

밀리미터 레이더용 전파흡수체 개발

최창목* · 김동일* · 세승훈* · 최윤석*

*한국해양대학교

Development of EM Wave Absorber for Millimeter Wave Radar

Chang Mook Choi* · Dong Il Kim* · Seung Hun Je* · Yun Seok Choi*

*Korea Maritime University

E-mail : nav-sun@hanmail.net

요 약

밀리미터 레이더는 짧은 파장으로 근거리 접촉물을 정밀하게 측정할 수 있기 때문에 미래의 ITS 기술의 안전을 지원하는 핵심기술로써 대두되고 있다. 특히, 차량의 충돌방지용으로 밀리미터 레이더가 대두되며, 사용주파수는 76~77 GHz가 이용되고 있다. 그러나 레이더는 반사에 의한 허상으로 오신호가 발생할 수 있으며, 시스템간의 상호 간섭을 일으킬 수 있기 때문에 위험을 초래할 수 있다. 그러나 이러한 문제는 전파흡수체를 사용하여 제거할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체 개발을 위해 연구가 수행되었으며, 측정된 복소비유전율과 복소 비투자율을 이용하여 시뮬레이션한 결과를 토대로 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체를 제작한 결과 조성비가 Permalloy:CPE=70:30 wt%에서, 두께 1.4 mm, 76~77 GHz에서 전파흡수능 18 dB 이상을 획득하였다.

ABSTRACT

The millimeter-wave radar is positioned as a key, basic ITS technology supporting safe driving, because millimeter wave allows radar to see small distant objects. This system is considered the collision-avoidance radar available in some cars. This system employs pulsed radar operating within the frequency range 76~77 GHz. Radar systems create two major problems(false images and system-to-system interference). False echoes cause driving hazards. These problems can be eliminated through the use of EM wave absorber. Therefore, we designed and fabricated EM wave absorber using permalloy. It has the thickness of 1.4 mm with composition of permalloy:CPE=70:30 wt% and absorption ability higher than 18 dB in the frequency range 76~77 GHz.

키워드

The millimeter-wave radar, ITS, EM wave absorber, absorption ability

1. 서 론

레이더(RADAR)는 RAdio Detection And Ranging 의 머리글자를 모은 약어로 그 어원에서 도 알 수 있는 바와 같이 좁은 빔폭을 갖는 지향성 안테나를 통하여 전자파를 방사하여 임의의 물체에서 반사되는 반사파를 수신함으로써 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[3].

특히, 충돌방지 레이더는 밀리미터파 레이더로써 주파수 대역은 76~77 GHz가 이용되고 있으며, 미래의 교통시스템으로 활발히 연구가 진행되고 있는 ITS(Intelligent Transportation System)에 정보를 제공하는 기본 센서로 역할을 수행할 수 있어 운전에도움을 줄 뿐 아니라, 차량의 혼잡도 감소에 기여함으로써 에너지 효율 증가 및 물류의 원활한 이동으로 경제 생산성 향상에 크게 이바지 할 수 있다[2].

그러나 충돌방지 레이더는 레이더 자체의 다중 반사에 의한 허상으로 오신호가 발생할 수 있으며, 시스템과 시스템간의 상호간섭을 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 ($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$)과 자기적 특성인 복소비투자율 ($\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$)을 측정하여 시뮬레이션을 통한 이론적인 설계를 하고 전파흡수체를 제조하여 흡수량을 측정 평가하여야 실현이 된다[5].

따라서, 본 논문에서는 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체를 개발하기 위해서 자성재료인 Permalloy를 재료정수 측정 기법에 의해 복소비유전율과 복소비투자율을 계산하고, 시뮬레이션을 통한 이론적 설계를 하여 그 결과를 토대로 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체를 실제 제작하여 비교분석 하였다.

II. 전파흡수체 설계

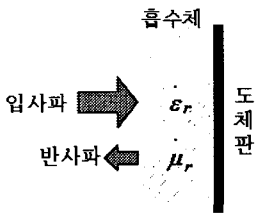


그림 4. 전파흡수체

그림 1의 두께 d 인 전파흡수체에서 입사파와 반사파의 반향손실(Return Loss)은 식 (1)처럼 나타낼 수 있다[4].

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

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

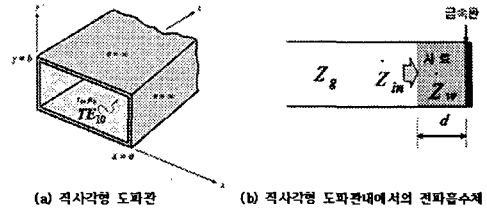


그림 5. 직사각형 도파관내에서의 전파흡수체

평면파의 수직입사에 대한 입력임피던스 z 는 도파관내 중공중의 파동임피던스 Z_g 로 정규화 시킨 것으로 식 (2)처럼 주어진다[5][6].

$$z = \mu_r \sqrt{\frac{1 - (\lambda/2a)^2}{\epsilon_r \mu_r - (\lambda/2a)^2}} \cdot \tanh \left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r - (\lambda/2a)^2} d \right) \quad \dots (2)$$

여기서, λ 는 입사한 평면파의 자유공간상의 파장이며, ϵ_r 은 복소 비유전율(ϵ/ϵ_0), μ_r 은 복소 비투자율(μ/μ_0)이다. 또한 완벽한 전파흡수체가 되기 위해서는 z 가 1이 되는 것으로 전파흡수체의 완전정합 조건은 식 (3)과 같다.

$$\mu_r \sqrt{\frac{1 - (\lambda/2a)^2}{\epsilon_r \mu_r - (\lambda/2a)^2}} \cdot \tanh \left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r - (\lambda/2a)^2} d \right) = 1 \quad \dots (3)$$

III. 전파흡수체의 재료정수 측정

3.1 전파흡수체 제작

본 논문에서는 전파흡수체의 주재료로는 자성 재료인 Permalloy를 사용하였으며, 바인더로서는 CPE를 사용하였다. 전파흡수체제작과정은 먼저 Permalloy : CPE = 70 : 30 wt% 조성비로 혼합하고 본 연구실에서 자체 제작한 Roller를 이용하여 온도는 70 °C에서 두께 1.5, 3 mm의 Sheet형 전파흡수체 샘플을 제작하였다.

3.2 재료정수 측정법

재료정수 측정은 길이 l 의 변화에 의한 측정법을 사용하였다. 그림 3와 같이 도파관의 종단을 단락시키고 길이가 각각 l , $2l$ 인 시료를 삽입하여 시료 전면에서 들여다 본 입력임피던스를 측정하여 각각 Z_1 , Z_2 로 한다.

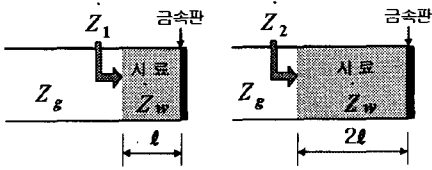


그림 3. 시료의 길이를 l 및 $2l$ 로 하여 측정하는 경우

$Z_L=0$, 길이는 l 이라고 두면 Z_1, Z_2 은 식 (4), (5)와 같이 된다.

$$Z_1 = Z_w \tanh(\gamma l) \quad (4)$$

$$Z_2 = Z_w \tanh(\gamma 2l) \quad (5)$$

따라서, 파동임피던스 Z_w 와 전파상수 γ 를 이용하여 ϵ_r, μ_r 구할 수 있다[5].

3.3 측정 시스템

그림 4와 같이 가로 2.54 mm, 세로 1.27 mm의 Jig에 Permalloy와 CPE가 70:30wt% 혼합으로 제작된 전파흡수체 시료를 제작하여 삽입한 후 그림 4와 같이 Anritsu사의 ME7808A Vector Network Analyzer에 연결하여 임피던스를 측정하였다. 그림 6은 실제 제작 전파흡수체와 Jig 시료의 실사진이다. 그리고 측정 데이터를 MATLAB 프로그램을 이용하여 복소비유전율 ϵ_r 과 복소비투자율 μ_r 을 계산하였다.

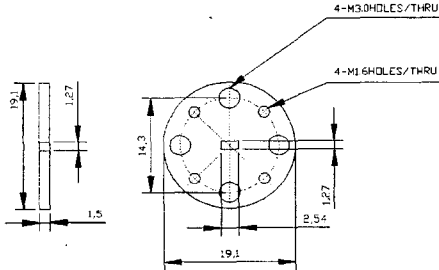


그림 7. 제작된 Jig

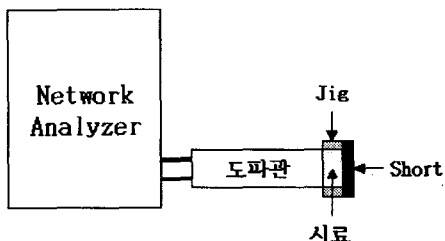


그림 8. 측정 시스템

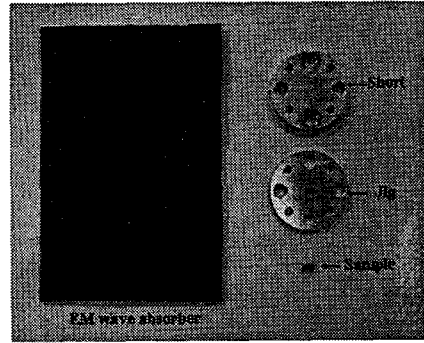


그림 9. 제작 전파흡수체와 Jig 시료

3.4 측정 결과

계산된 복소비유전율 ϵ_r 은 그림 7에 나타내었으며, 손실탄젠트가 1이 되는 부분은 77 GHz 부분에서 발생하였다. 또한 계산된 복소비투자율 μ_r 은 그림 8에 나타내었으며, 손실탄젠트가 1이 되는 부분은 76 GHz에서 발생하였다. 그러나 77~78 GHz에서 일부 측정오차가 포함되어 있음을 알 수 있다.

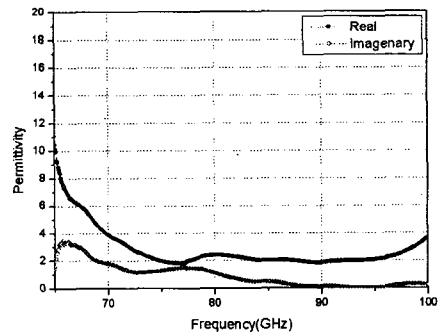


그림 10. Permalloy:CPE=70:30 wt% 전파흡수체의 복소비유전율

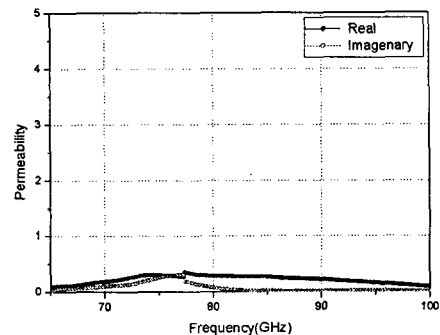


그림 11. Permalloy:CPE=70:30 wt% 전파흡수체의 복소비투자율

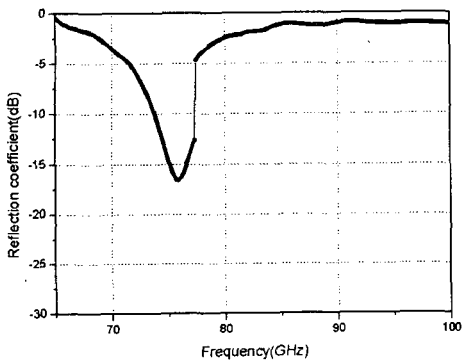


그림 12. 재료정수를 이용하여 설계한 두께 1.4 mm 전파흡수체의 예측 반사계수

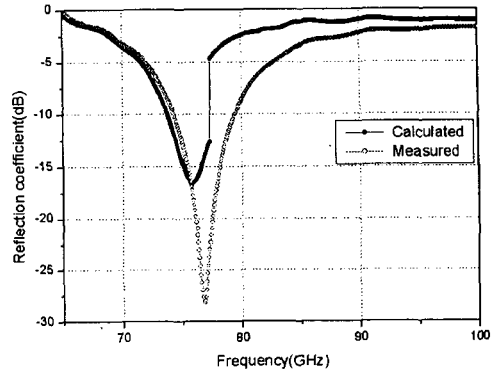


그림 14. Permalloy:CPE=70:30 wt%, 두께 1.4 mm 전파흡수체의 예측 및 실측 반사계수 비교

IV. 전파흡수체의 반사계수 측정

4.1 반사계수 시뮬레이션 결과

그림 7, 8과 같이 계산된 복소비유전율과 복소 비투자율을 이용하여 전파흡수체를 설계한 결과 두께 1.4 mm에서 최적의 전파흡수체가 예측되었으며, 그 결과는 그림 9에 나타내었다. 차량 충돌 방지 레이더의 상용 주파수인 76~77 GHz에서 반사계수는 -15 dB 이상이 예측되었다. 그러나 77.5 GHz 근처에서 일부 오차요소가 포함되어 있음을 알 수 있다.

4.2 반사계수 실측정 결과

설계된 전파흡수체를 토대로 Permalloy:CPE=70:30 wt%로 두께 1.4 mm 전파흡수체를 실제 제작하여 반사계수를 측정된 결과 그림 10과 같이 측정되었다. 차량 충돌방지 레이더의 상용 주파수인 76~77 GHz에서 반사계수는 -17 dB 이상 측정되었으며, 정합주파수는 76.8 GHz로 반사계수는 -28 dB 였다.

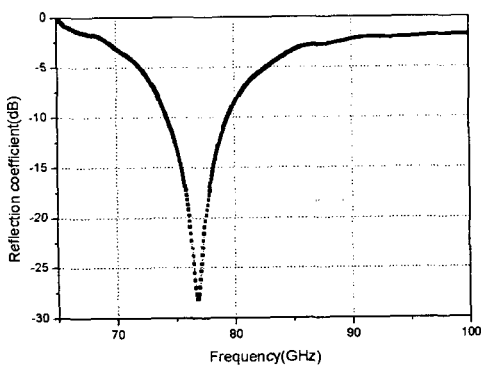


그림 13. Permalloy:CPE=70:30 wt%, 두께 1.4 mm 전파흡수체의 실측 반사계수

4.3 비교 분석

측정된 재료정수로 시뮬레이션을 이용하여 설계한 두께 1.4 mm 전파흡수체의 예측 반사계수와 실제 제작되어 측정된 반사계수를 비교하여 그림 11에 나타내었다.

시뮬레이션 데이터와 실측정 데이터가 76 GHz까지는 잘 일치하는 것을 볼 수 있으며, 77.5 GHz 이상에서는 시뮬레이션 값에서 일부 오차요소가 포함되어 있지만, 전반적인 패턴은 일치함을 알 수 있다.

V. 결 론

밀리미터 레이더 중 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 수행되었으며, 측정된 복소비유전율과 복소 비투자율을 이용하여 시뮬레이션한 결과를 토대로 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체를 제작한 결과 조성비가 Permalloy:CPE=70:30 wt%로 두께 1.4 mm, 76~77 GHz에서 전파흡수능 18 dB 이상을 획득하였다.

사 사

본 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-005-J00501)

참고문헌

- [1] 문상만, 김현경, 오규창, "항공기 탑재형 밀리미터파 레이더 개발 동향," 항공우주산업기술 동향, 1권 1호, pp. 52-59, 2003.
- [2] 이상주, 박공만, "자동차 충돌방지용 밀리미터파 레이더 기술동향," 전자공학회지, Vol. 26 No.10, pp. 1016-1024, 1999.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 김동일, 전파흡수체 공학, 대영사, 2006.
- [6] 橋本 修, 高周波領域における材料定數測定法, 森北出版株式會社, 2003.