

# GHz 대역용 복합형 Ba 페라이트 전파흡수체의 개발

## Development of Composite Ba Ferrite EM Wave Absorbers for GHz Frequency

문상현 · 신승재 · 송재만\* · 김동일 · 김기만

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

### 요 약

폐 처리된 Ba 페라이트를 사용하여 GHz 대역용 전파흡수체를 개발하였다. 도전 손실재인 카본의 첨가에 따른 전파흡수능의 변화와 시편 제작시 제작온도 변화에 따른 전파흡수능의 변화를 조사하였다. 이와 같은 실험을 통하여 GHz 대역용 Ba 페라이트 전파흡수체를 개발하는데 있어 카본의 첨가가 매우 유효함을 알았으며, 시편의 제작온도 또한 우수한 전파흡수체를 개발하는데 있어 반드시 고려되어야 함을 밝혔다.

### Abstract

We prepared EM wave absorbers by using recycled Ba ferrite for GHz frequency, and investigated the effects of carbon additions and preparation temperatures on their EM wave absorption properties. We clarified that it is very important to consider carbon amounts in Ba ferrite and preparation temperature for Ba ferrite EM wave absorbers with high quality.

Key words : Ba Ferrite, EM Wave Absorber, Carbon, Preparation Temperature, Recycled Ferrite

### I. 서 론

현대과학의 눈부신 발전은 전기·전자기기의 고주파화, 소형화, 디지털화, 컴팩트화를 이끌었으며 이로 인해 인류는 매우 편리한 생활을 영위하고 있다. 그러나 이와 같은 현대과학의 고도성장과 함께 이들 첨단화된 전자기기에서 방사되는 전자파가 전자기기 상호간 또는 인체에 악영향을 준다는 연구결과가 발표되면서 이를 해결하고자 하는 노력이 많은 연구자들에 의해 이루어지고 있다. 전자파 장애문제를 해결하기 위해서는 외부에서 들어오는 불필요한 전자파를 흡수하여 열로 변환하는 전파흡수체의 개발이 매우 효과적이다. 이러한 전파흡수체는 주파수의존 특성이 매우 커서 사용하고자 하는 주파수대역

에서 자기적, 전기적, 그리고 유전손실이 큰 재료를 이용하거나 이들을 혼합하여 최대의 손실특성을 나타내는 재료를 만드는 기술 개발이 필요하다.

이와 같은 연구개발은 전기적 손실이나 유전손실에 비해 자성손실이 크기 때문에 주로 자성재료를 기초로 하여 이루어지고 있다<sup>[1]-[4]</sup>. 자성재료 중에서도 지금까지는 '소프트 페라이트인 Mn-Zn 페라이트와 Ni-Zn 페라이트가 MHz 대역을 커버하는 주요 자성손실재료 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 이론적으

「이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2003-005-D0005)에 의하여 연구되었음. 또한 ITRC에 의해서도 일부 지원되었음.」  
한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University)

\*한국해양대학교 산업기술연구소(Research Institute of Industrial Technology, Korea Maritime University)

· 논문 번호 : 20031017-140

· 수정완료일자 : 2003년 11월 26일

로는 약 50 GHz에서 공명주파수를 나타내어 mm파 대역의 흡수체 재료로 주목받는 재료이다. 이와 같이 고주파에서 자기적 손실이 증가하는 성질을 이용하여 최근 Satoshi<sup>[5]</sup> 등은 Ba 페라이트를 GHz 대역에서 유효한 전파흡수체로서 개발을 위해 연구하여 Ti와 Mn의 첨가에 따라 정합주파수의 제어와 함께 우수한 전파흡수능을 나타내는 Ba 페라이트 전파흡수체를 개발하였다. 그 후 매우 최근에 A. Verma<sup>[6]</sup> 등은 최초로 Sr 페라이트를 기초로 하여 GHz 대역에서 전파흡수 기능을 갖게 하기 위해 Sr 페라이트에 Co와 Ti를 첨가하여 두께 3 mm의 전파흡수체를 개발하여 11.5 GHz에서  $\text{SrCo}_{0.3}\text{Ti}_{0.3}\text{Fe}_{11.4}\text{O}_{19}$ 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 Br 페라이트에 Ti나 Co와 같은 첨가제를 첨가하여 소결하고 이때 자기이방성의 변화에 따른 전파흡수능의 개선을 피하는 연구에 치우쳐 있어 보다 다양한 각도에서의 연구개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 환경 개선을 고려하여 폐처리된 Ba 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 Ba 페라이트를 이용하여 우수한 GHz 대역용 전파흡수체를 개발하였다는데 그 의의가 크다 하겠다.

## II. 시편제작 및 측정

본 연구에서는  $\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Ba}_2\text{CO}_3 = 82.1 : 17.9 \text{ wt } \%$ 의 조성비를 갖는 폐처리된 Ba 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 °C, 55 °C, 70 °C로 Open roller의 표면온도를 제어하면서 시편을

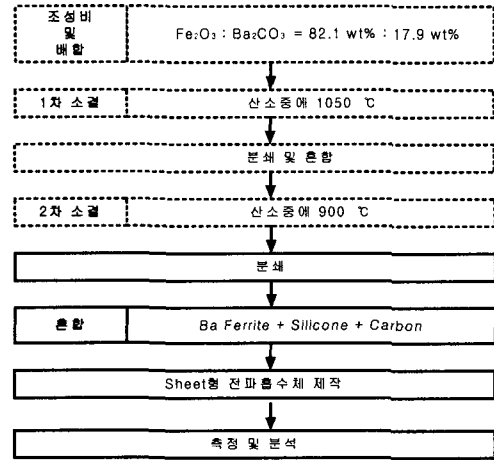


그림 1. 전파흡수체의 제작 공정

Fig. 1. Manufacturing Process of Ba ferrite EM wave absorbers.

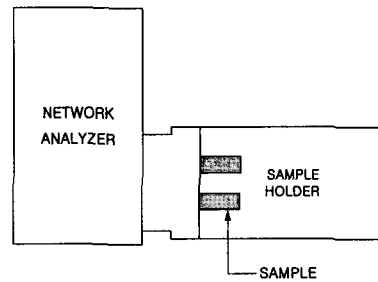


그림 2. 반사계수 측정 시스템

Fig. 2. Reflection coefficient measurement system.

제작하였다.

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

제작한 Sheet형 전파흡수체의 전파흡수능을 측정하기 위해 펀치를 이용하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95

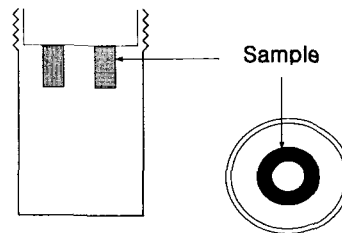


그림 3. 샘플 홀더

Fig. 3. Sample holder.

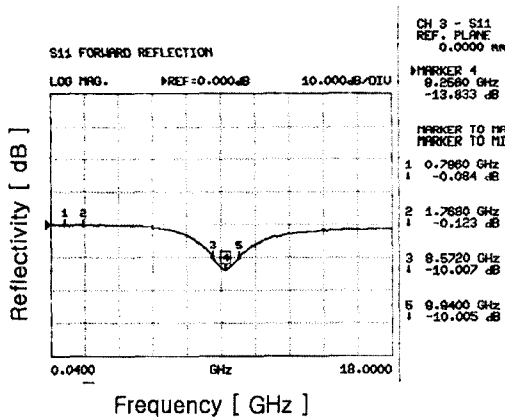
mm, 두께 1 mm, 2 mm, 3 mm의 형상을 갖게 하였다. 그림 2와 3은 반사계수 측정을 위해 사용한 Network analyzer와 Sample holder를 나타낸 것이다.

### III. 결과 및 고찰

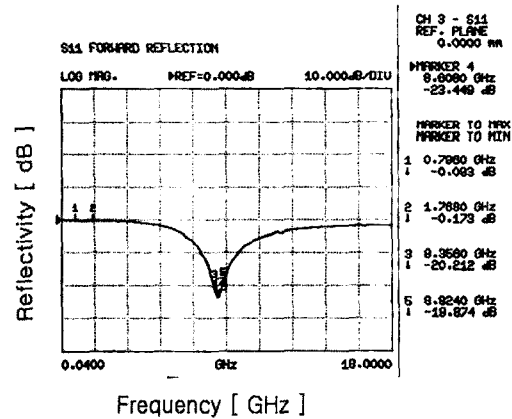
그림 4는 두께 2 mm인 시편의 카본 첨가량 변화에 따른 주파수를 함수로 하는 전파흡수능을 나타낸 것으로 X-band 범위에서 최대 -35 dB의 전파흡수능을 나타내며 도전손실재인 카본의 첨가량에 따라 Ba 페라이트 전파흡수체의 흡수능의 변화하고 있음을 보이고 있다. 이는 카본량의 증가에 따라 도전손실이 증가하여 Ba 페라이트 전체의 손실을 증가시켰기 때문이라고 생각한다. 따라서 Ba 페라이트를 이용한 GHz용 전파흡수체를 개발하기 위해서는 적

정량의 카본첨가가 매우 효과적임을 알 수 있다. 그림 5는 Ba 페라이트 : 카본 = 88 : 12 wt %의 조성비를 갖는 시편의 두께 변화에 따른 주파수를 함수로 하는 전파흡수능을 나타낸 것으로 두께가 증가함에 따라 전형적인 전파흡수체의 특성을 나타내는 정합 주파수는 저주파 쪽으로 이동하고 있을 보이고 있다.

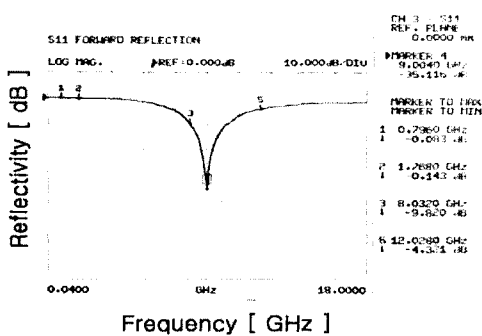
그림 6은 시편의 제작온도 변화에 따른 전파흡수능을 주파수를 함수로 나타낸 것으로 같은 조성을 갖는 시편일지라도 제작온도가 변화하면 전파흡수능이 크게 변화함을 보이고 있다. 이는 시편의 제작 온도 증가에 따라 동일한 시간동안 오픈 롤러를 이용하여 혼합할 경우 지지재인 실리콘 고무와 페라이트 그리고 카본이 더 잘 혼합되었기 때문으로 생각하며, 앞으로 이를 명확히 설명하기 위해 연구를 계



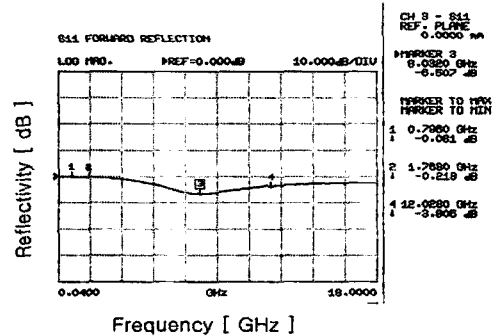
(a) Ba ferrite : Carbon = 94 : 6 wt %  
(a) 바륨 페라이트 : 카본 = 94 : 6 wt %



(b) Ba ferrite : Carbon = 93 : 7 wt %  
(b) 바륨 페라이트 : 카본 = 93 : 7 wt %



(c) Ba ferrite : Carbon = 88 : 12 wt %  
(c) 바륨 페라이트 : 카본 = 88 : 12 wt %



(d) Ba ferrite : Carbon = 83 : 17 wt %  
(d) 바륨 페라이트 : 카본 = 83 : 17 wt %

그림 4. 카본 첨가량 변화에 따른 2 mm 시편의 주파수를 함수로 하는 전파흡수능  
Fig. 4. Reflectivity as a function of frequency in 2 mm samples with different amounts of carbon.

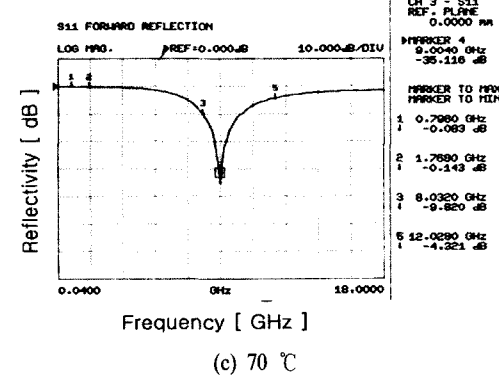
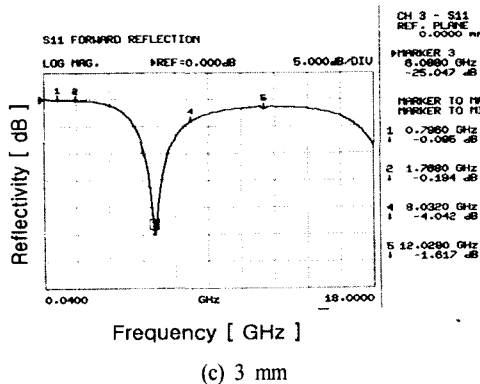
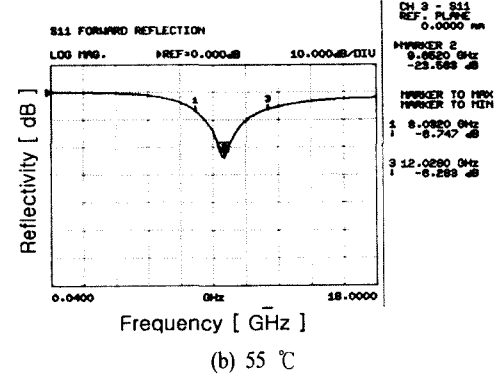
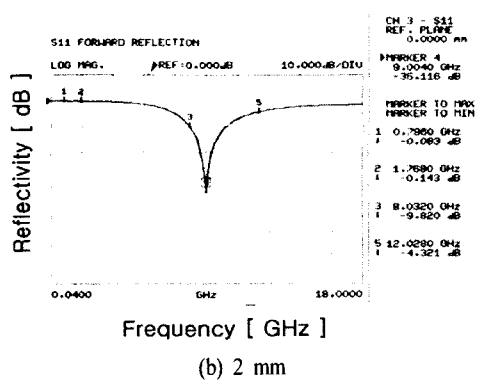
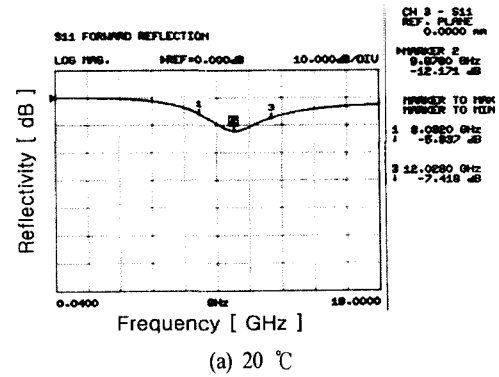
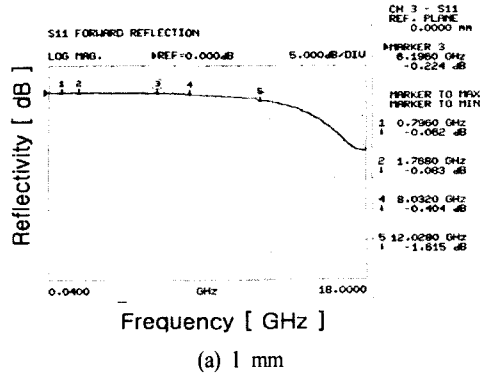


그림 5. 시편 두께 변화에 따른 주파수를 함수로 하는 전파흡수능

Fig. 5. Reflectivity as a function of frequency for samples with a composition of Ba ferrite : Carbon = 88 : 12 wt % with different thickness.

속할 것이다. 이와 같은 실험을 통해 우수한 전파흡수체를 개발함에 있어 시편의 제작온도가 반드시 고려되어야 함을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

그림 6. 온도변화에 따른 주파수를 함수로 하는 2 mm 두께의 시편에 대한 전파흡수능

Fig. 6. Reflectivity as a function of frequency for 2 mm samples with a composition of Ba ferrite : Carbon = 88 : 12 wt % prepared at different temperature.

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 Ba

페라이트를 이용하였다. 특히 본 연구에서는 자연환경 보호측면을 고려하여 폐처리된 Ba 페라이트를 이용하여 GHz 대역용 전파흡수체를 개발하고자 하였으며 다음과 같은 연구 결과를 얻었다.

페 코어를 분쇄한 후 바인더와 혼합할 때 도전성 실재인 카본을 첨가하는 비교적 간단한 제조방법으로 우수한 GHz 대역용 전파흡수체를 개발하였다. GHz 대역용 Ba 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 : 카본 = 88 : 12 wt %인 시편을 70°C에서 제작하여 두께 2 mm인 매우 얇은 시편에 대하여 9 GHz에서 -35 dB인 매우 우수한 전파흡수체를 개발하였다.

### 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 Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 2, no. 1, pp. 16-21, 2002.

[2] Dong Il Kim, Jae Young Bae, Jun Yong Son, Young Su Won and Jae Man Song, "A Study on

Fabrication and Evaluation of Ferrite Wave Absorber", *Journal of The Korea 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 Ha 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.

### 문 상 현



마이크로파능동회로

2003년 3월: 동명정보대학교 정보통신공학과 (공학사)  
 2003년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] EMI / EMC 분석 및 대책, 고성능 전파흡수체의 개발, FDTD 이용한 전자장 수치해석,

### 신 승 재



2003년 3월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)  
 2003년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] EMI / EMC 분석 및 대책, 고성능 전파흡수체의 개발, 마이크로파능동회로

송 재 만

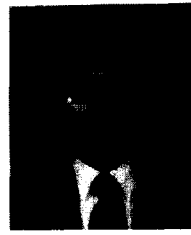


1985년 2월: 송실대학교 물리학과 (이학사)  
1987년 2월: 송실대학교 물리학과 (이학석사)  
1995년 8월: 송실대학교 물리학과 (이학박사)  
1990년~1995년: 송실대학교 물리

학과 강사

1996년 3월~1997년 2월: 일본 나가사키대학 객원연구원  
1997년 2월~1997년 8월: 송실대학교 물리학과 강사  
1997년 10월~1998년 3월: (주)이수세라믹 생산기술연구소 선임연구원  
1998년 4월~2000년 3월: 일본 나가사키대학 객원교수  
2000년 9월~현재: 한국해양대학교 전임연구교수  
2002년: 한국전자과학회 전자과학기술학술대회 우수논문상 수상  
[주 관심분야] 전파흡수체 개발, 소프트 페라이트, 자성막 개발, Nanocomposite 자석 개발

김 기 만



1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1990년 8월: 연세대학교 신호처리 (공학석사)  
1995년 2월: 연세대학교 신호처리 (공학박사)

1995년 3월~1996년 8월: 연세대학교 의용공학교실 FELLOW

1995년 8월~2001년 8월: 신호처리연구센터 DSP 단기간 과 강사

1996년 9월~현재: 한국해양대학교 부교수

[주 관심분야] 디지털신호처리

김 동 일



1975년 2월: 한국해양대학교 항해학과 (공학사)  
1977년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학석사)  
1984년 3월: 일본동경공업대학원 전기전자공학과 (공학박사)  
1975년 3월~1993년 9월: 한국 해양

대학교 조교~부교수

1990년 3월 10일: 산학협동상 대상 수상  
1993년 12월 11일: 한국전자과학회 학술상 수상  
1995년 4월 21일: 과학기술진흥 대통령 표창 수상  
1998년 9월 30일: 한국항해학회 우수논문상 수상  
1993년 10월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수  
2002년 1월~현재: 한국전자과학회 학회장  
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EMI / EMC 대책 등