

유리섬유/에폭시 복합재료와 허니컴을 이용한 고성능의 마이크로스트립 안테나 설계

유치상* · 황운봉*

High-Gain and Wideband Microstrip Antenna Using Glass/Epoxy Composite and Nomex Honeycomb

C. S. You and W. Hwang

Key Words : Composite, Honeycomb, Microstrip Antenna, Sandwich Structure, High Gain

ABSTRACT

In this paper we developed Composite-Smart-Structures(CSS) using sandwich structure composed of Glass/Epoxy laminates and Nomex honeycomb, and microstrip antenna. Transmission/reflection theory shows that antenna performances can be improved due to multiple reflection by Glass/Epoxy facesheet, and honeycomb is used for air gap between antenna and facesheet. Stacked radiating patches are used for the wideband. Facesheet and honeycomb thicknesses are selected considering both wideband and high gain. Measured electrical performances show that CSS has wide bandwidth over 10% and higher gain by 3.5 dBi than initially designed antenna, and no doubt it has excellent mechanical performances by sandwich effect given by composite laminates and honeycomb core. The CSS concept can be extended to give a useful guide for manufacturers of structural body panels as well as antenna designers, promising innovative future communication technology.

1. 서론

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 증가시키고 동시에 안테나의 기능을 향상 시키고자하는 연구가 1990년대 초부터

시작되어 현재까지 활발히 진행되고 있다. 이러한 개념의 구조를 스마트 스킨(smart skin) 또는 CLAS (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 [1-4]. 이러한 통신용 지능구조물은 자동차와 선박 등 항공기 이상으로 많은 수의 안테나를 필요로 하는 운송체로 확산시켜 적용 가능하다. 국방연구 분야 외의 다른 상용화된 분야로의 본 기술의 확산에는 안전, 가격, 복잡성 등과의 균형이 이루어져야하며, 제작기술과 재료의 선택에 신중을 기해야한다. Fig. 1은 Delphi사의 복합재료와 안테나탑에서 제시한 균용트럭용 다기능 안테나에 대한 개

* 포항공과대학교 기계공학과

넘 모델이다. 이러한 지능구조물의 실제 적용에 있어서의 결정적인 어려움은 기계적 성능을 위해 사용된 구조재료의 전기적 성질 때문에 안테나의 효율이 낮아진다는 것이다.

본 논문에서는 유리섬유/에폭시 복합재료와 노맥스 허니컴을 이용한 샌드위치 구조 형태의 통신용 지능구조물을 제작했을 때, 구조적 성능의 저하 없이 안테나의 성능이 오히려 향상될 수 있다는 것을 보여주하고자 한다. 즉, 고이득/광대역의 전기적 성능과 고강도/고강성의 기계적 성능을 동시에 나타내는 지능구조물의 설계방법 및 제작/실험 결과를 제시한다.

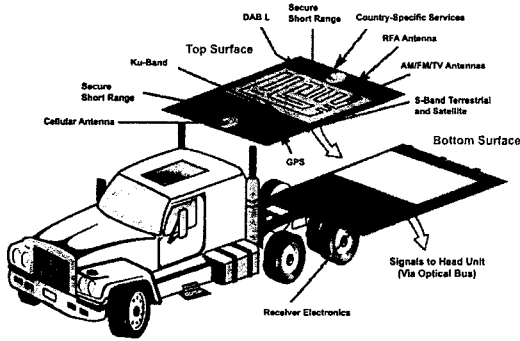


Fig. 1 Multiple antenna reception system

2. 기본구조

복합재료 지능구조물(Composite-Smart-Structures)의 기본구조는 Fig. 2와 같다. 면재로 사용된 유리섬유/에폭시 복합재료(UGN200, SK chemicals)와 심재로 사용된 노맥스허니컴(HR10-10-18-6, Hexcel co.)으로 이루어진 샌드위치 구조물의 아래 면재와 심재 사이에 마이크로스트립 안테나가 삽입된 형태로 기계적 개념은 복합재료 샌드위치 구조물이며 전기적 개념은 마이크로스트립 안테나이다. 마이크로스트립 안테나는 평면의 형태로 표면부착이 용이하고 제작단가가 낮아 항공기나 위성, 미사일 등에 많이 사용되고 있으나, 대역폭이 좁은 단점이 있다[5]. 샌드위치구조의 경우 고강도/고밀도의 얇은 면재들 사이에 저밀도의 심재를 부착시켜 굽힘 및 좌굴 특성을 향상시킨 구조이다[6,7].

면재의 두께(d)와 심재의 두께(h)는 설계 변수로서 안테나의 이득과 대역폭을 고려하여 최대의 전기적 효율을 얻을 수 있도록 결정되어야 한다.

심재와 아래 면재 사이에 ground 부터 upper patch까지는 안테나층으로서 외부 시스템과 직접

적으로 연결되고, 전자기파의 방사가 이루어지는 곳이다. 두개의 방사소자가 2.54 mm의 얇은 허니컴을 사이에 두고 아래 위로 있으며 아래의 방사소자에 급전선이 연결되어 있고 그 아래에는 접지면이 있다. 전기적 성질이 좋은 Duroid 5880(Rogers co.)을 유전체로 사용하였으며 이는 기계적으로는 두께 방향으로의 하중 전달에만 기여를 한다.

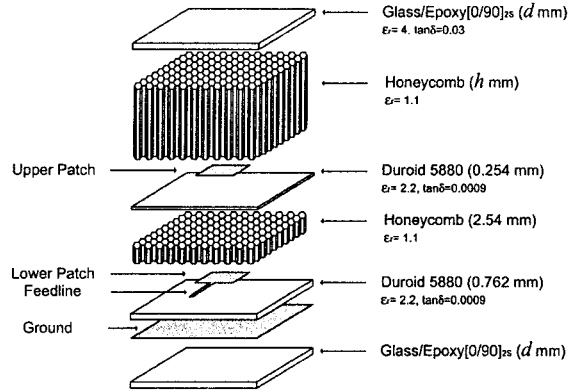


Fig. 2 Structure of Composite-Smart-Structures

안테나 소자들의 크기 및 형태는 Fig. 3에 나타나있다. 방사소자가 두개인 이유는 마이크로스트립 안테나의 대역폭이 좁은 단점을 극복하기 위한 것으로, 아래 위에 크기가 약간 다른 두개의 방사소자에서 두번 공진이 일어남으로써 안테나의 대역폭을 넓힐 수 있다. 본 구조물에서 안테나 소자들은 대역폭 1GHz 이상을 목표로 중심주파수 12.2 GHz에서 설계를 하였다.

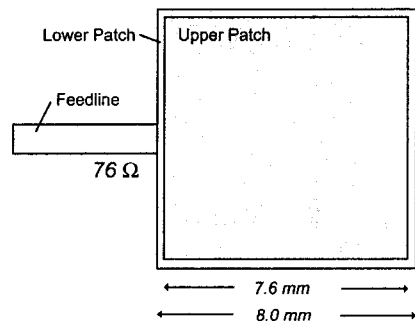


Fig. 3 Antenna elements with stacked patches

3. 이득증가 이론

유리섬유/에폭시 복합재료에 의한 안테나 성능

의 변화를 예측하기 위한 지능구조물의 개요도를 Fig. 4(a)에 나타내었으며, Fig. 4(b)는 좀더 단순화 시킨 모델이다. 안테나층에 사용된 유전체의 경우는 유전율이 작고, 주파수 파장(λ_0 , 26.4mm)에 비해 두께가 매우 얇기 때문에 전자기파의 입장에서 는 그 존재를 무시할 수 있으며, 실제 결과에서도 차이가 없음을 확인하였다.

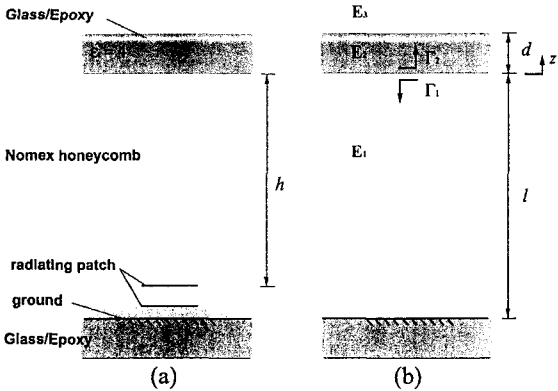


Fig. 4 Schematic view for facesheet effects

안테나 방사소자에서 방사된 전자기파는 위 면재를 만나면 일부는 반사되며 일부는 투과한다. 면재 내부로 들어간 전자기파는 일부는 밖으로 투과가 되지만 나머지는 그 안에서 복잡하게 다중 반사가 이루어 지거나 일부는 다시 안테나 쪽으로 돌아가게 될 것이다. 결국 위 면재에 의하여 밖으로 방사되는 전자기파의 크기는 변화할 것이며 각 층에서의 전기장을 Fig. 4(b)에서와 같이 E_1 , E_2 라고 하면,

$$E_1(z) = a_x \frac{E_{10} e^{-jk_0 z}}{1 + \Gamma_1 e^{-2jk_0 l}} (1 + \Gamma_1 e^{2jk_0 z}) \quad (1)$$

$$E_2(z) = a_x \frac{E_{20} e^{-jk_1 z}}{1 + \Gamma_{01} \Gamma_2 e^{-2jk_1 d}} (1 - \Gamma_{01} e^{-2jk_1 d} e^{2jk_1 z}) \quad (2)$$

이다. 여기서, E_{10} 은 처음에 방사소자에서 방사된 전자파의 크기, 즉 위의 면재가 없을 때 외부로 방사되는 전자파의 크기이다. E_{20} 은 면재의 경계에서의 연속조건으로 구할 수 있으며, Γ_{01} 은 초기 면재에서의 반사계수로 면재의 전기적 성질에 의해서 결정된다. 외부로 방사되는 전자파를 E_3 로 나타낸다면, 그 크기는 경계조건에 의해서 $z=d$ 에서의 E_2 의 크기와

같다. 결국, 면재에 의해서 증가된 외부로 방사하는 전자파의 크기 증가 정도는 $|E_2(d)|/E_{10}$ 로 나타낼 수 있다.

Fig. 5 는 ground 에서 면재와의 거리 l ($l=h+3.58$) 과 면재의 두께 d 에 따른 전자파 크기 증가 정도를 보여준다. 전자파의 크기가 최대일 때는 $l=0.5\lambda_0$ (13.2 mm) 그리고 $d=0.25\lambda_g$ (3.3 mm) 일 때이며, 면재의 두께 d 가 작아질수록 l 이 좀더 큰 곳에서 최대 효율을 보임을 알 수 있다.

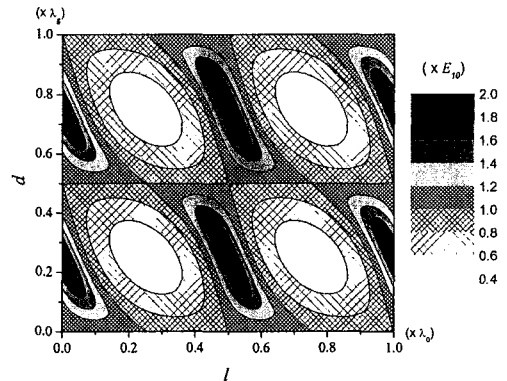


Fig. 5 Normalized E-field magnitude for d and l

Fig. 6 은 각각 다른 두께의 면재에서 안테나 효율이 최대일 때 주파수에 따른 전자파 크기 변화 정도를 나타낸다. 면재의 두께 $d=0.25\lambda_g$ 일 때 중심주파수에서 최대 증가량을 보여주나 주파수에 대하여 민감한 경향을 보여준다. Fig. 6 을 보면 알 수 있듯이 1GHz 정도의 대역폭을 위해서는 면재의 두께를 $0.1\lambda_g$ 이하로 결정해야 한다.

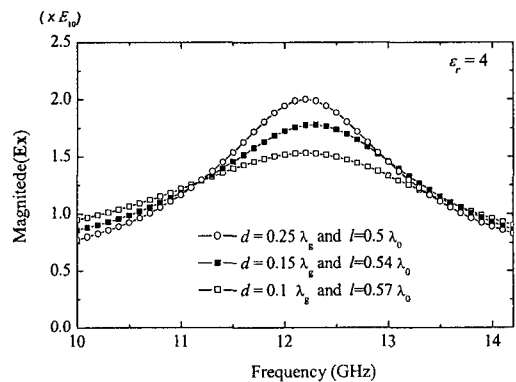


Fig. 6 Bandwidth consideration for d

4. 제작 및 실험결과

본 논문에서 설계 제작한 복합재료 지능구조물은 1GHz 이상의 대역폭을 위하여 유리섬유/에폭시 면재의 두께를 1mm(0.076 λ_g)로 결정하였으며, 이때의 최대 이득을 위해서 허니컴의 두께는 10mm(이때, $t=0.55\lambda_0$)로 결정하였다. Fig. 7은 제작한 안테나의 모습이다. 전체 구조물의 크기는 48 × 48 × 16 mm이며 여기서 표면파에 의한 모서리에서의 방사를 막기 위하여 가로 세로 크기는 $2\lambda_0$ 정도로 제작하였다.

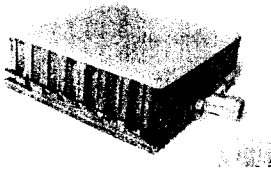


Fig. 7 Fabricated structure

Fig. 8은 안테나 반사계수 성능을 보여준다. 면재가 안테나의 반사계수 성능에 영향을 미치지 않음을 알 수 있으며 구조물은 중심주파수 12.2 GHz에서 공진하며, -10dB를 기준으로 1GHz 이상의 대역폭을 갖음을 확인할 수 있다.

Fig. 9는 안테나 방사성능을 보여준다. 면재에 의해서 안테나 이득은 약 3.5dB 증가하였으며, 이득이 증가한 만큼 방사패턴은 좀 더 얇아진 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 안테나 성능을 갖는 복합재료 지능구조물의 기계적 성능과 전기적 성능을 동시에 향상시키기 위하여 면재로 사용한 유리섬유/에폭시 복합재료와 심재로 사용한 노맥스 허니컴의 두께를 안테나의 대역폭과 이득을 고려하여 결정하였다. 제작한 지능구조물은 삽입전의 안테나만의 성능과 비교할 때 반사계수 특성은 변함이 없었으며, 방사 성능에서는 구조적인 공진효과에 의하여 오히려 이득이 증가됨을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제시한 설계방법에 의하여 전기적 성능의 저하 없이 구조적 성능이 우수한 복합재료 지능구조물의 제작이 가능함을 알 수 있다.

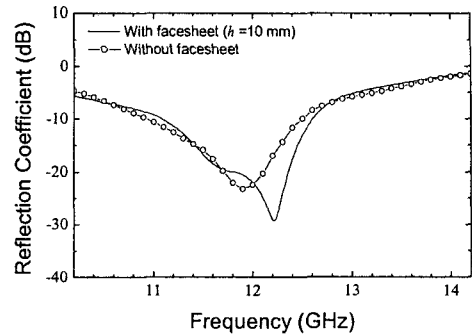


Fig. 8 Reflection coefficient

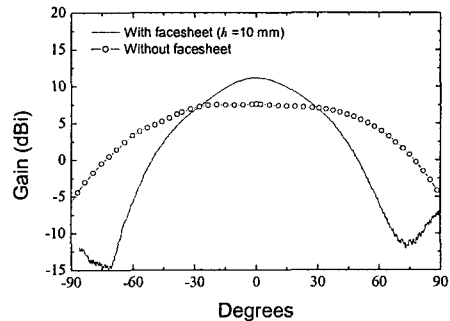


Fig. 9 Radiation pattern (H-plane)

참고문헌

- (1) A. J. Locker, et al., SPIE Smart Structures and Materials 2189, 172 - 183 (1994)
- (2) A. J. Lockyer, et al., Part of the SPIE Conference on Industrial and Commercial Applications of Smart Structures Technologies 3674, 410-424 (1999)
- (3) C. S. You, et al., Journal of Composite Materials 37(4), 351-364 (2003)
- (4) J. H. Jeon, et al., Mechanics of Composite Materials, 38(5), 447-460 (2002)
- (5) D. M. Pozar, Proceedings of The IEEE. 80(1), 79-91 (1992)
- (6) H. G. Allen, Analysis and Design of Structural Sandwich Panels, (Pergamon Press, Oxford, 1969), p. 1
- (7) D. Zenkert, An Introduction to Sandwich Construction, (EMAS Pub., 1997), p. 1