

GHz 대역용 전파흡수체의 개발

문상현* · 신승재* · 김동일* · 송재만** · 최정현* · 김기만*

*한국해양대학교 전파공학과, **한국해양대학교 산업기술연구소

Development of EM Wave Absorbers for GHz Frequency

Sang Hyun Moon* · Seung Jae Shin* · Dong Il Kim* · Jae Man Song** · Jeong Hyun Choi* · Ki Man Kim*

*Dept. of Radio Sciences & Eng. Korea Maritime Univ.

**Research Institute of Industrial Technology Korea Maritime Univ.

요 약 : 폐 처리된 Ba, Sr 페라이트를 사용하여 GHz 대역용 전파흡수체를 개발하였다. 도전 손실재인 카본의 첨가에 따른 전파흡수능의 변화와 시편의 두께 그리고 시편 제작시 제작온도 변화에 따른 전파흡수능의 변화를 조사하였다. 이와 같은 실험을 통하여 GHz 대역용 Ba, Sr 페라이트 전파흡수체를 개발하는데 있어 카본의 첨가가 매우 유효함을 알았으며, 시편의 제작온도 또한 우수한 전파흡수체를 개발하는데 있어 반드시 고려되어야 함을 밝혔다. 이와 같은 실험을 실시하여 20dB 이상의 전파흡수체를 개발 할 수 있었다.

핵심용어 : 바륨 페라이트, 스트로튬륨 페라이트, 전파흡수체, 카본, 제작온도, 재활용된 페라이트

ABSTRACT : We prepared EM wave absorbers by using recycled Ba and Sr ferrites for GHz frequency, and investigated the effects of carbon additions, thickness and preparation temperatures on their EM wave absorption properties. We clarified that it is very important to consider carbon amounts in Ba and Sr ferrites and preparation temperature for Ba and Sr ferrite EM wave absorbers with high quality. In this study, the developed a EM Wave absorber satisfying over 20 dB.

KEY WORDS : Ba ferrite, Sr ferrite, EM Wave absorber, Carbon, Preparation temperature, Recycled ferrite.

1. 서 론

현대과학의 눈부신 발전은 전기·전자기기의 고주파화, 소형화, 디지털화, 콤팩트화를 이끌었으며 이로 인해 인류는 매우 편리한 생활을 영위하고 있다. 그러나 이와 같은 현대과학의 고도 성장과 함께 이들 첨단화된 전자기기에서 방사되는 전자파가 전자기기 상호간 또는 인체에 악영향을 준다는 연구결과가 발표되면서 이를 해결하고자 하는 노력이 많은 연구자들에 의해 이루어지고 있다. 전자파 장해문제를 해결하기 위해서는 외부에서 들어오는 불필요한 전자파를 흡수하여 열로 변환하는 전파흡수체의 개발이 매우 효과적이다. 이러한 전파흡수체는 주파수의 특성이 매우 커서 사용하고자 하는 주파수대역에서 자기적, 전기적, 그리고 유전손실이 큰 재료를 이용하거나 이들을 혼합

하여 최대의 손실특성을 나타내는 재료를 만드는 기술 개발이 필요하다.

이와 같은 연구개발은 전기적 손실이나 유전적 손실에 비해 자성손실이 크기 때문에 주로 자성재료를 기초로 하여 이루어지고 있다^{[1]-[4]}. 자성재료 중에서도 지금까지는 소프트 페라이트인 Mn-Zn 페라이트와 Ni-Zn 페라이트가 MHz 대역을 커버하는 주요 자성손실재로 연구의 대상이 되어 왔다. 그러나 GHz 대역에서 소프트 페라이트는 자기적 손실의 급격한 감소로 인해 우수한 전파흡수체로서의 기능을 나타내지 못한다. 그러나 Ba 페라이트나 Sr 페라이트와 같은 Hard 페라이트는 자기이방성이 매우 커 Ni-Zn, Mn-Zn 페라이트에 비해 훨씬 높은 이론적으로는 약 50 GHz에서 공명주파수를 나타내어 mm 파 대역의 흡수체 재료로 주목받는 재료이다. 이와 같이 고주파에서 자기적 손실이 증가하는 성질을 이용하여 최근 Satoshi^[5] 등은 Ba 페라이트를 GHz 대역에서 유효한 전파흡수체로서 개발을 위해 연구하여 Ti와 Mn의 첨가에 따라 정합주파수의 제어와 함께 우수한 전파흡수능을 나타내는 Ba 페라이트

*대표저자: 김 동 일

**통신회원, dikim@hanara.kmaritime.ac.kr 051) 410-4932

**통신회원, songjm97@hanara.kmaritime.ac.kr 051) 410-4785

트 전파흡수체를 개발하였다. 그 후 매우 최근에 A. Verma^[6] 등은 최초로 Sr 페라이트를 기초로 하여 GHz 대역에서 전파 흡수 기능을 갖게 하기 위해 Sr 페라이트에 Co와 Ti를 첨가하여 두께 3 mm의 전파흡수체를 개발하여 11.5 GHz에서 $\text{SrCo}_{0.3}\text{Ti}_{0.3}\text{Fe}_{1.4}\text{O}_{19}$ 일 때 최대 -36.5 dB의 특성을 나타냄을 보고하였다.

전자기기의 급격한 고주파화 추세를 감안하면 이와 같은 GHz 대역용 전파흡수체의 개발에 관한 연구는 매우 중요하다. 그러나 아직까지는 Sr 페라이트나 Ba 페라이트에 Ti나 Co와 같은 첨가제를 첨가하여 소결하고 이때 자기이방성의 변화에 따른 전파흡수능의 개선을 꾀하는 연구에 치우쳐 있어 보다 다양한 각도에서의 연구개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 환경 개선을 고려하여 폐처리된 Ba과 Sr 페라이트를 이용하여 복합형 전파흡수체를 제작하였다. 이때 바인더와 혼합할 때 도전 손실체인 카본을 첨가하여 전파흡수능의 개선을 꾀하였으며 시편의 제작온도에 따른 전파흡수체의 전파흡수능도 함께 연구하였다. 본 연구는 환경적인 측면을 고려하여 폐처리된 Ba과 Sr 페라이트를 이용하여 우수한 GHz 대역용 전파흡수체를 개발하였다는데 그 의의가 크다 하겠다.

그리고 GHz 대역용 Ba, Sr 페라이트 전파흡수체를 개발하는데 있어 카본의 첨가가 매우 유효함을 알았으며, 시편의 제작 온도 또한 우수한 전파흡수체를 개발하는데 있어 반드시 고려되어야 함을 밝혔다. 이와 같은 실험을 실시하여 20dB 이상의 전파흡수체를 개발 할 수 있었다.

2. 시편제작 및 측정

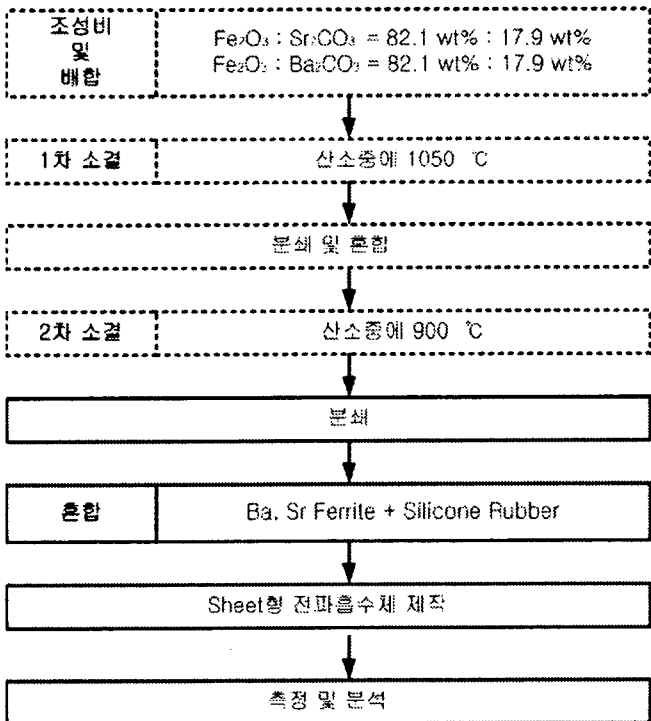


Fig. 1 Manufacturing Process of Ba, Sr Ferrite EM wave absorbers.

본 연구에서는 $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Ba}_2\text{CO}_3 = 82.1 : 17.9 \text{ wt}\%$ 와 $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Sr}_2\text{CO}_3 = 82.1 : 17.9 \text{ wt}\%$ 의 조성비를 갖는 폐처리된 Ba ferrite와 Sr ferrite를 Vibration mill을 이용하여 분쇄한 후 지지체인 실리콘 고무와 혼합하여 Open roller를 이용하여 Sheet형 전파흡수체를 제작하였다. 이때 도전손실을 이용하여 전파흡수능을 개선하기 위해 카본을 적정량 첨가하였다. 또한 시편을 제작하는데 있어 시편제작 온도변화에 따른 전파흡수능을 조사하기 위해 20~30 °C, 50~55 °C, 70 °C로 Open roller의 표면온도를 제어하면서 시편을 제작하였다.

그림 1에는 이와 같은 시편의 제작 공정을 나타내었다. 이렇게 제작한 전파흡수체는 그림 2에 나타난 측정시스템을 이용하여 측정하였다.

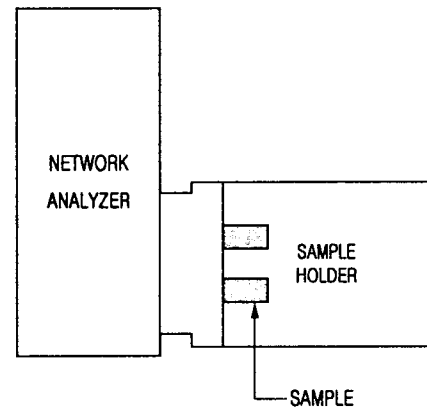


Fig. 2 Reflection coefficient measurement system.

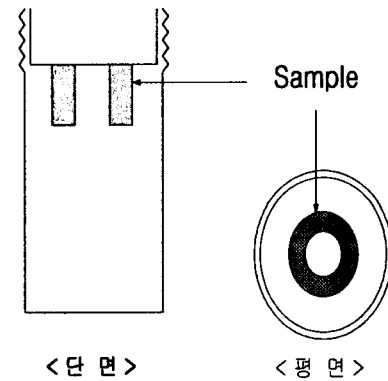


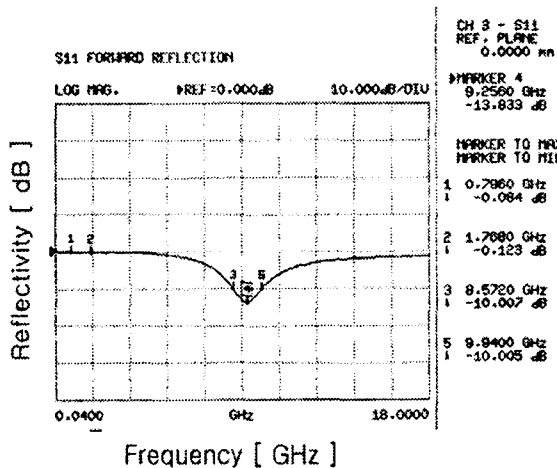
Fig. 3 Sample holder.

제작한 Sheet형 전파흡수체의 전파흡수능을 측정하기 위해 펀치를 이용하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm, 두께 1 mm, 2 mm, 3 mm의 형상을 갖게 하였다. 그림 2와 3은 반사계수 측정을 위해 사용한 Network analyzer와 Sample holder를 나타낸 것이다.

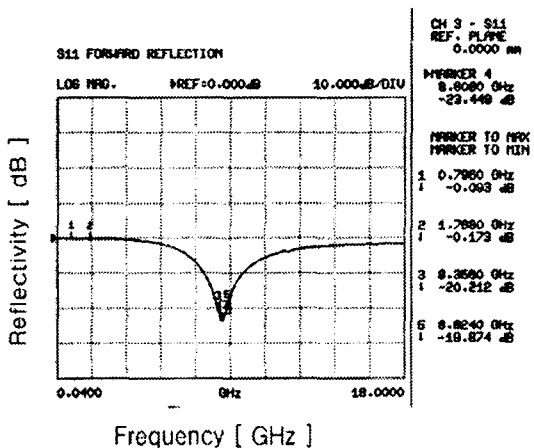
3. 결과 및 고찰

그림 4는 Ba 페라이트와 Sr 페라이트를 자성손실체로 하여 제작한 두께 2 mm인 전파흡수체에 대하여 카본 첨가량

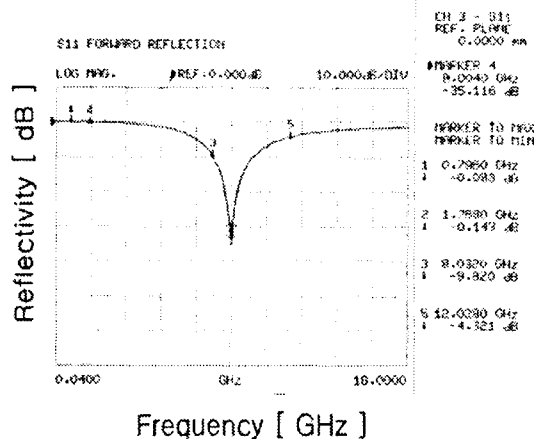
변화에 따른 주파수를 함수로 하는 전파흡수능을 나타낸 것으로 X-band 범위에서 Ba 페라이트를 이용한 전파흡수체는 최대 -35 dB의 전파흡수능을 나타내며 그리고 Sr 페라이트를 이용한 전파흡수체는 -29.04 dB의 전파흡수능을 나타냄을 보이고 있다.



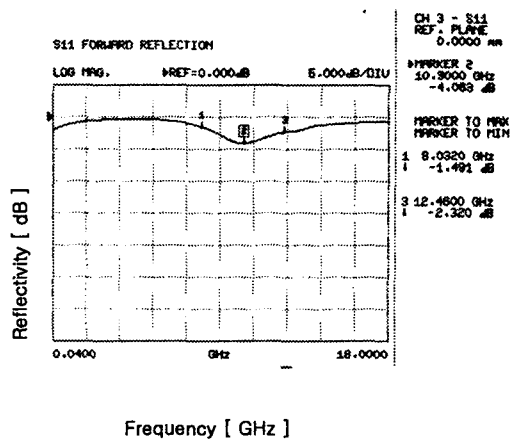
(a) Ba ferrite : Silicone rubber : Carbon = 85 : 10.2 : 4.8 wt%



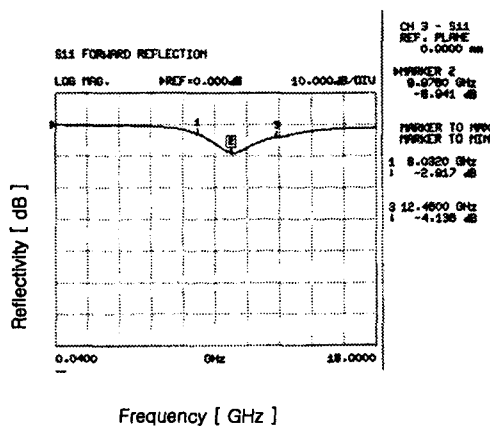
(b) Ba ferrite : Silicone rubber : Carbon = 80 : 13.6 : 6.4 wt%



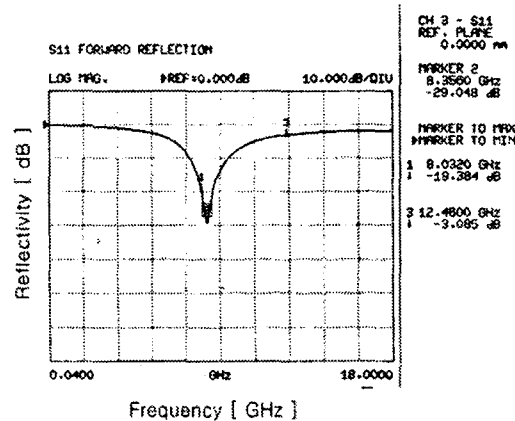
(c) Ba ferrite : Silicone rubber : Carbon = 70 : 20.4 : 9.6 wt%



(d) Sr ferrite : Silicone rubber : carbon = 80 : 16.8 : 3.2 wt%



(e) Sr ferrite : Silicone rubber : carbon = 80 : 15.2 : 4.8 wt%

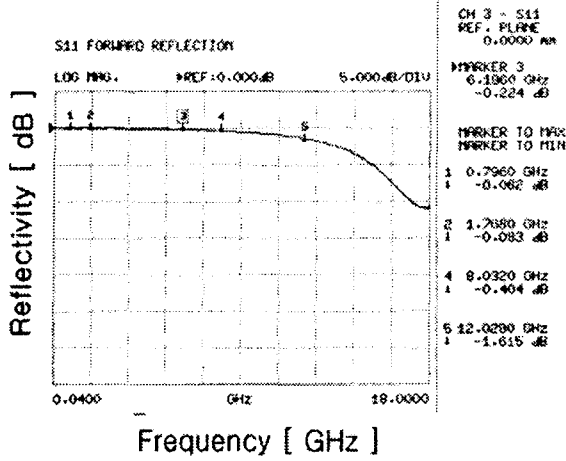


(f) Sr ferrite : Silicone rubber : Carbon = 80 : 13.6 : 6.4 wt%

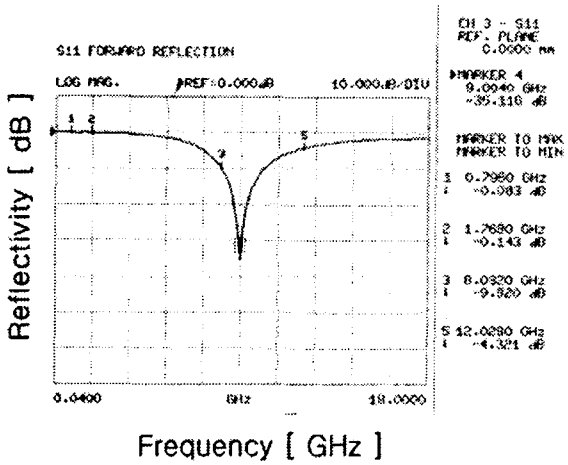
Fig. 4 Reflectivity as a function of frequency for samples of 2 mm prepared by using Ba ferrites and Sr ferrites

이와 같은 사실로 볼 때 도전손실재인 카본의 첨가량에 따라 도전손실이 증가하여 Ba와 Sr 페라이트 전체의 손실을 증가시켰기 때문이라고 생각한다. 따라서 Ba와 Sr 페라이트를 이용한 GHz용 전파흡수체를 개발하기 위해서는 적

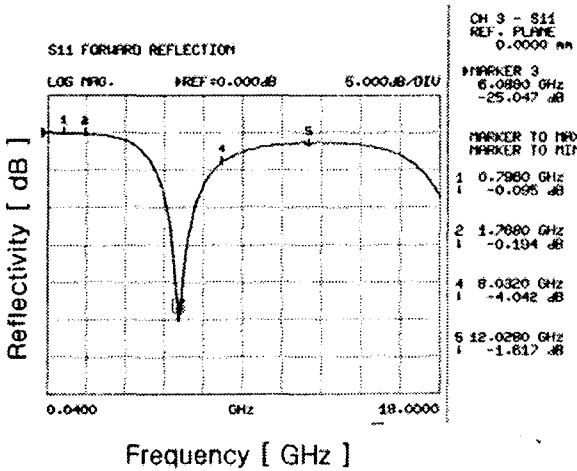
정량의 카본첨가가 매우 효과적임을 알 수 있다



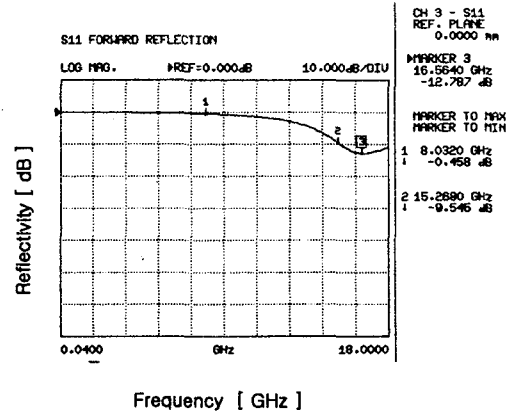
(a) 1 mm (Ba ferrite)



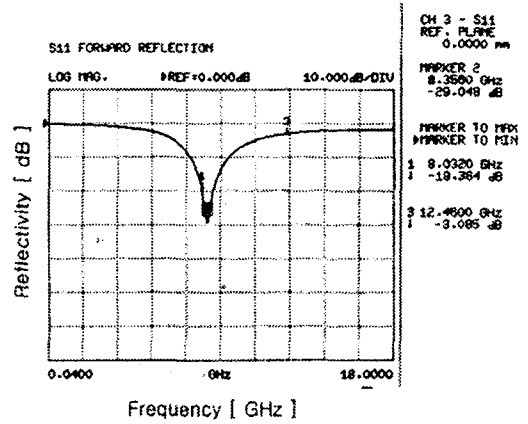
(b) 2 mm (Ba ferrite)



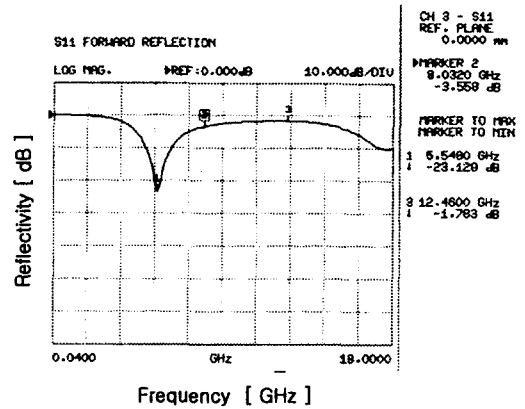
(c) 3 mm (Ba ferrite)



(d) 1 mm (Sr ferrite)



(e) 2 mm (Sr ferrite)



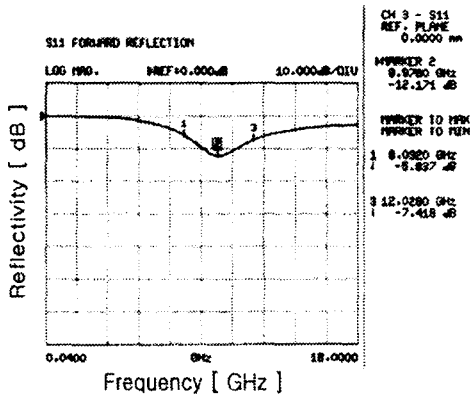
(f) 3 mm (Sr ferrite)

Fig. 5 Reflectivity as a function of frequency for samples with a composition of Ba ferrite : Silicone rubber : Carbon = 70 : 20.4 : 9.6 wt%(a~c) and Sr ferrite : Silicone rubber : Carbon = 80 : 12.8 : 7.2 wt%(d~f) with different thickness.

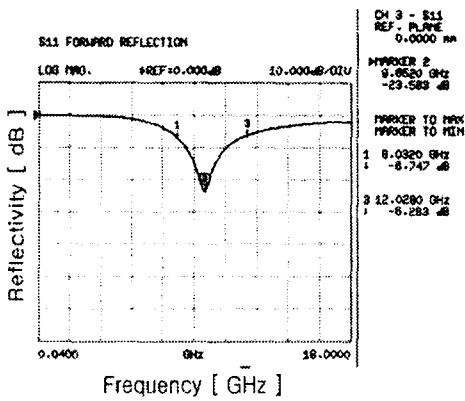
그림 5는 Ba 페라이트 : Silicone rubber : Carbon = 70 : 20.4 : 9.6 wt%와 Sr 페라이트 : Silicone rubber : Carbon =

80 : 12.8 : 7.2 wt%의 조성비를 갖는 시편의 두께 변화에 따른 주파수를 함수로 하는 전파흡수능을 나타낸 것이다. 이는 두께가 증가함에 따라 아래 관계식에서 나타내는 바와 같이 정합주파수가 저주파로 이동하는 전형적인 전파흡수체의 특성과 일치하고 있다 [7].

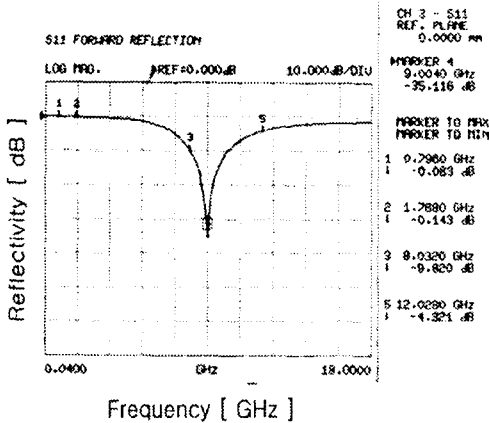
$$d = \frac{c}{2\pi\mu_r f}$$



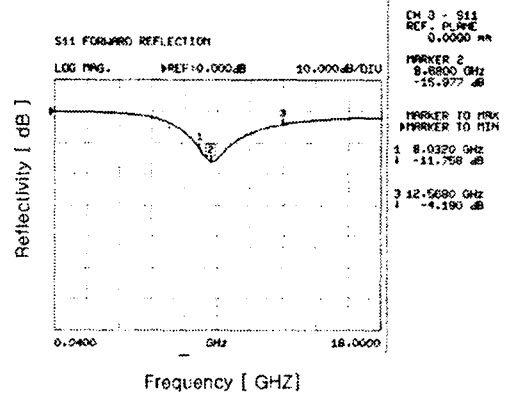
(a) 25 °C (Ba ferrite)



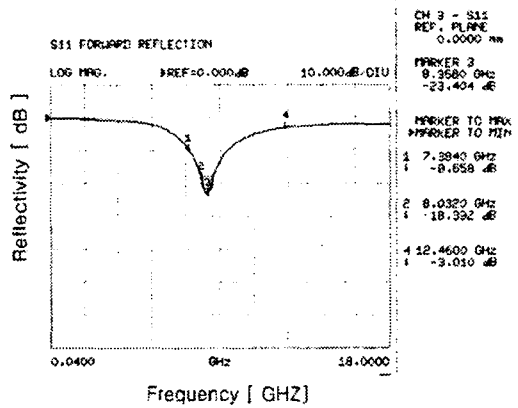
(b) 50 °C (Ba ferrite)



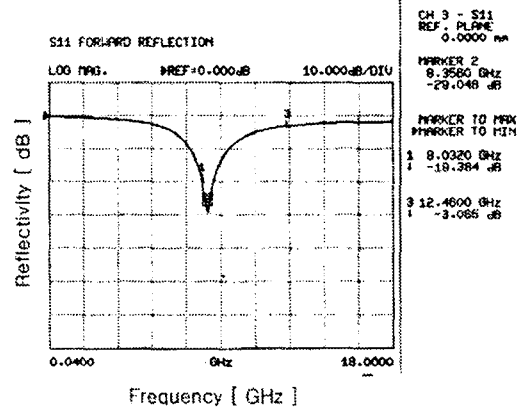
(c) 70 °C (Ba ferrite)



(d) 25 °C (Sr ferrite)



(e) 50 °C (Sr ferrite)



(f) 70 °C (Sr ferrite)

Fig. 6 Reflectivity as a function of frequency for samples with the thickness of 2 mm which are prepared at different temperatures of (a) 25 °C, (b) 50 °C, and (c) 70 °C

그림 6은 시편의 제작온도 변화에 따른 전파흡수능을 주파수를 함수로 나타낸 것으로 같은 조성을 갖는 시편일지라도 제작온도가 변화하면 전파흡수능이 크게 변화함을 보이고 있다. 이는 시편의 제작온도 변화에 따라 지지체인 실리콘 고무

와 페라이트 그리고 카본의 혼합상이 변화하기 때문으로 생각하며 앞으로 이를 명확히 설명하기 위해 연구를 계속할 것이다. 이와 같은 실험을 통해 우수한 전파흡수체를 개발함에 있어 시편의 제작온도가 반드시 고려되어야 함을 알 수 있다

5. 결 론

본 연구에서는 GHz 대역용 전파흡수체를 개발하는데 있어 이제까지 전파흡수체의 자성재료로 이용되어 오던 Mn-Zn 페라이트나 Ni-Zn 페라이트와 같은 소프트 페라이트 재료를 벗어나 자연공명 주파수에서 자기적 손실이 증가하는 Hard 페라이트인 Ba와 Sr 페라이트를 이용하였다. 특히 본 연구에서는 자연환경 보호측면을 고려하여 폐처리된 Ba와 Sr 페라이트를 이용하여 GHz 대역용 전파흡수체를 개발하고자 하였으며 다음과 같은 연구 결과를 얻었다.

페 코어를 분쇄한 후 바인더와 혼합할 때 도전손실재인 카본을 첨가하는 비교적 간단한 제조방법으로 우수한 GHz 대역용 전파흡수체를 개발하였다. GHz 대역용 Ba와 Sr 페라이트 전파흡수체를 개발하는데 있어 카본의 첨가가 전파흡수능 개선에 매우 유효함을 알았으며, 시편 제작온도 또한 우수한 전파흡수체를 개발하는데 있어 반드시 고려되어야 함을 밝혔다. 이와 같은 실험을 통해 Ba 페라이트 : Silicone rubber : Carbon = 70 : 20.4 : 9.6 wt%와 Sr 페라이트 : Silicone rubber : Carbon = 80 : 12.8 : 7.2 wt% 시편을 70℃에서 제작하여 두께 2, 3 mm인 매우 얇은 시편에 대하여 각각 20 dB 이상의 매우 우수한 전파흡수체를 개발하였다.

후 기

본 과제는 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역전략산업 석박사 연구인력 양성사업의 연구와 ITRC에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] Dong Il Kim, June Young Son, Young Su Won, Dong Woo Ku, Ki Man Kim, Jae Man Song and Byung Deok Bae, "A Study on Broadband Design of EM Wave Absorber for Anechoic Chamber", *Journal of The Korean Electromagnetic Engineering Society*, vol. 2, no. 1, pp. 16-21, 2002.
- [2] Dong Il Kim, Jae Young Bae, Jun Yong Son, Yo-ung Su Won and Jae Man Song, "A Study on Fabrication and Evaluation of Ferrite Wave Absorber", *Journal of The Korean Electromagnetic Engineering Society*, vol. 1 no. 1, pp. 95-99, 2001.
- [3] Dong Il Kim, Su Joung Kim and Jae Man Song, "Dependence of Preparation Temperature of the Microwave Absorber Preparation in Absorber for Mobile Phone", *Journal of The Korean Physical Society*, vol. 43 no. 2, pp. 269-272, 2003.
- [4] Dong Han Choi, Dong Il Kim and Jae Man Song, "Dependence of Electromagnetic Wave Absorption Properties on Binders", *Journal of The Korean Physical Society*, vol. 42, no. 6, pp. 799- 802, 2003.
- [5] Satoshi Sugimoto, Katsumi Okayama, Sin-ichi Kondo, Hiroyasu Ota, Masafumi Kimura, Yoshiyuki Yoshida, Hajime Nakamura, David Book, Toshio Kagotani and Motofumi Homma, "Barium M-type Ferrite as an Electromagnetic Microwave Absorber in the GHz Range", *Journal of Materials Transactions, JIM*, vol. 39, no. 10, pp. 1080-1083, 1998.
- [6] A. Verma, R. G. Mendiratta, T. C. Goel and D. C. Dube, "Microwave Studies on Strontium Ferrite Based absorbers", *Journal of Electroceramics*, vol. 8, pp. 203-208, 2002.
- [7] H. Naito, *Electromagnetic Wave Absorbers*, New Ohm, Tokyo, 1987.