

# 위성통신을 위한 복합재료 표면안테나 구조의 설계 및 해석

유치상\* · 황운봉\* · 박현철\* · 박위상\*\*

## Design and Analysis of Composite Surface-Antenna-Structure for the Satellite Communication

C. S. You, W. Hwang, H. C. Park and W. S. Park

**Key Words :** Composite, Sandwich Structure, Microstrip Antenna, Honeycomb, Satellite Communication

### ABSTRACT

The present study aims to design a multilayer microstrip antenna with composite sandwich construction and to estimate structural behavior of this multilayer structure for the next generation of structural surface technology. This is termed *Surface-Antenna-Structure* indicating that structural surface becomes antenna. Constituent materials were selected considering electrical properties as well as mechanical properties. For the antenna performance, antenna elements inserted into structural layers were designed for satellite communication at a resonant frequency of 12.5 GHz and final demonstration article was 16×16 array antenna. From electrical measurements it was shown that antenna performances were in good agreement with design requirements. Structural analysis showed this antenna structure was well designed for the mechanical rigidity. All constituent materials were characterized independently. The SAS concept is the first serious attempt at integration for both antenna and composite engineers and promises innovative future communication technology.

### 1. 서 론

현재 국내외 복합재료 및 지능구조 연구소에서는 자동차, 항공기 등 운송체의 중량감소, 성능향상, 스텔스 기능 강화 등을 위한 신개념의 재료에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구의 일환으로 미국의 국방연구소에서는 군사용 항공기의 표면을 안테나로 이용하여 구조, 공기역학적으로 효율을 증가시킴과 동시에 안테나의 기능을 향상 시키고자하는 연구가 1990년대 초부터 시작되어 현재까지 활발히 진행되고 있다. 이러한 개념의 구조를 스마트 스킨(smart skin) 또는 C LAS (conformal load-bearing antenna structure)라고 하며,

안테나의 기능을 가지면서 구조 자체에 부과되는 강도 및 강성 등의 요건을 만족하는 구조의 설계 및 제작에 대한 기술의 축적이 이루어지고 있다 [1][2][3][4]. 이와 같이 국외에서는 전자통신분야와 구조역학분야가 하나로 통합하여 통신기능을 수행하는 지능구조물에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 반면, 국내에서의 이러한 복합적인 분야에서의 연구실적은 아직까지 전무하다. 이러한 복합재료 다층 안테나구조는 자동차와 선박 등 항공기 이상으로 많은 수의 안테나를 필요로 하는 운송체로 확산시켜 적용 가능하다.

본 연구의 목적은 구조체 표면이 안테나의 기능을 하는 복합재료 표면 안테나구조(SAS: Surface Antenna Structure)를 설계 제작하고 구조해석을 수행함으로써 안테나의 성능을 입증하고 구조적인 거동을 예측하는 것이다. 향후 연구의 최종 목적

\* 포항공과대학교 기계공학과

\*\* 포항공과대학교 전자전기공학과

은 차량에 설치해야할 안테나의 위치, 크기 및 성능에 제한을 받지 않기 위해, 구조적인 안정성을 갖는 안테나를 설계, 제조하여 자동차의 표면에 적용했을 때, 자동차 내에서의 위성방송 및 위성 인터넷 등, 다양한 통신활동을 가능하게 하는 것이다.

## 2. 기본설계개념

표면안테나 구조의 기본 설계개념은 마이크로 스트립 평면안테나 요소를 삽입시킨 복합재료 다층 샌드위치구조이다(Fig. 1). 각 층은 서로 다른 기계적 물성을 지니고 있어 구조적으로 각각 다른 성능을 나타낼 뿐만 아니라 안테나의 성능을 위해 각각 다른 전기적인 특성을 보여야한다.

외부 표면판(facesheet)은 구조체의 가장 바깥에 위치한 요소로 면내하중을 담당하고 전체적인 판재 좌굴저항에 기여하며, 저속충격과 환경에 대한 저항을 갖게 한다. 전기적으로는 신호를 받고 전달하는 안테나의 보호막과 같은 역할을 한다. 외부 표면판의 재료는 신호 감쇠와 반사 손실을 최소화하기 위해 반드시 낮은 유전체적 성질과 낮은 손실 특성을 가져야한다. 판의 두께와 유전율은 안테나의 성능과 구조적 성능을 함께 나타내므로 이의 선택은 매우 중요하다. 중간층의 유전체는 구조적인 측면에서 위 부분과 아랫부분의 부하의 전달 작용을 한다. 전기적으로 윗면에는 slot 을 포함하며 아랫면에 위치한 feedline 의 성능을 좌우한다. 허니콤 코어는 전체 구조의 굽힘 하중에서 유도된 판재 사이의 전달력을 전달하고, 안테나에서 요구하는 공기층을 제공한다. Shielding plane 은 시스템이 안테나 뒷부분으로의 방사를 원치 않을 경우 뒤로 방사되는 신호를 없애기 위한

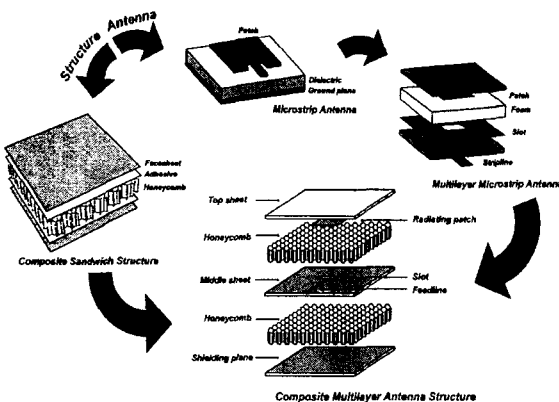


Figure 1. Basic concept

Table 1. Material properties

Materials	Properties
Woven Glass /Thermosetting Polymer (Rogers co.)	Elastic Modulus: 26 GPa Tensile Strength: 141 MPa Dielectric Constant: 3.38 Loss Tangent: 0.0027
Woven Glass /Epoxy (SK chemical co.)	Elastic Modulus: 22 GPa Tensile Strength: 427 MPa
Nomex Honeycomb (Hexcel co.)	Compressive Strength: 4.8 MPa Dielectric Constant: 1.1

것이며 신호를 반사시키기 위해 보통 금속 도체를 사용한다. 가장 아랫면에 shielding plane 을 포함하는 레이어를 지지대(supporter)라고 명하며 이는 전기적으로 안테나의 성능에 영향을 미치지 않으며 구조적으로 면내 하중을 담당하고 전체 구조의 굽힘 및 좌굴에 대한 저항력을 향상시킨다.

Fig. 2 는 본 논문에서 설계한 복합재료 표면안테나 구조의 형태 및 각각의 레이어에 따른 치수 그리고 사용된 재료를 나타내며, Table 1 은 재료의 물성을 보여준다. 사용된 재료와 치수들은 안테나의 성능 및 구조적 효율성을 고려하여 선택하였다.

## 3. 안테나 설계 및 제작

### 3.1 위성통신용 안테나

본 논문에서 설계하고자 하는 안테나는 무궁화 위성의 위성체 제원을 이용하는 위성방송이나 위성인터넷서비스를 위한 수신전용 안테나로 중심주파수는 12.5 GHz 이며 200 MHz 이상의 대역폭과 27dBi 이상의 이득을 요구한다.

### 3.2 안테나의 구조 및 동작원리

안테나의 구조는 Fig. 2 에서와 같이 세개의 복합재료 평판층에 도체요소들이 부착되어 있으며 각각의 층은 허니콤의 윗면과 아랫면에 접착되어 있는 형태이다. 방사소자(radiating patch)는 직사각

	Facesheet Glass/ Thermosetting Polymer (0.5 mm)
	Radiating Patch Copper (17 μm)
	Foam Nomex Honeycomb (2.5 mm)
	Coupling Slot Copper (17 μm)
	Dielectric Glass/ Thermosetting Polymer (0.5 mm) Stripline Copper (17 μm)
	Foam Nomex Honeycomb (19 mm)
	Shielding Plane Copper (17 μm)
	Supporter Glass/Epoxy (0.5 mm)

Figure 2. Basic structure and constituent materials

형 패치를 사용하였고, 급전방식은 개구면 결합 방식(coupling between slot and stripline)을 채택하였다. 하층의 도체판(shielding plane)은 후방방사의 제거에 목적을 둔다.

안테나의 동작원리는 급전선(stripline)에 의하여 전류가 공급되고 유전체(dielectric)를 사이로 두고 그 윗면에 위치한 개구면(coupling slot)을 통하여 방사소자와 급전선간의 전기적인 결합이 이루어지며 이를 통하여 특정주파수에서 공진하도록 안테나의 길이와 폭이 결정된 사각형의 패치를 통하여 전파를 송수신한다.

### 3.3 안테나의 설계

Fig. 3 은 본 논문에서 설계한 세가지 안테나 요소들의 형상을 보여준다. 단일 안테나에서 패치의 형태는 정사각형모양이며 12.5 GHz 에서 공진하도록 변의 길이를 결정하였다. 개구면의 형태는 작은 크기로 coupling 의 양을 극대화 시키기 위하여 dog-bone 모양으로 하였으며, 급전선은 50 옴의 특성임피던스를 기준으로 설계하였다. 패치 한번의 길이는 7mm 이며, 개구면의 길이는 5.4mm 그리고 급전선의 폭은 1.2mm 이다.

본 안테나는 8×1 배열안테나를 sub-array 로 하여, 0.7λ<sub>0</sub> 의 간격을 두고 배열을 8 배 확장한 형태(8×8 배열안테나)이다. 따라서, 각 부 배열 간의 coupling 양을 줄이기 위하여 series/parallel 형태로 8×1 배열안테나의 급전기를 설계하였다. 8×1 배열안테나의 급전기는 중심으로부터 각 소자에 들어가는 전력이 3dB 씩 줄어드는 3dB tapered feed network 으로 구성되었으며 급전선의 길이를 조절하여 위상은 같아지도록 설계하였다. 최종 안테나

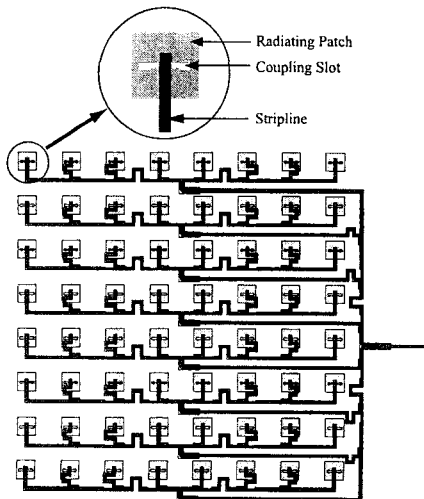


Figure 3. Antenna elements

는 27dBi 의 이득과 5°의 빔폭을 구현하기 위하여 본 논문에서 설계 제작한 8×8 배열안테나를 다시 가로 세로 2 배씩 확장한 16×16 배열안테나가 되어야 한다. Fig. 4 는 제작된 안테나구조 각각의 레이어면에 형성된 요소들과 전체 구조 형태를 보여준다. 제작된 표면안테나 구조의 크기는 180×180×24mm<sup>3</sup>이다.

### 4. 안테나 성능

안테나의 성능을 나타내는 것으로 반사손실과 방사패턴을 들 수 있다. 반사손실은 안테나의 공진주파수를 나타내며, 방사패턴은 안테나로부터 송수신하는 전파의 세기를 극좌표를 이용해서 나타내는 것이다. Fig. 5 는 설계한 안테나에 대한 반사손실을 보여준다. 정확히 12.5GHz 에서 -27dB 로 공진이 일어났으며, 대역폭은 VSWR 2 를 기준으로 약 200MHz 의 특성을 보인다. Fig. 6 은 중심 주파수 12.5GHz 에서의 방사패턴을 나타낸다. 안테나로부터 서로 수직인 두 면에 대하여 약 10° 정도의 빔폭을 나타내는데 본 논문에서 설계 제작한 8 개 안테나 배열에 대한 것으로 16 개로 배열을 가로 세로 각각 2 배씩 확장시킬 경우 약 5°의 빔폭으로 전파를 송수신 할 것이다. 이는 안테나의 이득과 관련이 있으며, 빔폭이 작을 경우 원하는 방향으로 에너지를 집중시킬 수 있기 때문에 안테나의 이득이 높아진다.

### 5. 구조적 거동 해석

표면안테나에 작용한 외부 하중에 대하여 각 레이어에서의 응력 분포를 알아보았다. 본 안테나 구조는 구조표면에 적용되어 하중에 견딜 수 있어

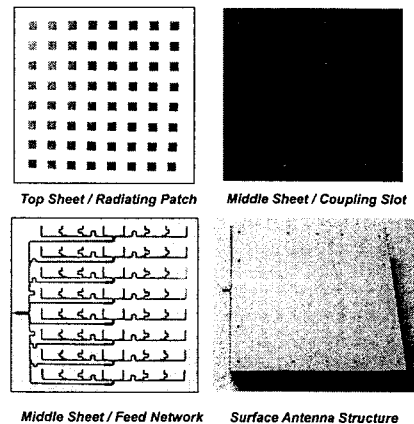


Figure 4. Appearance of fabricated layers and assembly

야 하기 때문에 응력분포를 통해서 설계의 타당성을 확인할 수 있다. Fig. 7 에서는 전체 레이어의 구성을 나타낸다. 허니컴 코어의 길이방향의 강도를 무시할 경우,  $E_c \ll E_1, E_2$ , 중심면의 위치  $e$  는 다음의 식으로 나타내어진다.

$$e = \frac{E_1(d_1 + 2d_2)}{2E_1 + E_2} \quad (1)$$

이때  $d_1 = t + h_1$  and  $d_2 = t + h_2$  이다. 중립면  $e$  에 대하여 굽힘강성은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$D = \frac{1}{12} t^3 (2E_1 + E_2) + E_1 t (d_1 + d_2 - e)^2 + E_1 t (d_2 - e)^2 + E_2 t e^2 \quad (2)$$

결국 외부에 작용하는 모멘트  $M$  에 대하여 각 레이어에서의 응력은 다음으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{facesheet}} &= -\frac{ME_1}{D} (d_1 + d_2 - e) \\ \sigma_{\text{dielectric}} &= -\frac{ME_1}{D} (d_2 - e) \\ \sigma_{\text{supporter}} &= \frac{ME_2}{D} e \end{aligned} \quad (3)$$

표면안테나 구조에 대하여 중심면의 위치  $e$  는 14.8 mm 이며 굽힘 강성은 3.5 kN·m 이다. 샌드위치 구조에서 허니컴 코어의 길이 방향 강도는 복합재료 면재에 비하여 매우 작기 때문에 그 영향은 무시하며 또한 면재의 두께가 코어의 두께보다 매우 작을 경우 면재에서의 두께에 따른 응력이나

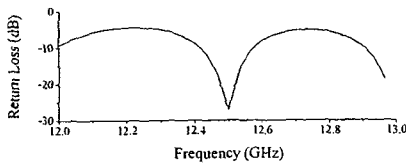


Figure 5. Return loss at port

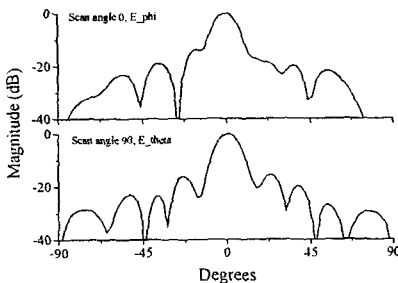


Figure 6. Radiation patterns

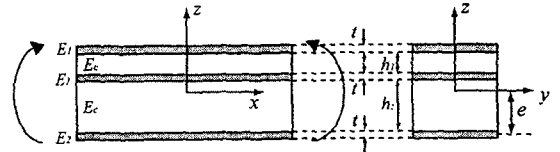


Figure 7. Schematic of SAS beam



Figure 8. Strain and stress distribution

변형률의 분포는 일정하다고 볼 수 있다. Fig. 8 은 본 논문에서 설계 제작한 안테나 구조의 응력 및 변형률 분포를 나타낸다. 면재의 두께에 따른 응력이나 변형률은 일정하다고 보았으며, 각 레이어에서의 응력분포를 살펴볼 때 가장 하부에 위치한 지지대에 작용하는 응력이 외부 표면판의 1.5 배 정도로 크고, 가운데 위치한 유전체에 대해서는 3 배 정도 크게 분포한다.

## 6. 결과 및 토의

본 논문에서는 외부하중에 견딜 수 있는 복합재료 표면안테나 구조를 설계 제작하고 그 특성을 분석하였다. 안테나의 성능은 위성통신용으로 중심주파수인 12.5GHz 에서 공진이 일어났으며, 약 200MHz 의 대역폭을 보임으로 사양을 잘 만족하였다. 3dB 빔폭은 약 10°로 배열을 4 배 확장시킬 경우 5°정도의 빔폭으로 시스템이 요구하는 이득을 얻을 수 있다고 예측할 수 있다.

안테나 구조의 외부 굽힘하중에 대한 응력분포를 보면 가장 하부의 레이어인 *shielding plane* 을 포함한 지지대에서 가장 큰 하중이 걸린다는 것을 확인할 수 있으며, 이부분은 설계 단계에서 전기적으로 안테나의 성능에 영향을 미치지 않으며 전체 구조의 굽힘 및 좌굴에 대한 저항력을 향상시킴을 고려하였기 때문에 본 안테나 구조의 설계에 대한 타당성을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- (1) A. Hopkins, et al. 1997. *AIAA SDM Conference*: 521-530.
- (2) A. J. Lockyer, et al. 1994. *SPIE Smart Structures and Materials*, 2189:172-183.
- (3) J. Tuss, et al. 1996. *37th AIAA SDM Conference*: 836-843.
- (4) A. J. Lockyer, et al. 1999. *Part of the SPIE Conference on Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies*, 3674: 410-424.