

복합재료 평면 안테나 구조의 제작 및 기계적 특성 평가

전지훈* · 유치상* · 김차겸* · 황운봉** · 박현철** · 박위상***

Design of Microstrip Antenna with Composite Laminates and its structural rigidity

J. H. Jeon*, C. S. You*, C. K. Kim*, W. Hwang**, H. C. Park**, W. S. Park***

Key Words : Microstrip Antenna, Composite Laminate and Nomex Honeycomb

ABSTRACT

Two types of conformal load-bearing antenna structure (CLAS) were designed with microwave composite laminates and Nomex honeycomb cores, to give both structural rigidity and good electrical performance. One is 4 x 8 array for Synthetic Aperture Radar(SAR) system and the other is 5 x 2 array for wireless LAN system. Design was based on wide bandwidth, high polarization purity, low loss and good structural rigidity. We studied the design, fabrication and structural/electrical performances of the antenna structures. The flexural behavior was observed under a 3-point bending test, an impact test, and a buckling test. Electrical measurements were in good agreement with simulation results and these complex antenna structures have good flexural characteristics. The design of this antenna structure is extended to give a useful guide for sandwich panel manufacturers as well as antenna designers.

1. 서론

최근 무선 통신 기술이 급속하게 발달함에 따라 다양한 통신 서비스에 대한 요구가 날로 증대되고 있는 추세이다. 이에 각 통신 시스템에 적합한 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 안테나는 다이폴이나 반사판 안테나형으로써 돌출부가 존재하여 외관상으로도 좋지 않으며 구조적으로 매우 불안정하다. 이러한 단점을 극복하기 위해 안테나와 구조물의 역할을 동시에 수행하는 CLAS(Conformal Load-bearing Antenna Structure)에 대한 연구가 진행되어오고 있으며 이러한 구조

물을 스마트 스킨이라고도 한다. Lockyer 등은 이러한 스마트 스킨 구조물이 다양한 장점을 갖고 있음을 보였다^[1]. 이 구조물을 운송체에 탑재하여, 크기의 감소, 중량의 감소, 신뢰성의 증가를 이룰 수 있다. Lockyer 등은 36 x 36의 배열 패치를 이용한 다기능의 안테나를 제작하여 0.15~2.2 GHz에서 공진주파수가 존재함을 확인하였고, 구조적인 특징과 전기적인 성능을 측정하였다.^[2]

이러한 안테나의 기본적인 구조는 샌드위치 구조물을 응용한 형태이다. 샌드위치 구조물은 높은 비강도, 높은 굴곡탄성률의 장점을 가지고 있기 때문에, 많은 구조물에 적용되며, 샌드위치 구조물의 심재는 안테나를 작동시키는데 필요한 공간을 확보하는 중요한 역할을 하게 된다. 본 논문에서는 샌드위치 구조물 형태를 응용한 이중 편파형 안테나를 SAR (Synthetic Aperture Radar)용, 무선랜 용의 2 종류로 제작하여 안테나의 성능을 알아보

* 포항공과대학교 기계공학과 대학원

** 포항공과대학교 기계공학과

*** 포항공과대학교 전자전기공학과

았으며, 3 점 굽힘실험, 좌굴실험, 충격실험 등을 통하여 기계적 거동을 관측하여, 안테나 기능뿐만 아니라 기계적 구조물로서의 우수성을 밝혔다.

2. 안테나 설계

2.1 구조

안테나의 기존구조는 Figure 1과 같다. 가장 위 부분의 얇은 유전체 층은 레이돔 역할을 하며, 그 아래 부분에 방사소자인 패치가 위치하게 된다. 슬롯을 포함한 접지면과 패치 사이에는 폼이 위치하는데 이는 두껍고 낮은 유전율 특성을 지니는 것을 선택하여 안테나의 대역폭을 증가시키는 역할을 하도록 한다. 방사소자로의 필드 여기는 접지면 밑의 유전체 층 아래에 위치한 급전선로부터 슬롯으로의 커플링으로 이루어지게 된다. 안테나의 가장 아래 부분인 접지면은 shielding plane이라고도 하며, 이는 개구면 결합형 마이크로 스트립 안테나의 경우 슬롯이 양방향으로 필드를 방사하므로, 원치 않는 back radiation의 양을 줄이기 위한 것이다.

2.2 SAR 안테나

SAR란 마이크로웨이브를 이용하여 지형이나 물체를 파악하는 시스템으로 레이더의 움직임에 따라 안테나의 aperture 크기보다 큰 지형을 탐지할 수 있어서 붙여진 이름이다. 본 논문에서 이용된 안테나는 한 주파수 대역에서 이중편파가 구현된 안테나이다. 안테나의 구조는 8 x 1 배열 안테나를 sub-array로 하여, elevation 방향으로 0.8λ의 간격을 두고 배열이 4배 확장된 형태이다. 또한, 각 sub-array의 coupling양을 줄이기 위하여 급전기가 최대한 방사소자에 근접하도록 설계되었다.

패치와 급전기 윗부분의 유전체 층은 유전율이 3.38이고 두께가 0.5 mm인 Rogers사의 RO4003 기판을 이용하였다. 이는 높은 주파수나 높은 온도에서 비교적 일정한 유전율을 유지하며, 삽입손실이 작으므로 SAR 시스템에 적합한 안테나이다. 또한, 안테나 자체의 구조적 안정성을 향상시키기 위하여 코어 층에는 Hexel 사의 HRH-10-1/8-5.0 허니콤을 사용하였다. 패치 아래부분의 허니콤 두께는 2.54 mm이고 접지면 윗부분의 허니콤 두께가

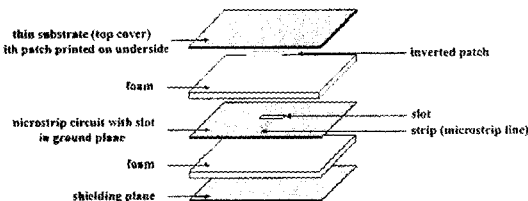


Figure 1. Geometry of a single antenna

13 mm이다.

Figure 2에는 제작된 안테나의 반사계수를 보였으며 5.3 GHz에서 33 dB의 반사계수를 갖는 것을 알 수 있다. Figure 3에는 방사패턴을 보였다.

2.3 무선랜 안테나

무선랜 안테나의 구조는 SAR와 비슷하다. 하지만, 배열의 개수와 급전선이 다르게 설계 되었다. 한국에서 무선랜 사용을 위하여 허가된 주파수 5.725~5.825 GHz 중에서 5.78 GHz의 공진주파수를 갖도록 설계되었으며, 안테나 설계시 2개의 코어 모두 최소 두께인 2.54 mm 로 설정하였다. 안테나가 사용되는 실내는 15 m x 12 m 인 공간에 높이는 3m 라고 가정하였다. 또한, 일반적인 노트북의 지면으로부터의 위치는 0.7 m라 하였고, 노트북화면을 뒤로 15° 기울인다고 하였을 때, 빔의 경사각은 30~35°가 되도록 하였다. 유전체 층은 SAR 안테나와 동일한 RO4003 기판을 사용하였고, 코어 층에는 Hexel 사의 HRH-10-1/8-6.0 허니콤을 사용하였다. 또한 안테나의 각 Array는 5 x 2 배열 형태로 제작되었다. 이 안테나의 반사계수 및 방사패턴은 이후에 안테나의 기계적 거동 실험시 나타내었다.

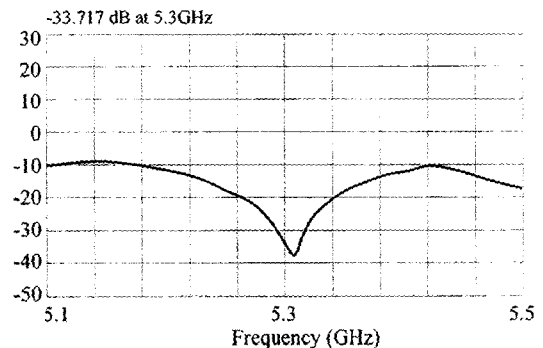


Figure 2. Reflection coefficient of SAR antenna

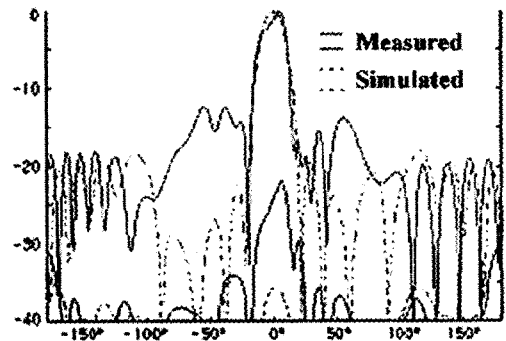


Figure 3. Radiation pattern of SAR antenna

3. 기계적 실험

3.1 굽힘실험

ASTM C393-94에 근거하여 SAR안테나에 대한 3점 굽힘실험을 수행하였다. 면재는 매우 얇고 취성이 강하기 때문에, 면재의 항복이나 wrinkling 현상에 의하여 파괴가 일어난다고 가정을 하였으며, Allen은 맨 위의 면재의 wrinkling에 다음 식을 제시하였다.^[3]

$$\sigma_{fr} = \frac{3}{\{12(3-\nu_{exz})^2(1+\nu_{exz})^2\}^{-1/3}} E_{fr}^{1/3} E_3^{2/3} \quad (1)$$

이때, σ_{fr} 는 면재의 임계 압축하중이며, ν_{exz} 는 평면의 수직인 방향의 포아송비이며, E_3 와 E_{fr} 는 각각 평면에 수직인 방향의 영률, 평면 내 방향의 영률이다.

3.2 좌굴실험

무선랜 안테나는 SAR 안테나에 비해서 비교적 두께가 얇기 때문에 좌굴이 잘 발생할 수 있기 때문에, 무선랜 안테나에 대하여 좌굴실험을 수행하였다. 좌굴하중은 다음과 같은 이론식^[4]과 비교하였다.

$$P = \frac{d_1 L^2 + \frac{1}{4} d_2}{4d_3 L^4 + d_4 L^2} \quad (2)$$

이때, L 은 시편의 길이이며, P 는 좌굴하중이며, d_1, d_2, d_3, d_4 는 무선랜 안테나의 구조를 빔모델로 가정하였을 때, 양 끝 단의 경계조건에 의하여 결정되는 계수이며, 복잡하기 때문에 이 논문에서는 자세한 표기를 생략하였다.

3.3 충격실험

일반적으로 충격실험 시 부분적인 영역에서만 재료가 파괴되기 때문에, 충격실험은 배열안테나가 아닌 단일 요소 무선랜 안테나에 대하여 수행하였다. Dynatup 8250 장치를 이용하여 충격 실험을 수행하였다. 시편의 크기는 가로 세로 각각 100 mm 이다. 안테나 패치는 안테나 중앙에 18 mm x 18 mm 의 크기로 위치하였다.

4. 기계적 실험 결과

4.1 굽힘실험

각 시편들의 사양은 Table 1에 표시하였으며, 3점

굽힘실험 결과를 Figure 4에 나타내었다. No.1 시편의 경우 초기 파괴 이전의 비선형성을 보였으며, 1.93 kN의 하중감소가 발생하였다. 가운데의 굽힘선이 위치한 층에서의 파괴(face yielding)에 의하여 첫번째 하중감소가 발생한다. 그리고, 하중이 계속 증가된 후에는 심재의 크러싱과 함께, 맨 바깥쪽 면재의 중앙부분에서의 wrinkling이 발생하였다. CFRP 면재로 제작한 No.2 시편은 1.68 kN에서 파괴되었으며, GFRP 면재로 제작한 No.3 시편은 1.67 kN에서 파괴되었다. 파괴의 주된 형태는 맨 바깥층의 wrinkling 및 심재의 크러싱이었다.

4.2 좌굴실험

좌굴이 명확하게 발생한 경우에 좌굴 예측식과 실험결과와는 매우 일치하였다. Figure 5에는 실제 안테나 구조물이 좌굴에 의하여 맨 바깥쪽 면재가 파괴될 때, 안테나의 반사계수를 변화를 나타내었으며, Figure 6에는 방사패턴의 변화가 나와 있다. Figure 5을 보면, 반사계수는 다소 변하지만, 설계 공진주파수인 5.78 GHz에서의 반사계수는 14 dB 이상을 유지하며, 이는 안테나의 성능을 유지하는데 문제가 되지 않는다. 또한, Figure 6을 보면, 최대 경사각에서 5 dB 가량의 전력감소가 발생하여, 약간의 안테나 기능의 손상을 확인하였다. 또한 좌굴이 계속 진행되어 가운데의 굽힘선이 파괴되면 더 이상의 안테나 기능을 할 수 없음을 확인하였다.

Table 1. Details of 3-point bending specimens

No.	Construction	Face thickness (mm)	Core depth (mm)	Density (kg/m ³)
1	Complex antenna Construction	0.5	2.54 / 13	3.4×10 ⁵
2	CFRP ([0/90]sym) /Nomex honeycomb	0.5	16	2.0×10 ⁵
3	GFRP(woven cloth) /Nomex honeycomb	0.5	16	1.8×10 ⁵

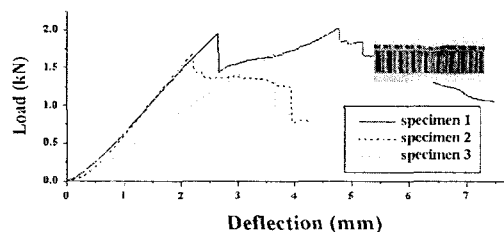


Figure 4. Load versus deflection under three-point bending

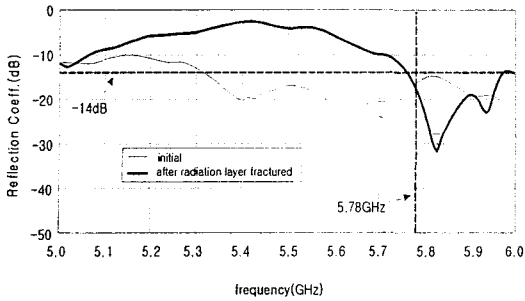


Figure 5. Reflection coefficient of wireless LAN antenna

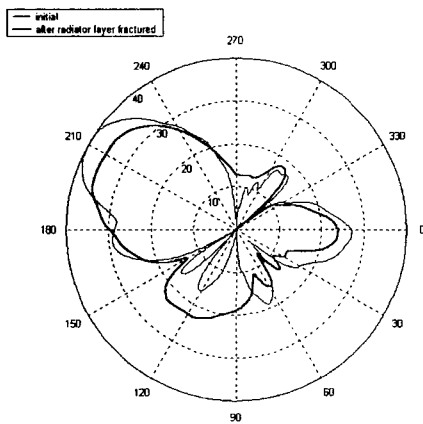


Figure 6. Radiation pattern of wireless LAN antenna

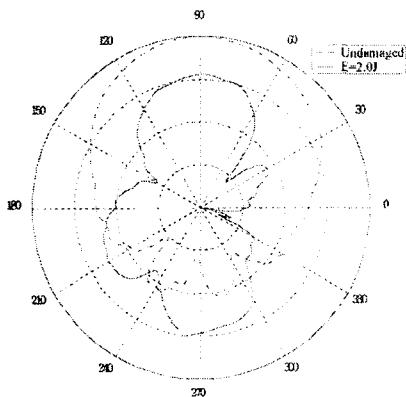


Figure 7. Radiation pattern at 2.0 J of impact energy

4.3 충격실험

단일셀 안테나에 대하여 충격실험을 수행하였다. 1.0 J의 충격하중에서는 안테나의 성능이 크게 감소되지 않았으나 2.0 J의 충격하중에서는 안테나의 성능이 크게 변함을 확인하였다. 또한, Figure 7에는 방사패턴의 변화가 나와있으며, 2.0 J의 충격하중에서 방사패턴은 충격하중을 받기 전과 비교하였을 때 매우 심하게 변화하였다.

5. 결론

SAR 안테나와 무선랜 안테나를 이중편파 하중 지지형 마이크로 스트립형태로 제작하였으며, 안테나 설계시 예측한 모델과 실제 성능은 매우 일치하였다. 제작한 안테나로 3 종류의 기계적 성능 평가를 수행하였다. 3 점 굽힘실험 시에는 맨 부분의 면재가 wrinkling 현상, 심재는 크러싱이 발생하여 파괴 되었으며, 좌굴실험 시에도 예측식과 실험식이 일치함을 확인하였다. 또한, 충격실험을 통하여 안테나가 충격하중에 의하여 성능의 변화과정을 알 수 있었다. 이와 같은 결과를 통하여 안테나의 전기적 특성 변화 및 기계적 성능 변화를 동시에 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구의 연구비 지원(1999-2-304-004-3)에 의하여 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) A. J. Lockyer, et al., "Qualitative assessment of smart skins and avionic/structures integration," *SPIE Smart Structures and Materials*, 172 - 183, Vol. 2189, 1994
- (2) A. J. Lockyer, et al., "Design and development of a conformal load-bearing smart-skin antenna," *Part of the SPIE Conference on Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies*, Vol. 3674, pp. 410-424, 1999
- (3) H. G. Allen, "Analysis and design of structural sandwich panels," *Pergamon Press*, 1969.
- (4) J. H. Jeon, C. S. You, W. Hwang, H. C. Park and W. S. Park, "Buckling characteristics of smart skin structure," *in working*
- (5) J. Tuss, et al., "Conformal load bearing antenna structures (CLAS)," *37th AIAA SDM Conference*, Salt Lake City, UT, Apr. 1996
- (6) J. F. Zucher, "The SSFIP: A global concept for high performance broadband planar antennas," *Electronics Letters*, Vol. 24, No. 23, 1988
- (7) K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip antenna technology," *IEEE Trans. Antennas Propa.*, Vol. AP-29, No. 1, pp. 2-24. 1981