

2.4 GHz 대역용 불요전자파 억제용 초박형 전파흡수체의 제작 및 평가

김동일^{1*} · 곽현수² · 주양익³ · 박수훈⁴

Fabrication and Evaluation of the Super Thin-Type EM Wave Absorber for Suppressing EM Noises in 2.4 GHz Band

Dong Il Kim^{1*} · Hyun Soo Kwak² · Yang Ick Joo³ · Soo Hoon Park⁴

^{1*2}Department of Radio Sciences & Eng., Korea Maritime & Ocean University, Busan, 606-791, Korea

³Elec. & Electronics Eng. of Korea Maritime Univ.,

⁴Gyungnam Techno-Park

요 약

본 논문에서는 자성 금속재료인 센더스트(Sendust)를 이용하여 2.4 GHz ISM 대역의 전자파 노이즈 억제를 목적으로 하는 EMI/EMC 대책용 전파흡수체를 설계·제작하였다. CPE (Chlorinated Polyethylene)를 바인더로 하여 압착 Sendust와의 조성비 별로 전파흡수체 샘플을 제작하였고, 이를 분석하여 최적의 조성비를 탐색하였다. 그 결과 최적의 조성비는 Flaked Sendust : CPE = 72.5 : 27.5 wt.%로 밝혀졌다. 전파 흡수체 샘플로부터 도출된 재료정수를 이용하여 두께의 변화에 따른 전파흡수능의 변화를 시뮬레이션 하였으며, 그 결과를 토대로 제작한 전파흡수체의 전파흡수능과 시뮬레이션 결과치가 잘 일치하는 것을 확인하였다. 이 경우, 중심주파수 2.4 GHz에서 5.4 dB의 전파흡수능을 보였으며, 이때 전파흡수체의 정합두께는 0.6 mm로서 종래의 전파흡수체에 비해 초박형이어서 실용성이 높고 고성능화됨을 알았다. 본 논문에 제시한 초박형화 전파흡수체는 전자회로 및 회로부품으로부터 방사되는 전자파를 억제하거나 효율적으로 흡수하여 정보통신기술의 발전에 기여할 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In this paper, we designed and fabricated the EM wave absorber consisted of Sendust for suppressing EM wave noise PCB in ISM (Industrial, Scientific and Medical) band of 2.4 GHz. We fabricated several samples with different composition ratios of some kinds of Sendust to CPE (Chlorinated Polyethylene) as a binder, and it was confirmed that the optimum composition ratio of absorbing materials was Flaked Sendust : CPE = 72.5 : 27.5 wt.%. The absorbing abilities were simulated by changing the thickness and the measured material constants of EM wave absorber. The measured absorption abilities were analyzed and compared with the simulated ones. As a result, the simulated results agree well with the measured ones, and the developed EM wave absorber with extremely thin thickness of 0.6 mm has absorption ability of 5.4 dB at 2.4 GHz is excellent one. The thin type EM wave absorber can be applied for suppressing and absorbing electromagnetic noises from information and communication equipments.

키워드 : ISM 대역, 전파흡수체, 센더스트, 전파흡수능, 재료정수

Key word : ISM band, EM wave absorber, Sendust, absorption ability, material constants

접수일자 : 2014. 10. 29 심사완료일자 : 2014. 12. 01 게재확정일자 : 2014. 12. 15

* **Corresponding Author** Dong Il Kim (E-mail: dikim@kmou.ac.kr, Tel:+82-10-4702-1920)

Department of Radio Sciences & Eng., Korea Maritime & Ocean University, Busan, 606-791, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.3.500>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

현대생활에서는 전파통신공학의 발전으로 사람들은 편리하고 윤택한 삶을 누리고 있다. 특히 고도 정보화 사회라 불릴 만큼 각종 정보기기가 사회에 널리 보급 되면서 정보 전송량도 급속도로 늘어났지만, 전파사용의 밀집도가 높아지면서 전자파 환경을 더욱 악화시키고 있다. 전자기기에서도 외부로부터의 도래하는 불요전자파로 인하여 전자기기의 오작동을 일으켜 인명피해를 일으킬 수도 있을 만큼 치명적이어서 심각한 사회적 문제를 야기하고 있다고 보고되고 있다[1].

최근 급성장하고 있는 정보처리 속도의 고속화와 IC 기술의 고집적화에 따른 소형화와 고이동성화는 대부분 GHz 대역의 높은 주파수를 이용하며 인접소자 또는 배선 간의 상호간섭, 배선을 통한 노이즈의 전도 및 방사를 유발하여 EMC (Electromagnetic Compatibility) 대책기술의 주요 과제로 대두되고 있다[2]. 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, 국제규정을 제정하여 각종 전자 기기들의 방사 및 내성에 대한 규제를 강화하고 있다[3].

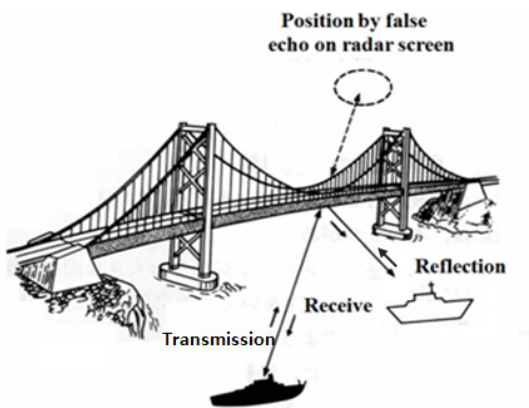


그림 1. 선박용 레이더에서 허상의 발생
Fig. 1 Occurrence of false echo onboard-ship

그림 1은 해상의 교량에 의한 레이더파의 반사로 인하여 허상이 발생하는 경위를 나타낸 예이다. 이러한 전자파장해의 문제점을 해결하기 위하여, 일본의 경우 전파흡수체를 교량에 부착하여 허상을 제거한 실적을 가지고 있다[4]. 최근에는 전파흡수체 또는 차폐재를 전자회로나 부품의 적절한 개소에 부착하여 실제 PCB 상에서의 전자파 노이즈 방사를 감소시킬 수 있다. PCB 상에서의 전파흡수체의 적용은 실제로 IC 칩 위에 부착되거나, Flat Cable 또는 신호선(Signal line) 위에 부착된다. 또한 덮개 전체를 둘러싸는 형태로도 사용된다.

본 논문에서는 압착 Sendust와 CPE를 이용하여 2.4 GHz ISM 대역[5]이 정합주파수가 되고, 그 두께는 목표치 1 mm 이내로서 0.6 mm의 초박형화된 전파흡수체를 설계하고, 이를 실제 제작하여 성능을 평가함으로써 그 타당성을 입증하였다.

II. 전파흡수체 설계이론 및 샘플 준비

2.1. 전파흡수체 설계이론

그림 2와 같이 두께 ℓ 인 전파흡수체가 도체판 위에 놓여 있는 경우[2], 입사파와 반사파에 대한 반사 손실 (Return Loss: RL)은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[5].

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

여기에서, z_{in} 은 정규화 입력 임피던스(normalized input impedance)이다.

전파흡수체의 입력임피던스 Z_{in} 은 식 (2)와 같이 주어지며, $z_{in} = Z_{in}/Z_C$ 이다. 전파흡수체의 특성임피던스 Z_C 와 전파정수 γ 는 식 (3) 및 (4)와 같이 나타낼 수 있다[4-6].

$$Z_{in} = Z_C \frac{Z_L + Z_C \tanh \gamma \ell}{Z_C + Z_L \tanh \gamma \ell} \quad (2)$$

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

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

여기에서, λ 는 입사한 평면파의 파장이며, ϵ_r 은 복소 비유전율, μ_r 은 복소 비투자율을 나타낸다.

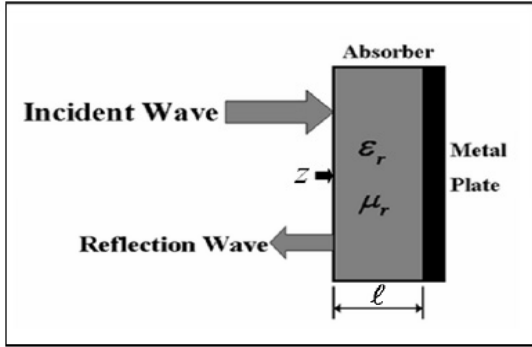


그림 2. 단층형 전파흡수체
Fig. 2 Single layered EM wave absorber

식 (3)과 식 (4)를 식 (2)에 대입하여 평면파의 수직 입사에 대한 매질 내 정규화 입력임피던스를 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

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

반사가 없는 완전한 전파흡수체로 되기 위한 조건은 반사계수 $\Gamma=0$ 또는 반사손실 $RL=0$ 가 되는 것이므로 식 (5)의 정규화 임피던스가 1이 되는 것이다. 이를 무반사 조건식이라 하며, 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다. 이 식을 이용하여 전파흡수체의 설계가 가능하다[5].

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

2.2. 전파흡수체의 제작

본 논문에서는 철계통 연자성 금속분말인 Sendust를 전파흡수 재료로 사용하였다. 원형 분말을 평판상으로 가공압착하기 위하여 Attrition mill을 사용하였으며, 가공된 Flaked Sendust 분말의 SEM 사진을 그림 3에 나타내었다. 이 사진에서 Flake화가 잘 진행되었음을 알 수 있다. 또한, 문헌 [2] 및 [3]에 제시한 제작과정을 거쳐 준비된 샘플 및 측정용 샘플홀더의 사진을 그림 4(a)에 나타낸다.

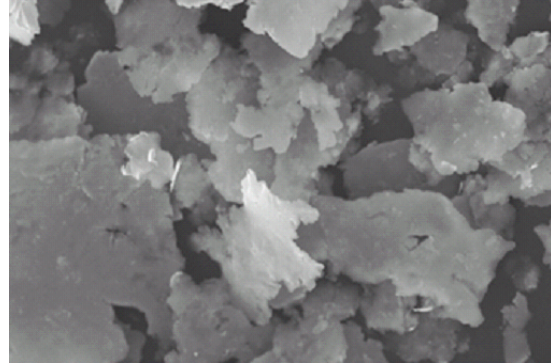


그림 3. 압착 Sendust 분말의 전자현미경 사진 (배율:3,000배)
Fig. 3 The SEM photo of flaked Sendust powder (Enlarged to 3,000 times)

III. 전파흡수 특성의 예비 시험과 재료 정수의 계산

3.1. 전파흡수능 측정

그림 4(a)와 같이 제작한 샘플을 그림 4(b)의 8753D Network Analyzer에 연결하여 그림 5와 같은 시스템으로 반사계수를 측정하였다. 그림 6에 나타난 전파 흡수체는 두께 1 mm로서 전파흡수능은 크지 않지만 두께의 박형화가 가능하였다. 조성비가 압착 Sendust : CPE = 60 : 40 wt.%인 경우와 압착 Sendust : CPE = 70 : 30 wt.%인 샘플의 반사계수 특성을 비교하면, Sendust 함량이 60 wt.%인 경우 중심주파수 3.5 GHz에서 4.3 dB의 전파흡수능을 보였다.

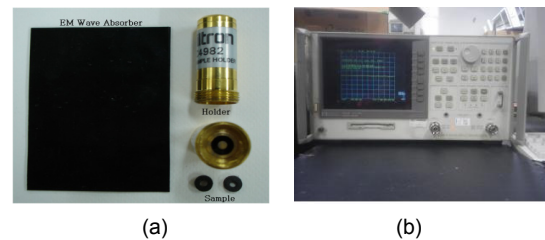


그림 4. 샘플 및 샘플홀더, 회로망 분석기의 사진 (a) 샘플 및 샘플홀더 (b) NWA HP8753D
Fig. 4 Photos of sample, sample holders, and Network Analyzer (a) Samples and sample holders (b) NWA HP8753D

한편, 압착 Sendust의 함량이 70 wt.%인 경우 2.6 GHz에서 4.8 dB의 전파 흡수능을 나타내었다.

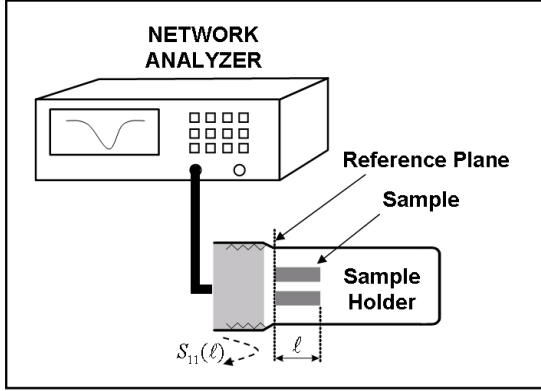


그림 5. 측정기와 샘플의 연결 방법
 Fig. 5 Connecting method of measurement equipment and sample

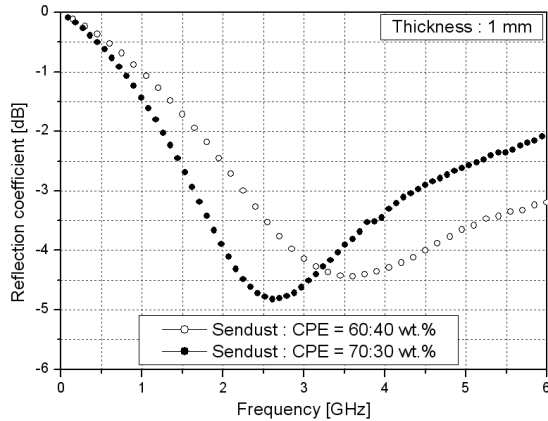


그림 6. Sendust : CPE = 80 : 20 wt.%와 70 : 30 wt.% (조성 비) 에서 반사계수
 Fig. 6 Reflection coefficients of EM wave absorber when the composition ratio was Sendust : CPE = 80 : 20 wt.% and 70 : 30 wt.%, respectively

3.2. 재료정수의 계산

그림 7과 같이 샘플의 길이를 각각 l 및 $2l$ 로 하여, 측정된 흡수능을 이용하여 각 샘플의 입력임피던스를 계산하고, $l-2l$ 법으로 각 샘플의 복소 비유전율과 복소 비투자율을 계산하였다[7-9].

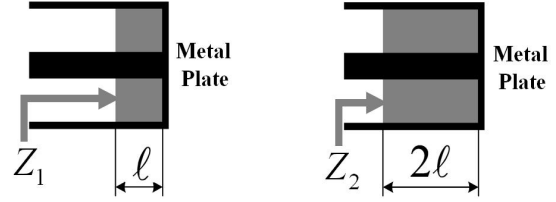


그림 7. $l-2l$ 법에 따른 샘플의 장착 위치
 Fig. 7 Location of samples by the $l-2l$ method

그림 7에서 정규화 입력임피던스 z_1 와 z_2 를 수식으로 나타내면 식 (7) 및 (8)과 같다.

$$z_1 = z_c \tanh(\gamma_c l) \quad (7)$$

$$z_2 = z_c \tanh(\gamma_c 2l) \\ = \frac{2z_c \tanh(\gamma_c 2l)}{1 + \tanh^2 \gamma_c 2l} = \frac{2z_1}{1 + \tanh^2 \gamma_c 2l} \quad (8)$$

식 (3), (4)를 이용하여 z_c 와 γ_c 를 정리하면 식 (9), (10)과 같다.

$$z_c = z_1 \sqrt{\frac{z_2}{2z_1 - z_2}} \quad (9)$$

$$\gamma_c = \frac{1}{l} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{2z_1 - z_2}{z_2}} \quad (10)$$

식 (3), (4), (9) 및 (10)으로부터 복소 비유전율과 복소 비투자율은 아래와 같이 계산된다[8].

$$\epsilon_r = -j \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\gamma_c}{z_c} \quad (11)$$

$$\mu_r = -j \frac{\lambda}{2\pi} \cdot z_c \cdot \gamma_c \quad (12)$$

그림 8(a) 및 그림 8(b)에 각각 위 식에 의하여 산출된 복소 비투자율 및 복소 비유전율을 나타낸다.

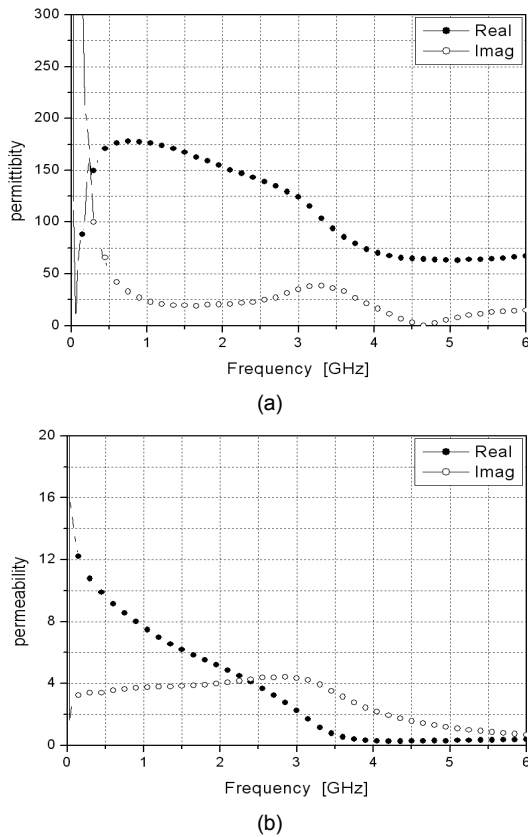


그림 8. (a) 복소 비유전율 (b) 복소 비투자율
 Fig. 8 (a) Complex relative permittivity (b) Complex relative permeability

IV. 시뮬레이션 결과와 측정결과 분석

압착 Sendust 함량이 70 wt.% 인 경우의 샘플이 ISM 대역에서 정합이 쉬울 뿐만 아니라 흡수능도 뛰어나므로 조성비가 Flaked Sendust : CPE = 70 : 30 wt.%인 샘플을 이용하여 실험을 진행하였다. 측정된 반사계수로부터 계산된 재료정수를 이용하여 시뮬레이션한 결과 2.4 GHz 정합주파수에서 약 5.1 dB의 흡수능이 예측되었으며, 이때 최적 두께는 0.6 mm로서 초박형화가 실현되었다. 설계된 결과를 바탕으로 전파흡수체를 실제 제작하여 측정된 결과를 시뮬레이션 결과(예측치)와 함께 그림 9에 나타내었다. 그림 9로부터 예측치와 실측치가 잘 일치함을 확인하였다. 이는 종래에 개발된 전파흡수

체[1]보다 1 dB 이상 전파흡수능이 개선된 것이며, 두께도 0.2 mm 이상 얇아진 이점도 있다.

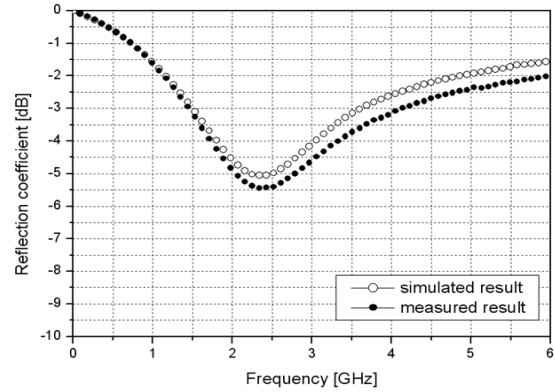


그림 9. 압착 센더스트 : CPE = 72.5 : 27.5 wt.%의 혼합비와 두께 0.6 mm인 경우의 흡수능의 시뮬레이션 값
 Fig. 9 Simulated results of absorption ability (optimum composition ratio with flaked Sendust : CPE = 72.5 : 27.5 wt.%, thickness: 0.6 mm)

V. 결론

본 논문에서는 2.4 GHz의 주파수대를 사용하는 마이크로웨이브 오븐이나 ISM 대역에서의 불요 전자파 방사억제용 전파흡수체를 개발하였으며, 조성비가 Flaked Sendust : CPE = 72.5 : 27.5 wt.%일 때 가장 좋은 특성을 보였다. 제작된 전파흡수체는 두께 0.6 mm로 1.4 GHz ~ 4.1 GHz 대역에서 3 dB 이상의 전파 흡수능 특성을 보였으며, 정합주파수 2.4 GHz에서 5.4 dB의 우수한 전파흡수능을 보였다. 이 전파흡수체는 PCB상의 칩이나 덮개에도 부착할 수 있어서 적용분야는 더 넓을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 2014년도 산학협동재단 신진연구비 지원 및 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0212504), 2014년도 이공계 창업꿈나무 사업(No. S2194508)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

REFERENCES

[1] Dong Il Kim, "EMW Absorption/Shielding Material," *EMW Technology, KIEES*, Vol. 9, No. 2, Jun. 1998.

[2] Dong Soo Choi, et al, "Design and Fabrication of the EM Wave Absorber with Excellent Characteristics for ETC System." *Journal of the Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 12, No. 1, 20~25, Mar. 2012.

[3] Dong Il Kim, Jeong Chang Kim, Yang Ick Joo, "Development of the EM wave Absorber for Improving the Performance of Hi-Pass System in ITS", *Journal of the KIICE*. Vol.18, No 7, pp. 1505-1510, Jul. 2014.

[4] D. I. Kim, *EMW Absorber Engineering*, Dae-Young Pub. Co. Ltd., 2006.

[5] M. H. Kim, et al., "Usage and Technical Standard of Frequency Band for ISM," *Proceedings of KICS*, KICS, pp. 105-113, Jan. 1997.

[6] Y. Naito, *Electromagnetic Wave Absorbers*, Ohm Pub. Co., Ltd., 1987.

[7] O. Hashimoto, *Introduction to Wave absorber*, Morikita Shuppan, 1997.

[8] Chang-Mook Choi, Dong Il Kim, Dong-Han Choi, Rui Li, "Development of Broad-Band Electromagnetic Wave Absorber for X-band Sensors in Double-layered Type Using Carbon," 12th IAIN World Congress, *EMW Technology*, KIEES, Vol. 9, No. 2, Vol. 1, pp. 297-300, Oct. 2006.

[9] Sang-Hyun Moon, Seung-Jae Shin, Jae-Man Song, Dong Il Kim, "Development of composite ferrite EM wave absorbers for GHz frequency," *Journal of Korea Electro-magnetic Engineering Soc.*, Vol. 14, No. 12, pp. 1329-1334, Nov. 2003.



김동일(Dong Il Kim)

- 한국해양대학교 졸업(공학사)
- 한국해양대학교 대학원 졸업(공학석사)
- 동경공업대학 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 산학협동상 대상, 과학기술진흥유공 대통령표창 수상
- 한국전자파학회/한국항해항만학회 각 학술상 수상
- 한국교육대상 수상
- IEEE EMC Korea Chapter Chairman 역임
- 정보통신부 주파수심의위원회 위원/전자파전문위원회 위원장 역임
- 현재 한국전자파학회 명예회장(제6대 회장 역임)
- 현재 한국공학한림원 회원
- 현재 한국해양대학교 교수

※관심분야 : 고성능 전파흡수체의 설계 · 제작, 다기능 전자파 흡수/방열 시트 개발, 전자파장해대책(EMI/EMC), 마이크로파/밀리미터파 수동회로, CATV 전송회로의 설계 등



곽현수(Hyun Soo Kwak)

- 2015년 한국해양대학교 전자공학과 (공학사)

※관심분야 : EMC해석, 마이크로파소자 및 부품개발



주양익 (Yang Ick Joo)

- 1998년 고려대 전자공학과 학사
- 2000년 고려대 전자공학과 석사
- 2004년 고려대 전자공학과 통신공학 박사
- 2004년 ~ 2012년 삼성전자 DMC 연구소 책임연구원
- 2012년 3월~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 조교수

※관심분야 : Wireless MAC, WPAN/WBAN, VANET



박수훈(Soo Hoon Park)

- 2007년 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
 - 2009년 한국해양대학교 전파공학과 (공학석사)
 - 2009년 ~ 2011년 한진해운홀딩스
 - 2011년 ~ 현재 경남테크노파크 ICT진흥센터
- ※관심분야 : EMC해석, 마이크로파소자 및 부품개발