

휴대전화 단말기용 전파 흡수체의 개발에 관한 연구

A Study on Development of Electro Magnetic Wave Absorbers for Mobile Phones

최 윤 석 · 정 재 현 · 김 동 일

Yun-Seok Choi · Jae-Hyun Jung · Dong-Il Kim

요 약

본 논문은 실용적인 면을 고려한 휴대전화 단말기용 전파 흡수체 개발을 위해 연구하였다. 이에 Sendust 배합율, Al(OH)₃ 코팅 함유량, 시편의 두께, 지지재의 변화가 전파 흡수체의 전파 흡수능에 미치는 영향을 연구하였다. 중심 주파수는 전파 흡수체의 두께가 1 mm, 2 mm, 3 mm로 증가할수록 2.2 GHz, 1.29 GHz, 842 MHz의 저주파대로 이동하였고, Sendust의 배합율이 80 wt%에서 85 wt%로 증가되면서 2.2 GHz에서 1.91 GHz로, 1.29 GHz에서 801 MHz로, 842 MHz에서 801 MHz로 각각 저주파대로 조절할 수 있었다. 전파 흡수 대역은 Sendust에 Al(OH)₃를 코팅했을 때가 코팅하지 않았을 때보다 흡수 대역이 넓어졌다. 이때 전파 흡수체는 지지재는 CPE로 하였으며, 제작 온도는 70 °C로 일정하게 하였다. 제작된 전파 흡수체는 두께가 0.85 mm일 때 1.8 GHz에서 5.76 dB의 우수한 전파 흡수능을 보였다.

Abstract

This paper deals with research for development of electromagnetic wave absorbers in sheet type for mobile phones. By controlling the sendust ratio, the Al(OH)₃ coating, the thickness, the kind of binders, and the milling time, electromagnetic wave absorbers were prepared and examined. Central frequency shifts toward lower 2.2 GHz, 1.29 GHz, 842 MHz with increasing thickness 1 mm, 2 mm, 3 mm of the absorber, and absorption ability controlled each 2.2 GHz to 1.91 GHz, 1.29 GHz to 801 MHz, 842 MHz to 801 MHz adjust sendust amount from 80 wt% to 85 wt%. The absorption band of the electromagnetic wave absorber coated with Al(OH)₃ becomes larger than that of non-coated one. Sendust composite microwave absorbers mixed with CPE were prepared at 70 °C in temperature. The fabricated electromagnetic wave absorbers show a reflection coefficient 5.76 dB at 1.8 GHz in thickness of 0.85 mm.

Key words : Al(OH)₃, Absorber, Sendust, Mobile Phone, Particle Size

I. 서 론

현대 사회에 살고 있는 우리 주변에는 다양한 형태의 전자 제어 기기가 사용되고 있다. 이것은 눈에 보이지 않는 무수한 전자파가 우리 주위에 존재하고 있음을 의미한다. 특히 휴대폰의 폭발적인 증가와 전자 기기의 이용 확대 및 다양화에 의해서 전

파 환경이 급격하게 악화되고 있으며, 이 결과 고층 빌딩 등에 의한 TV 전파의 Ghost 현상, 교량 및 철교 등에 의한 선박용 레이더의 허상, 각종 산업 현장에서의 기계의 오동작을 유발하거나 인체에 해를 미치는 등 여러 가지 전자파 장애(EMI: Electromagnetic Interference) 현상을 일으키고 있다^[1].

특히 우리나라의 주력 산업인 IT 산업 전반이 전

「이 연구는 2005년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-005-500502).」
한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Sciences & Eng., Korea Maritime University)

· 논문 번호 : 20060303-019

· 수정완료일자 : 2006년 4월 28일

자파와 밀접한 관계를 가지고 있다. 그러므로 과학적으로 확인되지 않은 유·무해성 논란이 지속될 경우 궁극적으로 경제 활동에 타격을 줄 수도 있다^[2]. 현재 상용화 중인 휴대 전화 단말기용 전파 흡수체는 1 mm 이하에서 1.5 dB의 흡수능을 보이는데, 전파 흡수 효과가 더욱 요구된다. 따라서 본 논문에서는 실용적인 면을 고려한 휴대 전화기용 전파 흡수체를 개발하는데 그 목적을 두었으며, 최종적으로 휴대 전화기용 주파수인 1.8 GHz에서 두께가 1 mm 이하이면서 전파 흡수능은 5 dB 이상을 가지는 전파 흡수체 개발을 목표로 하였다. 이를 위해 초투자율이 30.000인 Sendust를 Sendust : CPE=80 : 20 wt%, Sendust : CPE=85 : 15 wt%의 배합율과 heating molder를 이용하여 압력을 400 kg/cm²로 일정하게 유지하되 표면 온도를 100 °C, 150 °C로 제어 등을 제어하고 이들과 전파 흡수능과의 상관관계를 연구하였다^{[3],[7]}. 또한 단층의 sheet형 전파 흡수체의 전파 흡수능 향상과 광대역화를 위하여 첨가제인 Al(OH)₃ coating 함유량을 각각 10 wt%, 20 wt% 변화시켜 전파 흡수체의 전파 흡수능에 미치는 영향을 연구함으로써 전파 흡수능 향상과 광대역화를 꾀하였다.

II. 시편 제작

본 논문에서는 지지재에 따른 전파 흡수체의 전파 흡수능을 조사하기 위해 Sendust : Silicon Rubber =80 : 20 wt% 혹은 Sendust : CPE=80 : 20 wt%로 각각 혼합을 한 후 open roller를 이용하여 표면온도가 70 °C일 때 제작하였으며 Al(OH)₃ 변화량이 전파 흡수 대역에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Al(OH)₃가 각각 10 wt%, 15 wt%, 20 wt%로 함유된 Sendust를 지지재인 CPE와 80 : 20 wt%로 혼합하여 sheet형 전파 흡수체를 제작하였다. 또한 Sendust의 배합율의 변화에 따른 전파 흡수 특성을 조사하기 위해 지지재인 CPE와 80 : 20 wt%, 85 : 15 wt%로 혼합하여 전파 흡수체를 제작하였다. 마지막으로 제작된 전파 흡수체에 온도와 압력이 미치는 영향을 조사하기 위해 heating molder를 이용하여 400 kg/cm²로 일정하게 유지하되 표면 온도를 100 °C, 150 °C로 제어하면서 전파 흡수능 향상과 대역폭의 광대역화를 모색하였다.

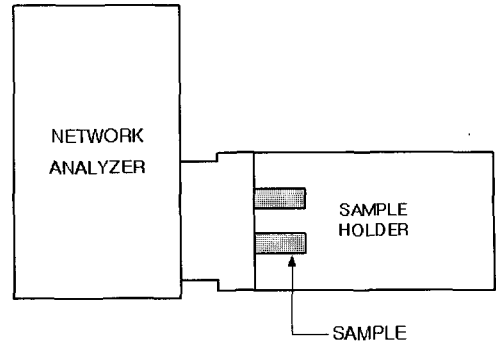


그림 1. Network analyzer의 단면도
Fig. 1. Cross section of network analyzer.

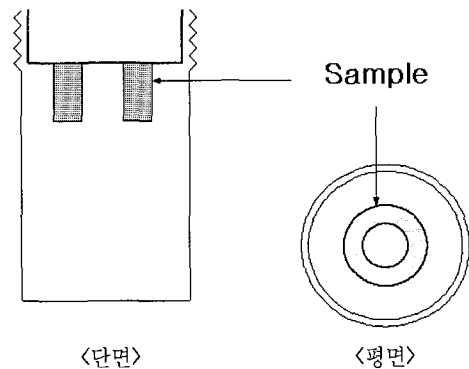


그림 2. Sample 및 sample holder의 형상
Fig. 2. The shape of sample and sample holder.

그림 1과 그림 2는 반사 계수를 측정하기 위해 사용한 network analyzer와 sample holder다. 측정 시료를 그림 2와 같이 sample holder에 삽입하고 반사 계수 측정을 하였다^[4].

III. 지지재 변화에 따른 전파 흡수능

전파 흡수체 제작시 대표적으로 사용되어지는 지지재로는 Silicon Rubber와 CPE(Chlorinated Polyethylene)가 있다. 본 연구에서는 이러한 지지재에 따른 전파 흡수체의 전파 흡수능을 조사하기 위해 Sendust : Silicon Rubber=80 : 20 wt% 혹은 Sendust : CPE=80 : 20 wt%로 각각 혼합을 한 후 두께별로 전파 흡수능을 측정하여 이를 그림 3에 나타내었다.

그리고 각 샘플의 재료 정수를 측정하기 위해 network analyzer를 이용하여 각각의 반사 계수를 측정한 다음 재료 정수를 구하였다. 재료 정수는 측

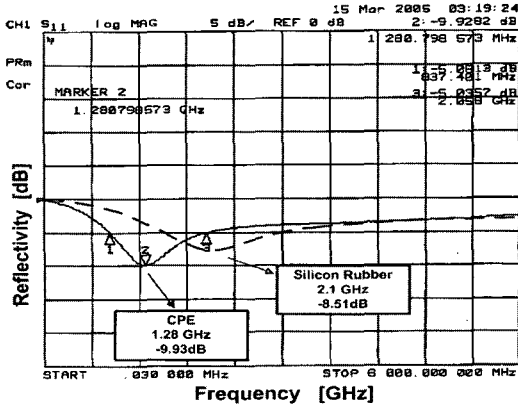


그림 3. 지지재 변화에 따른 전파 흡수능
Fig. 3. Reflection coefficient as a function of frequency for the samples with the various binder.

정된 반사 계수를 데이터를 MATLAB 프로그램으로 계산하였다.

전체적으로 CPE를 지지재로 한 전파 흡수체가 저주파에서 우수한 전파 흡수능을 나타내었다. 이는 휴대 전화 단말기의 사용 주파수가 1.8 GHz임을 감안할 때 Silicon Rubber에 비해 CPE(Chlorinated Polyethylene)가 성능 및 실용적인 면에서 좀 더 우수하다고 할 수 있겠다.

자성 손실 재료로 하는 전파 흡수체의 흡수능은 $\tan \delta = \mu''/\mu'$ > 1일 때 즉 투자율의 허수부가 실수 부분보다 큰 영역에서 효과적인 흡수능을 나타낸다고

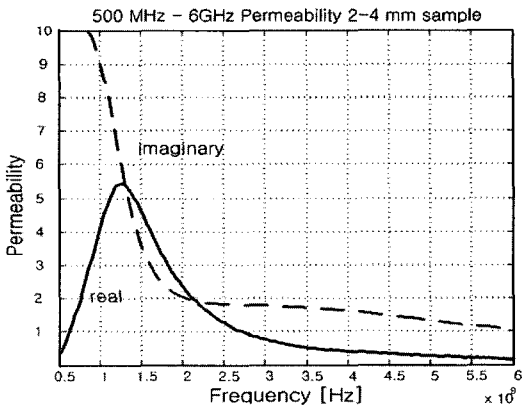


그림 4. Silicon Rubber와 혼합된 전파 흡수체의 주파수를 함수로 하는 복소 투자율
Fig. 4. Permeability as a function of frequency for samples mixed with Silicon Rubber.

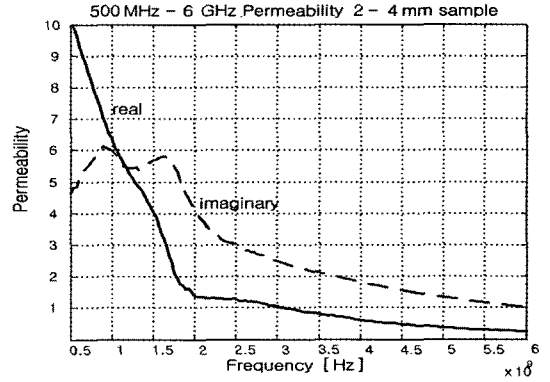


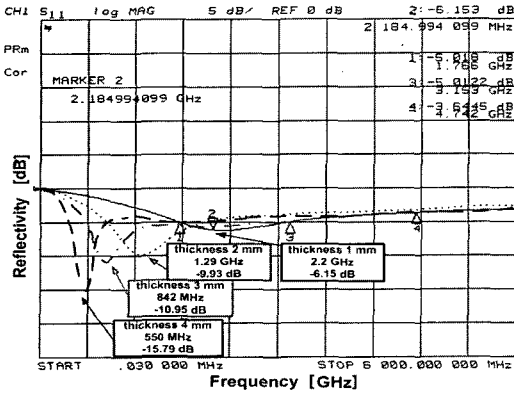
그림 5. CPE와 혼합된 전파 흡수체의 주파수를 함수로 하는 복소 투자율
Fig. 5. Reflection coefficient as a function of frequency for samples mixed with CPE.

보고되고 있다^[3]. 따라서 그림 4와 5는 이들 시편에 대해서 주파수를 함수로 하는 투자율을 조사한 그래프로써 두 시편 모두 $\tan \delta = 1$ 을 나타내는 주파수가 1 GHz~1.5 GHz 부근임을 볼 때 본 연구에서 제작한 시편 모두 이 사실과 일치하였다.

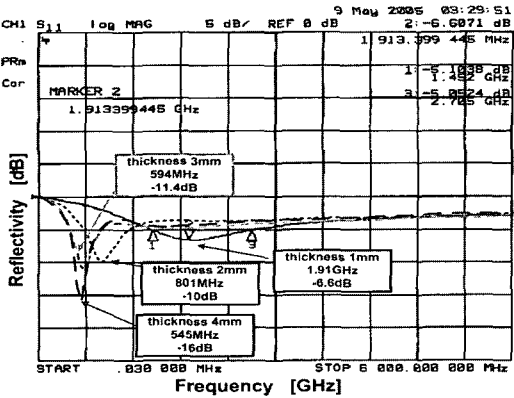
IV. Sendust의 배합율에 따른 전파 흡수능

본 실험에서는 초투자율이 30,000인 Sendust와 CPE(Chlorinated Polyethylene)의 혼합비를 각각 80 : 20 wt%, 85 : 15 wt%로 혼합하여 본 연구실에서 자체 제작한 Open Roller를 이용하여 두께 1 mm, 2 mm, 3 mm 및 4 mm의 sheet형 전파 흡수체를 제작하였다.

이 때 시편의 제작 온도는 70 °C로 일정하게 유지되도록 하였다. 그림 6은 지지재를 CPE(Chlorinated Polyethylene)로 고정하고 여기에 Sendust의 혼합비 Sendust : CPE=80 : 20 wt%, Sendust : CPE=85 : 15 wt%로 혼합하여 두께가 1 mm, 2 mm, 3 mm 및 4 mm의 두께를 갖는 전파 흡수체를 제작하여 이들의 전파 흡수능을 측정한 그래프이다. (a)의 경우 시편의 두께가 1 mm일 때 2.2 GHz에서 6.15 dB, 두께가 2 mm일 때 1.29 GHz에서 9.93 dB의 우수한 전파 흡수능을 나타내고 있으며 (b)의 경우 두께가 1 mm일 때 1.91 GHz에서 6.6 dB, 두께가 2 mm일 때 801 MHz에서 10 dB로 (a)의 경우보다 좀 더 우수한



(a) Sendust : CPE=80 : 20 wt%로 혼합
 (a) Sendust : CPE=80 : 20 wt%



(b) Sendust : CPE=85 : 15 wt%로 혼합
 (b) Sendust : CPE=85 : 15 wt%

그림 6. Sendust의 배합율에 따른 주파수를 함수로 하는 반사 계수
 Fig. 6. Reflection coefficient as a function of frequency for samples with various Sendust ratio.

전파 흡수능을 보인다.

V. Al(OH)₃의 코팅 변화량에 따른 전파 흡수능 및 SEM 비교

본 실험은 초투자율이 30,000인 Sendust에 비저항이 큰 Al(OH)₃를 coating함으로써 전파흡수 대역폭의 증가를 모색하였다. 일반적으로 코팅은 1,100 °C 이상의 고온처리에서 행해지지만 본 연구에서는 CMC와 H₂O를 혼합비 CMC : H₂O=97 : 3 wt%로 일정하게 혼합하여 CMC 수용액을 만든 후, 이를 double screw mill을 이용하여 Sendust와 Al(OH)₃의

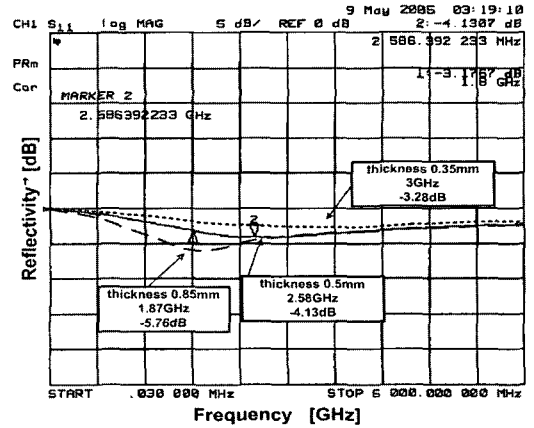


그림 7. 시편 두께에 따른 주파수를 함수로 하는 반사 계수
 Fig. 7. Reflection coefficient as a function of frequency for sample with various sample thickness.

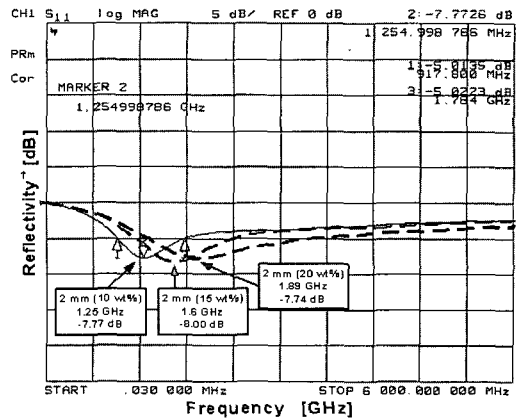


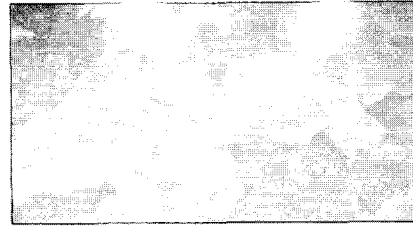
그림 8. Al(OH)₃ 변화량에 따른 주파수를 함수로 하는 반사 계수
 Fig. 8. Reflection coefficient as a function of frequency for sample of 2 mm with various Al(OH)₃ content.

코팅하는 새로운 코팅법을 제시하였다. 또한 이를 그림 10에 나타낸 바와 같이 SEM을 이용하여 코팅을 확인하였다.

그림 8에서 알 수 있듯이 각각의 두께가 다른 시편에 Al(OH)₃ 첨가는 전파 흡수능 및 대역폭 향상에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이는 Sendust에 Al(OH)₃를 첨가함으로써 자성 재료 입자간의 강자성을 완화시키고 비저항의 증가로 인한 손실의

증가에 따른 것으로 판단된다. 따라서 Al(OH)₃와 같이 비저항이 높은 물질을 Sendust에 코팅함으로써 정합 주파수와 전파 흡수능을 제어할 수 있음을 의미한다. Ferrite를 자성 손실체로 한 전파 흡수체의 흡수능은 자기 손실 $\tan \delta = (\mu''/\mu')$ 과 매우 밀접한 관계가 있으며 $\tan \delta > 1$ 일 때 우수한 흡수능을 나타낸다. 그림 8에서 알 수 있듯이 $\tan \delta > 1$ 을 나타내는 주파수가 1.5 GHz 부근임을 볼 때 본 실험에서 제작한 시편 모두 이 사실과 잘 일치하고 있다. 또한 그림 9의 (a), (b)는 복소투자율을 나타낸 그래프로 $\tan \delta > 1$ 을 나타내는 주파수가 각각 1.8 GHz, 2 GHz로 Al(OH)₃의 coating량이 증가할수록 고주파로 이동하였다.

그림 10은 Al(OH)₃가 각각 10 wt%, 20 wt% 함



(a) 10 wt%



(b) 20 wt%

그림 10. Al(OH)₃로 코팅된 표면 SEM 사진

Fig. 10. SEM micrographs of Sendusts coated with Al(OH)₃.

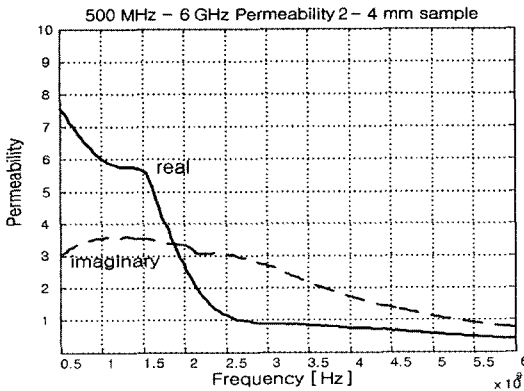
유된 Sendust의 표면을 전자현미경으로 500배 확대한 사진이다. SEM(Scanning Electron Micrograph) 분석을 통해 Al(OH)₃가 Sendust 표면에 코팅되어 있음을 보이고 있다.

VI. Sendust 표면 온도 변화에 따른 전파 흡수능

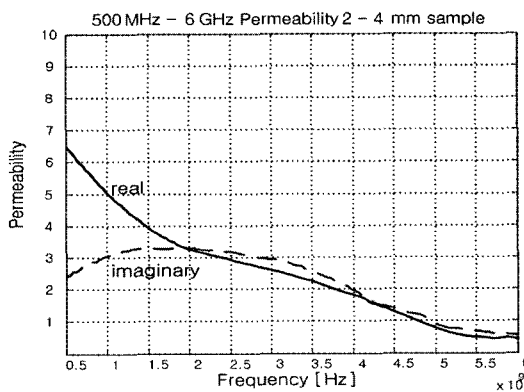
본 실험은 Sendust : CPE=85 : 15 wt%의 혼합비로 완성된 시편 두께가 3 mm인 완성된 전파 흡수체를 heating molder를 이용하여 압력을 400 kg/cm²로 일정하게 유지하되 표면 온도를 100 °C, 150 °C로 제어하면서 전파 흡수능 향상과 대역폭의 광대역화를 모색하였다.

그림 11에서 알 수 있듯이 표면 온도가 증가함에 따라 정합 주파수가 고주파대로 이동하면서 우수한 전파 흡수능을 나타내었고, 또한 흡수대역 역시 광대역화 되었다. 이와 같은 사실로부터 동일한 두께를 갖는 완성된 전파 흡수체에서 표면 온도를 제어함으로써 정합 주파수와 대역폭의 향상을 제어할 수 있었다.

그림 12의 (a), (b)에서 $\tan \delta > 1$ 을 나타내는 주파수는 각각 785 MHz, 855 MHz로 완성된 전파 흡수체의 표면 온도가 증가함에 따라 고주파로 이동하였



(a) 10 wt%



(b) 20 wt%

그림 9. Al(OH)₃의 코팅 변화량에 따른 주파수를 함수로 하는 복소 투자율

Fig. 9. Permeability as a function of frequency for samples with various Al(OH)₃ content.

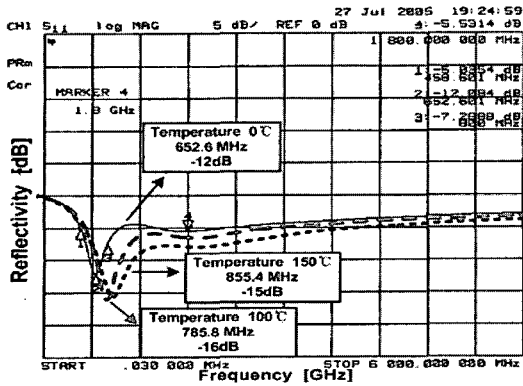
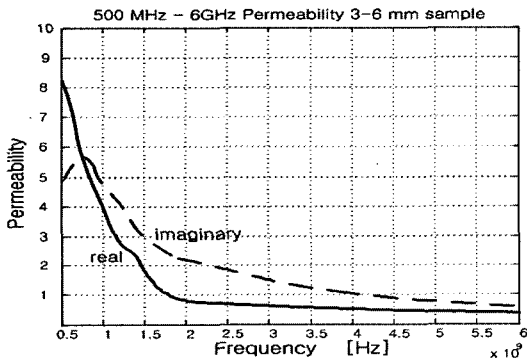
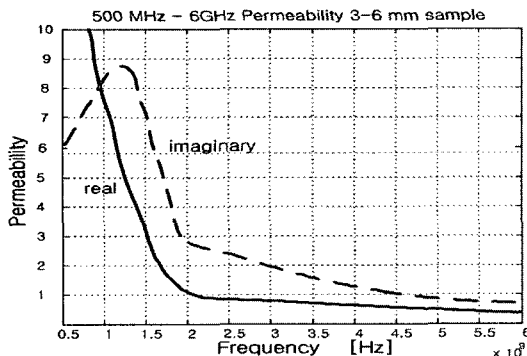


그림 11. Sendust 표면 온도 변화에 따른 주파수를 함수로 하는 반사 계수

Fig. 11. Reflection coefficient as a function of frequency for samples of 3 mm with different surface temperature.



(a) 100 °C



(b) 150 °C

그림 12. Sendust 표면 온도 변화에 따른 주파수를 함수로 하는 복소 투자율

Fig. 12. Permeability as a function of frequency for samples of 3 mm with various surface temperature.

고, 이는 본 실험에서 제작한 시편과 일치하였다.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 자성 손실 재료인 Sendust를 이용하여 휴대 전화용 전파 흡수체를 개발하였다. 또한 Al(OH)₃ 첨가가 전파 흡수능 광대역 개선에 매우 유효함을 알았으며, 표면 온도 또한 우수한 전파 흡수체를 개발하는데 있어 반드시 고려되어야 할 사항임을 알았다.

특히 500 MHz~3 GHz에서 전파 흡수능을 나타내었으며, 휴대폰 사용 주파수인 800 MHz~1.8 GHz에서 우수한 전파 흡수 특성을 나타내었다. 기존 상용되고 있는 휴대 전화용 전파 흡수체는 통상 두께 1 mm 이하에서 흡수능 1.5 dB 이하의 흡수능을 보이는데 비해 본 연구에서 개발한 전파 흡수체는 두께 0.85 mm에서 5.76 dB의 흡수능을 보였다. 따라서 실용성을 겸비한 고성능 전파 흡수체로서 휴대 전화 단말기로부터 누설되는 불요 전자파를 흡수하기에 적합하므로 휴대전화 단말기에 실질적인 응용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 김동일, 전상엽, "EMI/EMC 대책용 광대역화 전파 흡수체의 개발에 관한 연구", 한국향해학회지, 15(4), pp. 13-35, 1991년 12월.
- [2] 최형도, 채종석, 김덕원, 한용석, 이원재, "전자파 리스크 커뮤니케이션 환경분석 및 대국민 홍보 방안", 제6회 전자기장의 생체 영향에 관한 워크숍, p. 55, 2002년 10월.
- [3] Y. Hashimoto, "The application of ferrite as an absorber", *Jap. J. Appl. Phys.*, vol. 6, no. 3, pp. 171-177, 1983.
- [4] Y. Naito, *Electromagnetic Wave Absorber*, Tokyo : New Ohm, Jun. 1987.
- [5] 정태우, 이원재, "Cu-Ni-Zn 페라이트의 미세조직과 전자파 흡수 특성", 한국재료학회지, 1995년 5월.
- [6] Satoshi Sugimoto, Katsumi Okayama, Sin-ichi Kon-do, 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.

[7] 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.

최 윤 석



2006년 3월: 동의대학교 정보통신공학과 (공학사)
2006년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC 분석 및 대책, 고성능 전파흡수체의 개발, FDTD 이용한 전자장 수치해석

김 동 일



1975년 2월: 한국해양대학교 항해학과 (공학사)
1977년 2월: 한국해양대학교 전파공학전공 (공학석사)
1984년 3월: 일본 동경공업대학원 전기전자공학과 (공학박사)
1975년 3월~1993년 9월: 한국해양대학교 조교~부교수

정 재 현



2005년 3월: 동의대학교 전자공학과 (공학사)
2006년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC 분석 및 대책, 고성능 전파흡수체의 개발, FDTD 이용한 전자장 수치해석

1990년 3월: 산학협동상 대상 수상
1993년 12월: 한국전자과학회 학술상 수상
1995년 4월: 과학기술진흥 대통령 표창 수상
1998년 9월: 한국항해학회 우수논문상 수상
1993년 10월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수
2002년 1월~2003년 12월: 한국전자과학회 학회장
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등