

Ferrite/Rubber 0-3 Composite의 전파 흡수 특성

김 한근^a, 박 상하, 조 현철, 사공 건
(동아대학교 공과대학 전기공학과)

Microwave absorption characteristics of Ferrite/Rubber 0-3 Composites

H.G. Kim, S.H. Park, H.C. Cho & G. Sa-Gong
(Dept. of Electrical Engr., Dong-A Univ.)

<Abstract>

In this paper, the permeability(μ_r, μ_r'), dielectric constants($\epsilon_r', \epsilon_r''$) and absorption characteristics of Ferrite/Rubber 0-3 composites were investigated. The composite specimens were prepared by molding and curing the mixtures of matrix rubber and Ni-Zn ferrite powders which were synthesized by wet-direct method. The permeability(μ_r') of specimen was decreased from 2.58 to 0.7 in the range of 1~7(GHz) and kept constant 0.7~0.8 at higher than 7(GHz), the higher the frequency was, the less the values of μ_r'' was from 1.57 to 0.03. The optimum thickness of microwave absorber, utilizing the Smith chart, was 5(mm). The reflection loss shows over than 20(dB) from 5.5(GHz) to 7.5(GHz) at 5(mm) thickness and relative band width(B/fm) was about 30%.

1. 서 론

최근 전자 통신 기술의 발달과 전자 기기의 다양화로 전파 환경이 현저하게 악화되고 있다. 1) 그러므로 전파와 공해에 대한 대책으로는 송·수신 방법의 개선 등이 검토 되고 있으나, 근본적 대책으로는 전파 흡수 특성을 지닌 전파 흡수체로 불필요한 전파를 흡수하여 열 에너지로 변환 시켜 반사파가 생성되지 않도록 하는 것이다. 2) 따라서 전파 흡수체의 기본 소재는 손실율이 큰 자성 재료와 유전 재료 그리고 카본, 금속 섬유와 같은 도전 재료를 사용하는 데 이들 재료 중에서도 마이크로파 영역에서 우수한 전파 흡수 특성을 나타내는 페라이트가 이용되고 있다. 3) 또한 페라이트 전파 흡수체에서는 소결형과 페라이트 분말을 고무 등과 혼합하는 복합형으로 구분된다. 4-5) 그리고 전파 흡수체를 평가하는 인자는 정합 주파수, 정합 두께, 비대역폭 등이 있는데 이러한 인자는 전자기적 특성(복소 투자율, 복소 유전율, 주파수 등)과 밀접한 관계가 있다. 따라서 본 연구에서는 페라이트 분말의 열처리 조건, Filler인 페라이트 분말과 matrix인 고무와의 혼합비(F/R) 등에 의하여 전자기적 특성이 변화될 것이므로 열처리 온도에 따라 페라이트 분말을 제조하여 Matrix로 고무를 복합화하여 1~12(GHz) 영역

에서 재료정수(복소 투자율: μ_r^* , 복소 유전율: ϵ_r^*)의 주파수 분산 특성 및 전파 흡수 특성을 고찰하였다.

2. 실험 방법

전파 흡수체에 사용한 Ni-Zn 페라이트 분말은 습식 직접 합성법에 의해 제조하였으며 페라이트 분말은 700, 900, 1000(°C)에서 1시간 열처리하였다. 그리고 하소된 분말을 고무와 혼합한 다음 도우넛형 몰드(외경:7mm, 내경:3mm)에 넣고 복합형 페라이트 시편을 제조하였다. 이때 고무에 대한 페라이트 분말의 혼합비(F/R)는 중량비로 3으로 하였다. 그리고 페라이트 복합체 시편의 재료정수, 전파 흡수능 및 정합 두께는 Network Analyzer(HP8510B)와 co-axial type의 7(mm) air line을 사용하여 1~12(GHz)범위에서 반사계수(S_{11}, S_{21})를 측정하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 복합 페라이트 시편의 제조시 사용한 Matrix(고무)의 주파수(1~12GHz)변화에 대한 재료정수(투자율 및 유전율)를 나타낸 것이다. 고무는 1~12(GHz)의 영역에서 투자율의 실수부 μ_r' 이 1이고 허수부 $\mu_r''=0$ 이었으며, 유전율의 실수부 $\epsilon_r'=2.6$, 허수부 $\epsilon_r''=0.04$ 의 일정한 값을 나타내었다.

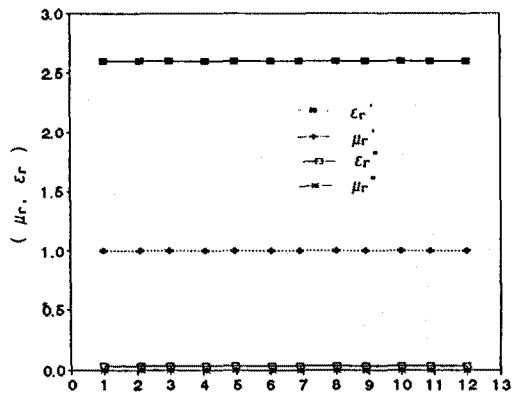
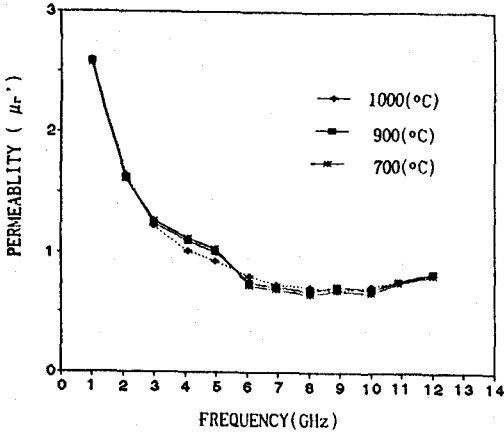


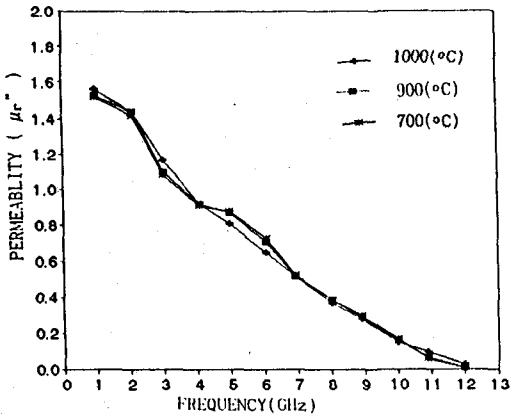
Fig 1. The frequency dependence of μ_r and ϵ_r of matrix rubber

그림 2(a)는 Ferrite/Rubber 복합형 흡수체에 있어서 투자율 실수항(μ_r')의 주파수 분산 특성을 나타낸 것이다. 700, 900, 1000(°C)에서 1시간 열처리한 페라이트 분말과 고무로 제작된 복합형 흡수체는 7(GHz)까지는 μ_r' 이 모두 급격히 감소하다가 7(GHz)이상에서는 0.7~0.8정도로 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 따라서 전파흡수 특성에 영향을 미치는 것은 그림 1의 결과에서 알 수 있듯이 Matrix인 고무보다는 페라이트의 재료 정수에 크게 의존함을 예상할 수 있다.



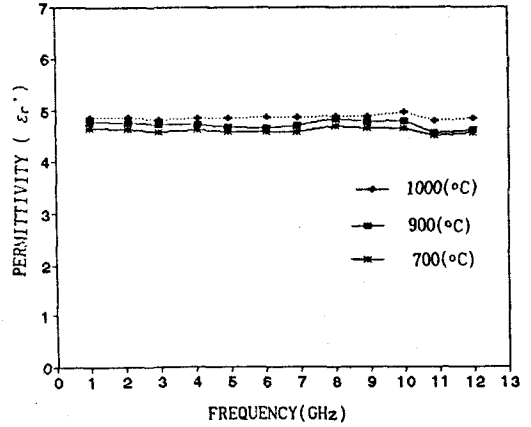
(a) μ_r' vs frequency.

그림 2(b)는 Ferrite/Rubber 복합형 흡수체에 있어서 투자율 허수항(μ_r'')의 주파수 분산 특성을 나타내고 있는데, 페라이트 분말의 열처리 온도가 증가함에 따라 허수항인 μ_r'' 가 증가하였다. 또한 주파수가 증가함에 따라 1000(°C)의 시편인 경우 μ_r'' 가 1.5에서 0.03까지 감소하였는데, 이는 일반적으로 소결체 페라이트는 공명 주파수 이상의 주파수 영역에서는 μ_r' 와 μ_r'' 가 감소하며, 페라이트 분말을 고무와 혼합하여 복합화하였을 때 공명 현상은 페라이트 소결체의 공명 주파수보다 높은 주파수에서 일어나는데 이는 동일한 페라이트 조성이라도 결정입자가 작을수록 그리고 자구가 세분화될수록 공명현상이 높은 주파수에서 일어나기 때문이다.⁷⁾ 본 연구에서의 복합형 흡수체인 경우 1~12(GHz)에서 μ_r' 와 μ_r'' 가 감소하고 있으므로 이것은 공명 주파수 이상의 주파수 영역에서 일어난 것으로 생각된다. 한편 자성 손실($\tan\delta_u$)은 0.6~0.04의 값을 지닌 반면 유전 손실($\tan\delta_c$)은 0.02~0.003을 갖고 있어서 손실의 대부분은 자성 손실임을 알 수 있다.



(b) μ_r'' vs frequency

그림 2(c)는 복합형 흡수체의 유전율 실수항(ϵ_r')의 주파수 분산 특성을 나타낸 것이다. 페라이트 분말의 열처리 온도에 따라 4.62~4.96으로 미소한 차이가 있으나 측정 주파수영역(1~12GHz)에서는 거의 일정한 값을 나타내었다. 또 Matrix인 고무(그림1 참조) 단일 상인 경우 $\epsilon_r' \approx 2.7$ 에 비하여 복합형 페라이트의 ϵ_r' 은 페라이트 분말의 복합화로 보다 높은 값을 나타내었다.



(c) ϵ_r' vs frequency

Fig 2. Material constants(μ_r, ϵ_r) vs frequency of Ni-Zn ferrite/rubber composites.

그림 3은 1000(°C)에서 열처리한 복합형 페라이트 시편에 있어서 반사감쇠량이 10dB 이상이 되는 정합 두께를 구하기 위한 Smith Chart인 데 여기서 구한 정합 두께는 $dm=5(mm)$ 이었다.

또한 반사감쇠량(reflection loss)은 아래 식(1)에 의해 정의됨으로 측정된 복소 투자율과 복소 유전율의 값으로부터 반사감쇠량을 계산할 수 있다.⁸⁾

$$\text{Reflection loss [dB]} = 20 \log \left| \frac{Z_{in} - 1}{Z_{in} + 1} \right| \quad (1)$$

Z_{in} 은 페라이트 복합체가 완전 흡수되기 위한 규격화 입력 임피던스를 나타내며⁸⁾ 아래 식(2)와 같다.

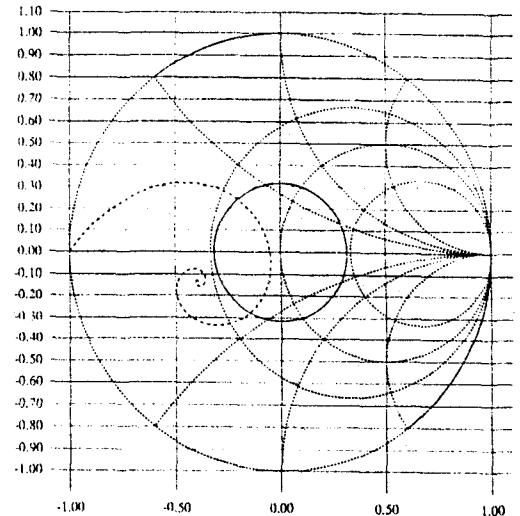


Fig 3. The smith chart for optimum thickness

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r^*}{\epsilon_r^*}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r^* \cdot \mu_r^*} \cdot d) \quad (2)$$

여기에서 Z_{in} 은 규격화 입력 임피던스, μ_r^* 은 복소 투자율, ϵ_r^* 은 복소 유전율, d 는 전파 흡수체의 두께, λ 는 파장을 나타낸다.

그림 4는 정합 중심주파수(1m)를 6.5(GHz), 정합 두께를 5(mm)로 했을때 반사감쇠량을 나타낸 것으로 5.5~7.5(GHz)범위에서 20(dB)이상의 반사감쇠량을 나타내고 있으며, 또한 비대역폭도 약 30%정도로 우수한 전파 흡수 특성을 나타내었다.

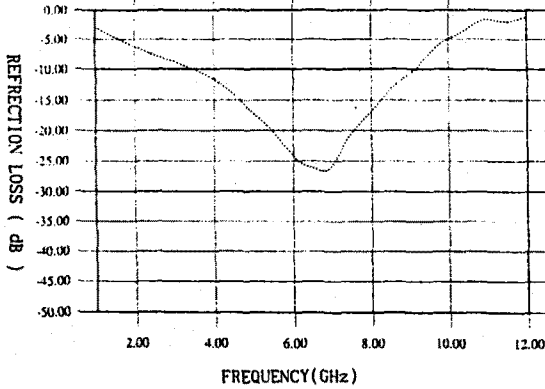


Fig 4. Absorption characteristics of Ni-Zn ferrite/rubber 0-3 composites

4. 결론

Ni-Zn 페라이트 분말과 고무로 혼합한 복합형 페라이트의 재료 정수와 전파 흡수 특성은 다음과 같다.

- 1000(°C) 에서 1시간 열처리한 페라이트 분말로 제조한 복합형 흡수체는 1~7(GHz)까지는 투자율 실수부 μ_r 값이 2.58~0.7까지 급격히 감소하다가 7(GHz)에서는 0.7~0.8정도로 거의 일정한 값을 나타내었다. 또한 투자율의 허수부 μ_r'' 값은 주파수가 증가함에 따라 1.57에서 0.03까지 감소하였다.
- Smith도표를 이용하여 10(dB)이상의 반사감쇠량을 나타낸 정합 두께는 5(mm)이었으며, 이때 5.5~7.5(GHz)범위에서 반사감쇠량은 20(dB) 이상이었고, 비대역폭도 약 30%로 나타났다.

<감사의 글>

Ferrite/Rubber Composites의 X-Band에서의 복소 투자율 및 유전율 측정에 도움을 주신 포항공대 김 효태 교수님과 그의 연구진에게 감사드립니다.

<참고문헌>

- 1) 乾哲司: 電波吸收體, エレクトロニク・セラミクス, pp18-24(1985)
- 2) K. Ishino et al: Development of Magnetic Ferrite Control and Application of Losses, Ame. Cer. Bull., 66(10), pp.1469(1985)
- 3) 內藤喜之: 電波吸收體, オム社, pp.53-57(1987)
- 4) 横山放生, 石野乾: フェライトを用いた電波吸收體とその應用, 電子計測, pp.12-21(1972)
- 5) M. R. Amin & J. R. James: Techniques for utilization of Hexagonal Ferrites in Radar Absorbers, Radio Electro. Eng., 51(5), pp. 209-218(1981)

- 6) 김 한근, 지 상량, 사공 건: 습식 직접 합성법에 의한 Ni-Zn Ferrite 분말의 합성, 대한전기학회 학술회의 논문집, pp.217(1991)
- 7) 徳江哲夫, 石野乾: HF-VHF帯用フェライトの焼結条件と磁気特性の關係, 電子通信學會論文誌, 52-C(6), pp. 299-304(1969)
- 8) 關江雄: 電波吸收體と電波暗室, CMC, pp162(1989)
- 9) 內藤喜之, 水本哲彌: 電波吸收體コムフェライトへのカホ"ン添加効果, 電子通信學會論文誌, Vol. J69-C, No3, pp. 257-261(1986)