

論文

접착필름의 영향을 고려한 다층 복합재료 안테나 구조 설계

김동섭*, 황운봉^{*,+}, 박현철*, 박위상**

Design of Multilayer Composite-Antenna-Structures Considering Adhesive

D.S.Kim*, W.Hwang^{*,+}, H.C.Park*, and W.S.Park**

Abstract

“Structural surface becomes an antenna.” This term, CAS, indicates antenna embedding in structural surfaces. The CAS is composed of several composite laminates and Nomex honeycombs, and microstrip antenna elements are inserted between layers with designed configurations. Constituent materials are selected considering electrical contributions as well as mechanical performances. Antenna design with adhesive films are impossible because of their thin and rough distributions between honeycomb and substrate. Therefore, adhesive effects on antenna performances in CAS are experimentally investigated, CAS with targeted impedance and radiation characteristics are designed considering adhesive effects. multilayer

초 록

미래의 환경에서는 위성을 이용한 통신서비스의 운송체 내에서의 사용이 기하급수적으로 확대될 전망이다. 이를 위해서는 안테나의 성능 향상 및 역학적 에너지의 고효율성에 기하고, 구조적인 안정을 보장하기 위한 복합 안테나 구조의 설계, 제조 및 해석 기술이 필요하다. 복합 안테나 구조가 안테나의 역할 및 구조체로서의 역할을 하기 위해서는 접착 필름의 사용이 필수적이다. 하지만 접착필름은 얇은 두께로 인하여 설계시 고려되지 못하고 유전체로 작용하여 전자기적 영향을 끼치게 되어 설계자가 기대하는 성능을 얻지 못한다. 따라서, 이러한 접착필름의 전자기적 특성을 실험적으로 알아본다.

Key Words : Composite-Antenna-Structures(CAS), 샌드위치 구조물(Sandwich Structure), 마이크로스트립 안테나(Microstrip Antenna), 접착필름(Adhesive Film)

1. 서 론

오늘날 무선 통신 기술의 발달과 더불어 다양한 통신 서비스에 대한 요구가 증대됨에 따라 각 시스템에 적합한 안테나에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 1996년부터 미국의 Wright Patterson Air Force에서는 항공기의 안테나 부착에 의한 돌출부와 결함을 근본적으로 제거하기 위하여 안테나 기능과 함께 강도, 강성 등의 구조적 특성을 갖는 CLAS(Conformal

Load-bearing Antenna Structure)에 관한 연구를 수행하고 있다 [1, 2]. 또한, 복합재료는 비강도가 크고 내 충격성이 뛰어나며 흡음성, 평활성 및 제진성 등이 우수하여 구조체의 경량화 및 안정성 향상이 기대되는 대체 재료로써 주목 받고 있다.

본 연구에서는 이러한 CLAS의 개념을 바탕으로 하여 복합재료를 이용한 복합 안테나 구조 (Composite-Antenna-Structures, CAS)의 설계 및 제조에 있어서 접착필름(Adhesive film)이 복합 안테나 구조의 안테나 성능에 미치는 영향에 대해서 알아보고자 한다.

* 포항공과대학교 기계공학과

*+ 포항공과대학교 기계공학과, 교신저자(E-mail:whwang@postech.ac.kr)

** 포항공과대학교 전자전기공학과

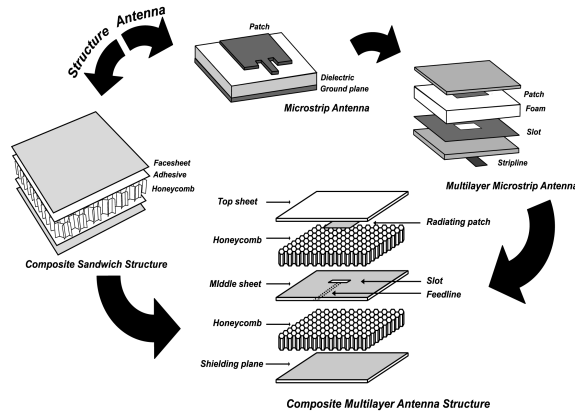


Fig. 1 Basic concept of CAS.

Table 1 Contributions of panel component

Constituent	Mechanical	Electrical
Outer Facesheet	In-plane load and impact resistance	Signal attenuation
Honeycomb	Shear and compressive load resistance	Air gap
Dielectric	Load transfer	Electromagnetic field concentration
Shielding plane	None	Back-radiation reduction
Supporter	In-plane load resistance and panel supporting	None

2. 복합재료 안테나 구조

2.1 전체구조 및 재료

CAS의 기본 개념은 유기적인 다층 샌드위치 판넬의 구조속에 안테나를 삽입하는 것이다. 샌드위치 판넬은 몇 개의 기초적인 층으로 구성되어지며 각 층은 제조 및 assembly를 만족시켜야 할 뿐만 아니라 각 각 다른 구조적, 전기적 설계요구 조건을 충족 시켜야 한다. 각 판넬층은 facesheet, dielectric, honeycomb, supporter, radiating patch, aperture-coupled feeding의 안테나 요소로 구성되어지며 Fig. 1에 묘사하였고 구조적, 전기적 역할을 Table 1에 나타내었다.

2.2 접착필름

복합 안테나 구조에서 각 층간의 결합을 단단히 구속시키기 위해 접착필름의 사용은 필수적이다. 본 연구에서 사용되어 지는 접착필름의 제조 회사는 'Aerospace Loctite' 이고 전기적 특성은

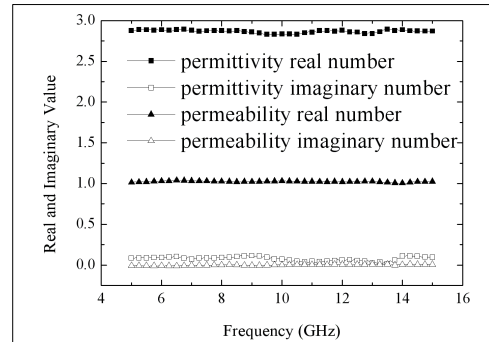


Fig. 2 Permittivity and permeability of adhesive film.

제공되어 지지 않는다. 접착필름이 안테나의 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 명확히 하기 위해 접착필름의 전기적 특성인 유전율과 투자율을 반사투과법(transmission/reflection method)[3-5]으로 측정 및 계산 하였고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

접착필름은 두께 0.127 mm의 얇은 유전층으로 소프트웨어를 사용하여 설계를 할 경우 얇은 두께로 인하여 안테나 성능에 영향을 미치지 않는다. 하지만, 접착필름을 사용하여 안테나를 제작 하면 안테나의 성능이 설계 값과 차이가 나게 된다. 따라서, 설계에서부터 접착필름의 영향을 고려하고 제작시의 안테나 성능의 차이를 줄이기 위해 실험적으로 접착필름이 안테나의 성능에 미치는 영향을 알아야한다.

3. 접착필름이 안테나 성능에 미치는 영향

3.1 안테나 설계

본 연구에서 CAS 단일안테나 설계는 다음과 같다. 중심 주파수인 7, 9.5, 12 GHz 에서 공진을 일으키는 패치는 정사각형이고 급전선을 통해 들어온 신호는 슬롯을 통해 방사소자인 패치로 전달되고 패치로부터 facesheet 밖으로 방사하게 된다. 급전선의 특성 임피던스는 50Ω을 갖도록 그 폭을 설계 하였다. Fig. 3에는 CAS 단일안테나의 형상을 Table 2에는 각 주파수에서 공진되는 CAS 단일안테나의 크기를 나타내었다. 안테나 설계과정은 안테나 디자인 소프트웨어인 Ensemble 5.0을 이용하여 설계하였다.

앞서 설계한 CAS 단일안테나를 각 방사소자의 기본으로 하여 CAS 2x2-array 안테나를 설계 하였다. CAS 2x2-array 안테나 역시 중심 주파수가 7, 9.5, 12 GHz에서 공진을 일으키는 세 개의 주파수 대역에서 설계를 하였다. 방사소자의 간격은 각 주파수에 따른 공기중의 파장길이, λ_0 로 하였다. 급전 구조는 병렬 구조를 사용 하였다. 급전선을 설계하기위해 T-Junction 전력분배기와 $\lambda_0/4$ 트랜스포머, 그리고 미터링기법의 방법을 적용하였다. 제작된

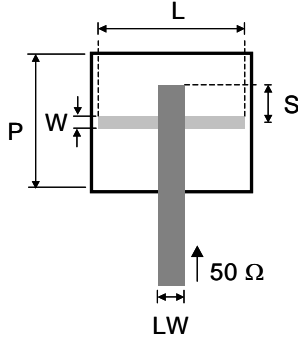


Fig. 3 Configuration of single antenna element.

Table 2 Dimensions of single antenna

Frequency [GHz]	P	L	W	S	LW
7	13	9.7	0.4	3.6	1.14
9.5	9.2	8.8	0.4	2.4	1.13
12	6.34	6.44	0.4	1.19	1.13

(Unit: [mm], P: patch length, L: slot length, W: slot width, S: stub length, LW: 50Ω feedline width)

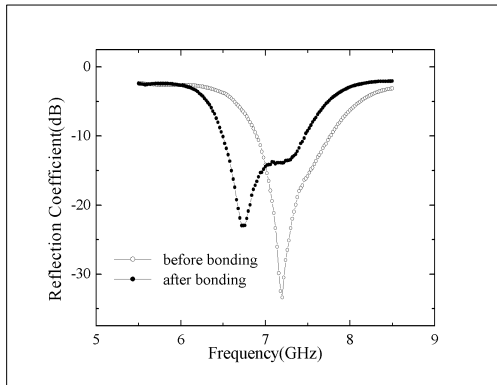


Fig. 4 Impedance characteristics of 7 GHz single CAS.

CAS 단일안테나의 전체 크기는 50 mm x 50 mm 이고 높이는 9.8 mm 이며 CAS 2x2-array 안테나의 전체 크기는 80 mm x 80 mm 이고 높이는 9.8 mm 이다.

3.2 접착필름 삽입 전후의 안테나 성능비교

먼저 접착필름을 삽입하기 전의 안테나 성능을 측정 한 후 CAS 안테나의 각 층에 접착필름을 삽입하여 경화(curing)과정을 거친 후 다시 한번 안테나의 성능을 측정한다. 대표적으로 7.5 GHz의 중심 주파수를 가지는 CAS 단일안테나의 공진 특성 변화에 대한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

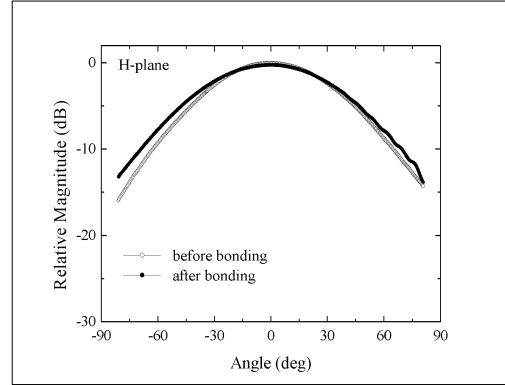


Fig. 5 Radiation patterns of 7 GHz single CAS.

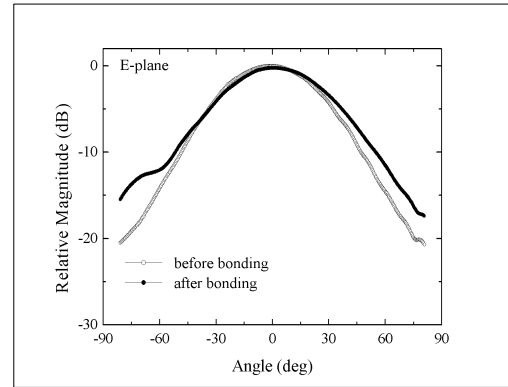
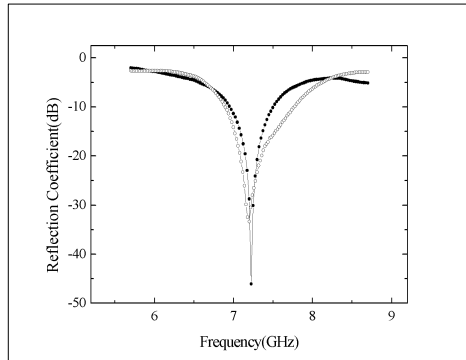


Fig. 6 Radiation patterns of 7 GHz single CAS.

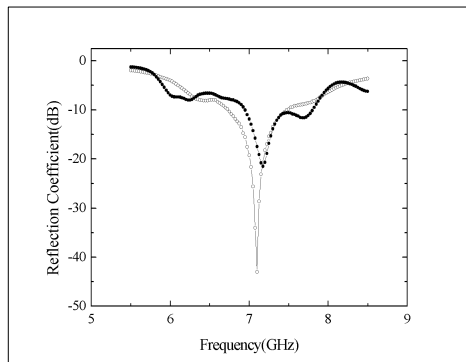
그리고, 방사패턴 변화에 대한 그래프를 Fig. 5, Fig. 6에 나타내었다.

3.3 결과 및 고찰

CAS 단일안테나와 CAS 2x2-array 안테나의 frequency와 array에 따라 감소되는 공진주파수의 양을 Table 3에 나타내었다. 또한, frequency와 array에 따라 감소되는 안테나 gain의 양을 Table 4에 나타내었다. 전체적으로 frequency와 array의 변화에 따라서 공진주파수와 gain의 감소량은 어떠한 경향성이 없으며 공진주파수는 0.4~0.5 GHz, gain은 1 dBi 미만으로 감소하였다. 접착필름을 사용하여 bonding 한 후에는 유전체의 유효 유전율이 증가하게 된다. 증가된 유전체의 유효 유전율로 인해 전자기파의 파장이 짧아진다. 짧아진 전자기파의 파장에 비해 패치의 길이는 물리적으로 변하지 않는다. 따라서, 짧아진 전자기파의 파장은 패치의 길이가 전기적으로 길어짐을 의미 하고 이로 인해 공진 주파수가 감소하게 된다. 또한, dielectric 아래의 feedline에서 dielectric 위의 작은 slot을 통해



(a) Single patch antenna



(b) 2x2 array antenna

○ before bonding
 — designed at 7GHz, not considering adhesive effects
 ● after bonding
 — designed at 7GHz, considering adhesive effects

Fig. 7 Impedance characteristics of 7GHz.

Table 3 Resonant frequency decrease by adhesive effects

Target frequency [GHz]	Resonant frequency decrease [GHz]	
	Single patch antenna	2x2 array antenna
7	0.45	0.42
9.5	0.48	0.42
12	0.47	0.40

Table 4 Gain decrease by adhesive effects

Target frequency [GHz]	Resonant frequency decrease [dBi]	
	Single patch antenna	2x2 array antenna
7	0.45	0.57
9.5	0.78	0.43
12	0.62	0.74

방사패치로 커플링 되어진다. 이때 전자기파가 각 적층판 사이의 접착필름을 통과 하면서 손실이 발생 하여 안테나의 이득이 감소하게 된다.

4. 접착필름의 영향을 고려한 복합재료 안테나 구조 설계

앞서 접착필름을 사용하였을 경우 안테나 성능에 미치는 영향을 살펴보았다. 접착필름의 사용으로 인해 공진주파수가 0.4~0.5 GHz, feedline의 특성임피던스가 8Ω정도 감소하였다. 이러한 결과를 바탕으로 하여 접착필름을 사용한 후에도 접착필름이 삽입되기 전의 안테나 성능을 얻기 위해 안테나를 설계하고 제작, 측정 하였다. 접착필름을 사용하지 않은 7 GHz 안테나를 기준으로 하여 접착필름을 사용한 후에도 동일한 주파수에서 공진이 일어나도록 CAS 단일안테나와 CAS 2x2-array 안테나를 설계 하였다. 먼저 design frequency를 7 GHz 보다 다소 높은 7.4 GHz에서 공진이 발생하도록 패치 크기를 13 mm 보다 작은 12.04 mm로 설계하고 급전선의 특성임피던스 역시 50 Ω보다 다소 높은 58 Ω의 특성임피던스를 얻기 위해 급전선의 폭을 1.14 mm 보다 작은 0.88 mm로 설계하여 안테나를 제작한 후 측정 하였다. 공진특성의 그래프를 Fig. 7에 나타내었다. 그래프를 통해 알 수 있듯이 접착필름을 사용한 후에도 접착필름을 사용하지 않은 안테나의 주파수 대역에서 공진이 발생하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 다층 복합 안테나 구조에서 접착필름이 안테나 성능에 미치는 영향을 안테나의 주파수와 배열에 따라서 어떻게 변화 하는지 실험을 통해 알아보았으며 그 결과를 바탕으로 하여 접착필름을 사용한 후에도 설계자가 원하는 주파수에서 공진이 발생되도록 하였다.

- 1) 접착필름을 사용하여 bonding한 후의 안테나는 유전체의 유효 유전율이 증가하여 전자기파의 파장이 짧아짐으로 인해 접착필름을 사용하지 않은 안테나 보다 공진 주파수가 감소하고 급전선을 흐르는 특성 임피던스가 감소한다.
- 2) 접착필름을 사용하여 bonding한 후의 안테나는 전자기파가 각 적층판 사이의 접착필름을 통과하면서 손실이 발생하여 안테나의 이득이 감소한다.
- 3) 안테나의 공진주파수와 이득의 감소량은 주파수와 배열의 변화에 따라서 경향성이 없다.
- 4) 설계 주파수와 임피던스의 양을 조절함으로써 접착필름을 사용하여 bonding한 후의 복합 안테나도 원하는 주파수에서 공진이 발생되게 할 수 있다.

참고문헌

- 1) A. Hopkins, et al., AIAA SDM Conference, 1997, pp. 521-530.
- 2) A. J. Lockyer, et al., SPIE Smart Structures and Materials, Vol. 2189, 1994, pp. 172-183.
- 3) W.B. Weir, "Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies," *Proc. IEEE*, Vol. 62, 1974, pp. 33-36.
- 4) Hewlett-Packard. "Measuring dielectric constants with the HP8510 network analyzer", Hewlett-Packard Product Note 8510-3.
- 5) J. F. Zucher, "The SSFIP: A Global Concept for High Performance Broadband Plannar Antennas," *Elect. Lett.*, Vol. 24, No. 23, Nov. 1988, pp. 1433-1435.