

3종 페라이트의 혼합비에 따른 복합형 전파흡수체의 정합조건 설계

논문
12-10-22

Matching Condition Design of Composite Microwave Absorbers with Various Mixing Ratio of Three Kinds of Ferrite

유영준*, 김철한*, 전홍배*, 사공건**

(Young-Jun Ryu*, Cheol-Han Kim*, Hong-Bae Jun*, Geon Sa-Gong**)

Abstract

Ferrite/rubber composite specimens have prepared by molding and curing the mixture of matrix silicon rubber and three kinds of filler particle Mn-Zn ferrite/Ni-Zn ferrite/Ni₂Y ferroxplanna which are synthesized by the coprecipitation method. The mixing ratio of three kinds of ferrite filler particle was changed to adjust the material constant of composite microwave absorbers.

Material constants of composite specimens were calculated from measured variables(s-parameter) over the frequency range from 1 to 12GHz by means of a Network Analyzer(HP8722D) with a co-axial type air line. It was able to predict the matching condition(frequency and thickness) of some kinds of composite specimens from the impedance matching map.

On S-9 and S-10 composite specimens, the band width was more broaden and the reflection loss was larger in comparison with only one ferrite/rubber composite specimens, We were able to make composite microwave absorbers that the reflection loss was more than 20[dB] in the frequency range from 2 to 4GHz [S-band] and from 4 to 8GHz [C-band] by changing the mixing ratio of three kinds of ferrite filler particle.

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 레이다의 허상, 각종 전자기기 등에서 발생하는 유해한 전자파가 기기 상호간의 동작을 방해하거나 인체에 해를 미치는 등 여러 가지 전자파장해(EMI : Electromagnetic Interference)현상을 일으키고 있다. 이에 따른 대

책으로는 송신 및 수신 방법의 개선 등이 검토되고 있지만 근본적 대책으로는 전파흡수특성을 갖고 있는 재료로써 불필요한 외부로부터의 전자파를 흡수하여 반사파가 생성되지 않도록 하는 것이다¹⁾.

어떤 재료에 전자파가 입사되었을 때 전자파가 흡수되기 위해서는 손실이 있어야 한다. 이러한 손실은 재료 내의 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 자성 재료에 의한 손실이 가장 큰 것으로 알려져 있으며, 자성손실을 이용하는 전파흡수재료는 페라이트가 널리 사용되고 있다. 페라이트 전파흡수체는 그들의

* : 동아대학교 대학원 전기공학과 석사과정
** : 동아대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수
(부산시 사하구 하단2동 840, Tel : 051-200-7736, Fax :
051-200-7743 E-mail : gsagong@seunghak.donga.ac.kr)
1999년 7월 15일 접수, 1999년 10월 6일 심사완료
<'99 춘계학술대회에서 추천된 논문임>

조성과 흡수체의 구성조건에 따라 $\omega_0 \sim \omega_1$ 영역에서 폭 넓게 응용되고 있으며, ω_0 대역에서 사용되는 소결형²⁾과 ω_1 대역에서 사용되는 복합형³⁾으로 분류되고 있다.

본 연구에서는 ω_0 대역에서 사용되는 복합형 페라이트 전파흡수체를 제조하기 위해 종류가 다른 3종류 페라이트의 혼합비를 변화시킴으로써 손실을 증대하고자 하였다⁴⁾. 즉, 서로 다른 공명주파수 대역을 가지는 3종류(Mn-Zn/Ni-Zn/Ni₂Y)의 페라이트와 실리콘 고무로 복합형 전파흡수체 시편을 제조한 후 주파수 변화(1~12GHz)에 따른 재료정수를 구하였다.

이들 정수를 이용하여 임피던스 정합지도로부터 정합조건을 설계하고, 복합형 전파흡수체의 흡수능을 구한 후 이를 전파흡수체 설계시 기본자료로 활용하고자 하였다.

2. 전파흡수체의 설계 이론

전파흡수체는 반사파가 생기지 않도록 하기 위해 후면에 금속판을 부착하고 그 것으로 인한 반사영향과 전파흡수체 전면의 반사를 잘 제어하여야 한다.

자유공간의 임피던스를 고려한 규격화 입력임피던스 Z는 식 (1)로 나타낼 수 있다⁵⁾.

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

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 6가지의 변수, 즉 복소투자율의 실수부(μ_r') 및 허수부(μ_r''), 복소유전율의 실수부(ϵ_r') 및 허수부(ϵ_r''), f 및 d 등을 고려하여야 한다.

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

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

정합지도(Impedance Matching Map)는 측정 주파수에서 시편의 재료정수(복소유전율 및 복소투자율)가 얻어지면 그 시편의 유전손실을 고려한 복소유전율항과 $f \times d$ 항을 일정한 값으로 고정시킨 후 규격화 입력임피던스 Z가 1을 만족할 때의 복소투자율값을 계산하여 그린다. 이 때 정합지도상에서 정합조건이 만족되면 그 교점에서의 $f \times d$ [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.

3. 시편제작 및 측정

본 연구에서 사용된 페라이트의 조성비, 침전제 그리고 공침조건을 표 1에 나타내었다. 각 소원료를 칭량하여 수용액을 만든 후, 침전제를 적하시켜 공침물을 얻었다. 이들 분말을 건조한 후 1,200℃에서 2시간 열처리하여 페라이트 분말을 제조한 후 3종의 페라이트를 표 2에서와 같이 적정 혼합비로 혼합하였다. 그 후 복합형 전파흡수체를 제조하기 위하여 페라이트 분말을 실리콘 고무와 혼합비(F : R = Ferrite : Rubber)를 4:1로 혼합⁶⁻⁷⁾하여 외경 7mm, 내경 3mm의 ring형으로 성형하여 페라이트/고무 복합형 시편을 제조하였다.

제조된 전파흡수체의 특성을 평가하기 위한 재료정수(복소유전율 및 투자율)는 HP8722D Network Analyzer와 co-axial type의 7mm air line를 이용

표 1. 페라이트 분말의 화학적 조성
Table 1. Chemical composition ratio of ferrite powder (mol. %)

	FeCl ₂ · 4H ₂ O	FeCl ₃ · 6H ₂ O	MnCl ₂ · 4H ₂ O	NiCl ₂ · 6H ₂ O	BaCl ₂ · 2H ₂ O	ZnCl ₂	Precipitator	Coprecipitates
Mn-Zn ferrite	70.41	-	17.52	-	-	12.07	NaOH	70~80℃, pH11
Ni-Zn ferrite	-	74.30	-	16.33	-	9.37	NaOH	70~80℃, pH11
Ni ₂ Y ferroplana	-	77.09	-	11.3	11.61	-	NaOH, H ₂ O ₂ , Na ₂ CO ₃	50~60℃, pH5

하여 1~12% 범위에서 투과반사법(2-Port Method)으로 시편의 반사계수(S_{11})와 투과계수(S_{21})를 측정하고 이 값으로부터 재료정수를 계산하였다⁷⁾.

표 2. 페라이트 혼합비에 따른 시편의 분류
Table 2. Classification of specimens with various mixing ratio (wt.%)

Specimen No.	Mn-Zn ferrite	Ni-Zn ferrite	Ni ₂ Y 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

4. 결과 및 고찰

그림 1은 3종 페라이트(Mn-Zn/Ni-Zn/Ni₂Y)의 혼합비를 달리하여 제조한 복합형 전파흡수체 시편에 있어서 측정주파수 1~12GHz에서 얻어진 재료정수(복소유전율 및 복소투자율)로부터 정합조건을 구하기 위해 복소투자율의 궤적을 임피던스 정합지도상에 나타낸 것이다.

그림 1에서 [-●-]의 궤적은 주파수(1~12GHz)에 따른 복소투자율의 실수부와 허수부를 나타낸 것이다. [-○-]와 [-△-]의 궤적은 각 시편의 유전율을 고정하였을 때의 정합주파수(f_m)와 두께(d_m)의 곱 즉, $f_m \times d_m$ (10~40GHz·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.

그림 1(a), (b) 및 (c)는 3 종류의 페라이트/고무 복합형 흡수체 시편의 경우로서 임피던스 정합지도상의 복소유전율의 실수부(ϵ')를 7.16, 6.70 및 7.98로 고정시켜 그린 곡선과 시편의 복소투자율의 궤적

과 만나는 두 지점에서 정합이 일어나며, 이 때의 측정주파수가 정합주파수이다. 그림 1(a)의 정합주파수는 2.36와 6.23GHz이고, 임피던스 정합 지도상의 $f_m \times d_m$ 값은 19.35와 31.10(GHz·mm)이므로 정합두께는 8.2와 5.0mm임을 알 수 있다.

그림 1(d), (e), (f), (g), (h), (i) 및 (j)는 혼합비의 변화에 따른 3종 페라이트/고무 복합형 흡수체 시편의 정합지도로서 복소유전율의 실수부를 고정시켜 그린 곡선과 복소투자율 궤적이 만나는 지점이 정합점이 되며, 이로부터 정합조건(정합주파수 f_m 및 d_m)을 구할 수 있다(표 3).

그림 1(c)는 Ni₂Y 페록스프라나/고무 복합형 흡수체 시편의 정합지도이다. 이 그림에서 복소유전율의 실수부를 고정시켜 그린 곡선이 시편의 복소투자율의 궤적과 만나는 지점이 없으므로 정합은 일어나지 않을 것으로 예측된다. 그러나 11.64~12.00GHz 주파수 대역에서 두께를 2.0~2.2mm로 변화시키면 20dB 이상의 반사손실값을 얻을 수 있었다(그림 2).

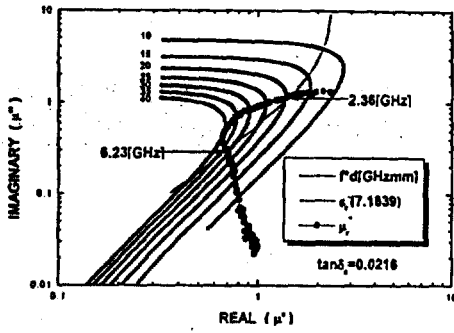
반면에 그림 1(f)는 60wt.% Ni₂Y 페록스프라나가 혼합된 경우의 정합지도로서 복소유전율의 실수부를 고정시켜 그린 곡선이 시편의 복소투자율의 궤적과 만나지 않으므로 20dB 이상의 반사손실값을 나타내는 정합지점이 없었다.

그림 1(h), (i) 및 (j)의 경우, 임피던스 정합 지도 상에서 복소유전율의 실수부를 고정시켜 그린 곡선과 시편의 복소투자율의 궤적 중에서 4.5~5.1, 4.0~6.2와 3.5~6.1GHz의 부분이 거의 겹쳐지고 있다.

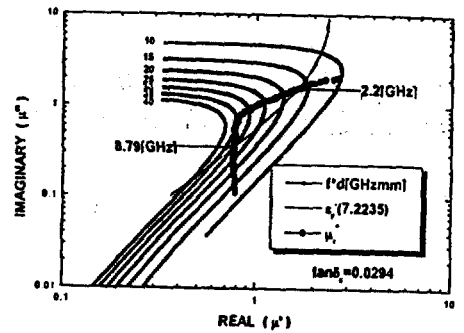
이 주파수대역에서 시편의 두께를 각각 5.1~5.6, 4.3~5.7 및 4.5~6.3mm로 변화시켜 20dB 이상의 손실값을 얻을 수 있었다.

그림 2는 정합조건에 따른 시편의 주파수와 두께를 식 (1)과 (2)에 의해 계산된 반사손실값을 나타낸 것이다. 이 결과로부터 정합조건에서 예측한 값과 거의 일치함을 알 수 있었다. 시편 10의 경우 반사손실값을 계산한 결과는 두께 6.3mm의 경우 3.25~4.00GHz에서 20dB 이상의 반사감쇠량을 나타내었다. 특히 3.55GHz의 주파수에서 약 37dB의 최대 반사감쇠량을 나타내었다. 반면 시편이 4.5mm 두께인 경우 5.65~6.62GHz에서 20dB 이상의 반사감쇠량을 나타내었으며, 특히 6.05GHz에서 약 38dB의 최대 반사감쇠량을 나타내었다.

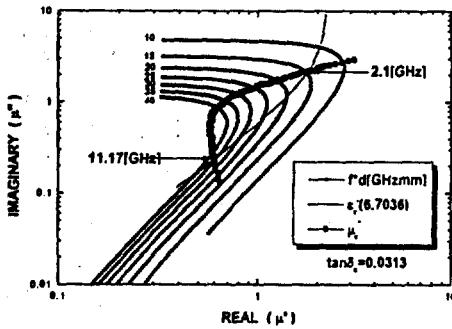
표 3은 정합조건(주파수 및 두께)에서의 최대 반사감쇠량을 나타낸 것으로 혼합비를 달리한 3 종류의 페라이트 복합형 흡수체에서 시편 6을 제외하고는 1종류가 나머지 두 종류에 비해 많은 중량비를 가질 경우 두께가 두꺼운 시편의 중심주파수(f_m)는 2.0~



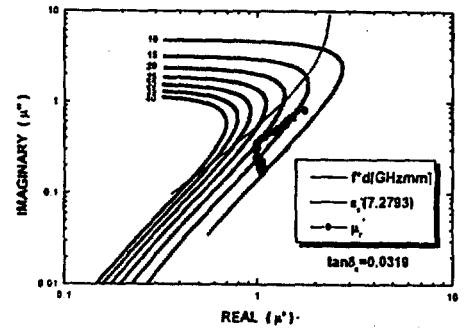
(a) Specimen 1.



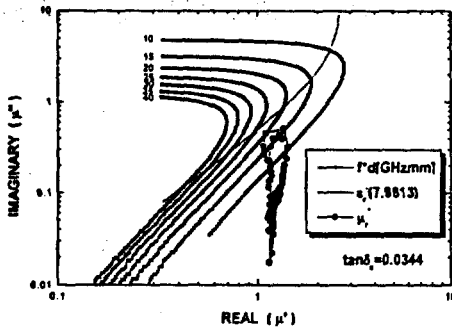
(e) Specimen 5.



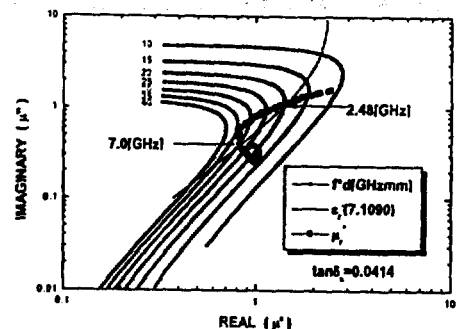
(b) Specimen 2.



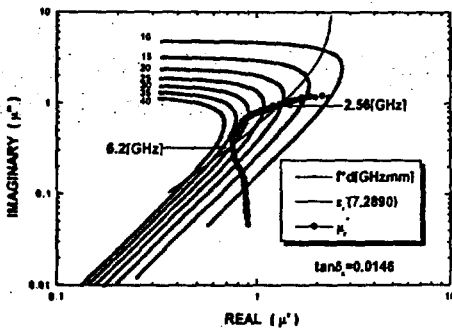
(f) Specimen 6.



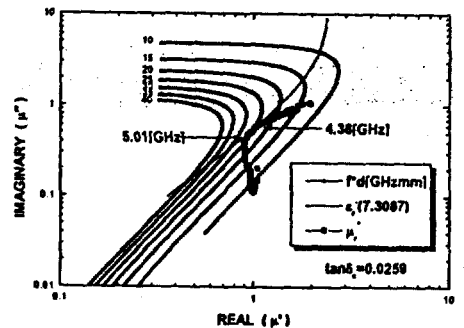
(c) Specimen 3.



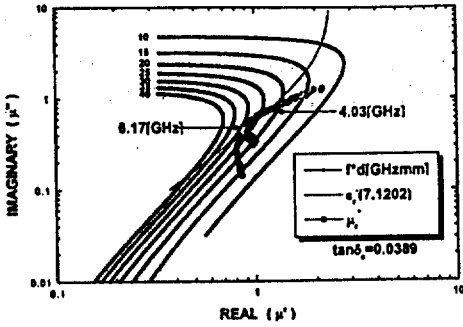
(g) Specimen 7.



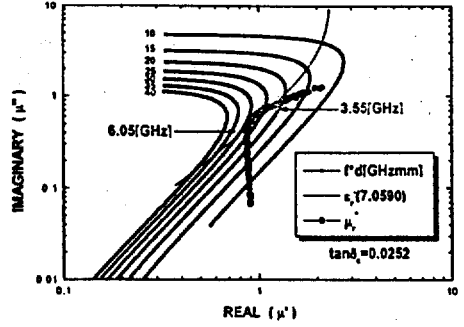
(d) Specimen 4.



(h) Specimen 8.



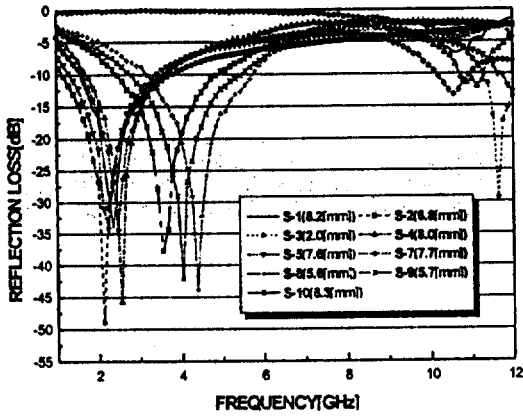
(i) Specimen 9.



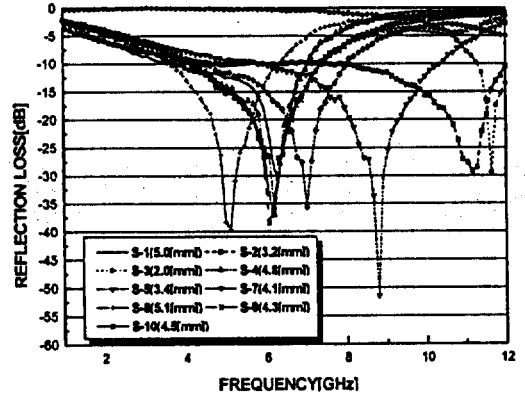
(j) Specimen 10.

그림 1. 정합지도상의 복소투자율의 궤적

Fig. 1. Complex permeability loci of specimens on the impedance matching map



(a) f_{m1}



(b) f_{m2}

그림 2. 시편의 반사감쇠량

Fig. 2. Reflection loss of specimens

4.5GHz대로 이동되었다. 반면 두께가 얇은 시편의 중심주파수(f_{m2})의 경우 시편 5를 제외하고는 5.0~7.5GHz대로 이동되었다.

3종류의 페라이트가 1:1:1의 중량비로 제조한 복합형 시편의 경우 중심주파수(f_{m1} , f_{m2})가 3.55와 6.05GHz로 변화되었다. 이것은 시편 내의 페라이트 중량비 및 입경의 불균일에 기인된 것으로 사료된다. 따라서 3종류 페라이트(Mn-Zn/Ni-Zn/Ni₂Y)의 혼합비를 제어함으로써 한 종류의 페라이트만으로 제조한 시편보다 시편9 및 시편10의 경우 대역폭이 넓어졌으며, 최대 반사감쇠량도 크게 나타났다.

5. 결 론

공침법에 의해 제조된 3종의 페라이트를 적정 혼합비로 혼합한 후 이들을 고무와 경화시켜 복합형 전파 흡수체 시편을 제조한 후 주파수에 따른 재료정수를 측정하였다. 그들 정수로부터 정합조건(주파수 및 두께)에 따른 20dB 이상의 반사손실값을 구하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Ni₂Y-페록스프라나가 60wt.% 이하로 혼합된 시

표 3. 각 시편의 정합조건
Table 3. Matching condition of Specimens

Spec.	f_{m1}					f_{m2}				
	f_m [GHz]	d [mm]	B [GHz]	Δf [GHz]	RL_{max} [dB]	f_m [GHz]	d [mm]	B [GHz]	Δf [GHz]	RL_{max} [dB]
S-1	2.36	8.2	2.05~2.60	0.55	34	6.23	5.0	6.00~6.55	0.55	31
S-2	2.10	6.8	1.80~2.55	0.75	49	11.17	3.2	10.60~11.45	0.85	29
S-3	11.64	2.0	11.55~11.45	0.20	29	11.64	2.0	11.55~11.45	0.20	29
S-4	2.56	8.0	2.25~2.85	0.60	45	6.20	4.8	5.85~6.50	0.65	37
S-5	2.20	7.6	1.95~2.55	0.60	34	8.79	3.4	8.10~9.20	1.10	51
S-6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S-7	2.48	7.7	2.15~2.75	0.60	34	7.00	4.1	6.50~7.30	0.80	35
S-8	4.38	5.6	4.00~4.75	0.75	43	5.01	5.1	4.65~5.65	1.00	39
S-9	4.03	5.7	3.60~4.40	0.80	42	6.17	4.3	5.70~6.65	0.95	36
S-10	3.55	6.3	3.25~4.00	0.75	37	6.05	4.5	5.65~6.60	0.95	38

f_m : 정합주파수 d : 정합두께 B : 주파수대역 Δf : 대역폭 RL_{max} : 최대반사감쇠량

편의 경우에는는 측정주파수 1~12GHz에서 정합이 일어났으나, 60wt.%에서는 정합이 이루어지지 않아 20dB이상의 최대반사손실값을 얻을 수가 없었다.

- 3종류 페라이트(Mn-Zn/Ni-Zn/Ni₂Y)의 혼합비를 제어함으로써 한 종류의 페라이트만으로 제조한 시편보다 시편9 및 시편10의 경우 대역폭이 넓어졌으며, 최대 반사감쇠량도 크게 나타났다.
- 서로 다른 공명주파수 대역을 가지는 페라이트(Mn-Zn/Ni-Zn/Ni₂Y)의 혼합비를 제어함으로써 S-Band(2~4GHz)와 C-Band(4~8GHz)에서 응용될 수 있는 전파흡수체를 제조할 수 있었다.

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, p. 36, 1988.
[2] 横山效生, 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.

[3] 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.
[4] K. Ishino, et al., "Development of Magnetic Ferrite : Control and Application of Losses", Ame. Cer. Bull., Vol. 66, No. 10, p. 1469, 1985.
[5] 石野建, 度邊降志, 橋本康雄, "電磁波吸收體とその應用", 應用物理, Vol. 43, No. 11, 1974.
[6] 박상하, 김한근, 사공건, "Ferroxplana Y-type (Ni₂Y) 磁性 분체의 합성", 대한전기학회 하계 학술 대회 논문집, pp. 1140~1142, 1993.
[7] 김한근, "超高周波用 Ni-Zn 페라이트/고무 복합 形吸收體製作 및 電波吸收特性", 공학박사 학위논문, pp. 94~97, 1994.