

휴대전화기용 전파흡수체에 있어 페라이트 입자크기와 투자율, 시편제작온도에 따른 전파흡수특성

EM Wave Absorption Properties on Particle Size and Permeability of Ferrite and Preparation Temperature in Absorbers for Mobile Phones

김동일 · 옥승민 · 송재만* · 김기만 · 신승재 · 문상현

Dong-Il Kim · Seung-Min Ok · Jae-Man Song* · Ki-Man Kim · Seung-Jae Sin · Sang-Hyun Moon

요 약

본 연구에서는 페라이트 입자크기와 시편의 제작온도가 Sheet형 전파흡수체의 전파흡수능에 미치는 영향을 조사한 것으로 분쇄 전 초투자율이 2,500과 10,000인 페 처리된 MnZn ferrite를 이용하여 휴대전화용 전파흡수체를 제작하고 그 전파흡수능을 조사하였다. 페라이트 입자크기가 증가함에 따라 휴대전화용 주파수인 1.8 GHz에서 전파흡수능이 증가하였으며, 시편제작 온도가 증가함에 따라 역시 전파흡수능이 향상되었다. 본 연구에서는 주파수 1.8 GHz에서 3.8 dB의 우수한 흡수능을 나타내는 두께 1 mm인 전파흡수능이 매우 우수하면서도 두께가 얇은 전파흡수체를 개발하였다.

Abstract

In this study, we investigated the reflection coefficient of absorbers for mobile phone on average particle size and preparation temperature of specimens. We used recycled MnZn ferrite with initial permeability of 2,500 and 10,000 as starting materials. Absorption ability increased at 1.8 GHz which is frequency for mobile phones with increasing average particle size. We developed a sheet type electromagnetic wave absorber with the thickness of 1 mm which showed reflection coefficient of -3.8 dB at 1.8 GHz.

Key words : Mobile Phone, Absorber, MnZn Ferrite, Particle Size, Preparation Temperature

I. 서 론

오늘날 전자파장해에 대한 규제가 국제적으로 엄격해지고 있음에도 불구하고 국내의 이 분야 기술기반은 우리의 주요 수출 경쟁국인 일본, 미국, 그리고 EU와 비교하여 낙후되어 있어 우리나라 산업의 근간을 이루고 있는 수출업체에 구체적인 지원을 해주지 못하고 있는 것이 현실이다. 지금까지 휴대전화에서 발생하는 유해 전자파에 대한 인체 유해성이

분명하게 입증된 사례는 없으나, 뇌종양과 기억력 감퇴 등을 불러올 우려가 높은 것으로 지적되고 있으며 이로 인해 최근에는 이동통신 단말기 SAR 저감방안 등에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다^[1]. 현재 휴대전화 산업은 우리 경제의 한 축을 이루고 있을 정도로 그 규모가 성장하였으며 또한 우리 국민의 휴대전화 이용자 수는 전체 인구의 반이 넘는 것으로 조사되고 있고 특히 청소년층도 폭넓게 이용하고 있는 것으로 발표되고 있다. 따라서 휴대

「이 연구는 한국학술진흥재단(KRF-2003-005-D00006) 및 BB21 연구비의 지원으로 연구되었음.」

한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences & Eng., Korea Maritime University)

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

· 논 문 번 호 : 20040115-007

· 수정완료일자 : 2004년 3월 30일

전화에서 발생하는 유해 전자파에 대한 대책은 휴대 전화 산업이 우리 경제에서 차지하는 비중과 국민건강을 고려할 때 매우 절실하다고 생각된다^[2].

전파흡수체의 전파흡수능은 흡수체를 구성하고 있는 물질의 화학적 조성구성과 전파흡수체의 기하학적 형상에 크게 의존하는 것으로 보고되고 있다^[3]. 그러나 위와 같은 인자 외에 같은 조성구성과 같은 기하학적 형상을 갖는 시편일지라도 흡수체를 구성하는 페라이트입자의 크기 및 시편제작온도 또한 전파흡수체의 전파흡수능에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 실용적인 면을 고려한 휴대전화기용 Sheet형 전파흡수체를 개발하는데 있어 시편제작온도, 페라이트 입자의 크기 등이 전파흡수능에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

특히, 본 연구에서는 환경적인 측면을 고려하여 폐 처리된 MnZn 페라이트를 출발원료로 하였으며 또한 분쇄 전 초투자율이 서로 다른 페라이트를 이용하여 Sheet형 전파흡수체를 제작할 때 분쇄전 초투자율이 전파흡수체의 흡수능에 미치는 영향을 조사하기 위해 초투자율(μ) 2,500인 MnZn 페라이트와 10,000인 MnZn 페라이트를 비교하였다.

II. 전파흡수체의 제작 및 측정

2-1 전파흡수체의 제작

먼저, 입자크기에 따른 전파흡수능을 조사하기 위해 자체 제작한 진동밀을 이용하여 각각 초투자율(μ) 2,500과 10,000인 폐 처리된 MnZn 페라이트를 평균입자 크기가 1.11 μm 에서 20 μm 가 되도록 실온에서 분쇄시간(15분~7시간)을 달리하여 7단계로 페라이트 입자크기를 제어하였다. 이렇게 각기 입자크기가 다른 페라이트 분말을 CPE(Chloride poly ethylene)에 혼합하여 본 연구실에서 자체 제작한 Open Roller를 이용하여 두께 1 mm, 2 mm 및 3 mm의 Sheet형 전파흡수체를 제작하였다. 이때 입자의 크기가 전파흡수능에 미치는 영향 이외에 다른 요소가 전파흡수능에 미치는 영향을 배제하기 위해 평균입자 크기 외에 모두 같은 조건을 유지하도록 하였다.

두 번째로 시편의 제작온도가 전파흡수능에 미치는 영향을 조사하기 위해 입자크기가 3.2 μm 인 초투

자를 2,500인 폐 처리된 MnZn 페라이트와 역시 입자 크기가 3.2 μm 인 초투자율 10,000인 폐 처리된 MnZn 페라이트를 지지재인 Carbon Silicon Rubber(Carbon 함유량 32 %)와 87 : 13 wt %의 혼합비로 혼합하여 Open Roller를 이용하여 시편두께 1 mm의 Sheet형 전파흡수체를 제작하였다. 이때 시편을 제작하는데 있어 온도 이외에 다른 조건은 모두 같게 하였으며 제작온도는 본 실험실의 제작 조건을 고려하여 10 $^{\circ}\text{C}$, 30 $^{\circ}\text{C}$, 50 $^{\circ}\text{C}$ 그리고 70 $^{\circ}\text{C}$ 로 하였다.

그림 1은 폐처리된 MnZn 페라이트를 이용하여 Sheet형 전파흡수체를 제작하는 과정을 나타낸 것이다.

2-2 측정

제작한 시편의 전파흡수능을 측정하기 위해 두께 1 mm~3 mm인 시편에 대해 펀치를 이용하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm의 형상을 갖게 하였으며, 이를 Network Analyzer를 이용하여 전파흡수능을 측정

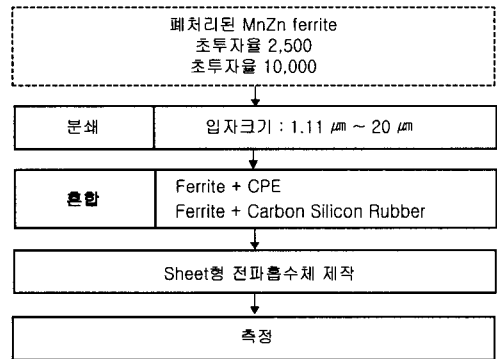


그림 1. Sheet형 전파흡수체 제작과정
Fig. 1. Manufacturing process of a sheet type ferrite absorber.

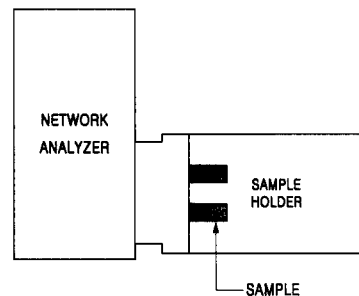


그림 2. 반사계수 측정 시스템
Fig. 2. Reflection coefficient measurement system.

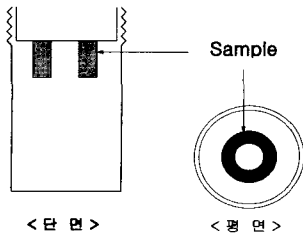
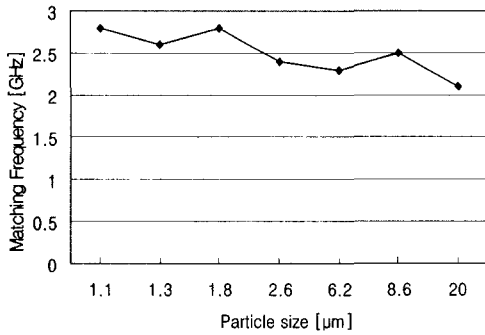


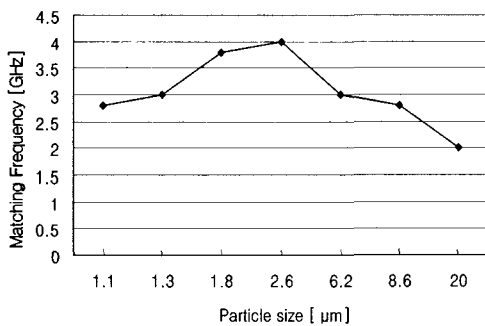
그림 3. 샘플 홀더
Fig. 3. Sample holder.

하였다. 그림 2와 3은 본 실험에서 반사계수 및 복소 투자율 측정을 위해 사용한 Network analyzer와 Sample holder를 나타낸 것이다^[4].

Ⅲ. 전파흡수능 평가



(a) $\mu_i = 2,500$



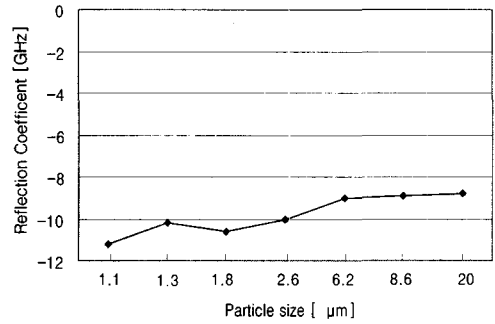
(b) $\mu_i = 10,000$

그림 4. 두께 3 mm인 시편에 대한 입자크기의 변화에 따른 정합주파수의 변화. (a) 분쇄 전 초투자율 2,500, (b) 분쇄 전 초투자율 10,000

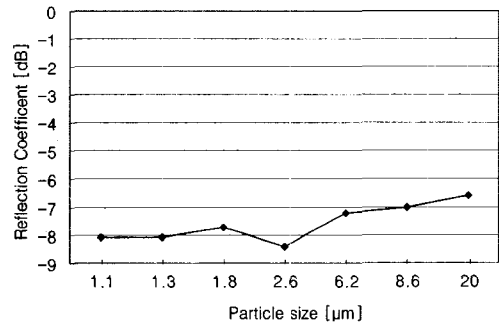
Fig. 4. Matching frequency as a function of average particle size in a sheet type electromagnetic wave absorber with a thickness of 3 mm for (a) $\mu_i = 2,500$, before pulverization and (b) $\mu_i = 10,000$, before pulverization.

3-1 Ferrite 입자 크기의 제어에 따른 전파흡수능

그림 4는 두께가 3 mm인 시편에 대하여 입자의 크기에 따른 정합주파수의 변화를 나타낸 것으로 분쇄 전 초투자율(μ_i)이 2,500인 MnZn 페라이트에서는 입자의 크기가 증가함에 따라 정합주파수가 낮은 주파수 쪽으로 이동함을 나타내고 있다. Shengping 등은 바륨(Ba) ferrite 전파흡수체에서 입자크기가 5 μm와 65 nm인 것을 비교할 때 입자크기가 큰 것이 입자크기가 작은 것에 비해 정합주파수가 낮은 쪽으로 이동한다고 보고한 바 있다^[5]. 본 실험에서도 그림 4에 보인 바와 같이 초투자율이(μ_i) 2,500인 시편에서는 평균입자의 크기가 증가함에 따라 정합주파



(a) $\mu_i = 2,500$



(b) $\mu_i = 10,000$

그림 5. 두께가 3 mm인 시편에 대한 입자크기의 변화에 따른 정합주파수에서의 전파흡수능. (a) 분쇄 전 초투자율 2,500, (b) 분쇄 전 초투자율 10,000

Fig. 5. Reflection coefficient as a function of average particle size in a sheet type absorber with the thickness of 3 mm for (a) $\mu_i = 2,500$, before pulverization and (b) $\mu_i = 10,000$, before pulverization.

수가 낮은 쪽으로 이동함을 보이고 있다. 그러나 초 투자율(μ_i) 10,000인 시편의 경우에는 입자크기가 증가함에 따라 정합주파수가 증가하다가 다시 감소함을 보이고 있다. 이와 같은 사실로부터 동일한 두께를 갖는 전파흡수체에서 입자의 크기를 제어함에 따라 정합주파수를 제어할 수 있음을 알 수 있다.

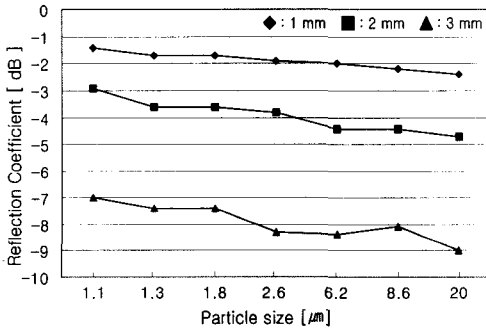
그림 5는 두께가 3 mm인 시편에 대하여 분쇄입자 크기 변화에 따른 정합주파수에서 전파흡수능의 변화를 나타낸 것으로 평균입자의 크기가 증가함에 따라 투자율이 높은 것과 낮은 것 모두 전파흡수능이 감소함을 보이고 있다. 이로부터 같은 조성을 갖는 시편에 대해서 입자크기를 제어함으로써 정합주파수에서 보다 우수한 전파흡수능을 갖는 전파흡수체

를 개발할 수 있음을 알 수 있다.

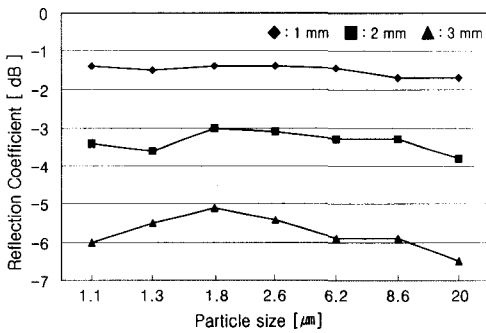
그림 6은 휴대전화기의 사용 주파수인 1.8 GHz에서 평균입자 크기변화에 따른 전파흡수능의 변화를 나타낸 것으로 시편의 두께가 각기 다른 1 mm, 2 mm 및 3 mm에서 입자의 크기가 변함에 따라 전파흡수능이 변함을 보이고 있다. 이는 그림 4에서 보인 바와 같이 평균입자의 크기가 변함에 따라 정합주파수가 변화하는 것에 기인하는 것으로 전파흡수체를 제작할 때 사용하고자 하는 주파수에 맞게 전파흡수체를 구성하는 페라이트 입자의 크기를 제어할 필요가 있음을 나타낸다.

3-2 시편제작 온도에 따른 전파흡수능

그림 7은 시편두께를 1 mm로 하고, 시편제작온



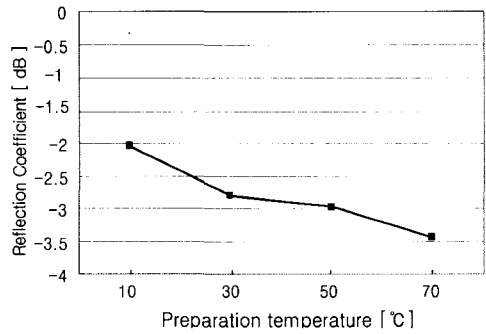
(a) $\mu_i = 2,500$



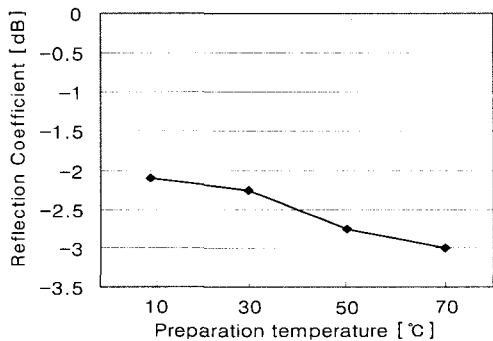
(b) $\mu_i = 10,000$

그림 6. 두께가 각기 1 mm, 2 mm, 3 mm인 시편에 대한 주파수 1.8 GHz에서 입자크기에 따른 전파흡수능의 변화. (a) 분쇄 전 초투자율 2,500, (b) 분쇄 전 초투자율 10,000

Fig. 6. Reflection coefficient at 1.8 GHz as a function of average particle size in a sheet type absorber with the thickness of 1 mm, 2 mm, and 3 mm for (a) $\mu_i = 2,500$, before pulverization and (b) $\mu_i = 10,000$, before pulverization.



(a) $\mu_i = 2,500$



(b) $\mu_i = 10,000$

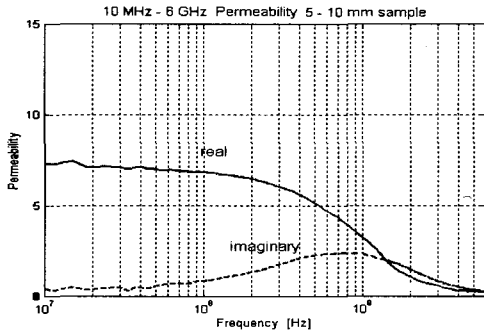
그림 7. 제작온도 변화에 따른 1.8 GHz에서의 반사계수. (a) 분쇄 전 초투자율 2,500, (b) 분쇄 전 초투자율 10,000

Fig. 7. Reflection coefficient at 1.8 GHz as a function of preparation temperature for (a) $\mu_i = 2,500$, before pulverization and (b) $\mu_i = 10,000$, before pulverization.

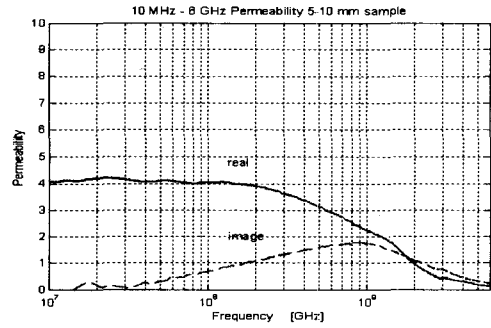
도를 각기 10°C, 30°C, 50°C 그리고 70°C로 달리하였을 때의 휴대전화기의 중심사용 주파수인 1.8 GHz에서 전파흡수능을 나타낸 그래프다. 제작온도가 증가함에 따라 전파흡수능이 증가함을 확인할 수 있으며, 제작온도 70°C에서 제작한 시편의 경우 분쇄 전

초투자율 2,500인 MnZn ferrite와 초투자율 10,000인 MnZn ferrite 모두 1.8 GHz에서 3.4 dB와 3 dB인 우수한 전파흡수능을 나타내고 있다.

그림 8은 시편의 제작온도가 각각 10°C, 50°C 그리고 70°C일 때 주파수를 함수로 하는 투자율을 나

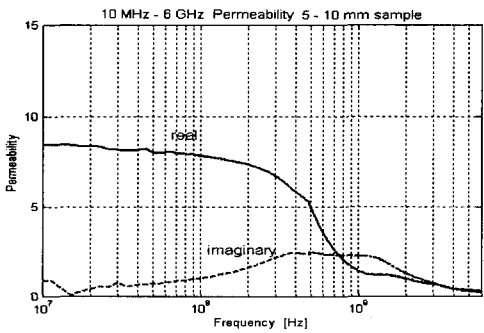


(i) $\mu_i = 2,500$

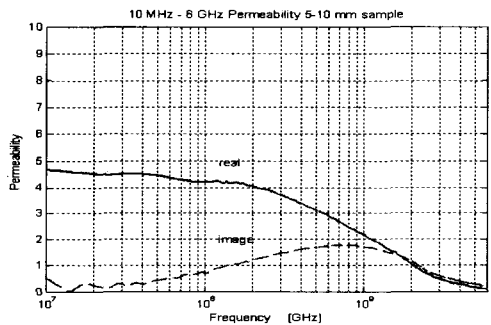


(ii) $\mu_i = 10,000$

(a) 10°C

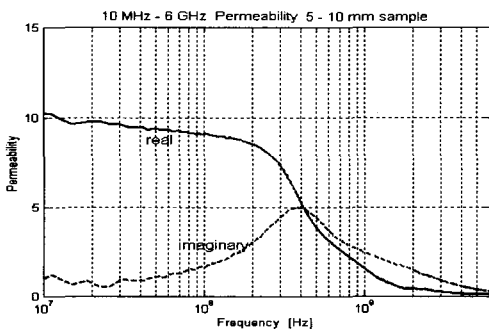


(i) $\mu_i = 2,500$

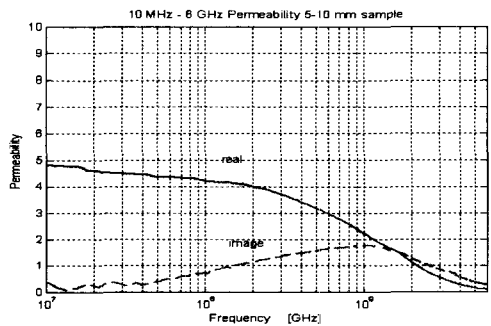


(ii) $\mu_i = 10,000$

(b) 50°C



(i) $\mu_i = 2,500$



(ii) $\mu_i = 10,000$

(c) 70°C

그림 8. 각기 다른 시편제작 온도에서의 복소투자율. (a) 10°C, (b) 50°C, (c) 70°C

(i) 분쇄 전 초투자율 2,500, (ii) 분쇄 전 초투자율 10,000

Fig. 8. Permeability as a function of frequency for specimens prepared (a) 10°C, (b) 50°C, (c) 70°C

(i) $\mu_i = 2,500$, before pulverization and (ii) $\mu_i = 10,000$, before pulverization.

타낸 것으로 시편의 제작 온도가 증가함에 따라 저 주파 대역에서 실수부의 값이 증가하고 높은 투자율을 갖는 고온에서 제작한 시편일수록 보다 낮은 주파수에서 투자율의 실수값이 급격한 감소를 보이고 있는데, 이는 보다 높은 투자율을 갖는 시편이 보다 낮은 주파수에서 급격한 투자율 감소를 보인다는 Snook의 법칙을 잘 만족하고 있음을 알 수 있다^[6].

페라이트를 자성손실재료 한 전파흡수체의 흡수능은 자기손실 $\tan \delta = (\mu''/\mu')$ 과 매우 밀접한 관계가 있으며 $\tan \delta > 1$ 일 때 우수한 흡수능을 나타낸다^[7]. 분쇄 전 초투자율(μ_i) 2,500인 MnZn 페라이트의 주파수 특성을 나타내는 그림 8의 (a), (b) 그리고 (c)에서 $\tan \delta > 1$ 를 나타내는 주파수는 1.5 GHz ~ 0.4 GHz에 분포하고 있으며, 분쇄 전 초투자율(μ_i) 10,000인 MnZn 페라이트의 주파수 특성그래프에서는 $\tan \delta > 1$ 를 나타내는 주파수가 1.8 GHz 부근으로서 일정한 값을 보여주고 있다. 이는 본 연구에서 개발된 시편이 GHz의 범위에서 전파흡수능을 나타내는 것과 일치한다.

3.3 Ferrite 입자크기와 시편제작 온도를 고려한 고성능 전파흡수체

앞에서 페라이트의 입자크기가 증가할수록 그리고 제작 온도가 높을수록 휴대전화의 사용 주파수인 1.8 GHz에서 높은 전파흡수능을 가지는 두 조건을

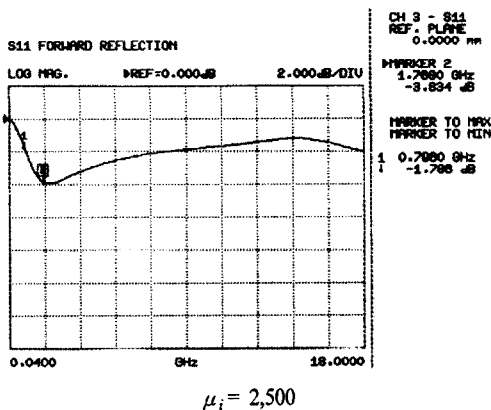


그림 9. MnZn : Carbon silicon rubber = 87 : 13 wt % 인 전파흡수체의 흡수능($t = 1$ mm)

Fig. 9. Reflectivity as a function of frequency for a sample with MnZn : Carbon silicon rubber = 87 : 13 wt % ($t = 1$ mm).

고려하여 페라이트 입자의 크기를 20 μm 로 하고 시편제작온도를 $70 \pm 2^\circ\text{C}$ 하여 시편을 제작하였다.

그림 9는 시편 두께 1 mm인 시편에 대해 주파수를 함수로 하는 전파흡수능 특성을 나타낸 것으로 1.8 GHz에서 3.8 dB의 우수한 전파흡수능을 나타냄을 보이고 있다. 이는 두께가 얇고 가벼우며 전파흡수특성이 우수하여 휴대전화 단말기에서 방사되는 전자파 감소를 위해 실질적인 응용이 기대된다.

IV. 결 론

분쇄 전 초투자율(μ_i) 2,500과 10,000인 페라이트 MnZn ferrite를 이용하여 페라이트의 입자크기, 시편제작 온도를 제어하며 시편의 전파흡수능, 복소 투자율 등을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

MnZn ferrite의 입자크기가 변함에 따라 정합주파수도 변함을 알았으며 이로부터 입자의 크기를 제어함으로써 정합주파수를 제어할 수 있음을 알았다.

시편의 제작온도가 증가함에 따라 전파흡수능도 함께 증가함을 확인하였다.

이와 같은 실험결과를 기초로 Sheet형 전파흡수체를 제작함에 있어 페라이트 입자크기와 시편의 제작온도가 매우 중요한 인자임을 확인하였고, 그 결과 본 연구에서는 초투자율(μ_i) 2,500인 MnZn ferrite를 이용하여 입자크기가 20 μm 일 때 그리고 시편의 제작 온도 $70 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 제작한 시편의 두께 1 mm로 휴대전화용 사용주파수 1.8 GHz에서 3.8 dB의 매우 우수한 전파흡수능을 나타내는 전파흡수체를 개발하였다.

본 연구에서 개발한 sheet형 전파흡수체는 실용성을 겸비한 고성능 전파흡수체로 휴대전화 단말기로부터 누설되는 불요전자파를 흡수하기에 적합하므로 휴대전화 단말기에 실질적인 응용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 정성민, 이범선, "이동통신 단말기의 SAR 저감 방안분석", 한국전자과학회 논문지, pp. 155-163, 2002년 2월.
- [2] 이기철, "전자파 장애동향과 안전대책", 한국산업안전공단 안전검인증센터, 2001년 1월.
- [3] M. Amano, Y. Kotsuka, "A method of effective use

of ferrite for microwave absorber", *J. of IEEE Trans on MTTs*, vol. 51, no. 1, pp. 238-245.

- [4] 김동일 "전파흡수능 측정기법 연구", 국방과학연구소 기술보고서, 1991년 3월.
- [5] S. Ruan, B. Xu, H. Suo, F. Wu, S. Xiang and M. Zhau, "Microwave absorptive behavior of ZnCo-substituted W-type Ba hexaferrite nanocrystalline

composite material", *J. of MMM*, 212, pp. 175-177, 2000.

- [6] A. Goldman, *Modern Ferrite Technology*, Van Nostrand Reinhold, pp. 75, 1990.
- [7] Y. Hashimoto, "The application of ferrite as an absorber", *Jap. J. Appl. Phys.*, vol. 6, no. 3, pp. 175-177, 1983.

김 동 일



1975년 2월: 한국해양대학교 항해학과 (공학사)
 1977년 2월: 한국해양대학교 대학원 전파공학전공 (공학석사)
 1984년 3월: 일본 동경공업대학원 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
 2002년 1월~2003년 12월: 한국전자과학회 학회장
 1993년 10월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EM/EMC 대책 등

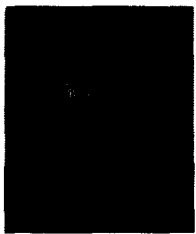
송 재 만



1985년 2월: 숭실대학교 물리학과 (이학사)
 1995년 8월: 숭실대학교 물리학과 (이학박사)
 1990년 2월~1995년 8월: 숭실대학교 물리학과 강사
 1996년 3월~1997년 2월: 일본 나가

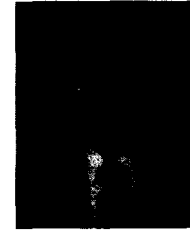
사키대학 객원연구원
 1997년 2월~1997년 8월: 숭실대학교 물리학과 강사
 1997년 10월~1998년 3월: (주)이수세라믹 생산기술연구소 선임연구원
 1998년 4월~2000년 3월: 일본 나가사키대학 객원교수
 2000년 9월~현재: 한국해양대학교 전임연구교수
 [주 관심분야] 전파흡수체 개발, 소프트 페라이트, 자성박막개발, Nanocomposite 자석 개발

옥 승 민



2002년 2월: 군산대학교 전파공학과 (공학사)
 2002년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] EMI / EMC 분석 및 대책, 고성능 전파흡수체의 개발

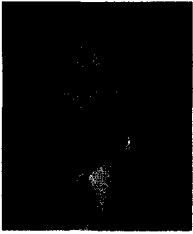
김 기 만



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 단기강좌 강사
 1996년 9월~현재: 한국해양대학교 부교수
 [주 관심분야] 디지털신호처리

신 승 재



2003년 3월: 한국해양대학교 전파공학
학과 (공학사)

2003년 3월~현재: 한국해양대학교
전파공학과 석사과정

[주 관심분야] EMI / EMC 분석 및
대책, 고성능 전파흡수체의 개발,
마이크로파능동회로

문 상 현



2003년 3월: 동명정보대학교 정보
통신공학과 (공학사)

2003년 3월~현재: 한국해양대학교
전파공학과 석사과정

[주 관심분야] EMI / EMC 분석 및
대책, 고성능 전파흡수체의 개발,
FDTD 이용한 전자장 수치해석,
마이크로파능동회로