

# Sendust와 Mn-Zn Ferrite를 이용한 PCB로부터의 전자파 방사 억제용 전파흡수체 개발

## Development of EM Wave Absorber for Suppression Noise from PCB Using Sendust and Mn-Zn Ferrite

윤상길 · 김동일 · 송영만 · 박수훈

Sang-Gil Yoon · Dong Il Kim · Young-Man Song · Soo-Hoon Park

### 요 약

본 논문에서는 Sendust와 Mn-Zn ferrite를 이용하여 2.4 GHz ISM 대역 PCB 노이즈 제거용 전파흡수체를 설계 및 제작하였다. Sendust와 Mn-Zn ferrite를 바인더인 CPE와 혼합하여 조성비별 전파흡수체 샘플을 제작하였고, 이를 분석한 결과 최적의 조성비가 Sendust : Mn-Zn ferrite : CPE=70:5:20 wt.%임을 확인하였다. 전파흡수체 샘플로부터 계산되어진 재료 정수를 이용하여 두께에 따른 흡수능의 변화를 시뮬레이션 하였으며, 시뮬레이션 결과를 토대로 전파흡수체를 실제 제작하여 전파 흡수능을 비교, 분석하였다. 그 결과, 시뮬레이션 결과와 실측정 결과는 잘 일치하였으며, 중심 주파수 2.4 GHz에서 흡수능 5.4 dB, 1.4~4.1 GHz 대역에서 3 dB 이상의 흡수능을 보였으며, 이때 두께는 0.85 mm이었다.

### Abstract

In this paper, we designed and fabricated the EM wave absorber consists of Sendust and Mn-Zn ferrite for suppressing EM wave noise from PCB in ISM(Industrial, Scientific and Medical) band of 2.4 GHz. We fabricated several samples in different ratios of Sendust to Mn-Zn ferrite with CPE(Chlorinated Polyethylene) as binder and confirmed that optimum composition ratio of absorbing materials was Sendust : Mn-Zn ferrite : CPE=70:5:20 wt.%. The absorbing abilities were simulated according to different thickness of EM wave absorber as the function of material constants calculated by measured data. Measured absorption ability was analyzed and compared with simulated result. The simulated result agree well with the measured ones. As a result, the developed EM wave absorber with thickness of 0.85 mm has absorption ability of 5.4 dB at 2.4 GHz and over 3 dB in frequency range of 1.4~4.1 GHz.

Key words : PCB, EMC, ISM Band, EM Wave Absorber, Sendust, Mn-Zn Ferrite

### I. 서 론

현재 전자파 공학의 발전으로 사람들은 생활의 편리함을 누리고 있다. 특히 지금은 고도 정보화 사회라 불릴 만큼 각종 정보기기가 사회에 널리 보급되면서 정보 교환량도 급속도로 늘어났지만 전자파

용의 밀집도가 높아지면서 전자파 환경을 더욱 악화시키고 있다. 전자기기에서도 외부로부터의 불요 전자파에 의해 오작동을 일으켜 인명에 치명적인 장애를 주는 등 심각한 사회적 문제를 야기하고 있는 것으로 보고되고 있다<sup>[1]</sup>. 최근 급성장하고 있는 정보처리 속도의 고속화와 IC 기술의 고집적화에 따른 소

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2006-(C1090-0603-0034)).」

한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime University)

· 논문 번호 : 20071130-21S

· 수정완료일자 : 2008년 2월 11일

형화와 모바일화는 대부분 GHz대의 높은 주파수를 이용하며, 인접 소자 또는 배선 간의 상호 간섭, 배선을 통한 노이즈의 전도 및 방사를 유발하여 EMC (Electromagnetic Compatibility) 대책 기술의 주요 과제로 대두되고 있다. CISPR(International Special Committee on Radio Interference), FCC(Federal Communications Commission), ANSI(American National Standards Institute) 등의 기구는 이러한 문제를 해결하기 위한 EMI/EMS 대책에 관한 연구가 활발히 진행 중이며, 국제 규정을 제정하여 각종 전자기기들에 대해 방사 및 내성에 대한 규제를 강화하고 있다<sup>[2]</sup>.

이러한 문제점을 해결하기 위해 전파흡수체 및 차폐재의 개발이 활발히 진행 중이며, 이를 적절한 위치에 부착하여 실제 PCB상에서의 전자파 노이즈 방사를 감소시킬 수 있다. PCB상에서의 전파흡수체의 적용은 실제로 IC칩 위에 부착되거나 flat cable, signal line 위에 부착되어진다. 또한, 덮개 전체를 둘러싸는 형태로 사용되어진다.

따라서, 본 논문에서는 Sendust와 Mn-Zn ferrite를 이용하여 2.4 GHz ISM 대역<sup>[3]</sup>에서 정합 주파수를 갖는 1 mm 이내의 박형화된 전파흡수체를 설계하였고, 이를 실제 제작하여 비교·분석하였다.

## II. 전파흡수체 설계 이론

그림 1과 같이 두께  $d$ 인 전파흡수체가 도체판에 놓여있는 경우, 입사파와 반사파에 대한 반사 손실(return loss)은 식 (1)처럼 나타낼 수 있다.

$$RL = -20 \log_{10} \left| \frac{z-1}{z+1} \right| \text{ [dB]} \quad (1)$$

여기서,  $Z$ 는 정규화 입력 임피던스이다.

전파흡수체의 입력 임피던스는 식 (2)와 같이 주어지며, 전파흡수체의 특성 임피던스  $Z_c$ 와 전파 정수  $\gamma$ 는 식 (3) 및 식 (4)와 같다.

$$Z = Z_c \frac{Z_L + Z_c \tanh \gamma d}{Z_c + Z_L \tanh \gamma d} \quad (2)$$

$$Z_c = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (3)$$

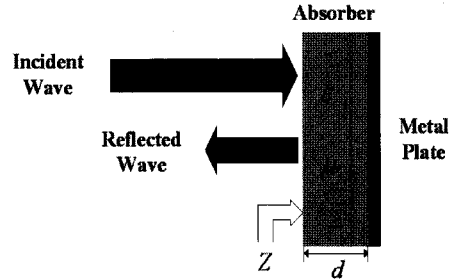


그림 1. 단층형 전파흡수체

Fig. 1. Single layer EM wave absorber.

$$\gamma = j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (4)$$

$\lambda$ 는 입사한 평면파의 파장이며,  $\epsilon_r$ 은 복소비 유전율,  $\mu_r$ 은 복소비 투자율을 나타낸다. 식 (3)과 식 (4)를 식 (2)에 대입하여 평면파의 수직 입사에 대한 매질 내 정규화 입력 임피던스를 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$z = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}) \quad (5)$$

반사가 없는 완전한 전파흡수체로 되기 위한 조건은  $\Gamma=0$ 이므로 식 (5)의 임피던스가  $z$ 가 1이 되는 것과 같다. 이를 무반사 조건식이라 하며, 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다<sup>[4-7]</sup>.

$$\sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh(j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}) = 1 \quad (6)$$

이러한 무반사 조건식으로부터 전파흡수체의 설계가 가능하다.

## III. 제작 및 측정 결과

### 3-1 전파흡수체 샘플 제작

본 논문에서는 자성 재료인 sendust와 Mn-Zn ferrite를 사용하였고, 지지재로는 CPE를 사용하여 전파흡수체 sheet를 제작하였다. 믹서를 이용하여 sendust와 Mn-Zn ferrite를 CPE와 조성비를 달리하여 혼합하고, 본 연구실에서 자체 제작한 open roller를 이용하여 두께 1 mm, 2 mm의 sheet형 샘플을 제작

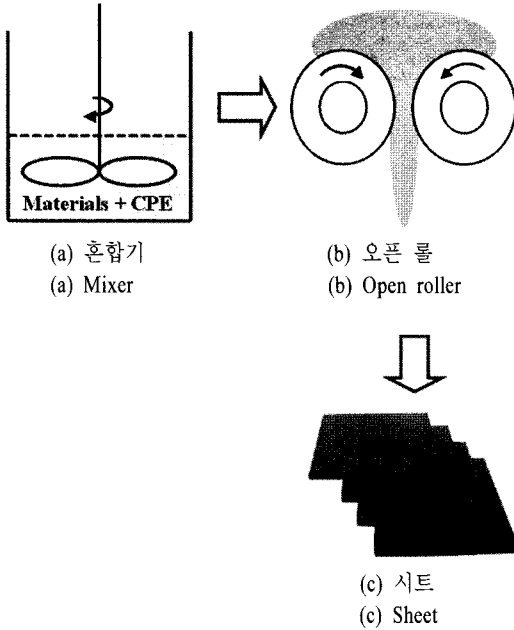


그림 2. 전파흡수체의 제작 과정  
Fig. 2. Manufacturing process of absorber.

하였다. 이때 샘플을 제작할 때 open roller의 표면 온도는 흡수능에 영향을 미치므로 표면 온도를 70 °C로 고정하여 샘플을 제작하였다<sup>[8]</sup>.

3-2 측정 시스템의 구성

측정은 HP사의 Vector Network Analyzer 8739D를 사용하였으며, 그림 3과 같은 샘플 홀더에 외경 7

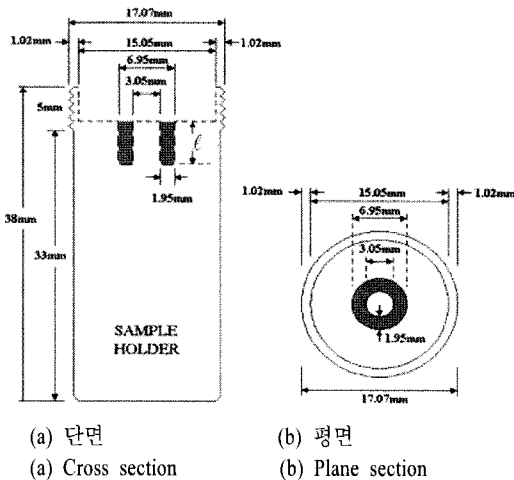


그림 3. 샘플 홀더  
Fig. 3. Sample Holer.

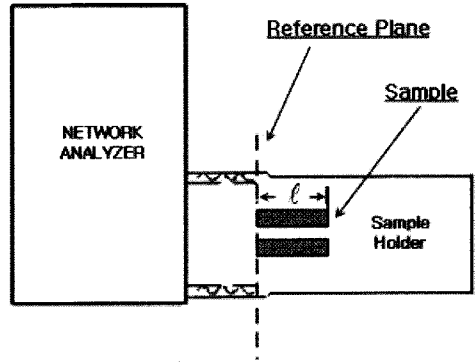


그림 4. 측정 시스템  
Fig. 4. Measurement system.

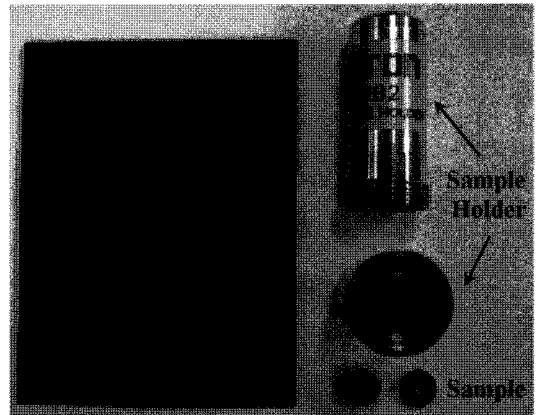


그림 5. 제작된 전파흡수체, 샘플 홀더, 샘플  
Fig. 5. A photo of the absorber, sample holder, sample.

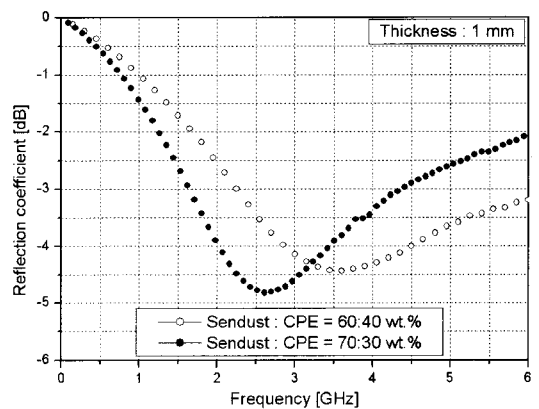


그림 6. 조성비 sendust:CPE=60:40 wt.%와 70:30 wt.%일 때의 반사 계수 특성  
Fig. 6. Reflection coefficient of composition ratio sendust:CPE=60:40 wt.% and 70:30 wt.%.

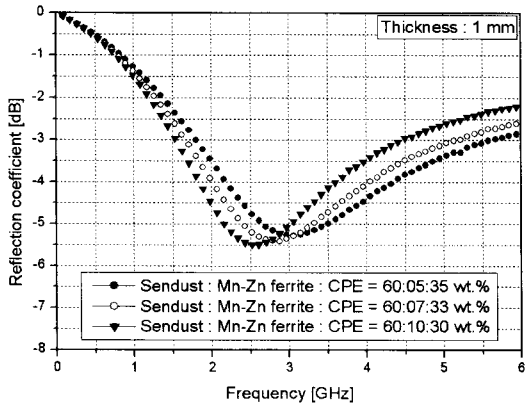


그림 7. Sendust의 함량이 60 wt%일 때 Mn-Zn ferrite 함량 변화에 따른 반사 계수

Fig. 7. Reflection coefficient of different ratio of Mn-Zn ferrite(sendust:60 wt.%).

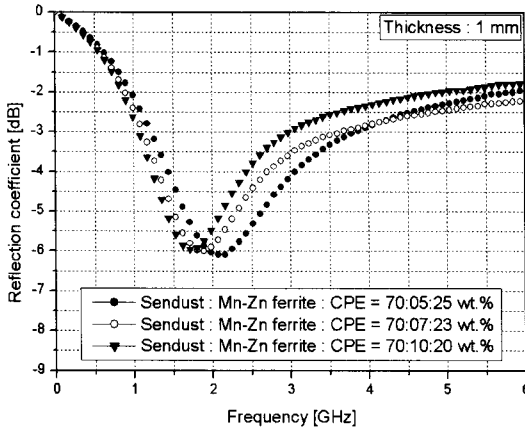


그림 8. Sendust의 함량이 70 wt%일 때 Mn-Zn ferrite 함량 변화에 따른 반사 계수

Fig. 8. Reflection coefficient of different ratio of Mn-Zn ferrite(sendust:70 wt.%).

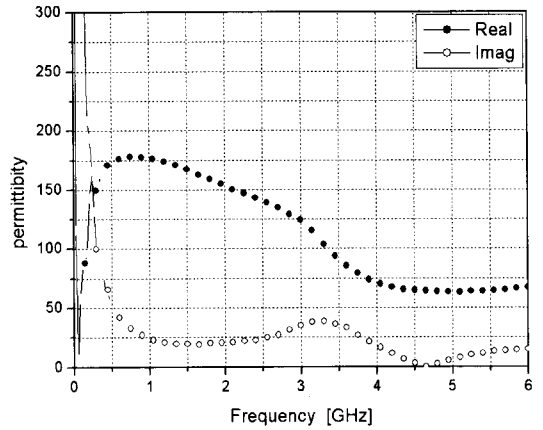
mm, 내경 3.05 mm 크기의 전파흡수체 sample을 삽입한 후 그림 4와 같이 network analyzer에 연결하여 S-parameter를 측정하였다. 측정된 S-parameter를  $\ell - 2\ell$  법<sup>[4],[5]</sup>을 이용하여 재료 정수를 계산하였다.

### 3.3 샘플의 조성비별 반사 계수 측정 및 분석

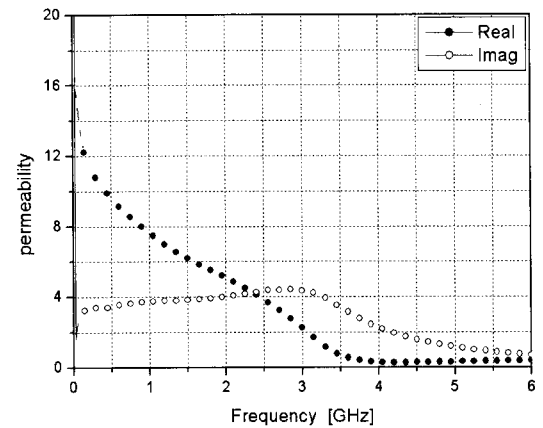
두께 1 mm의 조성비 Sendust:CPE=60:40 wt.%와 Sendust:CPE=70:30 wt.%인 샘플의 반사 계수 특성을 그림 6에 나타내었다. Sendust 함량이 60 wt.%인 경우, 중심 주파수 3.5 GHz에서 4.3 dB의 흡수능을

보였으며, Sendust 함량이 70 wt.%인 경우 2.6 GHz에서 4.8 dB의 흡수능을 보였다. 조성비 Sendust:CPE=60:40 wt.%와 Sendust:CPE=70:30 wt.%에 Sendust의 양을 고정하고 Mn-Zn ferrite를 5 wt.%, 7 wt.%, 10 wt.%를 첨가한 샘플을 제작한 후 결과를 분석하였고, 그 결과를 그림 7과 그림 8에 나타내었다.

그림 7과 그림 8에서처럼 조성비 Sendust:CPE=60:40 wt.%와 조성비 Sendust:CPE=70:30 wt.%에 Mn-Zn ferrite를 첨가하였을 경우, 같은 두께에서 1 dB 이상



(a) 복소비 유전율  
(a) Complex relative permittivity



(b) 복소비 투자율  
(b) Complex relative permeability.

그림 9. 조성비 sendust:Mn-Zn ferrite:CPE=70:5:25 wt.%인 샘플의 복소비 유전율 및 복소비 투자율

Fig. 9. Complex relative permittivity and complex relative permeability of sample containing sendust:Mn-Zn ferrite:CPE=70:5:25 wt.%.

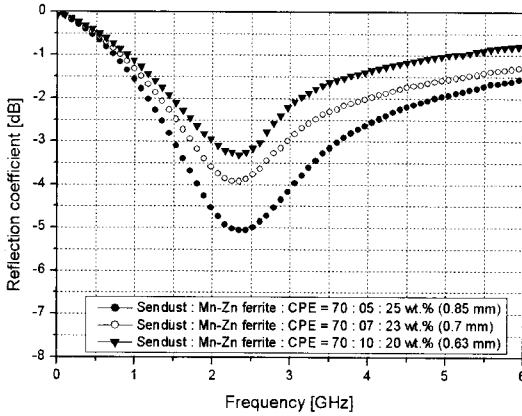


그림 10. 중심 주파수를 2.4 GHz로 고정시킨 각 성분비별 반사 계수(시뮬레이션 결과)

Fig. 10. Reflection coefficient of samples with different composition ratio at 2.4 GHz(simulated results).

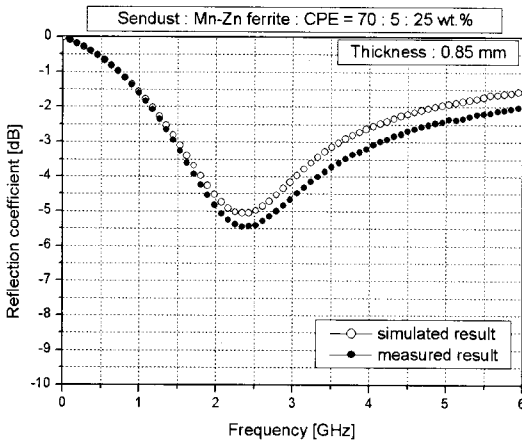


그림 11. 시뮬레이션과 실측정 비교

Fig. 11. Compared simulated and measured result.

흡수능이 개선되었고, 정합 주파수가 낮은 주파수 쪽으로 이동하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3-4 시뮬레이션 결과 및 측정 결과 비교

앞에서 측정된 S-parameter를 이용하여 재료 정수 ( $\epsilon_r$ ,  $\mu_r$ )를 계산하였고, 계산되어진 재료 정수를 식 (1)과 식 (5)를 이용하여 두께 및 흡수능을 예측하였다. 시뮬레이션에는 MATLAB 프로그램을 이용하였다.

시뮬레이션 결과, 조성비 Sendust:Mn-Zn ferrite:

CPE=70:5:25 wt.%인 경우 2.4 GHz ISM 대역에서 가장 좋은 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 최적 조성비에서의 재료 정수를 그림 9에 나타내었고, 조성비와 두께 변화에 따른 흡수능 예측치를 그림 10에 나타내었다.

설계된 전파흡수체는 2.4 GHz 정합 주파수에서 약 5 dB의 흡수능이 예측되었고, 이때 최적 두께는 0.85 mm이었다. 설계된 결과를 바탕으로 전파흡수체를 실제 제작하였으며, 그림 4의 측정 시스템을 이용하여 반사 계수를 측정한 결과 그림 9와 같이 예측치와 실측치가 거의 유사한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

## IV. 결 론

본 논문에서는 최근 EMI/EMS 문제가 심각히 대두되고 있고, 그에 대한 규제가 강화됨에 따라 전자기기의 PCB IC칩이나 덮개에 부착할 수 있는 2.4 GHz ISM 대역에서의 EMI 대책용 전파흡수체를 개발하였다. Sendust에 Mn-Zn ferrite를 첨가하여 Sheet 형태로 제작하였다. 조성비 Sendust:Mn-Zn ferrite: CPE=70:5:25 wt.%일 때 가장 좋은 특성을 보였으며, 제작된 전파흡수체는 두께 0.85 mm로 1.4~4.1 GHz 대역에서 3 dB 이상의 전파 흡수능 특성을 보였으며, 정합 주파수 2.4 GHz에서 5.4 dB의 우수한 흡수능을 보였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김동일, "전파흡수/차폐재", 한국전자과학기술지, 9(2), 1998월 6월.
- [2] 공성식, 안형태, 정삼영, "전자파 장애 방지 국제 표준기술 작업 동향", 한국전자과학기술지, 14(4), pp. 81-91, 2003년 10월.
- [3] 김민현, 고희화, "ISM용 주파수 대역의 이용방안 및 기술기준", 한국통신학회, 한국통신학회 전파방송기술분야논문집, pp. 105-113, 1997년 1월.
- [4] 김동일, 전파흡수체공학, 대영사, 2006년.
- [5] Y. Naito, *Electromagnetic Wave Absorbers*, Ohm, 1987.
- [6] O. Hashimoto, *Introduction to Wave Absorber*, Morikita Shuppan, 1997.

[7] Chang-Mook Choi, Dong Il Kim, Dong-Han Choi, and Rui Li, "Development of broad-band electro magnetic wave absorber for X-band sensors in double-layered type using carbon", *12th IAIN World Congress*, vol. 1, pp. 297-300, Oct. 2006.

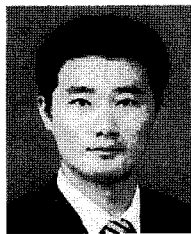
[8] Sang-Hyun Moon, Seung-Jae Shin, Jae-Man Song, and Dong Il Kim, "Development of composite a ferrite EM wave absorbers for GHz frequency", *Journal of the Korea Electromagnetic Engineering Soc.*, vol. 14, no. 12, pp. 1329-1334, Dec. 2003.

윤 상 길



2007년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)  
 2007년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] EMI/EMC 분석 및 대책, 고성능 전파흡수체 개발 등

송 영 만



2006년 2월: 동의대학교 전자공학과 (공학사)  
 2006년 2월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] EMI/EMC 분석 및 대책, 고성능 전파흡수체의 개발

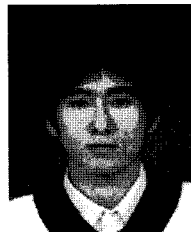
김 동 일



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

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~2003년 12월: 한국전자파학회 학회장  
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등

박 수 훈



2007년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)  
 2007년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] RFID, 고성능 전파흡수체 개발 등