

조성비에 따른 3종 페라이트/고무 복합형 전파흡수체의 정합조건 설계

The Matching Condition Design of Three Kinds of Ferrite/Rubber Composite Microwave Absorber according to the Constitutional Rate

유 영준^{*}, 양 윤석^{*}, 전 홍배^{*}, 김 철한^{*}, 김 한근^{**}, 사공 건^{*}

^{*}동아대학교 전기공학과 ^{**}경남정보대학 제어시스템 정보과

Young-Jun Ryu^{*}, Yun-Suk Yang^{*}, Hong-Bae Jun^{*}, Cheol-Han Kim^{*}, Han-Geun Kim^{**}, Geon Sa-Gong^{*}

^{*} Dong-A Univ. ^{**}Kyungnam Coll. of Infor. & Tech.

Abstract

In this study, three kinds of Mn-Zn ferrite/Ni-Zn ferrite/Ni₂Y ferroxplana prepared by the coprecipitation method was compounded with silicon rubber, and thereafter made ring-type specimens with various compositional ratio. The material constant of ferrite/rubber composite absorbers was obtained by the 2-port method. The material constants of the ferrite/rubber composite absorber with various compositional ratio of three kinds of ferrite were used to design the matching frequency and thickness with the impedance matching map. We were able to predict the matching condition from the design method.

Key Words(중요용어) : Coprecipitation Method(공침법), Composite Microwave Absorber(복합형 전파흡수체), 2-Port Method(투과반사법), Impedance Matching Map(임피던스 정합지도)

1. 서 론

건물벽면의 반사전자파에 의한 TV ghost장해, 교량 및 철교 등에 의한 선박용 레이더의 허상, 각종 전자기기 등에서 발생하는 유해한 전자파가 기기상호간의 동작을 방해하거나 인체에 해를 미치는 등 여러 가지 전자파장해(EMI : Electromagnetic Interference)현상을 일으키고 있다. 이에 따른 대책으로는 송신 및 수신 방법의 개선 등이 검토되고 있지만 근본적 대책으로는 전파흡수특성을 갖고 있는 재료로써 불필요한 외부로부터의 전자파를 흡수하여 반사파가 생성되지 않도록 하는 것이다¹⁾.

본 연구에서는 종류가 다른 페라이트의 조성을 변화시킬 경우 손실이 증대한다는 점²⁾에 착안하여 서로 다른 공진주파수 대역을 가지는 3 종류(Mn-Zn 페라이트/Ni-Zn 페라이트/Ni₂Y 페록스프라나)의 페라이트를 복합화시켜 주파수 변화(1~12[GHz])에 따른 재료정수를 구하고, 이들을 이용한 임피던스 정합지도로부터 정합조건을 설계함으로써 C-Band(4~8[GHz])에서의 응용성을 검토함으로써 전파흡수체 설계시 이를 활용하고자 하였다.

2. 전파흡수체의 설계 이론

2.1 손실재료

어떤 재료에 전자파가 입사되었을 때 전자파가 흡수되기 위해서는 손실이 있어야 한다. 이러한 손실은 재료내의 자유전하가 전계와 동상으로 이동할 때 생기는 도전손실과 유전체에 전계를 가하였을 때 쌍극자의 재배향이 가해진 전계에 대한 위상차로 생기는 유전손실, 그리고 가해진 자계의 시간적인 변화에 의해 생기는 와전류손실(eddy current loss), 자기이력손실(hysteresis loss), 잔류손실(residual loss) 등을 포함하는 자성손실이 있다. 이들 중 자성재료에 의한 손실이 가장 큰 것으로 알려져 있으며, 자성손실을 이용하는 전파흡수재료는 페라이트가 널리 사용되고 있다. 페라이트 전파흡수체는 그들의 조성파 흡수체의 구성조건에 따라 MHz~GHz영역에서 폭 넓게 응용되고 있으며, MHz대역에서 사용되는 소결형³⁾과 GHz대역에서 사용되는 복합형⁴⁾으로 분류되고 있다.

2.2 규격화 임피던스

전파흡수체는 반사파가 생기지 않도록 후면에 금속판을 부착하고 그것에서의 반사영향과 전파흡수체 전면의 반사를 잘 제어하여야 한다⁵⁾.

자유공간의 임피던스를 고려한 규격화 입력임

피던스 Z는 식(1)로 나타낼 수 있다.

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

여기에서 μ_r^* 은 복소투자율, ϵ_r^* 은 복소유전율, C는 공기중의 광속, f는 주파수 그리고 d는 흡수체의 두께이다.

식(1)에서 Z=1일 경우 정합이 일어나는 조건이며, 이 조건을 만족시키기 위해서는 μ_r' , μ_r'' , ϵ_r' , ϵ_r'' , f, d 등 6가지의 변수를 고려하여야 한다.

3. 시편제작 및 측정

본 연구에서 사용된 페라이트의 조성 및 사용된 침전제를 표 1에 나타내었다. 각 원료를 칭량하여 수용액을 만든 후, 침전제를 적하시켜 공침물을 얻었다. 이들 분말을 건조한 후 1,200[°C]에서 2시간 열처리하여 페라이트 분말을 제조하였다. 3종의 페라이트를 조성비에 따라 표 2와 같이 혼합한 후 복합형 전파흡수체를 제조하기 위하여 페라이트 분말을 실리콘고무(Silicone Rubber)와 혼합비(F:R=Ferrite:Rubber)를 4:1로 혼합하여 외경 7[mm], 내경 3[mm]의 ring형으로 성형하여 페라이트/고무 복합형 시편을 제조하였다⁶⁻⁷.

제조된 전파흡수체의 특성을 평가하기 위한 재료정수(복소유전율, 복소투자율)는 HP8722D Network Analyzer와 co-axial type의 7[mm] air line를 이용하여 1~12[GHz]범위에서 투과반사법(2-Port Method)으로 시편의 반사계수(S_{11})와 투과계수(S_{21})를 측정하고 이 값으로부터 재료정수를 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

그림 1은 조성비를 달리한 3종 페라이트(Mn-Zn 페라이트/Ni-Zn 페라이트/ Ni_2Y 페록스프라나)의 복합형 전파흡수체에 있어서 주파수(1~12[GHz])에 따른 재료정수(복소유전율, 복소투자율)를 구해 이것을 이용해 각 시편의 복소투자율의 궤적을 임피던스 정합지도상에 나타낸 것이다.

그림 1 (a), (b) 및 (c)는 단일상의 페라이트/고무 복합형 흡수체 시편의 경우로서 임피던스 정합지도상의 복소유전율의 실수부(ϵ_r')인 7.164, 6.704

및 7.981를 고정시켜 그린 곡선과 시편의 복소투자율의 궤적과 만나는 두 지점에서 정합이 일어나며, 이 때의 측정주파수가 정합주파수이다.

표 2. 페라이트 조성비에 따른 시편의 분류

Table 2. Classification of the specimens according to the constitutional rate (wt%)

Specimen No.	Mn-Zn Ferrite	Ni-Zn Ferrite	Ni_2Y Ferroplana
S- 1	100		
S- 2		100	
S- 3			100
S- 4	60	20	20
S- 5	20	60	20
S- 6	20	20	60
S- 7	40	40	20
S- 8	40	20	40
S- 9	20	40	40
S-10	33.3	33.3	33.3

그림1 (a) 정합주파수는 2.2[GHz]와 6.2[GHz]이고, 임피던스 정합 지도상의 $f_m \times d_m$ 값은 18[GHz · mm]와 35.8[GHz · mm]이므로 정합두께는 8.2[mm]와 5[mm]임을 알 수 있다.

그림1 (d), (e), (f), (g), (h), (i) 및 (j)는 조성비의 변화에 따른 3종 페라이트/고무 복합형 흡수체 시편의 경우로서 복소유전율의 실수부를 고정시켜 그린 곡선과 복소투자율 궤적의 교점에서 정합조건을 알 수 있다. 이 방법으로부터 얻어진 정합주파수 f_m 및 d_m 을 요약하여 표 3에 나타내었다.

그림1 (c)는 단일상 Ni_2Y 페록스프라나/고무 복합형 시편의 경우로서 복소유전율의 실수부를 고정시켜 그린 곡선이 시편의 복소투자율의 궤적과 만나는 지점이 없으므로 정합은 일어나지 않을 것으로 생각되나, 11.64~12[GHz]의 복소투자율 궤적이 복소유전율의 실수부를 고정시켜 그린 곡선에 인접한 거리에 위치해 있으므로 이 주파수대역에서 두께를 2.0~2.2[mm]로 변화시키면 20[dB]이상의 반사손실값을 얻을 수 있다. 반면에 그림1 (f)는 60[wt%]의 Ni_2Y 페록스프라나가 혼합된 경우로서

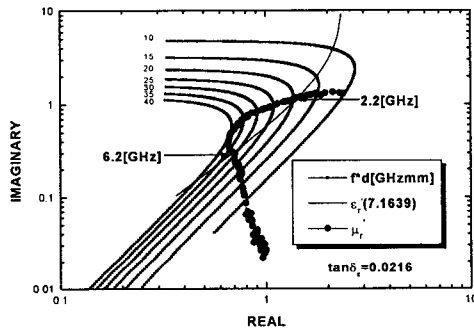
표 1. 페라이트 분말의 화학 조성

Table 1. Chemical composition of ferrite particles(in mol. %)

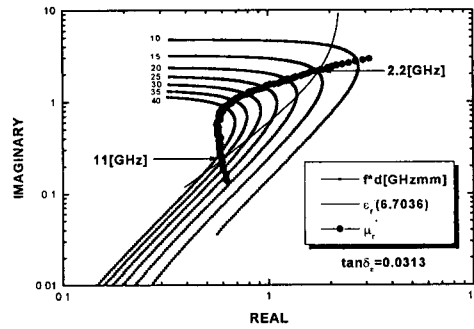
	$FeCl_2 \cdot 4H_2O$	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	$NiCl_2 \cdot 6H_2O$	$BaCl_2 \cdot 2H_2O$	$ZnCl_2$	Precipitator
Mn-Zn ferrite	70.41		17.52			12.07	NaOH
Ni-Zn Ferrite		74.30		16.33		9.37	NaOH
Ni_2Y Ferroplana		77.09		11.3	11.61		NaOH, H_2O_2 , Na_2CO_3

복소유전율의 실수부를 고정시켜 그린 곡선이 시편의 복소투자율의 궤적과 만나는 지점이 없으므로 20[dB]이상의 반사손실값이 나타나는 정합지점이 없었다.

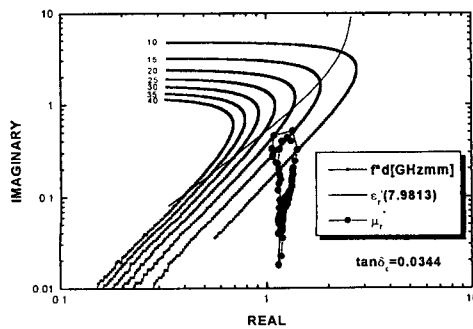
그림1 (h), (i) 및 (j)의 경우, 임피던스정합 지도상에서 복소유전율의 실수부를 고정시켜 그린 곡선과 재료의 복소투자율의 궤적 중 각각 4.5~5.1[GHz], 4~6.2[GHz]와 3.55~6.1[GHz]의 부분이 거의 겹쳐지고 있어 이 주파수대역에서는 재료의 두께를 각각 5.1~5.6[mm], 4.3~5.7[mm], 4.5~6.3[mm]로 변화시키면 20[dB]이상의 손실값을 얻을 수 있었다.



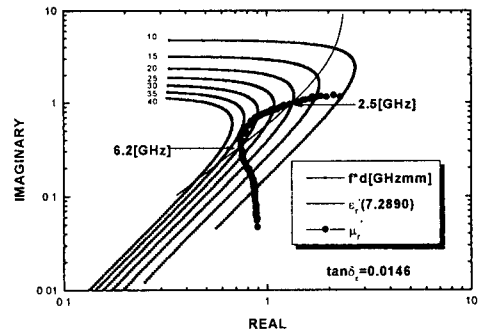
(a) Specimen 1



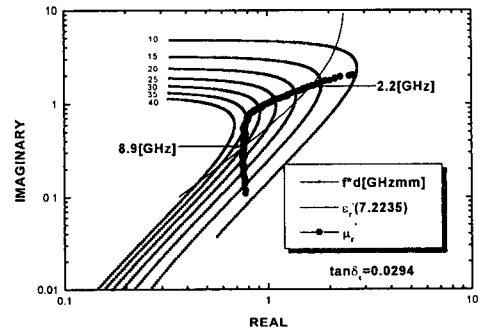
(b) Specimen 2.



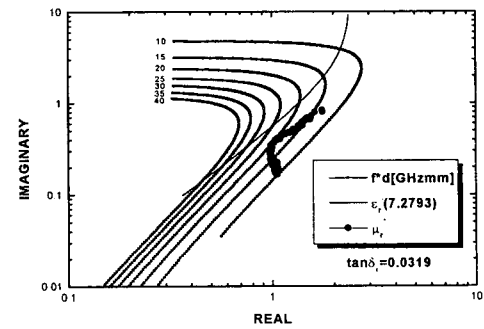
(c) Specimen 3.



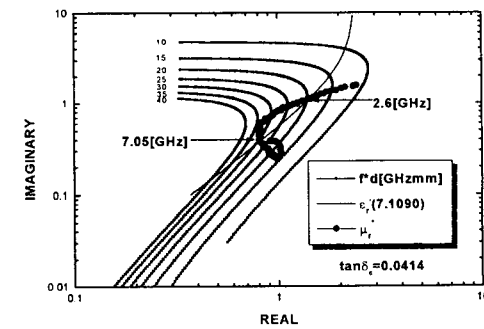
(d) Specimen 4.



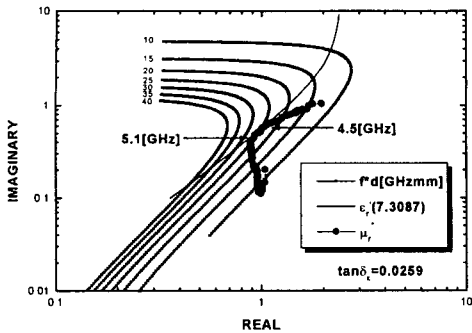
(e) Specimen 5.



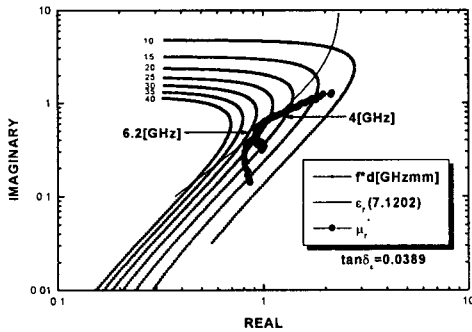
(f) Specimen 6.



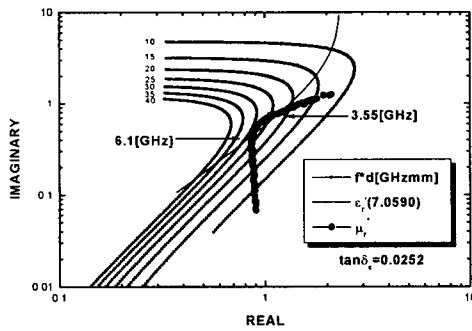
(g) Specimen 7.



(h) Specimen 8.



(i) Specimen 9.



(j) Specimen 10.

그림 1. 정합지도상의 복소투자율의 궤적

Fig. 1. The complex permeability locus of specimens on impedance matching map

4. 결 론

공침법에 의해 제조한 3종의 페라이트를 조성비를 달리하여 고무와 복합화시켜 전파흡수체의 시편을 제조한 후 주파수에 따른 재료정수를 측정하였다. 그들 정수로부터 정합조건(주파수 및 두께)을 얻었으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 조성비의 변화에 따른 3종 페라이트/고무 복합형 전파흡수체의 재료정수로부터 정합조건을 구할 수 있었다.(표 3. 참조)
2. 60[wt%]의 Ni₂Y 페록스프라나가 혼합될 경우에 시편의 복소투자율의 궤적과 만나는 지점이 없어 20[dB]이상의 반사손실값을 나타내는 정합지점이 없는 것으로 확인되었다.
3. 서로 다른 공진주파수 대역을 가지는 Mn-Zn 페라이트/Ni-Zn 페라이트/Ni₂Y 페록스프라나의 혼합비를 조절함으로써 C-Band(4~8[GHz])에서의 광대역 전파흡수의 특성을 나타낼 수 있음을 확인하였다.

표 3. 각 시편의 정합조건

Table 3. Matching condition of Specimens

Specimens	f _{m1} [GHz]	d _{m1} [mm]	f _{m2} [GHz]	d _{m2} [mm]
S-1	2.2	8.2	6.2	5
S-2	2.2	6.8	11	3.2
S-3				
S-4	2.5	8	6.2	4.8
S-5	2.2	7.6	8.9	3.4
S-6				
S-7	2.6	7.7	7.05	4.1
S-8	4.5	5.6	5.1	5.1
S-9	4	5.7	6.2	4.3
S-10	3.55	6.3	6.1	4.5

참 고 문 헌

1. 官崎保光, "EMI對應材料の特性と效果のMechanism", 工業材料, Vol.36, No.4, pp.36, 1988
2. K. Ishino, et al., "Development of Magnetic Ferrite: Control and Application of Losses", Am. Ceram. Bull., Vol.66, No.10, pp. 1469, 1985.
3. 横山效生, 石野乾, "フェライトを用いた電波吸収體とその應用", 電子計測, pp.12-21, 1972
4. 石野 建, 橋本康雄, "フェライト複合材料", 化學と工業, Vol.28, No.9, pp.669-672, 1975
5. 石野建, 度邊降志, 橋本康雄, "電磁波吸収體とその應用", 應用物理, Vol.43, No.11, 1974
6. 박상하, 김한근, 사공건, "Ferroxplana Y-type (Ni₂Y) 磁性 분체의 합성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1140~1142(1993).
7. 김한근, "超高周波用 Ni-Zn 페라이트/고무 복합형 吸收體 製作 및 電波吸收特性", 공학박사 학위논문, pp.94~97(1994)