

W-대역에서 유전손실재료인 TiO₂의 전파흡수 특성 분석

최창묵* · 김동일* · 고광섭**

*한국해양대학교 · **해군대학

Analysis of EM Wave Absorption Properties in W-band using TiO₂

Chang-mook Choi · Dong Il Kim · Kwang-soobl Ko**

*Korea Maritime University · **Naval Staff College

E-mail : nav-sun@hanmail.net, dikim@hhu.ac.kr, kwangsoob@hanmail.net

요 약

본 논문은 W-대역에서 유전손실 재료인 TiO₂의 전파흡수 특성을 분석하였다. 먼저 전파흡수체 샘플을 손실재료로 TiO₂ 와 바인더로 CPE를 사용하여 조성비별 제작하고, 네트워크 아날라이저를 이용하여 측정된 S-parameter로부터 $\ell-2\ell$ 법을 이용하여 재료정수를 계산하였다. 그리고 샘플들의 재료정수와 전파흡수 특성을 분석한 결과 조성비 TiO₂:CPE=70:30 wt.%에서 우수한 전파흡수 특성을 보임을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we make an analysis of electromagnetic wave absorption properties of TiO₂ in W-band. Therefore, we fabricated some samples in different composition ratio of TiO₂ and CPE. And the material properties of samples are calculated from S-parameter of samples using $\ell-2\ell$ method. We analyze absorption properties and complex relative permittivitis of samples. As a result, it has verified that absorption properties of sample containing TiO₂:CPE=70:30 wt.% have been excelled in W-band.

키워드

Absorption property, Material property, S-parameter, TiO₂, W-band

1. 서 론

전자통신기술의 발달은 인류의 일상생활을 편리하게 하는데 많은 기여를 했으나, 한편으로 늘어난 전파자원에 의한 영향으로 장비들 간 서로 불필요한 전파를 방사하게 되어 오작동 등을 일으키는 원인이 되기도 한다. 특히 전자파 간섭(EMI ; Electro-magnetic Interference) 및 전자파 적합성(EMC ; Electromagnetic Compatibility) 문제가 심각하게 고려되는 시점에서 마이크로웨이브 중계에 의한 다중통신과 항공기 및 이동물체의 전파유도기술의 발달, 그리고 레이더의 고성능화에 따라 전파흡수체의 활용이 점차 증가되는 추세이다.

또한 최근 레이더나 통신기 등의 사용 주파수가 밀리미터파의 높은 영역으로 옮겨가고 있으며,

그에 따른 밀리미터파대역에 대한 전파흡수체의 필요성도 높아져 가고 있다[1][2].

전파를 흡수하는 손실재료는 GHz 대역에서는 ferrite 같은 자성손실 재료를 이용하여 연구가 많이 수행되고 있으며, 특히 MnZn ferrite나 NiZn ferrite 같은 soft ferrites와 Sr ferrite나 Ba ferrite 같은 hard ferrites가 GHz 대역에서 자기적 손실이 증가되어 전파흡수체 재료로서 널리 이용되고 있고[3], 밀리미터파 대역에서는 카본, Permalloy, TiO₂ 등을 이용하여 연구되고 있다[4], [5].

따라서, 본 논문에서는 밀리미터파 대역의 W-Band용 전파흡수체를 개발하기 위하여 유전손실재료인 TiO₂를 이용하여 조성비에 따른 복소비유전율을 계산하여 분석하고 각각의 전파흡수율을 조성비에 따라 비교 분석하였다.

II. 전파흡수능

그림 1의 두께 d 인 전파흡수체에서 입사파와 반사파의 반향손실(Return Loss)은 식 (1)처럼 나타낼 수 있다[6].

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

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

평면파의 수직입사에 대한 입력임피던스 \hat{z} 는 도파관내 중공중의 파동임피던스 Z_0 로 정규화 시킨 것으로 식 (2)처럼 주어진다[1][2].

$$\hat{z} = \sqrt{\frac{1 - (\lambda/2a)^2}{\epsilon_r - (\lambda/2a)^2}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r - (\lambda/2a)^2} d) \quad (2)$$

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

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

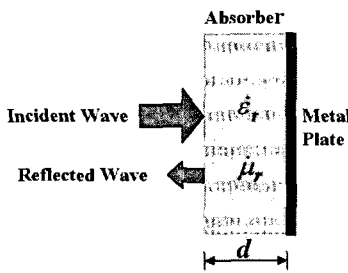


그림 1. 전파흡수체

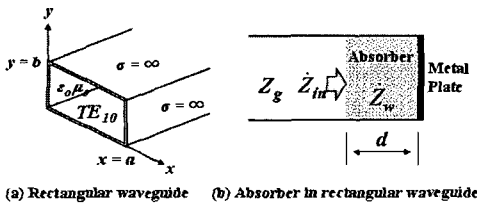


그림 2. 직사각형 도파관내에서의 전파흡수체

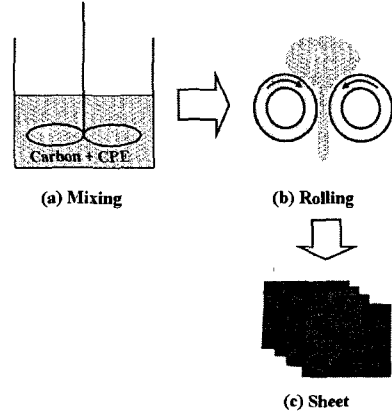


그림 3. 전파흡수체 제작과정

III. 재료정수 측정

3.1 전파흡수체 샘플 제작

본 논문에서는 전파흡수체의 주재료로 유전손실재료인 TiO_2 를 사용하였으며, 바인더로서 CPE (chlorinated polyethylene)를 사용하였다. 전파흡수체 제작과정은 먼저 Mixer에서 카본과 CPE를 조성비별 혼합하고, 본 연구실에서 자체 제작한 Open Roller를 이용하여 $70^\circ C$ 의 일정한 온도[7]에서 두께 1 mm, 2 mm의 Sheet형 전파흡수체 샘플을 제작하였다. 그림 3은 전파흡수체 제작과정이다.

3.2 재료정수 측정법

재료정수 측정은 길이 l 의 변화에 의한 측정법을 사용하였다. 그림 4와 같이 도파관의 종단을 단락시키고 길이가 각각 l , $2l$ 인 시료를 삽입하여 시료 전면에서 들여다 본 입력임피던스를 측정하여 각각 \hat{Z}_1 , \hat{Z}_2 로 한다.

$Z_L = 0$, 길이는 l 이라고 두면 \hat{Z}_1 , \hat{Z}_2 은 식 (4), (5)와 같이 된다.

$$\hat{Z}_1 = \hat{Z}_w \tanh(\gamma l) \quad (4)$$

$$\hat{Z}_2 = \hat{Z}_w \tanh(\gamma 2l) \quad (5)$$

따라서, 파동임피던스 \hat{Z}_w 와 전파상수 γ 를 이용하여 ϵ_r 구할 수 있다[8].

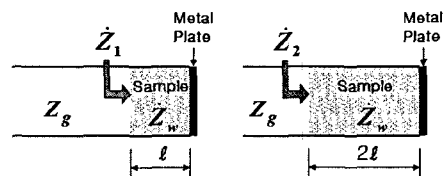


그림 4. $l - 2l$ 재료정수 측정

3.3 측정 시스템

그림 5와 같이 가로 2.54 mm, 세로 1.27 mm의 Jig에 조성비에 따라 제작된 전파흡수체 시료를 제작하여 삽입한 후 그림 6과 같이 Anritsu사의 ME7808A Vector Network Analyzer에 연결하여 입력 임피던스를 측정하였다. 그리고 측정 데이터를 MATLAB 프로그램을 이용하여 복소비유전율 ϵ_r 을 계산하였다.

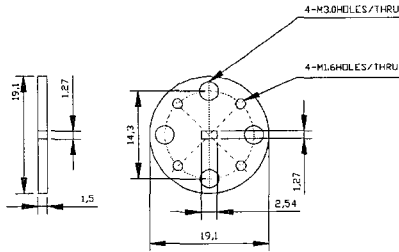


그림 5. 제작된 Jig

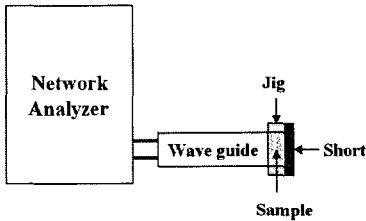


그림 6. 측정 시스템

3.4 측정 결과

계산된 복소비유전율 ϵ_r 의 실수부 값은 그림 7에, 허수부 값은 그림 8에 나타내었다. 손실과 관계되는 허수부 값은 조성비가 70 wt.%에서 피크 값이 가장 높은 것을 볼 수 있다.

따라서 W-band 대역에서 전파흡수체 제작시 효과적인 것으로는 TiO₂의 조성비가 70 wt.% 임을 예측 할 수 있다.

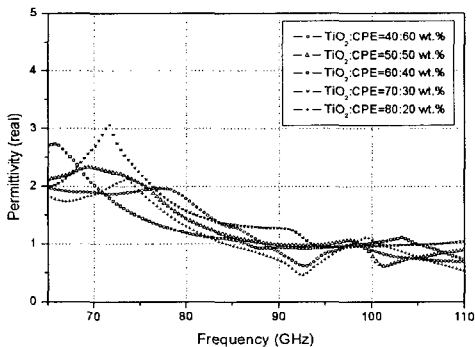


그림 7. TiO₂의 조성비에 따른 복소비유전율의 실수부 값 비교

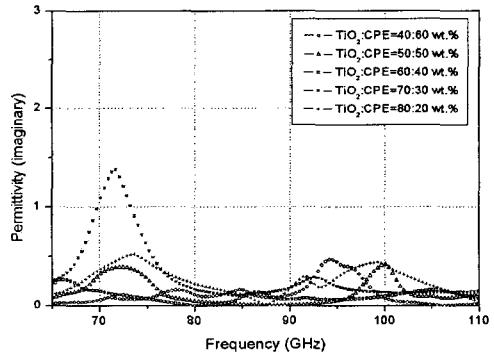


그림 8. TiO₂의 조성비에 따른 복소비유전율의 허수부 값 비교

IV. 전파흡수체의 반사계수 측정

손실재료로 TiO₂와 바인더로 CPE를 이용하여 조성비별 제작된 전파흡수체 샘플의 반사계수 측정결과는 각각 그림 9 ~ 13에 나타내었다.

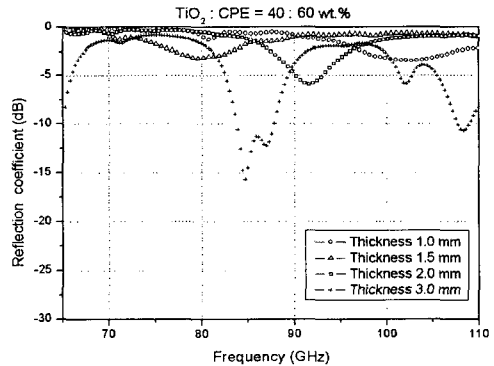


그림 9. 조성비 TiO₂:CPE=40:60 wt.% 샘플의 두께에 따른 반사계수 비교

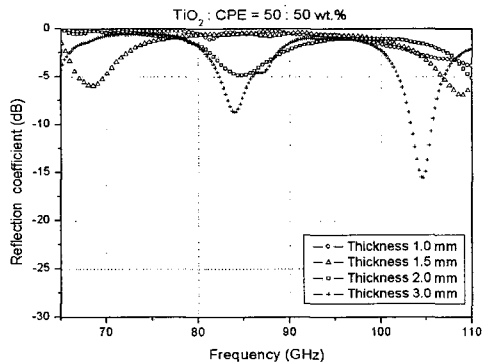


그림 10. 조성비 TiO₂:CPE=50:50 wt.% 샘플의 두께에 따른 반사계수 비교

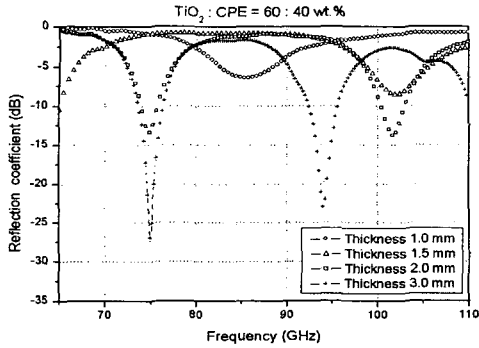


그림 11. 조성비 TiO₂:CPE=60:40 wt.% 샘플의 두께에 따른 반사계수 비교

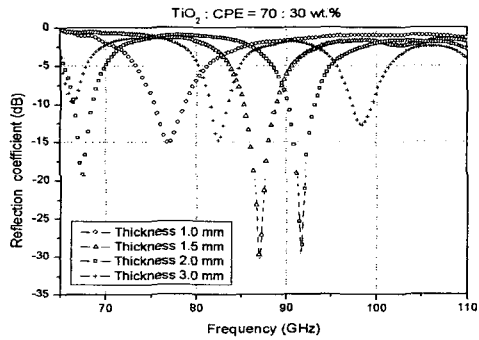


그림 12. 조성비 TiO₂:CPE=70:30 wt.% 샘플의 두께에 따른 반사계수 비교

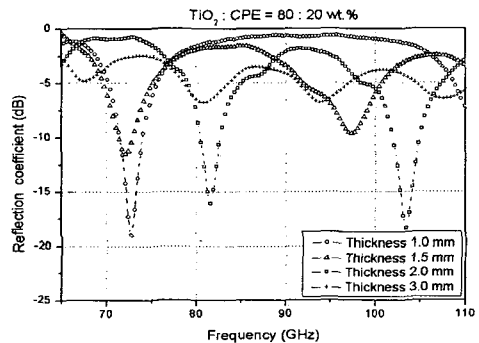


그림 13. 조성비 TiO₂:CPE=80:20 wt.% 샘플의 두께에 따른 반사계수 비교

조성비별 반사계수를 비교 분석한 결과 TiO₂의 조성비가 70 wt.%까지 증가할수록 반사계수의 피크치가 증가하는 것을 알 수 있으며, 80 wt.%에서는 약간 감소하는 것을 알 수 있다.

따라서 TiO₂의 조성비가 70 wt.%일 경우 복소비유전율과 전파흡수체의 두께를 고려하여 원하는 주파수에서 전파흡수능 15 dB 이상의 전파흡수체를 개발 가능함을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 밀리미터파 대역의 W-Band용 전파흡수체를 개발하기 위하여 유전손실재료인 TiO₂를 이용하여 조성비에 따른 복소비유전율을 계산하여 분석하고 각각의 전파흡수능을 조성비별 비교 분석한 결과 TiO₂의 조성비가 70 wt.%일 경우 W-band 대역에서 우수한 전파흡수 특성을 보였으며, 복소비유전율과 두께를 고려하여 원하는 주파수에서 전파흡수능 15 dB 이상의 전파흡수체를 개발 가능함을 확인하였다.

사 사

이 논문은 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업의 연구결과로 수행되었음(ITA-2006-(C1090-0603-0034)).

참고문헌

- [1] O. Hashmoto, *Introduction to Wave Absorber*, Morikita Shuppan, Tokyo, 1997.
- [2] 김동일, *전파흡수체 공학*, 대영사, 2006.
- [3] Jae-Man Song et al., "Dependence of electromagnetic wave absorption on ferrite particle size in sheet-type absorbers", *J. Korea Phys. Soc.*, vol.42, no.5, pp.671-675, May 2003.
- [4] Chang-Mook Choi et al., "Development of the Electromagnetic Wave Absorber for 94 GHz Radar Sensors Using Permalloy", *Inter. J. KIMICS*, vol.4, no.3, pp.114-117, Sep. 2006.
- [5] 김동일, 최창목, 고광섭, "ITS의 차량충돌방지 레이더용 전파흡수체 개발," *전자공학회 논문지*, 제43권, TC편 제9호, 1-5쪽, 2006년 9월.
- [6] 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.
- [7] Sang-Hyun Moon et al., "Development of composite Ba ferrite EM wave absorbers for GHz frequency," *J. Korea Electromag. Engin. Soc.*, vol.14, no.12, pp. 1329-1334, Dec. 2003.
- [8] Y. Naito, *Electromagnetic Wave Absorbers*, New Ohm, Tokyo, 1987.