

복합재료를 이용한 통신용 지능구조물 설계 및 제작 Design and Fabrication of Composite Smart Structures for Communication

유치상*·황운봉**

C. S. You and W. Hwang

Key Words : Smart Structures (지능구조물), Composites (복합재료), Antenna (안테나), Honeycomb Sandwich Structure (허니컴 샌드위치 구조)

ABSTRACT

The present study aims to design electrically and structurally effective antenna structures in order that the structural surface itself could become the antenna. The basic design concept is composite sandwich structure in which microstrip antenna is embedded and this is termed composite smart structure (CSS). The most important outstanding problem is that composite materials of structural function cannot be used without reducing antenna efficiency. Unfortunately, such materials have high electrical loss. This is a significant design problem that needs to be solved in practical applications. Therefore, the effect of composites facesheet on antenna performances is studied in the first stage. Changes in the gain of microstrip antenna due to composites facesheet have been determined. 'Open condition' is defined when gain is maximized and is a significant new concept in the design of high-gain antennas considering bandwidth in practical application. The open condition can be made with any thickness of outer facesheet by controlling its position. In the design of CSS, glass/epoxy composites and Nomex honeycomb were used with exploiting open condition. Experiments confirm that the gain is improved (over 11 dBi) and the bandwidth is also as wide as specified in our requirements (over 10% at 12.2 GHz). With the open condition, wideband antenna can be integrated with mechanical structures without reducing any electrical performances, as confirmed experimentally here.

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 증가시킴과 동시에 안테나의 기능을 향상 시키고자하는 연구가 1990년대 초부터 시작되어 현재까지 활발히 진행되고 있다. Fig. 1에서와 같은 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. 이러한 지능구조물의 실제 적용에 있어서의 결정적인 어려움은 기계적 성능을 위해 사용된 구조재료의 전기적 성질 때문에 안테나의 효율이 낮아진다는 것이다.

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

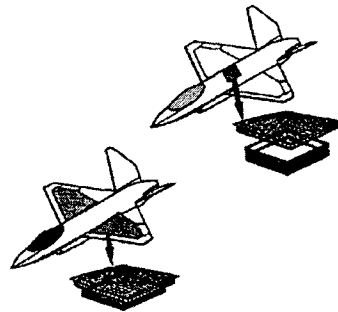


Figure 1. 항공기 날개 및 동체에 스마트 스킨 적용

* 포항공과대학교 기계공학과
E-mail : chees@postech.ac.kr
Tel : (054) 279-2835, Fax : (054) 279-5899

** 포항공과대학교 기계공학과

2. 기본 구조

복합재료 지능구조물의 기본구조는 Fig. 2 와 같다. 면재로 사용된 복합재료와 심재로 사용된 노멕스 허니컴으로 이루어진 샌드위치 구조물의 아래 면재와 심재 사이에 마이크로스트립 안테나가 삽입된 형태로서 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 두께와 심재의 두께는 설계 변수로서 안테나의 이득과 대역폭을 고려하여 최대의 전기적 효율을 얻을 수 있도록 결정되어야 한다.

3. 설계 과정

설계한 안테나는 Fig. 3 에서와 같이 넓은 대역폭을 위하여 두개의 방사소자가 2.54 mm 의 얇은 허니컴을 사이에 두고 아래 위로 있으며 아래의 방사소자에 급전선이 연결되어 있고 그 아래에는 접지면이 있다. 전기적 성질이 좋은 Duroid 5880(Rogers co.)을 안테나 재료로 사용하였으며 이는 기계적으로는 두께 방향으로의, 하중 전달에만 기여를 한다.

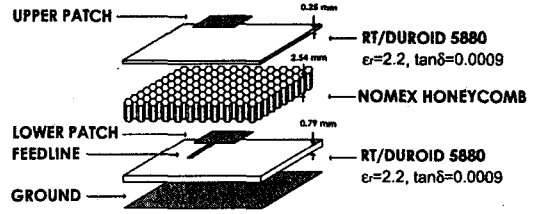


Figure 3. 이중패치 마이크로스트립 안테나

안테나 설계 이후에 전체 구조의 최대 안테나 성능을 위하여 복합재료 면재와 허니컴의 크기를 결정해야한다. 본 논문에서는 유리섬유/에폭시 복합재료를 면재로 사용하였다. 면재의 두께와 허니컴의 두께를 결정하는데 있어서는 신호의 투과/반사법을 이용한 열린상태 개념[8]을 이용하였다. 열린상태는 안테나 위의 복합재료 면재의 위치를 이용하여 안테나의 이득이 최대인 상태로 만드는 개념이다.

Fig. 4 는 면재의 위치와 안테나를 보여주고 있는데, 여기서 반사계수 Γ_t 가 1 일 때가 열린상태로서 Fig. 5 에서는 열린상태일 때의 면재의 두께와 위치의 관계를 보여준다.

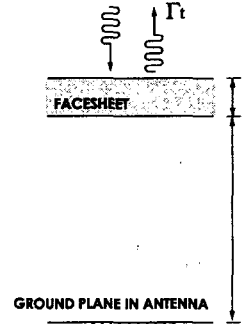


Figure 4. 안테나와 복합재료 면재

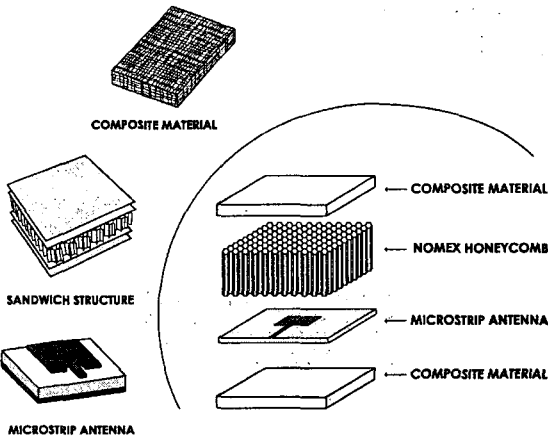


Figure 2. 복합재료 지능구조물 기본구조

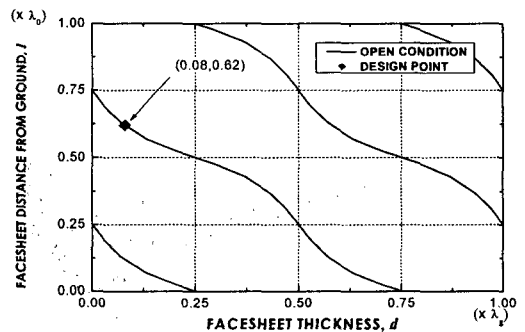


Figure 5. 열린상태에서의 면재의 두께와 위치와의 관계

본 논문에서 설계 제작한 복합재료 지능구조물은 1GHz 이상의 대역폭을 위하여 유리섬유/에폭시 면재의 두께를 1mm(0.08 λ_g)로 결정하였으며, 이때의 최대 이득을 위한 면재의 위치는 Fig. 5의 열린상태 개념을 이용하면 접지면에서부터 0.62 λ_0 의 거리에 있어야 한다.

실제 열린상태에서 면재의 위치는 이론적으로 구한 위치보다 더 낮게 나오는데 그 이유는 면재 아래 즉, 안테나와 면재 사이 공간에서의 높은 정체파의 영향으로 그 공간이 완전한 공기중의 상태와 다르기 때문이다. 그러므로 실제 면재의 위치는 이론에서 구한 위치에서부터 조금씩 변화시켜 가면서 최대 이득이 되는 위치를 찾아야 한다. 본 연구에서는 면재 아래 허니콤의 두께가 10mm 일 때 최대 이득값을 얻을 수 있었다.

Fig. 6은 최종 설계 이후에 복합재료 지능구조물의 제작 과정을 나타낸다.

4. 실험

복합재료 지능구조물의 제작 후에 안테나 성능을 측정하여 본 지능구조물이 구조적인 역할 뿐만

아니라 안테나로서 전기적 손실 없이 그 기능을 수행할 수 있음을 확인 하였다. 안테나 포트에서의 반사계수 측정은 Network Analyzer 8510을 이용하였으며, 방사패턴은 포항공대 Compact Range에서 측정하였다.

Fig. 7은 안테나 반사계수 성능을 보여준다. 안테나 자체만의 반사계수 특성에 비해서 지능구조물에서의 특성이 약간 변화였지만, 11.7에서 12.75 GHz의 원하는 대역폭을 만족함을 알 수 있다.

Fig. 8은 안테나 방사성능을 보여준다. 방사패턴만을 보면 안테나의 방사패턴에 비해서 지능구조물의 방사패턴이 더 좁아졌는데, 이는 안테나 위의 복합재료 면재의 영향으로 열린상태가 구현이 되어 본래 안테나에 비해서 이득이 높아졌음을 의미한다. 지능구조물의 구조적인 영향으로 안테나의 이득은 8.2에서 11.2 dBi로 증가하였다.

반사계수에 의한 대역폭 뿐만 아니라 그 대역폭 내에서 안테나의 방사성능이 변하지 않음을 확인해야 한다. Fig. 9은 대역폭 내에서 방사성능이 어느정도 변하는지를 나타낸다. 본 그림을 통해서 대역폭 내에서 방사패턴이나 이득값이 거의 변하지 않아 반사계수에 대한 대역폭 뿐만 아니라 방사성능에 대한 대역폭도 만족함을 알 수 있다.

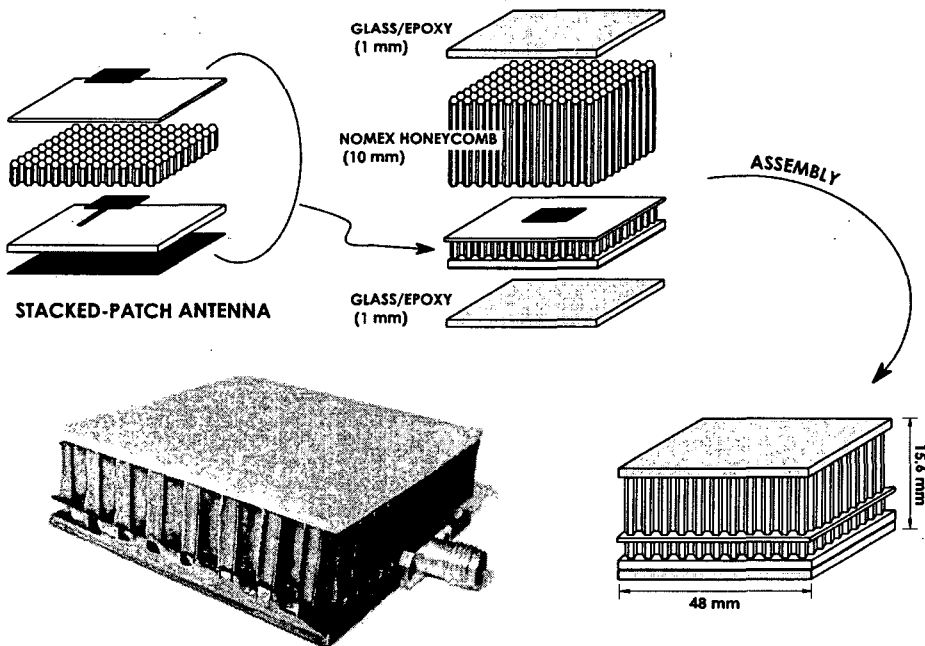


Figure 6. 복합재료 지능구조물의 제작

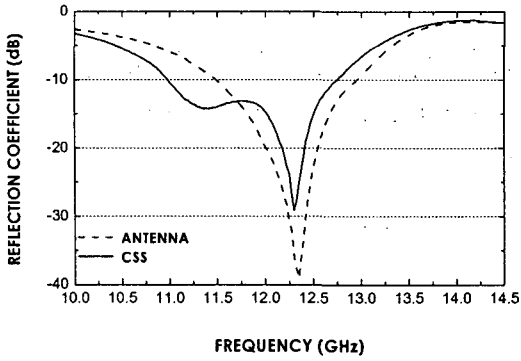


Figure 7. 반사계수 특성

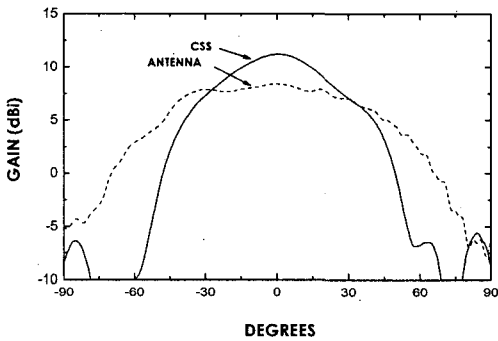


Figure 8. 방사 특성

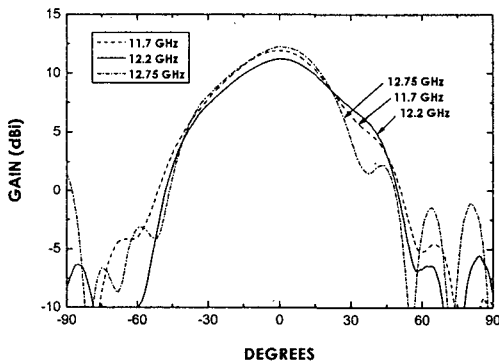


Figure 9. 대역폭 내에서의 방사패턴 특성

5. 결론

본 논문에서는 안테나 성능을 갖는 복합재료 지능구조물의 구조재료에 의한 전기적 손실을 없애기 위하여 면재로 사용한 유리섬유/에폭시 복합재료와 심재로 사용한 노맥스 허니컴의 두께를 열린상태 개념을 이용하여 결정하였다. 제작한 지능구조물은 삽입전의 안테나만의 성능과 비교할 때 반사계수 특성은 변함이 없었으며, 방사 성능에서는 구조적인 효과에 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.

참고 문헌

- (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)
- (7) D. Zenkert, An Introduction to Sandwich Construction, (EMAS Pub., 1997)
- (8) C. S. You, Design and Fabrication of Composite Smart Structures for Communication, Chap. 2: Effect of a Dielectric Cover on Microstrip Antennas by T/R Methods, PH. D. Dissertation, Pohang University of Science and Technology, 2004

Fi