

비정질 재료를 이용한 Hi-pass용 전파흡수체 개발

Development of the EM Wave Absorber for the Hi-pass Using Amorphous Powder

유 건 석 · 김 동 일 · 최 동 수

Gun Suk Yoo · Dong Il Kim · Dong Soo Choi

요 약

최근 DSRC, 협대역 통신 방식을 이용하여 고속도로 톨게이트에 Hi-pass(차량의 무정차 자동 요금 징수)를 운용하고 있지만, 전파의 다중 반사로 인한 전파 간섭이 발생하여 시스템의 오류 및 사고가 발생하고 있다. 이러한 문제들은 전파 흡수체를 사용하여 해결할 수 있다. 본 논문은 전파 흡수 재료인 비정질 재료와 지지재인 CPE를 배합하여 최적의 조성비를 찾고 DSRC용 전파 흡수체를 개발하는 연구를 하였다. 그 결과, 조성비 비정질 재료 :CPE=45:55 wt.%, 두께 2.65 mm인 전파 흡수체가 5.8 GHz에서 40 dB 이상의 흡수능이 얻어지도록 개발하였다.

Abstract

Recently, Hi-pass system(non-stop electric toll collection) using DSRC is working. However, it has various problems such as system errors by EM wave interference or multi-path reflection. The EM wave absorber is able to solve these problems. In this paper, we designed and fabricated EM wave absorber using amorphous substance. As a result EM wave absorber with composition of amorphous metal powder:CPE=45:55 wt.% has the thickness of 2.65 mm and absorption ability was higher than 40 dB at 5.8 GHz.

Key words : Amorphous, Hi-pass, EM Wave Absorber, EM Wave Absorption, DSRC, ETC

I. 서 론

DSRC(Dedicated Short Range Communication)는 협대역 통신이라 하며, 다른 통신 방식에 비교하여 상대적으로 한정된 지역에서 빠르게 교환되어야만 하는 시간에 민감한 정보를 전달하기에 적합한 통신 방법이다.

이 통신 방식은 교통량의 증가에 따른 교통, 환경, 에너지, 국가경쟁력 등의 문제 해결과 보다 향상된 주행 서비스를 제공하기 위한 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transport System)의 새로운 통신 대안으로 떠오르고 있다^[1].

기술 활용의 대표적인 예로 DSRC는 일본의 유료도로 요금소 ETC(Electronic Toll Collection) 시스템에 이용되고 있다. 현재는 한국에서도 Hi-pass라는 이름으로 2000년도부터 기본계획을 수립하여 현재(2009년)에는 전국적으로 Hi-pass 사용이 증가하고 있다. 편리성을 인정받아 점점 대중화 되어가는 Hi-pass는 종래에 손으로 건네주는 구조물에 적용하였으나, 통로 또는 차량 지붕과 요금소 천정, 그리고 기타 철골 구조에 의해 다중 반사가 발생하여 통신 영역 밖에서의 차량 탑재기와 통신이 형성되거나 Hi-pass 단말기를 인식하지 못하고 지나치는 사고가 많이 발생하고 있다. 이러한 문제는

「본 연구는 중소기업청과 부산광역시가 지원하는 2008년도 산학협력실시원사업 및 지식경제부의 대학 IT연구센터 지원사업(HITA-2009-(C1090-0902-0034))의 연구결과로 수행되었습니다.」

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

· 논문 번호:20090429-043

· 수정완료일자:2009년 6월 11일

다중 반사가 일어날 수 있는 부분에 전파 흡수체를 설치해서 제거하는 방법이 있다^[2].

본 논문에서는 주 재료로 비정질 재료를 지지체인 CPE(Chlorinated Polyethylene)와 혼합하여 전파 흡수체 샘플을 제작하고, 그 특성을 분석하였다. 이를 통해서 ETC(Hi-pass: 자동 요금 징수 시스템)에 이용되는 전파 흡수체를 개발하는 연구를 수행하였다.

II. 전파흡수체 설계 이론

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

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

여기서, z_{in} 는 정규화 입력 임피던스이다.

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

$$Z_o = 50 \Omega \quad (3)$$

평면파의 수직 입사에 대한 매질 내 정규화 입력 임피던스 z_{in} 는 식 (4)처럼 주어진다^{[3]-[5]}.

$$z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} d \right) \quad (4)$$

여기서, λ 는 입사한 평면파의 자유공간상의 파장이며, ϵ_r 는 복소비 투자율(ϵ/ϵ_0), μ_r 는 복소비 투자율(μ/μ_0)이다. 또한, 완벽한 전파 흡수체가 되기 위해서는 z_{in} 가 1이 되는 것으로 전파 흡수체의 완전 정합 조건은 식 (5)와 같다^[6].

$$\sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} d \right) = 1 \quad (5)$$

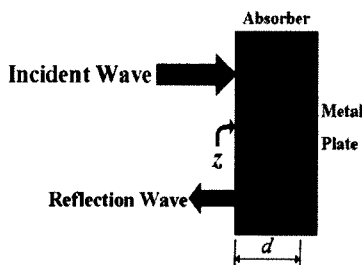


그림 1. 전파 흡수체
Fig. 1. EM wave absorber.

식 (5)를 이용하여 이상적인 전파 흡수체를 설계할 수 있으며, 전파 흡수체의 재료 정수인 복소비 투자율과 복소비 투자율 및 두께가 전파 흡수체 설계에 있어서 중요한 파라미터 값을 알 수 있다.

III. 재료 정수 측정

3-1 전파흡수체 샘플 제작

기존에 전파 흡수체 재료로는 카본, 퍼멀로이, 페라이트 등 도전 손실 재료를 주로 이용하였으나, 이러한 재료들의 갖는 흡수능의 한계로 최근에는 연자성손실 재료인 Sendust, Amorphous 등이 주로 이용되고 있다. 본 논문에서는 전파 흡수체의 주 재료로 판상 가공한 비정질 분말(amorphous metal powder)을 사용하였으며, 비정질 분말 조성은 Fe-13Si-9B-3Nb-1Cu (at%)이다. 지지재로는 CPE를 사용하였다. 전파 흡수체 샘플의 제작 과정은 그림 2와 같다. 먼저 비정질 재료와 CPE의 조성비를 40:60 wt.%, 50:50 wt.%, 60:40 wt.%, 70:30 wt.%로 하고, 각각을 믹서를 이용하여 혼합한 후 본 연구실에서 자체 제작한 open roller를 이용하여 두께 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm의 sheet형 전파 흡수체 샘플을 제작하였다. 이때 open roller의 표면 온도는 전파 흡수능에 영향을 미치기 때문에 70 °C의 균일한 온도를 유지하였다^[7].

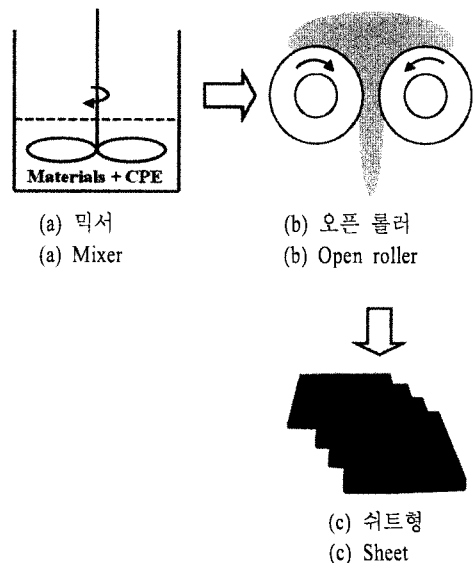


그림 2. 전파 흡수체 제작 과정
Fig. 2. Manufacturing process of absorber.

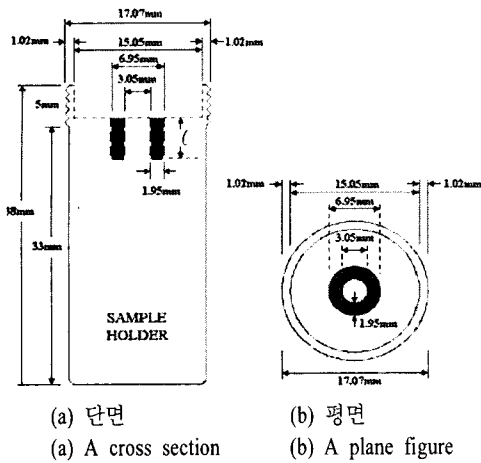


그림 3. 샘플 홀더
Fig. 3. Sample holder.

3-2 측정 시스템 구성

그림 3과 같은 sample holder(WILTRON-SC4982)에 전파흡수체 샘플을 제작하여 삽입한 후, 그림 4와 같이 WILTRON사의 MODEL 360B Vector Network Analyzer에 연결하여 S-parameter를 측정하였다. 그리고 측정 데이터를 MATLAB 프로그램을 이용하여 복소비 투자율(ϵ_c)과 복소비 투자율(μ_c)을 계산하였다. 이때 사용한 재료 정수 측정법은 $l-2$ 방법으로 MATLAB에서 프로그래밍하여 계산하였다^[5].

3-3 재료 정수 측정 결과

비정질 재료와 CPE의 조성비별 샘플로부터 측정된 반사계수는 그림 6~9에 나타내었다.

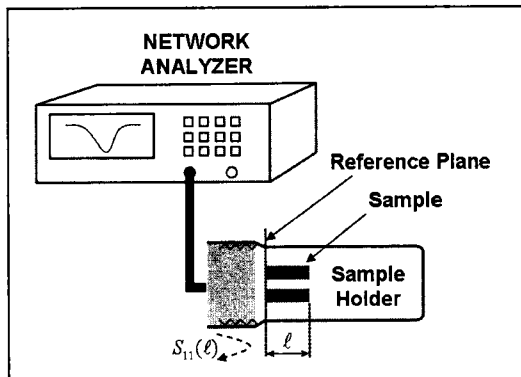


그림 4. 측정 시스템
Fig. 4. Measurement system.

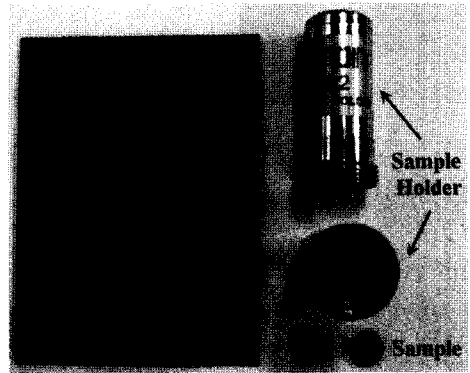


그림 5. 제작된 전파 흡수체, 샘플 홀더, 샘플
Fig. 5. A photo of the absorber, sample holder, sample.

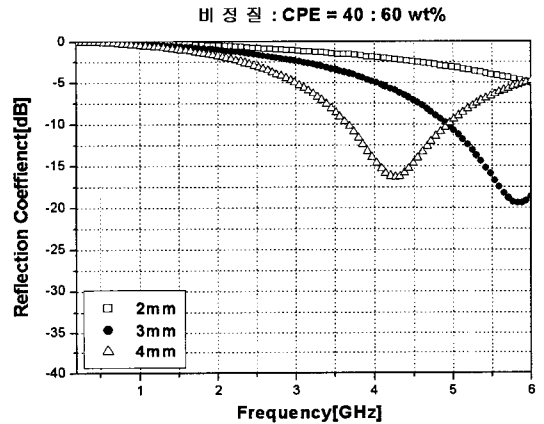


그림 6. 두께에 따른 샘플의 반사계수(비정질 재료: CPE=40:60 wt.%)
Fig. 6. Reflection coefficients of samples with different thickness(Amorphous:CPE=40:60 wt.%).

그림 6~9를 보면 비정질 재료:CPE=40:60 wt.%일 때 3 mm인 전파흡수체 샘플이 5.8 GHz에서 약 18 dB이고, 비정질 재료:CPE=50:50 wt.%일 때 3 mm인 전파흡수체 샘플이 4.5 GHz에서 35 dB 이상의 반사계수를 보였다.

전파 흡수체 샘플들의 반사계수를 분석해 보면 비정질 재료의 비율이 지지재인 CPE보다 높아질수록 흡수능은 저주파에서 나타났으며, 전파 흡수체가 얇아질수록 고주파에서 우수한 특성을 보였다.

본 논문이 목표로 하는 5.2 GHz에서 우수한 흡수능의 전파 흡수체를 제작하기 위해 비정질 재료:CPE =45 :55 wt.%인 전파 흡수체 샘플을 그림 2와 같은 제작

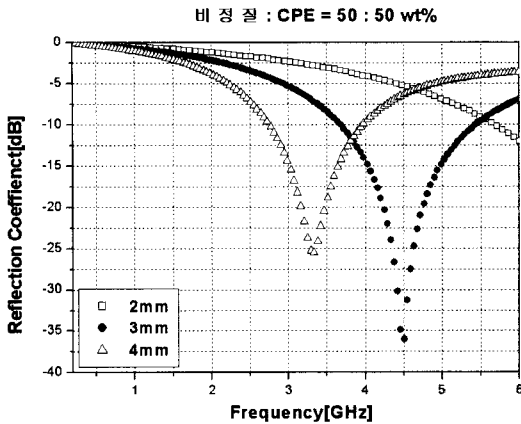


그림 7. 두께에 따른 샘플의 반사계수(비정질 재료: CPE=50:50 wt.%)

Fig. 7. Reflection coefficients of samples with different thickness(Amourphous:CPE=50:50 wt.%).

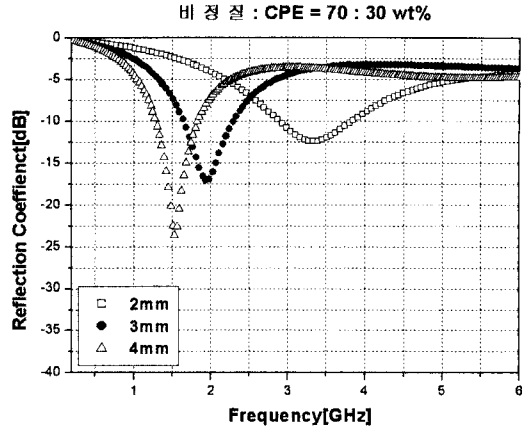


그림 9. 두께에 따른 샘플의 반사계수(비정질 재료: CPE=70:30 wt.%)

Fig. 9. Reflection coefficients of samples with different thickness(Amourphous:CPE=70:30 wt.%).

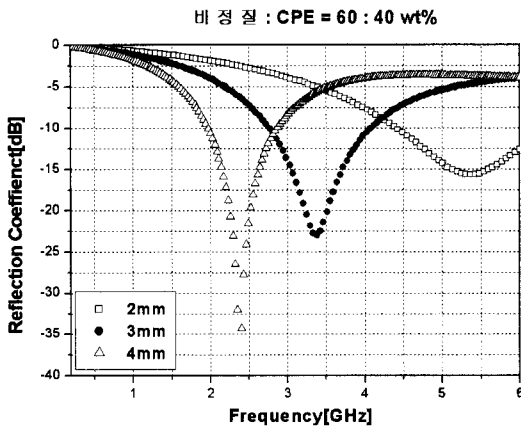


그림 8. 두께에 따른 샘플의 반사계수(비정질 재료: CPE=60:40 wt.%)

Fig. 8. Reflection coefficients of samples with different thickness(Amourphous:CPE=60:40 wt.%).

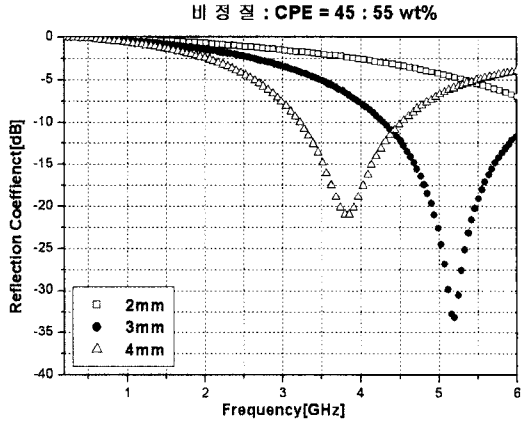


그림 10. 두께에 따른 샘플의 반사계수(비정질 재료: CPE=45:55 wt.%)

Fig. 10. Reflection coefficients of samples with different thickness(Amourphous:CPE=45:55 wt.%).

과정을 통하여 제작하고 그림 4의 측정 시스템을 통하여 반사계수를 그림 10에 나타냈었다.

전파 흡수체 샘플의 재료 정수(복소비 투자율과 복소비 투자율)는 1-2 /법을 이용하여 계산하였으며, 샘플의 복소비 투자율과 복소 비투자율은 그림 11~15에 나타내었다. 계산한 재료정수를 이용하여 시뮬레이션이 가능하다.

IV. 전파흡수체 실측정 결과 비교 분석

4-1 시뮬레이션 및 실측정 결과

비정질 재료:CPE=50:50 wt.%, 45:55 wt.%인 샘플로부터 계산된 각각의 재료 정수를 이용하여 두께를 예측하는 시뮬레이션 프로그램에 적용하였다. 이때 시뮬레이션은 MATLAB을 이용하였다.

그 결과, 두께가 각각 2.6 mm, 2.65 mm인 전파 흡수체가 중심 주파수 5.8 GHz에서 반사계수 -20 dB 이상의 특성이 예측되었다.

이렇게 예측된 시뮬레이션 결과를 토대로 전파

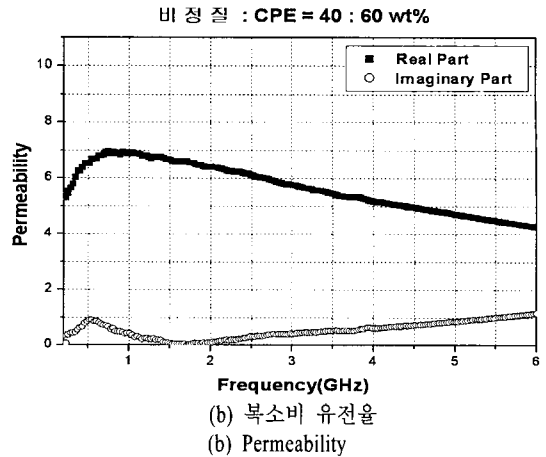
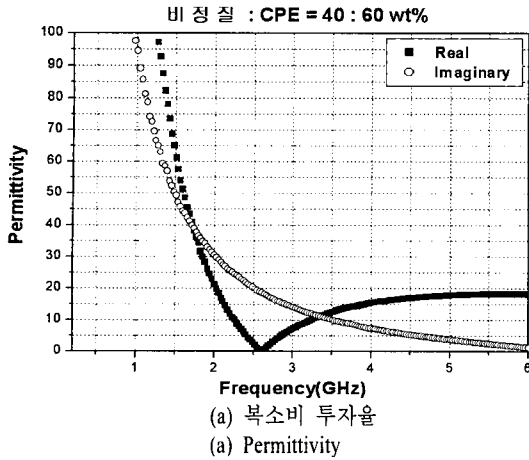


그림 11. 측정된 복소비 투자율과 복소비 투자율(Amorphous:CPE=40:60 wt.%)

Fig. 11. The measured complex relative permittivity and complex relative permeability(Amorphous:CPE=40:60 wt.%).

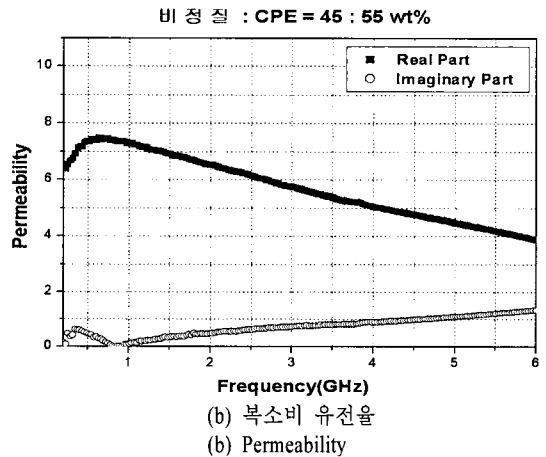
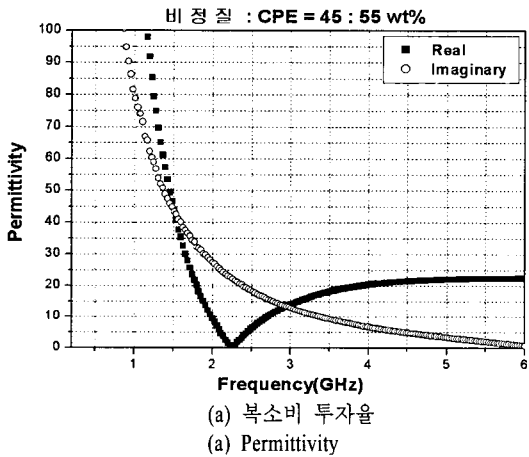


그림 12. 측정된 복소비 투자율과 복소비 투자율(Amorphous:CPE=45:55 wt.%)

Fig. 12. The measured complex relative permittivity and complex relative permeability(Amorphous:CPE=45:55 wt.%).

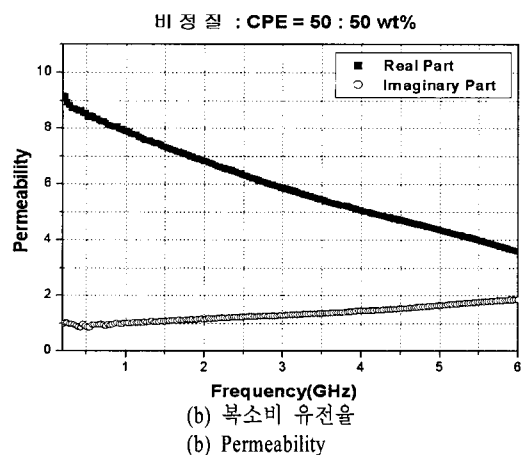
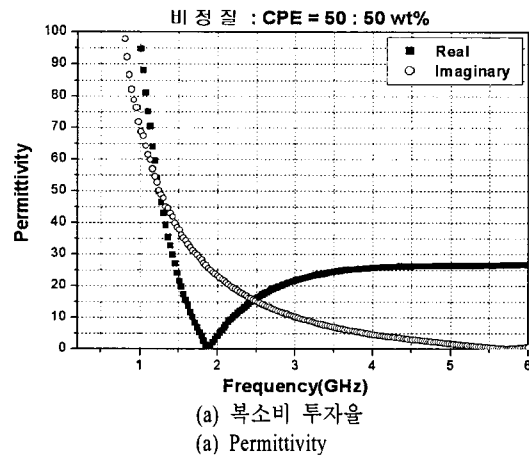


그림 13. 측정된 복소비 투자율과 복소비 투자율(Amorphous:CPE=50:50 wt.%)

Fig. 13. The measured complex relative permittivity and complex relative permeability(Amorphous:CPE=50:50 wt.%).

성을 확인하기 위해 전파 흡수체를 다시 제작하여 재현성을 확인하였다.

V. 결 론

최근, 편리성을 인정 받아 사용이 급속도로 늘어 가고 있는 Hi-pass는 5.8 GHz(5.785 ~ 5.875 GHz) 대의 주파수로, 협대역 통신 방식으로 정보를 교환하는 DSRC를 사용하고 있다. 하지만 톨게이트의 통로, 천정, 요금소 및 기타 철골 구조에 의해 다중 반사가

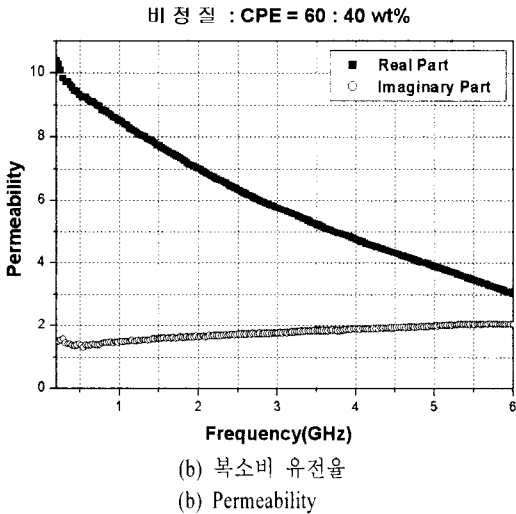
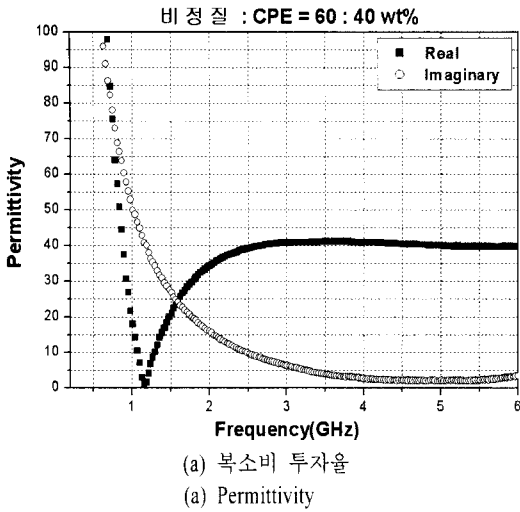


그림 14. 측정된 복소비 투자율과 복소비 투자율 (Amorphous:CPE=60:40 wt.%)

Fig. 14. The measured complex relative permittivity and complex relative permeability (Amorphous: CPE=60:40 wt.%).

흡수체를 실제 제작하여 측정을 한 결과, 비정질 재료: CPE = 50:50 wt.%와 비정질 재료:CPE=45:55 wt.%의 조성비를 가지는 전파 흡수체가 각각 5.8 GHz에서 반사계수 33 dB, 42 dB의 특성을 보였다.

시뮬레이션한 결과와 실측정한 결과를 그림 16, 17에 나타내었다.

시뮬레이션 결과와 실측정 결과가 비슷하게 나왔지만 비정질 재료:CPE=45:55 wt.%일 때의 반사계수가 시뮬레이션한 값보다 더욱 우수하게 나와서 재현

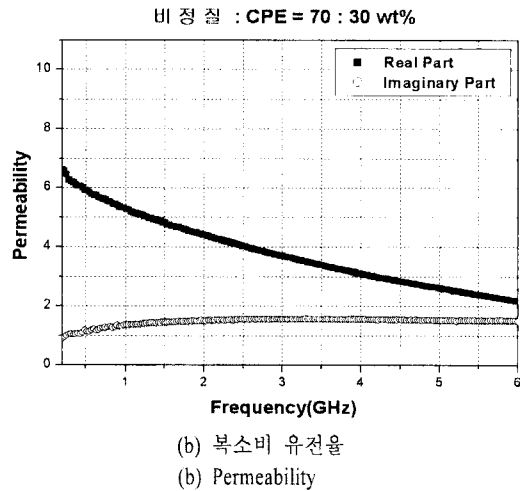
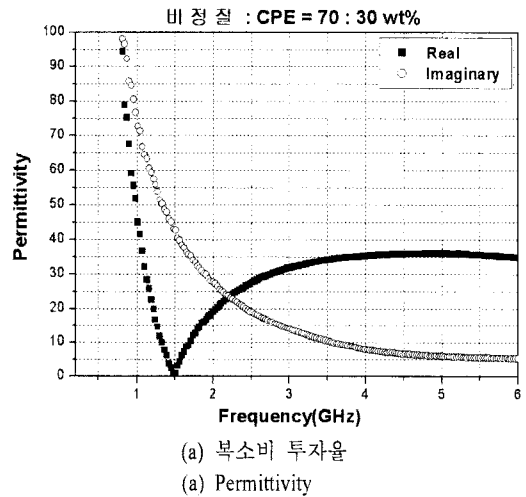


그림 15. 측정된 복소비 투자율과 복소비 투자율 (Amorphous:CPE=70:30 wt.%)

Fig. 15. The measured complex relative permittivity and complex relative permeability (Amorphous: CPE=70:30 wt.%).

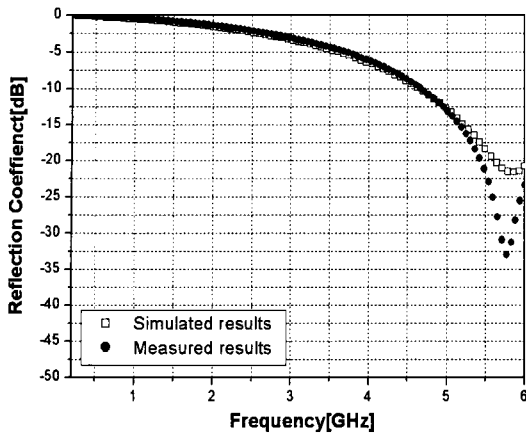


그림 16. 시뮬레이션과 실측정 비교(1)(비정질 재료: CPE=50:50 wt.%, 2.6 mm)

Fig. 16. Compared simulation and measurement(1)(Amorphous:CPE=50:50 wt.%, 2.6 mm).

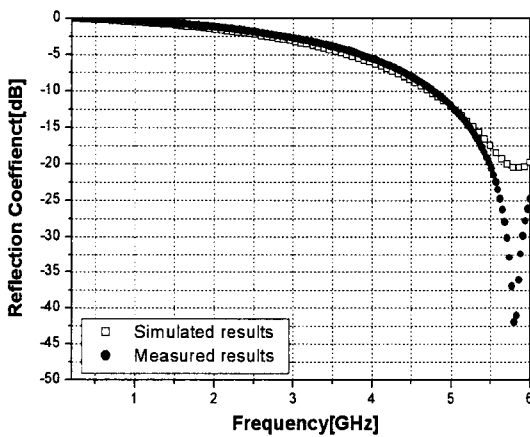


그림 17. 시뮬레이션과 실측정 비교(2)(비정질 재료: CPE=45:55 wt.%, 2.65 mm)

Fig. 17. Compared simulation and measurement(2)(Amorphous:CPE=45:55 wt.%, 2.65 mm).

발생하며, 여러 가지 오류 및 사고가 발생할 수 있다. 이러한 악영향은 전파 흡수체를 사용하여 대책을 수립할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 다중 반사를 막을 수 있는 DSRC용 전파 흡수체 개발에 관한 연구를 하였다. 전파 흡수체인 비정질 재료를 이용하여 최적의 조성비가

45:55 wt.%임을 확인하고, 측정된 재료 정수를 이용하여 시뮬레이션한 결과를 토대로 DSRC용 전파 흡수체를 제작한 결과, 조성비 비정질 재료:CPE=45:55 wt.%일 때, 두께 2.65 mm의 전파흡수체가 5.8 GHz에서 전파 흡수능 40 dB 이상의 특성이 나타나는 DSRC용 전파 흡수체를 제작하였다. 이는 기존의 개발한 전파 흡수체보다 0.5 mm 이상 박형화 되었으며, 5.8 GHz 대역에서 20 dB 이상 흡수능이 개선되었기 때문에 Hi-pass에 적용하기에 매우 유용해졌다^[2].

참 고 문 헌

- [1] 정영욱, 정재승, 박성진, 임춘식, 오현서, 이병섭, "5.8 GHz 단거리 전용 통신(DSRC) 시스템 성능 평가 및 분석", 한국통신학회논문지, 25(8), pp. 1168-1197, 2000년.
- [2] 송영만, 김동일, 최창목, 박수훈, "5.8 GHz DSRC용 전파흡수체 개발에 관한 연구", 한국마린엔지니어링학회지, 93(127), pp. 283-286, 2007년.
- [3] O. Hashimoto, *Introduction to Wave Absorber*, Tokyo: Morikita Shuppan, 1997.
- [4] Y. Natio, *Electromagnetic Wave Absorbers*, Tokyo: New Ohm, 1987.
- [5] 김동일, 전파흡수체 공학, 대영사, pp. 184-190, 2006년 2월.
- [6] 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.
- [7] 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.

유 건 석



2008년 8월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
2008년 9월~현재: 한국해양 대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC 분석 및 대책, 고성능 전파흡수체의 개발 등

최 동 수



2009년 2월: 한국해양대학교 전파공학과 (공학사)
2009년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] EMI/EMC 분석 및 대책, 고성능 전파흡수체의 개발, 투과형 전파흡수체 개발 등

김 동 일



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 10일: 산학협동상 대상 수상
1993년 12월 11일: 한국전자과학회 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: 한국전자과학회 학회장
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, CATV 전송회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발, EMI/EMC 대책 등