

Ferrite-Iron-Rubber 복합체의 전파흡수특성

신재영 · 오재희

인하대학교 무기재료공학과

인천시 남구 용현동 253

(1994년 8월 12일 받음, 1994년 9월 13일 최정수정본 받음)

복합 Ferrite 전파흡수체의 성능은 두께가 얕으며 대역폭이 넓을수록 우수하다. 본 연구에서는 복합 Ferrite 전파흡수체의 정합두께를 감소시키기 위하여 Ferrite-Iron-Rubber 복합체를 제조하고 그 특성을 고찰하였다. $\alpha\text{-Fe}$ 분말의 첨가에 의하여 복합체의 유전율 실수향과 투자율 실수향이 증가하여 정합주파수와 정합두께의 곱하기 항인 $f_m \cdot d_m$ 항이 감소하였고, 3 ~ 17 GHz의 주파수 범위에서 Ferrite-Rubber 복합체에 비하여 정합두께가 0.5 mm ~ 2 mm 정도 감소함을 확인할 수 있었다.

I. 서 론

Ferrite 전파흡수체는 구성 조건에 의하여 소결형과 복합형으로 구분되며 일반적으로 소결형은 수십 MHz ~ 수백 MHz 영역에서 그리고 복합형은 GHz 영역에서 각각 이용되고 있다[1]. 전파흡수체의 성능은 정합주파수, 정합두께 그리고 대역폭 등으로 평가되며 고성능 전파흡수체는 두께가 얕으며 대역폭이 넓은 특성을 갖는다. 복합 Ferrite 전파흡수체의 특성은 복합체의 제조에 사용된 Ferrite 조성과 함량비 그리고 첨가물 등에 의하여 영향을 받는데 이는 복합체의 제조 인자에 의하여 복소투자율과 복소유전율이 제어되기 때문이다.

박형인 복합 Ferrite 전파흡수체를 구성하기 위해서는 투자율과 유전율의 실수향이 증가하여야 한다. 그러나 Ferrite 분말과 Rubber를 혼합하여 제조한 복합 Ferrite 전파흡수체는 GHz 영역에서 투자율과 유전율이 한정된 값을 갖기 때문에 박형화에는 한계가 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 노력으로서 Naito[2]는 Ferrite-Carbon-Rubber 복합체를 제조하여 GHz 대역에서 2 mm 이하의 정합두께를 갖는 전파흡수체를 실현하였는데 이는 Carbon이 첨가되어 복합체의 유전율이 증가하기 때문이다.

본 연구에서는 복합 Ferrite 전파흡수체의 정합두께를 감소시키는 방안으로서 금속 자성체인 $\alpha\text{-Fe}$ 분말을 첨가한 Ferrite-Iron-Rubber 복합체를 제조하고 이들 시편의 전파흡수 특성을 Ferrite-Rubber 복합체의 특성과 비교 검토하였다.

II. 실험방법

1. $\alpha\text{-Fe}$ 분말의 제조

시약인 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 분말을 1300 °C에서 3 시간 공기 중에서 열처리한 후 자동 마노유발로 분쇄하여 입자 크기가 약 3 ~ 4 μm 인 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 분말을 제조하였으며 X선 회절 분석 결과 단일상임을 확인하였다. 이와같은 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 를 H₂ 분위기(100 ml/min)에서 500 °C, 8 시간 동안 열처리하여 금속 자성체인 $\alpha\text{-Fe}$ 분말을 제조하였으며 환원 시간에 따른 생성물의 결정상을 X선 회절 분석으로 동정하였다.

2. Ferrite 분말의 제조

본 연구에 사용한 Ferrite의 조성식은 Ni_{0.8}Zn_{0.2}Fe₂O₄이며, 출발 원료를 칭량 후 폴리에틸렌 용기와 나일론 볼을 사용하여 Ball Mill로 10 시간 습식 혼합하였다. 혼합한 분말을 공기 분위기에서 5 °C /min의 승온 속도로 가열하여 1300 °C에서 3 시간 열처리한 후 로냉시켰다. 합성한 Ferrite를 자동 마노유발에서 2 시간 분쇄하여 평균 입자 크기가 약 3 ~ 4 μm 인 Ferrite 분말을 제조하였으며 X선 회절 분석 결과 단일상임을 확인하였다.

3. Ferrite-Iron-Rubber 복합체의 제조 및 재료정수(μ ϵ)의 측정

Ferrite와 $\alpha\text{-Fe}$ 분말 그리고 Silicone Rubber를 일정 비로 혼합한 후 금속 몰드속에서 경화시켜 외경 7 mm, 내경 3 mm인 Ferrite-Iron-Rubber 복합체를 제조하였다. 이때 Iron-Rubber 복합체는 자성 분말에 대한 Rubber의 무게비(P / R = Powder의 무게 / Rubber의 무게)를 4 그리고 Ferrite-Rubber 복합체는 P / R을 3 또는 4로 하여 복합체 시편을 제조하였다. Ferrite-Iron-Rubber 복합체는 P / R을 3으로 하고 자성 분말인 Ferrite와 $\alpha\text{-Fe}$ 의 무게비를 1 : 1로 하여 복합체 시편을 제조하였다.

Ferrite-Iron-Rubber 복합체의 재료정수(복소투자율

및 복소유전율)를 구하기 위하여 Hewlett-Packard사의 HP 8720B Network Analyzer 및 HP 8516A S-parameter Test set 그리고 Coaxial Cable을 이용하여 S-parameter를 측정하였다. 측정에 앞서 보정을 한 후 S-parameter를 측정하였고 재료정수는 측정된 S_{11} 및 S_{21} 값으로 부터 계산하였다[3]. 이때 S-parameter의 측정은 200 MHz~18 GHz에서 행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. Iron-Rubber 복합체의 재료정수

Ferrite 분말과 Rubber로 구성된 복합체의 특성은 Ferrite 분말의 함량비, 조성 그리고 입자 크기 등에 좌우되며, Ferrite의 입자가 클 수록 복합체 내의 Ferrite 분말 함량비를 증가시킬 수 있기 때문에 복소투자율이 보다 증가된다. 본 연구에서는 Ferrite-Rubber 복합체에 혼합시킬 α -Fe 분말의 입자 크기를 증가시키기 위하여 시약급인 α -Fe₂O₃ 분말을 1300 °C에서 3 시간 열처리하여 평균 입자 크기가 약 3~4 μm인 α -Fe₂O₃ 분말을 제조하고 이를 α -Fe 분말 제조의 출발 물질로 이용하였다.

α -Fe₂O₃ 분말을 수소분위기(100 ml/min) 중 500 °C에서 환원시켰을 때 환원 시간에 따른 생성물의 X선 회절 분석 결과를 Fig. 1에 나타내었다. α -Fe₂O₃를 환원시키

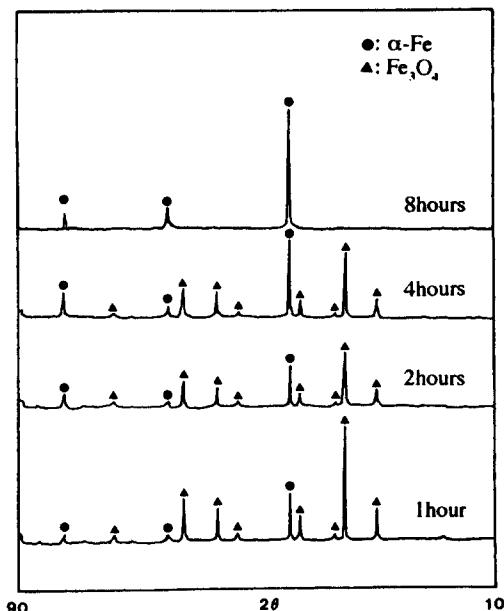


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of α -Fe₂O₃ with various reduction time. The reduction temperature is 500 °C.

면 Fe_3O_4 와 α -Fe로 상전이하며 환원 시간이 증가함에 따라 Fe_3O_4 상이 감소하고 이에 비례하여 α -Fe 상이 증가함을 알 수 있다. 그리고 500 °C에서 8 시간 환원시킨 경우에는 단일상의 α -Fe를 제조할 수 있었다.

앞선 연구[4]에 의하면 장축의 길이가 0.3 μm인 침상의 α -Fe₂O₃를 수소 분위기에서 500 °C, 2 시간 환원시킨 경우 단일상의 α -Fe를 얻을 수 있다고 보고하였다. 그러나 Fig. 1의 결과와 같이 3~4 μm 정도의 입자 크기를 갖는 α -Fe₂O₃를 환원시키는 경우에는 500 °C에서 8 시간 이상 열처리하여야 α -Fe 단일상을 얻을 수 있었다.

α -Fe의 재료정수를 고찰하기 위하여 Iron-Rubber 복합체를 제조하고 복소투자율 및 복소유전율을 측정하였다. Fig. 2에 Iron-Rubber 복합체의 복소투자율 및 복소유전율을 나타내었다.

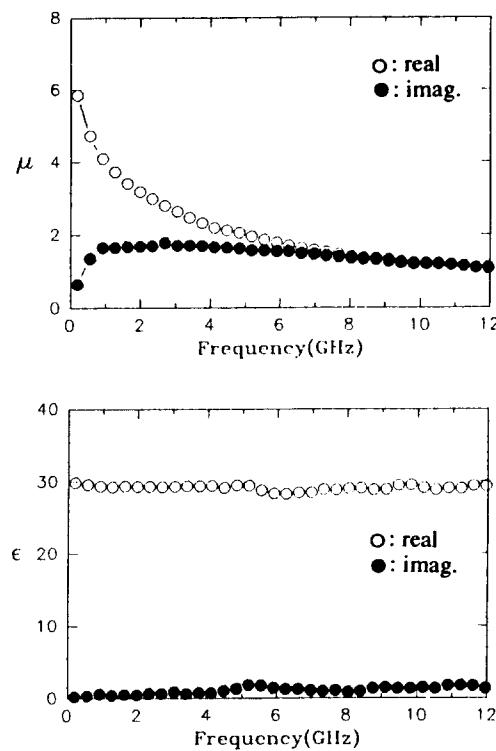


Fig. 2. The complex permeability and permittivity of iron-rubber composite($P/R = 4$)

측정 주파수가 증가함에 따라서 투자율 실수항은 약 6에서 1로 감소하고 투자율 허수항은 1.9~1.5 정도의 일정한 값을 갖는다. 그리고 유전율 실수항은 약 30 그리고 유전율 허수항은 약 1.5 정도의 값을 갖는다. 앞서 보고한

연구 결과[5]에 의한 Ni-Zn Ferrite($\text{Ni}_{0.35}\text{Zn}_{0.65}\text{Fe}_2\text{O}_4$)-Rubber 복합체의 복소투자율은 200 MHz ~ 13 GHz 주파수 범위에서 μ_r' 은 5 ~ 0.6, μ_r'' 은 2.2 ~ 0.1 범위의 값을 갖으며 복소유전율의 ϵ_r' 은 약 6, ϵ_r'' 은 약 0.14의 값을 갖는다. 그리고 Zn_2Y (Y-type Ferroxplana)-고무 복합체의 복소투자율은 200 MHz ~ 13 GHz 주파수 범위에서 μ_r' 은 3 ~ 0.8, μ_r'' 은 1.2 ~ 0.3 범위의 값을 갖으며 복소유전율의 ϵ_r' 은 약 8.2, ϵ_r'' 은 0.9의 값을 갖는다. 따라서 Iron-Rubber 복합체는 일반적인 Ferrite-Rubber 복합체에 비하여 투자율 실수항 및 유전율 실수항이 큰 값을 확인하였다. 이와 같은 Iron-Rubber 복합체가 전파흡수체로서 응용 가능성이 있는지를 검토하였다.

금속판을 뒷면에 부착시킨 단층형 전파흡수체가 수직 입사된 전자파를 무반사하기 위한 정합조건은 다음의 식(1)과 같다[1].

$$Z = 1 = \sqrt{\mu_r / \epsilon_r} \tanh[j(2\pi/C) \sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r} f \cdot d] \quad (1)$$

여기서 Z 는 규격화 입력 임피던스, μ_r 은 복소투자율($\mu_r' - j\mu_r''$), ϵ_r 은 복소유전율($\epsilon_r' - j\epsilon_r''$), C 는 공기 중의 광속, f 는 주파수 그리고 d 는 흡수체의 두께이다. 전파흡수체가 정합조건을 만족하기 위해서는 규격화 입력 임피던스가 1이 되어야 하며 이때의 변수는 복소투자율, 복소유전율, 주파수 그리고 두께이다. 식(1)의 풀이는 유전손실을 고려한 복소유전율항과 $f \cdot d$ 항을 일정한 값으로 고정시킨 후 Z 가 1일 때의 복소투자율 항을 계산한다. 일련의 유전율 항과 $f \cdot d$ 항에 대하여 Z 가 1을 만족할 때의 복소투자율 값을 계산하여 그림으로 나타낸 것이 정합조건 Graph이다[6]. 정합조건 Graph는 정합조건을 만족할 때의 복소투자율, 유전율 실수항 그리고 $f \cdot d$ (GHz·mm) 항의 측적을 나타낸 것이기 때문에 응용하고자 하는 재료의 복소투자율을 적용시킨다면 정합조건과의 일치 여부 그리고 정합조건을 만족한다면 이때의 $f \cdot d$ 항을 알 수 있으므로 정합주파수 및 정합두께를 정량적으로 예측이 가능하다. 따라서 정합조건 Graph는 단층형 Ferrite 전파흡수체의 설계 방안으로 활용이 가능하다. Iron-Rubber 복합체가 전파흡수체로서 사용이 가능한지를 확인하기 위하여 정합조건 Graph와 함께 Iron-Rubber 복합체의 복소투자율 측적을 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3을 고찰하면 Iron-Rubber 복합체가 정합조건을 만족하기 위해서는 유전율 실수항이 15 이하인 값을 가져야만 하나 Iron-Rubber 복합체의 유전율 실수항이 약 30 이어서 정합조건을 만족하지는 않는다. 따라서 본 연구에서 제조한 P/R = 4인 조건의 Iron-Rubber 복합체는

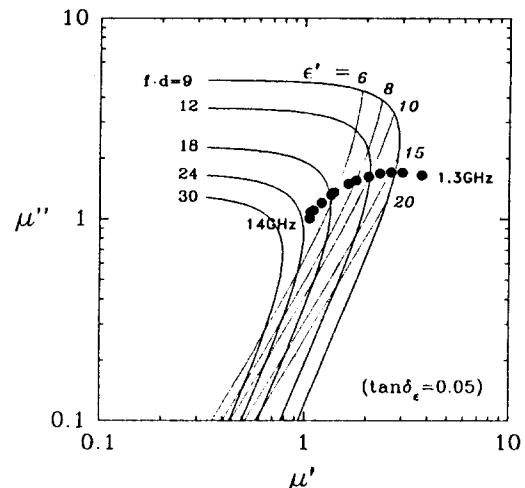


Fig. 3. The complex permeability locus of iron-rubber composite in the impedance matching solution map.

전파흡수체로서 응용 가능성이 없다고 판단된다. 그러나 Fig. 2의 결과에서 알 수 있었던 것과 같이 Iron-Rubber 복합체의 유전율 실수항 및 투자율 실수항 값이 일반적인 Ferrite-Rubber 복합체에 비하여 큰 값을 갖기 때문에 α -Fe 분말을 Ferrite-Rubber 복합체에 첨가제로 사용한 경우보다 박형인 전파흡수체의 제조가 가능하리라 판단되어 이와 관련된 실험을 진행하였다.

2. Ferrite-Iron-Rubber 복합체의 재료정수 및 특성

Ferrite-Rubber 복합체에 첨가물로서 α -Fe 분말을 첨가하는 경우에는 유전율 실수항의 증가가 예상되기 때문에 자성 분말에 대한 Rubber의 함량비를 적절히 조절하여야 한다. Ferrite-Iron-Rubber 복합체는 자성 분말의 함량비 그리고 자성 분말인 Ferrite와 α -Fe의 비에 따라 특성이 민감하게 변화하기 때문에 최적의 구성 조건을 도출하기 위해서는 복합체를 구성하는 재료의 함량비에 따른 복소투자율 및 복소유전율을 검토하여 특성을 비교 평가하여야 한다.

본 연구에서는 Ferrite-Iron-Rubber 복합체의 최적 구성 조건을 도출하기 위한 예비실험을 진행한 결과 자성 분말과 고무의 무게비(Powder의 무게 / Rubber의 무게)를 3으로 정하고 자성 분말인 Ferrite와 α -Fe의 무게비를 1 : 1로 하였을 때 정합두께가 감소하여 전파흡수 특성이 우수하였다.

$\text{Ni-Zn Ferrite}(\text{Ni}_{0.2}\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4)$ 분말을 이용한 Ferrite-Rubber 복합체와 Ferrite-Iron-Rubber 복합체의 복

소투자율과 복소유전율을 Fig. 4에 나타내었다. 이때 Ferrite-Rubber 복합체는 Ferrite와 Rubber의 무게비

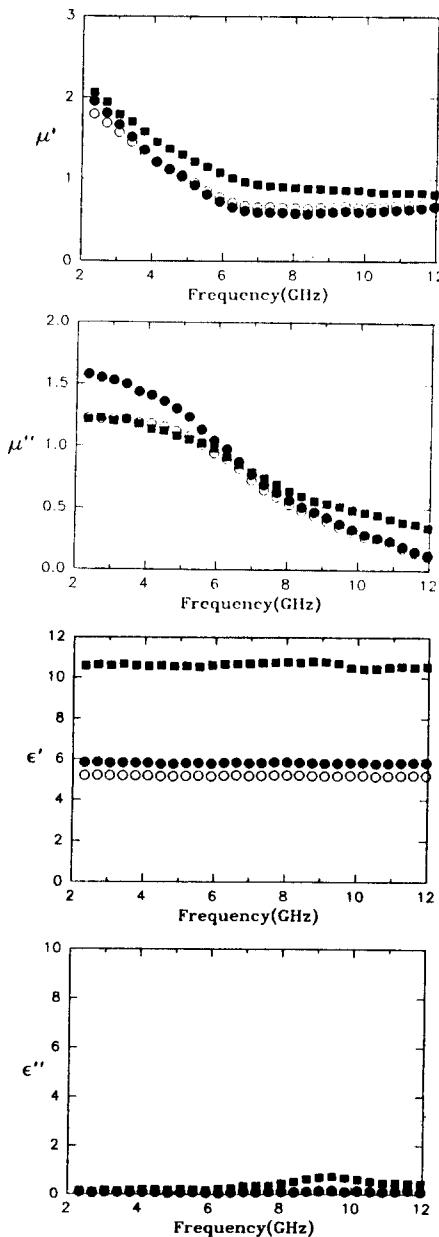


Fig. 4. The complex permeability and permittivity of ferrite-rubber and ferrite-iron-rubber composites. Ferrite composition is $\text{Ni}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$.

- : ferrite-iron-rubber composite($P/R = 3$)
- : ferrite-rubber composite($P/R = 4$)
- : ferrite-rubber composite($P/R = 3$)

(P/R)를 3과 4로 제조하고 Ferrite-Iron-Rubber 복합체는 $P/R = 3$ 으로 제조하여 비교 평가하였다.

투자율 실수항(μ')인 경우에는 P/R 이 3과 4인 Ferrite-Rubber 복합체에 비하여 P/R 이 3인 Ferrite-Iron-Rubber 복합체가 2 GHz ~ 12 GHz 범위에서 큼을 알 수 있다. 투자율 허수항(μ'')인 경우에는 6 GHz 이하에서 P/R 이 4인 Ferrite-Rubber 복합체가 Ferrite-Iron-Rubber 복합체보다 크며 6 GHz 이상의 주파수 영역에서는 Ferrite-Iron-Rubber 복합체가 큰 값을 갖음을 알 수 있다. 유전율 실수항(ϵ')과 허수항(ϵ'')은 Ferrite-Iron-Rubber 복합체가 Ferrite-Rubber 복합체에 비하여 큰 값을 갖음을 확인하였다. 이와 같은 결과는 $\alpha\text{-Fe}$ 가 Ni-Zn Ferrite 보다 투자율 실수항이 크고 도전 손실에 의한 유전율이 증가하기 때문이라 판단된다.

Fig. 4의 재료 재수를 갖는 복합체의 전파흡수 특성을 고찰하고자 정합조건을 만족할 때의 정합주파수와 정합두께를 계산하여 Table I에 나타내었다.

단층형 전파흡수체의 반사감쇠량(dB)은 다음의 식(2)에 의하여 계산을 행하였다[8].

$$\text{Reflection loss(dB)} = 20 \log \left| \frac{Z-1}{Z+1} \right| \quad (2)$$

식(2)에서 Z 는 식(1)로 정의되는 규격화 입력 임피던스이다. 규격화 입력 임피던스를 식(1)에 의하여 구하고 주파수 변화에 따른 반사감쇠량을 계산하였다. 이때 반사감쇠량이 30 dB 이상의 값을 갖는 주파수를 정합주파수 그리고 두께를 정합두께로 평가하였다.

Table I. The matching frequency(f_m), matching thickness(d_m) and $f_m \cdot d_m$ values of ferrite-rubber and ferrite-iron-rubber composites. The ferrite composition is $\text{Ni}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$.

	ferrite-rubber composite($P/R=4$)	ferrite-iron-rubber composite($P/R=3$)
f_{m1}	3.8 GHz	3.4 GHz
d_{m1}	5.2 mm	4.4 mm
$f_{m1} \cdot d_{m1}$	$\approx 19.8 \text{ GHz} \cdot \text{mm}$	$\approx 15.0 \text{ GHz} \cdot \text{mm}$
f_{m2}	10.4 GHz	12.7 GHz
d_{m2}	3.7 mm	1.9 mm
$f_{m2} \cdot d_{m2}$	$\approx 38.5 \text{ GHz} \cdot \text{mm}$	$\approx 24.1 \text{ GHz} \cdot \text{mm}$

Ferrite 전파흡수체는 측정 주파수와 두께를 변화시켰을 때 2개의 정합조건이 존재하며 저주파 대역에서 발생

하는 것을 제 1 정합조건 그리고 고주파 대역에서 발생하는 것을 제 2 정합조건이라 한다[1]. 정합두께는 흡수하는 파장에 비례하기 때문에 일반적으로 정합주파수가 낮으면 정합두께는 증가하게 된다. Table I에서 나타낸 Ferrite-Rubber 복합체와 Ferrite-Iron-Rubber 복합체 모두 2개의 정합조건이 존재하며 제 1 정합조건인 경우 Ferrite-Rubber 복합체의 정합주파수와 정합두께가 각각 3.8 GHz와 5.2 mm, 그리고 α -Fe를 첨가하였을 때 3.4 GHz와 4.4 mm로서 α -Fe를 첨가한 복합체가 보다 저주파 대역에서 정합조건을 만족하면서 정합두께 또한 감소함을 알 수 있다. 제 2 정합조건인 경우 정합주파수의 현저한 차이로 인하여 직접적인 비교는 곤란하지만 정합주파수(f_m)와 정합두께(d_m)를 결정하는 주요인자인 $f_m \cdot d_m$ 값이 α -Fe를 첨가한 경우 작은 값을 갖음을 알 수 있어 정합두께를 감소시키는데 있어 효과적이라 판단된다.

α -Fe를 첨가하여 $f_m \cdot d_m$ 값이 감소하는 현상을 더욱 명확히 규명하고자 복소투자율 케적이 정합조건 Graph에서 어떠한 거동을 하는지를 고찰하였다. Fig. 4에 나타낸 복합체의 복소투자율을 정합조건 Graph에 표시하여 Ferrite-Iron-Rubber 복합체는 Fig. 5(a)에 그리고 Ferrite-Rubber 복합체는 Fig. 5(b)에 각각 나타내었다.

Ferrite-Rubber 복합체와 Ferrite-Iron-Rubber 복합체는 유전율 실수항(ϵ')이 각각 6과 10인 값을 갖고 있어 정합조건은 각각 $\epsilon' = 6$ 과 $\epsilon' = 10$ 인 선상을 따라서 발생하게 되며 Fig. 5의 결과로부터 복합체의 정합점은 상대적으로 낮은 주파수와 높은 주파수에서 각각 하나씩 존재한다.

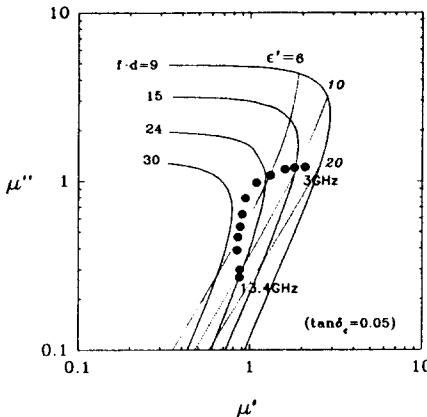
Ferrite-Rubber 복합체와 Ferrite-Iron-Rubber 복합체의 복소투자율 케적이 비교하면 투자율 실수항(μ')이 증가하여 Ferrite-Iron-Rubber 복합체의 복소투자율 케적이 우측으로 이동하고 이와같은 거동이 $f_m \cdot d_m$ 값의 감소를 동반한다. 또한 유전율 실수항(ϵ')의 증가에 의하여 정합점은 보다 낮은 $f_m \cdot d_m$ 값으로 이동하기 때문에 정합두께가 감소한다. Naito[2]는 Ferrite-Carbon-Rubber 복합체가 일반적인 Ferrite-Rubber 복합체보다도 낮은 정합두께를 갖는다고 보고하였는데 이러한 결과는 Carbon 첨가에 의한 유전율 실수항이 증가하여 $f_m \cdot d_m$ 값이 감소하기 때문이라 판단된다.

Ni-Zn Ferrite($\text{Ni}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$) 복합체 이외에 다른 Ferrite-Rubber 복합체인 경우 α -Fe를 첨가하였을 때의 정합두께와 정합주파수의 관계를 비교하여 Fig. 6에 나타내었다.

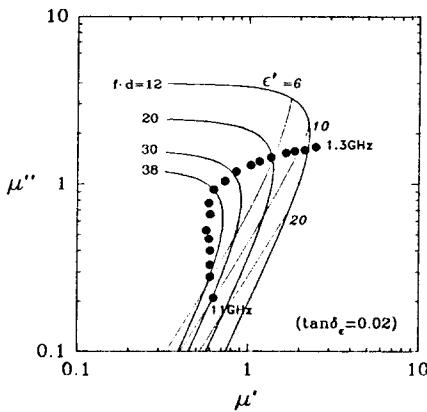
이때 Fig. 6에 나타낸 복합체의 Ferrite 조성은 Ni-Zn Ferrite와 Ni-Zn-Co Ferrite 그리고 Y-type Ferrox-

plana이다. α -Fe를 첨가한 복합체는 3 ~ 17 GHz의 주파수 범위에서 정합두께가 0.5 mm ~ 2 mm 정도 감소함을 알 수 있다.

단층형 전파흡수체가 $|\epsilon| > |\mu|$ 인 경우에는 다음과 같은 식(3)을 만족하게 된다[9].



(a) ferrite-iron-rubber composite ($P/R = 3.0$)



(b) Ferrite-rubber composite ($P/R = 4$)

Fig. 5. The complex permeability locus of ferrite-iron-rubber and ferrite-rubber composites in the impedance matching solution map. The ferrite composition is $\text{Ni}_{0.8}\text{Zn}_{0.2}\text{Fe}_2\text{O}_4$.

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{1}{4 \operatorname{Re}(\sqrt{\epsilon \cdot \mu})} \quad (3)$$

여기서 d 는 흡수체의 두께, λ 는 입사파의 파장 그리고

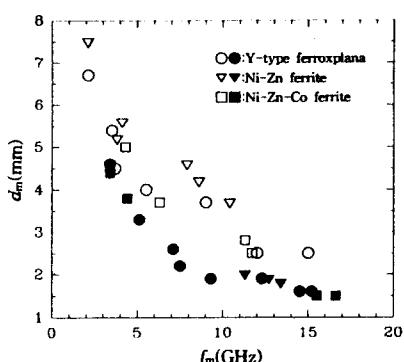


Fig. 6. The matching frequency(f_m) vs. the matching thickness(d_m) of ferrite-iron-rubber and ferrite-rubber composites. The ferrite compositions are Y-type ferroplana, Ni-Zn ferrite, Ni-Zn-Co ferrite. ○▽□ : ferrite-rubber composite ($P/R = 4$)
●▼■ : ferrite-iron-rubber composite ($P/R = 3$)

$ReRe(\sqrt{\epsilon \cdot \mu})$ 는 $\sqrt{\epsilon \cdot \mu}$ 의 실수부를 의미한다. 식(3)으로부터 전파흡수체의 정합두께는 시편내 파장의 $1/4$ 과 같음을 알 수 있으며 입사파가 시편 내에서 파장이 감소하면 정합두께가 감소함을 알 수 있다. Ferrite-Rubber 복합체에 α -Fe 분말을 첨가함으로서 정합두께가 감소하는 현상은 유전율 실수항과 투자율 실수항이 증가하여 입사파의 파장이 감소하기 때문이며 α -Fe 분말의 첨가는 복합 Ferrite 전파흡수체의 성능을 향상시키는데 있어 효과적이라 판단된다.

IV. 결 론

복합 Ferrite 전파흡수체의 정합두께를 감소시키는 방

안으로서 α -Fe 분말의 첨가는 매우 효과적이며 3 ~ 17 GHz의 주파수 범위에서 정합두께가 0.5 mm ~ 2 mm 정도 감소함을 확인할 수 있었다. α -Fe 분말의 첨가에 의하여 복합체의 유전율 실수항과 투자율 실수항이 증가하여 흡수체 내 입사파의 파장이 감소하였으며 정합주파수와 정합두께의 곱하기 항인 $f_m \cdot d_m$ 항의 감소를 동반하였다. 정합조건 Graph 상에서 복소투자율 측정의 거동을 고찰한 결과 α -Fe 첨가에 의하여 정합점은 보다 낮은 $f_m \cdot d_m$ 항에 존재함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Naito and K. Suetake, IEEE Trans. Microwave and Tech., **19**(1), 65-72 (1971).
- [2] 内藤喜之, “電波吸收體”, オーム社 (1987) pp. 104-108.
- [3] W. B. Weir, Proc. IEEE, **62**(1), 33-36 (1974).
- [4] 오재희, 김종식, 류병환, 한국요업학회지, **22**(6), 21-28 (1985).
- [5] 권형주, 신재영, 오재희, 한국요업학회지, **30**(10), 823-828 (1993).
- [6] H. M. Musal, Jr. and H. T. Hahn, IEEE Trans. Mag., **25**(5), 3851-3853 (1989).
- [7] B. V. A. Wickenden and W. G. Howell, 1st Conf. Proc. Military Microwaves, 310-317 (1978).
- [8] 乾哲司, “電波吸收體”, エレクトロニクセラミックス, 冬號, 18~24 (1985).
- [9] M. B. Amin and J. R. James, Radio Electro. Eng., **51**(5), 209-218 (1981).

The Microwave Absorbing Characteristics of Ferrite-Iron-Rubber Composites.

J. Y. Shin and J. H. Oh

Department of Ceramic Engineering, Inha University 253 Yonghyun-Dong, Nam-Gu, Inchon

(Received 12 August 1994, in final form 13 September 1994)

Wide-band absorbency and small layer thickness are required in the high- performance microwave absorber. In order to reduce the thickness of the absorber, ferrite-iron-rubber composites were proposed and its properties were investigated. The increase in both real part of permeability and permittivity of the composites were observed with addition of Fe powder and this behavior results in the decrease of $f_m \cdot d_m$ term. The matching thicknesses of ferrite-iron-rubber composites were relatively small(0.5 ~ 2.0 mm) in the frequency range of 3~17 GHz as compared to that of ferrite-rubber composite