

조성비에 따른 3종 페라이트/고무 복합형 전파흡수체의 특성

유영준*, 전홍배*, 김철한*, 사공건*
 동아대학교 전기공학과*

Properties of Three Kinds of Ferrite/Rubber Composite Microwave Absorbers with Various Composition Ratio

Young-Jun Ryu*, Hong-Bae Jun*, Cheol-Han Kim*, Geon Sa-Gong*
 * Dept. of Electrical Engr., Dong-A Univ.

Abstract - In this study, three kinds of Mn-Zn ferrite/Ni-Zn ferrite/Ni₂Y ferroxplana prepared by the coprecipitation method were compounded with the silicon rubber, and the ring-shaped specimens with various compositional ratio were made. The material constant of ferrite/rubber composite absorbers was obtained by the 2-port method. The material constants of the ferrite/rubber composite microwave absorber made of three kinds of ferrite with various compositional ratio were utilized in design the matching conditions(frequency and thickness) on the impedance matching map. We were able to predict the matching condition from the matching map. On all three kinds of ferrite/rubber composite microwave absorber with less than compositional ratio 60(wt.%) of ferroxplana, we have found that the reflection losses were over than 20[dB] at the S-Band (2~4(GHz)) and C-Band(4~8(GHz)).

전파흡수체는 반사파가 생기지 않도록 후면에 금속판을 부착하고 그것에서의 반사영향과 전파흡수체 전면의 반사를 잘 제어하여야 한다⁴⁾. 자유공간의 임피던스를 고려한 규격화 입력임피던스 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 및 d 등 6가지의 변수를 고려하여야 한다.

전자파에 대한 재료의 반사감쇠량은 위의 식(1)의 Z의 함수를 다음 식(2)에 대입하여 계산한다.

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

1. 서 론

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 조성과 흡수체의 구성조건에 따라 MHz~GHz영역에서 폭 넓게 응용되고 있으며, MHz대역에서 사용되는 소결형¹⁾과 GHz대역에서 사용되는 복합형²⁾으로 분류되고 있다.

본 연구에서는 GHz대역에서 사용되는 복합형 페라이트 전파흡수체를 제조하기 위해 종류가 다른 페라이트의 조성비를 변화시킴으로서 손실을 증대하고자 하였다³⁾. 즉, 서로 다른 공명주파수 대역을 가지는 3종류(Mn-Zn/Ni-Zn/Ni₂Y)의 페라이트를 복합화시켜 주파수 변화(1~12(GHz))에 따른 재료정수를 구하고, 이들을 이용하여 임피던스 정합지도로부터 정합조건을 설계하고, 이들 복합형 전파흡수체의 흡수능을 구하여 이들을 전파흡수체 설계시 기본자료로 활용하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 전파흡수체의 설계이론

정합지도(Impedance Matching Map)는 측정주파수에서 시편의 재료정수(복소유전율 및 복소투자율)가 얻어지면 그 시편의 유전손실을 고려한 복소유전율항과 f×d항을 일정한 값으로 고정시킨 후 규격화 입력임피던스 Z가 1을 만족할 때의 복소투자율값을 계산하여 그린다. 이 때 정합지도상에서 정합조건이 만족되면 그 교점에서의 f×d(GHz·mm)의 값에서 정합주파수 및 두께를 예측할 수 있고, 아울러 정합조건을 만족하는 재료정수를 알 수 있으므로 응용하고자 하는 주파수대역에서의 재료설계에 효과적으로 이용할 수 있다.

2.2 시편제작 및 측정

본 연구에서 사용된 페라이트의 조성비 및 사용된 칩전체를 표 1에 나타내었다. 각 원료를 칭량하여 수용액을 만든 후, 칩전체를 적하시켜 공침물을 얻었다. 이들 분말을 건조한 후 1,200(°C)에서 2시간 열처리하여 페라이트 분말을 제조하였다. 3종류의 페라이트를 조성비에 따라 표 2와 같이 혼합된 분말을 실리콘고무(Silicone Rubber)와 혼합비(F:R=Ferrite:Rubber) 4:1로 혼합하여 외경 7(mmφ), 내경 3(mmφ)의 ring형으로 성형하여 페라이트/고무 복합형 흡수체 시편을 제조하였다⁵⁻⁶⁾.

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.

표 1. 페라이트 분말의 화학적 조성비

Table 1. Chemical composition ratio of ferrite powder(mol.%)

	F2	F3	M	N	B	Z	P
MZ	70.41	-	17.52	-	-	12.07	NaOH
NZ	-	74.30	-	16.33	-	9.37	NaOH
NF	-	77.09	-	11.3	11.61	-	NaOH H ₂ O ₂ Na ₂ CO ₃

- MZ(Mn-Zn Ferrite), NZ(Ni-Zn Ferrite), NF(Ni₂Y Ferroxplana)
- F2(FeCl₂ · 4H₂O), F3(FeCl₃ · 6H₂O), M(MnCl₂ · 4H₂O), N(NiCl₂ · 6H₂O), B(BaCl₂ · 2H₂O), Z(ZnCl₂), P(침전제)

표 2. 페라이트 조성비에 따른 시편의 분류

Table 2. Classification of the specimens with various composition ratio (wt.%)

Specimen No.	MZ	NZ	NF
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

2.3 결과 및 고찰

3종 페라이트(Mn-Zn/Ni-Zn/Ni₂Y)의 조성비를 달리하여 제조한 복합형 전파흡수체에 있어서 주파수 1~12[GHz]에서 측정된 재료정수(복소유전율 및 복소투자율)로부터 정합조건을 구하기 위해 정합조건 설계이론에 의해 정합지도들 반복해서 그림 1과 같이 그렸다. 그림 1은 본 연구에 사용된 시편 중 시편 10의 정합지도에 해당하는 것으로 $[- \bullet -]$ 의 궤적은 주파수(1~12[GHz])에 따른 복소투자율의 실수부와 허수부를 나타낸 것이다. $[- \bullet -]$ 와 $[- -]$ 의 궤적은 이 시편의 유전율(7.05-j0.18)을 고정하였을 때의 정합주파수(f_m)와 두께(d_m)의 곱(10~40[GHz · mm])을 변화시켰을 때의 정합점들을 나타낸 것이다. 복합형 흡수체 시편의 재료정수 중 복소유전율이 주파수의 변화에 따라 거의 변화하지 않으므로 그림 1의 정합점들과 복소투자율 궤적을 비교하여 정합점을 찾을 수 있는데, 복소투자율의 궤적과 정합지도 상의 복소유전율이 만나는 점에서 정합이 일어나게 된다. 이와 같은 방법으로부터 얻어진 정합주파수 및 두께를 요약하여 표 3에 나타내었다. 이 표에서 단일상 Ni₂Y 페록스프라나/고무 복합형 시편의 정합지도에서는 정합점이 없었다. 그러나, 복소유전율의 실수

부를 고정시켜 그린 곡선과 복소투자율 궤적의 주파수 11.64~12[GHz]를 두께 2.0~2.2[mm]로 변화시켜 반사감쇠량을 계산해 본 결과 2.0[mm]의 두께에서 20[dB]이상의 반사손실값을 얻을 수 있었다(그림3). 반면 60[wt.%]의 Ni₂Y 페록스프라나를 고무에 혼합시킨 시편의 경우 주파수 1~12[GHz]에서는 20[dB]이상의 반사손실값을 얻을 수 없었다⁷⁾.

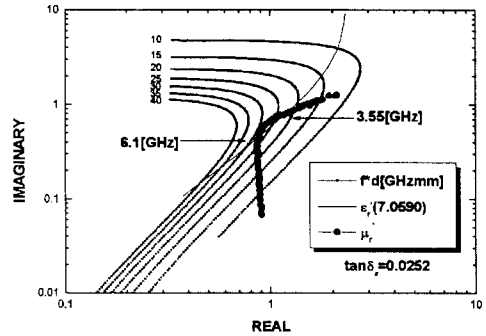


그림 1. 시편 10의 정합지도

Fig. 1. Impedance matching map of specimen No.10

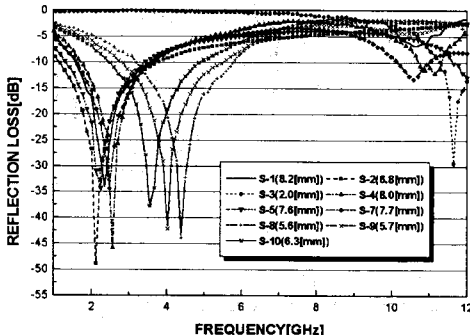
표 3. 각 시편의 정합조건

Table 3. Matching conditions of specimens

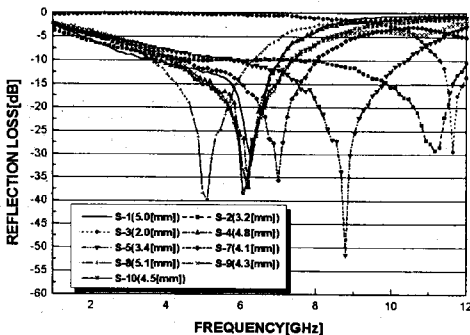
Spec.	f_{m1} [GHz]	d_{m1} [mm]	f_{m2} [GHz]	d_{m2} [mm]
S- 1	2.2	8.2	6.2	5
S- 2	2.2	6.8	11	3.2
S- 3	-	-	-	-
S- 4	2.5	8	6.2	4.8
S- 5	2.2	7.6	8.9	3.4
S- 6	-	-	-	-
S- 7	2.6	7.7	7.05	4.1
S- 8	4.5	5.6	5.1	5.1
S- 9	4	5.7	6.2	4.3
S-10	3.55	6.3	6.1	4.5

그림 2는 정합조건에 따른 시편의 주파수와 두께를 식(1)과 (2)에 의해 계산한 반사손실값을 나타낸 것이다. 이 결과로부터 정합조건에서 예측한 값과 거의 일치함을 알 수 있었다. 시편 10의 경우 반사손실값을 계산한 결과는 두께 6.3[mm]의 경우 3.55[GHz]의 주파수에서 약 37[dB]의 최대 반사감쇠량을 나타내었고, 3.25~4.0[GHz]에서 20[dB]이상의 반사감쇠량을 나타내었다. 또한 4.5[mm]두께인 경우 주파수 6.05[GHz]에서 약 38[dB]의 최대 반사감쇠량을 나타내었으며, 주파수 6.65~6.6[GHz]에서 20[dB]이상의 반사감쇠량을 나타내었다. 주파수에 대한 반사감쇠량을 요약하여 표 4와 5에 나타내었다. 표에서 조성비를 달리한 3종류의 페라이트 복합형흡수체에서 시편 6을 제외하고는 1종류가 나머지 두 종류에 비해 많은 중량비를 가질 경우 두께가 두꺼운 시편의 중심주파수(f_{m1})는 2[GHz]대로 변화되었고, 두께가 얇은 시편의 중심주파수(f_{m2})의 경우 시편 4는 6.2[GHz], 시편 5는 8.79[GHz]로 변화되었다. 그리고 3종류중 임의의 2종류의 페라이트의 중량비를 같게 하여 제조한 복합형 시편의 경우 시편 7은 중심주파수(f_{m1})가 2.48[GHz]

이고 나머지 시편 8과 시편 9는 모두 4[GHz]대였다. 또, 시편7, 시편8 및 시편9의 경우 얇은 시편의 중심주파수(f_{m2})는 각각 7[GHz], 5.01[GHz] 및 6.17[GHz]로 변화되었다. 3종류의 페라이트가 1:1:1의 중량비로 제조한 복합형 시편의 경우 중심주파수(f_{m1} , f_{m2})가 3.55[GHz]와 6.05[GHz]로 변화되었다. 이것은 시편 내의 페라이트 중량비 및 입경의 불균일에 기인된 것으로 사료된다. 그리고 페라이트의 조성비를 달리하여 제조한 복합형 시편의 경우 각각의 페라이트로 제조한 복합형 시편의 경우보다 대역폭은 넓었으며, 최대 반사감쇠량은 크게 나타났다.



(a) f_{m1}



(b) f_{m2}

그림 2. 시편의 반사감쇠량

Fig. 2. The reflection loss of specimens

표 4. 20[dB]이상의 정합주파수와 두께

Table 4. The matching frequency and thickness over than reflection loss 20[dB]

Spec.	f_{m1}			f_{m2}		
	d[mm]	B[GHz]	Δf [GHz]	d[mm]	B[GHz]	Δf [GHz]
S-1	8.2	2.05~2.6	0.55	5	6.0~6.55	0.55
S-2	6.8	1.8~2.55	0.75	3.2	10.6~11.45	0.85
S-3	2	11.55~11.45	0.2	2	11.55~11.45	0.2
S-4	8	2.25~2.85	0.6	4.8	5.85~6.5	0.65
S-5	7.6	1.95~2.55	0.6	3.4	8.1~9.2	1.1
S-6						
S-7	7.7	2.15~2.75	0.6	4.1	6.5~7.3	0.8
S-8	5.6	4.0~4.75	0.75	5.1	4.65~5.65	1.0
S-9	5.7	3.6~4.4	0.8	4.3	5.7~6.65	0.95
S-10	6.3	3.25~4.0	0.75	4.5	6.65~6.6	0.95

B: 주파수대역 Δf : 대역폭

표 5. 시편의 최대 반사감쇠량

Table 5. Maximum reflection loss of the specimens

Spec.	f_{m1}		f_{m2}	
	f_c [GHz]	RL _{max} [dB]	f_c [GHz]	RL _{max} [dB]
S-1	2.36	34	6.23	31
S-2	2.1	49	11.17	29
S-3	11.64	29	11.64	29
S-4	2.56	45	6.2	37
S-5	2.2	34	8.79	51
S-6	-	-	-	-
S-7	2.48	34	7.0	35
S-8	4.38	43	5.01	39
S-9	4.03	42	6.17	36
S-10	3.55	37	6.05	38

RL_{max}: 최대반사감쇠량

3. 결 론

공침법에 의해 제조된 3종의 페라이트에 대해 조성비를 달리하여 고무와 복합화시켜 전파흡수체의 시편을 제조한 후 주파수에 따른 재료정수를 측정하였다. 그들 정수로부터 정합조건(주파수 및 두께)에 따른 20[dB]이상의 반사손실값을 구했으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Ni₂Y 페록스프라나가 60[wt.%] 이하로 혼합된 시편의 경우에는 측정주파수 1~12[GHz]에서 정합이 일어났으나, 60[wt.%] 이상에서는 정합이 이루어지지 않아 20[dB]이상의 최대반사손실값을 얻을 수 없었다.
2. 페라이트의 조성비를 달리하여 제조한 복합형 시편의 경우는 한 종류만으로도 제조한 페라이트/고무 시편보다 대역폭은 넓었으며, 최대 반사감쇠량은 크게 나타났다.
3. 서로 다른 공명주파수 대역을 가지는 페라이트(Mn-Zn/Ni-Zn/Ni₂Y)의 혼합비를 제어함으로써 S-Band(2~4[GHz])와 C-Band(4~8[GHz])에서 응용될 수 있는 광대역 전파흡수체를 제조할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] 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
- [2] 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
- [3] K. Ishino, et al., "Development of Magnetic Ferrite: Control and Application of Losses", Am. Ceram. Bull., Vol.66, No.10, pp. 1469, 1985.
- [4] 石野建, 度邊隆志, 橋本康雄, "電磁波吸収體とその應用", 應用物理, Vol.43, No.11, 1974
- [5] 박상하, 김한근, 사공건, "Ferroxplana Y-type (Ni₂Y) 磁性 분체의 합성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1140~1142(1993).
- [6] 김한근, "超高周波用 Ni-Zn 페라이트/고무 복합형 吸收體 製作 및 電波吸收特性", 공학박사학위논문, pp.94~97(1994)
- [7] 유영준, 전홍배, 양윤석, 김철한, 김한근, 사공건, "조성비에 따른 3종 페라이트/고무 복합형 전파흡수체의 정합조건설계", 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집, pp.247~250(1999.5.)