

# 옷을 지지재로 이용한 복합형 전자파 흡수체의 제작

## Manufacture of Composite Electromagnetic Absorber using Natural Lacquer Binder

김동일 · 최동한 · 김수정 · 박우근 · 송재만\* · 김민정\*

Dong Il Kim · Dong-Han Choi · Su-Jung Kim · Woo-Keun Park  
Jae-Man Song\* · Min-Jung Kim\*

### 요 약

고성능 광대역 복합형 전자파 흡수체를 개발하기 위해 지금까지 지지재로 주로 사용되어오던 Silicone과 CPE 그리고 본 연구에서 새롭게 제안하는 전통 옷에서 사용되어 오던 옷에 대한 전자파 흡수능을 조사하였다. 또한 이들과 MnZn 페라이트를 혼합한 전자파 흡수체를 제작하여 이들의 전자파 흡수능을 조사하였다. 옷을 지지재로 한 MnZn 페라이트 복합형 전자파 흡수체는 CPE와 Silicone을 지지재로 한 전자파 흡수체에 비하여 광대역에서 우수한 전파흡수특성을 나타내었다.

### Abstract

The microwave absorption properties of silicone, chloride polyethylene(CPE), and natural lacquer which is newly suggested in this study as a binder for composite microwave absorber were investigated to develop a superior microwave absorber. MnZn ferrite composite microwave absorbers mixed with them were prepared and their absorption property was investigated. A MnZn ferrite microwave absorber mixed with natural lacquer showed an excellent microwave absorption property in expanded frequency band.

Key words : Composite Microwave Absorber, Natural Lacquer, Silicone, CPE, MnZn Ferrite

### I. 서 론

다양한 전자기기의 개발이 현대인이 매우 편리한 생활을 누리는데 크게 기여하고 있음은 누구나 인지하고 있는 사실이다. 그러나 이와 같은 문명의 혜택은 과거에는 예상치 못한 새로운 문제를 제시하고 있다. 예를 들어 전자 기기에서 발생하는 전자파로 인한 기기 상호간의 전자파 간섭에 의한 컴퓨터의 오동작, 항해하는 선박에서 만들어 내는 전자파가 해상의 교량 등에 부딪혀 생기는 허상으로 인한 사고 위험의 증가, 그리고 최근에 휴대전화의 사용

이 급증하면서 많은 사람들의 관심을 모으고 있는 휴대전화 사용으로 인한 인체의 유해성 여부 논란 등을 들 수 있다<sup>[1],[2]</sup>.

전자파 흡수체는 전파를 흡수하여 열에너지로 변환하는 특성을 갖는 재료를 이용하여 불필요한 전자파를 흡수하여 반사파가 생기지 않도록 하는 재료이다. 전파흡수 재료를 크게 나누면 도전손실재료, 유전손실재료, 자성손실재료로 분류할 수 있고 이 중에서 자성손실재료는 일반적으로 산화물 자성재료인 페라이트(Ferrite)가 사용되고 있다<sup>[3]</sup>.

페라이트 전자파 흡수체는 소결형과 지지재(Bin-

「본 연구는 2002년도 산학협동재단(Matching Fund : 예린철예) 및 BB21의 지원에 의한 연구 결과임.」

한국해양대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science, National Korea Maritime University)

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

· 논문 번호 : 20030414-060

· 수정완료일자 : 2003년 5월 31일

der)에 적정 비율의 페라이트를 혼합한 복합형 (Composite)이 많이 사용되고 있으나, 복합형 전자파 흡수체는 사용 주파수 대역이 좁고 전자파 흡수능이 낮아 이에 대한 개선이 필요하다.

복합형 페라이트 전자파 흡수체는 원하는 형상을 유지하기 위해 지지재와 함께 가공되고 있으며 지지재로 고무, CPE(Chloride polyethylene), Silicone 등이 널리 사용되고 있다. 그러나 최근 본 연구실의 연구를 통하여 우리나라 등에서 전통공예품의 장식에 유약으로 사용되어 오던 옷이 전자파 흡수능을 갖는다는 사실이 밝혀졌다. 이는 전자파 흡수체의 전자파 흡수능을 개선하기 위해 이루어지고 있는 많은 연구 중 현재 가장 활발히 이루어지고 있는 페라이트의 조성변화에 의한 특성의 개선과 아울러 지지재를 이용한 특성의 개선에 관한 연구 또한 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 지금까지 페라이트 전자파 흡수체에 대표적인 지지재로 사용되어 오던 CPE, 그리고 Silicone과 본 연구에서 새롭게 제안하는 옷이 갖고 있는 전자파 흡수능을 비교하고 또한 이들과 MnZn 페라이트를 혼합한 전자파 흡수체를 제작하여 그 특성을 조사하였다. 특히, 본 연구에서는 복합형 전자파 흡수체에 요구되는 광대역 특성을 갖는 전자파 흡수체의 개발을 위한 대안으로서 옷을 지지재로 하는 MnZn 페라이트 전자파 흡수체의 가능성을 제시하고자 한다.

## II. 전자파 흡수능 측정

전자파 흡수능 측정을 위해 펀치를 이용하여 내경 3.05 mm, 외경 6.95 mm의 토로이드형상을 갖게 하였다.

그림 1과 2는 본 실험에서 반사계수와 투자율 측정을 위해 사용한 Network Analyzer와 Sample Holder의 실제 사진과 도면을 나타낸 것이다. 샘플(지지재)들의 전자파 흡수능을 측정하기 위해서 그림 2에 나타낸 샘플 홀더(Holder)에 순수 지지재의 샘플(Sample)을 삽입하고 그림 1의 Network Analyzer에 밀착 고정시킨 다음 One-Port method 방법으로 반사계수를 측정하였다.

각 샘플의 재료정수를 측정하기 위해 그림 2에서

와 같이 샘플의 길이가  $l=3$  mm,  $2l=6$  mm인 샘플(Sample)을 Sample Holder에 삽입한 후, 각각의 반사계수( $S_{5mm}$ ,  $S_{10mm}$ )를 측정한다. 측정된 반사계수를 식 (1)과 (2)에 대입하여 재료정수(비유전율, 비투자율)

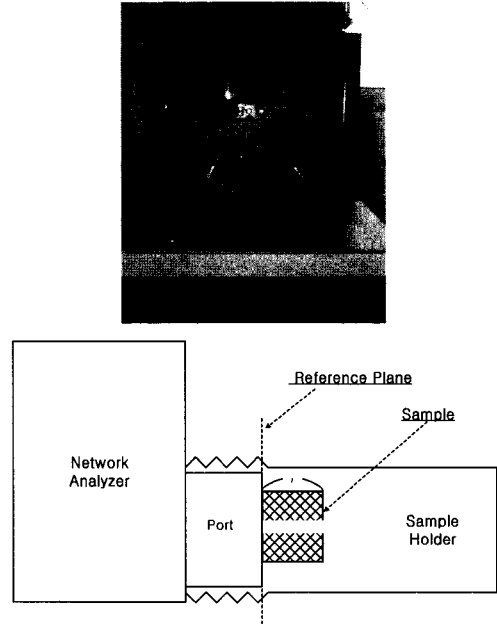


그림 1. 샘플의 반사계수 측정 시스템  
Fig. 1. Reflection coefficient measurement system of sample.

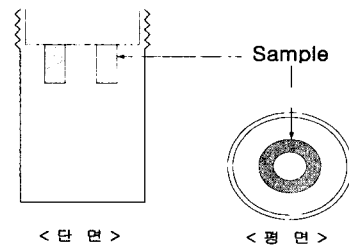
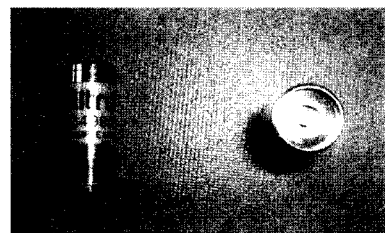


그림 2. 샘플이 삽입된 샘플홀더의 구조  
Fig. 2. Sample holder's structure which sample is inserted.

를 계산한다<sup>[6],[7]</sup>. 재료정수는 측정된 반사계수 데이터를 Matlab 프로그램으로 계산하였다.

$$\epsilon_r = -j \frac{C}{2\pi f} \frac{\frac{1}{l} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{2Z_1 - Z_2}{Z_2}}}{Z_1 \sqrt{\frac{Z_2}{2Z_1 - Z_2}}} \quad (1)$$

$$\mu_r = -j \frac{C}{2\pi f} \frac{1}{l} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{2Z_1 - Z_2}{Z_2}} Z_1 \sqrt{\frac{Z_2}{2Z_1 - Z_2}} \quad (2)$$

여기서,

$$Z_1 = Z(l) = \frac{1 + S_{3mm}}{1 - S_{3mm}} \quad Z_2 = Z(2l) = \frac{1 + S_{6mm}}{1 - S_{6mm}}$$

### III. 측정결과

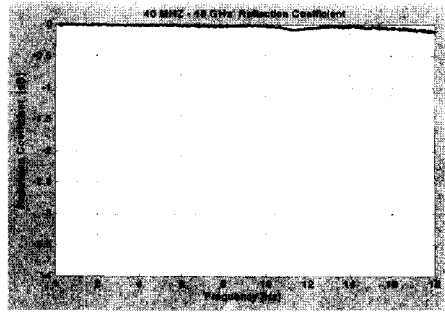
지지재 자체가 갖고 있는 전자파 흡수능을 조사하기 위하여 페라이트가 혼합되지 않은 각각 5 mm의 CPE와 Silicone, 그리고 옷의 전자파 흡수능을 측정하고 이를 그림 3에 나타내었다. 그림 3에 나타난 바와 같이 CPE는 흡수능이 거의 없고 Silicone 그리고 옷은 10 GHz 부근에서 각각 약 0.3 dB와 0.8 dB의 전자파 흡수능을 나타내고 있다.

그림 4는 지지재를 각각 CPE, Silicone 그리고 옷으로 하고 여기에 MnZn 페라이트를 혼합하여 3 mm의 두께를 갖는 전자파 흡수체를 제작한 후 이들의 전자파 흡수능을 측정한 그림이다.

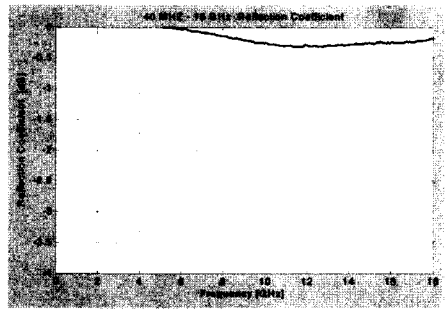
그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 옷을 지지재로 한 전자파 흡수체가 CPE와 Silicone을 지지재로 한 전자파 흡수체에 비하여 광대역에서 우수한 전자파 흡수능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

페라이트를 자성손실재로 하는 전자파 흡수체의 흡수능은 자성손실  $\tan \delta = (\mu''/\mu')$ 과 매우 밀접한 관계가 있으며 자성손실재는  $\tan \delta > 1$ 일 때 즉 투자율의 허수부가 실수부보다 큰 영역에서 효과적인 흡수능을 나타낸다고 보고되고 있다<sup>[5]</sup>. 따라서 그림 5에는 이들 시편에 대해서 주파수를 함수로 하는 투자율을 조사하여 나타내었다.

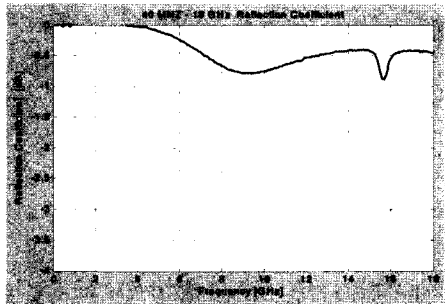
그림 5에 보인 바와 같이 세 시편 모두  $\tan \delta = 1$ 을 나타내는 주파수가 1 GHz 부근임을 볼 때 본 연구에서 제작한 시편 모두 이 사실과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 그림 6은 CPE, Silicone, 옷을 각각 지지재로 하는 복합 MnZn 페라이트 전자파 흡



(a) 두께가 5 mm인 순수 CPE의 반사계수  
(a) Purity CPE's reflection coefficient that thickness is 5 mm



(b) 두께가 5 mm인 순수 Silicone의 반사계수  
(b) Purity Silicone's reflection coefficient that thickness is 5 mm

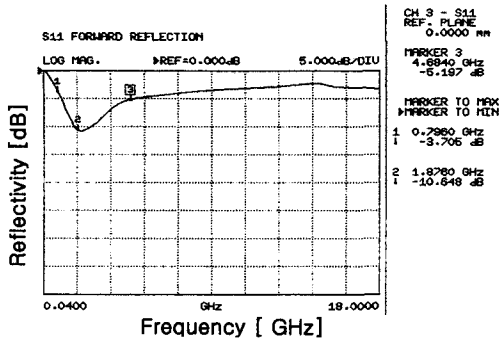


(c) 두께가 5 mm인 순수 옷칠의 반사계수  
(c) Purity Natural Lacquer's reflection coefficient that thickness is 5 mm

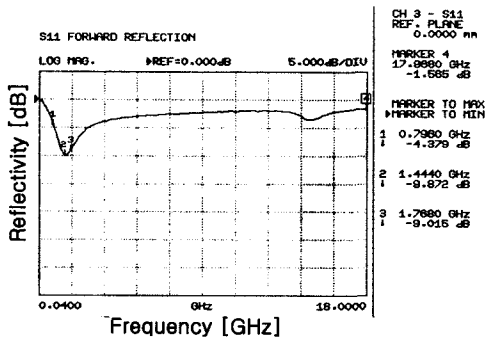
그림 3. (a) CPE, (b) Silicone 그리고 (c) 옷에 대한 주파수를 함수로 하는 반사계수

Fig. 3. Reflection coefficient as a function of frequency for (a) CPE, (b) Silicone, and (c) natural lacquer with a thickness of 5 mm.

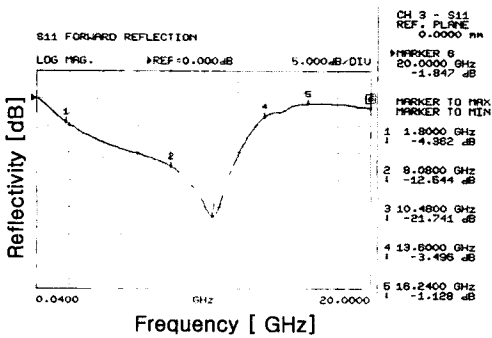
수체의 표면을 전자현미경(SEM)을 통하여 관찰한 사진으로 이들 모든 지지재가 공극(空隙)을 만들지 않고 MnZn 페라이트와 잘 혼합되어 있음을 알 수 있다.



(a) CPE와 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 반사계수  
(a) Reflection coefficient of mixed MnZn Ferrite absorber with CPE

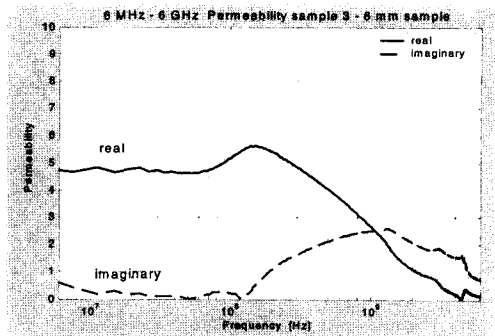


(b) Silicone과 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 반사계수  
(b) Reflection coefficient of mixed MnZn Ferrite absorber with Silicone

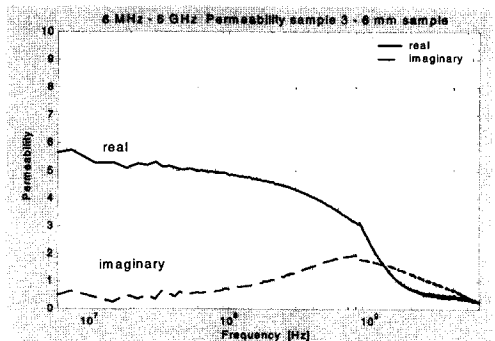


(c) CPE와 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 반사계수  
(c) Reflection coefficient of mixed MnZn Ferrite absorber with Natural Lacquer

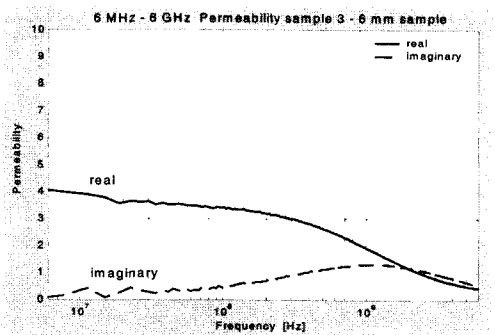
그림 4. 지지재를 (a) CPE, (b) Silicone, (c) 옷으로 하는 두께 3 mm인 MnZn 페라이트 전자파 흡수체의 주파수를 함수로 하는 반사계수  
Fig. 4. Reflectivity as a function of frequency for a MnZn ferrite microwave absorber with a thickness of 3 mm mixed with (a) CPE, (b) Silicone, and (c) natural lacquer.



(a) CPE와 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 복소투자율  
(a) Complex permeability of MnZn Ferrite absorber mixed with CPE

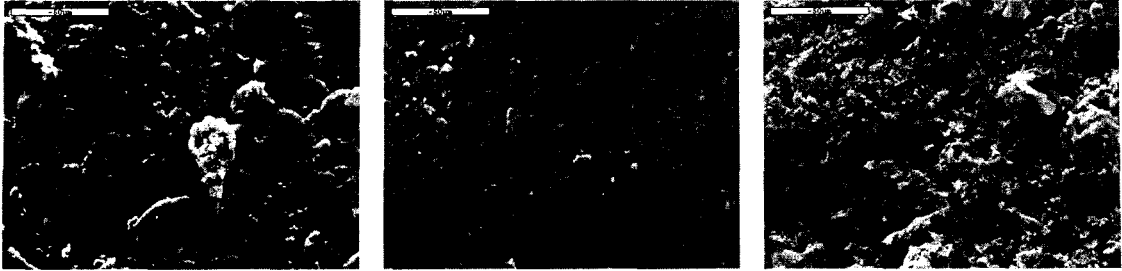


(b) Silicone과 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 복소투자율  
(b) Complex permeability of MnZn Ferrite absorber mixed with Silicone



(c) 옷과 혼합된 MnZn Ferrite 흡수체의 복소투자율  
(c) Complex permeability of MnZn Ferrite absorber mixed with Natural Lacquer

그림 5. (a) CPE, (b) Silicone, (c) 옷을 지지재로 하는 각 시편의 복소투자율  
Fig. 5. Complex permeability as a function of frequency for samples mixed with (a) CPE, (b) Silicone, and (c) Natural Lacquer, respectively.



(a) CPE와 혼합된 MnZn 페라이트 (b) Silicone과 혼합된 MnZn 페라이트 (c) 옷과 혼합된 MnZn 페라이트  
 (a) MnZn ferrite mixed with CPE (b) MnZn ferrite mixed with silicone (c) MnZn ferrite mixed with natural lacquer

그림 6. (a) CPE, (b) Silicone, (c) 옷을 바인더로한 시편의 표면  
 Fig. 6. Surface of specimens based on (a) CPE, (b) silicone and (c) natural lacquer, respectively.

한편 페라이트 전자파 흡수체의 전자파 흡수능은 표면의 구조에도 깊은 관계가 있으며 같은 페라이트 조성을 갖는 시편일지라도 표면구조의 변화에 의해 정합주파수가 변화하는 것으로 보고되고 있다<sup>[1]</sup>. 그림 6의 SEM 사진을 통하여 알 수 있는 바와 같이 옷을 지지재로 한 시편이 CPE와 Silicone을 지지재로 한 시편보다 거친 표면구조를 갖고 있다는 것을 알 수 있다. 그림 4에서 옷을 지지재로 한 시편이 CPE 나 Silicone을 지지재로 한 시편보다 5 dB 이상의 흡수능을 볼 때 더 넓은 주파수에 나타내는 것을 확인하였다.

이와 같은 사실은 전자파 흡수체에 요구되는 중요한 특성 중에 하나인 광대역 특성을 갖는 전자파 흡수체의 개발에 있어 지금까지는 주로 페라이트의 조성에 관한 연구를 중심으로 이루어져 왔으나 다양한 지지재의 개발을 통한 광대역 전자파 흡수체의 개발이라는 측면에서 매우 중요한 결과라 여겨진다.

#### IV. 결 론

연구는 고성능 광대역 복합형 전자파 흡수체를 개발하기 위해 지지재가 갖는 전자파 흡수능을 조사한 것으로 지금까지 지지재로 주로 사용되어오던 Silicone과 CPE 그리고 본 연구에서 새롭게 제안하는 전통 옷에서 사용되어 오던 옷에 대한 전자파 흡수능을 조사하였다. 또한 이들과 MnZn 페라이트를 혼합한 전자파 흡수체를 제작하여 이들의 전자파 흡수능을 조사하였다. 옷을 지지재로 한 MnZn 페라이트 복합형 전자파 흡수체는 CPE와 Silicone을 지지재로한 전자파 흡수체에 비하여 광대역에서 우수

한 전파흡수특성을 나타내었다. 이 같은 연구결과는 지금까지 복합형 전자파 흡수체의 광대역화를 위해 페라이트 조성의 변화에 의한 연구에서 벗어나 다양한 지지재의 선택에 의해 광대역화를 실현할 수 있음을 의미하는 것으로 그 의의가 있다고 하겠다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 山下博司, 小野信幸, 橋本康雄, 石野乾, 井上光雄, 秋田慶一, "テレビゴースト防止を目的とした建材用吸収壁", 日本電子通信學會論文誌, vol. J16-B, no. 8. pp. 729-736, 1978.
- [2] 橋本康雄, 石野乾, 栗原弘, "TV ゴースト防止用フェライト電波吸収體", EMCJ88-6, pp. 37-44, 1988.
- [3] Y. Kotsuka, "Ferrite Electromagnetic Wave Absorber", 日本應用磁氣學會誌, vol. 21, no. 10, pp. 1159-1166, 1997.
- [4] Dong Il Kim, Jae Young Bae, June Young Son, Young Soo Won and Jae Man Song, "A Study on Fabrication and Evaluation of Ferrite Electromagnetic Wave Absorber", *Journal of The Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 1, no. 1, pp. 95-99, 2001.
- [5] Y. Hashimoto, "The application of ferrite as an absorber", *Jap. J. Appl. Phys.*, vol. 6, no. 3, pp. 175-177, 1983.
- [6] 김동일, 박연준, 김하근, 사공 진, "복합형 등방성 Ferrite-Rubber Composite의 전자파 흡수특성에 관한 연구", 한국해양정보통신학회논문지, 3(1), pp. 35-42, 1999년.

[7] 박연준, 김동일, "Ni-Mn-Zn Spinel Ferrite-Rubber Composite의 전파흡수특성에 관한 연구", 한국항

해학회지, 23(1), pp.15-22, 1999년.

### 김 동 일



1975년 2월: 한국해양대학교 항해학과 (공학사)  
1977년 2월: 한국해양대학교대학원 전파공학전공 (공학석사)  
1984년 3월: 일본동경공업대학원 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: 한국항해학회 우수논문상 수상  
1993년 10월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 교수  
2002년 1월~현재: 한국전자파학회 학회장  
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전자파 흡수체의 개발, EMI / EMC 대책 등

### 최 동 한



1998년 2월: 경성대학교 전산통계학 (이학사)  
2000년 2월: 부경대학교 전자계산학 (이학석사)  
2002년 2월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 박사과정  
[주 관심분야] 고성능 전자파 흡수

체 개발 및 EMI/EMC 등

### 김 수 정



1999년 2월: 동의대학교 전자통신공학과 (공학사)  
2000년 3월~현재: 한국해양대학교 대학원 전파공학과 석사과정  
[주 관심분야] 고성능 전자파 흡수체 개발, EMI / EMC 분석 및 대책

### 박 우 근



1999년 8월: 동의대학교산업기술 전기전자공학과(공학사)  
2001년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 박사과정  
현재: KBS 창원방송총국기술국장 [주 관심분야] 고성능 전자파 흡수체 개발

### 송 재 만



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

교 물리학과 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  
[주 관심분야] 전자파 흡수체 개발, 소프트 페라이트, 자성박막개발, Nanocomposite 자석 개발

### 김 민 정



1974년 12월 13일생  
1997년: 한국해양대학교 제어계측공학과 (공학사)  
1999년: 한국해양대학교 제어계측공학과 (공학석사)  
2002년: 한국해양대학교 제어계측공학과 (공학박사)

현재: 한국해양대학교 산업기술연구소 전임연구원  
[주 관심분야] 항해통신, GPS, 제어공학, EMC/EMI 등