의 급속한 발전에 의해 전자파를 사용하는 기기가 다양화되고 고도화됨에 따라 전파환경이 현저히 악화되어 EMI(Electromagnetic Interference) 대한 종합적인 검토가 이루어지고 있다.

EMI 대책은 크게 접지(Grounding), 차폐(Shielding), 여파(Filtering)로 분류할 수 있으며 이 중에서 여파(Filtering)는 장치 경계면에서 전자파 잡음(Noise)을 제거하는 것을 말한다¹⁾.

과거 페라이트 응용에 대한 연구는 인덕터로서 동작

하는 고투자율 저손실 페라이트의 개발이 주된 과제였다. 이러한 인덕터용 페라이트는 저주파 대역에서의 투자율이 높은 반면 낮은 공진 주파수를 가지므로 주로 10 MHz 이하의 비대칭파 노이즈 제거를 목적으로 하는 LC회로에 사용된다. 한편 10 MHz 이상의 고주파대역의 노이즈 제거에는 고주파 대역에서 높은 임피던스 특성과 높은 비저항을 가지는 재질이 필요하다. 즉 고주파에서의 손실이 큰($\mu' \ll \mu''$) 재질을 사용하면 저항소자로 동작하여 노이즈를 흡수에 의해 열로 변화시켜 제거하게 되므로 반사된 노이즈에 의한 또 다른 EMI의 발생을 막을 수 있다.

고손실 페라이트를 이용한 필터는 기준 주파수 이하만을 통과시키며 이때 이 기준 주파수를 차단 주파수(cut-off frequency)라 하는데 입력되는 전력의 크기가 50%(3 dB)로 감소하는 주파수로 정의된다²⁾.

포화 자기모멘트와 같은 성질은 화학성분과 결정구조에만 의존하지만 투자율 및 자기손실 등은 미세구조에 의해서도 영향을 받는다³⁾. 특히 고주파에서는 자력의 빠른 이동이 일어나므로 자력의 이동과 관련이 있는 투자율, 손실 등은 조성뿐만 아니라 미세구조에도 큰 영향을 받는다.

본 연구에서는 Ni-Cu-Zn계 페라이트에서 첨가물변화에 대한 복소 투자율의 주파수 분산 거동을 조사하고 이것이 필터특성에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용한 페라이트 조성은 Fe_2O_3 49.05 mol%, NiO 11.7 mol%, ZnO 33.5 mol%, CuO 5.75 mol%로 고순도(99.99%), 초미립자 원료를 사용하였으며 Mn_2O_3 와 Co_2O_3 를 각각 0.2~4 wt% 첨가하였다. 평량한 후 원료와 에탄올 그리고 석분을 무게비로 1 : 2 : 3으로 넣고 24시간 동안 180 rpm으로 습식혼합한 후 80°C oven에서 10시간 건조하였다.

건조한 시료를 5°C/min로 승온하여 700°C에서 2시간 하소한 후 10°C/min으로 냉각하였다. 이것에 5% PVA 수용액을 1wt% 첨가하여 24시간 동안 재분쇄한 다음

건조하였다.

650 kg/cm² 압력으로 coaxial, toroidal, disk 형태의 시편을 성형한 다음 5°C/min으로 승온하여 500°C에서 30분 동안 유지하여 바인더를 제거하고 다시 5°C/min로 승온하여 1050°C에서 2시간 동안 유지한 후 10°C/min으로 냉각하였다.

Toroidal 시편에 0.35 mm의 에나멜선을 20회 감은 후 impedance analyzer(HP 4194A)를 사용하여 인덕턴스를 측정된 후 계산에 의해 초투자율을 구하였으며, 복소 투자율은 coaxial type으로 시편을 제작하여 Network analyzer(HP3577A)를 이용하여 동축선법⁵⁾으로 측정하였다. 시편의 미세구조는 950°C에서 1시간 thermal etching한 후 주사전자현미경으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 열처리 온도 결정

하소에 의한 스피넬화(spinel%)가 소결에 미치는 영향을 알기 위해 Fe_2O_3 49.05 mol%, NiO 11.7 mol%, ZnO 33.5 mol%, CuO 5.75 mol%의 조성에 대해 하소온도에 따른 스피넬화(Spinel%)를 조사하고⁶⁾ 스피넬화에 따른 소결거동을 조사하여 그 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 80~85% 스피넬화된 700°C 하소인 경우에 가장 치밀화한 것을 알 수 있는데 이는 미반응 Fe_2O_3 가 소결을 촉진시킨 때문이라 생각된다. 따라서 스피넬화가 80~85% 일어나는 700°C를 하소온도로 고정하고 소결 실험을

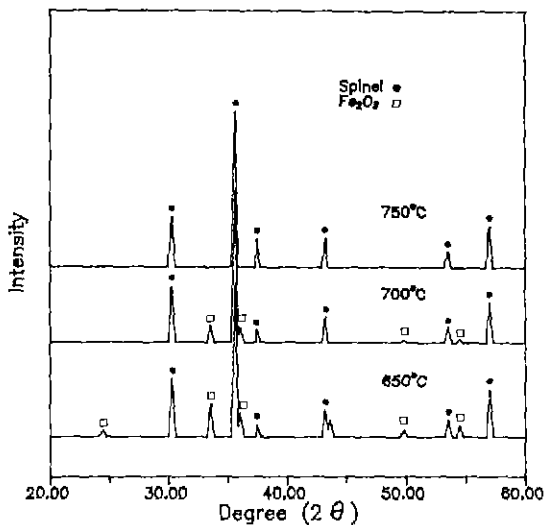


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of calcination temperature.

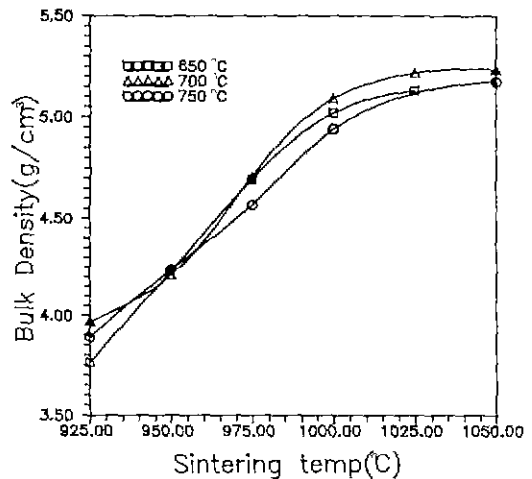


Fig. 2. Bulk density in terms of sintering temperature as a function of calcination temperature for Ni-Cu-Zn ferrite.

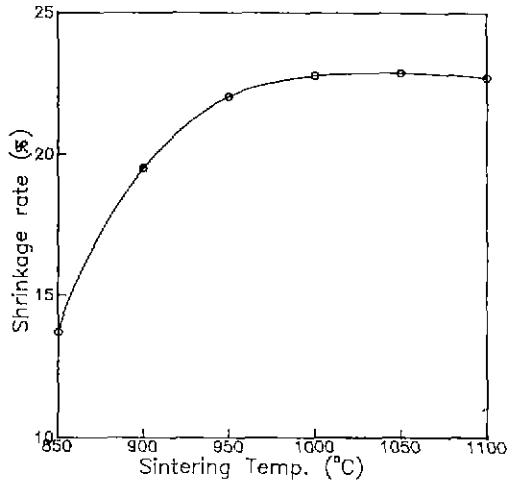


Fig. 3. Shrinkage Curves of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of different composition.

진행하였다.

Fig. 3은 Fe_2O_3 49.05 mol%, NiO 11.7 mol%, ZnO 33.5 mol%, CuO 5.75 mol%의 조성에 대해 소결온도에 따른 수축율을 측정할 결과로서 1050°C 이상에서 일정한 값을 나타내었다. 따라서, 열처리 schedule을 700°C 하소, 1050°C 소결로 고정하였다.

3.2. Mn_2O_3 첨가에 따른 영향

본 실험에서 선택한 페라이트 조성에 대해 Mn_2O_3 를 각각 0.2~4 wt%를 첨가한 후 700°C로 하소하고 1050°C로 소결하여 토로이달 시편과 동축형 시편을 제조하였다. 일반적으로 페라이트의 투자율(μ)은 포화자화(M_s)의 자승에 비례하므로 자기 모멘트가 큰 물질의 첨가로 투자율이 증가되나 와전류손실이 큰 경우에는 오히려 투자율이 감소한다⁷⁾. 따라서 자기 모멘트가 크고 비저항을 증가시킨다고 알려진 Mn_2O_3 를 첨가제로 선택하였다. Fig. 4는 본 실험에서 선택한 페라이트 조성에 대해 Mn_2O_3 를 0.2~4 wt% 첨가하였을 때의 비저항의 변화를 나타낸 것으로 0.2 wt% 첨가할 때까지 비저항이 증가하였다. 페라이트에서의 전도는 금속이온이 하나 이상의 원자격을 가질 때 가능한데 Mn_2O_3 가 첨가됨으로써 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$, $\text{Ni}^{2+} \rightarrow \text{Ni}^{3+}$ 의 전도기구에서 다른 복잡한 전도 기구로 치환되기 때문에 비저항이 증가하게 된다⁸⁾.

Fig. 5는 Mn_2O_3 의 첨가에 따른 미세구조를 나타낸 것으로 Mn_2O_3 를 1 wt% 첨가할 때까지는 입경의 변화는 일어나지 않았으며 2 wt% 이상 첨가하였을 때 입경이

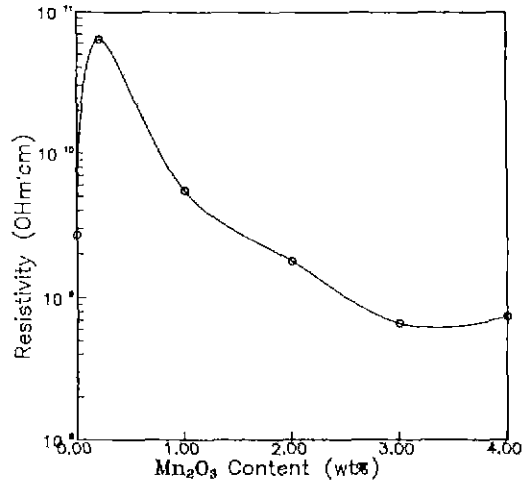


Fig. 4. Resistivity of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of Mn_2O_3 contents.

감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 6은 Mn_2O_3 의 첨가에 따른 초투자율의 변화를 나타낸 것으로 Mn_2O_3 를 1 wt% 첨가할 때까지 초투자율이 증가하다가 그 이상의 첨가에서 다시 감소하였다. Mn_2O_3 가 1 wt% 첨가될 때까지의 초투자율의 증가는 미세구조의 변화는 일어나지 않았으므로 Mn^{3+} 가 Octa site의 Ni^{2+} 이온을 치환함에 따른 포화자화의 증가에 의한 영향이라고 생각되며 Mn_2O_3 가 2 wt% 이상 첨가될 때의 초투자율의 감소는 입경감소에 의한 영향이 Mn^{4+} 의 치환에 의한 포화자화의 증가 효과보다 우세하기 때문이라 생각된다.

Fig. 7은 Mn_2O_3 첨가에 따른 복소투자율의 주파수 분산특성으로 Mn_2O_3 첨가에 의한 공진 주파수(f_r ; 투자율 허수 즉 μ'' 가 최대인 주파수)나 공진 주파수 이상에서의 복소 투자율값은 변화되지 않고 다만 공진 주파수 이하에서의 복소 투자율값만 Mn_2O_3 의 첨가에 따른 초투자율의 변화와 동일하게 변화하였다. 이러한 복소 투자율의 변화는 Fig. 8의 Mn_2O_3 첨가에 따른 임피던스의 주파수 분산특성에서 잘 나타난다. 즉, 임피던스가 고주파(~10 MHz)에서의 변화가 없고 저주파(1~9 MHz)에서만 변화하는 것을 알 수 있다. Fig. 9에는 Mn_2O_3 첨가에 따른 loss factor를 나타낸 것으로 Mn_2O_3 를 0.2~2 wt% 첨가한 경우에 손실이 증가하는 것을 알 수 있다.

따라서 Mn_2O_3 를 첨가함으로써 임피던스를 낮은 주파수대에서 변화시킬 수 있으므로 필터의 차단 주파수를 조절할 수 있으며 동시에 손실 또한 증가하므로 흡수형 필터로서의 특성향상을 기대할 수 있었다.

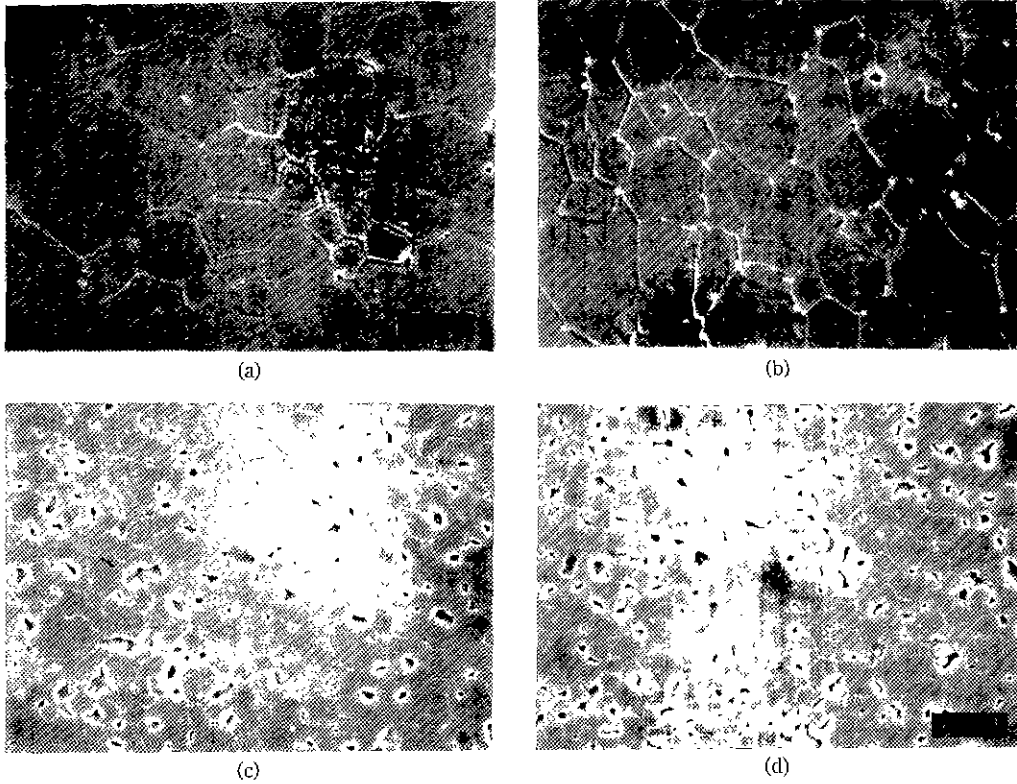


Fig. 5. Scanning electron micrographs of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of Mn₂O₃ contents. (a) 0.2 wt% (b) 1 wt% (c) 2 wt% (d) 3 wt%

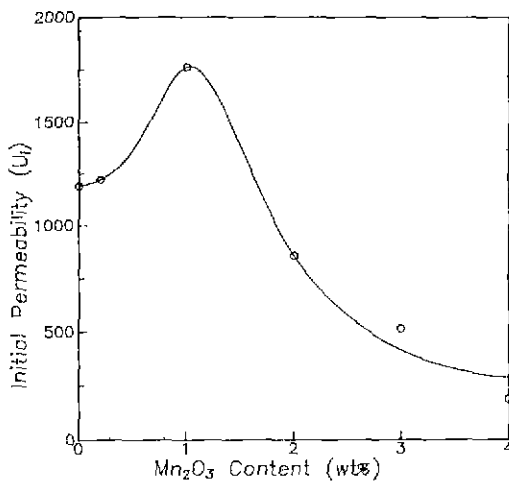


Fig. 6. Initial permeability as a function of Mn₂O₃ contents.

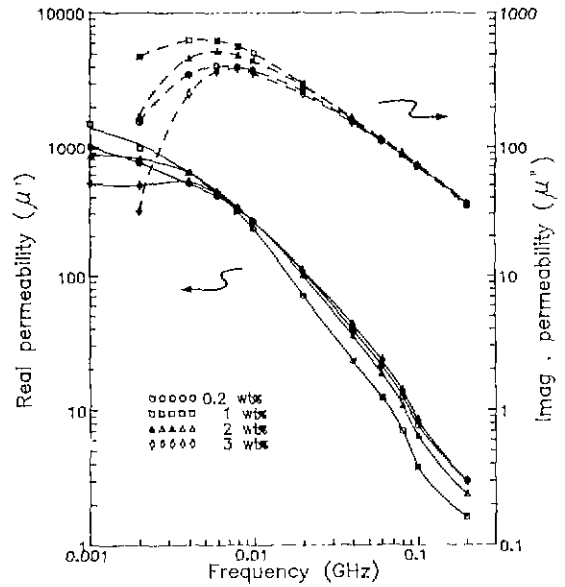


Fig. 7. Complex permeability in terms of frequency as a function of Mn₂O₃ content for Ni-Cu-Zn ferrite.

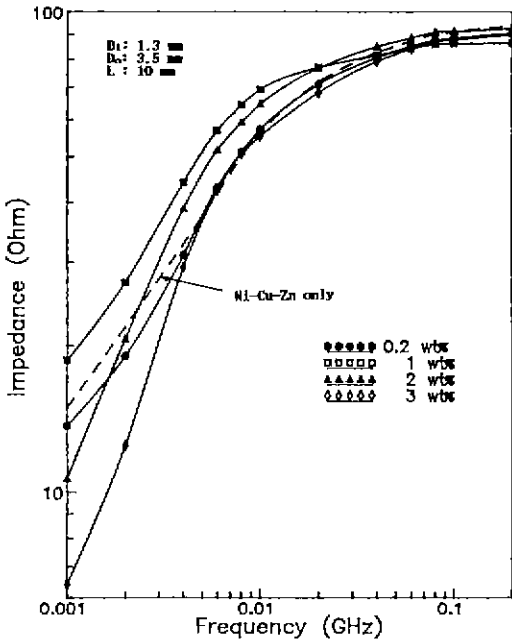


Fig. 8. Impedance curves in terms of frequency as a function of Mn_2O_3 content for Ni-Cu-Zn ferrite.

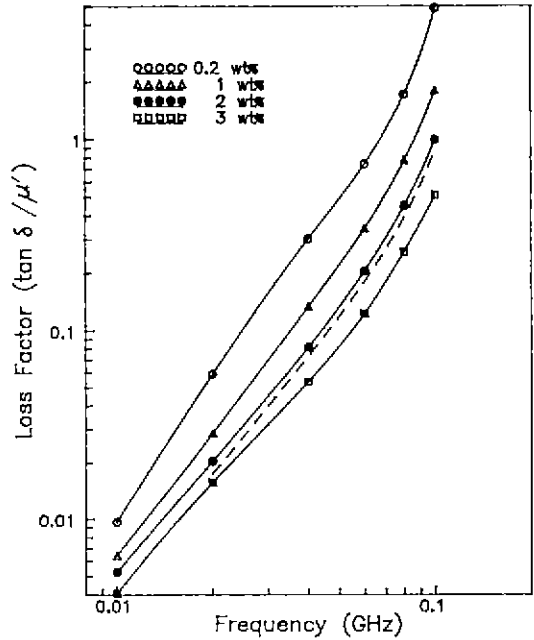


Fig. 9. Loss factor in terms of frequency as a function of Mn_2O_3 content for Ni-Cu-Zn ferrite.

3.3. Co_2O_3 첨가에 따른 영향

고주파대 노이즈 필터제조에 있어 손실과 투자율의 제어 뿐만 아니라 차단 주파수의 제어도 중요하다. Fig. 10은 본 실험에서 선택한 Ni-Cu-Zn계 페라이트에 Co_2O_3 를 0.2~4 wt% 첨가하였을 때의 초투자율의 변화를 나타낸 것으로 Co_2O_3 를 첨가한 경우 투자율이 감소함을 알 수 있는데 이는 자벽의 안정화에 의한 것이라고 생각된다⁹⁾.

Fig. 11은 Co_2O_3 첨가에 따른 미세구조변화를 나타낸 것으로 Co_2O_3 첨가에 따라 입경의 변화가 거의 일어나지 않은 것을 알 수 있다. 초투자율은 조성뿐만 아니라 미세구조에도 큰 영향을 받는다고 알려져 있는데 Co_2O_3 첨가에 따라 미세구조에는 변화가 없으므로 초투자율의 감소는 조성변화에 의한 효과라고 생각된다.

Fig. 12에 Co_2O_3 첨가에 따른 복소 투자율 변화를 나타내었다. 초투자율의 감소에 의해 공진 주파수가 고주파쪽으로 이동하는 것을 알 수 있으며 이것은 Fig. 13의 Co_2O_3 함량에 따라 삼입손실의 주파수 분산에서 cut-off frequency가 고주파대로 이동하는 특성으로 나타난다.

3.4. Mn_2O_3 와 Co_2O_3 의 동시 첨가에 따른 영향

회로의 전자기적 특성에 따라 사용되는 노이즈 필터의

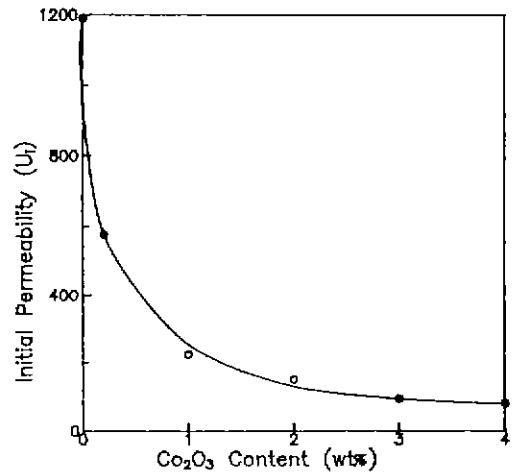


Fig. 10. Initial permeability as a function of Co_2O_3 content for Ni-Cu-Zn ferrite.

특성도 다양하게 변화되어야 한다. 고주파대역(10 MHz 이상)에서 높은 임피던스 및 손실 특성을 유지하면서도 cut-off frequency를 원하는 주파수대역으로 이동시킬 수 있으면 필터설계의 자유도가 높아진다. Mn_2O_3 와 Co_2O_3 를 동시에 첨가함으로써 Mn_2O_3 에 의한 투자율 및 손실증

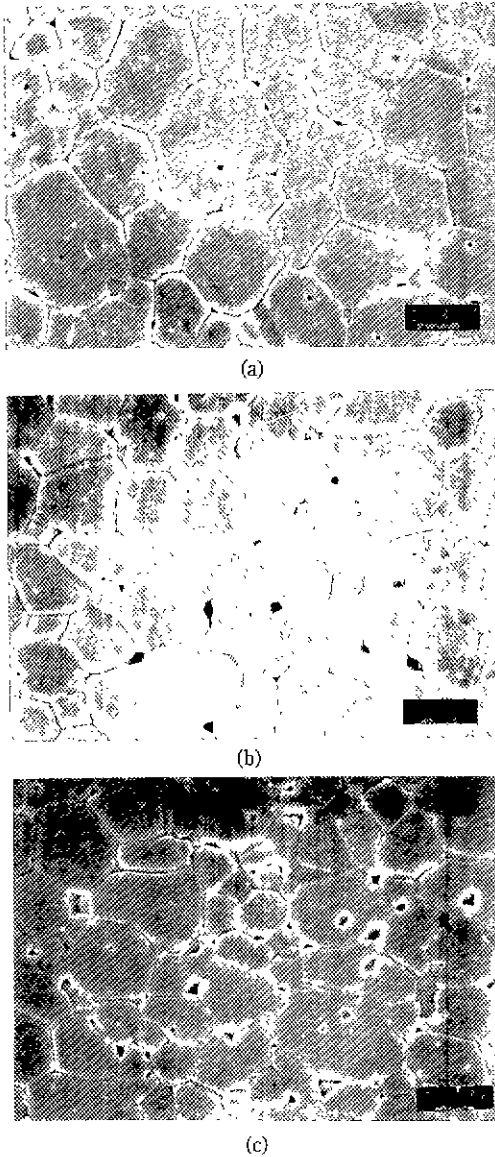


Fig. 11. Scanning electron micrographs of Ni-Cu-Zn ferrite as a function of Co_2O_3 content.
 (a) 0.2 wt% (b) 1 wt% (c) 2 wt%

가효과와 Co_2O_3 에 의한 공진 주파수 상승의 효과를 얻고자 하였다. Fig. 14는 Fe_2O_3 49.05 mol%, NiO 11.7 mol%, ZnO 33.5 mol%, CuO 5.75 mol%의 조성에 Mn_2O_3 를 1 wt% 첨가하고 Co_2O_3 1~2 wt% 첨가하였을 때의 상대손실계수(Loss factor)에 삽입감쇠의 주파수분산을 나타낸 것이다. Mn_2O_3 와 Co_2O_3 를 동시에 첨가함으로써 Co_2O_3 만을 첨가하였을 때보다 상대손실계수는 증가하였

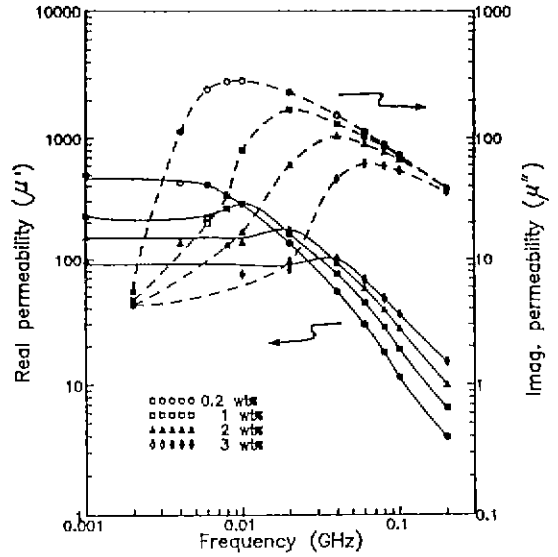


Fig. 12. Complex permeability in terms of frequency as a function of Co_2O_3 content for Ni-Cu-Zn ferrite.

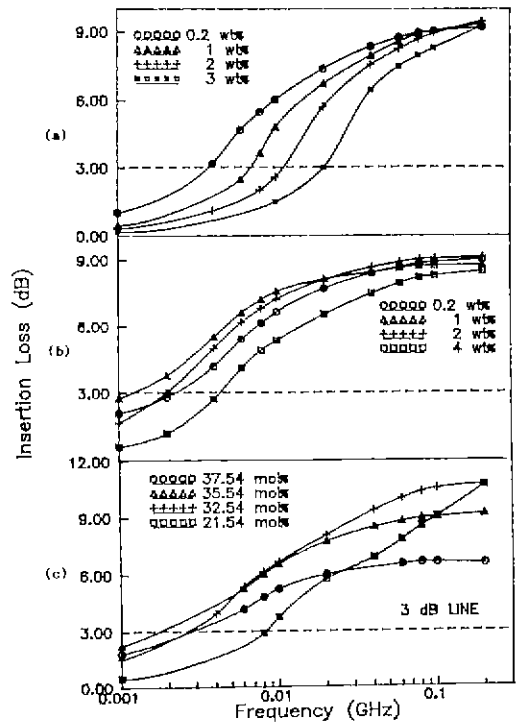


Fig. 13. Insertion loss variation in terms of frequency as a function of additives for Ni-Cu-Zn ferrite. (a) ZnO contents (b) Co_2O_3 contents (c) Mn_2O_3 contents

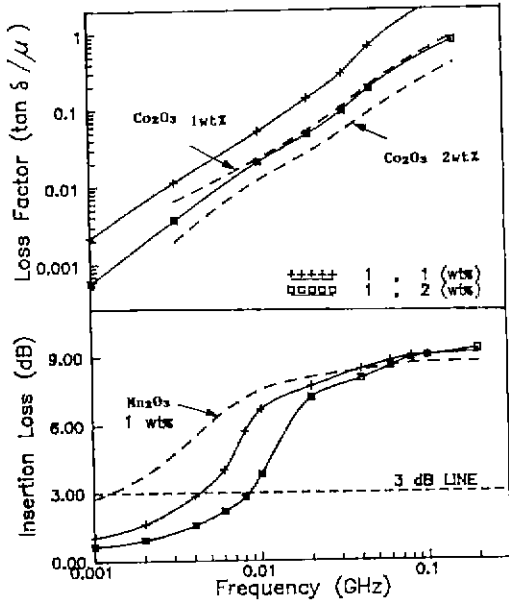


Fig. 14. Insertion loss & loss factor in terms of frequency as a function of Co_2O_3 & Mn_2O_3 content for Ni-Cu-Zn ferrite.

으며 차단 주파수는 Mn_2O_3 만을 첨가할 때보다 고주파 대역으로 이동하는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

Fe_2O_3 49.05 mol%, NiO 11.7 mol%, ZnO 33.5 mol%, CuO 5.75 mol%의 조성을 가지는 Ni-Cu-Zn 페라이트에 0.2~4 wt%의 Mn_2O_3 와 Co_2O_3 를 각각 또는 동시에 첨가하여 이들이 전자기적 특성에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Mn_2O_3 를 첨가한 경우 공진 주파수(f_r)와 공진 주파수 이상의 복소 투자율값의 변화는 없고 공진 주파수 이하의 복소 투자율값만 Mn_2O_3 의 첨가에 따른 초투자율의 변화와 동일하게 변화하였으며 손실도 2 wt% 첨가할 때까지 증가하였다. 따라서, 미량의 Mn 첨가에 의해 손실을

증가시키고 임피던스 곡선의 거동을 저주파대에서 변화시킬 수 있었다.

2. Co_2O_3 를 첨가함으로써 domain wall 안정화에 따른 초투자율의 감소는 생기나 투자율 실수(μ')의 느린 주파수 분산에 의해 공진 주파수(f_r)가 고주파대로 이동하므로 필터의 cut-off frequency를 변화시킬 수 있었다.

3. Mn_2O_3 와 Co_2O_3 를 동시에 첨가하므로써 Mn^{3+} 첨가에 의한 손실 및 임피던스 증대 효과와 Co^{3+} 첨가에 의한 cut-off frequency를 고주파 대역으로 이동시키는 효과를 동시에 얻을 수 있었다. 따라서 Mn_2O_3 와 Co_2O_3 함량비에 따라 임피던스 특성 및 필터링 주파수의 조절이 가능하였다.

REFERENCES

1. P. Dobrogowski, J. Schroeder III, "EMI Control Techniques Using Filtered Connectors," AMP 12th Annual connector symposium, 68. TP-U-223-79 (1979).
2. D.R.J. White *et al.*, "EMC Hand Book 3," ICT (1983).
3. Lionel M. Levinson, "Electronic Ceramics," Marcel Dekker Inc. (1987).
4. W. Barry, "A Broad-Band, Automated Strip Line Technique for the Simultaneous Measurement of Complex Permittivity and Permeability," *IEEE Trans., MTT-34*(1), 80-84 (1986).
5. L.P. Lighthart, "A Fast Computational Technique for Accurate Permittivity Determination Using Transmission Line Methods," *IEEE, MTT-31*, 3 (1983).
6. B.D. Cullity, "Element of X-ray Diffraction," ADDISON-WILLY Pub. Co. (1967).
7. S. Chikazumi, "Physics of Magnetism," New York, John Wiley & Sons, 263 (1964).
8. L. G. Van Litert, "High-Resistivity Nickel Ferrite—the Effect of Minor Additions of Manganese or Cobalt," *J. Chem Phys.* 23, 1883 (1955).
9. J.G.M. DELAU, A. Broese Van Groenou, "High-Frequency Properties of Ni-Zn-Co Ferrites in Relation to Iron Content and Microstructure," *J Phys. Supple.*, 38, pp. C1-17 (1977).