논문 2006-43TC-9-1

ITS의 차량충돌방지 레이더용 전파흡수체 개발

(Development of the EM Wave Absorber for the Collision-Avoidance Radar of ITS)

김 동 일*, 최 창 묵**, 고 광 섭***

(Dong Il Kim, Chang Mook Choi, and Kwang Soob Ko)

요 약

본 논문에서는 ITS 기반의 기본 센서인 차량 충돌방지 레이더의 허상으로 인한 오신호 또는 시스템간의 상호 간섭을 방지하기 위하여 전파흡수체를 설계 및 제작하였다. 먼저 도전손실 재료인 카본과 지지재인 CPE를 이용하여 조성비별 전파흡수체 샘플을 제작하고, 측정데이터로부터 최적의 조성비가 카본:CPE=20:80 wt% 임을 확인하였다. 그리고 이 샘플로부터 재료정수인 복소비유전율을 계산하여 시뮬레이션을 하였으며, 시뮬레이션 결과를 토대로 전파흡수체를 실제작하여 전파흡수능을 비교분석한 결과 시뮬레이션값과 측정값이 잘 일치하였다. 결과적으로 조성비 카본:CPE=20:80 wt%로 전파흡수체 두께 2 mm, 주파수 범위 76~77 GHz에서 전파흡수능 20 dB 이상으로 전파흡수체를 개발하였다.

Abstract

In this paper, the EM wave absorber was designed and fabricated for the collision-avoidance radar as a basic sensor of ITS(Intelligence Transport System), because radar system has some problems including false image and system-to-system interference. We fabricated some samples in different composition ratio of Carbon and CPE, and defined that optimum composition ratio of Carbon and CPE was 20:80 wt%. The complex relative permittivity was calculated by the measured data. And absorption abilities were simulated according to different thickness of the EM wave absorbers using the complex relative permittivity. The EM wave absorber was manufactured based on the simulated design. Simulated and measured results agree very well. As a result, the developed EM wave absorber with the thickness of 2 mm has absorption ability over 20 dB in frequency range of 76~77 GHz.

Keywords: Collision-avoidance radar, EM wave absorber, ITS, Permittivity.

Ⅰ. 서 론

레이더(RADAR)는 RAdio Detection And Ranging의 머리글자를 모은 약어로 그 어원에서도 알 수 있는 바와 같이 좁은 빔폭을 갖는 지향성 안테나를 통하여 전자파를 방사하여 임의의 물체에서 반사되는 반사파를 수신함으로서 송수신간의 시간차를 측정하여 표적까지의 거리를 계산할 수 있다. 이와 같이 전자파를 이용하여 표적까지의 거리와 안테나의 방향을 탐지하는 전자장치를 레이더라고 한다. 레이더는 사람의 시계가 확보되지 않는 악천후시나 야간에도 움직이는 물체나 장애물을 관측할 수 있기 때문에 항공기 또는 선박의 유도나 안전 확보 등에 중요한 역할을 하고 있다[1].

밀리미터파 레이더는 마이크로파에 비해 짧은 파장으로 인해 대기감쇠가 크지만 광대역을 사용할 수 있어 매우 정밀한 위치측정 및 도플러 속도측정이 가능하고, IR이나 광학에 비해 비, 안개, 구름 등의 영향을 적게 받는 장점으로 15년 전부터 군용과 상업용으로 연구 개발되어 활용이 확대되고 있다[2].

특히, 차량 충돌방지 레이더는 밀리미터파 레이더로써 주파수 대역은 76~77 GHz가 이용되고 있으며[3], 미래의 교통시스템으로 활발히 연구가 진행되고 있는 ITS(Intelligent Transportation System)에 정보를 제공

* 평생회원, ** 학생회원, 한국해양대학교
(Korea Maritime University)
*** 정회원, 해군사관학교
(Naval Academy)
※ 본 연구는 2005년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2005-005-J00501).
접수일자: 2006년8월14일, 수정완료일: 2006년9월11일

하는 기본 센서로 역할을 수행할 수 있어 운전에 도움을 줄 뿐 아니라, 차량의 혼잡도 감소에 기여함으로써 에너지 효율 증가 및 물류의 원활한 이동으로 경제 생산성 향상에 크게 이바지 할 수 있다[4].

그러나 차량 충돌방지 레이더는 레이더 자체의 다중 반사에 의한 허상으로 오신호가 발생할 수 있으며, 시스템과 시스템간의 상호 간섭[5]을 일으킬 수 있기 때문에 전파흡수체를 사용하여 대책을 수립하지 않으면 미래의 교통시스템 구현이 어려워질 수 있다.

전파흡수체는 전자파를 흡수하여 반사를 저감시키는 것으로 전파흡수체를 실현하기 위해서는 사용 재료의 전기적 특성인 복소비유전율($\dot{\varepsilon}_r = \varepsilon_r' - j\varepsilon_r''$)과 자기적 특성인 복소비투자율($\dot{\mu}_r = \mu_r' - j\mu_r''$)을 측정하여 시뮬레이션을 통한 이론적인 설계를 하고 전파흡수체를 제조하여 흡수량을 측정 평가하여야 실현이 된다[6],[7].

따라서, 본 논문에서는 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체를 개발하기 위해서 도전성 손실재료인 카본과 지지재로서 CPE (Chlorinated polyethylene)을 사용하여 조성비별 전파흡수체 샘플을 제작하고, 최적 조성비의 샘플로부터 복소비유전율을 계산하여 시뮬레이션을 통한 이론적 설계를 하였다. 또한 전파흡수체 설계를 바탕으로 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체를 실제작하여 전파흡수능을 비교분석 하였다.

Ⅱ. 전파흡수체 설계

그림 1의 두께 d인 전파흡수체에서 입사파와 반사파의 반향손실(Return Loss)은 식 (1)처럼 나타낼 수 있다[8],[9].

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

그러나 도파관내에서 전파흡수체를 설계하였기 때문에 TE_{10}모드를 기본모드로 계산을 하여야 하며, 그림 2처럼 나타낼 수 있다.

평면파의 수직입사에 대한 입력임피던스 $\dot{z}$는 도파관내 중공중의 파동임피던스 Z_g로 정규화 시킨 것으로 식 (2)처럼 주어진다[6][7].

$$\dot{z} = \dot{\mu}_r\sqrt{\frac{1-(\lambda/2a)^2}{\dot{\varepsilon}_r\dot{\mu}_r-(\lambda/2a)^2}}\cdot \tanh\left(j\frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{\dot{\varepsilon}_r\dot{\mu}_r-(\lambda/2a)^2}\,d\right) \quad (2)$$

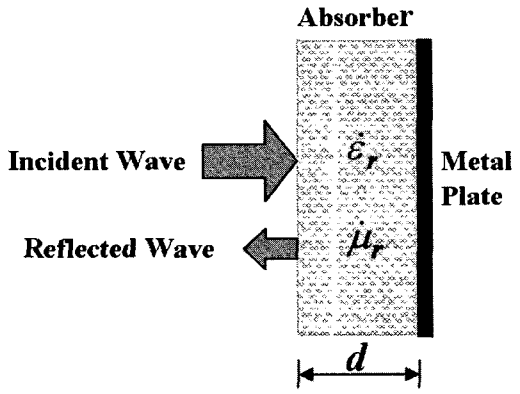
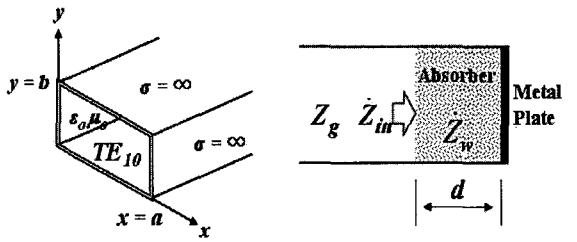


그림 1. 단층형 전파흡수체
Fig. 1. One-layer EM wave absorber.



(a) Rectangular waveguide (b) Absorber in rectangular waveguide

그림 2. 직사각형 도파관내에서의 전파흡수체
Fig. 2. The EM wave absorber in rectangular waveguide.

여기서, λ는 입사한 평면파의 자유공간상의 파장이며, $\dot{\varepsilon}_r$은 복소 비유전율($\dot{\varepsilon}/\varepsilon_0$), $\dot{\mu}_r$은 복소 비투자율($\dot{\mu}/\mu_0$)이다. 또한 완벽한 전파흡수체가 되기 위해서는 $\dot{z}$가 1이 되는 것으로 전파흡수체의 완전정합 조건은 식 (3)과 같다.

$$\dot{\mu}_r\sqrt{\frac{1-(\lambda/2a)^2}{\dot{\varepsilon}_r\dot{\mu}_r-(\lambda/2a)^2}}\cdot \tanh\left(j\frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{\dot{\varepsilon}_r\dot{\mu}_r-(\lambda/2a)^2}\,d\right)=1 \quad (3)$$

재료정수를 구하여 식 (3)을 계산하면, 전파흡수체를 설계할 수 있다.

Ⅲ. 전파흡수체의 재료정수 측정

1. 전파흡수체 샘플 제작

본 논문에서는 전파흡수체의 주재료로는 도전성 손실재료인 카본을 사용하였으며, 지지재로는 CPE를 사용하였다. 전파흡수체 제작과정은 먼저 카본과 CPE를

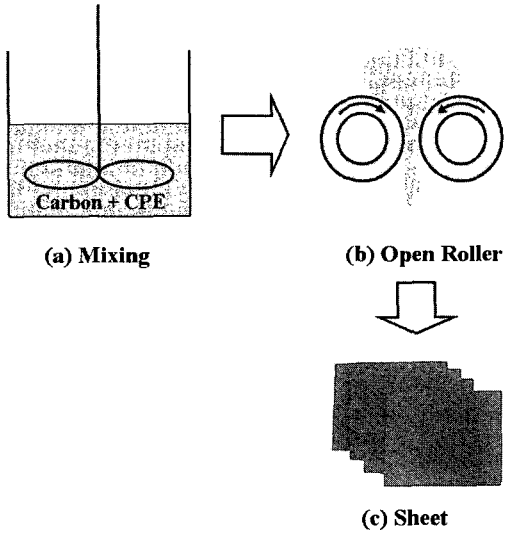


그림 3. 전파흡수체 제작과정
Fig. 3. Manufacturing process of absorber.

조성비 60 : 40 wt%, 70 : 30 wt%, 80 : 20 wt%로 각각 믹서를 이용하여 혼합하고 본 연구실에서 자체 제작한 Open roller를 이용하여 두께 1.5 mm, 3 mm의 Sheet형 전파흡수체 샘플을 제작하였다. 이때 Open roller의 표면온도는 전파흡수능에 영향을 미치기 때문에 70 ℃의 균일한 온도를 유지하였다[10].

그림 3은 전파흡수체 샘플 제작 과정이다.

3. 측정시스템 구성

그림 4와 같이 가로 2.54 mm, 세로 1.27 mm의 Jig에 카본과 CPE을 조성비별 전파흡수체 시료를 제작하여 삽입한 후 그림 5와 같이 Anritsu사의 ME7808A Vector Network Analyzer에 연결하여 S-parameter를 측정하였다. 그림 6은 실제 제작된 전파흡수체와 Jig, 시료의 실사진이다. 그리고 측정 데이터를 MATLAB

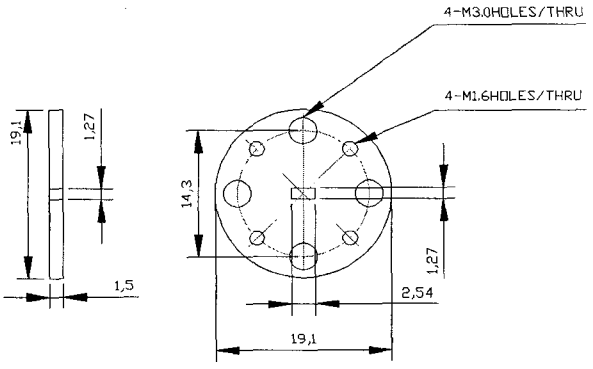


그림 4. 제작된 Jig 형상 및 크기
Fig. 4. The shape and dimension of the manufactured Jig.

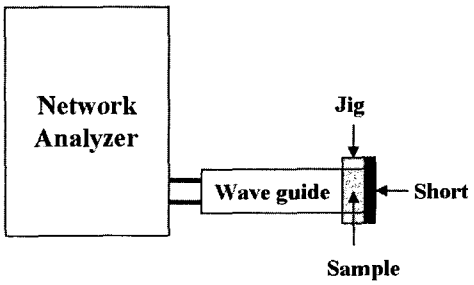


그림 5. 측정시스템 구성도
Fig. 5. Diagram of the measurement system.

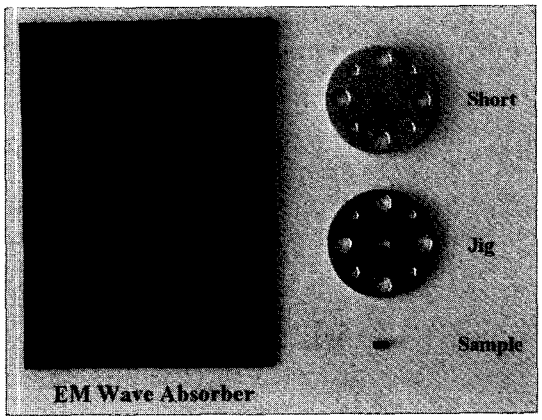


그림 6. 제작된 전파흡수체, Jig, 샘플
Fig. 6. The the manufactured EM wave absorber, Jig, and sample.

프로그램을 이용하여 재료정수인 복소비유전율 $\dot{\varepsilon}_r$을 계산하였다.

4. 측정 결과

카본과 CPE의 조성비별 두께 1.5 mm의 샘플로부터 측정된 전파흡수능은 그림 7에 나타내었다. 가장 우수한 전파흡수능을 보이는 샘플은 카본과 CPE의 조성비 20:80 wt% 의 샘플이다. 따라서 본 논문에서는 충돌방지 레이더용 전파흡수체 설계시 카본과 CPE의 조성비는 20:80 wt%를 이용하였으며, 샘플로부터 $\ell - 2\ell$법[6],[11]을 이용하여 계산된 재료정수인 복소비유전율은 그림 8에 나타내었다. 손실 항을 나타내는 복소비유전율의 허수 값은 75 GHz ~ 100 GHz 범위에서 큰 변화를 보이며, $\tan\delta_e \geq 1$ 부분은 82 GHz ~ 92 GHz에서 나타나고 있다.

Ⅳ. 전파흡수체의 반사계수 측정

1. 시뮬레이션 반사계수

최적의 조성비인 카본:CPE=20:80 wt% 샘플의 복소

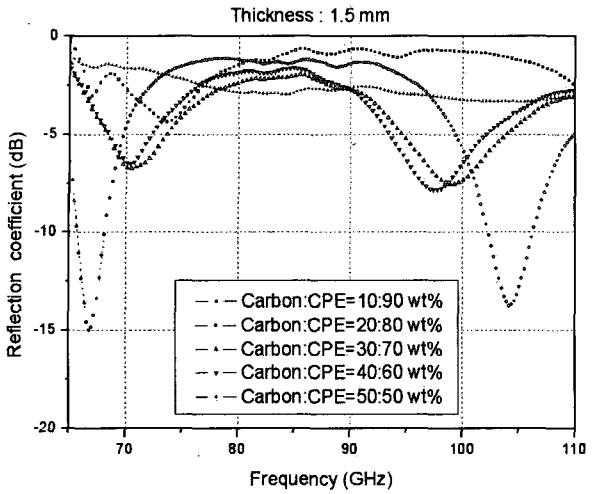


그림 7. 카본과 CPE의 조성비별 측정된 전파흡수능 비교 (두께 : 1.5 mm)

Fig. 7. Comparison of measured reflection coefficient with composition of Carbon and CPE. (Thickness : 1.5 mm)

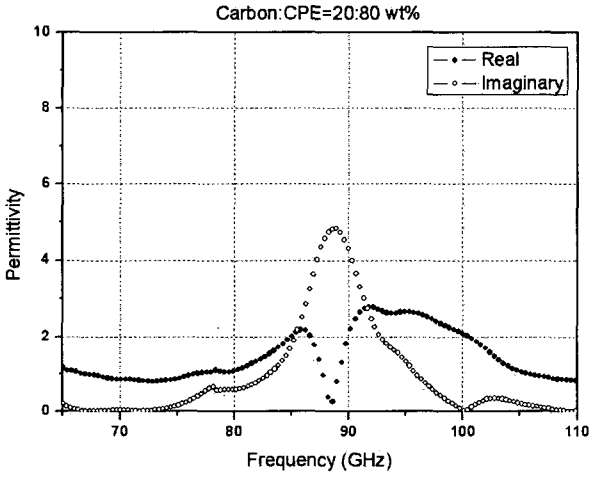


그림 8. 조성비 카본:CPE=20:80 wt% 샘플의 복소비유전율

Fig. 8. Complex relative permittivity of sample containing Carbon:CPE=20:80 wt%.

비유전율을 이용하여 전파흡수체를 설계한 결과 두께 2 mm에서 최적의 전파흡수체가 예측되었으며, 그 결과는 그림 9에 나타내었다. ITS에 정보를 제공하는 기본 센서인 차량 충돌방지 레이더의 상용 주파수인 76~77 GHz에서 반사계수는 -20 dB 이상으로 예측되었다.

2. 측정 반사계수

설계된 전파흡수체를 토대로 조성비 카본:CPE=20:80 wt%로 두께 2 mm인 전파흡수체를 실제 제작하여 그림 5와 같은 측정 시스템으로부터 반사계수를 측정한 결과를 그림 9에 나타내었다. 차량 충돌방지 레이더의

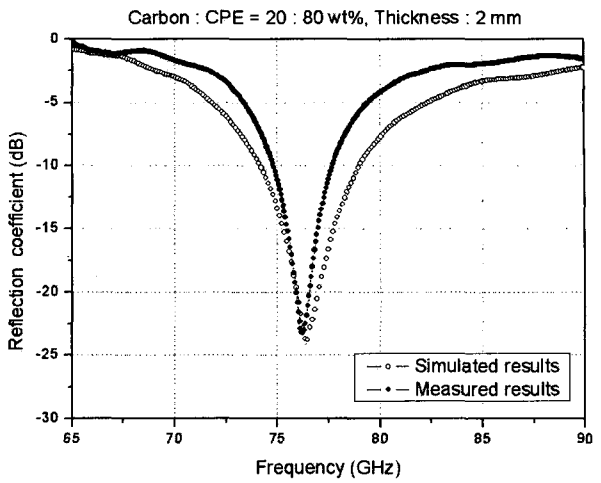


그림 9. 조성비 카본:CPE=20:80 wt% 전파흡수체를 두께 2 mm에서 시뮬레이션과 실측 반사계수 비교

Fig. 9. Comparison of simulated and measured reflection coefficient of absorber containing Carbon:CPE= 20:80 wt% with thickness 2 mm.

상용 주파수인 76~77 GHz에서 반사계수는 -20 dB 이상 측정되었으며, 시뮬레이션값과 실측값이 잘 일치하였다. 정합주파수는 76.3 GHz로 반사계수는 -23 dB 이다.

V. 결 론

ITS 기반의 차량 충돌방지 레이더는 빈번하게 발생하는 차량 충돌사고를 사전경보로 미연에 방지하는 안전센서로서 매우 중요하게 대두되고 있으나, 허상으로 인한 오신호 또는 시스템간의 상호간섭을 일으킬 수 있기 때문에 전파흡수체를 사용하여 대책을 수립하지 않으면 신뢰성을 잃을 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체 개발을 위해 연구가 수행되었다. 도전손실 재료인 카본을 이용하여 최적의 조성비가 카본:CPE=20:80 wt% 임을 확인하고 측정된 복소비유전율을 이용하여 시뮬레이션한 결과를 토대로 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체를 제작한 결과 두께 2 mm로 주파수 범위 76~77 GHz에서 전파흡수능 20 dB 이상으로 전파흡수체를 개발하였다.

참 고 문 헌

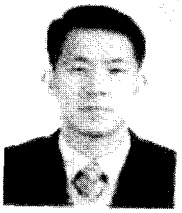
[1] 문상만, 김현경, 오규창, "항공기 탑재형 밀리미터파 레이더 개발 동향," *항공우주산업기술동향*, 1권, 1호, 52-59쪽, 2003년

[2] Graham M. Brooker, David Birch, Justin Solms,

"W-Band Airborne Interrupted Frequency Modulated CW Imaging Radar," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System,* Vol. 41, no. 3, pp. 955-972, July 2005.
[3] Mark E. Russell, Arthur Crain, Anthony Curran, Richard A. Campbell, Clifford A. Drubin, Willian F. Miccioli, "Millimeter-Wave Radar Sensor for Automotive Intelligent Cruise Control(ICC)," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech,* Vol. 45, no. 12, pp. 2444-2453, Dec. 1997.
[4] 이상주, 박공만, "자동차 충돌방지용 밀리미터파 레이다 기술동향," *전자공학회지,* 제26권, 제10호, 1016-1024쪽, 1999년 10월
[5] W. C. P. Neo, V. K. Varadan, "Optimization of Carbon Fiber Composite for Microwave Absorber," *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility,* Vol. 46, no. 1, pp. 102-106, Feb. 2004.
[6] 김동일, *전파흡수체 공학,* 대영사, 176-203쪽, 2006년.
[7] O. Hashmoto, *Introduction to Wave Absorber,* Tokyo:Morikita Shuppan, pp. 79-81, 1997.
[8] T. Soh, O. Hashmoto, "A Study on Millimeter-Wave Absorber Coating for V Band and W Band," *Trans. IEICE,* Vol. J84-B, No. 8, pp. 1401-1556, Aug. 2001.
[9] David M. Pozer, *Microwave Engineering - 3rd ed,* J. Wiley & Sons, pp. 57-59, 2005.
[10] Sang-Hyun Moon, Seung-Jae Shin, Jae-Man Song, Dong-Il Kim, Ki-Man Kim, "Development of composite Ba ferrite EM wave absorbers for GHz frequency," *J. Korea Electromagnetic Engineering Soc.,* Vol. 14, no. 12, pp. 1329-1334, Dec. 2003.
[11] Y. Natio, *Electromagnetic Wave Absorbers,* Tokyo:New Ohm, pp. 69-76, 1987.

저 자 소 개

김 동 일(평생회원)
1975년 한국해양대학교 항해학과 학사 졸업
1977년 한국해양대학교 전파공학과 석사 졸업.
1984년 일본 공경공업대학교 전기전자공학과 박사 졸업.
1975년～현재 한국해양대학교 교수
1990년 산학협동상 대상 수상
1993년 한국전자파학회 학술상 수상
1995년 과학기술진흥 대통령 표창 수상
1998년 한국항해학회 우수논문상 수상
2002년～2003년 한국전자파학회 회장 (현재 명예회장)
2002년～2003년 IEEE EMC Korea Chapter Chairman
2002년～현재 한국항해항만학회 편집이사
<주관심분야 : 마이크로파 회로설계, 전파흡수체 개발, EMI/EMC 대책>



최 창 묵(학생회원)
1996년 해군사관학교 학사 졸업.
2001년 군사과학대학원 해양공학과 석사 졸업.
2005년～현재 한국해양대학교 전파공학과 박사과정.
<주관심분야 : 전파흡수체 설계, EMI/EMC 대책, 전파항법 시스템>

고 광 섭(정회원)
1979년 해군사관학교 학사 졸업
1983년 한국해양대학교 전파공학과 석사 졸업.
1990년 USA Clarkson University 전자공학과 박사 졸업.
1983년～현재 해군사관학교 교수
<주관심분야 : 해양통신 시스템, 항법 시스템>