

Sendust-Al(OH)₃를 이용한 전파 흡수체 특성 분석

Analysis on the Characteristics of the EM Wave Absorber Using Sendust-Al(OH)₃

이대희 · 김동일 · 최창묵 · 송영만

Dae Hee Lee · Dong Il Kim · Chang-Mook Choi · Young Man Song

요 약

본 논문에서는 Sendust와 Al(OH)₃를 이용하여 전파 흡수체를 제작하였으며, 지지재로는 CPE(Chlorinated Polyethylene)를 이용하였다. 주 재료인 Sendust에 Al(OH)₃를 0 wt.%, 3 wt.%, 5 wt.%, 7 wt.%만큼 혼합하여 그 특성을 파악하였다. 그 결과 Al(OH)₃의 양이 5 wt.%일 때 전파 흡수 특성이 가장 향상되는 것을 알 수 있었다. 그리고 이 특성을 이용하여 적층형 전파 흡수체를 만들었으며, 두께 2 mm인 전파 흡수체가 무선 LAN 사용 주파수인 2.4 GHz에서 전파 흡수능 18.5 dB의 특성을 보였다.

Abstract

In this paper, we designed and fabricated EM wave absorbers using Sendust, Al(OH)₃ and CPE(Chlorinated Polyethylene). We compared the absorption properties of samples containing 0 wt.%, 3 wt.%, 5 wt.%, 7 wt.% of Al(OH)₃. The optimized composition ratio of Al(OH)₃ is 5 wt.%, and the absorption property curve just has the tendency to improve at 5 wt.% of Al(OH)₃. And we used this characteristics to design the double-layered EM wave absorber. The double-layered EM wave absorber has thickness of 2 mm and has absorption ability more than 18.5 dB at a wireless LAN frequency band using 2.4 GHz.

Key words : Absorption Ability, Al(OH)₃, Double-Layered, EM Wave Absorber, Sendust

I. 서 론

최근, 실내 무선 LAN은 편리함과 용도의 다양성으로 인해 가정이나 사무실 등에서 사용이 증대되고 있으며, IEEE 802.11b에 명시되어 있는 바와 같이 2.4 GHz의 주파수 대역을 사용하고 있다^[1]. 그러나 실내 공간에서 무선 LAN 기기들을 사용할 경우 벽·천정·바닥·책상 등에 의해서 반사파가 발생하고, 이들 반사파의 다중 반사는 통신 속도 저하와 데이터 손실과 같은 문제점을 발생시킨다. 이와 더불어 이러한 불요 전자파에 의한 전자파 장애(EMI)

에 대해서도 지대한 관심이 기울여지고 있으며^[4], 이와 같은 불요 전자파에 대한 영향을 최소화하기 위해 전파 흡수체에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 전파 흡수체는 전파를 흡수해서 열에너지로 변환하여 반사파가 생기지 않게 하는 특수 재료이다. 이러한 전파 흡수체는 주파수 의존 특성이 매우 커서 사용하고자 하는 주파수 대역에서 유전 손실 또는 자성 손실이 큰 재료를 이용하거나 이들을 혼합하여 최대의 손실 특성을 나타내는 재료를 만드는 기술 개발이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 자성 손실 재료인 Sendust

「이 논문은 교육인적자원부의 2단계 BK21 사업 지원으로 수행되었음.」

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

· 논문 번호 : 20070704-069

· 수정완료일자 : 2007년 9월 12일

와 금속 성분을 띠는 Al(OH)₃를 지지체인 CPE(Chlorinated Polyethylene)와 혼합한 전파 흡수체를 제작하여 그 특성을 조사하였으며, 이를 이용하여 2.4 GHz 무선 LAN용 전파 흡수체를 설계하고 실제작하여 비교·분석하였다.

II. 전파 흡수체 설계 이론

그림 1의 두께 d 인 전파 흡수체에서 반사 손실(return loss)은 식 (1)처럼 나타낼 수 있다.

$$RL = -20 \log_{10} \left| \frac{z_n - 1}{z_n + 1} \right| \quad (1)$$

여기서, z_n 는 정규화 입력 임피던스이다.

평면파의 수직 입사에 대한 매질 내 첫 번째 층의 정규화 입력 임피던스 z_1 은 식 (2)처럼 주어진다^{[7]~[9]}.

$$z_1 = \sqrt{\frac{\mu_{r1}}{\epsilon_{r1}}} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_{r1} \mu_{r1}} d_1\right) \quad (2)$$

여기서, λ 는 입사한 평면파의 자유공간상의 파장이며, ϵ_{r1} , μ_{r1} , d_1 은 매질 내 첫 번째 층의 복소비 유전율, 복소비 투자율, 두께이다.

이와 같은 방법으로 각 층의 정규화 입력 임피던스를 계산할 수 있으며, n 번째 층의 정규화 입력 임피던스 z_n 은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다^{[1],[3]}.

$$z_n = \sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} \frac{z_{n-1} + \sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_{rn} \mu_{rn}} d_n\right)}{\sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} + z_{n-1} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_{rn} \mu_{rn}} d_n\right)} \quad (3)$$

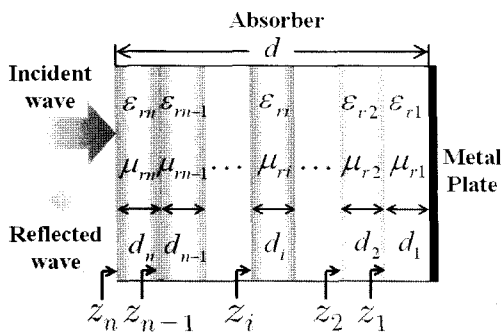


그림 1. 다층형 전파 흡수체
Fig. 1. A multi-layer EM wave absorber.

또한 완벽한 전파 흡수체가 되기 위해서는 z_n 이 1이 되는 것으로 전파 흡수체의 완전 정합 조건은 식 (4)와 같다.

$$\sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} \frac{z_{n-1} + \sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_{rn} \mu_{rn}} d_n\right)}{\sqrt{\frac{\mu_{rn}}{\epsilon_{rn}}} + z_{n-1} \tanh\left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_{rn} \mu_{rn}} d_n\right)} = 1 \quad (4)$$

III. 실험 및 결과

3-1 전파 흡수체 샘플 제작

전파 흡수체 제작은 먼저 Sendust, Al(OH)₃, CPE를 조성비를 달리하여 각각 믹서로 혼합하고, 본 연구실에서 자체 제작한 open roller를 이용하여 두께 1 mm, 2 mm의 sheet형 전파 흡수체 샘플을 제작하였다. 이때 open roller의 표면 온도는 전파 흡수능에 영향을 미치기 때문에 70 °C의 균일한 온도를 유지하였다^[2].

3-2 측정 시스템 구성

그림 3과 같은 sample holder에 전파 흡수체 샘플을 제작하여 삽입한 후, 그림 3과 같이 HP사의 Mo-

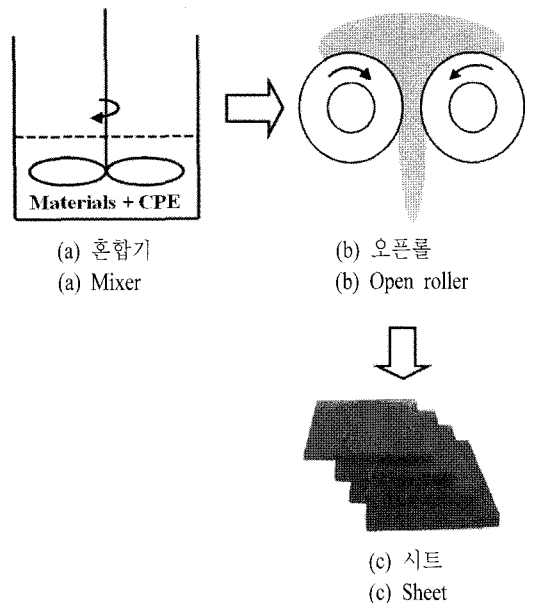


그림 2. 전파 흡수체 제작 과정
Fig. 2. Manufacturing process of absorber.

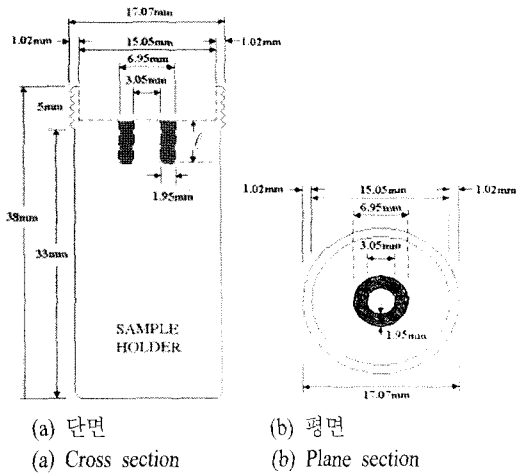


그림 3. 샘플 홀더
Fig. 3. Sample holder.

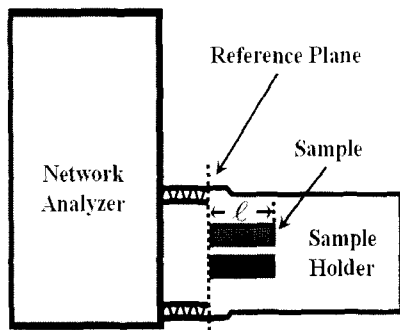


그림 4. 측정 시스템
Fig. 4. Measurement system.

del 8753D Vector Network Analyzer에 연결하여 S -parameter를 측정하였다. 그리고 측정 데이터를 MATLAB 프로그램을 이용하여 복소비 유전율(ϵ_r)과 복소비 투자율(μ_r)을 계산하였다.

3-3 조성비별 반사 계수 측정 분석

그림 5는 각각 조성비가 Sendust:CPE=75:25 wt.%, Sendust:CPE=80:20 wt.%, Sendust:CPE=85:15 wt.%, 두께는 2 mm인 전파 흡수체 샘플에 $Al(OH)_3$ 를 0 wt.%, 3 wt.%, 5 wt.%, 7 wt.%로 첨가하여 제작하고 반사 계수를 측정한 결과이다.

그림 5에 나타난 바와 같이 Sendust에 $Al(OH)_3$ 의 함유량을 0~5 wt.%까지 증가시킨 경우는 전파 흡수 특성이 향상되지만, $Al(OH)_3$ 의 함유량이 7 wt.%

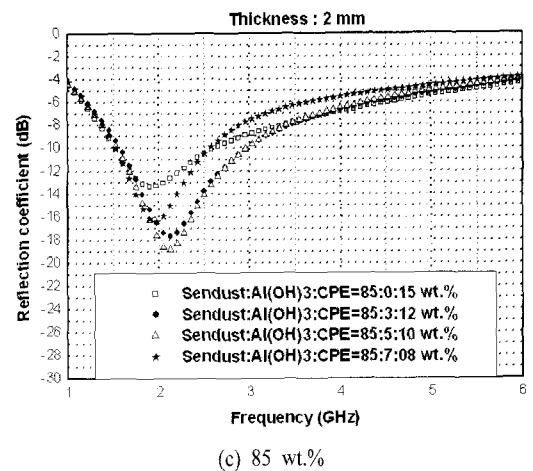
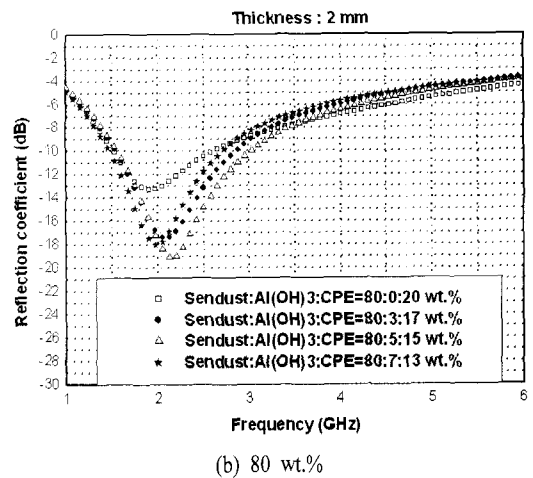
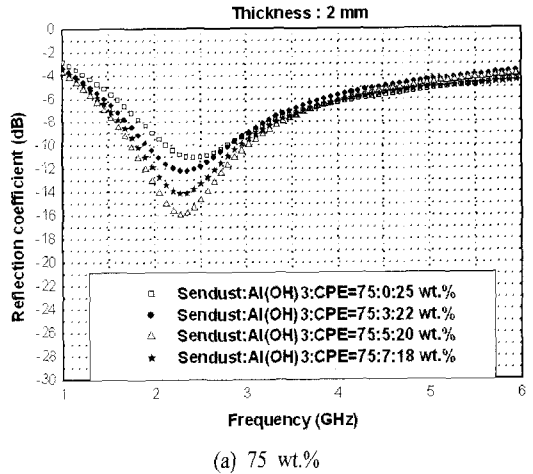
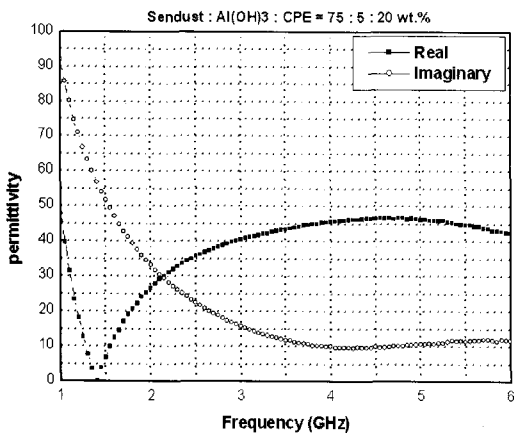


그림 5. Sendust와 $Al(OH)_3$ 의 조성비 변화에 따른 반사 계수
Fig. 5. Reflection coefficient as a function of frequency for Sendust with $Al(OH)_3$ content.

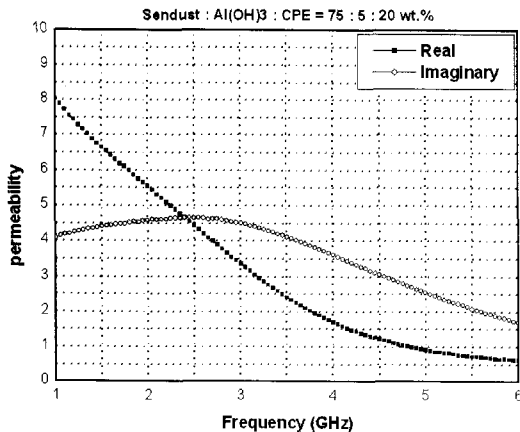
로 증가할 때는 오히려 전파 흡수 특성이 나빠지는 것을 알 수 있다. 이것은 5 wt.%까지는 입사파가 Al(OH)₃의 입자에 부딪혀서 산란되어 전파 흡수 특성이 향상⁶⁾되었다고 볼 수 있으며, 7 wt.%에서 전파 흡수 특성이 나빠진 이유는 입자에 부딪힌 산란파의 양이 너무 많아져서 오히려 표면 반사가 높아졌기 때문이다.

3-4 재료 정수 측정 결과

본 논문에서는 Al(OH)₃의 첨가량이 5 wt.%인 경



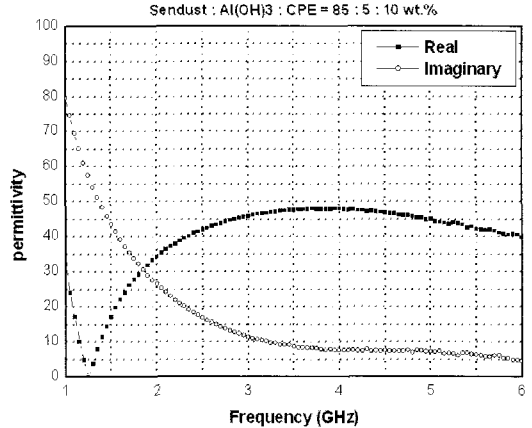
(a) 복소비 유전율
(a) Complex relative permittivity



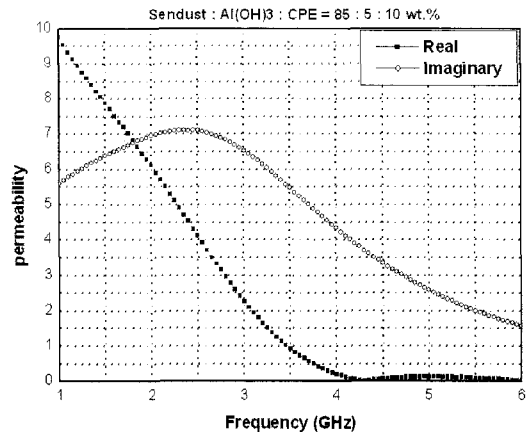
(b) 복소비 투자율
(b) Complex relative permeability

그림 6. 측정된 복소비 유전율과 복소비 투자율(Sendust:Al(OH)₃:CPE=75:5:20 wt.%)

Fig. 6. The measured complex relative permittivity and complex relative permeability(Sendust:Al(OH)₃:CPE=75:5:20 wt.%).



(a) 복소비 유전율
(a) Complex relative permittivity



(b) 복소비 투자율
(b) Complex relative permeability

그림 7. 측정된 복소비 유전율과 복소비 투자율(Sendust:Al(OH)₃:CPE=85:5:10 wt.%)

Fig. 7. The measured complex relative permittivity and complex relative permeability(Sendust:Al(OH)₃:CPE=85:5:10 wt.%).

우를 이용하여 전파 흡수체를 설계하였으며, 전파 흡수체 샘플의 재료 정수(복소비 유전율과 복소비 투자율)는 1-2)법^{[7]~[9]}을 이용하여 계산하였다. 실제작된 전파 흡수체의 재료 정수는 그림 6과 그림 7에 나타내었다.

3-5 적층에 의한 전파 흡수체의 반사 계수

앞에서 측정된 데이터를 참고로 하여 전파 흡수체 샘플의 반사 계수 특성이 가장 좋은 Al(OH)₃의 첨가량이 5 wt.%일 때의 각각 재료정수를 이용하여

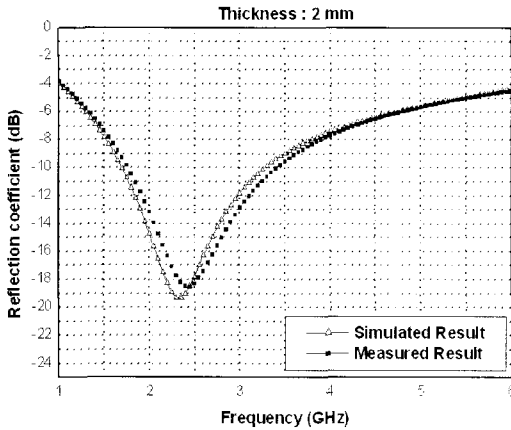


그림 8. 시뮬레이션과 실측정 비교
Fig. 8. Compared simulation and measurement.

시뮬레이션 한 결과 도체판으로부터 Sendust:Al(OH)₃:CPE=85:5:10 wt.%와 Sendust:Al(OH)₃:CPE=75:5:20 wt.%의 조성비를 가지는 전파 흡수체를 각각의 두께 1 mm로 하여 적층한 전파 흡수체가 총 두께 2 mm 일 때, 2.4 GHz에서 반사 계수 -19 dB의 특성이 예측되었다. 이 결과를 토대로 시뮬레이션과 같은 조성비를 가지는 적층형 전파 흡수체를 실제 제작하였으며, 총 두께가 2 mm인 전파 흡수체가 2.4 GHz에서 반사 계수 -18.5 dB의 특성을 보였다. 시뮬레이션 값과 실측정값의 결과를 그림 8에 나타내었으며, 시뮬레이션값과 실측정값이 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

IV. 결 론

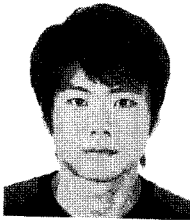
본 논문에서는 Sendust와 Al(OH)₃를 이용하여 전파 흡수체를 제작하였으며, 지지재로는 CPE(Chlorinated Polyethylene)를 이용하였다. 주 재료인 Sendust에 Al(OH)₃를 0 wt.%, 3 wt.%, 5 wt.%, 7 wt.%만큼 혼합하여 그 특성을 파악한 결과 Al(OH)₃의 양이 5 wt.%일 때 전파 흡수 특성이 가장 향상되는 것을 알 수 있었다. 그리고 이 특성을 토대로 도체판으로부터 Sendust:Al(OH)₃:CPE=85:5:10 wt.%와 Sendust:Al(OH)₃:CPE=75:5:20 wt.%의 조성비를 가지는 전파 흡수체를 각각의 두께 1 mm로 하여 적층형 전파 흡수체를 실제 제작한 결과, 총 두께가 2 mm인 전파 흡수체가 무선 LAN의 사용 주파수인 2.4 GHz에서 반사

계수 -18.5 dB의 특성을 보였다. 하지만 본 연구는 입사파의 수직 입사만을 고려하였기 때문에 앞으로 입사파의 사입사에 대한 연구가 더 필요하며, 일반 자성 재료보다 저가인 Al(OH)₃를 잘 활용한다면 흡수능과 제작비 등에서 우수하고 경제적인 전파 흡수체가 될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Dae-Hun Kim, Dong-Il Kim, Chang-Mook Choi, and Jun-Young Son, "A study on design and fabrication of complex type em wave absorber with super wide-band characteristics", *International Journal of Navigation and Port Research*, vol. 30, no. 2, pp. 161-166, Mar. 2006.
- [2] Sang-Hyun Moon, Seung-Jae Shin, Jae-Man Song, Dong-Il Kim, and Ki-Man Kim, "Development of composite a ferrite EM wave absorbers for GHz frequency", *Journal of Korea Electromagnetic Engineering Soc.*, vol. 14, no. 12, pp. 1329-1334, Dec. 2003.
- [3] Chang-Mook Choi, Dong Il Kim, Dong-Han Choi, and Rui Li, "Development of broad-band electromagnetic wave absorber for X-band sensors in double-layered type using carbon", *12th IAIN World Congress*, vol. 1, pp. 297-300, Oct. 2006.
- [4] Shuichi, Nitta, "The future of EMC Technology", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E83-B, no. 3, Mar. 2000.
- [5] Stephen V. Sailiga, "An introduction to IEEE 802.11 wireless LANs", *Radio Frequency Integrated Circuits(RFIC) Symposium*, 2000.
- [6] K. L. Chen, "Optimization and engineering of microwave absorbers" Ph.D. Dissertation Department of Engineering Science and Mechanics, Pennsylvania State University. May 1998.
- [7] Y. Natio, *Electromagnetic Wave Absorbers*, Tokyo: New Ohm, 1987.
- [8] O. Hashimoto, *Introduction to Wave Absorber*, Tokyo: Morikita Shuppan, 1997.
- [9] 김동일, 전파 흡수체 공학, 대영사, 2006년 2월.

이 대 희



등

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

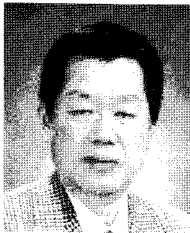
최 창 목



EMI/EMC 대책, 전파항법 시스템 등

1996년: 해군사관학교 기계공학과 (공학사)
 2001년: 군사과학대학원 해양공학과 (공학석사)
 2005년~현재: 한국해양대학교 전파공학과 박사과정
 [주 관심분야] 전파 흡수체 설계,

김 동 일



양대학교 조교~부교수

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

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 전파 흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등

송 영 만



등

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