

페라이트-유전체 적층형 전파흡수체

김경용 · 김왕섭 · 주윤돈 · 정형진
한국과학기술연구원 세라믹스 연구단
(1991년 3월 5일 접수)

Electromagnetic Wave Absorber of Laminated Ferrite and Dielectrics

Kyung-Yong Kim, Wang-Sup Kim, Yoon-Don Ju and Hyung-Jin Jung

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

요 약

자기손실에 의한 감쇠를 일으키는 페라이트 전파흡수체는 비교적 좁은 주파수 범위에서 사용되어 왔다. 본 연구에서는 페라이트($Mn_{0.07}Ni_{0.28}Zn_{0.65}Fe_2O_4$) 소결체의 이면에 유전체(Cordierite)를 적층 일체화시켜 광대역 전파흡수체의 제조를 시도하였으며 유전체의 두께 및 유전율이 전파흡수특성에 미치는 영향을 조사하였다. 20 dB 이상의 감쇠특성을 발휘하는 주파수 영역이 페라이트 소결체 단독의 경우 약 100~700 MHz인데 비하여 페라이트 소결체와 유전체를 적층하면 약 900 MHz까지 확장된다. 광대역화를 위하여 필요한 유전체의 두께는 유전율이 증가할수록 감소하였다.

ABSTRACT

Ferrite electromagnetic wave absorber whose attenuation ability are mainly relied on their magnetic loss, has been used in relatively narrow wave frequency ranges. In this study, we tried to produce a wide-range electromagnetic wave absorber by laminating sintered ferrite ($Mn_{0.07}Ni_{0.28}Zn_{0.65}Fe_2O_4$) and dielectrics (Cordierite). We also investigated effects of dielectric constant and thickness on the attenuation behavior of the absorber. Applicable band width, in which the attenuation is greater than 20 dB can be widened from 100~700 MHz of ferrite alone to 100~900 MHz by employing the laminated structure. Thickness of dielectrics to achieve wide-range application decreased as the dielectric constant increased.

1. 서 론

정보통신기술이 발달함에 따라 전파의 사용량이 증대되고 이에 의한 전파공해가 큰 사회적 관심을 끌고 있다. 전파공해의 가장 흔한 예는 TV의 수신장애로서 고층 빌딩 그늘에 의해서 발생하는 난시와 TV 전파가 고층 빌딩에 반사하여 생기는 Ghost 장애를 들 수 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 것이다. 이런 용도로 사용되는 전파흡수재료는 VHF(90~220 MHz), UHF(470~770 MHz)대역에서 큰 전기적

혹은 자기적 손실을 갖고 주파수에 관련하여 적당한 전기자기특성 변화를 가져야 한다¹⁻⁴⁾.

페라이트의 자성손실을 이용한 공진형 전파흡수체는 사용 가능 주파수 범위가 좁은 단점이 있기 때문에 VHF나 UHF 대역 중 일방에서 유효하다. 이와 같은 단점을 극복하기 위하여 여러가지 방법⁵⁻⁷⁾이 강구되고 있지만 국내에서는 이에 대한 체계적 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 페라이트 소결체의 이면에 유전체를 적층 일체화시켜 광대역 전파흡수체의 제조를 시도하였으며 유전체의 두께 및 유전율이 전파흡수특성에 미치는 영향을 조사하였다.

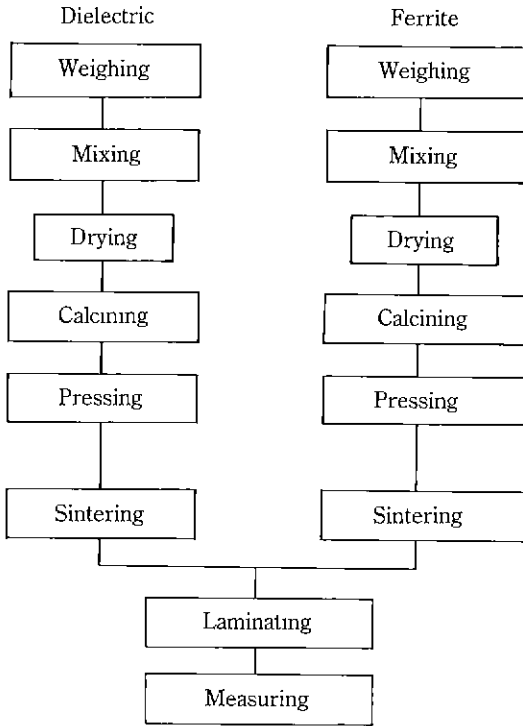


Fig. 1. Schematic diagram of experimental procedure.

2. 실험방법 및 측정

본 실험의 전체 공정을 Fig. 1에 나타내었다. 페라이트

트의 조성은 예비실험을 통하여 VHF 주파수 대역(90~220 MHz)에서 20 dB 이상의 감쇠특성을 나타내는 조성 ($Mn_{0.07}Ni_{0.26}Zn_{0.65}Fe_2O_4$)으로 선택하였으며 유전체로는 Cordierite를 사용하였다.

각 원료를 평량한 후 24시간 ball milling하여 80°C oven에서 24시간 건조하였다. 페라이트의 경우는 건조된 분말을 950°C에서 2시간 하소하였다. 하소된 페라이트는 재분쇄 후 325 mesh를 통과시켰다. 준비된 분말을 외경 7 mm, 내경 3 mm의 동축형으로 성형하였다. 소결은 대기 분위기에서 1200°C, 2시간 행하였다.

페라이트와 유전체의 두께에 의한 적층체의 전파흡수 특성변화를 조사하기 위하여 소결된 페라이트와 유전체를 각각 원하는 두께로 가공한 후 접착제로 부착시켜 페라이트-유전체의 적층체를 만들었다.

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

3. 결과 및 고찰

3.1. 페라이트와 유전체 소결체의 성질

Fig. 2(a)는 페라이트 소결체의 복소투자율, 복소유전율의 주파수 의존성을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 측정 주파수 대역에서 유전손실(ϵ''/ϵ')은 매우 작기 때문에 거의 전파흡수에 기여하지 못하고 투자율의

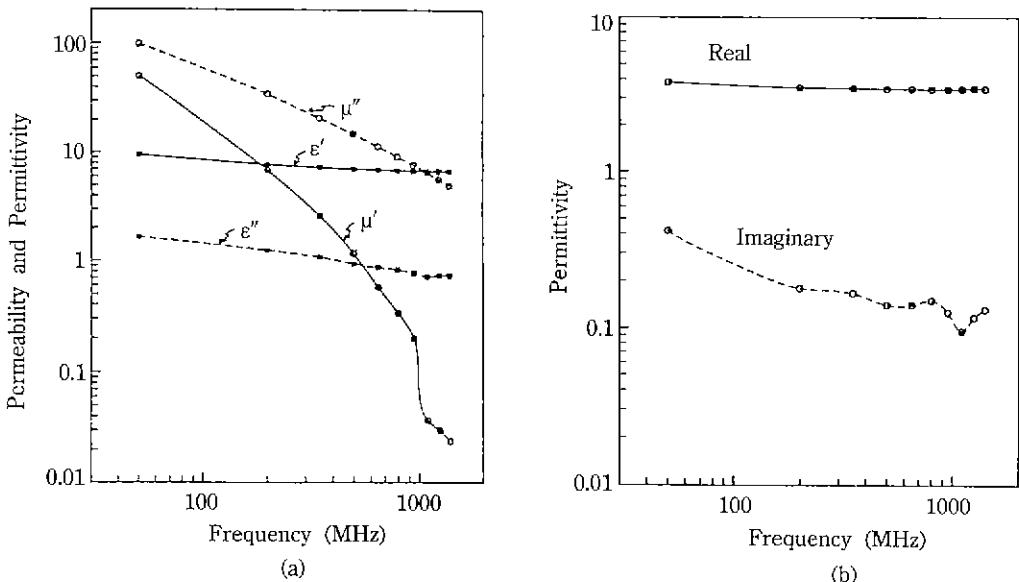


Fig. 2. Permeability and permittivity vs. frequency. (a) ferrite (b) Cordierite

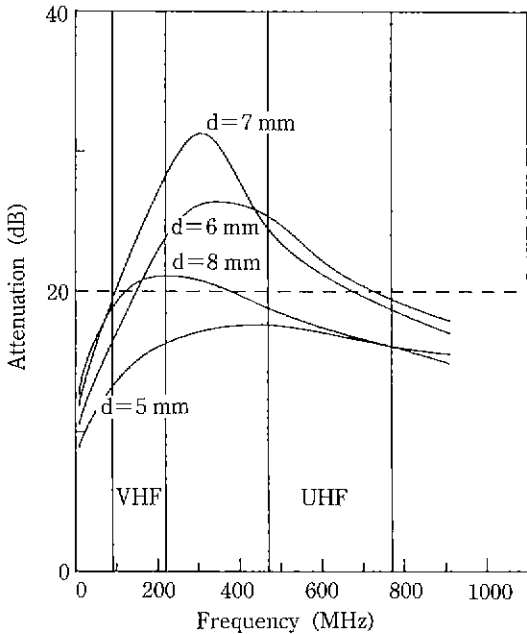


Fig. 3. Attenuation vs. frequency for sintered ferrite.

허수부가 실수부보다 크기 때문에 자기손실($\tan\delta = \mu''/\mu'$)에 의한 전파흡수가 가능하다. 그러나 측정 주파수 전역에서 투자율 허수부가 실수부보다 크다고 해서 전파흡수체로 실용 가능한 20 dB 이상의 감쇠능력을 갖지는 않는다.

일반적으로 이면에 금속판을 붙인 단층형 페라이트의 입력 임피던스는 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 λ 와 Z_0 는 각각 자유공간에서의 파장과 임피던스이며 d 는 페라이트의 두께이다. 전파흡수체의 무반사 조건은 자유공간의 값으로 규격화된 페라이트의 입력 임피던스가 1이 되는 것이다. 따라서 어떤 주파수 대역에서 감쇠 능력이 극대화되기 위해서는 식 (1)을 만족하는 정합두께 d 가 존재하게 된다. Fig. 3은 이와 같은 현상을 보여주는 것으로서 페라이트 소결체의 두께에 따른 감쇠 특성의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 두께 7mm에서 가장 우수한 감쇠특성을 나타내고 있지만 실용상 전파흡수체로서 사용 가능한 20 dB 이상의 감쇠특성을 나타내는(99.0% 흡수) 주파수 대역은 UHF 대역에 미치지 못한다. Fig. 2(b)는 Cordierite 소결체의 복소유전율의 주파수 의존성을 나타낸 것으로서 측정주파수 대역에서 실수부가 3 정도의 일정

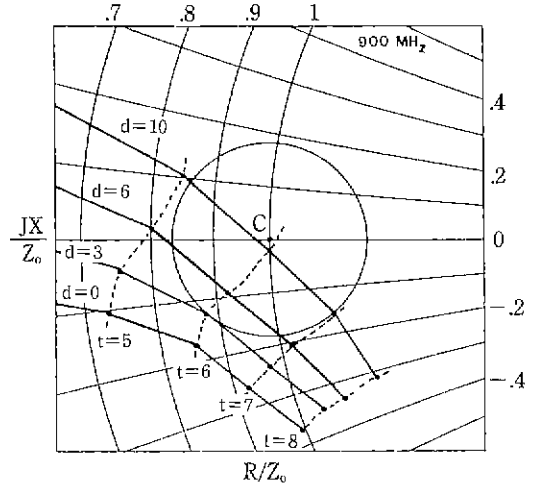


Fig. 4. Loci of input impedance at 900 MHz (d ; dielectrics thickness (mm), t ; ferrite thickness (mm)).

한 값을 나타내고 있다.

3.2. 페라이트-유전체 적층 효과

페라이트 소결체와 유전체를 적층시킨 복층형 전파흡수체 모델의 경우 식 (1)과는 달리 다음 식을 만족할 때 정합 임피던스 상태가 된다. 즉,

$$\frac{Z_{in(2)}}{Z_0} = \frac{Z_2(Z_{in(1)} + Z_2 \cdot \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{2r} \epsilon_{2r}} \cdot d_2))}{Z_2 + Z_{in(1)} \cdot \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{2r} \epsilon_{2r}} \cdot d_2)} = 1 \quad (2)$$

$$Z_{in(1)} = \sqrt{\frac{\mu_{1r}}{\epsilon_{1r}}} \cdot \tanh\left[j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\mu_{1r} \epsilon_{1r}} \cdot d_1 \right]$$

$$Z_2 = \sqrt{\frac{\mu_{2r}}{\epsilon_{2r}}}$$

여기서 $\mu_{1r}, \epsilon_{1r}, d_1$; 유전체층의 투자율, 유전율 및 두께
 $\mu_{2r}, \epsilon_{2r}, d_2$; ferrite층의 투자율, 유전율 및 두께

Fig. 4는 전파흡수체의 입력 임피던스 상태를 나타내는 Smith chart이다. Smith chart상의 중심(Fig. 4의 점 C)에 해당되는 임피던스를 가지면 전자파를 전부 흡수하게 된다. 그러나 실제로는 흡수해야 하는 주파수가 일정범위를 갖고 있으며, 주파수가 변하면 정합 조건도 변하게 되므로 특성곡선이 정합점을 지나는 정합조건보다는 전술한 바와 같이 99.0%의 전자파가 흡수되고 1.0%만이 반사를 일으키는 정합조건을 실용상의 한계로 사용하고

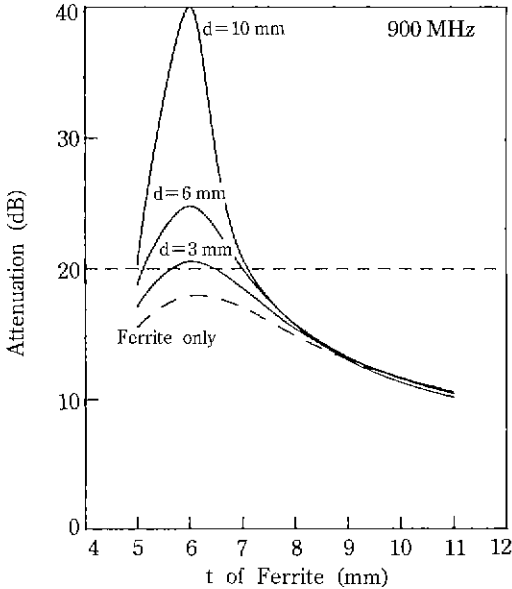


Fig. 5. Relationships between attenuation behavior and thickness of ferrite and dielectrics at 900 MHz (d; dielectrics thickness, t; ferrite thickness).

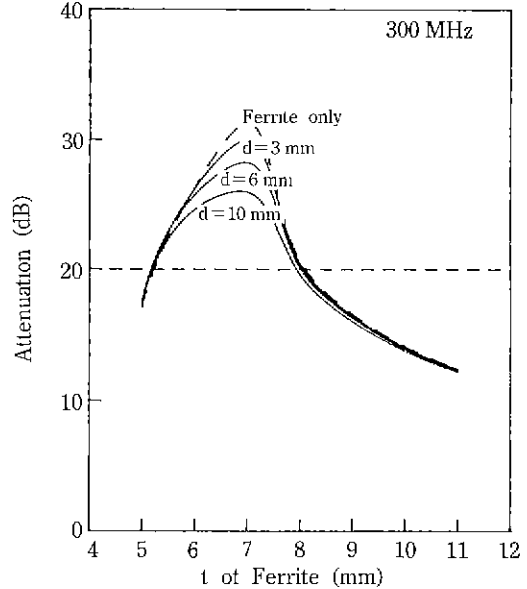


Fig. 6. Relationships between attenuation behavior and thickness of ferrite and dielectrics at 300 MHz (d; dielectrics thickness, t; ferrite thickness).

있다. 이와 같은 정합 범위는 $(Z_{in(2)} - 1) / (Z_{in(2)} + 1)$ 의 절대값이 1미만인 범위를 나타내며 Smith chart상에서는 Fig. 4에 나타낸 것과 같은 원의 내부에 해당한다.

그림에서 알 수 있듯이 단독 페라이트 소결체의 경우 페라이트의 두께를 변화시켜도 임피던스 궤적이 작은 원 내부를 지나지 않기 때문에 단독으로는 900 MHz에서 유효한 감쇠특성을 나타내지 못하지만 전술한 특성을 가지고 있는 유전체를 여러가지 두께로 적층, 일체화시켰을 경우 유전체의 두께를 증가시키에 따라 특성곡선은 정합점으로 접근하여 페라이트 소결체 6 mm, 유전체 두께 10 mm에서 정합점에 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 900 MHz와 300 MHz에서 전술한 유전체를 적층시켰을 경우 유전체의 두께에 따른 감쇠특성의 변화를 식 (2)에 의해 계산한 결과이다. 페라이트 소결체 단독으로는 20 dB 이상의 감쇠특성을 구현할 수 없는 900 MHz에서는 효과가 현저하여 유전체의 두께가 증가함에 따라 감쇠량도 크게 증가한다. 그러나 Fig. 6과 같이 단독 페라이트 소결체가 우수한 감쇠특성을 발휘하는 저주파 영역에서는 유전체를 적층할 경우 그 특성이 약간 저하되는 것을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합하면 900 MHz에서 감쇠량을 증가시키기 위해서는 페라이트 두께 6 mm, 유전체 두께 10

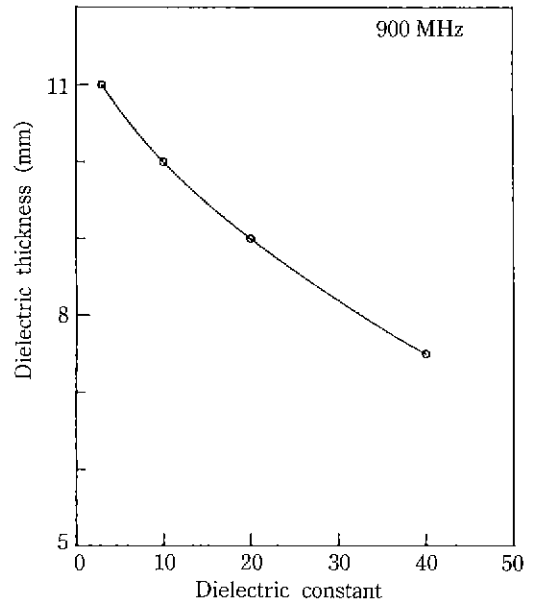


Fig. 7. Relationship between dielectric constant and matching thickness of dielectrics.

mm가 가장 바람직하지만 VHF, UHF 대역에서 모두 특성을 발휘할 수 있는 전파흡수체를 제조하기 위해서는 페라이트 두께 7 mm 유전체 두께 6 mm가 적당하다고

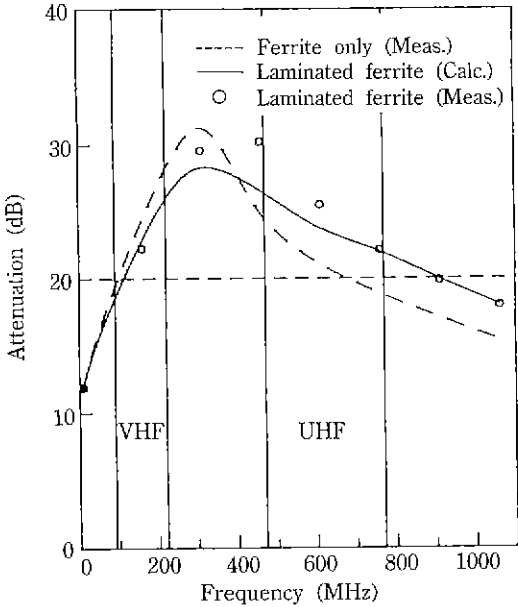


Fig. 8. Attenuation behaviors of ferrite and laminated ferrite-dielectrics as a function of frequency.

판단된다.

Fig. 7은 유전율이 각각 3, 9, 30, 90인 유전체를 페라이트 소결체의 이면에 부착시킬 경우 900 MHz에서 임피던스의 정합상태를 이루기 위하여 필요한 정합두께의 계산치를 나타낸 것이다. 이면에 부착된 유전체의 유전율이 증가할수록 필요한 두께가 감소하는 경향을 알 수 있다. 이것은 유전율이 높을수록 단독 페라이트의 임피던스보다 적층체의 임피던스를 증가시키는 효과가 증대되기 때문이다 이것은 Smith chart상에서는 특성곡선을 정합점 가까이로 이동시키는 효과가 증가되는 것으로 나타난다. 그러나 유전율이 높아질수록 단독 페라이트 소결체가 유효한 특성을 발휘하는 저주파 영역에서 특성을 저하시키는 효과도 증가되기 때문에 주의해야 한다.

Fig. 8은 페라이트와 유전체의 특성을 측정하여 식 (2)에 의해 각 층의 두께를 결정한 후 실제로 적층하여 계산치와 비교한 결과로서 실험에 사용된 페라이트 단독으로는 약 100 MHz~700 MHz의 범위에서만 전파흡수체로 실용가능하며 UHF 대역을 포함할 수 있는 광

대역 전파흡수체로서는 미흡하였지만 유전체가 이면에 적층되어 20 dB 이상의 감쇠특성을 나타낼 수 있는 주파수 대역이 VHF, UHF 대역을 모두 포함하게 된 것을 알 수 있다.

4. 결 론

페라이트의 이면에 유전체를 적층, 일체화시켜 100~900 MHz 광대역 전파흡수체를 제조하기 위한 본 실험을 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 페라이트 소결체의 이면에 부착시킨 유전체는 임피던스를 단독 페라이트의 경우보다 증가시키며 Smith chart상의 임피던스 특성곡선을 정합점 가까이로 이동시키는 효과를 발휘한다.

2) 페라이트 소결체의 이면에 부착시킨 유전체는 고주파 영역에서의 감쇠특성을 향상시키지만 저주파 영역에서는 오히려 저해하는 효과를 미친다 따라서 광대역화를 위해서는 유전체와 페라이트의 두께를 적절히 조절해야 한다.

3) 100~700 MHz의 유효주파수 대역을 갖는 단독 페라이트 소결체의 유효주파수를 약 900 MHz까지 광대역화하기 위하여 필요한 유전체의 두께는 유전율이 증가할수록 감소하였다.

REFERENCES

1. 石野建, "페라이트를 이용한 전자차폐재료," *Electronic ceramics*, **19**(95), 22 (1988)
2. 官崎保光, "EMT 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 (1987).
4. 石野建, "최근의 전파흡수체," *색재*, **58**, 149 (1985).
5. 清水康敬 외 2인, "유전성 손실재료에 의한 광대역전파 흡수벽," *日本電子通信學會誌*, **53-B**, 4 (1968).
6. 小塚洋司, "자화 페라이트에 의한 전파흡수체의 기능화," *기능재료*, **7**, 35 (1990).
7. 일본특허공보 昭 54-27557 (1979).
8. 内藤喜之, 전파흡수체. Ohm社, Ch. 3-3, 1987