

페라이트-페라이트 복합형 전파흡수체의 거동

김경용 · 김왕섭 · 강선모 · 정형진
한국과학기술연구원 세라믹스연구단
(1991년 3월 5일 접수)

Behavior of Ferrite-Ferrite Composite on Electromagnetic Wave Absorber

Kyung-Yong Kim, Wang-Sup Kim, Sun-Mo Kang and Hyung-Jin Jung

Div. Ceramics, KIST
(Received March 5, 1991)

요 약

Ni-Zn 페라이트/Mn-Zn 페라이트 복합체의 전자파 흡수 특성을 조사하였다. 복합체에서 투자율 허수부는 측정 전범위(50~1400 MHz)에서 각각의 페라이트만으로 측정했을 때보다 높게 나타났다. 이러한 차이는 저주파 범위에서 더욱 뚜렷했는데 두 페라이트를 1:1로 혼합했을 때 가장 크게 나타났다. 페라이트 흡수체에서 두께가 복소투자율의 허수부에 반비례하기 때문에 두 종류의 다른 페라이트를 복합체로 하여 전파흡수체의 두께를 줄일 수 있었다.

ABSTRACT

The behavior of Ni-Zn ferrite/Mn-Zn ferrite composite electromagnetic absorber was investigated. The imaginary part of complex permeability of the composite was higher than that of either ferrite alone at all frequency range (50~1400 MHz) studied. The difference, which was pronounced in low frequency range, was reached the maximum value when the composite consisted of constituent ferrites with equal amount. Since the thickness is inversely proportional to the imaginary part of complex permeability for the ferrite absorber, it was possible to reduce the thickness of electromagnetic absorber by employing a composite of two different ferrites.

1. 서 론

현대의 정보통신기술의 발달과 정보화 사회의 다양화, 고도화에 의한 전파 사용이 증가됨에 따라 전파환경이 악화되어 고층빌딩 등에 의한 TV전파의 수신장애, 교량 등에 의한 선박용 레이더의 허상, 각종 산업현장에서의 전자장비 사용시 전파장애에 의한 오동작 등을 초래하여 사회문제화되고 있다.

이에 따라 전파를 이용할 때, 신뢰성을 높이기 위하여 불필요한 전파의 반사방지 등은 물론 전파공해를 방지할 수 있는 방안이 강구되고 있다. 이에 대한 대책으로 송신방법의 개선, 수신방법의 개선 등이 검토되고 있지만 근본적 대책으로는 전파흡수특성을 갖고 있는 재료로 빌딩을 피복시켜 외부에서 들어오는 전파를 빌딩 외벽이 흡수하여 반사 자체를 없애는 것이다¹⁾. 페라이트 재료로 된 전파흡수체로 빌딩의 외벽을 피복하기 위하여

서는 재료의 박판화가 필수적이다. 현재 시판되고 있는 VHF 대역용 전파흡수타일 제품(TDK IB-001)의 경우 9 mm 정도이고 UHF 대역용 타일제품(TDK IB-002)는 7 mm 정도로 두꺼운 편이다.

본 연구에서는 페라이트 소결체가 조성이 불균일할 경우 손실이 증대한다는 점²⁾에 착안하여 이종의 페라이트를 복합화시켰을 경우 전자기적 특성의 변화를 조사하고 이를 이용한 박판형 전파흡수체의 제조를 시도 하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 페라이트의 조성을 표 1에 나타내었다. 각 원료를 평량한 후 24시간 ball milling하여 80°C oven에서 24시간 건조하였다.

각 페라이트의 결정상을 안정화시키기 위하여 혼합

Table 1. Experimental Compositions (wt%)

	Fe ₂ O ₃	ZnO	NiO	MnO ₂	Co ₃ O ₄	CuO
Ni-Zn Ferrite	66.8	21.3	10.4		0.5	1.0
Mn-Zn Ferrite	69.1	11.7		19.2		

건조된 표 1의 조성을 각각 900°C에서 2시간 하소하였다.

하소된 페라이트는 재분쇄 후 325 mesh를 통과시키고 여러가지 비율로 혼합하여 내경 3 mm, 외경 7 mm(복소유전율 및 투자율 측정용)와 내경 22 mm, 외경 35 mm(초투자율 측정용)의 동축형으로 성형하였다.

비교를 위하여 Ni-Zn 페라이트와 Mn-Zn 페라이트 조성분율 미리 혼합한 후 동시에 같은 조건으로 하소 처리한 시편도 준비하였다. 소결은 대기 분위기에서 1150°C, 1시간 행하였다.

Co-axial type의 측정장치(HP 85051-60007)와 Network analyzer(HP 8510)를 사용하여 50 MHz~1400 MHz 범위에서 각 시편의 복소유전율, 복소투자율 및 감쇠량을 측정하였으며⁵⁾ Q-meter(Yokogawa HP YHP-4255A)를 사용하여 초투자율을 측정하였다.

3. 이론적 배경

Ferrite 전파흡수체의 기본구조는 ferrite의 이면에 반사체인 금속판을 붙인 구조이다. 이 경우 ferrite 전면의 입력 임피던스는(자유공간에서의 임피던스로 규격화)

$$\frac{Z_m}{Z_0} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right] \quad (1)$$

이 된다. 여기서 λ, Z₀는 자유공간에서의 파장과 임피던스, d는 ferrite의 두께이다. d가 λ에 비하여 매우 작고, 고주파 영역에서 ferrite의 손실은 자기손실항이 매우 크고 유전손실항은 무시할 정도로 작다고 가정하였을 경우 전면의 입력 임피던스 Z_m/Z₀=1(무반사 조건)을 만족하는 ferrite의 전기자기특성은 다음과 같다⁶⁾.

$$\mu_r'' = \frac{\lambda}{2\pi d} (\gg 1) \quad (2a)$$

$$\mu_r' = 0 \quad (2b)$$

그러므로 식 (2a)에서도 알 수 있듯이 복소투자율의 허수부가 증가되면 정합두께 d가 감소된다. 즉, 박판형 전파흡수체를 구현하기 위해서는 복소투자율의 허수부분을 크게 하여야 한다.

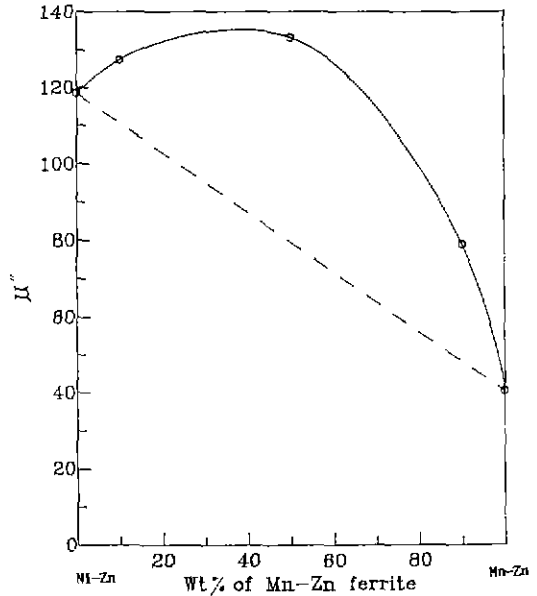


Fig. 1. Relationship between weight percent of each ferrite and μ'' of composite ferrite at 50 MHz.

4. 결과 및 고찰

스피넬상의 정량은 내부표준법을 사용하여 다음 식과 같이 구하였다.

$$\text{Spinel화\%} = \frac{\text{spinel (311) peak의 높이}}{\text{Fe}_2\text{O}_3 (401) \text{ peak의 높이}} \quad (3)$$

900°C 하소 후 Ni-Zn의 경우는 거의 100%, Mn-Zn의 경우는 약 60% 안정한 스피넬상이 형성되었다. 1 MHz에서의 초투자율은 Ni-Zn 페라이트의 경우 720, Mn-Zn 페라이트의 경우 1200이었다.

Fig. 1은 미리 하소한 Ni-Zn 페라이트와 Mn-Zn 페라이트를 혼합하여 소결한(이하 복합체가 칭함) 시편의 복소투자율 허수부(50 MHz)와 무게비율과의 관계를 나타낸 것이다. 복소투자율 허수값은 복합체의 경우 전 범위에서 선형적 비례관계보다 큰 값을 보이며 1 : 1 혼합의 경우 최대값을 보인다.

페라이트 소결체내의 grain간 조성의 불균일이 생기면 각 grain간에 투자율의 차이로 인하여 자속분포가 불균일해지고 따라서 시편의 자기손실이 증가하게 된다³⁾. 본 실험에서와 같이 투자율이 서로 다른 두 스피넬상이 소결과정 중에 서로 반응하여 균질화되지 않고, 서로 다른 조성의 grain으로 혼합되어 있을 경우 이와 같은 이유로 인해 시편의 자기손실이 증가한다고 생각된다.

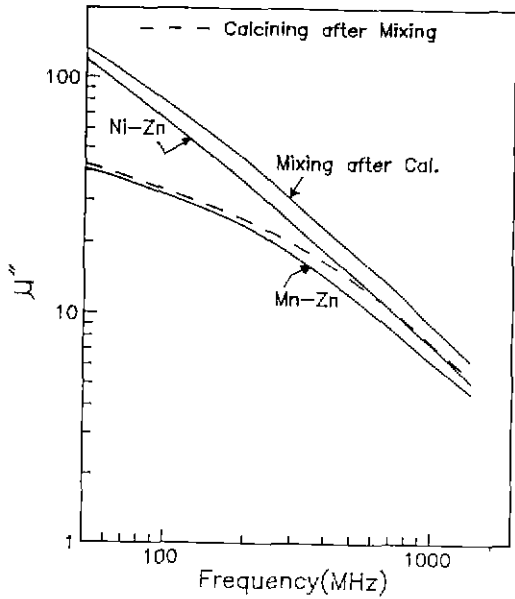


Fig. 2. Spectra of μ'' of each ferrite, 1:1 mixed ferrite and 1:1 composite ferrite.

Fig. 2는 각 페라이트 소결체와 1:1 복합체의 투자율 허수부와 주파수와의 관계를 나타낸 것이다. 전 주파수 범위에서 투자율 허수부가 복합화에 의해 증가된 현상을 발견할 수 있다. 각 페라이트가 소결 중 서로 반응하여 균질화되지 않고 독립적으로 존재하고 있다는 것은 Fig. 3에 나타낸 복합체의 XRD data에서도 확인할 수 있다. Fig. 2의 점선은 비교를 위하여 두 페라이트 조성을 먼저 1:1로 혼합한 후 함께 하소하여 소결한 시편(이하 혼합체라 칭함)의 경우로서 복합체와는 달리 투자율 허수부가 각 페라이트 소결체의 투자율 허수값의 사이에 위치한다. 이것은 혼합체의 경우 미리 안정한 스피넬상이 형성된 후 소결된 복합체에 비하여 하소단계에서 생긴 스피넬상이 비교적 덜 분리되었기 때문이라고 생각된다. 이상과 같은 결과에 근거하면 복합체의 경우 복소투자율의 허수부가 크게 증가하는 것은 원료조성에 의한 영향이 아니고 자기적 성질이 다른 페라이트의 복합화에 의한 것임이 확실하다.

이종의 페라이트를 복합소결시켰을 경우 복소투자율의 허수부분이 증가되는 효과는 Fig. 1과 4에서 볼 수 있듯이 특히 주파수가 낮은 영역에서 현저하다.

Fig. 5는 실험에 사용된 Ni-Zn, Mn-Zn 페라이트와 복합 페라이트의 복소유전율 허수부와 주파수와의 관계를 나타낸 것이다. 복소유전율 허수부는 다음의 관계식과 같이 페라이트의 비저항과 관련이 있다⁷⁾. 즉,

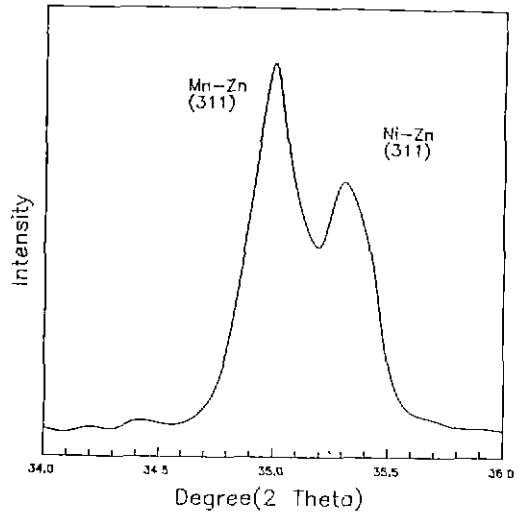


Fig. 3. XRD pattern of ferrite composite.

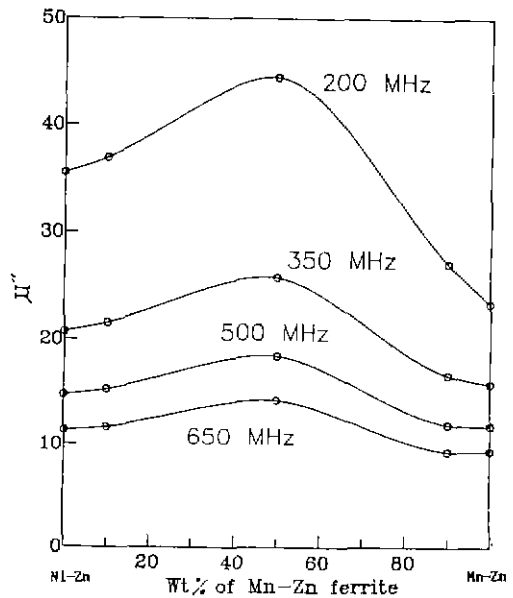


Fig. 4. Relationship between weight percent of each ferrite and μ'' of composite ferrite at various frequency.

$$\epsilon'' = \frac{\sigma}{\omega} = \frac{1}{\omega \cdot \rho} \quad (4)$$

여기서 σ , ω 와 ρ 는 각각 전기전도도, 각주파수($=2\pi f$)와 비저항이다. 따라서 그림 5에서 나타난 바와 같이 복합화에 의해 복소유전율이 전반적으로 증가하는 현상은, 재료의 비저항 감소로 해석될 수 있다. 나아가 비저항의

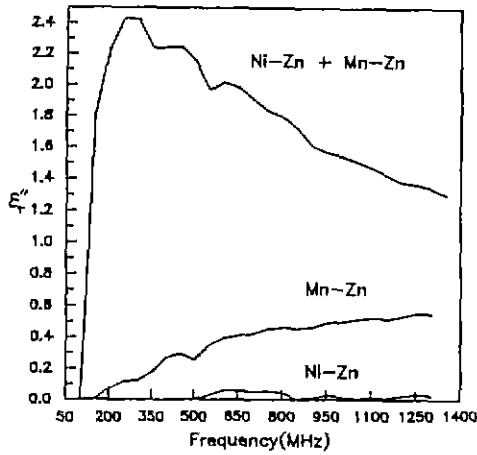


Fig. 5. Spectra of ϵ'' of each ferrite and composite ferrite.

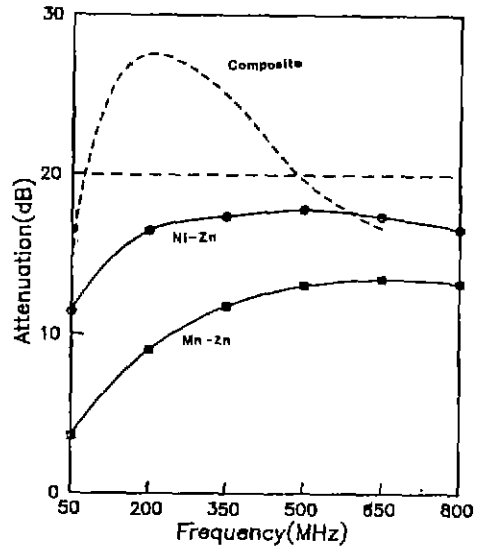


Fig. 7. Attenuation curves vs. frequency of each and 1:1 composite ferrite (thickness; 5 mm).

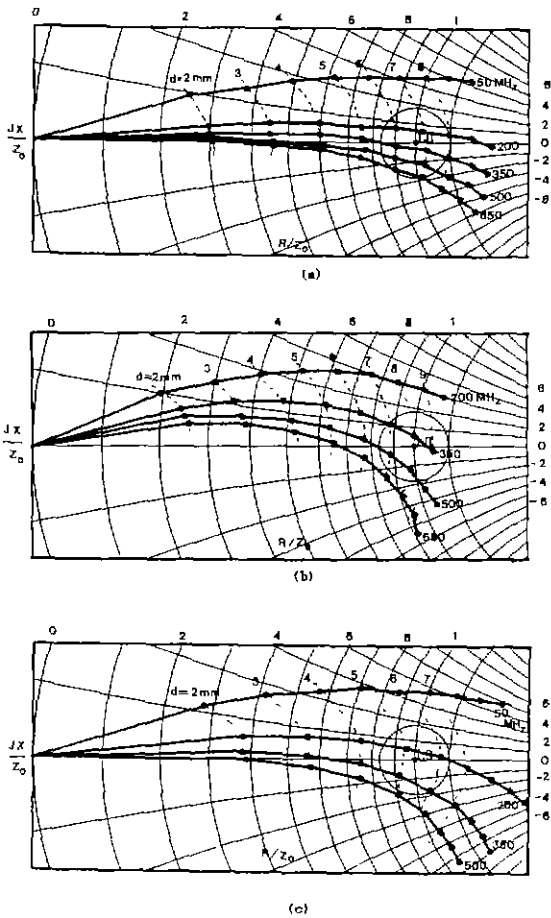


Fig. 6. Loci of input impedance. (a) Ni-Zn ferrite, (b) Mn-Zn ferrite, (c) 1:1 composite ferrite

감소는 와전류 손실의 증가와 직결됨이 당연하다. 그러므로 페라이트의 복합화에 의해 와전류손실이 증가된다는 것을 알 수 있다.

페라이트 재료의 자기손실은 와전류 손실과 공진현상에 의한 잔류손실, 그리고 외부자장에 의한 이력손실로 구분할 수 있으며 다음 식처럼 표현될 수 있다⁸⁾.

$$\begin{aligned} \tan\delta_m &= \tan\delta_h + \tan\delta_r + \tan\delta_i \\ &= k_1 B + k_2 f + k_3 \end{aligned} \quad (5)$$

k_1, k_2, k_3 ; constant

여기서 $\tan\delta_m, \tan\delta_h, \tan\delta_r, \tan\delta_i$ 은 각각 전체손실, 이력손실, 와전류손실, 잔류손실을 나타내며 B와 f는 각각 flux density와 주파수를 나타낸다.

이 경우 와전류손실은 주파수에 비례하여 증가하고 잔류손실은 공진주파수 이하에서는 거의 주파수에 무관하게 일정한 값을 갖다가 공진주파수 이상에서 급격히 증가하여 손실에 가장 크게 기여한다⁹⁾.

따라서 와전류현상에 의한 손실이 전체 손실에 미치는 영향은 주파수가 증가할수록 감소하고 잔류손실의 영향이 크게 된다.

식 (2a)에서 알 수 있듯이 정합두께 d는 복소투자율 허수부의 크기 뿐만 아니라 사용주파수(파장)에 의해서도 영향을 받는다. 따라서 고주파 영역에서는 정합두께 d가 자연히 감소하게 된다. 전파흡수타일의 두께가 UHF용이 VHF용보다 얇은 것은 이와 같은 이유 때문

이다. 그러므로 복합화에 의한 복소투자율 허수부의 증가효과가 고주파 영역에서는 작지만 VHF 대역에서는 매우 크다는 사실은 복합화에 의해 전파흡수체의 박판화가 가능하다는 것을 잘 시사해주고 있다.

Fig. 6은 이와 같은 결과를 보여주는 Smith chart이다. 그림에서 작은 원 내부의 임피던스 상태가 되면 20 dB 이상의 전파감쇠가 일어나게 된다. Ni-Zn 페라이트의 경우 두께 7mm에서 90~650 MHz의 주파수 범위가 여기에 해당되며 Mn-Zn 페라이트는 7mm에서 350~600 MHz의 주파수 범위인데 Ni-Zn/Mn-Zn 페라이트 복합소결체의 경우는 두께 5mm에서 90~500 MHz 주파수 범위가 이에 해당된다는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 전파흡수체의 두께를 5mm로 만들었을 때 주파수에 따른 전파감쇠곡선의 변화를 나타낸 것이다. 단독 페라이트의 경우는 복합체의 경우와는 달리 5mm에서는 전혀 실용상 성능을 발휘하지 못하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

이종의 페라이트를 복합 소결시켜 박판형 전파흡수체를 제조하기 위한 본 실험을 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 초투자율이 다른 Ni-Zn와 Mn-Zn, 이종의 페라이트를 혼합, 소결시켰을 경우 복소투자율의 허수부가 증가하는데 이와 같은 현상은 두 페라이트의 분율이 1:1 일 때 가장 큰 값을 나타내며 주파수가 낮을수록 현저한

경향을 보인다.

2) 이와 같은 현상은 grain간 조성의 불균일로 인한 와전류 손실에 의한 것으로 판단된다.

3) 복합화에 의한 복소투자율 허수부의 증가에 따라 본 실험에서는 약 90~500 MHz 대역에서 20 dB 이상의 전파흡수특성을 발휘하는 두께 5mm의 박판형 전파흡수체를 제조할 수 있었다.

REFERENCES

1. 石野建, "페라이트를 이용한 전자차폐재료," *Electronic Ceramics*, **19**(95), 22 (1988).
2. 官崎保光, "EMI 대응재료의 특성과 효과의 Mechanism," *공업재료*, **36**(4), 36 (1988).
3. K. Ishino, *et al.*, "Development of Magnetic Ferrite; Control and Application of Losses," *Am. Ceram Bull.*, **66**(10), 1469 (1985).
4. 石野建, "최근의 전파흡수체," *색재*, **58**, 149 (1985).
5. A.M. Nicolson, *et al.*, "Measurement of the Intrinsic Properties of Materials by Time Domain Techniques," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, **IM-19**, 377 (1970).
6. 内藤喜之, "페라이트 흡수체의 두께에 관하여," *일본전자통신학회지*, **52-B**(1), 21 (1969).
7. 内藤喜之, *電波吸收體*, p. 54, ohm社, 1987.
8. E.C. Snelling, *Soft Ferrite-properties and Applications*, 2nd ed., p. 37, Butterworths, 1988.
9. 未踏加工技術協會 編, *신시대의 자성재료*, p. 115, 공업조사회, 1981.