

Sendust를 이용한 휴대전화용 전파 흡수체의 개발

Development of Electromagnetic Wave Absorbers for Mobile Phone Using Sendust

최정현 · 김동일 · 송재만* · 정재현

Jung-Hyun Choi · Dong-Il Kim · Jae-Man Song* · Jae-Hyun Jung

요 약

본 논문에서는 시편의 두께와 Al_2O_3 함유량, 분쇄시간에 따른 입자 크기가 Sendust를 이용한 sheet형 전파 흡수체의 전파 흡수능에 미치는 영향을 조사한 것이다. Al_2O_3 를 코팅한 전파 흡수체는 코팅하지 않은 전파 흡수체와 비교할 때 흡수 대역이 넓어지고, 분쇄 시간이 증가함에 따라 입자 크기가 작아지고 이로 인해 전파 흡수능이 증가함을 확인하였다. 제작된 전파 흡수체의 두께가 4 mm일 때 946 MHz에서 17.4 dB, 1 mm일 때 1.8 GHz에서 약 5 dB의 전파 흡수능을 나타내었다.

Abstract

In this paper, we fabricated sheet-type EM wave absorbers for mobile phones by using sendusts and tested EM wave absorption of it. The band-width of EM wave absorbers coated with Al_2O_3 were larger than non-coated EM wave absorbers. Particle size decreased with increasing milling time, which made the result of increasing of EM wave absorption. The fabricated EM wave absorbers show a reflection coefficient 17.4 dB at 946 MHz for a 4 mm sample and 5 dB at 1.8 GHz for a 1 mm sample.

Key words : Al_2O_3 , Absorber, Sendust, Mobile Phone, Particle Size

I. 서 론

최근에는 그 사용의 편리함과 용도의 다양성으로 인해 휴대폰, 노트북 그리고 PDP(Plasma Display Panel) 등과 같은 전자기기의 사용이 날로 증대하고 있다. 이와 아울러 이들로부터 누설되는 전자파가 인체에 미치는 영향과 기기 상호간에 미치는 영향을 고려하여 이들 누설 전류에 대한 영향을 최소화하기 위해 전파 흡수체에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전파 흡수체는 전파를 흡수하여 열 에너지로 변환시켜 반사파가 생기지 않도록 하는 재료이다. 이러한 전파 흡수체는 주파수 의존 특성이 매우 커

서 사용하고자 하는 주파수 대역에서 자기적, 전기적, 유전 손실이 큰 재료를 이용하거나 이들을 혼합하여 최대의 손실 특성을 나타내는 재료를 만드는 기술 개발이 필요하다.

이와 같은 연구는 주로 자성 손실을 이용한 ferrites 같은 자성 재료를 기초로 하여 이루어지고 있다^{[1]~[4]}. Soft ferrites인 Mn-Zn ferrites와 Ni-Zn ferrites는 전파 흡수능에 영향을 주는 자기적 손실이 높기 때문에 전파 흡수체로서 매우 중요한 재료이다. 그러나 이러한 soft ferrites는 GHz 대역에서 자기 손실이 급격하게 줄어들기 때문에 GHz 대역의 주파수에서 좋은 전파 흡수체로서의 기능을 나타내지 못한다.

「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 : 20050521-10S

· 수정완료일자 : 2005년 7월 27일

그러나 Sr ferrites와 Br ferrites^{[5],[6]} 같은 Hard ferrites는 GHz 대역의 주파수에서 자기적 손실이 증가되므로 GHz 대역용 전파 흡수체로서 매우 유용한 재료라 할 수 있다. 재생 Mn-Zn ferrites와 Sr ferrites 및 Ba ferrites를 이용한 전파 흡수체에 관한 연구에서도 이러한 재생 Magnets가 전파 흡수체에 유용한 재료임을 보고한 바 있다^{[5]~[6]}. 그러나 아직까지는 이러한 한정된 재료만을 이용하고 있어 다양한 각도에서의 연구개발이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 지금까지 전파 흡수체의 대표적인 재료로 사용되어 오던 Sr ferrites와 Ba ferrites가 아닌 새로운 재료인 Sendust를 CPE와 혼합한 전파 흡수체를 제작하여 그 특성을 조사하였다.

본 논문에서는 전파 흡수체를 개발하는데 있어 새로운 재료인 Sendust를 사용함으로써 새로운 전파 흡수체 재료의 개발 가능성을 제시하였고, 이를 이용한 휴대 전화기용 전파 흡수체를 개발하였다. 지금까지 휴대 전화기에서 발생하는 전자파의 인체 유해성이 분명하게 입증된 사례는 없으나, 뇌종양과 기억력 감퇴 등을 불러올 우려가 높은 것으로 지적되고 있으며 동물 실험에서는 유해하다는 결과들이 잇따라 발표되면서 이를 해결하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 따라서 실용적인 면을 고려한 휴대 전화기용 전파 흡수체를 개발하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 분석전 초투자율이 30,000인 Sendust에 대하여 Al₂O₃ 함유량, 시편 제작 온도, 입자 크기 등이 전파 흡수능에 미치는 영향을 연구하여 보고하고자 한다.

II. 시편 제작 및 측정

본 논문에서 제안하는 전파 흡수체는 Sendust : CPE = 80 : 20 wt %로 혼합하여 open roller를 이용하여 Open roller의 표면 온도가 70℃일 때 제작하였으며 Al₂O₃ 변화량이 전파 흡수능에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Al₂O₃가 각각 10 wt %, 15 wt %, 20 wt % 함유된 Sendust를 지지체인 CPE와 80 : 20 wt %로 혼합하여 sheet형 전파 흡수체를 제작하였다. 또한 Sendust의 입자 크기 및 모양의 변화에 따른 전파 흡수 특성을 조사하기 위해 분쇄 시간을 달리하여 지지체인 CPE와 80 : 20 wt %로 혼합하여 전파

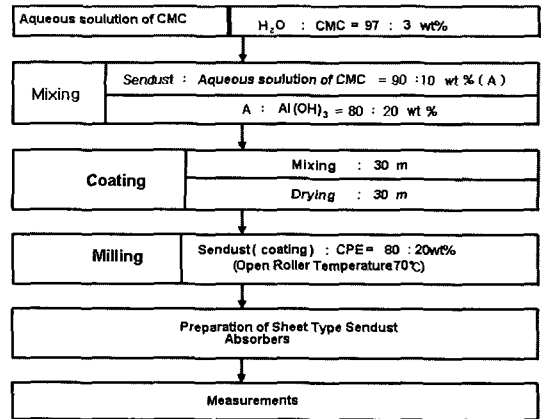


그림 1. Sheet형 전파 흡수체 제작 공정
Fig. 1. Manufacturing process of a sheet type EM wave absorber.

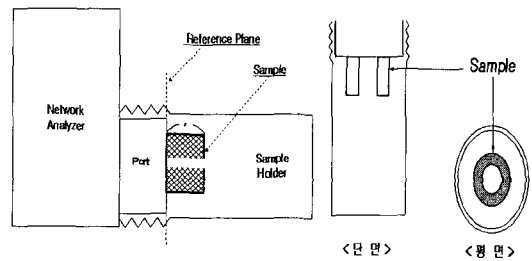


그림 2. 반사 계수 측정 시스템
Fig. 2. Reflection coefficient measurement system.

흡수체를 제작하였다.

그림 1은 sheet형 전파 흡수체의 제작 과정을 나타내었다.

전파 흡수능 측정을 위해 편치를 이용하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm, 두께 1~4 mm의 토로이드 형상을 갖게 하였다. 그림 2는 본 실험에서 반사 계수 측정을 위해 사용한 network analyzer와 sample holder를 나타낸 것이다. 제작된 전파 흡수체의 전파 흡수능을 측정하기 위해서 샘플 홀더(holder)에 제작된 전파 흡수체의 샘플(sample)을 그림 2의 오른쪽 그림과 같이 샘플 홀더에 삽입하여 그림 2의 왼쪽에 있는 network analyzer를 이용하여 반사 계수를 측정하였다.

III. 두께 변화에 따른 전파 흡수체의 반사 계수

그림 3은 Sendust : CPE = 80 : 20 wt %로 혼합하

여 시편 두께가 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm가 되도록 제작하여 그 반사 계수를 측정하였다. 두께가 4 mm 일 때 중심주파수 946 MHz에서 약 17.4 dB의 가장 우수한 반사 계수 특성을 나타내었으며 2, 3, 4 mm 모두 800 MHz에서 5 dB 이상의 흡수 특성을 나타내고 있다. 두께가 1 mm일 때 1.8 GHz에서 약 5 dB의 우수한 흡수 특성을 나타내었으며, 또한 두께가 증가함에 따라 중심 주파수가 저주파대로 이동하며 이러한 특성은 일반적인 전파 흡수 특성과 일치한다¹⁷⁾.

그림 4는 Sendust : CPE = 85 : 15 wt %로 혼합하여 시편 두께가 1 mm 미만이 되도록 제작하여 그 반사 계수를 측정하였다. 0.5 mm, 0.85 mm가 PCS의 사

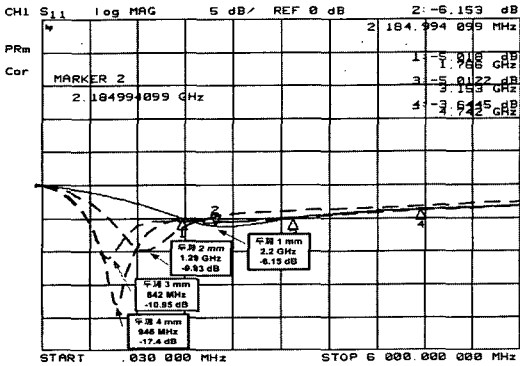


그림 3. 두께 변화에 따른 반사 계수
Fig. 3. Reflection coefficient as a function of frequency for the samples with various sample thickness.

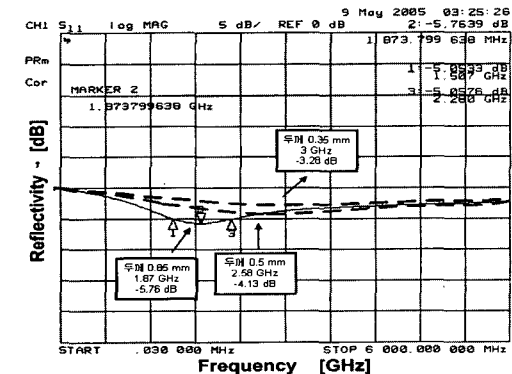


그림 4. 두께 1 mm 미만의 반사 계수
Fig. 4. Reflection coefficient as a function of frequency for the samples of less than 1 mm sample thickness.

용 주파수인 1.7 GHz~1.8 GHz에서 3 dB 이상의 반사 계수 특성을 나타내었다.

IV. Al₂O₃의 변화량에 따른 전파 흡수체의 반사 계수 및 복소투자율과 미세구조

Sendust의 표면에 비저항이 큰 Al₂O₃를 코팅하여 전파 흡수의 대역폭의 증가를 꾀하였다. Al₂O₃가 각각 10 wt %, 15 wt %, 20 wt % 함유된 Sendust를 지지체인 CPE에 분산시켜 시편 두께가 1 mm, 2 mm, 3 mm가 되도록 제작하여 그 반사 계수를 측정하였다. 그 결과를 그림 5에서 7까지 나타내었다.

그림 5~7에서 알 수 있듯이 각각의 두께가 다른

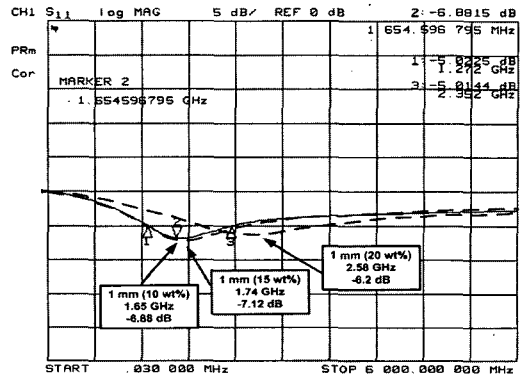


그림 5. Al₂O₃ 변화량에 따른 반사 계수(두께 1 mm)
Fig. 5. Reflection coefficient as a function of frequency for samples of 1 mm with various Al₂O₃.

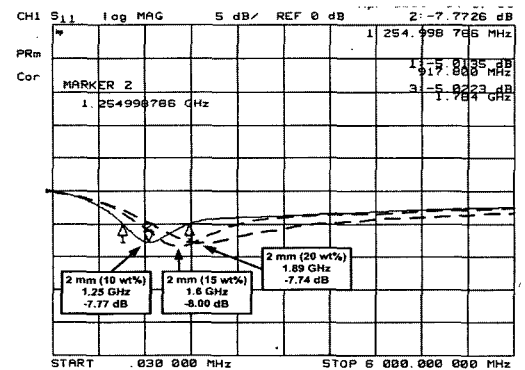


그림 6. Al₂O₃ 변화량에 따른 반사 계수(두께 2 mm)
Fig. 6. Reflection coefficient as a function of frequency for samples of 2 mm with various Al₂O₃.

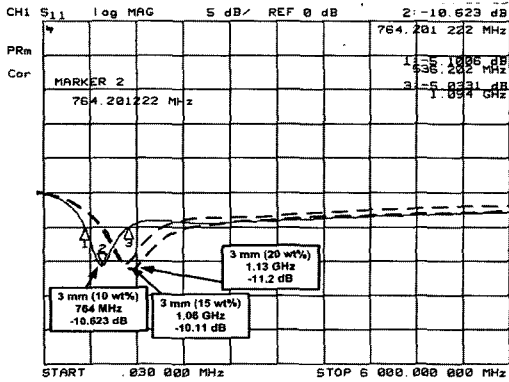


그림 7. Al_2O_3 변화량에 따른 반사 계수(두께 3 mm)
Fig. 7. Reflection coefficient as a function of frequency for samples of 3 mm with various Al_2O_3 .

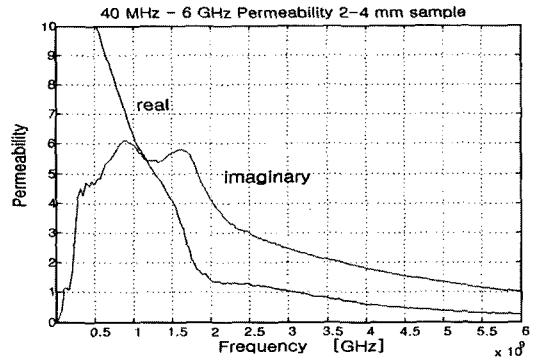
시편에 Al_2O_3 첨가는 전파 흡수능에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Sendust에 Al_2O_3 를 첨가함으로써 정합 주파수와 전파 흡수능을 제어할 수 있음을 의미한다. 제작된 전파 흡수체의 샘플 두께가 3 mm이고 혼합된 Al_2O_3 의 중량비가 20 wt %일 때 중심 주파수 1.13 GHz에서 약 11.2 dB의 가장 우수한 반사 계수 특성을 나타낸다.

그림 8은 Sendust에 Al_2O_3 를 코팅하지 않은 것과 10 wt %, 20 wt % 함유된 전파 흡수체의 주파수를 함수로 하는 복소 투자율을 나타내었다.

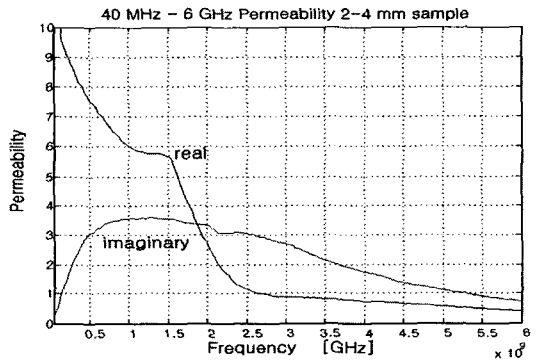
자성 손실재를 이용한 전파 흡수체의 흡수능은 자기 손실 $\tan \delta = (\mu''/\mu')$ 과 매우 밀접한 관계가 있으며 $\tan \delta > 1$ 일 때 우수한 흡수능을 나타낸다^[8]. 그림 8의 (a), (b) 그리고 (c)에서 $\tan \delta > 1$ 를 나타내는 주파수는 1 GHz~2 GHz에 분포하고 있으며, 그림 7에서 $\tan \delta > 1$ 를 나타내는 주파수가 1.8 GHz 부근으로서 일정한 값을 보여주고 있다. 이는 본 연구에서 개발된 2 mm 시편이 1 GHz~2 GHz의 범위에서 전파 흡수능을 나타내는 것과 일치한다.

그림 9는 Al_2O_3 및 Sendust 그리고 Al_2O_3 가 각각 10 wt %, 20 wt % 함유된 시편의 입자를 전자 현미경(SEM)으로 나타내었다. 그림 9의 (c), (d)에 Al_2O_3 가 Sendust에 코팅되어진 것을 확인할 수 있다.

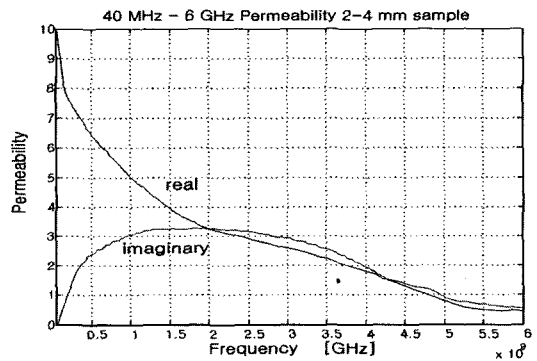
V. 분쇄 시간에 따른 전파 흡수체의 반사 계수 측정



(a) 코팅하지 않은 것
(a) None coating



(b) 10 wt % 코팅
(b) 10 wt % coating



(c) 20 wt % 코팅
(c) 20 wt % coating

그림 8. Al_2O_3 의 코팅 효과에 따른 복소 투자율
Fig. 8. Permeability as a function of frequency with various Al_2O_3 .

그림 10은 분쇄 시간에 따른 전파 흡수능을 두께 변화에 따라 반사 계수 특성을 나타낸 것이다. 분쇄 시간이 길어짐에 따라 중심 주파수가 고주

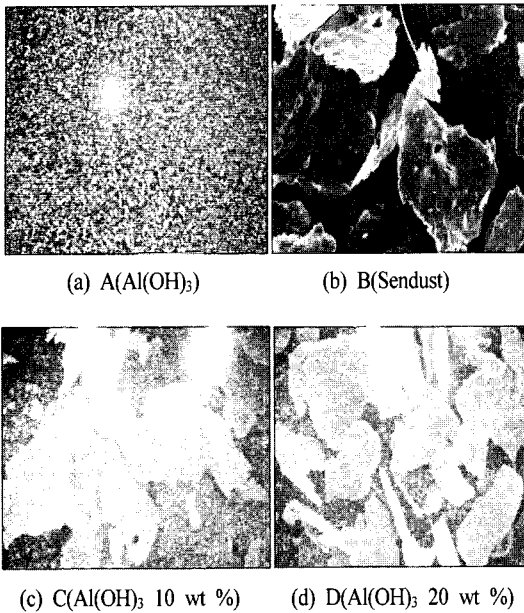


그림 9. Al(OH)₃와 Sendust의 SEM 사진
Fig. 9. SEM micrographs of Al₂O₃.

재료로 하는 전파 흡수체를 개발하였다는데 의의가 있다. 또한 Al₂O₃ 첨가가 전파 흡수능 광대역 개선에 매우 유효함을 알았으며, 분쇄 시간 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. 두께 1 mm 이하에서도 PCS 사용 주파수인 1.8 GHz에서 우수한 전파 흡수 특성을 보이고 있다. 본 연구에서 개발한 sheet형 전파 흡수체는 실용성을 겸비한 고성능 전파 흡수체로 휴대 전화 단말기로부터 누설되는 불요 전자파를 흡수하기에 적합하므로 휴대 전화 단말기에 실질적인 응용이 기대된다. 중심 주파수가 1~3 GHz에서 우수한 전파 흡수능을 나타내었으며, 이는 추후 휴대 전화기용 전파 흡수체의 개발을 위한 자료로 좀 더 연구가 이루어져야 할 것으로 본다.

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, Young-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 Kon-

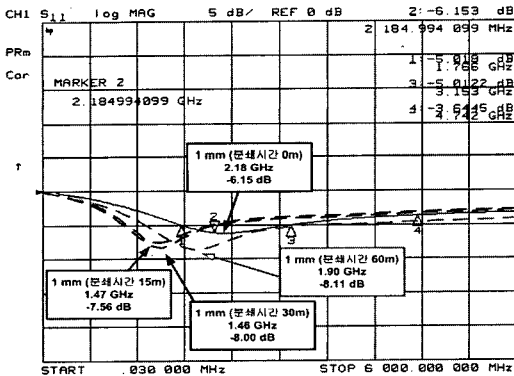


그림 10. 분쇄 시간에 따른 반사 계수(두께 1 mm)
Fig. 10. Reflection coefficient as a function of frequency for samples of 1 mm with different milling time.

파대로 이동하면서 향상된 전파 흡수능을 나타냄을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 지금까지 전파 흡수체의 대표적인 자성 재료로 이용되어 오던 Soft ferrites인 Mn-Zn ferrites나 Ni-Zn ferrites 및 Hard ferrites인 Ba ferrites, Sr ferrites에서 벗어나 처음으로 Sendust를 자성 손실

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.

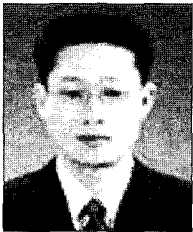
[6] A. Verma, R. G. Mendiratta, T. C. Goel, and D. C. Dube, "Microwave studies on strontium ferrite based

absorbers", *Journal of Electroceramics*, vol. 8, pp. 203-208, 2002.

[7] H. Naito, *Electromagnetic Wave Absorbers*, New Ohm, Tokyo, 1987.

[8] Y. Hashimoto, "The application of ferrite as an absorber", *Jap. J. Appl. Phys.*, vol. 6, no. 3, pp. 175-177, 1983.

최 정 현



2004년 3월: 동의대학교 정보통신 공학과 (공학사)
2004년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI / EMC 분석 및 대책, 고성능 전파 흡수체의 개발, FDTD 이용한 전자장 수치해

석, 마이크로파능동회로

송 재 만

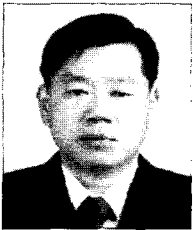


1985년 2월: 송실대학교 물리학과 (이학사)
1995년 8월: 송실대학교 물리학과 (이학박사)
1990년 2월~1995년 8월: 송실대학교 물리학과 강사
1996년 3월~1997년 2월: 일본 나

가사키대학 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
[주 관심분야] 전파 흡수체 개발, 소프트 페라이트, 자성박막개발, Nanocomposite 자석 개발

김 동 일

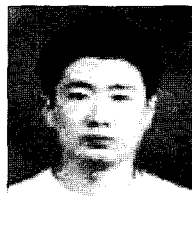


1975년 2월: 한국해양대학교 (공학사)
1977년 2월: 한국해양대학교 전파공학전공 (공학석사)
1984년 3월: 일본 동경공업대학원 전기전자공학과 (공학박사)
1975년 3월~1993년 9월: 한국해

양대학교 조교, 부교수

1990년 3월 10일: 산학협동상 대상 수상
1993년 12월 11일: 한국전자파학회 학술상 수상
1995년 4월 21일: 과학기술진흥 대통령 표창 수상
1998년 9월 30일: 한국향해학회 우수논문상 수상
2002년 1월~2004년: 한국전자파학회 학회장
1993년 10월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파 흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등

정 재 현



2004년 3월: 동의대학교 전자공학과 (공학사)
2004년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI / EMC 분석 및 대책, 고성능 전파 흡수체의 개발, FDTD 이용한 전자장 수치해

석, 마이크로파능동회로