한국항해항만학회지 제31권 제8호, pp. 671~674, 2007 (ISSN-1598-5725)
Journal of Korean Navigation and Port Research

ITS의 ETC용 전파흡수체 개발

송영만* · 최창묵** · 이대희*** · † 김동일****

*, **, ***한국해양대학교 전파공학과, ****한국해양대학교 교수

Development of the EM Wave Absorber for ETC of ITS

*Young-Man Song** · *Chang-Mook Choi*** · *Dae-Hee Lee**** · † *Dong-il Kim*****

*, **, *** *Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*
**** *Department of Radio Science and Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea*

요 약 : 본 논문에서는 ETC 시스템에서 다중반사로 인한 오신호 또는 시스템 간의 간섭을 방지하기 위하여 사용될 전파흡수체를 설계 및 제작하였다. 자성손실 재료인 MnZn-ferrite, 도전손실 재료인 Carbon과 지지재인 CPE를 사용하여 조성비별로 전파흡수체 샘플을 제작하고, 측정된 샘플의 데이터로부터 최적의 조성비가 MnZn-ferrite : Carbon : CPE = 40 : 15 : 45 wt% 임이 확인 되었다. 확인된 샘플로부터 재료정수 복소비유전율과 복소비투자율을 계산하여 시뮬레이션 하였으며, 이 결과를 토대로 전파흡수체를 실제 제작하여 전파흡수능을 분석한 결과 시뮬레이션과 실제측정 값이 거의 일치하는 것을 볼 수 있었다. 결과적으로 전파흡수체의 조성비 MnZn-ferrite : Carbon : CPE = 40 : 15 : 45 wt%로 두께 3.38 mm, 주파수 5.8 GHz대에서 전파흡수능 20 dB 이상의 전파흡수체를 개발하였다.

핵심용어 : 전파흡수체, 전파흡수능, MnZn-ferrite, Carbon, ETC

Abstract : *In this paper, the EM wave absorber was designed and fabricated for ETC system , because ETC system has some problems including signal error and system-to-system interference. We fabricated some samples in different composition ratio of MnZn-ferrite, Carbon and CPE, confirmed that optimum composition ratio of MnZn-ferrite, Carbon, CPE was 40 : 15 : 45 wt%. Complex relative permittivity and complex relative permeability was calculated by the measured data. And absorption abilities were simulated according to different thickness of the EM wave absorbers using complex relative permittivity and permeability. The EM wave absorber was fabricated based on simulated data. Simulated and measured values agree well. As a result,, the developed EM wave absorber has a thickness of 3.38 mm and absorption ability over 20 dB at 5.8 GHz.*

Key words : *EM wave absorber, EM Wave Absorption, MnZn-Ferrite. Carbon, ETC*

1. 서 론

사회·경제 규모가 확대, 고도화됨에 따라 차량 및 교통수요가 증가하여 대도시는 심각한 교통문제에 직면하게 되었다. 또한 교통량 증대로 인한 도로혼잡과 교통사고로 인한 인명피해로 막대한 사회적 비용을 치르고 있다. 이를 해결하기 위해 ITS(Intelligent Transport System : 지능형교통시스템)를 도입하게 되었는데, 이는 도로와 차량 등 기존 교통의 구성요소에 첨단의 전자·정보·통신 기술을 적용시켜 교통시설을 효율적으로 운영하고 통행자에 유용한 정보를 제공하여 안전하고 편리한 통행과 전체 교통체계의 효율성을 기하도록 하는 교통부문의 정보화 사업이다. ITS는 도로건설, 교통, 통신, 전기, 전자, 자동차 등의 하드웨어와 운영기법 정보처리기법 등의 소프트웨어가 결합되어 다양한 형태의 서비스로 나타나며 이는 운전자, 보행자, 교통시설 운영 관리자 등에 제공되어 통행이나 운영 관리에 다양한 혜택을 준다.

특히, ETC(Electronic Toll Collection : 자동요금징수 시스템)은 ITS의 실현을 가능케 하는 기본 구성요소중 하나로서, 전자지갑 기능을 하는 스마트카드와 OBU(On Board Unit : 차량탑재기)를 이용하여 5.8 GHz대역에서의 무선통신을 통해 고속도로 및 유료 도로 톨게이트에서 무정차 주행 중에 통행료를 징수하는 시스템이다. 뿐만 아니라 ETC는 톨게이트에서의 정체완화를 통한 물류비 절감, 환경오염 개선, 요금징수 전산화를 통한 운영 유지비 절감 및 이용자에게 서비스를 개선하는 효과를 갖는다. 하지만 전파의 다중반사로 인한 전파의 간섭으로 오신호가 발생할 수 있으며, 시스템 에러가 생기는 등 요금을 제대로 징수하지 못하는 문제가 발생되고 있어 편리한 교통 시스템을 실현하는데 장애를 주고 있다(박, 2006). 이러한 전파간섭 문제는 전파흡수체를 사용함으로써 해결할 수 있다.

* 대표저자 : 송영만(정회원), ymans12@nate.com 010)9026-3510
** 종신회원, nav-sun@hanmail.net 010)5077-1864
*** 정회원, beerhalf@hanmail.net 016)592-0650
† 교신저자 : 김동일(종신회원), dikim@hhu.ac.kr 011)582-4343

전파흡수체는 전자파를 흡수하여 반사를 저감시키는 것으로서, 전파흡수체를 실현하기 위해서는 사용재료의 재료정수 ($\varepsilon_r = \varepsilon'_r - j\varepsilon''_r$, $\mu_r = \mu'_r - j\mu''_r$)을 측정하여 시뮬레이션을 통한 이론적인 설계를 하고 전파흡수체를 제조하여 흡수량을 측정 평가하여야 한다(김 2006).

따라서, 본 논문에서는 ETC용 전파흡수체를 연구하였으며, 주재료로는 자성손실재료인 MnZn-Ferrite와 도전손실재료인 Carbon을 사용하였고, 지지재로는 CPE(Chlorinated Poly-ethylene)를 사용하였다. 재료정수 측정 기법으로 ε_r과 μ_r을 계산하였고, 시뮬레이션을 통하여 이론적인 설계를 했다. 그 결과를 토대로 ETC용 전파흡수체를 실제 제작하여 분석하였다.

2. 전파흡수체 설계이론

Fig. 1의 두께 d인 전파흡수체에서 입사파와 반사파의 반향손실(Return Loss, RL)은 식 (1)처럼 나타낼 수 있다(David 2005).

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

여기서, z_{in}는 정규화 입력임피던스이다.

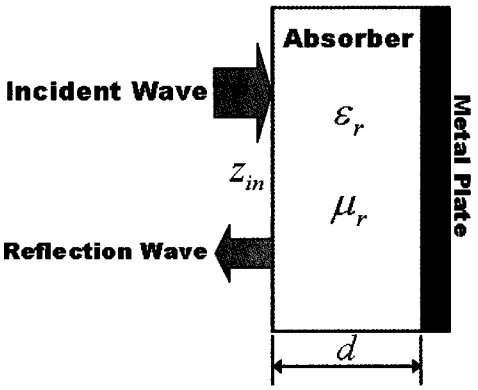

Fig. 1 Single Layer of EM wave Absorber

평면파의 수직입사에 대한 정규화 입력임피던스 z_{in}는 식(2)처럼 주어진다.

$$z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}\tanh\left(j\frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\,d\right) \tag{2}$$

여기서, λ는 입사한 평면파의 자유공간상의 파장이며, ε_r는 복소비유전율, μ_r는 복소비투자율이다. 또한 완전한 전파흡수체가 되기 위해서는 z_{in}이 1이 되는 것으로 전파흡수체의 완전정합 조건은 식 (3)과 같다.

$$\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}}\tanh\left(j\frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}\,d\right)=1 \tag{3}$$

3. 전파흡수체의 재료정수 측정

3.1 전파흡수체 샘플 제작

본 논문에서는 전파흡수체의 주재료로 자성손실재료인 MnZn-ferrite와 도전손실재료인 Carbon을 혼합한 것을 사용하였으며, 지지재로는 CPE를 사용하였다(김, 1989). 전파흡수체 샘플의 제작과정은 먼저 MnZn-ferrite, Carbon과 CPE를 조성비 40 : 0 : 60 wt.%, 40 : 5 : 55 wt.%, 40 : 10 : 50 wt.%, 40 : 15 : 45 wt.%로 믹서를 이용하여 혼합한다. 그러고 난 후 본 실험실에서 자체 제작한 Open Roller를 이용하여 두께 2 mm, 4 mm인 Sheet형 전파흡수체의 샘플을 제작한다. 실험 시 Open Roller의 표면온도는 전파흡수능에 영향을 미치므로 70°C의 균일한 온도를 유지하였다(Moon, 2003). Fig. 2는 전파흡수체 샘플의 제작과정이다.

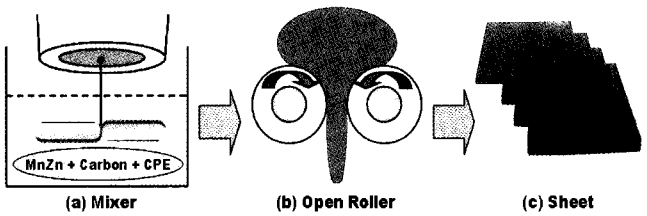

Fig. 2 Processing of EM wave Absorbers Sample

3.2 재료정수 측정법(ℓ-2ℓ 법)

재료정수 측정은 시료의 길이 ℓ변화에 의한 측정법을 사용하였다. Fig. 3과 같이 종단을 단락시키고 길이가 각각 ℓ, 2ℓ인 시료를 삽입하여 시료 전면에서 들여다 본 입력임피던스를 측정하여 각각 Z_1, Z_2로 한다.

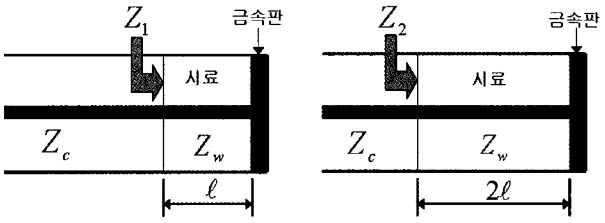

Fig. 3 ℓ, 2ℓ of Samples

끝이 금속판으로 종단되어 있으므로 Z_L=0이고, 길이는 ℓ이라 하면 Z_1, Z_2은 식 (4), (5)와 같이 된다.

$$Z_1 = Z_w\tanh(\gamma\ell) \tag{4}$$

$$Z_2 = Z_w\tanh(\gamma 2\ell) \tag{5}$$

따라서, 파동임피던스 Z_w와 전파상수 γ를 이용하여 ε_r, μ_r 구할 수 있다(김, 2006).

$$Z_C = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \tag{6}$$

또한 식(6)은 특성임피던스 Z_C이다.

3.3 측정 시스템 구성

Fig. 4와 같은 Sample Holder에 조성비별 전파흡수체 시료를 제작하여 삽입한 후 Fig. 5와 같이 Wiltron사의 Model 360B Network Analyzer에 연결하여 S-parameter를 측정하였다. 그리고 측정 데이터를 MATLAB 프로그램을 이용하여 재료정수인 ε_r와 μ_r을 계산하였다.

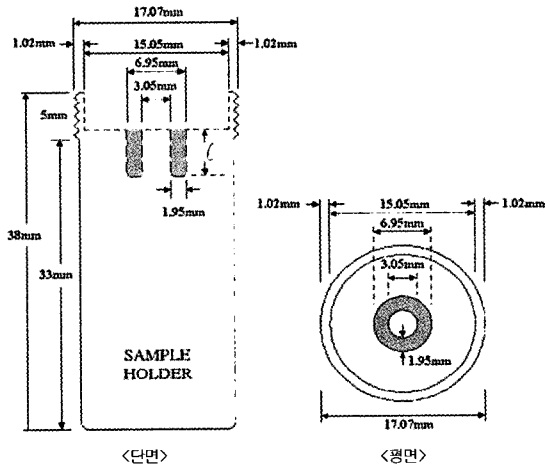

Fig. 4 Sample Holder

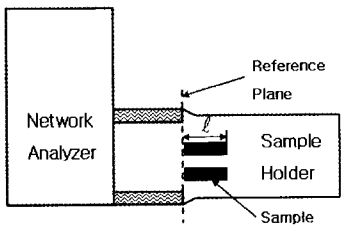

Fig. 5 Measurement System

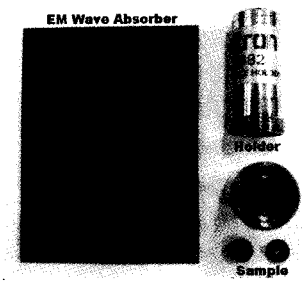

Fig. 6 EM wave absorber, Sample Holder and Sample

3.4 측정결과

MnZn-ferrite, Carbon과 CPE의 조성비별 두께 4 mm의 샘플로부터 측정된 전파흡수능은 Fig. 7에 나타내었다. 가장 우수한 전파흡수능을 보이는 샘플은 MnZn-ferrite, Carbon과 CPE의 조성비 40 : 15 : 45 wt.%의 샘플이다. 따라서 본 논문에서는 ETC용 전파흡수체 설계시 MnZn-ferrite, Carbon과 CPE의 조성비는 40 : 15 : 45 wt.%를 이용하였으며, 샘플로부터 ℓ - 2ℓ 법(Naito, 김 2006)을 이용하여 계산된 재료정수 ε_r과 μ_r은 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다.

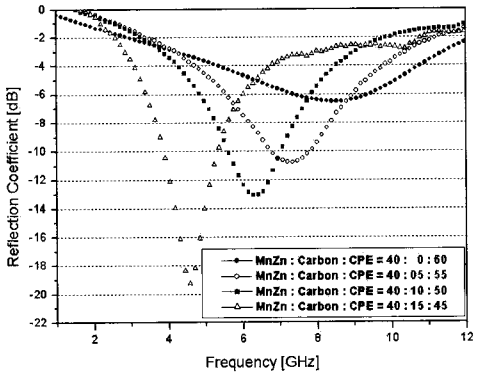

Fig. 7 Reflection coefficients of samples with different composition ratio (Thickness : 4 mm)

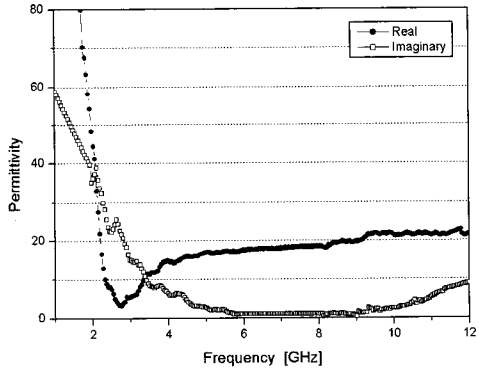

Fig. 8 Complex Relative Permittivity of Sample (MnZn-ferrite : Carbon : CPE = 40:15:45 wt.%)

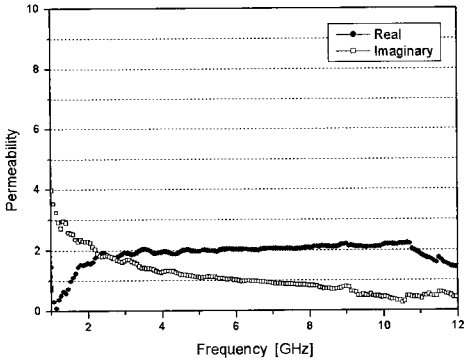

Fig. 9 Complex Relative permeability of Sample (MnZn-ferrite : Carbon : CPE = 40 : 15 : 45 wt.%)

4. 전파흡수체의 반사계수 측정

4.1 시뮬레이션 반사계수

앞에서 측정된 결과 중 5 GHz 대역에서 전파흡수체의 반사계수 특성이 가장 좋은 중량비가 MnZn-ferrite : Carbon : CPE = 40 : 15 : 45 wt.%, 두께 4 mm의 경우를 주파수 5.8 GHz에 정합시키기 위해서, 이 샘플의 재료정수를 측정하여 두께를 예측하는 시뮬레이션 프로그램에 적용하였다. 이때 시뮬레이션 툴은 Matlab을 사용하였다. 시뮬레이션 결과 두께 3.38 mm에서 반사계수는 -30 dB 이상으로 예측되었다.

4.2 측정 반사계수

설계된 전파흡수체를 토대로 조성비 MnZn-ferrite : Carbon : CPE = 40 : 15 : 45 wt.%로 두께 3.38 mm인 전파흡수체를 실제 제작하여 Fig. 5와 같은 측정 시스템으로부터 반사계수를 측정한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. ETC의 상용 주파수인 5.8 GHz에서 반사계수는 -20 dB 이상이 측정되었으며, 시뮬레이션 값과 실측값이 잘 일치하였다.

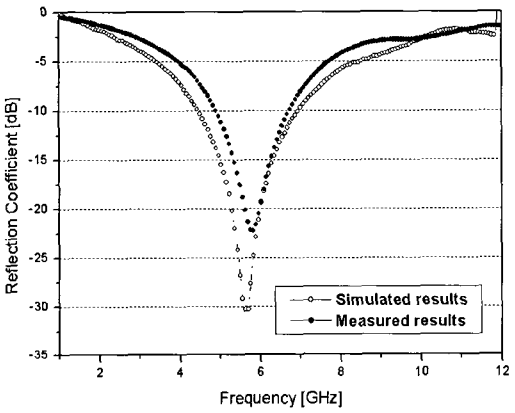

Fig. 10 Comparisons of simulated and measured results (Thickness : 3.38 mm)

5. 결 론

본 논문에서는 ETC용 전파흡수체 개발을 위해 연구를 수행하였다. 최적의 조성비가 MnZn-ferrite : Carbon : CPE = 40 : 15 : 45 wt.%임을 확인하고 측정된 ε_r과 μ_r을 이용하여 시뮬레이션한 결과를 토대로 ETC용 전파흡수체를 제작한 결과 두께 3.38 mm로 5.8 GHz에서 전파흡수능 20 dB의 특성을 가지는 전파흡수체를 개발하였다.

후 기

본 논문은 교육인적자원부의 2단계 BK21 사업 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

[1] 김동일(2006), "전파흡수체 공학", 대영사
[2] 김동일, 정세모, 박우영, Yoshiyuki NAITO(1989), "전자공학회, 카아본-페라이트 전파흡수체의 특성", pp1721-1727
[3] 박인규(2006), "DSRC 전략과 향후의 ITS", 전자공학회, Vol. 43-TC No. 9.
[4] 정기철, 최기수, 이병섭(2002), "ETC 시스템 주파수 대역 호환에 관한 연구", 한국전자파학회, Vol. 13, No. 2, pp.115-122
[2] Naito, Y., "Elctromagnetic Wave Absorbers", Tokyo : New Ohm
[5] Moon, S. H., Shin, S. J., Song, J. M., Kim, D. I., Kim, K. M. (2003), "Korea Electromagnetic Engineering Soc.", Vol. 14, No. 12, pp. 1329-1334.
[7] Hashimoto, O., "Introduction to Wave Absorber", Tokyo : Morikita Shuppan
[8] Seyed Abdullah MIRTAHERI, Tetsuya MIZUMOTO, Yoshiyuki NAITO(1990), "The Electromagnetic and Dispersion Characteristics of Materials Composed of Rubber Carbon and Ferrite", Trans, IEICE, Vol. E73, No. 10.
[9] Mirtaheri, S. A., YIn, J., Seki, H., Mizumoto, T., Yoshiyuki NAITO(1989), "The Characteristics of Electromagnetic Wave Absorber Composed of Rubber, Carbon and Ferrite", Trans, IEICE, Vol. E72 No. 12.
[10] Pozar, D. M.(2005), "Microwave Engineering -3rd ed," J. Wiley & Sons, pp. 57-59.

원고접수일 : 2007년 7월 4일
원고채택일 : 2007년 10월 30일