

# 복합재료 하니콤 샌드위치 판넬을 이용한 SAR 시스템용 마이크로스트립 안테나 개발

유치상\* · 이라미\*\* · 황운봉\* · 박현철\* · 박위상\*\*

## Microstrip Antenna for SAR Applications with Microwave Composite Laminates and Honeycomb Cores

Chi-sang You, Ra-Mi Lee, Woonbong Hwang, Hyun-Chul Park and Wee-Sang Park

Key Words: Microstrip Antenna (평판안테나), Composite (복합재료), Nomex Honeycomb (노멕스 하니콤), Complex Antenna System (복합재료 안테나)

### Abstract

Microstrip antenna for SAR applications is designed with microwave composite laminates and Nomex honeycomb cores, which becomes an aircraft's structural panel. This study demonstrated fabrication, design procedures and structural and electrical performances of complex antenna system presented.

For validating structural rigidity, 3-point bending test is performed, and simulation results for the complex antenna array are compared with measurements for its electrical performance. The results show that this antenna system can be applied in dual polarized synthetic aperture radar and has a good flexural stiffness with comparison of previous sandwich constructions.

### 1. 서 론

오늘날 무선 통신 기술의 발달과 더불어 다양한 통신 서비스에 대한 요구가 날로 증대됨에 따라 각 통신 시스템에 적합한 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 지금까지 연구되어온 안테나는 구조체 표면에 부착되는 형태로써 구조적으로 안정하지 못한 단점이 있다. 하중을 받는 항공기 표면에 라디오 주파수(Radio Frequency) 안테나를 넣는 것은 비행기 구조물에 안테나를 설치하는 것에 대한 새로운 접근 방법이다. 이것을 CLAS(Conformal Load-bearing Antenna Structure)라고 하는데 구조물의 효율과

안테나의 성능을 동시에 향상시키겠다는 의도에서 나온 것이다. 다시 말해서, 구조물 자체가 안테나가 된다는 것을 의미하는데, 이러한 기술의 조합은 전자기적인 요구를 제한된 구조적인 요구에 접목시켜야 한다.<sup>(2,3,4)</sup>

복합재료 적층판을 외피 (skin) 로 하고 노멕스 (Nomex) 하니콤(honeycomb)을 심재(core material)로 하는 샌드위치 구조물의 사용이 항공우주 산업에서 크게 늘고 있는데 이는 지나친 무게의 증가 없이 얻을 수 있는 샌드위치 패널(panel) 구조물의 높은 굽힘 강도 및 강성 등의 장점 등을 복합적으로 활용할 수 있기 때문이다.<sup>(1)</sup> 노멕스 하니콤의 경우 유전율이 1.1정도로 거의 공기중의 유전율과 비슷하므로 이는 기존의 마이크로 스트립 평판 안테나에서 쓰이는 폼 대신에 구조적으로 기능이 뛰어난 노멕스 하니콤을 사용하면 안테나의 성능에 영향을 미치지 않으면서 구조적인 기능을 향상시킬 수 있다는 것을 의

\* 포항공과대학교 기계공학과

\*\* 포항공과대학교 전자컴퓨터공학과

미한다.

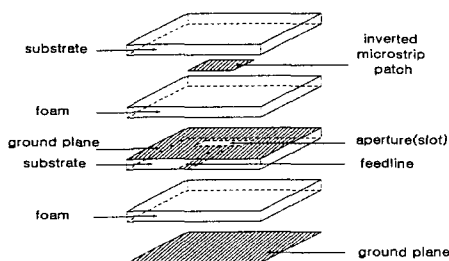
본 논문에서는 마이크로웨이브 복합재료 적층판과 노맥스 하니콤 코어를 이용한 샌드위치 구조물의 형태로 항공기의 표면에 삽입될 SAR (Synthetic Aperture Radar) 시스템용 안테나를 설계 제작 한 후, 전기적·구조적 실험을 수행하여 이의 유용성을 확인 하고자 한다.

## 2. SAR 시스템용 안테나 설계 및 제작

SAR 시스템용 안테나 구조물을 설계할 때 고려해야할 특성은 크게 전기적·구조적으로 나눌 수 있다. 전기적 특성으로는 안테나의 운용 주파수 대역폭, polarization purity, 방사패턴, 수평방향으로의 빔 폭, gain 등을, 구조적으로는 하중을 지탱하는 것과 환경에 대한 저항과 손상에 대한 저항이다.

### 2.1 SSFIP형 안테나

본 연구에서 제작된 안테나 구조물은 복사 소자와 급전 소자 사이의 고립도가 높은 SSFIP (Strip-Slot-Foam-Inverted Patch) 형태로 설계하였다<sup>6)</sup>. [Fig 1.]의 SSFIP형 안테나의 구조를 살펴보면 복합재료 하니콤 샌드위치 구조와 흡사하다. 가장 위 부분의 유전체 층은 레이돔 역할을 하며, 그 아래 부분에 방사 소자인 패치가 위치하게 된다. 슬롯을 포함한 접지면과 패치 사이에는 폼이 위치하는데, 이는 두껍고 낮은 유전율 특성을 지니므로 surface wave를 방지할 뿐만 아니라, 대역폭을 증가시키는 역할을 하게 된다. 패치의 필드여기는 접지면 밑의 유전체 층 아래에 위치한 급전기로부터 슬롯으로의 coupling으로 이루어지게 된다. 안테나의 가장 아랫부분은



[Fig 1.] Construction of SSFIP-Antenna

ground plane인데, 이는 SSFIP형 안테나의 경우, 슬롯이 안테나 뒷부분으로도 필드를 방사하므로, back radiation의 양을 줄이기 위한 것이다.

### 2.2 안테나 설계

SAR 시스템은 image resolution을 향상시키기 위하여 일반적으로 이중편파 안테나를 필요로 한다. 이중편파 안테나는 두 개의 동일 편파와 두 개의 이중 편파 scattering data를 제공하므로 서로 다른 편파 특성을 지닌 지형이나 물체 등도 잘 구분할 수 있다. 특히, 전체 안테나는 1×8 배열 안테나를 sub-array로 하여, elevation 방향으로 0.8λ<sub>0</sub>의 간격을 두고 배열을 4배 확장한 형태( 4×8 배열 안테나)이며, 안테나의 사양은 [Table 1.]과 같다.

### 2.3 안테나 구조물 제작

안테나를 복합재료 하니콤 샌드위치 구조물의 형태로 만들기 위하여, 유전체는 두께 0.5mm인 Rogers사의 RO4003 (woven glass reinforced hydrocarbon/ceramics)을 사용하였고, ground Plane은 2024 Al alloy, adhesive film은 3M사의 필름형 에폭시인 AF 126 (BMS 5-129G : Type 2, Class 1A, Grade 5)를 사용하였다. 그리고 심재로는 Hexcel사의 HRH-10-1/8-5 (BMS 7-124 : Type 5, Class 4, Grade 5)인 노맥스 하니콤을 사용하였다.

Rogers사의 RO4003은 본 연구에서 제작하려는 안테나에 맞는 전기적인 성질을 갖고 있으며 손실이 적고, 전기적, 기계적으로 열적 안정성이 뛰어나다. 노맥스 하니콤 역시 기존의 안테나 폼과 유사한 전기적인 성질을 갖고 있어 본 재료들을

[Table 1.] Antenna Specifications

Parameters	Requirements
Frequency	5.3 GHz
Bandwidth	100 MHz
Beam width	±10° for elevation plane
	±5° for azimuth plane
Polarization	dual-linear
Cross-Polarization	<-20 dB
Gain	> 20 dBi

안테나 구조물의 외피와 심재로 사용하였다. 하니콧의 두께는 패치 아래 부분이 2.54mm, ground plane 위 부분이 13mm이다. 안테나 구조물 전체 크기는 400×300 mm 이며 두께는 17.1mm 이다. [Fig 2.]는 제작된 안테나구조물 각 층과 전체 형태를 보여주고 있으며, 사용된 재료의 전기적·기계적 성질은 [Table 2.]와 같다.

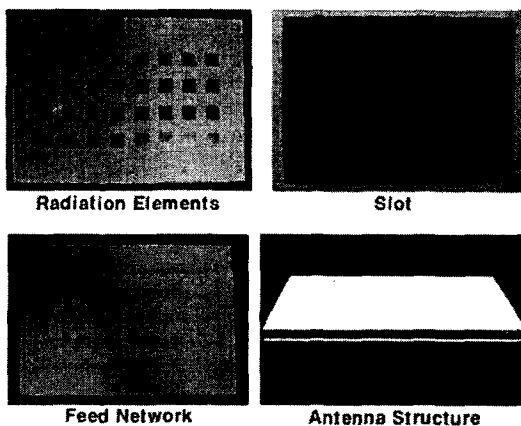
### 3. 안테나의 전기적 특성 실험

[Fig 3.]는 안테나의 반사계수 특성을 나타낸다. 이중편파를 형성하는 두 급전 부분에서의 반사계수가 모두 5.3 GHz에서 약 -30 dB인 좋은 특성을 보여주고 있으며, VSWR 1.5를 기준으로 약 70 MHz의 대역폭을 갖는다.

[Fig 4.]는 포항공대의 Compact Range에서 안테나의 방사 패턴을 측정된 결과이다. 이는 co-

[Table 2.] Material Properties

substrate	core	ground plane
Glass/ Hydrocarbon	Nomex Honeycomb	2024 Al alloy
Tensile S 141(Mpa) Modulus of E 26,889(Mpa)	Shear S(L) 2.24(Mpa) Shear S(W) 1.21(Mpa)	Tensile S 290(Mpa) Modulus of E 72,400(Mpa)
$\epsilon_r = 3.38$	$\epsilon_r = 1.12$	



[Fig 2.] Appearance of Each Layers & Antenna Structure

polarization과 cross-polarization의 방사 패턴을 측정된 것이다. 두 결과 모두 약 10° 와 20° 의 3 dB 빔 폭과 약 -35 dB와 -20 dB의 cross-polarization level로 안테나의 사양을 잘 만족시키며, SLL도 비교적 낮게 나온 것을 알 수 있다.

### 4. 안테나의 구조적 성능 실험

#### 4.1 시편 제작

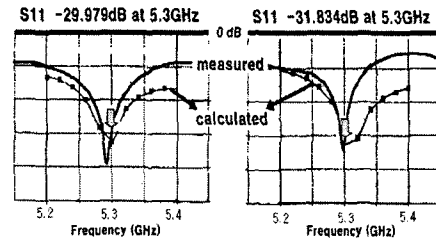
실험에 사용된 시편은 안테나 구조물과 같은 construction으로 면재 3장과 하니콧 코어 2장을 adhesive film으로 접착하여 경화 제작하였으며, 그 거동을 비교 평가하기 위해서 다른 방법으로 2종류의 시편을 추가 제작하였다 [Table 3].

#### 4.2 3점 굽힘실험

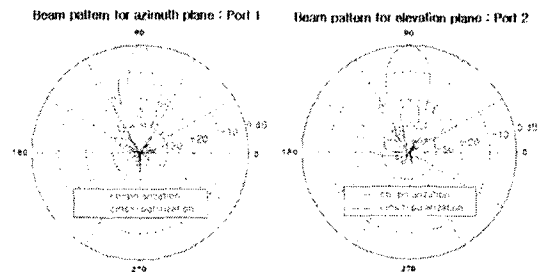
실험은 Shimadzu사의 UTM Autograph를 이용하여 3mm/min의 변위제어 하에서 각각 5개의 시편을 가지고 수행하였으며, 실험하중은 load cell에 의하여 관측하였다.

#### 4.3 실험 결과

[Fig 5.]의 하중-처짐 곡선으로부터, 제작된 안



[Fig 3.] Reflection Coefficients



[Fig 4.] Radiation Patterns

테나 구조물과 같은 construction으로 제작된 specimen I의 경우, 2.6 kN 근처까지는 하중-변위 관계가 거의 직선적으로 변형하는 탄성거동을 보이며, 그 후에는 부하점 부근부터 소성변형이 생기기 시작하면서 강성이 저하되고, 소성변형이 진전하여 부하점 아래 있는 하니콤 셀이 소성붕괴한 후에 내력은 서서히 감소하기 시작한다.

양쪽면에 구리를 입힌 substrate를 ground plane으로 사용한 specimen II의 경우, 안테나의 성능에는 영향을 미치지 않지만 구조적인 거동 [Fig 5.]을 보면 소성영역 구간이 존재하지 않으며 선형적인 탄성영역만 존재하는데 이는 ground plane이 매우 brittle한 성질을 갖고 있기 때문이다.

면재를 모두 woven G/E를 사용하여 시편을 만들었을 경우(specimen III) 하중은 안테나 구조물과 거의 비슷한 2.62 kN까지 작용하며, 소성변형을 시작하는 지점은 이에 비해 1mm정도 지연됨을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 SAR 시스템에 적합한 이중편파 마이크로스트립 안테나를 전기적 특성과 구조적

특성을 모두 고려하여 샌드위치 구조물의 형태로 설계, 제작하였다. 안테나 구조물 각 층 사이에는 하니콤을 삽입하였으며, substrate는 glass/hydrocarbon으로 제작한 microwave laminate를 사용하였으며 ground plane은 back radiation의 양을 줄이기 위하여 2024 Al alloy를 사용하였다. 제작된 안테나는 반사계수와 빔 패턴, cross-polarization level 모두 우수한 특성을 보였으며, 3점 굽힘 실험을 수행한 결과, ground plane을 Al alloy를 사용한 안테나 구조물의 경우, 구리를 입힌 substrate를 사용한 안테나 보다 하중이 23%가 더 증가됨을 알 수 있었으며, 또한 모든 면재를 woven G/E를 사용한 구조물과 유사한 부하점에서 내력이 감소됨으로써 본 연구에서 제작된 안테나 구조물이 안테나로서의 기능과 구조물로서의 기능을 모두 만족함을 확인할 수 있었다.

## 후 기

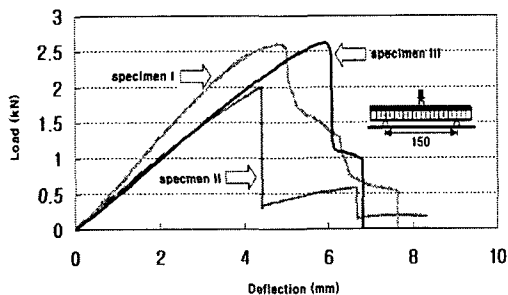
본 연구는 1999년도 과학재단 목적기초연구 (1999-2-304-004-3, 과제명: 기능성 적용구조 시스템 개발 및 제조)에 의하여 연구되었으며, 지원에 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) Vinson, J. R., "The Behavior of Sandwich Structures of Isotropic and Composite Materials," Technomic Pub., 1999.
- (2) Tuss, J., et. al., "Conformal Load Bearing Antenna Structure (CLAS)," 37th AIAA SDM Conference, Salt Lake City, UT, Apr. 1996.
- (3) Lockyer A. J., 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, Mar. 1999.
- (4) Keith R. C. and James W. M., "Microstrip Antenna Technology," IEEE Trans. Antennas Prop., Vol. AP-29, No.1, PP. 2-24, Jan. 1981.

[Table 3.] Stacking Sequence of Specimens

	Specimen I (200×50)	Specimen II (200×50)	Specimen III (200×50)	thickness (mm)
Stacking Sequence	substrate	substrate	woven G/E	0.5
	honeycomb	honeycomb	honeycomb	2.54
	substrate	substrate	woven G/E	0.5
	honeycomb	honeycomb	honeycomb	13
	2024 Al	substrate	woven G/E	2.54



[Fig 5.] Load-Deflection Diagram