

복합 소재 곡면 반사판 안테나 패널의 반사 특성 분석을 위한 측정법 정확도 개선

Accuracy Improvement in Measuring the Reflection Coefficient of Curved Composite Reflector Panels

김 소 연¹ · 임 정 환² · 이 재 욱³

So-Yeon Kim¹ · Jung-Hwan Lim² · Jae Wook Lee³

요 약

기존에는 복합재료로 만들어진 반사판 안테나 패널의 전기적 특성을 측정하기 위해 패널과 동일한 매질로 평면 시편을 별도로 제작하거나 안테나 패널의 일부를 절단하여 평탄하게 만들었다. 본 논문에서는 EMI 쉴딩폼 어댑터와 수직 이동형의 측정 장치를 결합하여 측정을 진행함으로써 곡면 시편의 전기적 특성을 형상의 변형 없이 정확히 분석할 수 있음을 확인하였다. 또한 수직이동형의 측정 장치의 측정용 시편 크기 한계를 개선하고, 임의의 위치 및 각도별 측정을 위한 패널 측정용 장치를 제작하여 복합재 반사판 패널의 전기적 특성을 효율적으로 분석할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

Conventionally, to measure the electrical characteristics of a reflector antenna panel made of a composite material, a flat sample was separately manufactured with the same material as the panel or a part of the antenna panel was cut to make it flat. In this study, it was confirmed that the electrical characteristics of the curved sample can be accurately analyzed without deformation by performing measurements using an electromagnetic interference shielding foam adapter and a vertical-type measurement device. It is possible to efficiently analyze the electrical characteristics of the composite reflector panel by manufacturing a measurement device for curved panels to overcome the size limit of the vertical-type measurement device and enable measurement by angle at an arbitrary position.

Key words: CFRP, Conductivity, Curved Surface, Reflector Antenna, S-Parameter Measurement

I. 서 론

반사판 안테나는 고이득의 특성을 가지는 대표적인 안테나지만 설계되는 안테나의 크기가 크고 무거워질 수 있다. 최근 위성 응용 분야에서는 이를 해결하기 위하여

복합 재료를 사용한 경량화 반사판 안테나가 많이 연구되고 있는 추세다^{[1][2]}. CFRP(carbon fiber reinforced polymer)는 높은 전기전도도를 가지는 경량복합재이지만 가공 방식, 탄소 섬유 함유의 방향, 전자기파의 편파 방향 등에 따라 그 특성이 변화하므로 이에 따른 정확한 전기적 특

「본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었습니다(No.2019R1F1A1060241).」

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

1: 학사과정(<https://orcid.org/0000-0002-1924-8087>), 2: 박사과정(<https://orcid.org/0000-0003-0325-2775>), 3: 교수(<https://orcid.org/0000-0003-2903-5904>),

· Manuscript received December 1, 2020 ; Revised December 11, 2020 ; Accepted January 15, 2021. (ID No. 20201201-105)

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

성 분석이 이루어져야 한다^{[3]~[5]}. 기존의 매질 분석 방식은 동일한 방식으로 제작된 반사판 안테나의 일부를 건본으로 취하거나 평면 시편을 별도로 제작하여 분석한다. 따라서 엄밀한 의미에서는 실제로 사용될 안테나에 대한 정확한 성능 분석이라고 보기는 어렵다. 본 논문에서는 복합재로 제작된 반사판 안테나 패널의 성능을 측정을 통해 평가하기 위하여 이와 관련된 선행 연구^[6]를 효율성 면에서 개선하고, 이를 위한 패널 측정용 장치를 제작하였다. 이후 복합재를 사용하여 제작된 곡면 패널의 X 대역에서의 위치 및 각도별 반사 특성 측정을 통해 본 논문에서 제안된 장치를 사용하여 복합재 곡면 안테나 패널의 성능 분석에 활용할 수 있음을 보이고 있다.

II. 곡면 시편 측정법 분석

반사판 안테나 패널 제작에 사용되는 복합 재료는 높은 반사 특성을 가지기 때문에 식 (1)과 같은 표면 임피던스 방법을 통해 시편의 전기전도도, σ 를 구할 수 있다^{[3]~[5]}.

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

여기서 μ_0 는 자유공간에서의 투자율, f 는 측정 주파수, Z_0 는 측정에 사용된 전송선로의 특성 임피던스, S_{11} 은 측정된 S-parameter값이다. 따라서 측정하고자 하는 시편이 균일한 전기전도도를 가지고 있다면 측정되는 S_{11} 의 크기는 균일하게 나올 것이다.

2.1 곡면 시편의 전기전도도를 위한 측정법 소개

측정용 장치의 형상으로는 먼저 별도의 장치 없이 프로브만을 사용하는 경우^[4], 수평으로 움직이는 장치^[1], 그리고 수직으로 움직이는 장치^[2]를 고려할 수 있다. 또한 기존의 연구 중 X 대역에서 매질의 전기적 특성을 측정하기 위하여 WR90 도파관 어댑터에 EMI 쉴딩폼 어댑터를 장착하여 곡면 시편의 전기전도도를 시뮬레이션 및 측정된 결과를 보인 경우가 있다^[6]. 각 경우에 대한 형상은 그림 1과 같다. 수평이동형 측정 장치(이후 Case 1)는 도파관을 양 옆에서 밀착시키는 장치이며, 수직이동형 측정 장치(이후 Case 2)는 위쪽에 장착된 도파관을 움직여

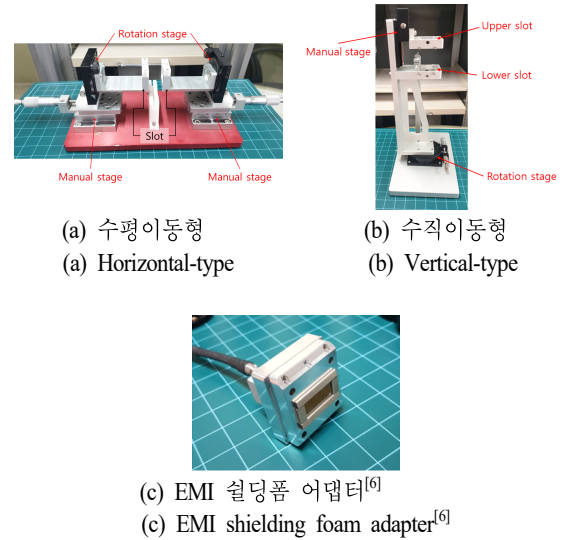


그림 1. 다양한 측정 방식

Fig. 1. Various measurement methods.

양쪽의 도파관을 밀착시키는 기구이다. EMI 쉴딩폼 어댑터(이후 Case 3)는 도파관에 EMI 쉴딩폼 어댑터를 장착하여 직접 힘을 가해 밀착시키는 방식이다.

각 측정 장치는 각각의 목적에 적합한 기능을 가지고 있으므로 이를 곡면 패널 측정에 적용하는 것에는 장단점이 존재한다. Case 1은 Case 2에 비해 많은 위치를 측정할 수 있지만, 수동 스테이지가 아래에 위치하므로 일정 수준 이상 밀착 시 오히려 도파관과 시편 사이에 틈이 발생하는 단점이 존재한다. Case 2는 Case 1보다 밀착이 잘 되지만 기구의 사이즈로 인하여 측정할 수 있는 시편 크기의 범위가 한정적이다. Case 3의 경우는 곡면 시편인 경우에도 활용이 가능하며, 시편의 모든 위치를 각도별로 측정할 수 있지만 뒤편에서 받쳐주는 별도의 장치 없이 직접 힘을 가하는 방식이므로 효율성이 떨어진다. 이에 따라 본 2장에서는 Case 1 및 Case 2 측정 장치와 더불어 Case 2와 Case 3을 결합하는 방식으로 추가 실험을 진행하였다.

2.2 CFRP 반사판 안테나 시편의 전기적 성능 분석

2.1절에서 소개된 측정 방식으로 CFRP 반사판 안테나 시편의 측정을 진행하였다. 시편은 직경은 1.5 m, F/D가 0.3인 반사판의 일부이다. 측정 주파수는 X 대역인 9.6

GHz이다. 측정에 사용된 CFRP 시편의 종류는 그림 2와 같은 CF3327로, 탄소 섬유와 위사가 매번 교차하는 평직 방식으로 제작된 시편이다. 이와 같이 평직 방식으로 한 층을 이루는 CFRP 시편은 각도에 따른 영향이 뚜렷하게 나타나지 않으므로^[2] 본 절에서는 한 각도에 대한 측정을 수행하였다.

먼저 평면 시편에 대한 측정을 Case 1과 Case 2를 사용하여 측정하였으며, 측정 결과는 표 1과 같다. 측정에 사용된 평면 시편은 CF3327 제작 시 1겹을 사용한 경우와 2겹으로 적층된 경우의 두 가지를 사용하였다. 측정 결과, Case 1과 Case 2가 미세한 차이가 있지만 서로 비슷한 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있다.

평면 시편과 곡면 시편의 측정 비교는 Case 2를 기반으로 하여 Case 3을 도파관 어댑터에 적용한 장치를 사용하였다. 앞서 사용한 1겹 및 2겹의 평면 시편과 2겹 및 4겹으로 적층된 안테나 곡면 패널의 $|S_{11}|$ 측정 결과는 표 2

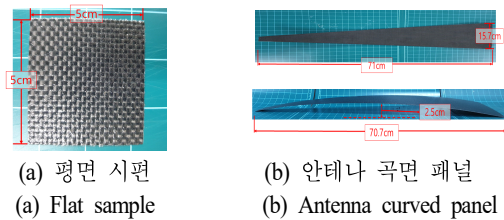


그림 2. 측정을 위한 CF3327 시편

Fig. 2. CF3327 sample used for measurement.

표 1. CF3327 시편의 $|S_{11}|$ 측정 결과

Table 1. Results of $|S_{11}|$ measurement of CF3327.

Measurement	Samples	
	Flat sample, 1ply	Flat sample, 2ply
Hor. type (Case 1)	0.983	0.979
Vert. type (Case 2)	0.986	0.982

표 2. Case2 + Case 3방식을 통한 CF3327 시편 측정 결과

Table 2. Results of $|S_{11}|$ measurement of CF3327 with Case 2+Case 3 method.

Measurement	Samples			
	Flat sample, 1ply	Flat sample, 2ply	Curved panel, 2ply	Curved panel, 4ply
Case 2 + Case 3	0.987	0.985	0.985	0.984

와 같다. 표 1과 표 2에서 모두 $|S_{11}|$ 이 유사하게 측정된 것을 알 수 있다.

표 2의 수직이동형 장치에 쉘딩폼 어댑터를 장착한 측정 장치를 사용하였을 때 쉘딩폼과 시편이 접하는 경우와 쉘딩폼이 압축되었을 때의 위치 차이를 비교해 보면 약 1 mm의 차이가 발생했을 때부터 수렴하는 경향을 확인할 수 있으며 이는 쉘딩폼 두께의 절반 정도에 해당하는 수치이기도 하다. 따라서 이러한 기준을 활용하면 Case 3만 사용하는 경우에 비해 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대되지만, 도파관 어댑터 사이의 공간이 충분히 확보되지 않기 때문에 크기가 큰 안테나 패널의 모든 위치에서의 각도별 측정은 한계가 있다.

III. 복합재 반사판 패널의 반사특성 측정 결과

수직이동형 측정 장치의 크기 한계를 극복하여 위치에 상관없이 각도별로 S -parameter를 측정하기 위하여 그림 3의 패널 측정용 장치를 새로 제작하였다. 측정기의 동작 방식은 그림 3(a)의 휠(wheel)을 돌려 위쪽의 슬롯(upper slot)을 상하로 움직여 양쪽 도파관 어댑터를 밀착시키는 방식이다. 그림 3(b)와 같이 아래 슬롯에 회전 장치(rota-

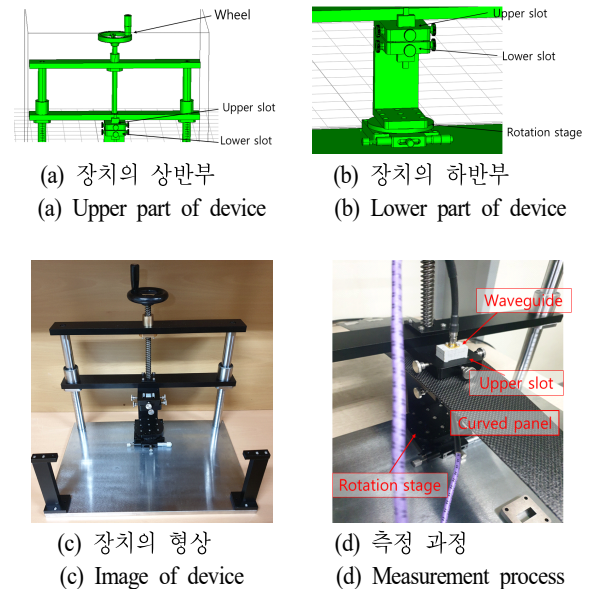


그림 3. 패널 측정용 장치의 형상

Fig. 3. The device for measurement of curved panel.

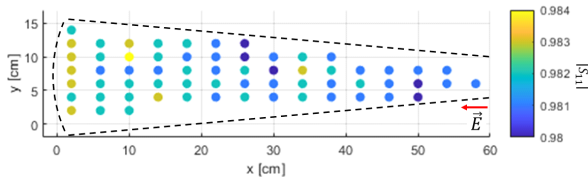


그림 4. 곡면 패널의 위치별 $|S_{11}|$ 측정 결과
Fig. 4. $|S_{11}|$ measurement by position of curved panel.

표 3. 곡면 패널의 각도별 $|S_{11}|$ 측정 결과
Table 3. $|S_{11}|$ measurement by angle of curved panel.

Angle Position (x, y)	0°	45°	90°
(6 cm, 4 cm)	0.982	0.981	0.980
(6 cm, 8 cm)	0.981	0.981	0.982
(6 cm, 12 cm)	0.982	0.98	0.981
(36 cm, 6 cm)	0.981	0.981	0.981
(60 cm, 6 cm)	0.981	0.98	0.981

tion stage)가 있어 위치 제한 없이 각도에 따른 측정이 가능하다.

측정 결과는 그림 4 및 표 3과 같다. 그림 4는 2장에서 사용한 2겹 적층 안테나 패널의 0°에서의 $|S_{11}|$ 측정 결과이며, 이때 식 (1)에 따라 안테나 패널의 전기전도도는 1,394~2,187 S/m임을 알 수 있다. 전반적으로 소수점 셋째 자리 수준의 미세한 차이를 보이고 있기 때문에 위치에 따른 차이가 거의 발생하지 않은 것으로 볼 수 있다. 또한 패널의 끝단과 중심부에서의 각도별 측정을 수행하였으며, 각도에 따른 차이가 거의 없는 특성을 표 3의 측정 결과에서 확인이 가능하다. 따라서 패널 전체가 균일하게 제작이 잘 이루어진 경우가 아니라, 일부 위치에서 균열, 왜곡 등 전기적 특성이 다른 부분이 발생한다면 반사 특성의 차이가 측정을 통해 확인될 것이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 복합 재료를 사용하여 제작한 반사판 안테나 곡면 패널의 전기전도도 측정 방법에 관한 개선을 수행하였다. 기존의 연구에 사용된 측정법을 소개하였으며, 수직이동형 측정 장치의 한 쪽의 도파관에 EMI 쉴딩폼 어댑터를 장착한 측정 방식을 제안하였다. 하지만

수직이동형 장치는 크기의 한계로 안테나 패널 크기의 모든 범위 내 임의의 위치에서의 S -parameter 값을 측정할 수 없다. 이에 따라 그림 3과 같은 패널 측정용 장치를 제작하였으며, 이를 통해 복합재 반사판 패널의 전기적 특성을 효율적으로 분석할 수 있음을 확인하였다.

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] S. Lee, S. J. Jo, J. H. Lim, S. S. Yoon, J. Y. Kim, and T. K. Lee, et al., "Design and implementation of light-weight antenna for small satellite SAR with feeder strut," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 31, no. 9, pp. 758-769, Sep. 2020.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] H. Rmili, J. L. Miane, H. Zangar, and T. E. Olinga, "Microwave conductivity measurements of high conductive polyaniline films," *European Physical Journal Applied Physics*, vol. 29, no. 1, pp. 65-72, Jan. 2005.
- [6] J. H. Lim, J. W. Lee, T. K. Lee, H. Y. Jung, J. W. Yu, and J. M. Lee, "Measurement of reflection coefficient for curved panel of reflector antenna using composite material," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 11, pp. 922-925, Nov. 2019.