

# 자계 위상차를 이용한 CPW 급전 방식의 분리된 양팔 스파이럴 슬롯 안테나

## Divided Two-Arms Spiral Slot Antenna Fed by Coplanar Waveguide Using the Magnetic Phase Difference

박성우 · 김 남 · 이승엽\* · 이승우 · 김철호

Sung-Wu Park · Nam Kim · Seung-Yeop Rhee\* · Seung-Woo Lee · Chul-Ho Kim

### 요 약

본 논문에서는 슬롯에 흐르는 자류를 이용한 CPW 급전 방식의 분리된 양팔 스파이럴 슬롯 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 슬롯 끝단에서 단락되었다는 점과 두 스파이럴 팔이 분리되어 따로 회전한다는 특징을 갖는다. 자계의 위상차로 인한 상쇄를 최소화하기 위해 두 개의 스파이럴 슬롯에 180° 위상차를 갖는 자계가 급전되도록 하였다. 일반 스파이럴 안테나와는 달리 발룬(balun) 회로 없이 두 팔 평면 스파이럴 안테나를 구현하였기 때문에 안테나 전체 크기를 현저히 줄일 수 있다. 다양한 파라미터의 시뮬레이션을 통하여 주파수 특성을 분석하였고, 제작된 안테나는 2.7~12 GHz 대역에서 -10 dB 이하의 반사 손실 값을 얻을 수 있었다.

### Abstract

In this paper, we proposed a divided two-arms spiral slot antenna fed by coplanar waveguide using the magnetic flow at slots. This antenna has characteristics of which one is to short-circuit at the end of the slot and another is to turn spirals separately. To reduce the offset of magnetic flow, two spiral slots are fed by 180° phase difference. Because we proposed a printed two-arms spiral slot antenna without a balun circuit, antenna size become smaller substantially. And frequency characteristics are studied using the various design parameters. The bandwidth of the realized antenna is 2.7~12 GHz below the return loss of -10 dB.

Key words : Coplanar Waveguide, Spiral Slot Antenna, Broadband

### I. 서 론

최근 무선 통신 시스템의 소형화와 고성능화가 이루어짐에 따라 이에 부합하는 안테나의 소형화 및 광대역화에 대한 요구가 이어지고 있으며, 마이크로 파 집적 회로(MIC)의 구조는 더욱 복잡해지고 있다. 안테나의 소형화는 여러 전자 장비 및 디지털 장치

내에 탑재할 수 있다는 장점이 있는 반면에 물리적 혹은 전기적 성능 측면에서 방사 패턴이나 효율에 좋지 않은 영향을 줄 수 있으며, 이러한 점들을 충족하기 위하여 작은 손실과 생산성이 우수한 급전 방법이 필요하게 되었다. 지금까지는 마이크로파 관련 분야에서 마이크로스트립 선로가 많은 연구와 진척이 있었지만, 한정된 주파수 자원에 따른 초고주파

「이 논문 또는 저서는 2008년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/충북 BIT 연구중심대학 육성사업단)」

「본 연구는 지식경제부의 대학 IT 연구센터, 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2008-(C1090-0801-0034)).」

충북대학교 정보통신공학과(Division of Information and Communication, Chungbuk National University)

\*전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부(College of Engineering Science, Chonnam National University)

· 논문 번호 : 20080724-099

· 수정완료일자 : 2008년 11월 5일

대역(3~30 GHz)으로의 주파수 상향 추세에 따라 CPW(Coplanar Waveguide) 급전 방식이 부각되고 있다.

CPW 급전은 선로와 평행한 면에 일정 거리의 접지(ground)가 존재하는 선로로서 마이크로스트립 급전 방식에 비해 낮은 복사 손실과 작은 산란 및 기판 두께 변화에 따른 특성 임피던스의 변화가 작다는 특성을 갖기 때문에 상대적으로 넓은 대역폭을 가질 수 있고, 라인 간의 상호 커플링이 작으며, 또한 비아(via)와 같은 기생적인 회로 성분 없이 한 평면 위에 능동 소자 및 수동 소자의 직·병렬 소장이 용이하다는 점 등의 여러 장점들이 있어 활발한 연구가 진행되고 있다<sup>[1],[2]</sup>.

하나 또는 두 개의 팔(arm)이 나선 모양으로 회전하는 스파이럴 안테나는 광대역 정합 특성을 갖고 원형 편파(circular polarization)를 얻을 수 있으며, 주파수 대역별로 크기가 제한되는 안테나의 물리적 한계를 스파이럴의 회전에 의한 전기적 길이 감소로서 소형, 경화시킬 수 있으며, 다양한 방사 패턴, 넓은 빔 폭을 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문에 항공기, 차량, 위성 통신 등의 광대역 또는 원형 편파 안테나로 사용되고 있다. 최근에는 스파이럴 안테나의 다기능성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 광대역 또는 다중 대역 안테나로서 스파이럴 안테나 관련 특허 또한 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 일반적인 스파이럴 안테나는 스파이럴 중심에서 급전되며, 두 개의 스파이럴 팔은 급전부에서 서로 180° 정 반대 방향으로 향하는 대칭적인 구조로 이루어져 있다. 이 안테나에 급전이 이루어지면 팔을 따라 진행하는 진행파가 인접한 팔 사이에서 동위상이 될 때 복사가 일어나게 되며, 역위상일 때는 상쇄되어 복사가 일어나지 않는다. 이러한 기존의 스파이럴 안테나는 스파이럴 팔 중심 급전 부분의 좁은 공간 때문에 수직인 방향으로 급전을 해야 하는데, 이로 인하여 3차원적으로 부피가 증가하게 된다. 또한, 두 팔에 각각의 전류가 급전되어야 하므로 전류 분배기 역할을 하는 발룬(balun) 회로를 추가적으로 설치해야 하기 때문에 복잡한 설계와 제작 과정이 요구된다. 최근 이러한 단점을 보완하기 위해서 두 개의 스파이럴 팔의 바깥쪽에서 급전하는 방법, 직선 마이크로스트립 선로를 이용해 하나의

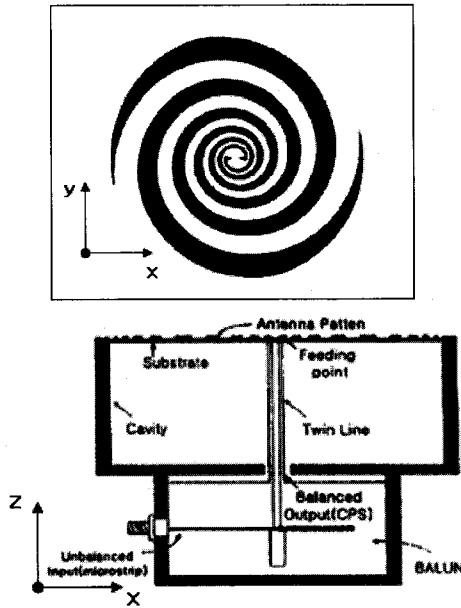
스파이럴과 결합시켜 급전하는 방법, 두 스파이럴의 외부에서 연결시켜 급전하는 방법 등 스파이럴 안테나를 평면으로 구현할 수 있는 급전 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[3]~[8]</sup>.

본 논문에서 제안한 안테나는 이러한 평면 스파이럴 안테나를 구현할 수 있는 방법의 일환으로서 기존의 마이크로스트립이나 외부 동축 케이블(coaxial cable)에 연결시키는 급전 방법 대신에 두 개의 스파이럴 슬롯으로 구성된 평면 안테나에 CPW 급전 방식을 도입하여 구현하였으며, 별도의 발룬 회로가 필요하지 않기 때문에 안테나의 크기와 설계상, 공정상의 복잡도를 크게 줄일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한, 이 안테나는 스파이럴 슬롯의 끝단이 전계 관점에서 단락(short)되어 있는 구조로서, 기존의 개방(open)되어 있는 CPW 급전 방식의 안테나와는 달리 슬롯에 유도되는 자유에 의해 방사가 이루어지며, 두 개의 스파이럴 팔이 동일한 원점을 기준으로 한 원주를 그리며 회전하는 구조가 아닌 각각의 동일한 두 스파이럴 팔이 180° 대칭으로 급전되어 시계 방향으로 회전하는 특징을 가지고 있다.

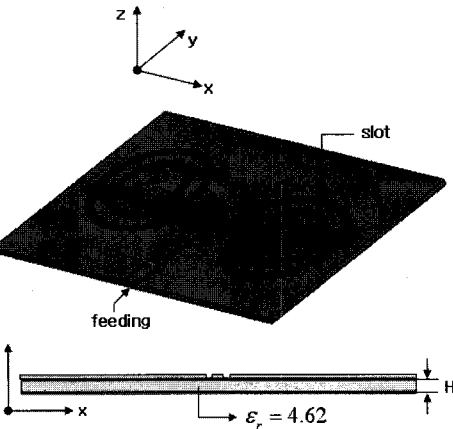
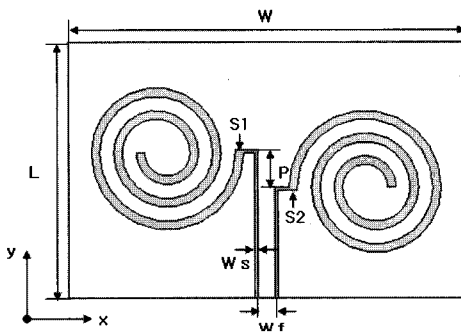
## II. 안테나 구조

일반적으로 스파이럴 중심에 급전되는 평면 스파이럴 안테나는 안테나 평면에 수직으로 주방사가 이루어지는 반면에 급전부를 외각으로 이동시킨 편심 스파이럴 안테나는 일정 주파수에서 주방사가 안테나 평면에 수직으로 방사되다가 주파수가 높아질수록 주방사는 경사지게 된다<sup>[4]</sup>. 제안한 안테나는 급전 선로를 따라 전계와 자계가 형성되면서 진행하다가 스파이럴의 최외각 원주의 시작점( $S_1$ ,  $S_2$ )을 통하여 안쪽으로 휘어져 들어가는 편심 스파이럴 슬롯 구조이다.

그림 1(a)는 일반적인 두 팔 스파이럴 안테나의 모습을 보여준다<sup>[9]</sup>. 스파이럴 중심부에 180° 위상차가 나는 두 개의 급전이 이루어지므로 불평형(unbalanced) 급전을 평형(balanced) 급전으로 바꾸어 주는 발룬 회로가 필요하며, 그림 1(a)에서 알 수 있듯이 3차원적인 수직 부피가 커지고 발룬 자체의 대역폭이 안테나의 대역폭을 제한하는 단점이 있다. 그림 1(b)는 본 논문에서 제안한 스파이럴 안테나의 모습



(a) 일반적인 스파이럴 안테나의 구조  
(a) Structure of the general spiral antenna



(b) 제안된 스파이럴 안테나의 구조  
(b) Structure of the proposed spiral slot antenna

그림 1. 스파이럴 안테나의 구조  
Fig. 1. Structure of spiral antennas.

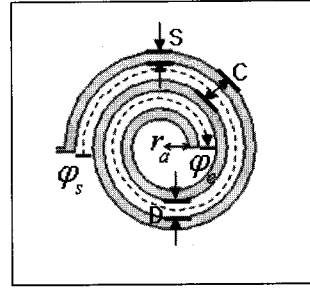


그림 2. 스파이럴 슬롯의 구조  
Fig. 2. Structure of the spiral slot.

이다. 뒷면은 아무 것도 없는 상태이며, 윗면만 가공되어 RLC 모든 소자와 접지가 한 면에 존재하는 CPW 급전 방식이다. 슬롯의 끝단이 단락된 구조적 특징을 갖기 때문에 개방된 방식보다 비교적 높은 L 값을 가지며, 이것은 약간의 공진 주파수를 감소시키게 된다.

그림 2는 제한된 안테나의 스파이럴 슬롯의 구조이다. 스파이럴 슬롯은 Archimedean spiral 형태로 다음의 수식으로 구현된다.

$$r(\varphi) = C \frac{\varphi}{360} + r_a, \\ = (D+S) \frac{\varphi}{360} + r_a, \quad (\varphi_s \leq \varphi \leq \varphi_e) \quad (1)$$

여기서  $r(\varphi)$ 는 스파이럴의 중심점으로부터  $\varphi$ 각을 가지는 스파이럴 슬롯까지의 거리이며,  $C$ 는 스파이럴의 증가율을 결정하는 상수로서 스파이럴 슬롯의 폭( $S$ )과 슬롯 간 도전체 폭( $D$ )의 합으로 구현된다.  $r_a$ 는 스파이럴 중심 원점과 스파이럴이 끝나는 지점까지의 거리이며, 슬롯의 폭( $S$ )과 슬롯 간 도전체 폭( $D$ )의 값은 스파이럴 전체에 대하여 일정하다. 그러므로 상수  $C$ 값은 모든 각도  $\varphi$ 에 대하여 일정하며, 스파이럴이 1회전할 때  $(D+S)$ 만큼의 거리가 증가하는 것을 알 수 있다.  $\varphi$ 는 스파이럴 슬롯이 시작되는 지점( $\varphi_s$ )부터 끝나는 지점( $\varphi_e$ ) 사이의 값으로서 스파이럴 슬롯을 구현하는 변수이다<sup>[7]</sup>.

안테나의 전체 크기는  $70 \times 45 \times 1 \text{ mm}^3$ 이고, 기판은 유전율이 4.62인 FR-4를 사용하였다. 좌·우 스파이럴 슬롯은 동일 크기와 형태이며, 서로  $180^\circ$  대칭으로 급전되어 시계 방향으로 회전하는 구조이다. 일반적인 두 팔 스파이럴 안테나는 두 스파이럴 팔이 한 원을 그리며 서로 교차하여 회전하지만, 이 안테

나는 좌·우 스파이럴 슬롯이 독립적으로 분리되어 회전하도록 설계하였다. 아래쪽 급전부에는 유전체의 두께와 유전율을 정한 후 계산된 50 Ω 선폭과 슬롯을 갖는 CPW 급전부가 위치한다. 스파이럴 슬롯의 폭(S)과 슬롯 간 도전체의 폭(D)은 동일 간격으로 회전하도록 구성하였다. 스파이럴 슬롯과 급전 라인 사이의 의도하지 않은 커플링을 최소화하기 위하여 슬롯의 시작점( $S_1, S_2$ )을 결정하였으며, 또한 중요한 여러 파라미터들을 시뮬레이션을 이용한 분석을 통하여, 본 논문에 적합한 파라미터 값을 산정하였다.

### III. 안테나 설계 및 분석

제안한 안테나의 설계 및 해석을 위하여 상용 EM 시뮬레이터인 CST사의 MWS를 사용하였다. 먼저 슬롯의 급전부에 유도되는 자계의 흐름을 살펴보았다. 그림 3은 안테나 급전부에 유도되는 자계를 보여준다. CPW 급전 선로( $W_f$ )를 따라 전류가 흘러 들어가고, 그 양 쪽 슬롯( $W_s$ )을 통해 +x, -x 방향으로 전계가 형성된다. 형성된 전계에 의해 그림 3에서 보듯이 급전 슬롯에 유도되는 자계는 우측 슬롯에서는 +z 방향으로, 좌측 슬롯에서는 -z 방향으로 180° 위상차를 가지고 스파이럴 슬롯에 급전된다. 이렇게 180° 위상차로 급전되는 자계는 안테나 소자의 시스템 복잡도와 대역폭의 제한에 기여하는 별도의 발룬 회로를 사용하지 않아도 평형 소자처럼 동작할 수 있으며, 좌·우 스파이럴 슬롯에 유도되는 자계의 위상차로 인한 감쇄를 최소화할 수 있다는 점을 이용하여 본 논문의 안테나를 제안하게 되었다.

양호한 방사 특성을 갖는 스파이럴 슬롯 안테나는 1/2~3 바퀴로 만들 수 있고, 최적 설계치는 전체 길이가 1 파장 또는 그 이상이 되어야 한다<sup>[10]</sup>. 일반적인 스파이럴 안테나의 특성인 광대역 특성이 제안한

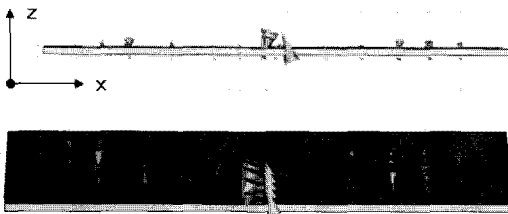


그림 3. 급전부에 형성되는 자계의 흐름  
Fig. 3. The magnetic field on the feeding line.

안테나 구조에서는 어떻게 나타나는지 확인하기 위하여 스파이럴 슬롯의 최적 설계치 중 최장 회전수인 3회전을 기본으로 잡고, 슬롯의 회전수를 줄여가면서 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 스파이럴의 회전수가 많아질수록 안테나 전체 크기는 커지기 때문에 최외각 원의 크기를 선정한 후, 그 안에 3회전이 가능하도록 슬롯의 폭과 슬롯 간 도전체 폭의 비율을 일정하게 유지시키면서 적용하였다.

전형적인 스파이럴 안테나의 밴드 이론(band theory)에 따르면 최외각 스파이럴 팔의 1회전 원주 길이가 한 파장이 되는 주파수에서 복사가 일어나기 시작한다<sup>[5],[11]</sup>. 이것을 참고하여 최외각 원의 크기를 선정하는데 적용시켰다. 우선 광대역 목표의 최저 주파수를 초광대역(UWB: Ultra WideBand)의 3 GHz 초반 대역으로 정하였다. 3 GHz의 한 파장의 길이는 100 mm이지만 정확히 100 mm로 스파이럴 슬롯을 구현하는데 어려움이 있어 식 (1)을 이용하여 최외각 원주가 대략 100 mm가 되도록 선정하였다.

그림 4는 스파이럴 슬롯의 회전수 변화에 따른 반사 손실 값을 보여준다. 슬롯의 폭은 1.5 mm, 슬롯 간 도전체 폭은 2.5 mm로 동일한 조건하에 회전수만 3회전( $\varphi=1,080^\circ$ )에서 2회전( $\varphi=720^\circ$ )까지 변화시켜가며 시뮬레이션을 실시하였다. 반사 손실이 -10 dB 이하로 떨어지기 시작하는 대역은 3회전일 때 2.6 GHz, 2.5회전 2.8 GHz, 2회전 3.6 GHz로 스파이럴의 전체 길이가 길어질수록 낮은 대역에서 공진이

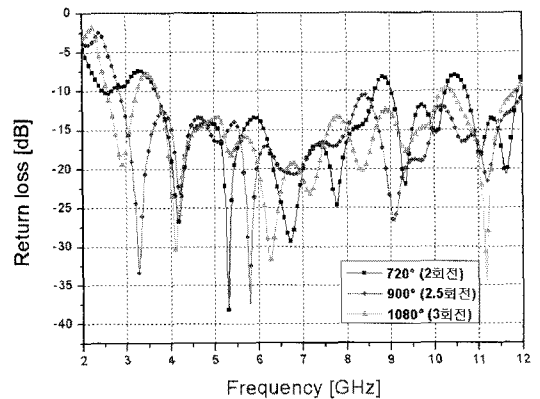


그림 4. 스파이럴 슬롯의 회전수 변화에 따른 반사 손실

Fig. 4. Return loss by varying the number of the spiral rotations.

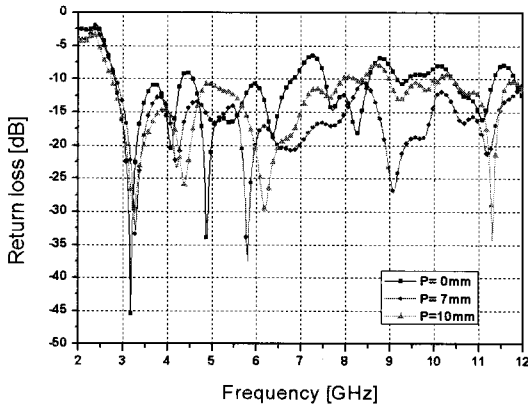


그림 5. 좌·우 스파이럴의 위상 차이에 따른 반사 손실

Fig. 5. Return loss by varying the phase difference of the spiral arms.

일어나기 시작하는 것을 볼 수 있었으며, 2.5 회전 ( $\varphi=90^\circ$ )일 때 가장 넓은 광대역 특성을 보임을 확인할 수 있었다.

기존의 스파이럴 안테나는 중앙에서 급전되어 외각으로 회전하면서 나가는 구조이고, 두 팔 스파이럴의 경우 두 팔이 겹쳐 진행하면서 반대 위상을 갖는 두 팔의 각 라인과 라인 간 직접 영향을 주는 반면, 제안한 안테나는 스파이럴 바깥에서 급전되어 안쪽으로 회전하면서 들어가는 구조적 차이와 두 스파이럴이 독립된 방사체로 방사체 간 영향을 받는다는 차이점이 있기 때문에 밴드 이론과 정확하게 일치하지 않았다.

그림 5는 스파이럴 슬롯 시작 지점( $S_1, S_2$ )의 위상 차이( $P$ )에 따른 결과를 보여준다. 위상은 주파수에 의존하는 변수이며 제안한 안테나는 광대역을 목적으로 하기 때문에 위상차를 길이의 변수로 표기하였다. 자계 분포에 있어서 좌·우 스파이럴의 급전이 이론상 정확히  $180^\circ$  위상차를 갖는 위치의 기본 동작 주파수를 확인하기 위하여  $P=0$  mm에서 시뮬레이션을 시작하였다. 반사 손실 값이  $-10$  dB 이하로 떨어지기 시작한 주파수는  $2.7$  GHz이며, 스파이럴 안테나의 특성인 광대역 특성을 보이는 것을 볼 수 있었지만, 임피던스 매칭이 잘 되지 않아서  $7\sim 7.5$  GHz,  $8\sim 10.5$  GHz 대역에서  $-10$  dB 이하로 내려가지 않는 것을 확인하였다. 임피던스 조건 변화를 주기 위하여 스파이럴 회전수와 같은 주요 변수들은

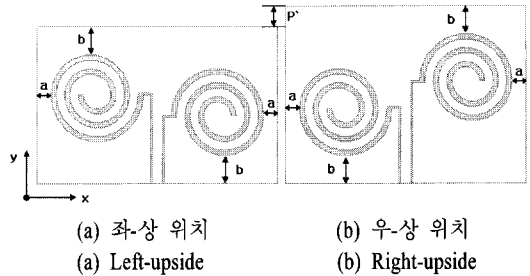


그림 6. 두 경우의 좌·우 스파이럴 위상차  
Fig. 6. Two cases of the phase difference.

그대로 유지한 상태로 좌·우 스파이럴 방사체 급전 부분의 완벽한  $180^\circ$  위상차( $P=0$  mm)에서 조금씩 위상차를 변화시키면서 임피던스 매칭의 조건을 향상시켰다. 위상차를 나타내는 변수  $P=0$  mm,  $7$  mm,  $10$  mm의 세 경우 모두 공진이 일어나는 주파수 패턴은 유사하지만, 위상차가  $P=7$  mm일 때 임피던스 매칭 조건이 향상되어 가장 넓은 광대역 특성( $2.7\sim 12$  GHz)을 보이는 것을 그림 5를 통하여 확인할 수 있다.

임피던스 매칭 조건의 향상을 위해 고려한  $P$ 의 위상차는 자계의 상쇄를 최소화하기 위한 좌·우 스파이럴 슬롯 급전부의  $180^\circ$  위상차를 초과하거나 부족하게 되는 것을 의미한다. 주파수는 파장에 반비례의 관계에 있기 때문에 주파수가 높아질수록 파장은 짧아지게 된다. 그러므로  $P$ 의 길이보다 충분히 긴 파장을 가지는 낮은 주파수 대역에서는  $P$ 에 의한 영향을 크게 받지 않으나, 주파수가 높아지면서  $P$ 의 길이를 무시할 수 없는 수준이 되면 그 영향으로 좌·우 스파이럴의 위상차에 의한 자계 상쇄는 안테나 이득에 영향을 주게 된다.

좌·우 스파이럴에  $P$ 의 위상차를 주는 데 있어서 그림 6과 같이 두 가지 경우를 고려할 수 있다. 우측 스파이럴보다 좌측 스파이럴을  $y$ 축 방향으로  $P$  길이만큼 위쪽에 위치시키는 것이 우측 스파이럴을 위쪽에 위치시키는 것에 비해 전체 안테나의 크기를 고려할 때  $P$ 만큼 작게 만들 수 있다는 장점이 있다.

각 단일 스파이럴 슬롯의 형태는 그림 6(a)와 (b)가 같고,  $P$ 의 위상차를 가지는 조건도 같기 때문에 두 경우의 주파수 특성을 비교해 보면, 각 단일 스파이럴만의 동작 특성은 배제한 채 좌·우 독립된 방사체로서 스파이럴 간의 위치 및 간격( $k_1 < k_2$ )의 변화

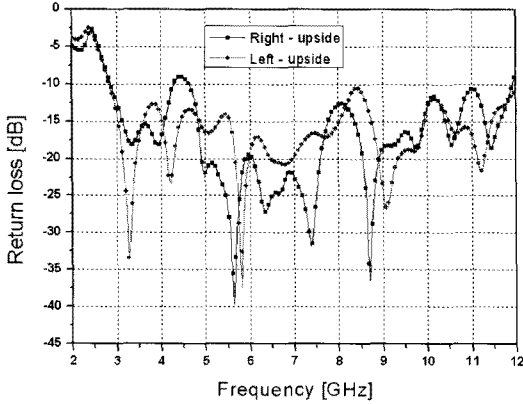


그림 7. 좌·우 스파이럴의 위치 차이에 따른 반사 손실

Fig. 7. Return loss by varying the position difference of the spiral arms.

가 안테나에 어떠한 성분으로서 작용하며, 커플링에 의한 임피던스 조건이 어떻게 변화되는지를 알 수가 있다.

그림 7은 그림 6(a)와 (b)에 나타난 좌·우 스파이럴 y축 상의 위치 변화에 따른 주파수 특성을 보여준다. 공진이 일어나는 주파수 패턴은 두 경우가 매우 유사하며, right-upside의 경우 4.3~4.8 GHz 대역에서 반사 손실 값이 -10 dB 이하를 만족시키지 못하였고, left-upside의 경우가 원하는 광대역에서 임피던스 매칭 조건이 향상되는 특성이 나타내는 것을 확인할 수 있다.

안테나의 소형화를 위해서는 접지의 소형화는 필수적이며, 접지의 소형화는 원하지 않은 주파수 특성 및 방사 특성을 변화시키는 요인으로 작용하게 된다. 제안된 안테나는 구조상 급전 라인과 접지가 단락되어 있고, 접지가 뒷면에 위치하는 일반적인 마이크로스트립 안테나와 달리 앞면에 급전 라인이 위치하고, 그 주위로 접지가 둘러싸고 있는 CPW 급전 방식이기 때문에 접지면의 크기가 직접적으로 안테나 전체 크기에 영향을 미치게 된다. 그림 6에서 a, b는 x축, y축 상에서의 안테나 끝 단면과 슬롯 사이의 가장 근접한 길이를 나타낸다. 그림 8은 접지면의 크기에 따른 주파수 특성을 보여준다. 그림에서 나타내듯이 접지 면적이 작아질수록 우리가 원하는 광대역 특성에서 벗어나는 것을 확인할 수가 있다. 공진이 일어나는 주파수 특성은 유사하지만  $a=4$

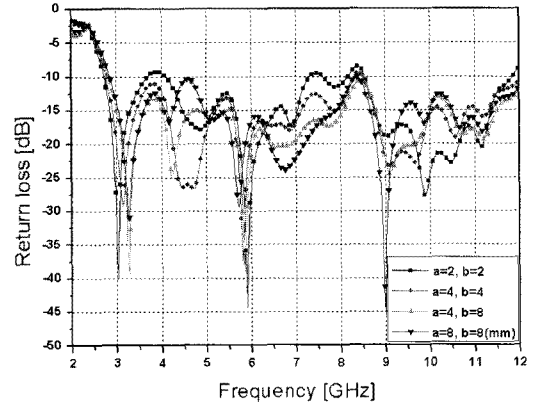


그림 8. 접지면의 크기에 따른 반사 손실  
Fig. 8. Return loss by varying the ground.

mm,  $b=8$  mm 이상의 접지면을 가질 때 우리가 원하는 광대역 특성을 얻을 수가 있었다.

그림 9는 스파이럴 슬롯의 폭(S)과 슬롯 간 도전체 폭(D)의 비율 변화에 따른 반사 손실을 보여준다. 슬롯(S) 또는 도전체(D) 중의 하나의 변수를 고정시키고 나머지 변수에 변화를 주게 되면 스파이럴 전체 길이가 변하게 되고, 이것은 슬롯과 도전체 사이 비율 변화에 의한 파라미터 분석으로 볼 수 없기 때문에 슬롯과 도전체 간격의 합( $C=S+D$ )을 식 (1)을 통하여 계산된 최외각 원주 내의 스파이럴이 3회전이 가능하도록 설계된 값(4 mm)으로 고정시켜 스파이럴 전체 길이가 변하지 않도록 하고, 두 변수간의 비율에 차이를 두어 안테나 특성에 어떠한 영향을

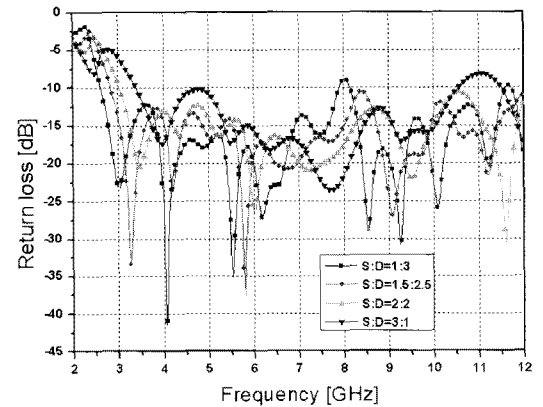


그림 9. 스파이럴 슬롯과 도전체 비율 차이에 따른 반사 손실  
Fig. 9. Return loss by varying the ratio of spiral slot to conductor.

표 1. 시뮬레이션을 통하여 제안된 안테나의 설계값  
Table 1. Dimensions of the proposed antenna using simulation.

파라미터	파라미터 정의	값 [mm]
$W$	기판의 가로 길이	70
$L$	기판의 세로 길이	45
$H$	기판의 두께	1
$W_f$	CPW 급전 라인 폭	4
$W_s$	CPW 급전 슬롯 폭	0.5
$P$	좌·우 스파이럴의 위상차	7
$S$	스파이럴 슬롯의 폭	2.5
$D$	스파이럴 슬롯 간 도전체 폭	1.5
$C$	스파이럴 슬롯의 폭 + 스파이럴 슬롯 간 도전체 폭	4
$r_a$	스파이럴 중심점과 스파이럴이 끝나는 지점의 거리	4

주는지 비교, 분석하였다. 스파이럴 슬롯의 간격이 좁아질수록 공진이 일어나는 주파수가 낮아지는 것을 확인할 수 있으며, 1.5 : 2.5의 비율이 광대역 특성에 부합된다는 것을 알 수가 있다.

이렇게 안테나 설계 및 분석을 통해 연구한 파라미터를 표 1에 나타내었다. 시뮬레이션을 통하여 계산한 결과, 공진 주파수 대역은 UWB 대역을 포함하는 2.7~12 GHz의 대역에서 반사 손실 -10 dB 이하의 값을 만족하였다.

#### IV. 안테나의 제작 및 측정

그림 10은 제작된 안테나의 실제 모습이며, 그림 11은 제안된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정 결과의 반사 손실 값을 비교한 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 결과에 다소 차이는 있지만 공진이 일



그림 10. 제작된 안테나의 사진  
Fig. 10. Photograph of the fabricated antenna.

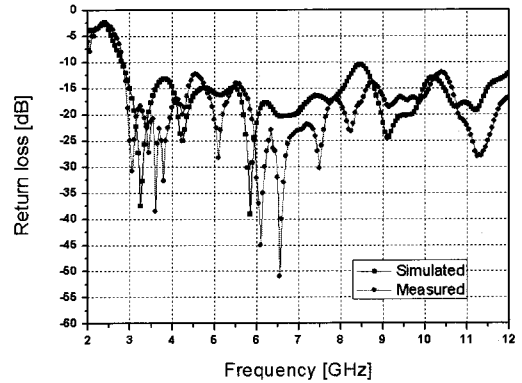
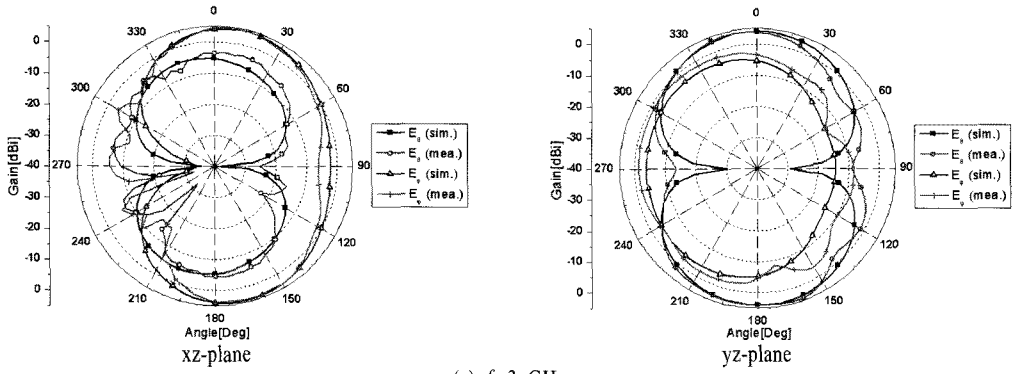


그림 11. 제안된 안테나의 시뮬레이션 값과 측정치의 반사 손실 비교  
Fig. 11. Comparison of the simulated and measured return loss.

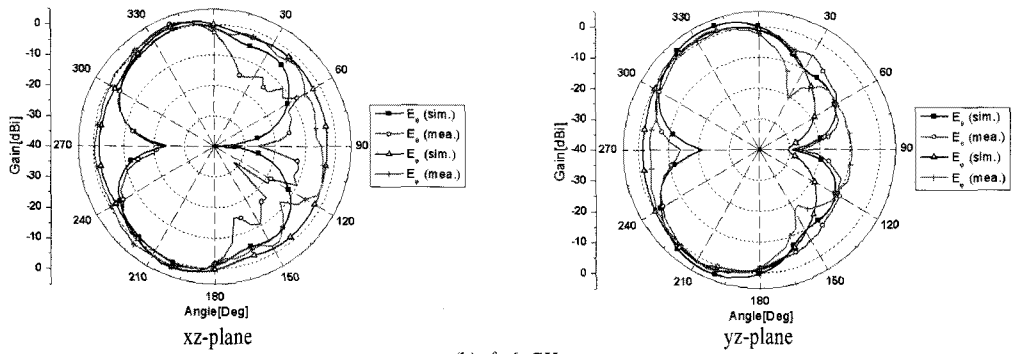
어나는 주파수 대역이 거의 일치하고 있는 것을 확인할 수 있었으며, 반사 손실의 시뮬레이션 결과와 측정 결과 모두 -10 dB 이하로 떨어지는 대역은 2.7~12 GHz로 UWB 대역(3.2~10.6 GHz)을 포함하고 있다.

그림 12는 제안된 CPW 급전 스파이럴 슬롯 안테나의 3 GHz, 6 GHz, 9 GHz, 12 GHz에서 측정된 방사 패턴을 보여주고 있다. 측정은 MTG사에서 구축한 챔버 시스템을 이용하였으며, 측정 안테나는 SGH 주파수 대역별 Standard Horn Antenna를 사용하여 측정하였다. 안테나 구조 특성상  $E_\theta$ 는 안테나 평면에 수직 방향으로 주방사를 하게 되고,  $E_\phi$ 는 대체로 전 방향으로 방사를 하는 field 특성을 확인할 수 있다.  $E_\theta$ 의 주방사 빔은 3 GHz에서 안테나 평면에 수직으로 방사하다가 주파수 대역이 올라갈수록 점점 기울어지는 형태로 기울어진다. 이것은 제안한 안테나의 급전이 외각에서 시작되는 편심 스파이럴 급전 구조의 특징이다. 또한, 주파수가 높아지면서 12 GHz 대역에서는 방사 패턴이 분산 방사되는 것을 확인할 수 있었다. 한 파장의 길이가 25 mm가 되는 12 GHz에서의 최대 방사 효율은 5.5 dBi로 광대역 특성을 만족시키기 위한 임피던스 매칭 조건을 변화시키는 과정에서 고려한 좌·우 스파이럴의 위상차( $P$ )에 의한 손실이 12 GHz 대역까지는 크게 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다.

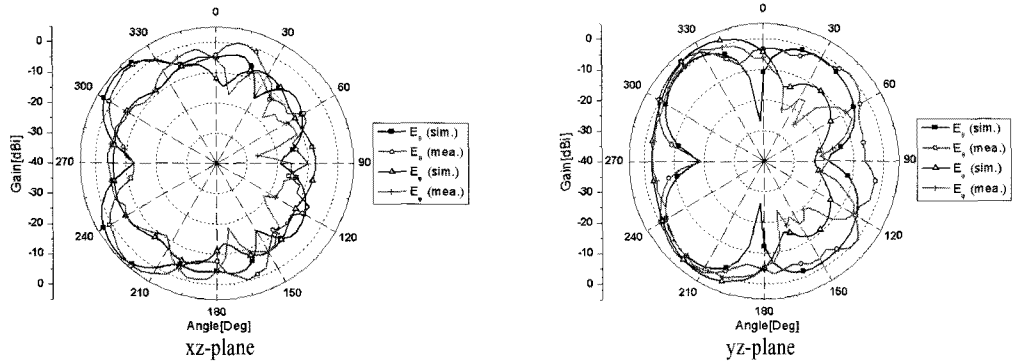
그림 13은 제안된 안테나의 주파수 대역에 따른



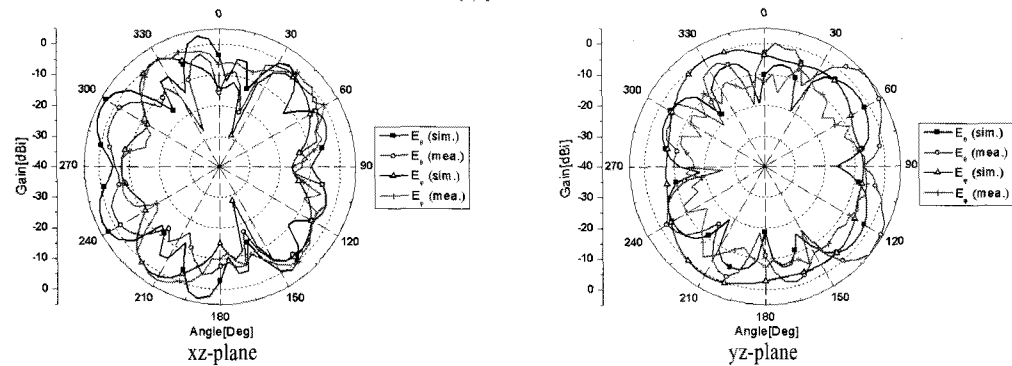
(a)  $f=3$  GHz



(b)  $f=6$  GHz



(c)  $f=9$  GHz



(d)  $f=12$  GHz

그림 12. 측정된 방사 패턴  
Fig. 12. Measured radiation patterns.



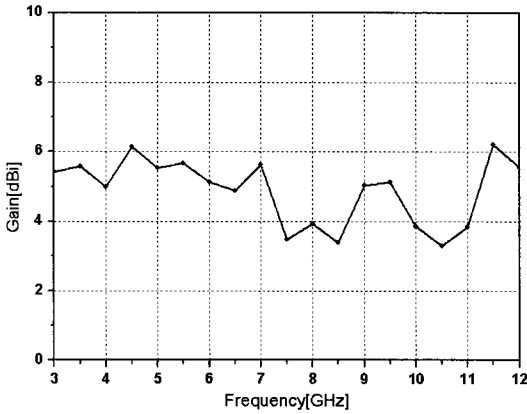


그림 13. 제안된 안테나의 측정된 이득  
Fig. 13. The measured gain of the proposed antenna.

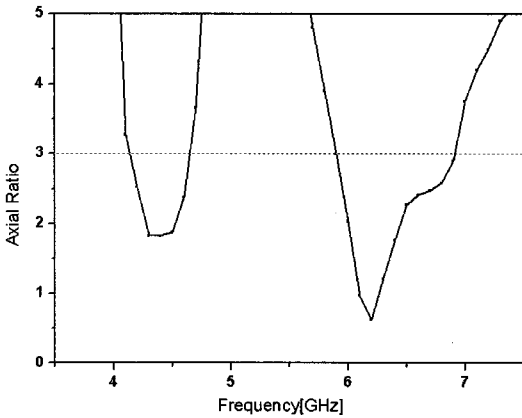
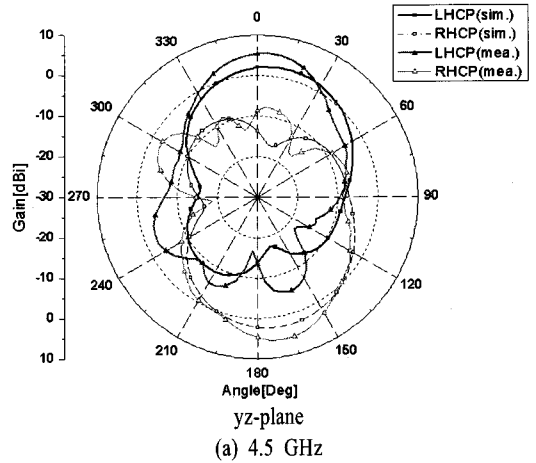


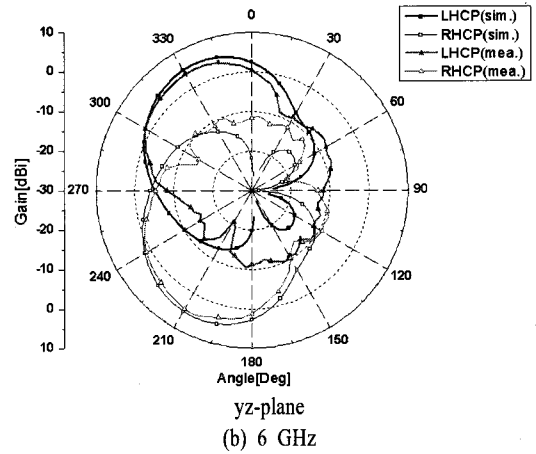
그림 14. 주 빔 방향으로의 축비  
Fig. 14. The axial ratio in the direction of the main beam.

안테나 이득의 측정된 값을 보이고 있다. 2.7~12 GHz 전 대역에 있어서 3.4~6.1 dBi의 이득을 가지며, 2.7 dBi의 이득 변화량으로 UWB 최대 이득 범위를 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과, 제안한 안테나가 UWB 대역을 포함하는 광대역 안테나로서 적합함을 보여준다.

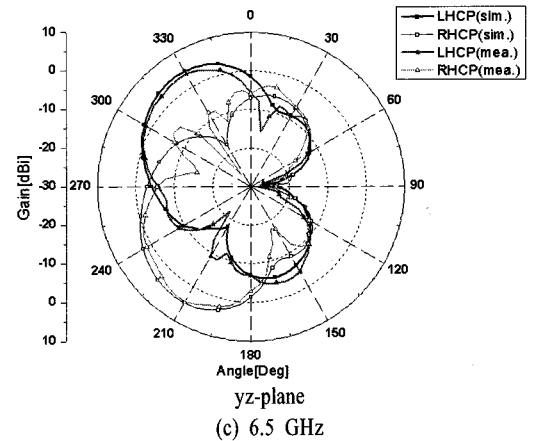
그림 14에 주 빔 방향에 대한 축비(axial ratio)의 측정 결과가 표시되었다. 그림에 보듯이 시뮬레이션 결과와 다소 차이는 있지만 3 dB 이하의 축비 대역 폭은 거의 일치하고 있으며, 약 4.2~4.7 GHz, 5.9~6.8 GHz의 이중 대역에서 3 dB 이하의 축비를 확인할 수 있었고 6.2 GHz에서 0.625 dB로 가장 낮은 축비를 가지는 것을 볼 수 있다. 그림 15에서는 원형



(a) 4.5 GHz



(b) 6 GHz



(c) 6.5 GHz

그림 15. 측정된 원형 편파 방사 패턴  
Fig. 15. The measured radiation pattern of the circular polarization.

편파 방사 패턴을 도시하였다. 그림 15(a) 4 GHz 대역에서 주 빔이 안테나 평면에 거의 수직인 방향으

로 방사되고 주파수가 높아지면서 주 빔이 수직인 방향에서 선형적으로 점점 기울어져 그림 15(b) 6 GHz 대역에서는 수직인 방향에서 약 30°, 그림 15(c) 6.5 GHz 대역에서는 약 35° 기울어져 방사가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 스파이럴 슬롯의 회전 방향에 따라 LHCP와 RHCP를 결정할 수가 있으며, 제안된 안테나는 스파이럴 슬롯이 위치한 안테나 평면의 위쪽 방향으로 LHCP가 형성됨을 볼 수 있다.

### V. 결 론

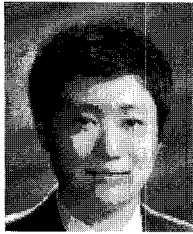
본 논문에서는 단일 평면 구조로 이루어진 CPW 급전 방식의 분리된 스파이럴 슬롯 안테나를 설계 및 제작하여 그 특성을 기술하였다. 제안한 안테나는 CPW 급전 슬롯에 흐르는 자계를 이용하는 점에서 그 특징을 찾을 수 있으며, 두 스파이럴 슬롯에 급전되는 자계의 상쇄를 최소화하는 방법으로 급전 되도록 구성하였다. 일반적인 스파이럴 안테나의 급전 시 필요한 발룬 회로를 제거하였기 때문에, 기존의 스파이럴 안테나보다 쉬운 공정으로 제작할 수 있고 발룬 자체 대역폭의 제한을 고려하지 않아도 되는 장점이 있으며, 안테나 부피 또한 현저하게 줄일 수 있어 최근 두께가 얇아져 가는 추세인 무선기기 등에 사용이 용이할 것으로 예상된다. FDTD 해석 기법을 이용한 상용 시뮬레이션 툴을 이용한 시뮬레이션 및 측정 결과 2.7~12 GHz 대역에서 -10 dB 이하의 반사 손실 값을 갖는 것을 확인할 수 있었으며, 전 대역에 있어서 3.4 dB이 이상의 이득을 가졌고 11.5 GHz에서 최고 6.1 dBi의 안테나 이득을 확인할 수 있었다. 4.2~4.7 GHz, 5.9~6.8 GHz의 이중 대역에서 3 dB 이하의 축비를 확인할 수 있었고, 원형 편파 방사 이득은 4.5 GHz에서 5.56 dBic, 6 GHz에서 4.25 dBic을 보였다.  $E_\theta$  방사 패턴은 전대역에서 대체로 무지향성으로 방사되어 UWB 대역을 포함하는 광대역 안테나로서 적합하며, 4 GHz 대역에서 안테나 평면에 수직으로 원형 편파가 형성되고 6 GHz 대역에서 약 30° 기울어져 원형 편파가 형성되기 때문에, 지향성을 가지는 원형 편파 안테나 또는 기운 빔을 방사하는 안테나로서 차량이나 항공기, 선박 등에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 논문에서 제안한 안테나는 단일 평면 구조

의 CPW 급전의 슬롯이라는 새로운 방법으로 분리된 스파이럴 안테나를 구현한 점과 광대역을 목표로 파라미터 정리 및 연구를 수행하였다는 점, 일반적인 스파이럴 안테나의 특성인 광대역 및 원형 편파 특성을 확인할 수 있었다는 점에서 활용할 가치가 있으며, 추후 원형 편파를 주목적으로 하는 안테나로서 연구가 진행되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

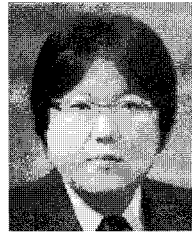
- [1] S. Matsuzawa, K. Ito, "Circularly polarised printed antenna fed by coplanar waveguide", *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 22, Oct. 1996.
- [2] 최순신, 김준일, 지 용, "CPW 급전 광대역 사각 슬롯 안테나 설계", *전자공학회논문지*, 42(11), pp. 107-116, 2005년 11월.
- [3] T. E. Morgan, "Spiral antennas for ESM", *IEE Proc. Part H*, vol. 132, no. 4, pp. 245-251, Jul. 1985.
- [4] R. T. Gloutak, N. G. Alexopoulos, "Two-arm eccentric spiral antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 45, no. 4, pp. 723-730, Apr. 1997.
- [5] J. A. Kaiser, "The archimedean two-wire spiral antenna", *IRE Trans. on Antenna Propagat.*, vol. 8, pp. 312-323, May 1960.
- [6] 한정세, 이갑수, 박병우, "모멘트법을 이용한 스파이럴 안테나의 해석 및 설계", *한국통신학회 논문지*, 19(5), pp. 857-871, 1994년 5월.
- [7] 김명기, 박익모, "스파이럴 라인을 이용한 마이크로스크립 원형 슬롯 안테나", *전자공학회논문지*, 38(5), pp. 16-22, 2001년 5월.
- [8] 김 남, 박상명, 김종면, "이중 대역 스파이럴 평면형 모노폴 안테나 설계 및 SAR 분석", *한국전자공학회논문지*, 18(12), pp. 1370-1382, 2007년 12월.
- [9] 김홍필, 남운권, 조원상, 박동철, "스파이럴 안테나의 설계 연구", *대한전자공학회 학술대회논문집*, 21(1), pp. 271-274, 1998년 5월.
- [10] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley & Sons, 2005.
- [11] 오대영, 김명기, 박익모, "접지면에 원형 슬롯이 있는 양팔 마이크로스트립 스파이럴 안테나", *한국전자공학회논문지*, 13(5), pp. 468-474, 2002년 6월.

박 성 우



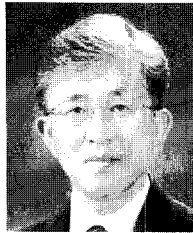
2006년 2월: 순천대학교 전자공학과 (공학사)  
2007년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 석사과정  
[주 관심분야] 안테나 설계, EMI/EMC 및 전자파 인체 영향

이 승 우



2003년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)  
2006년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)  
2007년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 박사과정  
[주 관심분야] 안테나 설계, EMI/EMC 및 전자파 인체 영향

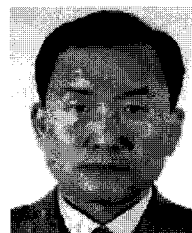
김 남



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1988년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
1992년 8월~1993년 8월: 미국 Stanford 대학교 방문교수

2000년 3월~2001년 2월: 미국 California Technology Institute 방문교수  
1989년~현재: 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수  
1996년~현재: 한국전자파학회 전자장과 생체관계위원회 위원장  
[주 관심분야] 이동 통신 및 전파전파, 마이크로파 전송선로 해석, EMI/EMC 및 전자파 인체 보호 규격

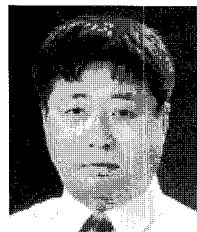
김 철 호



2002년 8월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)  
1999년 12월: 건축전기설비기술사  
2000년 5월~2007년 6월: (주)성문 엔지니어링  
2007년 7월~현재: (주)경진이씨티 엔지니어링

2004년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 박사과정  
[주 관심분야] 안테나 설계, EMI/EMC 및 전자파 인체 영향

이 승 업



1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1993년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)  
1993년 9월~2006년 2월: 국립여수대학교 전자통신공학과 교수

2004년 7월~2005년 8월: Syracuse대학교 방문교수  
2006년 3월~현재: 국립전남대학교 전자통신공학과 교수  
[주 관심분야] 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계, 전자파 해석