

## 2~18 GHz 광대역 캐비티 백 스파이럴 안테나 설계

### Design of a 2~18 GHz Wideband Cavity-Backed Spiral Antenna

조정래 · 박진오\* · 유병석\* · 정운섭\*\* · 정우성\*\* · 박동철

Jung-Rae Cho · Jin-Oh Park\* · Byung-Sek You\* · Un-Seob Jeong\*\* ·  
Woo-Sung Chung\*\* · Dong-Chul Park

#### 요 약

본 논문에서는 2~18 GHz 광대역 캐비티 백 스파이럴 안테나 설계에 대하여 기술하였다. Archimedean 스파이럴 안테나의 설계 기법을 바탕으로 스파이럴 안테나의 암 패턴과 백 캐비티를 설계하고, CST사의 MWS를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션을 통하여 안테나의 VSWR, 축비(axial ratio) 그리고 반전력 빔 폭을 고찰하였다. 또한, 동작 대역에서 요구되는 VSWR 특성을 만족시키는 Marchand 동축형 밸런을 설계하였다. 최종적으로 제작 및 측정을 통해 안테나의 성능 및 설계 방법의 타당성을 검증하였다.

#### Abstract

In this paper, design of a 2~18 GHz wideband cavity-backed spiral antenna is investigated. Firstly, an arm pattern and a backing cavity of a cavity-backed spiral antenna are designed based on the design theory of an Archimedean spiral antenna as well as by using CST's MWS. VSWR, axial ratio, and HPBW(Half Power Beam Width) characteristics are considered in the simulation. Secondly, a Marchand coaxial balun is designed to meet the required VSWR within the frequency band of operation. Finally, the validity of these approaches is verified by comparing the simulated results with measured ones.

Key words : Wideband Cavity-Backed Spiral Antenna, Marchand Balun

#### I. 서 론

현대전에서는 광대역 주파수 범위의 위협 신호를 탐지, 식별 및 방해하는 전술이 매우 중요한 수단으로 사용되고 있다. 스파이럴 안테나는 소형, 경량일 뿐만 아니라 광대역 특성을 갖기 때문에 항공기 및 헬기 등에 장착되는 ES(Electronic Support) 장비 및 레이더 경보 수신기용 전자파 센서로 널리 사용되고 있다.

일반적인 안테나는 주파수가 변화하면 안테나의 전기적인 크기, 임피던스 및 복사 패턴이 달라진다.

따라서 안테나의 물리적인 크기가 정해지면 사용 주파수 범위가 제한되게 된다. 이에 반해 임피던스, 복사 패턴 등이 넓은 주파수 대역에서 크게 변하지 않는 안테나를 주파수 독립 안테나(frequency independent antenna)라고 부르며, 스파이럴 안테나가 이에 속한다. 스파이럴 안테나는 주파수에 따른 안테나의 길이 변화를 주회 각도로 표현할 수 있기 때문에 안테나의 물리적인 크기 변화를 회전 각도의 변화로 대체할 수 있어 광대역에서 사용될 수 있다<sup>[1]~[4]</sup>.

광대역 캐비티 백 스파이럴 안테나는 현재 국외에 많은 상용품들이 나와 있지만 국내에서는 이를

「본 논문은 KHP 사업 위탁연구과제 연구비 지원에 의하여 수행되었음.」

충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

\*LIG넥스원(LIG NEXI Co.)

\*\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20080818-108

· 수정완료일자 : 2008년 10월 2일

수입하여 사용하고 있으며, 연구 개발된 사례가 없다. 이 연구는 상용화에 준하여 연구되었으며, 광대역 캐비티 백 스파이럴 안테나의 국산화에 큰 기여를 할 것이다.

스파이럴 안테나는 일반적으로 양 방향 전파 방사가 가능한 스파이럴 암(arm)을 유전체 기판 위에 에칭(etching)시키고, 캐비티(cavity)와 흡수체를 이용하여 한 쪽 방향의 방사를 막아 안테나 패턴 앞쪽 방향으로만 방사되도록 한다<sup>[4]</sup>. 이러한 캐비티 백 스파이럴 안테나의 구조를 그림 1에 나타내었다. 캐비티 백 스파이럴 안테나는 그림 1에서와 같이 스파이럴 암, 백 캐비티, 밸런의 세부분으로 나뉜다.

본 논문에서는 2~18 GHz 광대역에서 동작하는 캐비티 백 스파이럴 안테나의 설계에 대해 기술하였다. 먼저 Archimedean 스파이럴 안테나의 설계 이론<sup>[5]</sup>을 바탕으로 스파이럴 안테나의 암 패턴을 설계하고, 이에 백 캐비티를 추가하여 시뮬레이션 하였다. 또한, 급전용 밸런으로 Marchand 동축형 밸런의 설계 이론<sup>[6]-[8]</sup>을 이해하고 설계 주파수 대역과 VSWR 특성을 만족시키는 광대역 밸런을 설계하고 안테나와 결합시켜 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과로는 안테나의 VSWR, 반전력 빔 폭 그리고 축비를 고찰하였다. 마지막으로 제작 및 측정을 통해 설계 기법과 안테나의 성능을 검증하였다.

## II. 스파이럴 안테나의 설계 이론

본 논문에서 제안한 캐비티 백 스파이럴 안테나의 구조는 그림 1과 같으며, 스파이럴 암 패턴과 Marchand 밸런으로 분류하여 설계하였다.

### 2-1 스파이럴 암 패턴

그림 2는 스파이럴 안테나의 암 패턴이며, 기본 설계 변수로는 스파이럴 암의 너비( $w$ )와 암간 간격( $s$ )이 있고, 암 패턴의 반지름  $r_1$ 과  $r_2$ 가 있다. 또한, 이에 따라 결정되는 되는 턴 수( $N$ )도 하나의 중요한 변수가 된다.

암 폭과 암 간격은 턴 수가 정해질 경우, 식 (1)에 의해 결정될 수 있고, self-complementary 구조인 경우 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$(s + w)2N = r_2 - r_1 \quad (1)$$

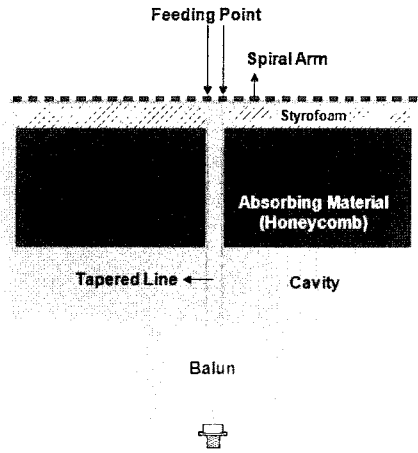


그림 1. 캐비티 백 스파이럴 안테나의 구조  
Fig. 1. The structure of cavity-backed spiral antenna.

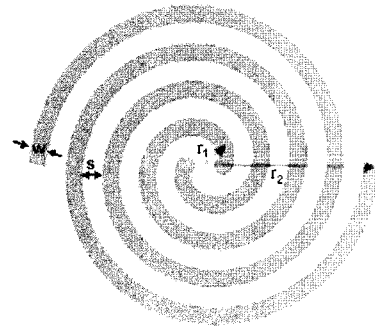


그림 2. 스파이럴 안테나의 암 패턴  
Fig. 2. An arm pattern of spiral antenna.

$$s = w = \frac{r_2 - r_1}{4N} \quad (2)$$

반지름  $r_1$ 과  $r_2$ 는 식 (3)과 같이 동작 주파수의 상한 주파수와 하한 주파수에 의해 결정될 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$r_1 \leq \frac{c}{2\pi f_{high}}, \quad r_2 \geq \frac{c}{2\pi f_{low}} \quad (3)$$

본 논문의 2~18 GHz 대역에서  $r_1 \leq 2.652$  mm,  $r_2 \geq 23.87$  mm이어야 한다.

### 2-2 Marchand 밸런

밸런(Balun: Balance-to-unbalanced transmission line)은 불평형 선로와 평형 선로를 연결하여 주는 일종의 임피던스 변환기로서 평형 출력단의 전류 특성은 서로 신호 세기가 같고 180°의 위상차를 갖는다.

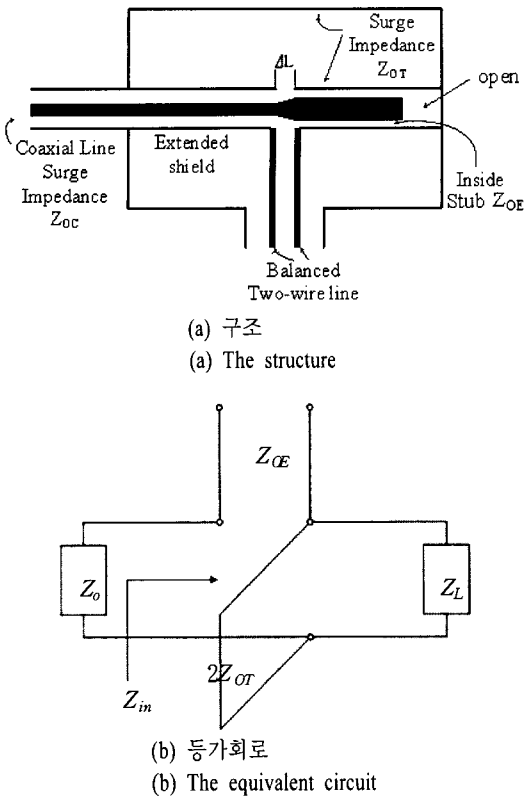


그림 3. Marchand 밸런의 구조와 등가회로  
 Fig. 3. The structure and the equivalent circuit of Marchand balun.

Marchand 동축형 밸런은 주파수 대역이 약 9:1 정도이고, 임피던스 정합 특성 및 평형 출력 특성이 우수하여 스파이럴 안테나에 많이 사용된다. 본 연구에서 사용된 Marchand 동축형 밸런의 구조와 등가회로를 그림 3에 나타내었다.

이 구조의 특징은 두 개의 단락 스테브와 하나의 개방 스테브가 각각 병렬과 직렬로 회로에 연결되어 있다. 이러한 구조에서 좋은 주파수 응답 특성을 갖기 위해 입력 임피던스의 크기와 위상이 광대역에 걸쳐 일정해야 한다. 이를 위한 단락 스테브의 특성 임피던스  $Z_{or}$ 와 개방 스테브의 특성 임피던스  $Z_{oe}$ 를 아래 수식을 이용하여 결정한다<sup>[6],[7]</sup>. 그림 3(a)에서  $\Delta L$ 은 두 개의 단락 스테브 사이의 내부 도체 간격이 되며, 본 연구에서는 two-wire가 구현된 쌍 스트립 기판 두께가 된다.

$$\left. \frac{dZ_{in}}{df} \right|_{at f=f_0} = \frac{Z_L^2 - 2Z_{or}Z_{OE}}{j2Z_{or}} = 0 \quad (4)$$

$$\therefore Z_{OE} = \frac{Z_L^2}{2Z_{or}} \quad (5)$$

### III. 캐비티 백 스파이럴 안테나 시뮬레이션

앞에서 언급된 설계 이론을 바탕으로 설계된 스파이럴 암 패턴을 CST사의 MWS로 시뮬레이션 하였다. 설계된 스파이럴 암 패턴에 백 캐비티와 캐비티 내에 흡수체를 추가하여 시뮬레이션 하였고 VS-WR 특성을 고찰하였다. 또한, 설계된 Marchand 밸런을 시뮬레이션하여 VSWR을 고찰하고, 캐비티 백 스파이럴 안테나와 결합시켜 최종 시뮬레이션을 하였다.

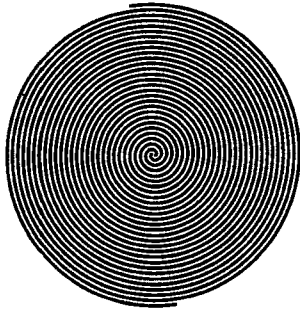
#### 3-1 스파이럴 암 패턴 및 백 캐비티

CST사의 MWS를 이용하여 백 캐비티가 없는 스파이럴 암 패턴을 시뮬레이션 하였다. 그림 2에서의  $r_1$ 과  $r_2$  각각 0.45 mm와 27.75 mm로 하였고, 식 (2)에서 스파이럴 암 폭과 암간 간격에 따른 턴 수의 변화를 고려하며 암 폭과 암간 간격에 따른 시뮬레이션을 수행하였다. 결과로 암 폭과 암간 간격을 0.5 mm로 정하였다. 그림 4(a)에 설계된 스파이럴 안테나 암 패턴의 MWS 모델을 나타내었다. 또한, 설계된 암 패턴에 백 캐비티를 추가하고 캐비티 내에 흡수체를 채워 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 흡수체의 유전율과 손실 탄젠트는 각각 1.5와 0.5로 설정하였다. 그림 4(b)에 백 캐비티가 추가된 스파이럴 안테나의 MWS 모델을 나타내었다. 안테나의 입력 포트는 암 패턴의 시작점에 180° 위상차를 주기 위해 discrete port로 설정하였다. 안테나의 입력 임피던스는 시뮬레이션을 통하여 100 Ω으로 결정하였다. 입력 포트의 임피던스에 따른 시뮬레이션 결과를 그림 5와 같이 스미스 차트에 도시하였다.

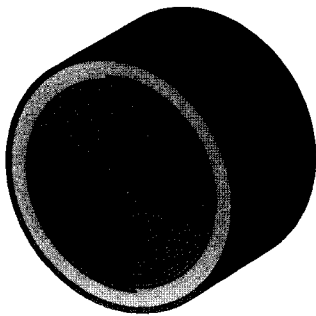
그림 6은 설계된 스파이럴 안테나의 암 패턴의 VSWR과 캐비티가 추가된 스파이럴 안테나의 VS-WR 특성이다. 동작 대역에서 1.8 이하의 특성을 보인다.

#### 3-2 Marchand 밸런

앞에서 언급했듯이 Marchand 동축형 밸런에서 좋은 주파수 응답 특성을 갖기 위해 동작 대역에서 입



(a) 암 패턴  
(a) An arm pattern



(b) 캐비티 백 스파이럴 안테나  
(b) A cavity-backed spiral antenna

그림 4. 설계된 스파이럴 안테나의 MWS 모델  
Fig. 4. A MWS model of a designed spiral antenna.

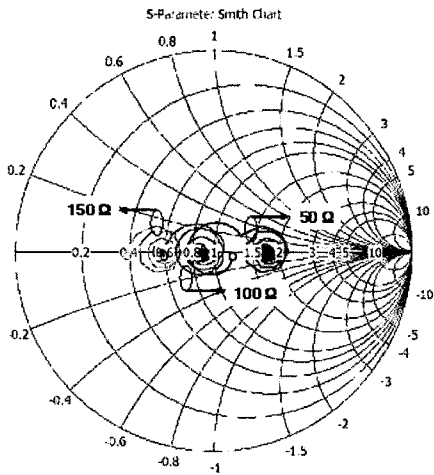


그림 5. 입력 임피던스 변화에 따른  $S_{11}$  특성  
Fig. 5.  $S_{11}$  characteristic vs. input impedance.

력 임피던스의 크기와 위상이 일정해야 한다. 본 연구에서는 식 (5)를 이용하여 2~18 GHz 대역에 적합

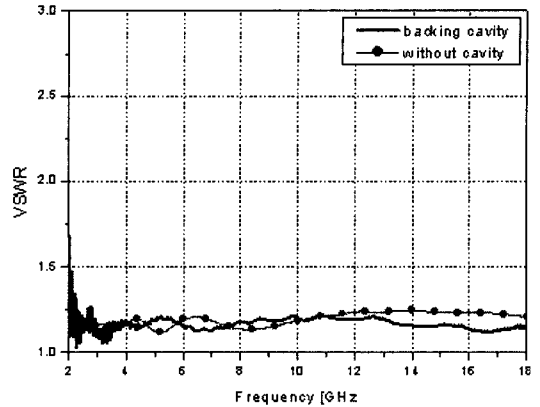


그림 6. 스파이럴 안테나의 VSWR 시뮬레이션 결과  
Fig. 6. Simulated VSWR of spiral antenna.

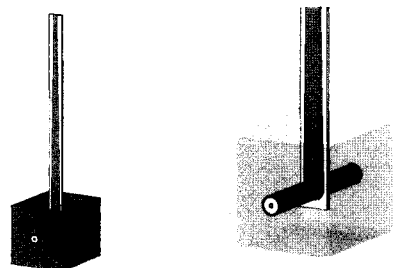
한  $Z_{OT}$ 와  $Z_{OE}$ 를 찾고, 제작시 사용될 입력단의 동축 케이블 규격에 따라 개방 스테브의 내부 도체 및 shield 사이즈를 결정하였다<sup>8)</sup>. 밸런의 종단 임피던스는 안테나의 입력 임피던스와 동일해야 하며, 본 연구에서는 100 Ω으로 설계하였다. 설계된 Marchand 밸런을 그림 7에 나타내었다.

그림 8은 설계된 밸런의 VSWR 특성이며, 동작 대역에서 2 이하의 특성을 보인다.

### 3-3 밸런이 추가된 캐비티 백 스파이럴 안테나

그림 9는 앞에서 설계된 캐비티 백 스파이럴 안테나와 Marchand 밸런을 연결하여 최종적으로 설계된 안테나의 단면도를 보인다.

그림 10은 밸런을 추가하여 최종적으로 설계된 캐비티 백 스파이럴 안테나의 VSWR 특성이다. 안



(a) Marchand 밸런 (b) Shield 내부 동축 케이블  
(a) A Marchand balun (b) A coaxial cable in the shield

그림 7. 설계된 Marchand 밸런의 MWS 모델  
Fig. 7. A MWS model of a designed Marchand balun.

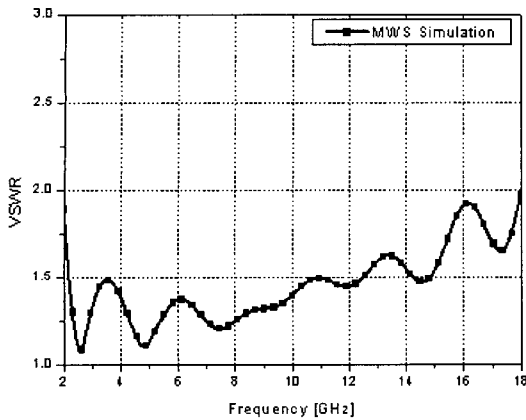


그림 8. Marchand 밸런의 VSWR 시뮬레이션 결과  
Fig. 8. Simulated VSWR of Marchand balun.

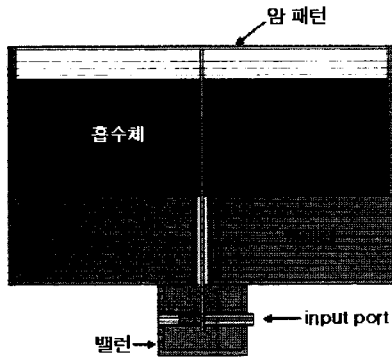


그림 9. 캐비티 백 스파이럴 안테나의 단면도  
Fig. 9. A cross section of cavity-backed spiral antenna.

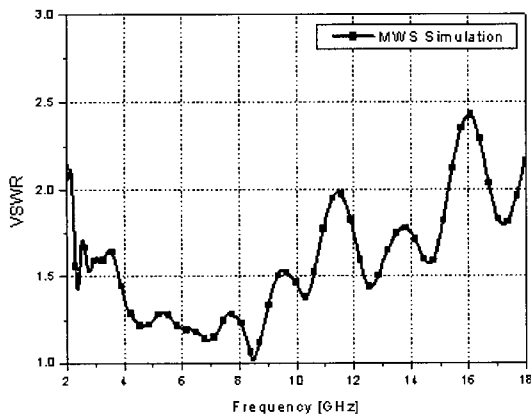


그림 10. 캐비티 백 스파이럴 안테나의 시뮬레이션  
된 VSWR 특성  
Fig. 10. Simulated VSWR of cavity-backed spiral antenna.

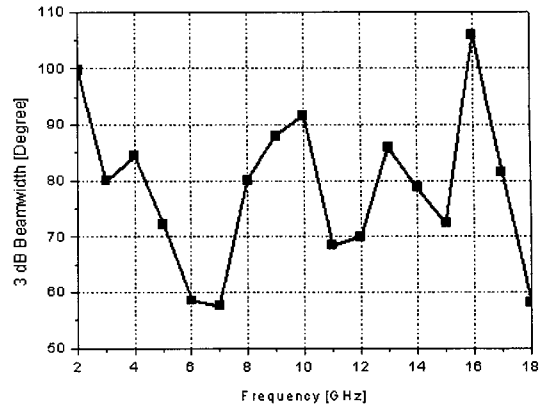


그림 11. 캐비티 백 스파이럴 안테나의 시뮬레이션  
된 반전력 빔 폭 특성  
Fig. 11. Simulated HPBW of cavity-backed spiral antenna.

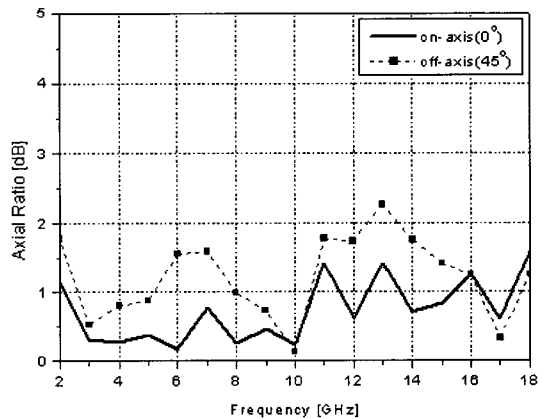


그림 12. 캐비티 백 스파이럴 안테나의 시뮬레이션  
된 축비 특성  
Fig. 12. Simulated axial ratio of cavity-backed spiral antenna.

테나부와 밸런부가 합쳐지면서 안테나만의 VSWR 특성보다는 좋지 못하지만, 전 동작 대역에서 상용 안테나에 준하는 2.5 이하의 특성을 보인다.

설계된 안테나의 주파수에 따른 반전력 빔 폭과 축비 특성을 그림 11과 12에 각각 나타내었다. 반전력 빔 폭은 약 58~106°의 특성을 가지며, 축비는 on-axis(0°)에서 0.18~1.58 dB, off-axis(45°)에서 0.13~2.24 dB의 특성을 갖는다.

그림 13은 밸런을 추가하여 최종적으로 설계된 캐비티 백 스파이럴 안테나의 방사 패턴을 2, 6, 10, 14 그리고 18 GHz에서 나타낸 것이다.

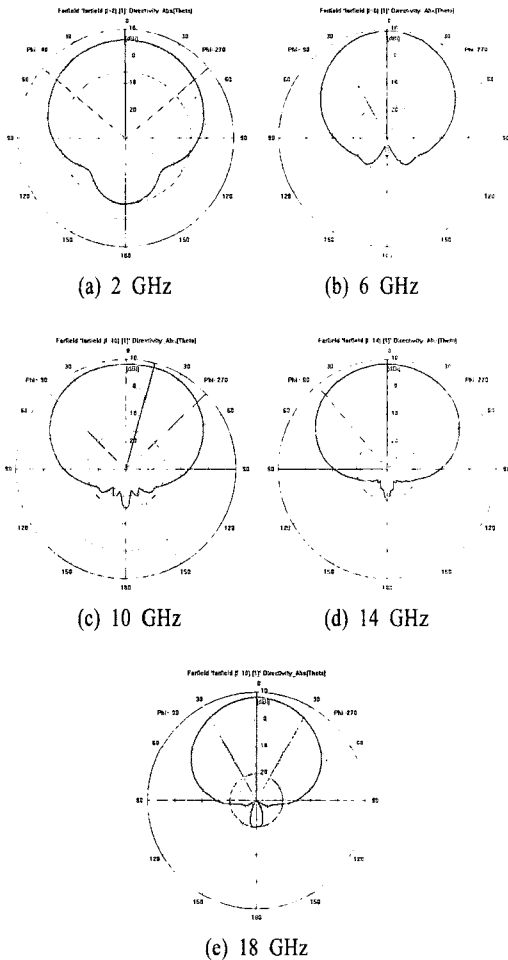


그림 13. 시뮬레이션된 안테나의 방사 패턴  
Fig. 13. Simulated radiation pattern of antenna.

#### IV. 제작 및 측정

그림 14는 제작된 캐비티 백 스파이럴 안테나의 사진이다. 실제 제작에서 흡수체로 honeycomb 흡수체를 사용하였다. 그림 15에 VSWR 특성의 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 경향이 잘 일치하며, 동작 대역에서 약 2.5 이하의 특성을 갖는다.

그림 16은 측정된 캐비티 백 스파이럴 안테나의 방사 패턴을 2, 6, 10, 14 그리고 18 GHz에서 나타낸 것이다. 2 GHz에서 VSWR이 2.5보다 크고 방사 패턴 결과가 시뮬레이션 결과와 잘 일치하지 않는 것은 제작시 사용된 흡수체가 뒤로 방사된 2 GHz 전파를 이상적으로 흡수시키지 못하여 백 캐비티에서 반사된 전파가 앞으로 방사되는 주빔과 간섭을 일으키기

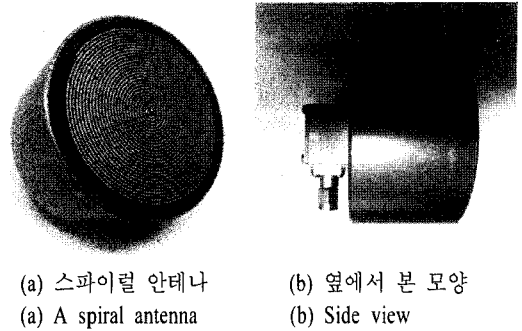


그림 14. 제작된 캐비티 백 스파이럴 안테나  
Fig. 14. A fabricated cavity-backed spiral antenna.

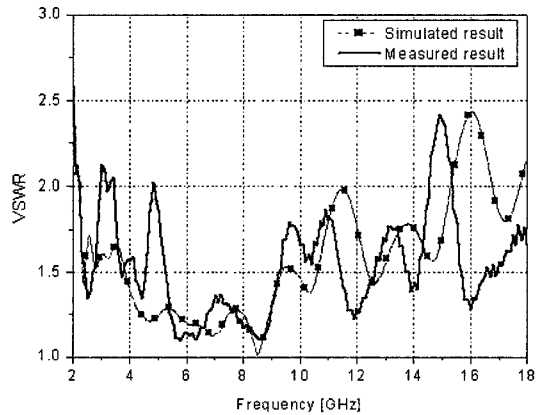


그림 15. 시뮬레이션 및 측정된 VSWR 비교  
Fig. 15. Comparison of simulated and measured VSWR.

때문이다.

그림 17은 측정된 캐비티 백 스파이럴 안테나의 이득을 보여주고, 그림 18 그리고 19는 각각 반전력 범 폭과 축비 특성의 측정 결과를 시뮬레이션 결과와 비교하여 보여주고 있다. 제작시 사용된 흡수체와 시뮬레이션에 사용된 흡수체의 전기적 특성 차이로 인하여 오차가 있지만, 대체적으로 동작 대역에서 상용품에 준하는 특성을 보인다. 측정 결과의 저주파에서 나타난 이득과 축비의 좋지 못한 특성은 앞에서 언급하였듯이 제작시 보다 좋은 흡수율을 갖는 흡수체를 사용한다면 개선될 수 있다.

#### V. 결론

본 연구에서는 2~18 GHz 광대역 캐비티 백 스파이럴 안테나의 설계 이론을 연구하고, 설계된 안테

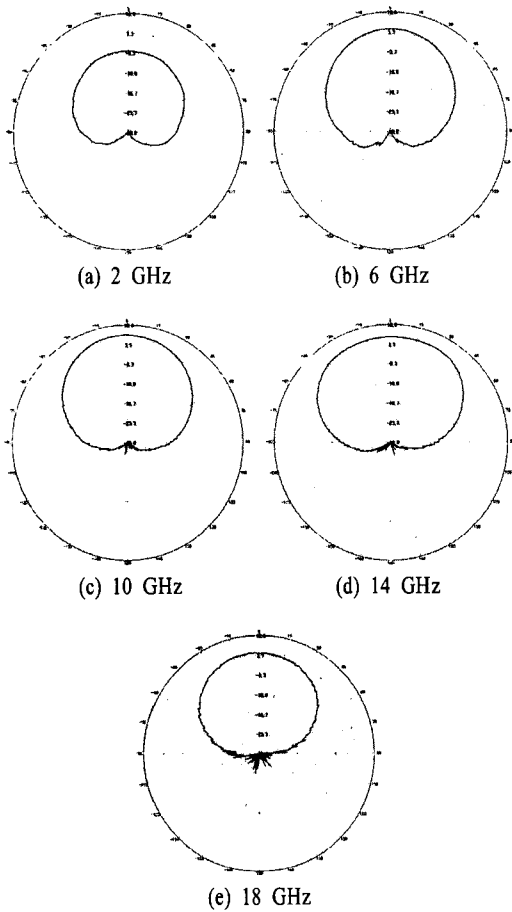


그림 16. 측정된 안테나의 방사 패턴  
Fig. 16. Measured radiation pattern of antenna.

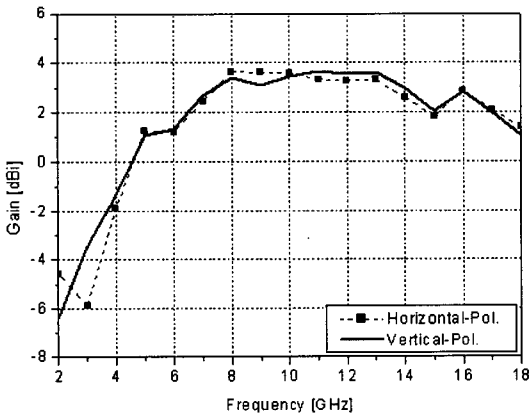


그림 17. 측정된 안테나의 이득  
Fig. 17. Measured gain of antenna.

나 특성을 CST사의 MWS를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 스파이럴 안테나의 암 패턴과 백 캐비티 그

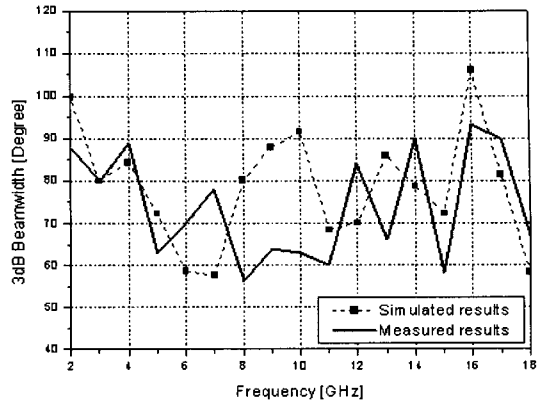


그림 18. 시뮬레이션 및 측정된 반전력 빔 폭 비교  
Fig. 18. Comparison of simulated and measured HP-BW.

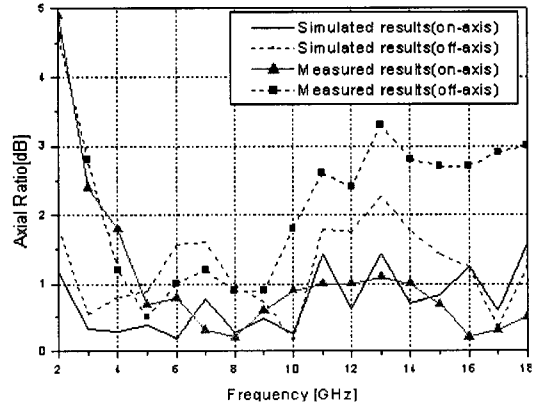


그림 19. 시뮬레이션 및 측정된 축비 비교  
Fig. 19. Comparison of simulated and measured axial ratio.

리고 Marchand 동축형 밸런으로 나누어 각각의 VSWR을 고찰하고, 광대역에서 우수한 특성을 갖는 캐비티 백 스파이럴 안테나를 설계하였다. 또한, 제작 및 측정을 통하여 설계 과정을 검증하였다. 측정 결과에서 나타난 저주파에서의 안테나 특성 저하는 우리의 목적에 맞는 적절한 흡수체를 사용하면 개선될 수 있을 것으로 판단된다. 이 연구를 통해 얻은 설계 기법과 검증된 안테나의 성능은 향후 다른 대역에서 쓰일 광대역 스파이럴 안테나와 시뉴어스 안테나 연구에 큰 기여를 할 것이다.

### 사 의

안테나 제작에 수고를 아끼지 않으신 (주)MTG 김

동석 사장, 한인희 부장, 이두연 연구원에게 감사의 말씀을 드립니다.

### 참 고 문 헌

[1] V. H. Rumsey, "Frequency independent antenna", *IRE National Convention Record*, Pt. 1, pp. 114-118, 1957.  
 [2] J. D. Dyson, "The equiangular spiral antenna", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, pp. 181-187, Apr. 1959.  
 [3] W. L. Curtis, "Spiral antennas", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, pp. 298-306, May. 1960.  
 [4] H. Nakano, K. Nogami, and S. Arai et al., "A spiral antenna backed by a conducting plane reflector", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, no. 6,

2~18 GHz 광대역 캐비티 백 스파이럴 안테나 설계

pp. 791-796, Jun. 1986.

[5] Eric D. Caswell, "Design and analysis of star spiral with application to wideband arrays with variable element sizes", *Electrical and Computer Engineering*, Virginia Polytechnic Institute and State Univ., Dec. 2001.  
 [6] J. W. Mclaughlin, D. A. Dunn, and R. W. Grow, "A wide-band balun", *IRE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 6, pp. 314-316, Jul. 1958.  
 [7] Geroge Oltman, "The compensated balun", *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-14, no. 3, pp. 112-119, Mar. 1966.  
 [8] Brian C. Wadell, *Transmission Line Design Handbook*, Artech House, Inc., 1999.

### 조 정 래



2007년 2월: 충남대학교 전자전파정보통신공학과 (공학사)  
 2007년 3월~현재: 충남대학교 전자전파정보통신 전파공학 석사과정  
 [주 관심분야] 위상 배열 안테나, 레이더, 전자전 안테나

### 유 병 석



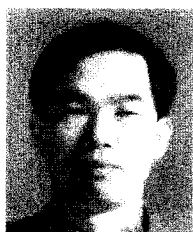
1993년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)  
 1993년 1월~현재: LIG넥스원 연구본부 AEW 연구소 전자전연구센터 책임연구원  
 [주 관심분야] 전파 통신, RF 시스템 통합

### 박 진 오



2004년 2월: 명지대학교 전기정보 제어공학부 (공학사)  
 2004년 4월~현재: LIG넥스원 연구본부 AEW 연구소 전자전연구센터 주임연구원  
 [주 관심분야] 방향탐지, 전파통신

### 정 운 섭

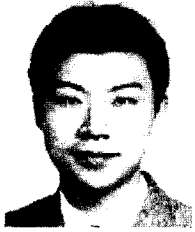


1988년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)  
 1990년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2007년 2월: 충남대학교 통신공학 (공학박사)  
 1990년~현재: 국방과학연구소 책임연구원

[주 관심분야] 통합 전자전시스템, 다중센서 데이터 통합, 레이더 및 무선 통신 재밍신호 처리



정 우 성



2002년 2월: 홍익대학교 전자전기  
공학부 (공학사)  
2006년 2월: 홍익대학교 전파통신  
공학과 (공학석사)  
2002년 5월~2004년 3월: 현대로템  
연구원  
2006년 12월~현재: 국방과학연구

소 연구원

[주 관심분야] RF 소자 및 안테나 설계

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학  
과 (공학사)  
1976년 2월: 한국과학기술원 전기  
전자공학과 (공학석사)  
1984년 12월: Univ. of California,  
Santa Barbara (공학박사)  
1977년~1978년: Ruhr University,

Bochum, Germany 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson

1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairperson

2000년~2001년: 한국전자과학회 회장

2005년~2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장

1976년~현재: 충남대학교 전파공학과 교수

[주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Com-  
ponents, Antennas, EMI/EMC