

투명 전도성 산화물이 코팅된 유전체의 단방향 레이다 단면적 측정

Monostatic RCS Measurement for Transparent Conducting Oxide Coated Dielectric

임형래 · 노영훈 · 홍익표* · 권순형** · 윤영준** · 황민제*** · 최광식*** · 육종관

Hyeong Rae Im · Yeong Hoon Noh · Ic Pyo Hong* · Soon Hyeong Kwon** ·
Young Joon Yoon** · Min Je Hwang*** · Kwang Sik Choi*** · Jong Gwan Yook

요 약

군사 무기 체계 중 전투기에서 구조적으로 큰 비중을 차지하는 조종석 캐노피는 레이다 단면적(radar cross section: RCS) 저감 성능 확보와 함께 높은 가시광선 투과율을 요구한다. 본 논문에서는 가시광선 영역에서 높은 광투과율과 낮은 Haze 특성 구현이 가능한 투명 전도성 산화물(transparent conducting oxide: TCO)이 코팅된 아크릴계 유전체의 단방향 레이다 단면적(monostatic RCS) 특성을 실험을 통해 분석하였다. RCS 측정 교정을 위해 완전 도체를 가정한 구리로 된 도체 평판을 사용하였고, 안테나 및 산란체의 원거리장 조건을 확보하여 측정 오차를 최소화시켰다. TCO 단면 및 양면 코팅된 샘플의 monostatic RCS를 측정한 결과, 수직 입사 조건에서 도체 평판 대비 약 2.9 dB, 7.24 dB의 감소치를 확인하였다. 5°, 10°의 경사 입사 조건에서 각 샘플의 RCS 변화 경향 또한 측정을 통해 함께 확인하였다.

Abstract

In military weapon systems, the cockpit canopy that occupies a large region of a fighter aircraft requires both high visible light transmittance and Radar Cross Section(RCS) reduction performance. In this investigation, the monostatic RCS of an acrylic dielectric coated with a transparent conducting oxide that can realize high light transmittance and low haze characteristics in the visible spectrum, was experimentally analyzed. To calibrate the RCS measurement, assuming a perfect electric conductor, a conducting plate made of copper was used and the measurement error was minimized by satisfying the far-field condition of the antenna and scatterers. The monostatic RCS of TCO single-sided and double-sided coated samples was measured. As a result, an RCS reduction of approximately 2.9 dB and 7.24 dB, respectively, was confirmed under normal incidence condition, compared to the conducting plate. In addition, RCS variations of each sample were confirmed by measurement performed at 5° and 10° oblique incidence.

Key words: Radar Cross Section(RCS), Transparent Conducting Oxide(TCO), Radar Absorbing Material(RAM), RCS Measurement

I. 서 론

현대 군사 무기 체계에서 전투용 비행체 및 함정 등의

연세대학교 전기전자공학과(Department of Electric and Electronic Engineering, Yonsei University)

*공주대학교 정보통신공학부(Department of Information and Communication Engineering, Kongju University)

**한국세라믹기술원(Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology)

***한국항공우주산업(주)(Korea Aerospace Industries, Ltd.)

· Manuscript received June 26, 2019 ; Revised July 8, 2019 ; Accepted September 20, 2019. (ID No. 20190626-062)

· Corresponding Author: Jong Gwan Yook (e-mail: jgyook@yonsei.ac.kr)

레이다 저피탐 특성 확보를 위한 연구는 오랫동안 활발하게 연구되고 있는 분야이다^{[1]~[3]}. 저피탐 특성을 평가하는 대표적인 지표인 레이다 단면적(radar cross section: RCS)의 감소 방법은 레이다 흡수 물질(radar absorbing material: RAM)을 이용한 입사 전자파 흡수, 형상 설계 등을 이용한 산란파의 방향 조정 및 산란파 상쇄 등으로 매우 다양하다. 이 중 레이다 흡수 물질을 이용한 RCS 저감은 2차 세계 대전 시기부터 연구되어온 대표적인 RCS 저감 방법이다. 비행체 및 선박 등의 전자파 산란 특성은 그 설계 구조나 전자파의 입사 조건 등에 따라 매우 다양하게 나타나므로, 이에 따른 적절한 RCS 저감 기술 적용이 필요하다. 전투기 조종석을 물리적으로 보호하는 구조인 캐노피(Canopy)의 RCS 특성에 관한 연구는 보통 비행체의 RCS 특성 연구에 포함되어 있다^{[4],[5]}. 전체적인 비행체 구조의 산란 특성 해석을 위해서, 기체 모델링 과정에서 단순히 도체 혹은 균일유전체로 단순화시켜서 해석하는 방법이 있다. 하지만 캐노피는 유전체로 설계될 경우, 조종석 내부의 도체에 의한 산란으로 인해 큰 RCS 특성을 나타내기 때문에, 단순화 해석방법을 적용할 경우 실제적인 산란 특성이 고려되지 않는다. 또한, 그 구체적인 소재 특성이 함께 고려된 RCS 특성과 저감 방안에 관한 연구가 부족하다.

캐노피 내부 조종사의 정상적인 시야 확보를 위해서는 광투과율이 높고 Haze 특성이 낮은 소재 개발이 필요하다. 좋은 광학적 특성을 구현할 수 있는 대표적인 소재로 투명 전도성 산화물(transparent conducting oxide: TCO)이 있다^{[6]~[9]}. TCO는 가시광선 영역에서 높은 광투과율과 전기전도도 특성을 함께 가지는 투명전극으로서의 특성을 가진다. 이는 사용 소재의 밴드갭 에너지에 따라 전기전도도와 흡수되는 가시광선 영역이 달라지는 성질을 이용하여 구현된다. TCO의 예로는 산화인듐에 주석 성분이 첨가된 Indium Tin Oxide(ITO), 산화아연에 Zn 도핑된 Al-doped Zinc Oxide(AZO) 등이 있으며, 디스플레이 분야 및 태양전지 등에 활발하게 활용되고 있다. 현재까지 TCO는 광학적으로 많은 연구가 진행되어 왔으나, 마이크로파 영역에서 가지는 전파의 투과/반사 및 산란 특성에 관한 연구는 부족하다. 추가적으로, TCO가 가지는 전기전도도 특성은 RAM의 대표적인 구조들 중 하나인 공진 흡수 구조를 구

현하는 데에 활용할 수 있어, 이의 전자파 산란 특성의 분석으로부터 설계 방안이 마련된다면 비행체의 RCS 특성 연구에도 기여할 수 있다.

본 논문에서는 TCO로 코팅된 유전체의 단방향 레이다 단면적(monostatic RCS) 특성을 실험적으로 분석하고, 레이다 흡수 물질로서의 TCO의 적용 가능성과 함께 그 저감 특성 확보를 위한 설계 방안에 대해 논하고자 한다.

II. 공진 흡수 구조의 RAM 설계

공진 흡수 구조를 가지는 RAM 설계를 통한 특정 주파수 대역 RCS 저감의 기본 특성은 이론적인 접근을 통해 설명할 수 있다. 공진 흡수 구조의 대표적인 두 가지 구조로 달렌바흐 스크린(Dallenbach screen) 구조와 살리스버리 스크린(Salisbury screen) 구조가 있다^{[1],[10]}.

달렌바흐 스크린 구조의 경우, 입사하는 전자파원의 위치를 기준으로 후방에 완전 도체에 가까운 저항성 도체를 입힌 유전체로 구성되어 있다. 입력 임피던스와 자유공간 임피던스의 정합 조건을 이용하여 유전체의 두께와 전기적 물성을 결정한다. 살리스버리 스크린 구조도 기본적인 원리는 유사하나, 입사파원의 전방에 추가로 높은 저항의 금속을 입힌 구조라는 차이점이 있다. 전방의 금속 표면은 기본적으로 자유공간 임피던스에 가까운 저항을 가지게 하여 입력 임피던스 정합 조건을 만족하도록 설계한다. 살리스버리 흡수체는 그 구조 설계에 있어서 달렌바흐 흡수체보다 유전체의 물성에 의한 제약이 비교적 적은 편이며, 단층 구조를 기준으로 하였을 때 전

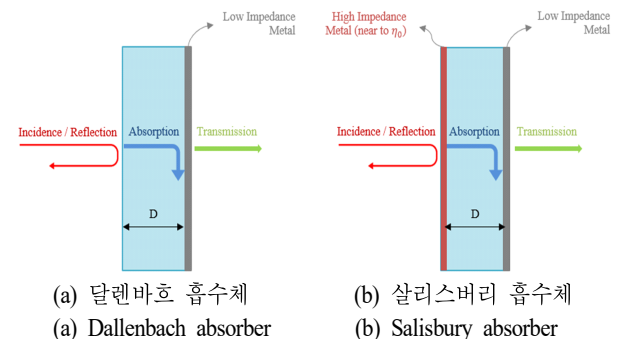


그림 1. 달렌바흐 흡수체와 살리스버리 흡수체
Fig. 1. Dallenbach absorber and Salisbury absorber.

과 흡수 특성을 가지는 주파수 대역폭이 상대적으로 넓은 장점이 있다. 저저항성 도체의 면저항을 완전 도체의 경우인 0으로 가정하였을 때, 달렌바흐 흡수체와 살리스버리 흡수체의 설계를 위한 입력 임피던스는 식 (1), (2)와 같다. Z_0 , Z_s 는 각각 자유공간 임피던스와 고저항성 도체의 면저항을 나타내며, ϵ_r , μ_r , d 는 흡수체를 구성하는 유전체의 비유전율, 비투자율, 두께를 나타낸다.

$$Z_{dallenbach} = jZ_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tan(k_0 \sqrt{\mu_r \epsilon_r} d) \quad (1)$$

$$Z_{salisbury} = \frac{jZ_0 Z_s \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tan(k_0 \sqrt{\mu_r \epsilon_r} d)}{Z_s + jZ_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tan(k_0 \sqrt{\mu_r \epsilon_r} d)} \quad (2)$$

TCO는 전기전도 특성을 가지며, 이는 저저항 또는 고저항의 금속 표면으로 활용이 가능하다. 따라서 TCO를 유전체를 단면 혹은 양면으로 입혀 가시광선 영역의 특성과 함께 공진 흡수 구조를 구현할 수 있다.

III. Monostatic RCS 측정 방법

RCS 측정은 안테나를 이용하여 대상 물체로부터 산란되는 전자파를 산란계수로 측정하고, 이를 RCS로 변환하는 방법을 적용하였다. 산란계수를 RCS로 변환하기 위해서는 측정 대상 물체와 그 산란 특성이 유사한 간단 구조를 이용한 교정이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 TCO 코팅 샘플의 RCS 측정값 교정용 산란체로 한 변의 길이가 25cm인 구리 도체 평판을 사용하였다. 원거리장 조건에서의 수직 입사 시의 도체 평판의 monostatic RCS는 다음 식을 통해 간단히 계산할 수 있다.

$$\sigma = \frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda^2} \quad (3)$$

a 와 b 는 각각 도체 평판의 변의 길이, λ 는 측정 주파수에 해당하는 파장을 나타낸다.

안테나 및 산란체의 크기를 고려한 원거리장 조건에 의한 영향을 확인하고, 이론값과의 오차를 줄이기 위해 우선적으로 교정용 산란체의 거리 별 측정을 진행하였

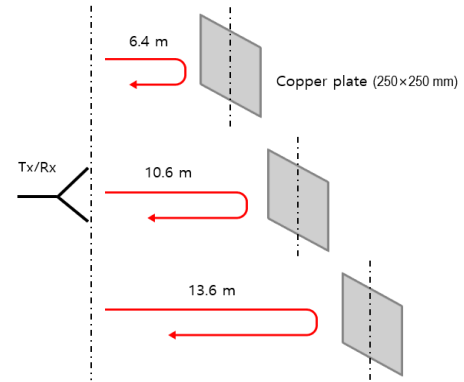


그림 2. RCS 교정용 도체 평판의 측정

Fig. 2. Measurement of a conducting plate for RCS calibration.

다. 거리는 측정에 사용한 2~18 GHz의 double rigid horn 안테나의 원거리장 조건인 6.4 m부터 약 3 m 간격으로 멀게 하였으며, 각각의 측정 거리는 그림 2에 나타내었다. 측정된 산란계수 데이터를 ICZT를 통해 거리 영역 데이터로 변환한 후, 시간 게이팅을 이용하여 도체 평판이 위치한 거리 주변에서 산란된 성분만을 필터링하였다. 그 후 다시 FFT 처리를 통해 도체 평판으로부터 산란되어 수신된 산란계수를 얻었다. 25 cm 도체 평판의 산란계수 데이터를 RCS 값으로 변환하기 위한 교정용 산란체는 한 변의 길이가 20 cm인 구리 도체 평판을 사용하였다. 20 cm 도체 평판의 이론적 monostatic RCS 수치와 측정된 산란계수 간의 차이만큼 25 cm 도체 평판의 측정된 산란계수를 보정하여 그 이론적 수치와 비교하는 과정을 통해 측정 정확성을 검증하였다. 측정값과 이론값을 비교한 결과는 그림 3과 같다. 10 GHz를 기준으로 하였을 때, 6.4 m 측정 시의 오차는 약 1.56 dB로 나타났다. 반면에 산란체의 크기를 고려한 원거리장 조건인 약 8.3 m 보다 안테나와 산란체간 거리가 충분히 확보된 13.6 m의 경우에는 그 측정 오차가 0.57 dB 수준으로 감소하였음을 확인하였다.

IV. 측정 및 분석

본 연구에서는 광투과율이나 Haze 등의 가시광선 영역 특성을 RAM으로서의 전파 흡수 특성과 함께 고려하여

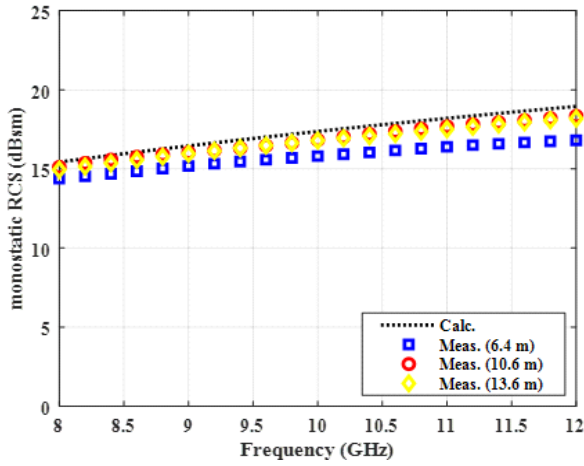


그림 3. RCS 측정 교정용 도체 평판의 측정 거리별 monostatic RCS 비교

Fig. 3. Measurement distance of a conducting plate for RCS calibration.

설계된 샘플을 측정함으로써, TCO 코팅된 유전체의 monostatic RCS 수치를 실험적으로 확인하였다. 본 실험에서 사용한 샘플은 TCO 단면 코팅과 양면 코팅 2종이며, 샘플들의 두께는 10 mm이다. 단면 코팅층의 면저항은 25 Ω/sq 이며, 양면 코팅층의 저저항 코팅의 면저항은 단면 코팅층과 같고, 고저항 코팅층의 면저항은 169 Ω/sq 이다. 사용된 아크릴의 유전 상수는 2.48, 손실 탄젠트는 0.005 이다.

측정에 앞서, 수직 및 경사 입사와 입사 편파에 따른 코팅층의 monostatic RCS 영향을 파악하기 위해, 단면 코팅 샘플에 대한 전자기 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 데이터는 ANSYS HFSS의 적분방정식 해석 방법을 이용하여 얻었다. 이 때 TCO 코팅층은 200 μm 의 두께를 가정하고, 각 면저항에 해당하는 전기전도율을 가지는 소재로 구현하여 시뮬레이션에 적용하였다. 그림 4 및 그림 5는 각각 VV와 HH 편파 입사 환경에서의 monostatic RCS 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 입사각이 커질수록 최대 RCS 수치 감소와 함께 주파수에 대한 주기적 산란 특성을 보였다. 이는 도체 평판의 RCS 특성과 유사하며, 전도성 코팅층에 의한 특성으로 판단된다. 작은 입사각의 경우, VV 편파와 HH 편파 간 차이가 미미하다. 그러나 입사각이 커질수록 샘플의 옆면에 의한 산란 및 회절 특

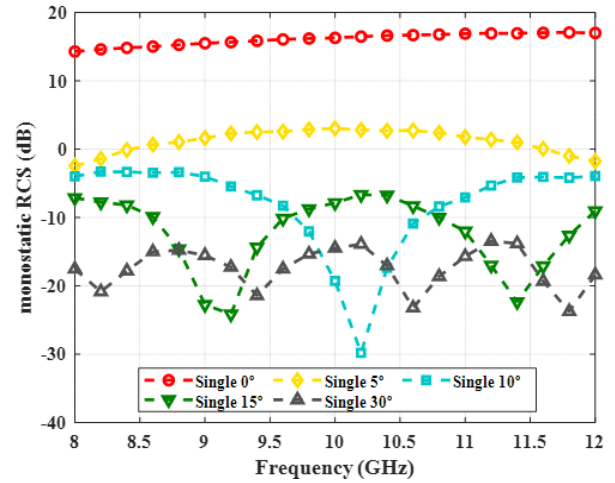


그림 4. TCO 단면 코팅 샘플의 monostatic RCS 시뮬레이션(VV 편파)

Fig. 4. Monostatic RCS simulation of TCO single-side coated samples(VV pol.).

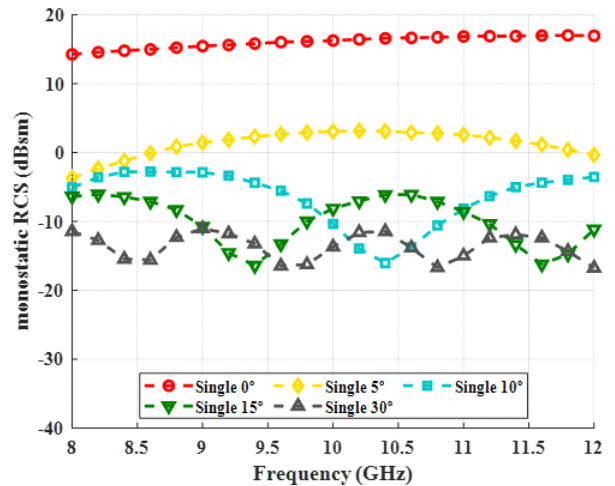


그림 5. TCO 단면 코팅 샘플의 monostatic RCS 시뮬레이션(HH 편파)

Fig. 5. Monostatic RCS simulation of TCO single-side coated samples(HH pol.).

성에 차이가 생겨, RCS 특성에 차이가 발생함을 확인할 수 있다.

그림 8은 단면 및 양면 코팅 샘플의 넓은 면으로의 수직 입사 조건에서의 측정 결과를 도체 평판의 이론적 RCS 수치, 시뮬레이션 결과와 비교한 그래프이다. 10 GHz에



그림 6. RCS 측정용 TCO 코팅 샘플
Fig. 6. Samples of RCS measurement.

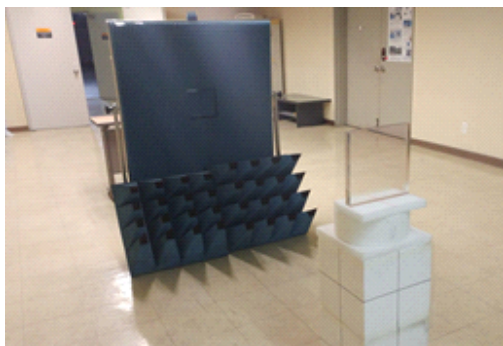


그림 7. RCS 측정 환경
Fig. 7. RCS measurement condition.

서 도체 평판과 측정 결과를 비교하였을 때, 단면 코팅은 1.84 dB, 양면 코팅은 2.35 dB 감소함을 확인하였고, 최대 감소 크기는 단면 코팅에서 2.9 dB, 양면 코팅에서 7.24 dB로 나타났다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과는 단면 코팅과 양면 코팅의 경향성은 유사하게 나타났으나, 최대 2.6 dB 정도의 오차를 가졌다. 오차의 원인으로는 TCO의 정확한 전자기적 모델링의 한계와 기타 소재의 물성 값의 오차가 주요하다고 판단된다. 추가적으로 각 샘플의 수직 및 측정 정확성이 확보되는 5°와 10° 경사 입사 조건에서의 monostatic RCS 크기 변화를 시뮬레이션 결과와 함께 비교하여 그 경향성을 검증하였다. 그림 9~그림 12는 단면 및 양면 코팅 샘플에 대한 VV 및 HH 편파 monostatic RCS를 나타낸다. 측정된 RCS는 시뮬레이션 결과와 같이 입사각이 증가함에 따라 감소하였다. 각 입사각

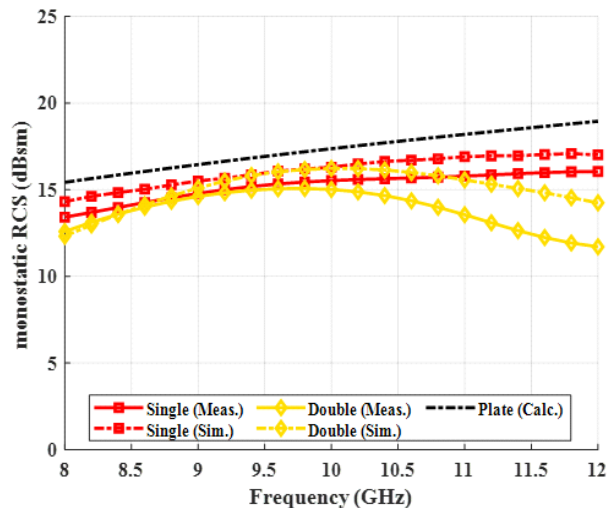


그림 8. TCO 단면 및 양면 코팅 샘플의 monostatic RCS
Fig. 8. Monostatic RCS of TCO single-side and double-side coated samples.

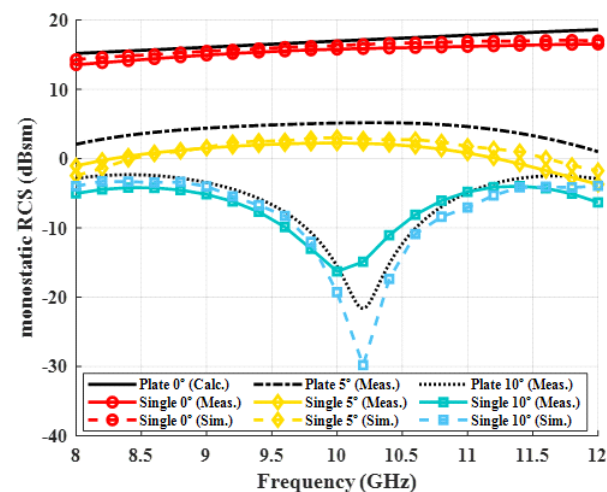


그림 9. TCO 단면 코팅 샘플의 수직/경사 입사 조건 monostatic RCS(VV 편파)
Fig. 9. Monostatic RCS of TCO single coated samples at normal/oblique incidence(VV pol.).

에 해당하는 도체 평판의 RCS와 비교하였을 때 저감 특성을 확인할 수 있으나, 각도가 커지면서 주기 특성 차이로 인해 특정 주파수 대역에 대해서만 저감 특성을 보였다. 경사 입사 환경에서의 RCS 저감 특성 구현을 위해서는 추가적인 설계 최적화가 필요하다고 판단된다.

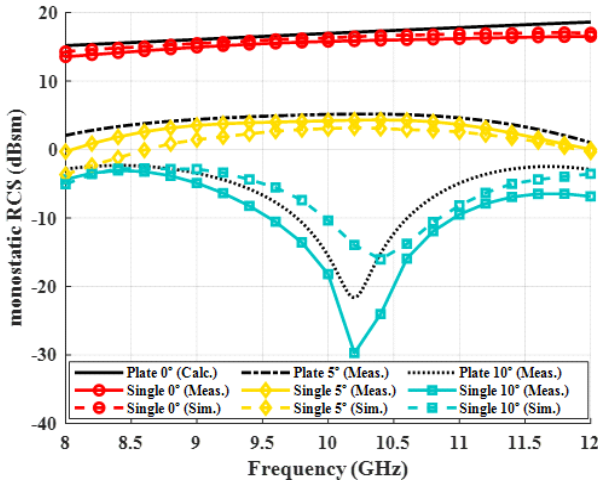


그림 10. TCO 단면 코팅 샘플의 수직/경사 입사 조건 monostatic RCS(HH 편파)
Fig. 10. Monostatic RCS of TCO single coated samples at normal/oblique incidence(HH pol.).

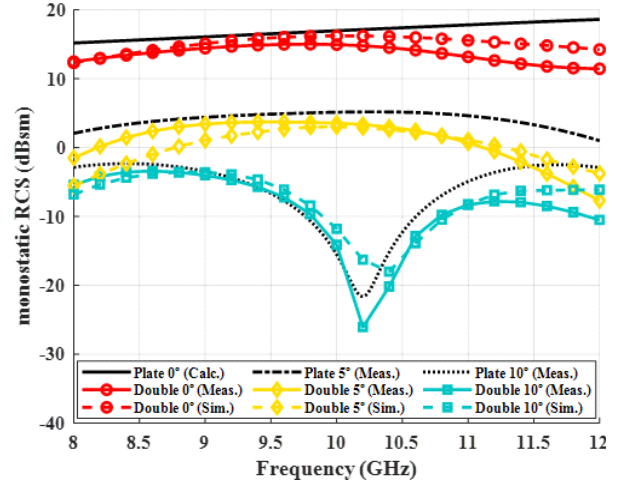


그림 12. TCO 양면 코팅 샘플의 수직/경사 입사 조건 monostatic RCS(HH 편파)
Fig. 12. Monostatic RCS of TCO double coated samples at normal/oblique incidence(HH pol.).

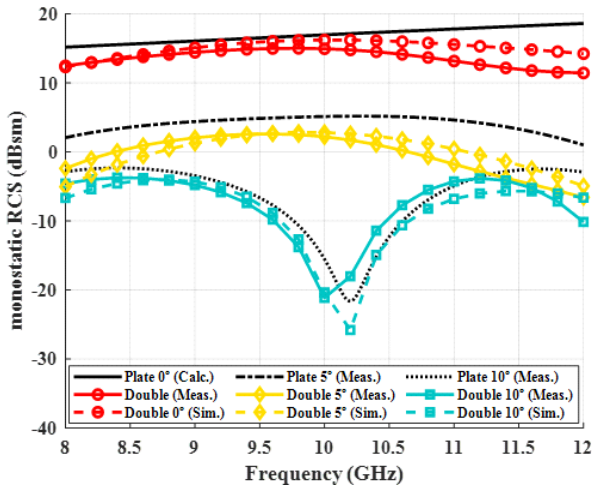


그림 11. TCO 양면 코팅 샘플의 수직/경사 입사 조건 monostatic RCS(VV 편파)
Fig. 11. Monostatic RCS of TCO double coated samples at normal/oblique incidence(VV pol.).

V. 결 론

본 논문에서는 투명 전도성 산화물인 TCO를 적용한 소재의 단면 및 양면 코팅을 입힌 아크릴 유전체의 monostatic RCS 측정을 통해 완전도체를 가정한 구리 도체 평

판과 비교한 RCS 특성을 분석하였다. 또한 실제 산란체 피탐 상황을 고려하여, 측정 정확성을 확보할 수 있는 5°, 10°의 각도로 전자파원이 입사할 때의 각 샘플의 monostatic RCS 특성을 함께 확인하였다. 측정 결과, 도체 평판 대비 단면 코팅의 경우, 최대 2.9 dB, 양면 코팅은 최대 7.24 dB의 RCS 감소치를 보였다. 경사 입사 조건에서는 반사파의 크기가 크게 줄면서 주파수에 따른 RCS 감소 경향이 다르게 나타났다. 이후의 연구에서는 유전체의 두께와 TCO 코팅층의 면저항을 공진 흡수 구조를 고려하여 추가적으로 최적화함으로써, 개선된 RCS 저감 성능을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 실제 산란체 피탐 환경에서는 수직 입사 조건보다는 경사 입사 조건이 대부분인 만큼, 경사 입사 조건에서의 특성 분석을 통한 최적화도 계속해서 수행되어야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] E. F. Knott, J. F. Shaeffer, and M. T. Tuley, *Radar Cross Section*, 2nd ed. Scitech, 2006.
- [2] B. J. Ahn, "A study on the recent analysis method for the RCS reduction for naval ships," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*,

- vol. 25, no. 3, pp. 333-338, Mar. 2014.
- [3] H. Lee, I. Jung, J. Ha, W. Shin, J. M. Yang, and Y. Lee, et al., "Monostatic RCS measurement for dielectric barrier discharge plasma," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 28, no. 4, pp. 246-252, Mar. 2016.
- [4] Z. Peng, K. H. Lim, and J. F. Lee, "Computations of electromagnetic wave scattering from penetrable composite targets using a surface integral equation method with multiple traces," *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, vol. 61, no. 1, pp. 256-270, Jan. 2013.
- [5] C. S. Park, I. P. Hong, O. Kwon, Y. J. Kim, and J. G. Yook, "A fast computation method of far field interactions in CBFM for electromagnetic analysis of large astructures," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 29, no. 9, pp. 701-706, Sep. 2018.

- [6] D. S. Ginley, C. Bright, "Transparent conducting oxides," *MRS Bulletin*, vol. 25, no. 8, pp. 15-18, Aug. 2000.
- [7] C. G. Granqvist, A. Hultaker, "Transparent and conducting ITO films: New development and applications," *Thin Solid Films*, vol. 411, no. 1, pp. 1-5, May 2002.
- [8] Y. B. Xiao, S. M. Kong, E. H. Kim, and C. W. Chung, "Characteristics of indium zinc oxide thin films prepared by direct current magnetron sputtering for flexible solar cells," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 95, no. 1, pp. 264-269, Jan. 2011.
- [9] U. S. Jo, "Material technology trend of transparent conductive oxide semiconductor," *Ceramist*, vol. 20, no. 4, pp. 23-29, Dec. 2017.
- [10] G. T. Ruck, D. E. Barrick, W. D. Stuart, and C. K. Krichbaum, *Radar Cross Section Handbook*, 2nd ed. Peninsula, 2002.

임 형 래 [연세대학교/석·박사 통합과정]

<https://orcid.org/0000-0003-4558-2780>



2017년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
2017년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 석·박사 통합과정
[주 관심분야] 전자기 수치해석, EMP

홍 익 표 [공주대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0003-1875-5420>



2000년 2월: 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)
2000년 3월~2003년 2월: 삼성전자 무선사업부 책임연구원
2006년 2월~2007년 2월: Texas A&M 대학교 방문연구원
2012년 2월~2013년 2월: Syracuse 대학교 방문연구원

2012년 3월~현재: 국립 공주대학교 정보통신공학부 교수
[주 관심분야] 전자기 수치해석, 주파수 선택구조, EMI/EMC

노 영 훈 [연세대학교/석·박사 통합과정]

<https://orcid.org/0000-0003-3479-2838>



2017년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
2017년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 석·박사 통합과정
[주 관심분야] 전자기 수치해석, 마이크로파 구조 해석 및 설계

권 순 형 [한국세라믹기술원/위축연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-0264-2758>



2017년 2월: 중앙대학교 나노소재공학과 (공학석사)
2017년 10월~현재: 한국세라믹기술원 위축연구원
[주 관심분야] TCO, Sputter, Thin Film, Optical Sensor 등

윤 영 준 [한국세라믹기술원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-8161-7755>



2003년 2월: 연세대학교 금속공학과 (공학 박사)
2003년 5월~2007년 7월: 삼성전자 중앙 연구소 책임연구원
2007년 7월~현재: 한국세라믹기술원 나노소재공정센터 책임연구원
[주 관심분야] 투명전도막, 나노구조체,

전파흡수체

최 광 식 [한국항공우주산업/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-9066-5134>

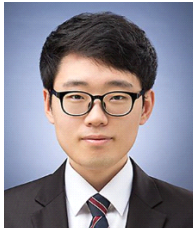


2011년 2월: 세종대학교 항공우주공학과 (공학석사)
2011년 7월~2016년 5월: 대한항공 항공 기술연구원
2016년 5월~현재: 한국항공우주산업 선임연구원
[주 관심분야] 전파흡수구조, RCS 감소

기체기술, 복합소재, 전자기해석

황 민 제 [한국항공우주산업/연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-5951-9913>



2016년 8월: 고려대학교 신소재공학과 (공학석사)
2016년 9월~현재: 한국항공우주산업 연구원
[주 관심분야] 미세조직분석, 이중접합 계면분석, 전파흡수체

육 중 관 [연세대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0001-6711-289X>



1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수 (공학박사)
2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자 공학과 교수
2012년~2013년: IEEE Distinguished Lecturer (EMC Society)
[주 관심분야] 수치해석, 마이크로파 구조 해석 및 설계, EMI/EMC, HEMP, RF 바이오/가스센서 등