

X-Band용 Sheet형 Sr Ferrite의 전자파흡수능에 관한 연구

김동일* · 신승재* · 문상현* · 송재만**

*한국해양대학교 전파공학과, **한국해양대학교 산업기술연구소

Study on EM Wave Absorbers Using Sr Ferrite in Sheet Type for X-Band

Dong Il Kim · Seung Jae Shin* · Sang Hyun Moon* · Jae-Man Song***

**Dept. of Radio Science & Eng, Korea Maritime University*

***Research Institute of Industrial Technology Korea Maritime University*

요 약 : 본 논문에서는 고성능 X-Band 용 전파 흡수체의 개발을 위해 복합형 Sr ferrite를 제작하고 이때 제작조건-제작온도, 카본 첨가량, 그리고 Sr ferrite 첨가량이 전자파흡수능에 미치는 영향을 조사하였다. 우수한 GHz 대용 전자파흡수를 개발하기 위해서는 적정량의 Sr 및 Carbon 첨가와 전자파흡수체의 제작온도를 제어하는 것이 중요하다.

핵심용어 : 전자파흡수체, Sr Ferrite, 제작온도, 카본 첨가량

ABSTRACT : *In this paper, we investigated the effects of preparation conditions such as preparation temperature, carbon amounts, and Sr ferrite amounts on the EM wave absorption properties for superior EM wave absorbers in X-band. We know that it is important to control the preparation temperature and reasonable amounts of a carbon and a Sr ferrite for preparing superior EM wave absorbers.*

KEY WORDS : beach processes, Electromagnetic wave absorber, Sr-Ferrite, Preparation temperature, carbon

1. 서 론

전자파 흡수체는 입사한 전자파를 흡수해서 열로 변환하여 반사파가 생기지 않게 하는 특수재료이다. 이러한 전자파흡수체는 전자암실용, TV의 고스트(gohst) 방지용 및 전자레인지(microwave oven)용 전자파흡수체를 비롯하여 핸드폰을 비롯한 통신 장비용 전자파흡수체에 이르기까지 각종 전자기기로부터 누설되는 전자파를 억제하는 용도로 활발히 이용되고 있다.

또한, 제 2차 세계대전 중 잠수함이나 비행기가 레이더에 탐지

선진국을 중심으로 활발히 행해져 Gulf 전쟁에서 Stealth 전투기와 같은 최신행전투기가 선을 보이기도 하였다. 이와 같이 전자파흡수체는 민생용에서 산업, 군사용에 이르기까지 그 응용범위가 광범위하여 많은 연구가 이루어지고 있으나 지금까지는 주로 Mn-Zn 페라이트나, Ni-Zn ferrite와 같은 spinel계 페라이트를 중심으로 연구개발이 이루어지고 있다.

그러나 최근 고주파대역에서의 전자·통신기기의 사용이 증가함에 따라 GHz 이상의 고주파 대역에서 전자파 장애대책에 관한 문제가 주요 관심사로 등장하고 있으며 이에 대한 대책이 시급한 실정이다. 위에서 언급한 Mn-Zn ferrite와 Ni-Zn ferrite와 같은

구조를 가지는 Sr ferrite와 Ba ferrite는 자연공명주파수에서 매우 큰 값을 가지므로 GHz 대역에서 우수한 전파흡수특성을 나타낼 것으로 기대된다. 또한 50 - 60 wt%의 Fe₂O₃를 포함하는 Mn-Zn와 Ni-Zn에 비하여 80 % 이상의 Fe₂O₃를 포함하는 Ba ferrite와 Sr ferrite가 가격 경쟁력에서도 우위를 점할 것으로 기대된다[1]. 따라서 본 연구에서는 지금까지 전파흡수체의 개발에 있어 주로 이용되어 오던 Soft ferrite 계열의 Mn-Zn ferrite와 Ni-Zn ferrite를 벗어나 Hard ferrite인 Sr ferrite를 이용하여 전파흡수체를 개발하는데 의의가 있다 하겠다.

이를 위해 본 연구에서는 Hard ferrite를 이용한 전파흡수체 개발의 기초적인 검토단계로 고성능 GHz 대용 전파 흡수체의 개발을 위해 복합형 Sr ferrite를 제작하고 이때 제작조건-제작온도, 카본 첨가량, Sr ferrite 첨가량등-이 전파흡수능에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 전파흡수체의 제작 및 측정

2.1 전파흡수체의 해석이론

분포 정수선로상의 임의의 위치에서의 전압과 V와 전류과 I로부터 특성 임피던스 Z(d)는 흡수체의 표면에서의 입력 임피던스로 유도 될 수 있으며, Z(d)를 흡수체 표면에서의 입력 임피던스 Z(d)를 구하면 (1)식과 같이 된다.

$$Z(d) = \frac{V(d)}{I(d)} \tag{1}$$

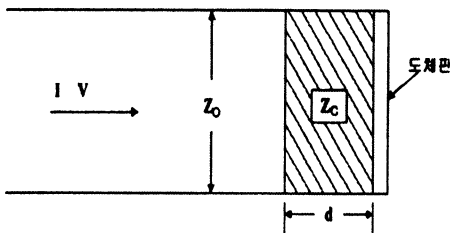


Fig. 1 Distributed line with a electromagnetic wave absorber.

Fig. 1과 같이 분포 정수선로상의 한 끝에 전파 흡수체를 설치한 경우, 흡수체 표면에서 흡수체 축의 입력 임피던스 Z는 식 (1)로부터

$$Z = Z_c \tanh Yd \tag{2}$$

로 되며, 여기서 Z_c는 흡수체 내부의 특성임피던스이다. 식 (2)를 Z₀와의 비율로 계산하여 Z를 규격화 시키면

또한 입력 임피던스 Z와 반사계수 Γ 사이에는

$$\Gamma = \frac{Z-1}{Z+1} \tag{4}$$

의 관계가 성립하므로 식 (3)과 식 (4)로부터 반사파 방지용 흡수벽의 조건은

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} d)} = 1 \tag{5}$$

와 같음을 알 수 있다. 따라서, 식 (5)을 만족하도록 흡수벽을 구성하면 된다.

Fig. 1에서 부하단을 개방시킨 경우의 규격화 입력 임피던스를 Z_s라 하고, 부하단을 단락시킨 경우의 규격화 입력 임피던스를 Z_o라고 하면 식 (1)로부터

$$\begin{aligned} Z_s &= Z_c \tanh Yd \\ Z_o &= Z_c \coth Yd \end{aligned} \tag{6}$$

로 되며 식 (6) 으로부터 Z_c는

$$Z_c = \sqrt{Z_s Z_o} \tag{7}$$

로 되며, 이로부터 ε_r과 μ_r을 유도하면

$$\begin{aligned} \epsilon_r &= -j \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\gamma}{Z_c} \\ \mu_r &= -j 2\pi Z_c \gamma \end{aligned} \tag{8}$$

와 같이 된다. 이 식을 이용하여 비유전율, 비투자율 곡선을 만들 수 있다.

반사계수와 감쇠량은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$\Gamma = S = \frac{Z - Z_o}{Z + Z_o} \tag{9}$$

$$a = -20 \log |S| \quad [dB] \tag{10}$$

2.2 전파흡수체의 제작

본 연구에서는 Fe₂O₃:Sr₂CO₃ = 82.1:17.9 wt%의 조성비를 갖는 Sr ferrite와 지지재인 실리콘고무를 각

조사하기 위해 Silicone rubber에 함유되는 Carbon 함유량을 3.2 wt%, 4.8 wt% 6.4 wt%로 변화시켰다. 또한 Sr ferrite 첨가량에 따른 전파흡수능을 조사하기 위해 32%의 Carbon이 함유된 Silicone rubber와 Sr ferrite의 조성비를 각각 60 wt% : 40 wt%, 70 wt% : 30 wt% , 80 wt% : 20 wt%로 제작하였다. 전파흡수체의 제작공정을 Fig. 2에 나타내었다.

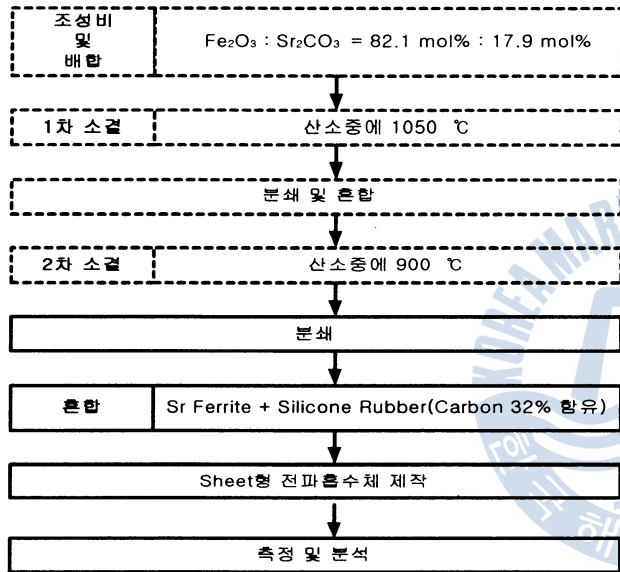
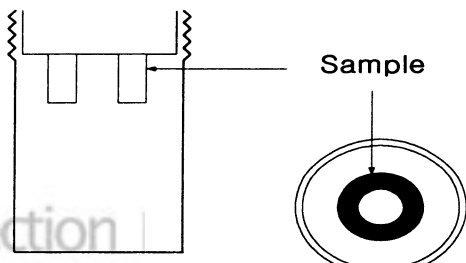
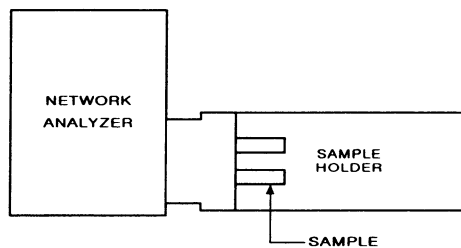


Fig. 2 Manufacturing Process of Sr-ferrite EM wave absorbers.

2.3 전파흡수체의 흡수능 측정



제작한 Sheet형 전파흡수체의 전파흡수능을 측정하기 위해 편지를 이용하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm, 두께 1 mm, 2 mm, 3 mm의 형상을 갖게 하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 반사계수 측정을 위해 사용한 Network analyzer와 Sample holder를 나타낸 것이다.

3. 전파흡수체의 미세구조 분석과 전파흡수능 평가

3.1 Sr ferrite의 첨가량에 따른 전파 흡수능 평가

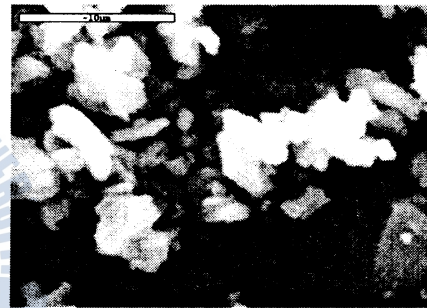
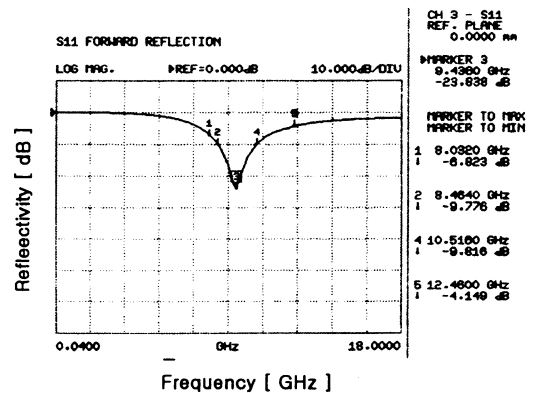
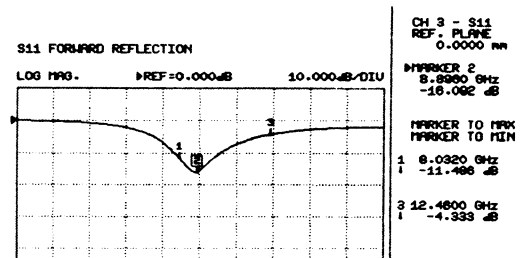


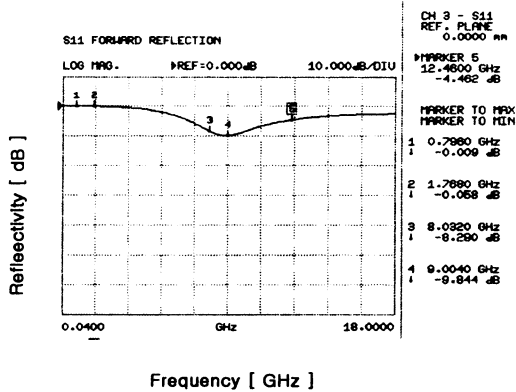
Fig. 5 Microstructure of Sr ferrite.

Fig. 5는 Sr ferrite의 미세구조를 나타낸 것으로 잘 알려진 바와 같이 침상의 구조를 하고 있음을 알 수 있다.



(a) Sr ferrite : Silicon rubber = 80 : 20 wt%





Frequency [GHz]

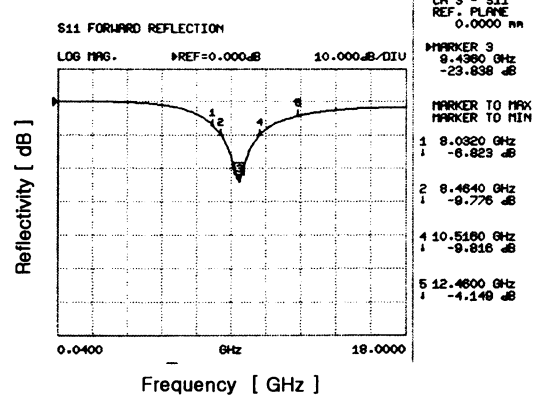
(c) Sr Ferrite : Silicon rubber = 60 : 40 wt%

Fig. 6 Reflectivity as a function of frequency for Sr ferrite EM wave absorber with the thickness of 2 mm.

Fig. 6은 두께가 2 mm인 Sr ferrite 전파흡수체의 Sr ferrite 함유량에 따른 전파흡수능의 변화를 나타낸 것으로 Sr ferrite와 Silicon rubber 조성비가 80 : 20 wt% 일때 약 9.4 GHz에서 23.9 dB의 우수한 전파흡수능을 보이고 있다. 이는 두께가 2 mm임을 고려하면 X-band용 전파흡수체로서 선박용 레이더 등의 실질적인 응용이 기대된다. Fig. 6의 (a), (b), 그리고 (c)에서 나타낸 바와 같이 Sr ferrite의 첨가량이 감소함에 따라 정합 주파수에서 전파흡수능이 감소하고 있는데 이는 자성손실제인 Sr ferrite의 첨가량이 감소하기 때문이라고 생각된다.

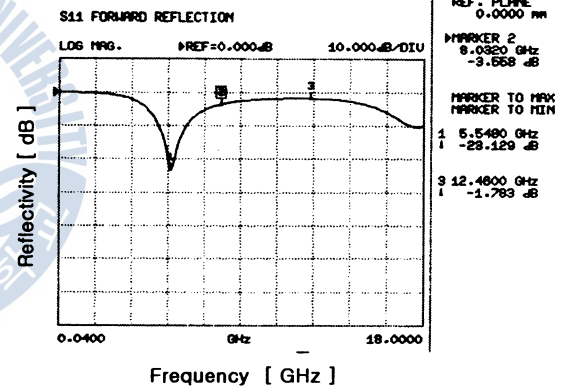
3.2 흡수체의 두께 변화에 따른 전파흡수능 평가

그림 7은 시편의 두께 변화에 따른 전파 흡수능을 나타내는 것으로 두께가 증가함에 따라 정합주파수가 저주파쪽으로 이동하며 두께가 2 mm일 때 9.5 GHz에서 24 dB의 우수한 전파흡수능을 나타내고 있다.



Frequency [GHz]

(b) 시편두께 2 mm



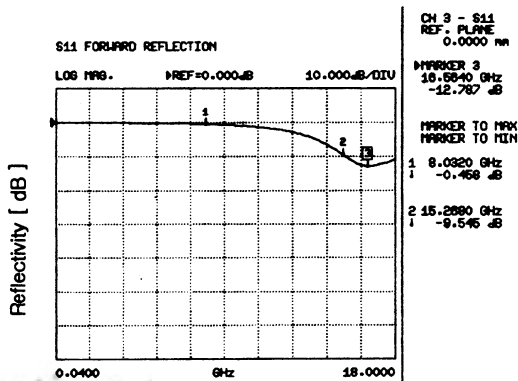
Frequency [GHz]

(c) 시편두께 3 mm

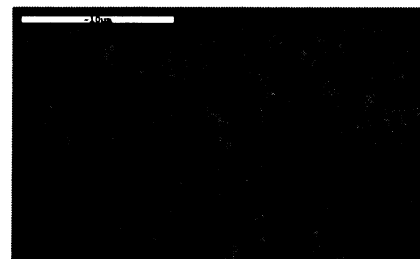
Fig. 7 Reflectivity as a function of frequency for samples with composition of Sr ferrite : Silicon rubber : Carbon = 80 : 12.8 : 7.2 wt% which are different thickness of (a) 1, (b) 2, and (c) 3 mm, respectively.

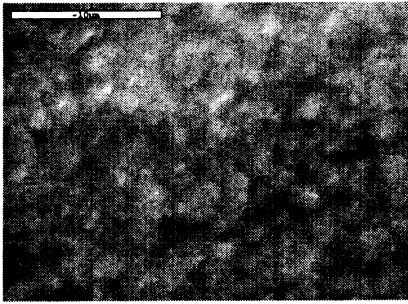
3.3 카본 첨가량 변화에 따른 미세구조 분석 및 전파흡수능 평가

(1) 미세구조 관찰

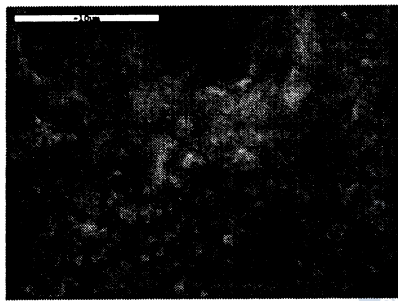


Frequency [GHz]





(b) Sr ferrite : Silicon rubber : Carbon = 80 : 16.8 : 4.8 wt%



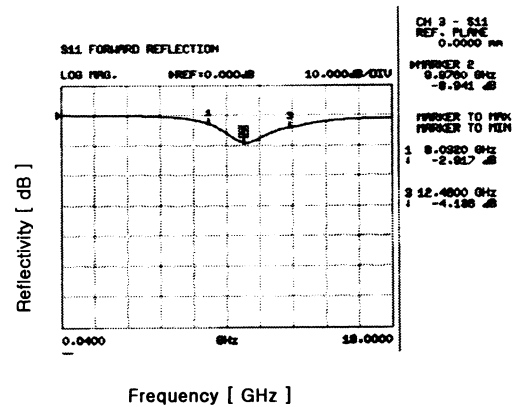
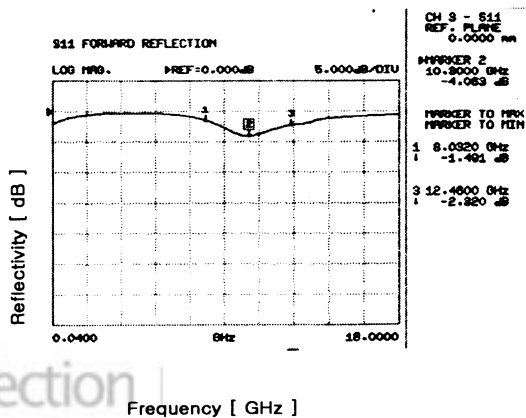
(c) Sr ferrite : Silicon rubber : Carbon = 80 : 12.8 : 7.2 wt%

Fig. 8 Surface of specimens prepared at the different of carbon amounts.

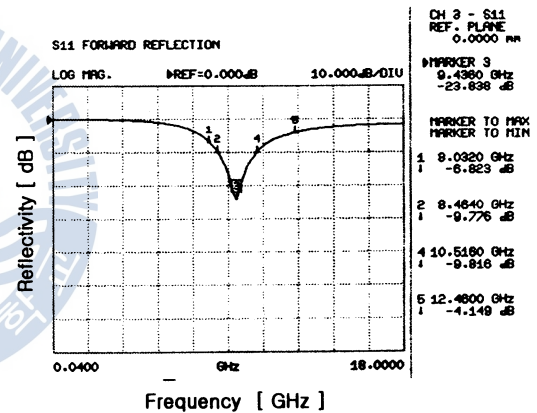
Fig. 8 은 시편의 표면을 SEM (Scanning Electron micrograph)을 사용하여 관찰한 사진으로 모든 시편이 지지재와 잘 결합되어 있음을 알 수 있다.

(2) 전파 흡수능 평가

아래 Fig. 9는 carbon 첨가량 변화에 따른 Sr Ferrite 의 전파흡수능을 나타낸 것이다.



(b) Sr Ferrite : Silicon : carbon = 80 : 15. 2 : 4.8 wt%



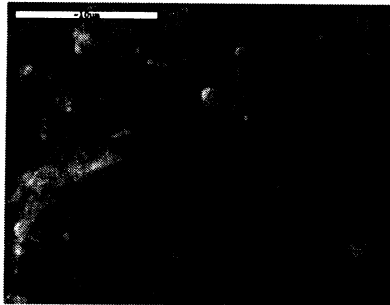
(c) Sr Ferrite : Silicon : Carbon = 80 : 12. 8 : 7.2 wt%

Fig 9 Reflectivity as a function of frequency for a samples with a thickness of 2 mm which are different carbon amounts (a) 3.2, (b) 4.8, and (c) 7.2 wt%.

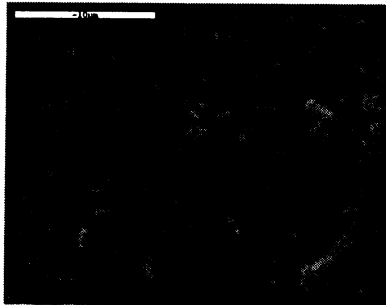
Fig. 9는 카본의 첨가량 변화에 따른 전파흡수능의 변화를 나타내는 것으로 3.2 wt%의 carbon 이 함유된 silicon rubber를 지지재로 사용한 경우 정합 주파수는 10.53 GHz에서 4.06 dB의 흡수능을 가지며 4.8 wt%의 Carbon 이 함유된 Silicon rubber를 지지재로 한 Sr ferrite는 9.97 GHz에서 8.94 dB, 7.2 wt%의 Carbon을 지지재로 한 Sr ferrite에서는 9.43 GHz에서 23.838 dB의 흡수능을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 Carbon의 양이 증가함에 따라 정합주파수가 증가하고 이때 전파흡수능도 증가하고 있음을 알 수 있다.

3.4 시편의 제작온도 변화에 따른 미세구조 분석 및 전파흡수능평가

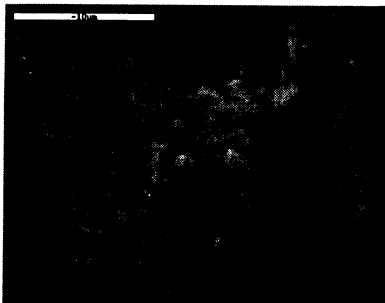
micrograph)을 사용하여 관찰한 사진으로 시편 제작온도가 변함에도 불구하고 지지재와 잘 결합되어 있음을 알 수 있다.



(a) 30 °C



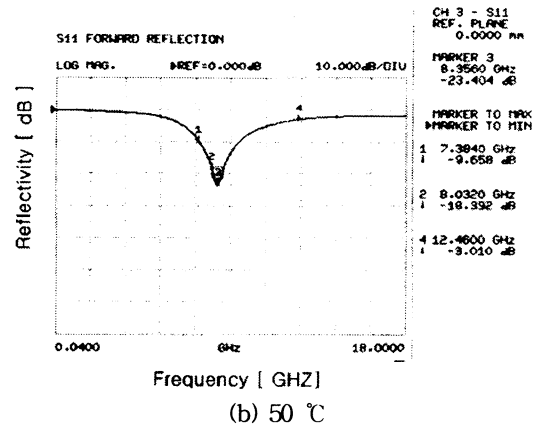
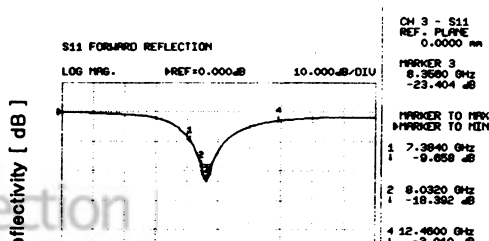
(b) 50 °C



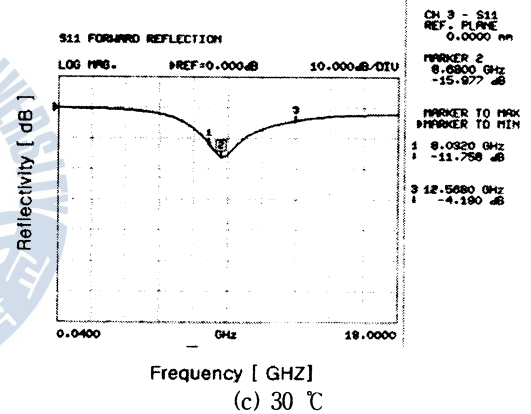
(c) 70 °C

Fig. 10 Surface of specimens prepared at 30 °C, 50 °C, and 70 °C.

(2) 전파흡수능의 평가



(b) 50 °C



(c) 30 °C

Fig. 11 Reflectivity as a function of frequency for samples with the thickness of 2 mm which are prepared at different temperatures of (a) 70 °C, (b) 50 °C, and (c) 30 °C.

Fig. 11은 시편의 제작 온도 변화에 따른 전파흡수능을 나타내는 것으로 Carbon 이 32 wt% 함유된 Silicon rubber를 지지재로 사용하여 Sr ferrite와 Silicon rubber의 조성비가 80 wt% : 20 wt% 일 때 제작 온도 변화에 따른 정합 주파수와 그에 대한 전파 흡수능을 나타낸 것으로 제작 온도가 30 °C 일때 정합 주파수는 8.68 GHz에서 15.97 dB의 흡수능을 가지며 제작온도가 50 °C 일때 정합 주파수는 8.35 GHz에서 23.404 dB, 그리고 70 °C 일때 9.436 GHz에서 23.838 dB,의 흡수능을 가진다. 이는 제작온도가 증가함에 따라 정합주파수는 변화하지 않으며 전파흡수능은 50 °C 이상에서 일정함을 보이고 있다. 그러므로 Sr ferrite 전파흡수체의 제작시 우수한 전파흡수능을 갖기 위해서는 온도가 함께

4. 결 론

본 논문에서는 고성능 GHz 용 전파 흡수체의 개발을 위해 Sr ferrite 그리고 Carbon이 함유된 Silicon rubber를 지지재로 이용하여 시편의 두께 와 제작온도 그리고 Silicon rubber에 함유되는 Carbon의 양과 Sr ferrite의 양이 변화함에 따라 전파흡수능에 미치는 영향 및 특성을 조사하여 다음과 같은 사실을 알았다.

Sr ferrite와 Carbon이 함유된 Silicon rubber의 조성비가 80 wt% : 20 wt%일때 제작된 시편의 두께가 변화함에 따라 정합 주파수와 전파흡수능이 변화하였다. 지지재로 사용된 Silicon rubber에 함유된 Carbon 양에 관계없이 정합주파수는 약 9.5 GHz 이었고, 전파흡수능은 Carbon이 6.4 wt%일 때 가장 우수한 특성을 나타내었다. 따라서 Sr ferrite를 이용하여 GHz 대역에서 우수한 전파 흡수체를 제작하기 위해서는 적정량의 Carbon과 흡수체 제작온도를 고려하는 것이 중요하다.

향후 과제로는 지지재인 Silicon rubber에 함유되는 Carbon 첨가량과 Sr ferrite 첨가량 변화에 따라 제작된 Sr ferrite 전파 흡수체의 유전손실, 자성손실을 나타내는 유전율과 투자율을 조사하고, 도전손실을 조사하고자 한다.

- 사 사 -

본 연구는 대학 IT연구센터인 충남대학교
전자파환경기술연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] A. VERMA,R.G.MENDIRATTA,TC.GOEL&D.C.DUBE
Journal of Electroceramics. 8. 03-208. 2002 "Microwave Studies on Strontium Ferrite Based Absorbers "
- [2] 김 동일, "레이다용 고성능 전파흡수체의 개발" 90년 전기통신학술 연구과제 최종 연구 고서 [체신부, 한국전기통신공사 후원]
- [3] 김 동일, 정세모 외 , "카아본-페라이트 전파흡수체의 특성", 대한 전자공학회 논문지, 제 26권 제 1호 (1989. 11)
- [4] "Materials Measurement Package"Wiltron 기술자료
- [5] 김동일, 박연준, 김하근, 사공건(1999), "복합형 등방성 Ferrite-Rubber Composite의 전자파 흡수특성에 관한 연

Composite의 전파흡수특성에 관한 연구" 한국항해학회지 제23권 제1호, pp.15~22,

- [8] 정재우, 이완재(1995), "Cu-Ni-Zn 페라이트의 미세조직과 전자파 흡수 특성" 한국재료학회지 Vol. 5, No. 5.
- [9] Dong Il Kim, Jae Young Bae, June Young Son, Young Soo Won, Jae Man Song(2001), "A Study on Fabrication and Evaluation of Ferrite Electromagnetic Wave Absorber" JOURNAL OF THE KOREA ELECTRO MAGNETIC ENGINEERING SOCIETY, VOL. 1, NO.1, MAY.
- [10] Y. Natio(1987), 電波吸收体, 오음社, 1987
- [11] David M. Pozar, "초고주파공학" 대영사 1998. pp. 77 ~ pp. 135
- [12] 김 동일, 안 영섭, 정 세모, "레이다용 광대역형 고성능 전파흡수체의 개발에 관한 연구" 한국 항해학회지, 제 15권 제 1호 (1991. 3)

