

코니컬 빔을 가지는 접지면에 원형 슬롯이 있는 양팔 마이크로스트립 스파이럴 안테나

Two-Arm Microstrip Spiral Antenna with a Circular Aperture on the Ground Plane for Generating a Circularly Polarized Conical Beam

오 대 영 · 김 명 기 · 박 익 모

Dae-Young Oh · Myoung-Ki Kim · Ik-Mo Park

요 약

본 논문에서는 두 스파이럴을 평면상에서 동위상으로 급전하여 원형편파의 전방향성 코니컬 빔을 가지는 접지면에 원형 슬롯이 있는 마이크로스트립 스파이럴 안테나를 제안하였다. 기존에 제시된 동위상으로 급전하는 방법은 복잡도가 높고 수직으로 급전해야 하는 문제가 있지만 제안된 구조는 스파이럴의 외각 부분에서 급전선의 길이만 동일하게 하여 간단히 동위상으로 급전할 수 있다. 원형 슬롯의 반지름이 23 mm일 때 5 GHz에서 6.5 GHz까지는 θ 방향으로 약 40°로 최대복사가 일어나고 9 GHz에서 11 GHz까지는 약 58°의 방향으로 최대복사가 일어나는 코니컬 빔을 얻을 수 있다.

Abstract

A two-arm microstrip spiral antenna with a circular aperture on the ground plane that generates a circularly polarized conical beam is presented in this paper. We obtained circularly polarized conical beam by using two spirals that are excited in-phase from the microstrip feed lines. The main beam directions of the conical beam from the broadside are approximately 40° in the range from 5 GHz to 6.5 GHz, and 58° from 9 GHz to 11 GHz. Since the proposed antenna has omni-directional conical beam pattern, it is suitable for use in mobile communication systems.

Key words : Spiral Antenna, Mobile Communication System

I. 서 론

최근 이동 통신 시스템(mobile communication system)이나 무선 LAN(Wireless Local Area Network) 등의 서비스가 증가함에 따라^{[1],[2]} 여러 대역에서 사용할 수 있는 안테나들의 수요가 점점 증가되고 있다. 스파이럴 안테나는 광대역에서 원형편파

(circular polarization)를 얻을 수 있기 때문에 하나의 안테나로 여러 통신 시스템에서 사용할 수 있다. 그중 두 개의 스파이럴 암(spiral arm)을 이용한 스파이럴 안테나는 급전되는 전류의 위상에 따라 안테나 평면에 수직한 방향을 갖는 빔이나 안테나 평면에 대하여 전 방향성을 갖는 코니컬(conical)한 빔을 얻을 수 있다^{[3],[4]}. 즉 두 암에 180°의 위상차를 갖는

「이 연구는 산업자원부가 주관하는 차세대신기술사업인 차세대 무선통신용 트랜서서비스시스템 개발의 연구비 지원에 의한 것이며 이에 감사드립니다.」

아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20020429-052

· 수정완료일자 : 2002년 8월 20일

전류가 급전되면 주빔이 안테나 평면에 수직인 방향으로 복사가 되는 첫 번째 모드(sum mode)가 발생된다. 한편 두 암에 전류가 동위상(in phase)으로 급전이 되면 코니컬 빔을 갖는 스파이럴 안테나의 두 번째 모드(difference mode)가 발생된다. 코니컬 빔은 안테나의 수직방향의 축으로는 복사가 되지 않고 f 방향에 대하여 전방향성을 갖는다. 이런 빔의 형태는 정지위성을 사용하는 통신에서 지상용 이동통신 안테나로서 사용되기에 적합하다. 또한 구내 통신(indoor communication)에서 허브(hub)와 컴퓨터의 위치에 제약 없이 데이터를 송·수신할 수 있어 무선 LAN 분야에서 유용하게 사용할 수 있다^{[5]-[7]}.

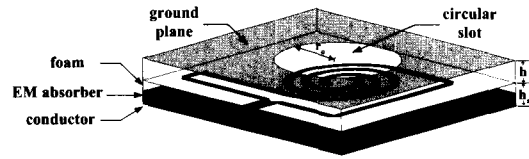
지금까지 스파이럴 안테나에서 두 번째 모드를 발생시키기 위해서 동위상으로 급전하는 여러 가지 방법이 제시되었지만^{[8],[9]}, 급전구조가 복잡하고 수직적으로 급전을 해야 하는 문제가 있다. 본 논문에서는 접지면에 원형슬롯이 있고 두 스파이럴 암의 바깥쪽 끝부분에 동일한 길이를 갖는 급전선을 연결시켜 간단히 동위상으로 급전하는 방법을 제안하였다. 제안한 구조는 별도의 발룬 회로(balun circuit)없이 평면으로 구현하였으며 전 방향성을 갖는 코니컬 빔에 대해 넓은 주파수 대역에서 원형 편파를 얻을 수 있다.

II. 안테나 구조

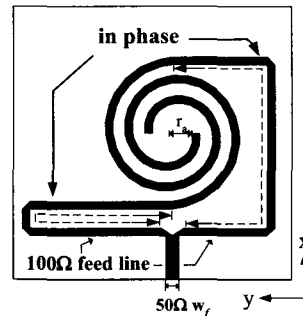
그림 1은 제안한 안테나 구조이다. 기판의 접지면에 반지름 r_0 인 원형슬롯이 있고, 그 반대면에는 스파이럴 암이 있다. 광대역 정합특성을 유지하고 단일 방향으로만 복사되는 빔을 얻기 위해 안테나 아래부분에 전자파 흡수체(electromagnetic wave absorber)를 부착하였고 기판과 전자파 흡수체 사이에는 폼(foam)을 삽입하였다^[10]. 이 구조는 50 Ω 급전선에서 전력 분배기를 통해 나누어진 두 개의 100 Ω 급전선이 각각의 스파이럴 암의 바깥쪽 끝부분에 연결된 형태로 되어 있고, 두 100 Ω 급전선의 길이를 동일하게 함으로써 스파이럴에 동위상으로 급전되게 하였다.

두 개의 스파이럴 선로는 Archimedean spiral의 형태를 취하며 다음과 같은 수식으로 구현된다.

$$r_1(\phi_1) = (d + w) \frac{\phi_1}{360^\circ} + r_a, \quad \phi_i \leq \phi_1 \leq \phi_e \quad (1)$$



(a)



(b)

그림 1. 제안한 안테나 구조

(a) 3차원 안테나 구조

(b) 스파이럴 안테나 구조

Fig. 1. The proposed antenna structure.

(a) Three-dimensional antenna structure

(b) Spiral antenna structure

$$r_2(\phi_2) = (d + w) \frac{(\phi_2 - 180^\circ)}{360^\circ} + r_a, \quad \phi_i + 180^\circ \leq \phi_2 \leq \phi_e + 180^\circ \quad (2)$$

여기서 $r(f)$ 는 스파이럴 급전선의 중심점에서부터 스파이럴 암(spiral arm)까지의 거리이며 스파이럴의 중심점과 접지면에 위치한 슬롯의 중심점은 동일하다. $r_2(f_2)$ 는 $r_1(f_1)$ 을 중심점을 기준으로 180° 회전시켜 얻은 대칭구조이다. r_a 는 스파이럴의 안쪽 시작점과 중심 사이의 거리이다. f 는 f_i 에서 f_e 까지 변화면서 스파이럴을 구현하게 되는데 f_i 는 스파이럴의 안쪽 시작위치를 결정하고, f_e 는 스파이럴의 최외각 암의 종단위치를 결정하는 변수이다. 본 논문에서는 원형슬롯이 위치한 방향으로의 RHCP를 얻기 위하여 f 값을 시계방향으로 회전하면서 증가하는 값으로 결정하였다.

전형적인 스파이럴 안테나는 밴드 이론(band theory)으로부터 두 스파이럴에 역위상의 전류가 급전이 되면 최외각 스파이럴 암의 1회전 원주길이가 한 파장이 되는 주파수에서 첫 번째 복사(안테나평

면에 대해 수직인 빔)가 일어나고 동위상의 전류가 급전이 되면 1회전 원주길이가 두 파장이 되는 주파수에서는 두 번째 복사(전 방향성을 가지는 코니컬 빔)가 일어난다. 또한 잔류 전류가 존재한다면 네 번째, 여섯 번째 복사모드를 형성하면서 복사가 일어난다^[3]. 제안한 구조에서는 전자기파가 스파이럴에서 원형 슬롯으로 천이가 되어 복사가 일어나기 때문에 우선 슬롯의 반지름 r_0 를 결정해야 한다. 반지름 r_0 는 원하는 주파수 대역에서 가장 낮은 주파수 파장의 약 1/2이 되도록 결정해야 하는데 이는 스파이럴의 최외각 원주길이가 대략 두 파장이 되기 때문이다. 슬롯의 반지름 r_0 를 결정한 후 각각의 설계변수를 통하여 하나의 스파이럴 암을 만들고 그 스파이럴 암을 중심점에 대해 180°만큼 회전 이동시켜 대칭적인 또 하나의 스파이럴 암으로 구현한다. 두 스파이럴 암이 결정된 후 외각에서 연결되는 두 100 Ω 급전선 간의 길이를 동일하게 하여 동위상으로 급전을 하도록 하였다.

III. 안테나 설계 및 특성

제안한 안테나의 구조는 원형 슬롯의 반지름 r_0 , 스파이럴을 구성하는 f_i, f_e , 선로 사이의 간격 d 등의 설계변수에 의해 특성이 결정된다^[11]. 본 논문에서는 $f=0^\circ, f_e=1265^\circ, r_0=23 \text{ mm}, r_s=0.5 \text{ mm}$ 이고, 100 Ω 선로인 스파이럴 선폭 w_f 는 0.7 mm, 50 Ω 선폭은 2.4 mm이며 선로 사이간격 $d=5.6 \text{ mm}$ 로 설계하였다. 스파이럴에 연결된 두 100 Ω 급전선의 길이를 동일하게 하여 동위상으로 급전시킴으로써 두 번째 복사모드가 발생하도록 설계하였다. 안테나 설계 및 특성을 고찰하기 위한 EM simulation은 Zeland사의 IE3D로 하였으며 유전상수 $\epsilon_r=2.2$, 두께 $h=0.7874 \text{ mm}$ 인 RT Duroid 5880 기판을 사용하였다. 그림 2는 제안한 안테나의 반사손실을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯 4 GHz 이후 전 주파수 대역에서 좋은 정합특성을 가진다.

그림 3은 스파이럴 암에서 형성되는 평균 전류분포를 나타내었다. 제안한 구조에서는 스파이럴 외각에서 급전을 한 경우이므로 최외각의 종단부분을 기준으로 안쪽 시작점까지의 총 길이의 합으로 나타내었다. 따라서 그림 3에서는 길이가 증가할수록

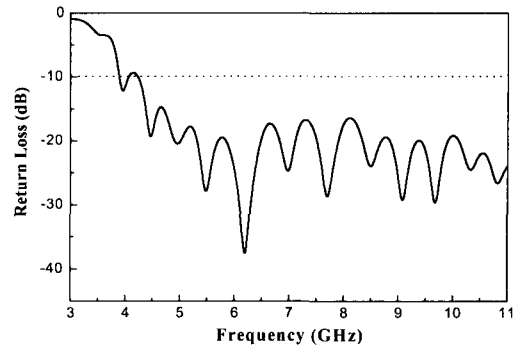


그림 2. 제안한 안테나의 반사손실
Fig. 2. Return loss of the proposed antenna.

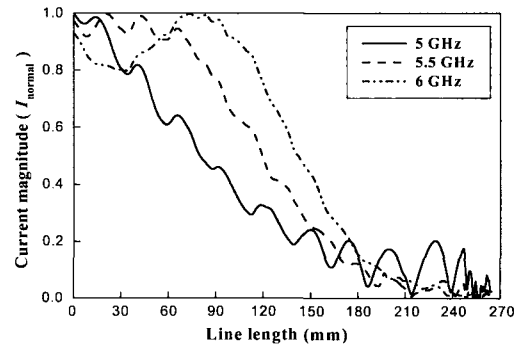


그림 3. 스파이럴 암에서 형성되는 평균 전류분포
Fig. 3. Average current distribution in the spiral arm.

스파이럴 암의 안쪽부분을 나타내는 것이다. 양팔 스파이럴 안테나는 두 스파이럴 암에 동위상의 전류가 급전이 되면 진행파(traveling wave)의 형태로 진행을 하다가 스파이럴이 이루는 원주길이가 약 2 파장(2λ)이 될 때 인접한 암 사이의 전류의 위상이 다시 동위상이 되어 최대의 복사가 일어나 코니컬 빔을 형성한다^[4]. 제안한 구조의 경우에서도 스파이럴 암을 따라 전류가 진행파의 형태로 진행하다가 각각의 주파수의 2 파장의 되는 영역에서 복사가 일어나면서 서서히 전류가 감소되는 것을 알 수 있다.

그림 4에서는 $f=0^\circ$ 와 90° 평면에서 최대 복사가 되는 ϕ 방향의 값을 나타내었다. 5 GHz에서 6.5 GHz까지는 주파수 변화에 따라 2° 정도의 차이가 있지만 ϕ 방향의 값이 약 40° 일 때 최대의 복사가 일어난다. 그후 일정하게 증가되다가 다시 9 GHz부터 ϕ 값이 약 58° 로 유지된다. 이런 특성이 나타나는 것은 스파이럴 안테나의 복사원리를 통해 알 수 있

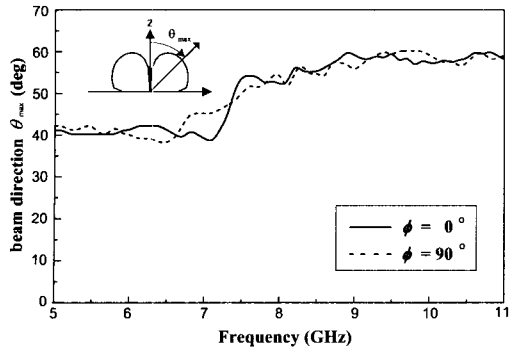


그림 4. 최대 복사 방향(θ_{max})
Fig. 4. Maximum radiation direction in θ (θ_{max}).

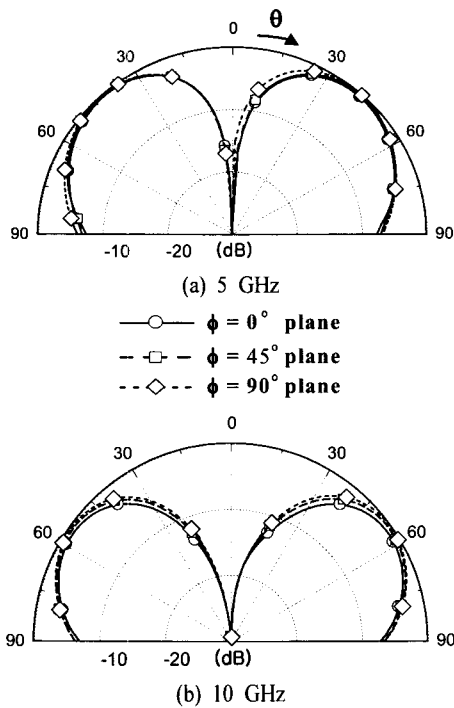


그림 5. 제안한 안테나의 복사패턴
Fig. 5. Computed radiation patterns.

다. 두 스파이럴 암에 동위상의 전류가 급전이 되면 스파이럴의 원주가 2 파장이 될 때 동위상이 되어 복사가 일어나고 또 원주가 4 파장이 될 때에도 동위상이 되어 복사가 일어난다^[3]. 제안한 구조에서는 5 GHz에서 6.5 GHz까지는 두 번째 복사모드에 의해서 복사가 일어나고 9 GHz에서 11 GHz까지는 네 번째 복사모드로 복사된다.

그림 5는 제안한 안테나의 계산된 복사패턴을 도

시하였다. 그림 5(a)와 (b)는 각각 5 GHz와 10 GHz에서의 복사패턴으로 안테나 평면에 대하여 수직인 방향으로 절단한 단면도를 나타내었다. 단면에서 대칭적인 코니컬 빔을 얻을 수 있으며 5 GHz와 10 GHz에서 ϕ 방향이 각각 약 40° 와 58° 일 때 최대복사가 일어난다. 이와 같이 주빔이 안테나 평면에 대하여 전 방향성(omnidirectional)을 가지므로 지상용 위성 안테나로 사용하기에 적합하다.

그림 6은 제안한 안테나의 축비(axial ratio)를 나타내었다. 그림에서 5 GHz에서 6.5 GHz까지는 ϕ 방향으로 약 40° , 9 GHz에서 11 GHz까지 약 58° 에서 최대의 복사가 일어나고 전방향성의 빔을 갖기 때문에 ϕ 의 최대 방향을 기준으로 축비를 각각 나타내었다. 3 dB 이하의 축비가 시작되는 주파수는 5 GHz이며 그 이후 8 GHz 부분을 제외하고 모든 주파수 영역에서 최대복사가 일어나는 방향으로 2.5 dB 이하의 낮은 축비를 유지한다. 두 번째 복사모드에 의해서 복사가 되는 주파수 구간에서는 낮은 축비를 가지며 좋은 원형편파 특성을 유지하다가 8 GHz 근처에서 높은 축비를 갖게 된다. 이후 네 번째 복사모드로 복사가 일어나는 구간에서 최대 복사방향으로 다시 낮은 축비를 유지함을 알 수 있다. 두 스파이럴에 형성되는 전류의 분포는 주파수에 의해서 결정되는데 스파이럴의 최외각 원주길이가 약 2 파장이 되는 주파수 구간에서는 전 방향으로 복사가 되지만 8 GHz 근처에서는 두 번째 복사모드에서 네 번째 복사모드로 변화하는 형태의 진행파의 전류가 형성되기 때문에 스파이럴의 일부 영역에서만 인접한 암 사이가 동위상이 되어 특정방향으로 복사가 집중된다. 이로 인해 축비가 전 방향으로 3 dB 이하를 만족하지 못한다. 그후 주파수가 증가하면서 다시 스파이럴 원주길이가 약 4 파장이 되는 구간에서는 네 번째 복사모드가 형성되어 전 방향으로 복사된다.

IV. 제작 및 측정결과

안테나는 유전상수 $\epsilon_r=2.2$ 이고 두께 $h=0.7874$ mm인 RT Duroid 5880 기판을 사용해서 160 mm×160 mm의 유한 접지면(finite ground)상에 제작하였고 기판 아래에는 두께가 2 mm인 폼(foam)

코니컬 빔을 가지는 접지면에 원형 슬롯이 있는 양팔 마이크로스트립 스파이럴 안테나

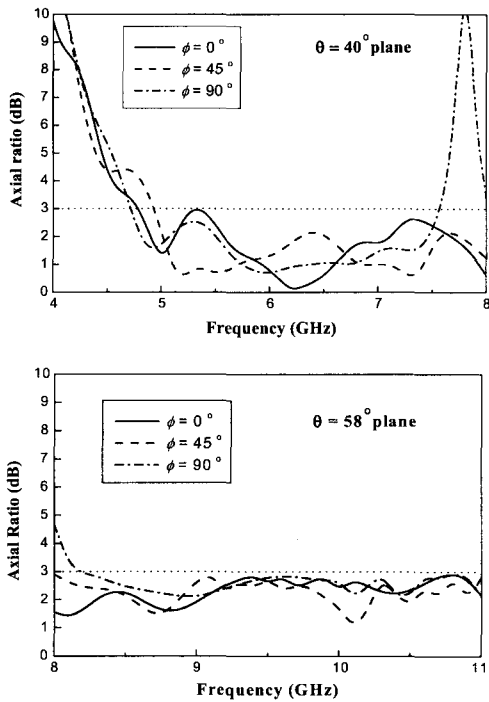


그림 6. θ 의 최대 방향으로의 축비
Fig. 6. Axial ratio in the direction of maximum θ .

을 삽입하였다. 전자파 흡수체는 두께가 19 mm 인 EMERSON & CUMING사의 AN-74를 사용하였다. 두 급전선의 길이를 동일하게 하여 스파이럴의 두 번째 복사모드가 발생하도록 하였으며 모든 설계변수는 전압 정재파비와 축비를 고려하여 원형슬롯의 반지름 $r_o=23$ mm일 때 최적화된 값인 $r_a=0.5$ mm, 100 Ω 선폭 $w_f=0.7$ mm, 50 Ω 선폭=2.4 mm, $d=5.6$ mm, $f_i = 0^\circ$, $f_e=1265^\circ$ 로 하였다.

그림 7에는 제안한 안테나의 반사손실(return loss)을 전자파 흡수체를 삽입한 경우와 없는 경우의 측정값을 비교하였다. 그림에서 알 수 있듯이 두 가지 결과가 거의 일치함을 확인할 수 있다.

그림 8에 주파수별로 측정된 복사패턴을 도시하였다. 각각의 주파수별로 주빔의 방향에서 E_θ 와 E_ϕ 를 측정하여 RHCP와 LHCP로 변환한 후^[12] 그림 3의 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 측정과 시뮬레이션 결과가 매우 유사함을 알 수 있다. 최대의 복사가 일어나는 α 방향에 대하여 2.1 dB, 1.9 dB와 2.5 dB의 축비를 각각 얻을 수 있었으며 최대 복사방향을 기준으로 측정된 주파수에서 모두 3 dB 이하의

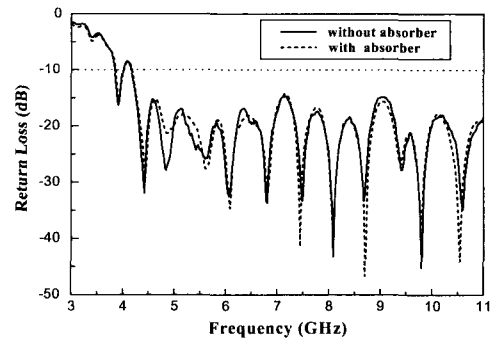


그림 7. 측정된 안테나의 반사손실
Fig. 7. Measured return loss.

축비를 유지하는 것을 알 수 있다. 측정된 복사패턴의 이득은 5 GHz에서 0 dB_{ic}, 7 GHz에서 0.2 dB_{ic}, 10 GHz에서 -0.5 dB_{ic}를 얻을 수 있었다. 실제 시뮬레이션 값보다 다소 낮은 이득이 나타나는데 이것은 안테나에 부착된 전자파 흡수체 때문에 급전선에서 손실이 발생하여 이득이 감소된 것으로 사료된다.

한편 복사패턴에 마이크로스트립 급전에 따른 영향을 살펴본 결과, 슬롯 반대방향(후방복사)의 패턴에는 다소 영향을 미치지만 후방복사는 전자파 흡수체로 제거되어 실제 급전선이 패턴에 미치는 영향이 크지 않음을 확인하였다.

그림 9에서 계산된 이득값과 측정된 이득값을 비교하였다. 모두 최대의 복사가 일어나는 방향을 기준으로 도시하였다. 그림에서와 같이 계산된 결과에서는 대략 모든 주파수 대역에서 2 dB_{ic} 정도의 이득을 가짐을 확인할 수 있다. 측정된 이득값은 표준 이득 혼 안테나(standard gain horn antenna)를 기준으로 실제 측정된 이득값을 구하였다. 앞에서 언급한대로 측정된 이득값이 계산된 이득값보다 다소 낮은 값을 가지는데 이는 안테나에 부착된 전자파 흡수체 때문에 복사가 일어나기 전에 급전선부분에서 손실이 발생하여 이득이 1.5 dB 정도의 감소된 것으로 사료된다. 일반적인 스파이럴 안테나의 경우 캐비티 구조에 따라 이득이 결정되며 four arm spiral antenna는 1차 복사 모드(수직인 빔)에서 약 -3~3 dB_{ic} 정도의 이득을 가지며 상용 스파이럴 안테나는 0~2 dB_{ic}의 이득을 가지므로 제안한 안테나가 기준 스파이럴 안테나와 유사한 이득을 가짐을 알 수 있다.

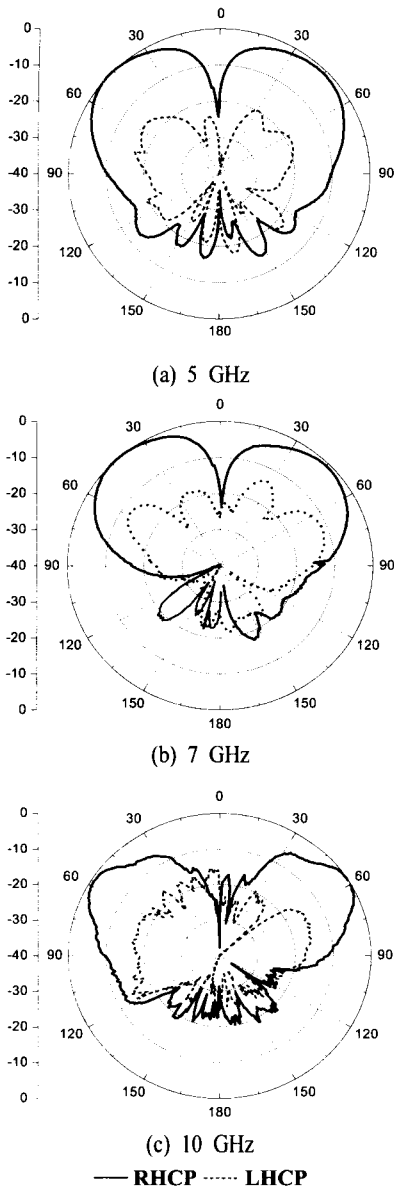


그림 8. 측정된 복사패턴
Fig. 8. Measured radiation patterns.

V. 결 론

본 논문에서는 두 개의 스파이럴 암을 사용하여 원형편파의 코니컬 빔을 가지는 스파이럴 안테나를 제안하였다. 원형편파의 코니컬 빔을 발생시키기 위해서는 두 스파이럴이 동위상으로 급전을 해야 하는데 본 논문에서 제안한 구조는 스파이럴 암의 바깥쪽 끝부분에서 동일한 길이를 갖는 급전선으로

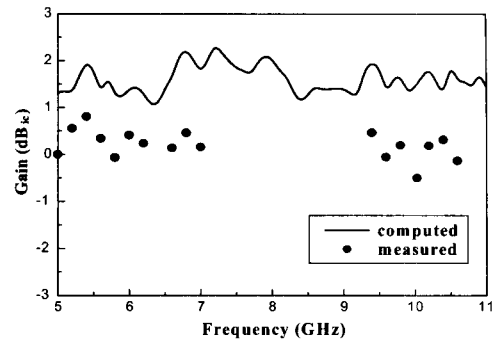


그림 9. 계산된 이득값과 측정된 이득값
Fig. 9. Computed and measured gain.

연결시켜 간단히 동위상으로 급전하였다. 안테나 평면에 대하여 평행한 방향으로 전방향성을 갖는 코니컬 빔을 얻을 수 있는 주파수는 5 GHz부터이며 이후 넓은 주파수 대역에서 원형편파가 유지된다. 5 GHz에서 6.5 GHz까지의 대역에서는 두 번째 복사 모드에 의하여 q 방향으로 약 40° 일 때 최대복사가 일어나고 9 GHz에서 11 GHz까지의 대역에서는 네 번째 복사모드에 의하여 q 가 약 58° 방향일 때 최대복사가 일어난다. 제한한 안테나는 전 방향성을 갖는 빔과 넓은 대역에서 원형편파를 얻을 수 있기 때문에 위성통신에서 지상용 이동 통신 안테나로 사용되거나 최근에 수요가 급증하고 있는 무선 LAN 분야에서 이용될 수 있을 것이라 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] C. Phongcharoenpanich, S. Suriya, T. Lertwiriyaprapa, P. Ngamjanyaporn and M. Krairiksh, "Analysis of circular array of monopole on the ground plane radiating linearly polarized conical beam for wireless LAN applications", *ISAPE Proc. 5th Int. Symp.*, pp. 646-649, 2000.
- [2] E. Gschwendtner, W. Wiesbeck, "Multi-service dual-mode spiral antenna for conformal integration into vehicle roofs", *IEEE AP-S Int. Symp. Digest*, Salt Lake City, Utah, pp. 1532 -1535, July 2000.
- [3] J. A. Kaiser, "The Archimedean two-wire spiral antenna", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol.

- 8, pp. 312-323, May 1960.
- [4] J. R. Donnellan, "Second-mode operation of the spiral antenna", *IRE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 8, p. 637, Nov. 1960.
- [5] H. Nakano, Y. Saura, H. Mimaki and J. Yamauchi, "Circularly polarized conical beam formation by backfire helical antennas", *Trans. IEICE*, vol. E, no. 10, pp. 3246-3252, 1991.
- [6] T. Wilkinson, T. G. C. Phipps and S. K. Barton, "A report on HIPERLAN standardization", *Int. J. Wireless Info. Networks*, vol. 2, no. 2, pp. 99-120, Apr. 1995.
- [7] H. Kawakami, G. Sato and R. Wakabayashi, "Research on circularly polarized conical-beam antennas", *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 39 no. 3, pp. 27-39, June 1997.
- [8] T. Kawano, R. Tago and H. Nakano, "A printed spiral antenna on a finite-sized dielectric substrate for generating a circularly polarized conical beam", *Electromagn.*, vol. 20, no. 4, pp. 343-356, July/Aug. 2000.
- [9] K. Hirose, T. Wada and H. Nakano, "An outer-fed spiral antenna array radiating a circular polarized conical beam", *Electromagn.*, vol. 20, no. 4, pp. 295-310, July/Aug. 2000.
- [10] H. Nakano, K. Nokami, S. Arai, H. Mimaki and J. Yamauchi, "A spiral antenna backed by a conducting plane reflector", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 34, no. 6, pp. 791-796, June 1986.
- [11] 김명기, 박익모, "스파이럴 라인을 이용한 마이크로스트립 원형 슬롯 안테나," 대한전자공학회 논문지, 38(5), pp. 182-188, 2001년 5월.
- [12] G. E. Evans, *Antenna Measurement Technique*, Artech House, pp. 77-80, 1990.

오 대 영



2001년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
 2001년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 수치해석

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 (공학사)
 1989년: 일리노이대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 1994년: 일리노이대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 1994년~1996년: LG전자기술원 선임연구원

1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 부교수
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, EMI/EMC, 수치해석

김 명 기



1999년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
 2001년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학석사)
 2001년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 수치해석