

복합재를 적용한 반사판 안테나 곡면 패널의 반사 특성 측정을 위한 새로운 방법

Measurement of Reflection Coefficient for Curved Panel of Reflector Antenna Using Composite Material

임정환¹ · 이재욱² · 이택경³ · 정화영^{*4} · 유제우^{*5} · 이재민^{*6}

Jung-Hwan Lim¹ · Jae Wook Lee² · Taek-Kyung Lee³ · HwaYoung Jung^{*4} · Je-Woo Yu^{*5} · JaeMin Lee^{*6}

요 약

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer)와 같은 복합재는 제조 방식에 따라 전기적 성질이 변하므로 이를 분석할 필요가 있다. 그러나 기존의 측정 방식은 포물면 형상으로 제작된 전개형 반사판 안테나 패널의 성능을 분석하기 위한 방식으로 곧바로 적용하는 것에 한계가 있다. 본 논문에서는 곡면 형상인 시편의 반사 특성 측정 시 waveguide to coaxial adapter를 사용할 때 발생하는 오차 요인들의 영향을 확인하였으며, 주요 오차 영향을 보상하는 측정용 어댑터를 제작하고, 측정에 활용함으로써 곡면 시편을 이루는 매질의 반사 특성을 측정할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

It is essential to analyze the electrical characteristics of composite materials, such as Carbon Fiber Reinforced Polymer(CFRP), as their electromagnetic properties change according to the method of fabrication. However, the conventional method cannot be applied to paraboloid-shaped deployable reflector antenna panel. In this paper, we analyze the effect of errors generated by waveguide to coaxial adapter while measuring the reflection characteristics of a curved specimen. Using the proposed structure of the adapter, it is confirmed that the reflection characteristics of a curved specimen can be measured by compensating the effect of error that occurs at the interface between the curved surface and the vertical flange waveguide.

Key words: CFRP, Composite Material, Conductivity, Curved Surface, Reflector Antenna, S-Parameters Measurement

I. 서 론

반사판 안테나는 고이득을 얻을 수 있지만 안테나가

크고 무겁기 때문에 위성 발사 시 위성 탑재체의 수납 효율을 높이고, 무게를 줄이기 위한 방안으로써 복합재를

「본 연구는 ‘위성용 경량화 SAR 안테나 기술 개발’ 사업의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.」

한국항공대학교 항공전자정보공학과(Department of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University)

*LIG 넥스원(주)(LIG Nex1 Co. Ltd.)

1: 석사과정(<https://orcid.org/0000-0003-0325-2775>), 2: 교수(<https://orcid.org/0000-0003-2903-5904>), 3: 교수(<https://orcid.org/0000-0002-2577-2037>),

4: 수석연구원(<https://orcid.org/0000-0002-5366-4527>), 5: 선임연구원(<https://orcid.org/0000-0003-1204-074X>), 6: 선임연구원(<https://orcid.org/0000-0002-2293-0976>)

· Manuscript received September 16, 2019 ; Revised October 23, 2019 ; Accepted November 9, 2019. (ID No. 20190916-084)

· Corresponding Author: Jae Wook Lee (e-mail: jwlee1@kau.ac.kr)

사용하여 제작되는 전개형 반사판 안테나에 대한 연구가 진행되고 있다^[1]. CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer)는 도체를 대신하여 안테나 제작에 사용될 수 있는 복합재 중 하나로, 높은 전기전도도를 가지는 매질이지만 탄소 섬유 방향과 전파의 편파 방향이 이루는 각도에 따라 매질의 물리적 특성이 변하기 때문에 CFRP로 제작되는 안테나는 직조 방식에 따라 달라지는 안테나의 성능에 대한 분석이 이루어져야 한다^{[1]~[3]}. 그러나 기존의 분석 방식은 측정을 위한 평면형 시편을 별도로 제작하거나^[1], 제작된 반사판 패널의 일부를 절취하여 분석을 수행해야 한다. 따라서 이러한 방식으로는 실제로 사용하기 위한 반사판 안테나의 성능을 직접적으로 검증하는 것에 한계가 있다. 본 논문에서는 곡면 형상인 시편의 반사 특성 측정 시 존재하는 오차 요인들의 영향을 확인하였으며, 전개형 반사판 안테나 패널과 같이 곡률을 가지는 시편을 이루는 매질의 반사 특성을 측정하기 위한 방법을 제시하였다. 또한 주요 오차 요인을 보상할 수 있는 측정용 어댑터를 제작하여 평면 및 곡면 시편을 측정하고, 결과를 비교하였다.

II. 곡면 시편 측정 시 오차 요인 분석

도체를 대신하여 사용되는 복합재는 높은 전기전도도를 띄기 때문에 식 (1)과 같은 표면 임피던스 방법을 사용하여 유효 전기전도도, σ 를 구할 수 있다^{[2]~[4]}.

$$\sigma = 4\pi\mu_0 f \frac{(1 - |S_{11}|)^2}{Z_0^2((1 + |S_{11}|)^2 - \sqrt{-|S_{11}|^4 + 6|S_{11}| - 1})^2} \quad (1)$$

이때 μ_0 는 자유공간의 투자율, f 는 측정에 사용된 주파수, S_{11} 은 측정된 S -parameter, Z_0 는 측정에 사용된 전송선로의 특성 임피던스이다. 식 (1)에 따르면 계산되는 전기전도도는 S -parameter 중 반사 특성을 나타내는 S_{11} 의 크기에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 따라서 S_{11} 을 정확하게 측정하는 것이 중요하지만, 곡면 시편을 측정하는 상황에서 발생하는 다양한 오차 요인들이 S -parameter 측정값에 오차를 발생시킨다.

본 논문에서는 X 대역에서 매질을 분석하기 위하여

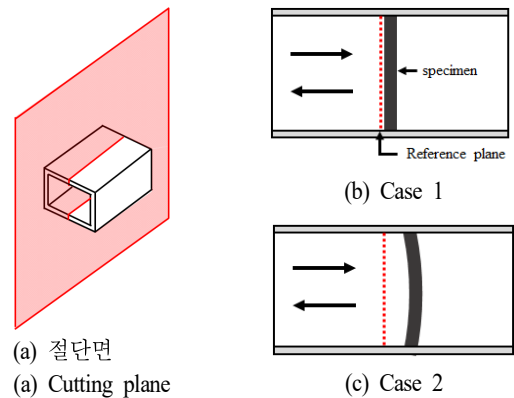


그림 1. 닫힌 도파관인 경우의 case 별 단면도

Fig. 1. Sectional views of each case in the case of using the closed waveguide.

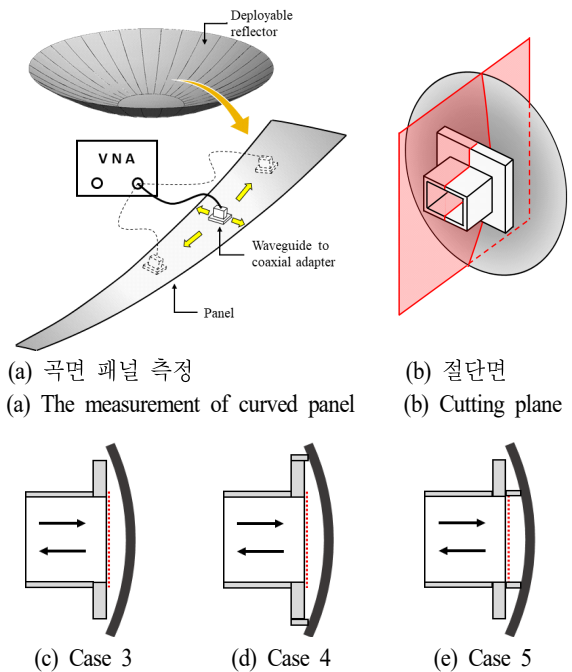


그림 2. 도파관 어댑터인 경우의 case 별 단면도

Fig. 2. Sectional views of each case in the case of using the waveguide to coaxial adapter.

WR90 waveguide to coaxial adapter를 사용하여 곡면 시편의 반사 특성을 측정하는 상황을 가정하였으며, 이러한 상황에서는 기울기 및 곡률과 같은 시편의 형상, 도파관 어댑터와 시편 사이의 공간, 도파관 어댑터와 시편 사이

의 틈 등이 S -parameter 측정값에 영향을 미친다. 오차 요인들의 영향을 확인하기 위하여 CST 시뮬레이션 툴을 사용하여 S -parameter를 측정하였다. 시편의 매질의 전기전도도는 $\sigma = 10,000 \text{ S/m}$ 로 설정하였으며, 두께는 표피 두께(skin depth) 이상으로 설정하였다. 시뮬레이션 상황은 그림 1~그림 2와 같이 5가지 경우로 나누었다. 그림 1은 WR90 규격의 닫힌 도파관 내에 시편이 도파관 크기에 맞춰서 존재하는 경우이며, 특히 그림 1(b) 및 1(c)는 시편의 표면이 휘어진 정도에 따른 단면도의 차이를 나타내고 있다. 그림 2는 도파관 어댑터의 플랜지의 네 모서리를 모두 포물면에 접하는 경우이다. Case 2~5에서 시뮬레이션에 사용된 시편은 직경 1 m, 초점거리 대 직경 비(F/D) 0.37인 반사판의 일부이다.

도파관 내에 평면 시편이 있는 case 1은 가장 이상적인 측정 환경이 되며, case 2에서 시편의 위치는 그림 2의 상황에서 발생하는 도파관 어댑터와 시편 사이의 공간을 고려하여 설정하였다. Case 3은 별도의 장치 없이 도파관 어댑터만을 사용하는 가장 기본적인 측정 환경이며, case 4는 case 3에서 플랜지 바깥쪽에 있는 틈을 도체로 막은 경우이며 case 5는 도파관 부분의 테두리를 따라 틈을 막은 경우이다.

그림 3의 시뮬레이션 결과에 따르면 case 2는 case 1과 시뮬레이션 결과가 비슷하기 때문에 시편의 형상이 $|S_{11}|$ 의 측정 결과에 미치는 영향은 충분히 작다는 것을 알 수 있다. 하지만 도파관 어댑터를 사용하는 측정 상황에서 발생하는 틈 또는 내부 공간으로 인해 case 3의 결과에 큰 오차가 발생한다. 도파관 어댑터와 곡면 시편 사이

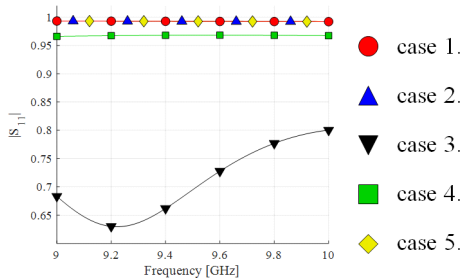


그림 3. 각 경우에 대한 $|S_{11}|$ 시뮬레이션 결과
Fig. 3. The simulation results of $|S_{11}|$ depending on the different cases.

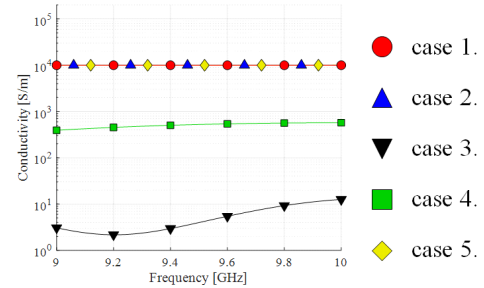


그림 4. 시뮬레이션 결과로부터 계산된 전기전도도
Fig. 4. Calculated conductivity from the simulation.

의 바깥쪽 틈을 막더라도 내부에 공간이 존재할 때 측정값에 영향을 미친다는 것은 case 4의 결과로부터 알 수 있다. 따라서 도파관 어댑터를 사용하여 case 1과 같은 결과를 얻기 위해서는 도파관 테두리 경계 부분에서 발생할 수 있는 틈을 막은 case 5와 같은 형태의 장치가 필요하다는 것을 알 수 있다. 그림 4는 case 2 및 case 5와 같이 case 1과 유사한 $|S_{11}|$ 이 측정되었을 때 최종적으로 유사한 유효 전기전도도를 계산해낼 수 있음을 보이고 있다.

III. 측정 결과

앞서 분석한 결과를 바탕으로 곡면 형상인 시편의 매질의 반사 특성을 측정하기 위한 측정용 어댑터를 그림 5와 같이 제작하였다. 임의의 곡면에서 발생하는 틈을 메우기 위하여 전도성 물질로 EMI 쉴딩폼을 사용하였다. 측정 시험을 위한 시편은 그림 6과 같이 3D 프린터로 평면과 곡면 형상을 제작하고, 충분한 전도성을 띄게 하기 위하여



그림 5. 제작된 측정용 어댑터
Fig. 5. The fabricated adapter for the measurement.

표면에는 니켈 전도성 코팅제를 칠하였다. S -parameter의 측정은 Agilent N5230A PNA를 사용하였다.

그림 7의 측정 결과에 따라, 측정용 어댑터를 사용하여 곡면에 대한 결과가 평면에 대한 결과와 같다는 것을 확인하였다. 따라서 도파관 어댑터를 사용하는 측정 시 전도성 물질로 틈을 막을 수 있다면 시편의 형상이 곡면일 때도 평면일 때와 일치하는 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 또한 본 논문에서 제안된 측정용 어댑터는 거친 표면으로 인한 불완전 밀착으로 발생하는 틈도

매울 수 있음을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 곡면 형상의 시편을 이루는 매질의 반사 특성에 대한 waveguide to coaxial adapter를 사용함으로써 발생하는 오차 요인들의 영향을 시뮬레이션 툴을 통해 확인하였다. 또한 주요 오차 요인을 적절히 보상함으로써 곡면 시편을 이루는 매질의 반사 특성 측정값의 정확도를 높일 수 있음을 시뮬레이션 및 측정을 통해 확인하였다. 이로부터 곡면 시편의 전기적 특성을 분석하기 위한 측정기의 요구 조건을 확인할 수 있으며, 복합재를 사용하여 제작된 반사판 안테나의 성능 검증에 활용할 수 있을 것이다. 또한 시편의 곡률 또는 기울기가 크지 않아서 형상이 측정값에 영향을 미치지 않는 상황이라면 임의의 곡면에 대한 적용이 가능할 것이다.

References

- [1] S. S. Yoon, J. W. Lee, T. K. Lee, and J. H. Roh, "Insensitivity characteristics in the dual polarization of deployable CFRP reflector antennas for SAR," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 1, pp. 88-95, Jan. 2018.
- [2] A. Galehdar, W. S. T. Rowe, K. Ghorbani, P. J. Callus, S. John, and C. H. Wang, "The effect of ply orientation on the performance of antennas in or on carbon fiber composites," *Progress in Electromagnetics Research*, vol. 116, pp. 123-136, Apr. 2011.
- [3] S. S. Yoon, J. W. Lee, T. K. Lee, J. H. Roh, H. I. Kim, and D. W. Yi, "Conductivity evaluation of a newly proposed material for a SAR reflector antenna," *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 14, no. 3, pp. 293-298, Sep. 2014.
- [4] H. Rmili, J. L. Miane, H. Zangar, and T. E. Olinga, "Microwave conductivity measurements of high conductive polyaniline films," *The European Physical Journal Applied Physics*, vol. 29, no. 1, pp. 65-72, Jan. 2005.

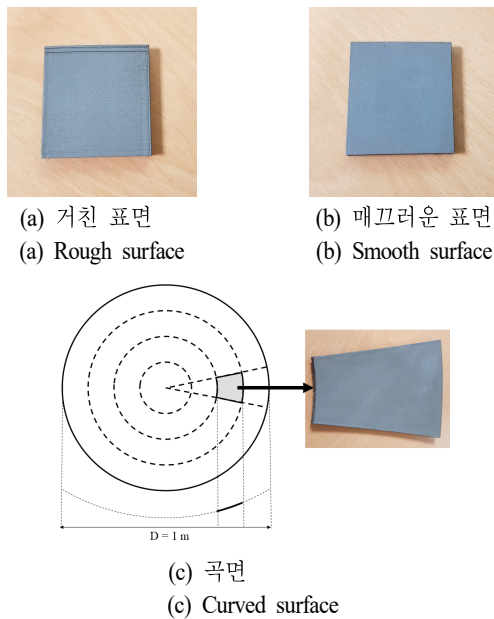


그림 6. 측정용 시편
Fig. 6. Specimens for the measurement.

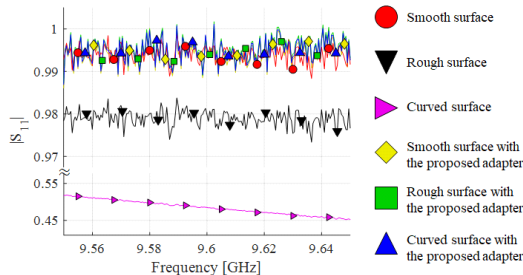


그림 7. 표면 조건에 따른 $|S_{11}|$ 측정 결과
Fig. 7. The results of the $|S_{11}|$ measurement depending on the surface condition.