

논문 2011-2-6

복합 구조 이중대역 안테나의 충격 및 굽힘 특성

Impact and Bending Characteristics of Dual Band Composite Antennas

신동식*, 김진율**, 박위상**, 황운봉***

Dongsik Shin, Jinyul Kim, Weesang Park, Woonbong Hwang

요 약 본 논문에서는 복합재 샌드위치 구조를 가지는 이중대역(1.575, 2.645 GHz) 안테나의 충격 및 굽힘 특성에 관하여 연구하였다. 평면형 안테나에 복합재료인 Carbon Fiber Reinforced Plastic, Glass Fiber Reinforce Plastic을 접착하여 기계적 성능을 향상시킬 수 있다. 시험 규격 ASTM D7137에 따라 충격 시험과 시험규격 ASTM C393, MIL-STD401B에 따라 굽힘 시험을 실시한 후, S11 및 이득 측정을 통하여 안테나의 전기적 성능과 기계적 성능을 확인하였다. 제안된 안테나는 복합재료 보강 전보다 약 4배인 충격 하중 4 kN, 약 2배인 400 N의 굽힘 하중을 견디며, GPS, DMB 대역에서 6 dBi, 4.6 dBi의 이득을 가진다. 복합재 샌드위치 구조는 구조체 또는 운송체 표면에 적용 가능함을 확인하였다.

Abstract We have studied the impact and bending characteristics of a dual band antenna (1.575, 2.645 GHz) with composite sandwich construction. Mechanical performance of the antenna can be improved by reinforcing the antenna by sandwiching the planar antenna with layers of carbon fiber-reinforced plastic(CFRP) and glass fiber-reinforced plastic(GFRP) using an adhesive film. According to the ASTM D7137, ASTM C393 and MIL-STD401B, impact and bending test were performed and the S-parameters and gains of the antenna were measured in order to verify electrical and mechanical performance. The maximum contact load and the bending load of the antenna are 4 kN and 400 N and gains of the antenna are 6 dBi and 4.6 dBi in the GPS and DMB bands, respectively. The proposed antenna structure can be applied to surfaces of vehicles.

Key words : CLAS, 스마트 스킨 안테나, 다기능 표면 일체형 안테나, 복합재 샌드위치 구조, 복합재료

I. 서 론

최근 신소재에 관한 연구가 진행됨과 함께 운송체 또는 구조체 표면에 적용되는 물질을 대체할 수 있는 복합재료에 관한 연구가 진행되고 있다. 복합재료를 운송체 및 항공기 구조에 적용할 경우, 중량감소, 제작비 절감, 성능 향상 등의 효과를 가진다. 이러한 연구 중 하나로써

Conformal Load-bearing Antenna Structure(CLAS)에 관한 연구가 시작되어, 운송체의 구조물에 부과되는 강도, 강성 등의 구조적인 요구 조건을 만족하는 스마트 스킨의 구현을 위한 연구가 진행되고 있다.^{[1]-[3]}

스마트 스킨을 구현하기 위한 하나의 방법으로 복합재 샌드위치 구조가 제안되었다. 복합재 샌드위치구조는 상하 두면에 복합재료 플레이트, 허니컴 코어를 접착 필름으로 접착한 형태이다. 이와 같이 복합재 샌드위치 구조에 안테나를 삽입함으로써 기계적 성능을 향상시킬 수 있다.^{[4],[5]}

본 논문에서는 복합재료와 접착 필름의 영향을 고려

*준회원, 포항공과대학교 전자전기공학과

**정회원, 포항공과대학교 전자전기공학과

***준회원, 포항공과대학교 기계공학과

접수일자: 2011.3.18, 수정일자: 2011.4.12

게재확정일자: 2011.4.15

한 복합재 샌드위치 구조를 가지며 GPS(주파수 대역 1.563-1.587 GHz), DMB(주파수 대역 2.63~2.655 GHz) 신호를 수신할 수 있는 이중 대역 Annular ring 안테나를 설계하고^[3], 충격 및 굽힘 시험을 통하여 기계적 성능이 향상됨을 확인 하였다. 2장에서는 복합재 샌드위치 구조의 안테나의 전기적 특성을 제시하고, 3장에는 실험 결과로 안테나 특성을 검증하고, 4장에서는 결론을 짓도록 하겠다.

II. 본 론

1. GPS/DMB용 Annual ring 안테나

복합재료로 보강된 Annular ring 안테나 구조는 그림 1과 같으며, FR4 기판(유전율 4.4, 손실 탄젠트 0.02)과 Nomex honeycomb(유전율 1.1)을 사용하였다.

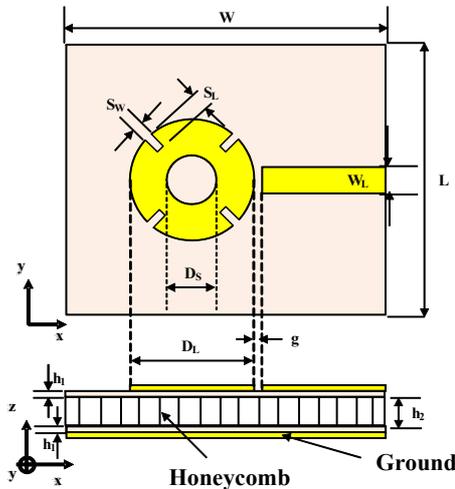


그림 1. Annular ring 안테나 구조
Fig. 1. Annular ring antenna structure

Ring 패치에 TM11모드와 TM21모드를 동시에 여기시키기 위하여 갭 커플링 급전 방식을 이용하였으며, 4개의 슬롯을 이용하여 임피던스를 정합시킬 수 있다.

본 논문에서는 위 안테나를 바탕으로 하여, 다음과 같이 안테나의 윗면과 아랫면을 GFRP와 CFRP로 보강하고, 각 층 사이에 접착필름을 추가하여 충격 및 굽힘 하중 특성을 향상시킬 수 있는 안테나 구조를 제안하였다(그림 2).

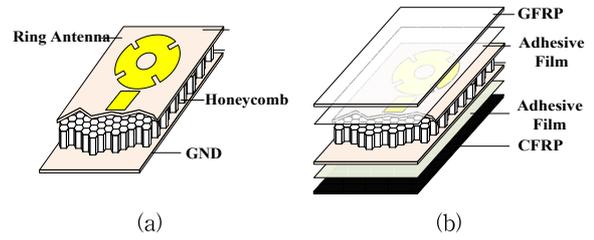


그림 2. 복합 샌드위치 구조 안테나 (a) 보강 전 (b) 보강 후
Fig. 2. Antenna with sandwich construction
(a) Before reinforcement
(b) After reinforcement

두께가 1 mm인 GFRP, 0.8 mm CFRP, 3 mm Honeycomb를 이용하여 복합재 샌드위치 구조를 구성하였다. GFRP는 유리섬유를 0°, 90° 방향으로, CFRP는 탄소섬유를 0°, 90° 방향으로 적층시킨 복합재료이다. Honeycomb는 일정 두께를 가지며 벌집 모양과 같은 생긴 구멍이 뚫려 있는 구조체다. GFRP($\epsilon_r=4$, $\delta=0.03$)와 접착필름의 유전율($\epsilon_r=2.87$, $\delta=0.028$) 때문에, 패치 안테나의 윗면과 중간층 사이에 이들을 삽입할 경우 공진 주파수 이동과 임피던스 부정합을 발생시킨다. CFRP는 탄소로 이루어져있기 때문에 마이크로웨이브 대역에서는 도체와 유사한 특성을 가진다.

GFRP와 접착필름의 영향은 실험적인 데이터를 기반으로 보강하였다. CFRP는 그라운드 밑면에 삽입되고, Honeycomb의 유전율이 1.1이기 때문에 CFRP와 Honeycomb는 안테나 특성에 큰 영향을 미치지 않는다.

표 1. Annular ring 안테나의 파라미터
Table 1. Parameters of the annular ring antenna

변수	값(mm)	변수	값(mm)
W	140	DL	86
L	140	DS	26
h1	0.4	SW	2
h2	2.61	SL	11
g	0.5	WL	13

2. 충격 및 굽힘 시험 개요

복합재 샌드위치 구조형태 안테나의 기계적 성능을 파악하기 위하여, 제안된 안테나의 충격 시험과 굽힘 시험을 하였다.

충격 시험은 ASTM D7137 시험규격에 따라 실시하였다. 규격에 의거하여 적용하중 6.05 kgf, 높이 0.4 m, 속도 2.8 m/s로 에너지 20 J을 적용하였으며, 임의의 3개의 위

치에 대한 충격 시험을 통하여 안테나의 특성 변화를 확인하였다. 그림 3은 충격 시험의 전경을 나타낸다.

굽힘 시험은 그림 4와 같이 MTS사의 Otest 장비를 사용하고 ASTM C393 시험 규격에 따라, 변위제어 3 mm/min의 속도로 실시하였다.

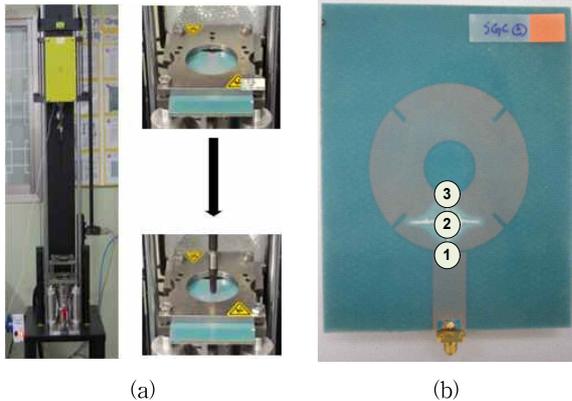


그림 3. 충격 하중 실험 (a) 개요 (b) 충격하중 위치
Fig. 3. Impact test (a) Overview (b) Impact point



그림 4. 굽힘 하중 실험
Fig. 4. Bending test

III. 실험 결과

제안된 안테나의 반사손실을 측정하기 위하여 Network analyzer는 Agilent사의 N5230을 사용하였다.

그림 5와 같이 안테나를 복합재료로 보강을 하면, GFRP와 접착필름으로 인하여 공진주파수가 낮아지게 된다. 표 2는 실험 데이터를 기반으로 재설계한 안테나의 파라미터이다. 그림 6은 복합섬유를 보강하기 전후의 안테나 시편에 대한 충격 시험 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 보강 전에는 1 kN 하중에서 안테나가 파손되지만, 보강 후에는 4 kN 하중을 견디며 가해진 하중에 대해서 안테나가 파손되지 않는다.

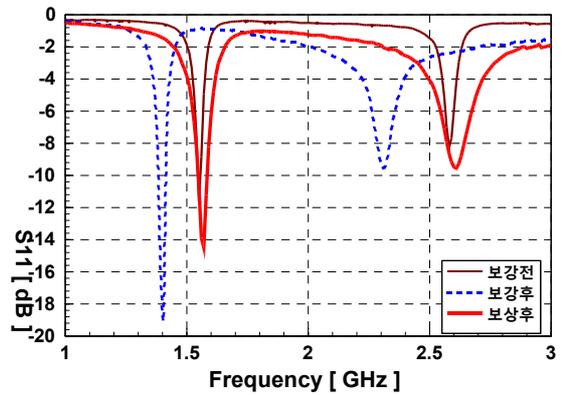


그림 5. 제작된 안테나의 S11
Fig. 5. S11 of the proposed antenna

표 2. 보강된 안테나의 파라미터

Table. 2. Parameters of the compensated antenna

변수	값(mm)	변수	값(mm)
W	140	DL	71.8
L	140	DS	23.6
h1	0.4	SW	2
h2	3	SL	7.88
g	0.5	WL	15

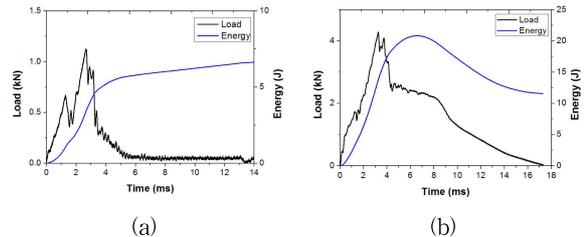


그림 6. 충격 실험 결과 (a) 보강 전 (b) 보강 후
Fig. 6. Impact test results
(a) Before reinforcement
(b) After reinforcement

그림 7은 복합재료 보강 전과 보강 후 그림 3과 같이 위치 1, 2, 3에 하중을 가한 후의 S₁₁을 비교한 것이다. 특히 위치 1은 안테나 급전부분이기 때문에 위치 2, 3에 비해서 S₁₁ 특성이 더 크게 변한다. 하지만 보강 후에는 위치 1에 4 kN의 충격하중을 가하여도 S₁₁ 특성이 크게 변하지 않았고, 위치 2, 3 또한 크게 변하지 않았다. 그림 8과 그림 9는 충격시험 전 후의 방사패턴을 GPS 대역과 DMB 대역에서 측정한 것이다. 복합재료로 보강하지 않

을 경우, 두 대역 모두 패턴이 일그러지고 이득이 크게 감소하지만, 복합재료 보강 후 약 0.5~1 dB의 이득이 감소하지만 패턴이 일그러지지 않으며 통신을 위한 기준 4 dBi를 만족한다.

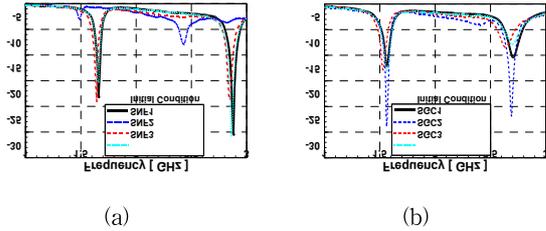


그림 7. S11 비교 (a) 충격 실험 전 (b) 충격 실험 후
Fig. 7. Comparison of S11 (a) Before impact test (b) After impact test

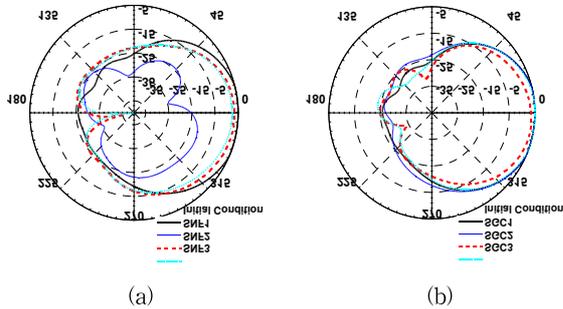


그림 8. GPS대역 방사패턴 비교 (a) 충격 실험 전 (b) 충격 실험 후
Fig. 8. Comparison of radiation patterns in GPS band (a) Before impact test (b) After impact test

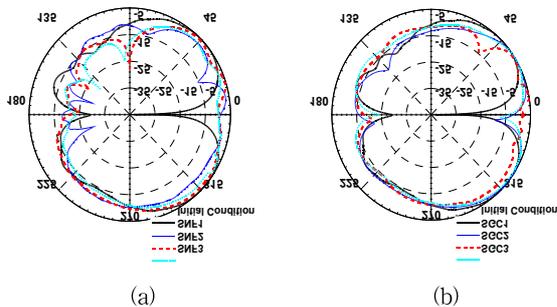


그림 9. DMB대역 방사패턴 비교 (a) 충격 실험 전 (b) 충격 실험 후
Fig. 9. Comparison of radiation patterns in DMB band (a) Before impact test (b) After impact test

표. 3 GPS, DMB 대역 이득 비교

Table 3. Comparison of the gain in GPS and DMB bands

	GPS		DMB	
	SNF	SGC	SNF	SGC
Initial	6.05	6.05	5.2	5.2
1	-11.09	6.18	3.1	4.5
2	3.37	5.95	4.1	4.3
3	2.38	5.55	4	4.6

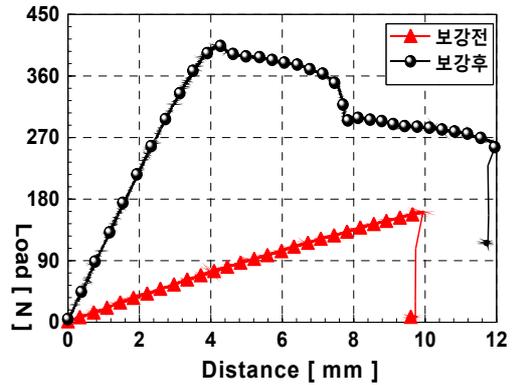


그림 10. 측정된 굽힘 하중
Fig. 10. Measured bending characteristics

굽힘 시험의 결과는 그림 10에서 보는 것과 같이 복합재료로 보강하지 않았을 경우 최대 160 N 굽힘 하중을 나타내었고, 변위가 10 mm에서 안테나가 파손되는 것을 확인하였다. 복합재료가 보강된 시편은 최대 400 N의 하중을 나타내었고, 보강 전후 결과가 2배 이상 향상되었다.

IV. 결론

본 논문에서는 복합재 샌드위치 구조를 가지는 안테나의 충격 하중, 굽힘 하중 특성에 대하여 연구하였다. 제안된 안테나의 기계적 성능은 4 kN의 충격 하중, 400 N의 굽힘 하중을 견디며, 동시에 GPS, DMB 대역에서 6 dBi와 4.6 dBi의 이득을 가진다. 복합재료로 안테나를 보강할 경우, 외부 요인에 의한 충격으로부터 안테나를 보호할 수 있음을 확인하였다. 본 논문에서 제안된 구조는 구조체 또는 운송체 표면에 적용 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] J. Tuss et al., "Conformal loadbearing antenna structure," 37th AIAA SDM conference, Salt Lake City, UT, AIAA-96-1415-CP, pp. 836-843, 1996.
- [2] Lockyer AJ, Alt KH, Coughlin DP, Durham MD, Kudva JN., "Design and development of a conformal loadbearing smart-skin antenna: overview of the AFRL smart skin structures technology demonstration (S3TD)," SPIE Smart Struct Mater: Ind Commercial Appl Smart Struct Technol 1999, 3674 : 410.24.
- [3] J. N. Kudva, D. Kane, B. P. Hill, C. A. Martin, "A qualitative assessment of smart skins and avionics/structures integration," SPIE Smart Struct Mater: Smart Mater, 2189,pp. 172-83, 1994.
- [4] Kudva JN, Kane D, Hill BP, Martin CA., "A qualitative assessment of smart skins and avionics/structures integration," SPIE Smart Struct Mater: Smart Mater 1994, 2189 : 172.83.
- [5] You CS, Hwang W, Park HC, Lee RM, Park WS, "Microstrip antenna for SAR application with composite sandwich construction: surface antenna structure demonstration," J Compos Mater 2003, 37(4):351.64.
- [6] 김재희, 우대웅, 박위상, "커플링 급전을 이용한 이중 모드 Annular Ring 안테나 설계," 한국전자과학기술논문지, 제 20권, 제 4호, pp.351-356, 4월, 2009년.

※ 본 연구는 교육 과학 기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임.

※ 이 논문은 2011년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

저자 소개

신 동 식(준회원)



- 2009년 2월: 강원대학교 전기전자공학과 (공학사)
 - 2009년 3월 ~ 현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 통합과정
- <주관심분야 : 복합 구조 안테나 , Artificial material>

박 위 상(정회원)



- 1974년 2월: 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
 - 1982년 6월: University of Wisconsin - Madison 전자공학과 (공학석사)
 - 1986년 8월: University of Wisconsin - Madison 전자공학과 (공학박사)
 - 1984년 1월 ~ 1986년 8월: University of Wisconsin -Madison, TA 및 RA
 - 1986년 8월 ~ 현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수
- <주관심분야 : Small metamaterial antennas, antenna optimization, frequency selective surfaces, coupling of guided waves, wireless power transfer>

김 진 율(준회원)



- 2005년 2월: 경일대학교 토목공학과 (공학사)
- 2007년 8월: 성균관대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2010년 9월 ~ 현재: 포항공과대학교 기계공학과 박사과정

<주관심분야 : Composite materials,
RF-Integrated mechanical structures>

황 운 봉(준회원)



- 1982년 2월: 한양대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1985년 2월: 미국 State Univ. of New York at Buffalo 기계항공공학과 (공학석사)
- 1988년 2월: 미국 State Univ. of New York at Buffalo 기계항공공학과 (공학박사)

• 1988년 2월 ~ 1989년 2월: 포항공과대학교 기계공학과 연구원

• 1989년 3월 ~ 현재: 포항공과대학교 기계공학과 교수

<주관심분야 : Composite materials, Nanomechanics with nanosized honeycomb, RF-Integrated mechanical structures>