

# 한팔 나선 안테나의 길이 및 급전 변화에 따른 편파 및 빔 틸트 특성에 대한 분석

양찬우<sup>1</sup>, 박세현<sup>2</sup>, 정창원<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>NID 융합기술 대학원, 서울산업대학교, <sup>2</sup>DMC 연구소, 삼성전자

## Analysis of Polarization and Beam Tilt Characteristics of Single Arm Spiral Antenna by Varying Length and Feed

Chanwoo Yang<sup>1</sup>, Sehyun Park<sup>2</sup> and Changwon Jung<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Technology,

<sup>2</sup>Digital Media & Communication R&D Center, Samsung Electronics

**요약** 본 논문에서는 한팔 나선 안테나(single arm spiral antenna)의 편파(polarization) 및 빔 틸트(beam tilt) 특성에 대하여 분석하였다. 한팔 나선 안테나는 나선 둘레 길이(spiral circumference length)가 한 파장 길이 이상 길어지면, 안테나의 최대방사 빔 방향이 안테나로부터 수직인 축빔(axial beam)으로부터 틸트되는 특성을 가지고 있다. 이때 나선 안테나의 급전위치(내부, 외부)에 따라 원형편파 (RHCP, LHCP)가 변화 하며, 안테나의 길이 변화에 따른 빔 틸트 시 원형편파 특성에 따라 최대 방사 빔 방향이 서로 상이한 방향으로 틸트 됨을 검증하였다. 이러한 한팔 나선 안테나의 전기적인 특징을 이용하여, 단일 안테나로 이중 편파를 갖는 빔 포밍, 다이버시티, 또는 MIMO어플리케이션에 대한 적용 가능성을 확인하였다.

**Abstract** In this paper, a single arm spiral antenna has been investigated about the characteristics of polarization and tilt beam. If a circumference length of spiral is bigger than a wavelength, it have a characteristic of varying maximum radiation beam direction. In addition, circular polarizations (RHCP, LHCP) can be variable by the feeding points (inner, outer). Also maximum beam directions tilt in different direction according to the circular polarizations, LHCP and RHCP. These characteristics of single arm spiral antenna are able to apply in the beam forming, diversity, MIMO application which has dual polarization using an antenna element.

**Key Words** : Rectangular/circular-spiral antenna, Axial beam, tilted beam, RHCP and LHCP, Beam forming

### 1. 서론

나선 안테나(spiral antenna)는 광대역성(wideband), 원형편파(CP; Circular Polarization), 그리고 넓은 빔폭(wide beamwidth)의 특성을 가지고 있다는 점에서 지속적으로 연구 되어왔으며, 이러한 특성들은 무선 RF 시스템 에서 광범위 하게 적용 되고 있다[1-9]. 나선 안테나의 또다른 특성으로는 한팔 나선의 경우 팔의 길이가 늘어남에 따라 나선 안테나의 빔이 틸트(편향)한다는 것이다. 한팔 나선 안테나에서 나선의 둘레가  $1 \lambda_g$ 이면 첫 번째 액티브

( $1 \lambda_g$ )층에 의해 방사 필드가 형성되어 평면구조의 나선 안테나로부터 일반적인 수직(elevation) 방향으로의 축빔(axial beam)이 형성되며, 나선의 둘레가  $2 \lambda_g$ 가 되면 나선 안테나로 부터 수평(azimuth) 방향으로의 빔을 갖게 된다. 이 때 팔의 길이가  $1 \lambda_g$  보다 커지게 되면, 첫 번째 액티브( $1 \lambda_g$ )층과 두 번째 액티브( $2 \lambda_g$ )층의 방사 필드(field)의 중첩에 의해서 빔 틸트가 형성된[2-3]. 또한 나선 안테나의 원형편파는 나선의 감는 방향(winding direction)에 따라서 정해진다[2].

본 논문의 2장에서는 단일 한팔 원형 나선 안테나에

\*교신저자 : 정창원 (changwoj@snut.ac.kr)

접수일 09년 09월 14일

수정일 09년 10월 20일

게재확정일 09년 11월 12일

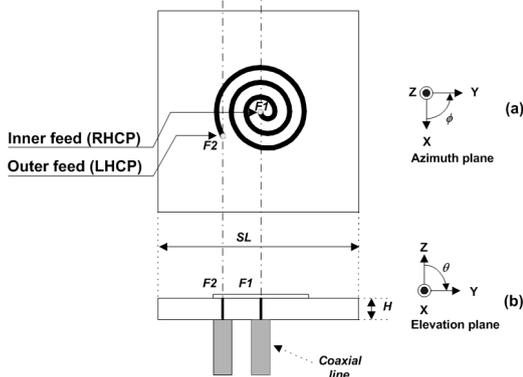
서 급전점 변화(내부, 외부)에 따라 나선의 감는 방향이 바뀌면서 발생하는 원형편파의 변화와 이때 나선의 길이 증가에 따라 각 원형편파에서 최대 빔 방향 또한 서로 상이한 방향으로 틸트 된다는 것을 확인하였다.

또한 3장에서는 단일 한팔 직각 나선 안테나에서 나선의 길이 변화에 따라 발생하는 빔 틸트 시 나선의 둘레가  $1 \lambda_g$ 일 때 발생하는 축빔에서는 본래의 원형편파가 주 방사(main radiation)가 되지만 나선의 둘레가  $1 \lambda_g$  이상 커지게 되면 두 원형편파 모두가 서로 다른 최대 빔 방향을 가지며 틸트 된다는 것을 확인하였다.

이러한 한팔 나선 안테나의 급전 및 길이 변화에 따른 편파 및 빔 틸트의 특성 변화는 일반적인 안테나 어레이에 의한 빔 틸트 시스템에서의 여러 안테나 소자와 위상 변환기를 사용하게 되어 전체 빔-포밍(beam-forming) 시스템의 크기가 커지는 단점을 해결하기 위한 단일 안테나를 사용한 소형 빔-포밍을 구현하는 것이 가능하게 하며, 소형화가 요구되는 이동통신 시스템에 더욱 유용하게 적용될 수 있음을 제시하였다.

## 2. 단일 한팔 원형 나선 안테나의 내부/외부 급전에 따른 원형편파 및 빔 틸트 특성

### 2.1 안테나 구성

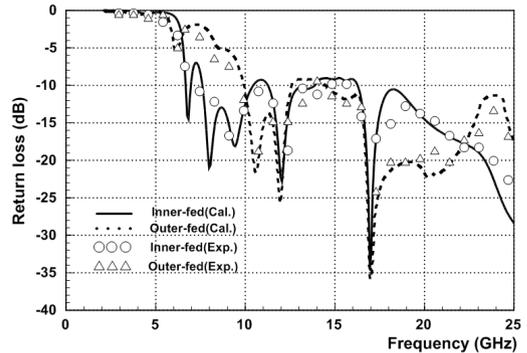


[그림 1] 한 팔 원형 나선 안테나의 구성 (a) 윗면, (b) 옆면

그림 1은 제안된 한팔 원형 나선 안테나의 구성도이다. 유전체 기판 위에 인쇄 되어 있는 나선은 내부 급전(F1)과 외부 급전(F2) 두 개의 동축 선로에 의해 급전되었다. 안테나의 동작 주파수는 밀리터리 대역의 10GHz (X-band)이며, 자유 공간 상에서 10 GHz의 한파장의 길이는  $1 \lambda_0=30 \text{ mm}$ 이다. 사용된 기판은 한 변의 길이(SL)가  $1 \lambda_0=30 \text{ mm}$ 인 정사각형 이고, 두께(H)는  $3.175$

$\text{mm}=0.105 \lambda_0$ 이며, 유전 상수( $\epsilon_r$ )가 3.27인 Roger's TMM3를 사용하였다. 나선의 폭 넓이는  $1\text{mm}(0.033\lambda_0)$ 로 일정하며, 나선은 중심의 급전으로부터 반지름이 R인 반원(semicircle)의 반지름이 1R, 3R, 5R, ... (2m-1)R로 증가되며 나선을 구성 한다[1]. 또한 나선의 길이 증가에 따른 최대 방사 빔의 방향을 분석하기 위하여 나선 안테나는 세 가지의 다른 나선 팔 길이(L1, L2, L3: 나선 안테나의 전체 길이)를 가지며 또한 급전 점 (F1, F2)변화에 따르는 최대 빔 방향 변화를 조사 하였다. 나선 안테나의 둘레가  $1 \lambda_g=20.53 \text{ mm}(\lambda_g: \text{Guided wavelength})$ 이며 길이가  $L1=1.64 \lambda_g$ 일 때 최대 빔의 방향은 안테나 상에 수직(그림 1에서 Z축)이며, 이를 축빔(axial beam)이라고 한다. 또한 나선 안테나의 둘레가  $1 \lambda_g$ 보다 큰 팔 길이  $L2=3.25 \lambda_g, L3=5.55 \lambda_g$ 에서는 최대 빔 방향이 안테나의 수직 축(Z) 방향으로부터 틸트 된다. 따라서 본 장에서 나선 안테나는 두 개의 급전과 각 세 개의 다른 팔 길이를 갖으며 총 6가지의 경우에 대하여 조사되었다.

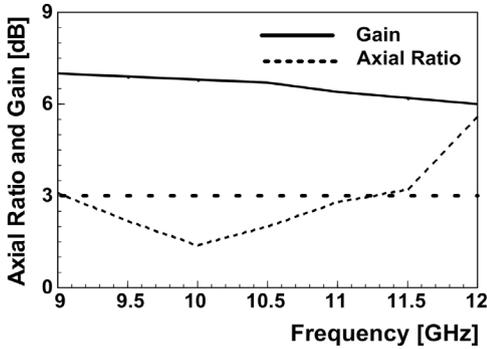
### 2.2 설계 및 측정



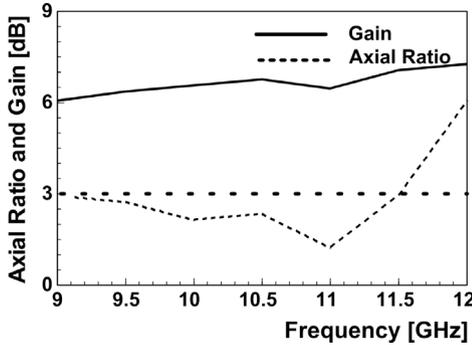
[그림 2] 내부/ 외부 급전의 반사손실 ( $L1 = 1.64\lambda_g$ )

그림 2는 두 개의 급전 점(F1, F2)에서 팔 길이가  $L1(1.64\lambda_g)$ 일 때의 반사손실에 대한 시뮬레이션과 측정된 값을 나타내었다. 두 반사손실은 10 GHz대역에서 -10 dB 이하의 값을 가지며, 주파수 대역폭(return loss < -10 dB)은 15 GHz 이상이며, 일반적인 나선 안테나의 광대역 특성을 가짐을 알 수 있다. 제안된 안테나는 내부 급전(F1)일 경우는 급전 점으로부터 나선의 감기는 방향이 오른쪽(右)으로 감기며, 우원편파 특성을 갖는다. 또한 동일 안테나 상에서 외부 급전(F2)일 경우는 급전 점으로부터 나선의 감기는 방향이 왼쪽(左)으로 감기며, 좌원편파 특성을 갖는다. 그림 3은 각 내부(RHCP)와 외부(LHCP) 급전일 때의 주파수(9 ~ 12 GHz)에 따른 축비(axial ratio)와 최대 이득(gain)에 관한 시뮬레이션 결과

이다. 안테나는 내부 급전(그림 3 (a))일 경우 동작 주파수 10 GHz에서 축비가 1.5 dB이며 이는 축비에 대한 규범인 3 dB 이하 이므로 원형편파의 안테나로 사용 가능하며, 또한 축비 대역폭은 22.5%이다. 외부 급전(그림 3 (b))일 경우 동작 주파수 10 GHz에서 축비가 12 dB이며, 축비 대역폭은 25%이다. 이때 좌 우원편파의 전계강도 ( $E_r$ :좌원편파의 전계강도,  $E_l$ :우원편파의 전계강도)에 관한 식과 전계 강도의 크기에 대한 축비(axial ratio)는 다음과 같다.



(a)



(b)

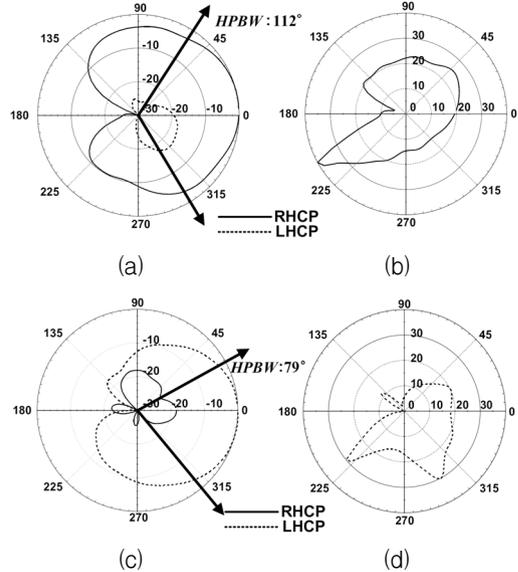
[그림 3] 축비와 이득의 주파수 응답 (a) 내부 급전 (RHCP), (b) 외부 급전(LHCP)

$$E_r = \frac{(E_\theta - E_\phi j)}{\sqrt{2}}, \quad E_l = \frac{(E_\theta + E_\phi j)}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

$$\text{Axial Ratio} = \frac{\|E_r\| + \|E_l\|}{\|E_r\| - \|E_l\|} \quad (2)$$

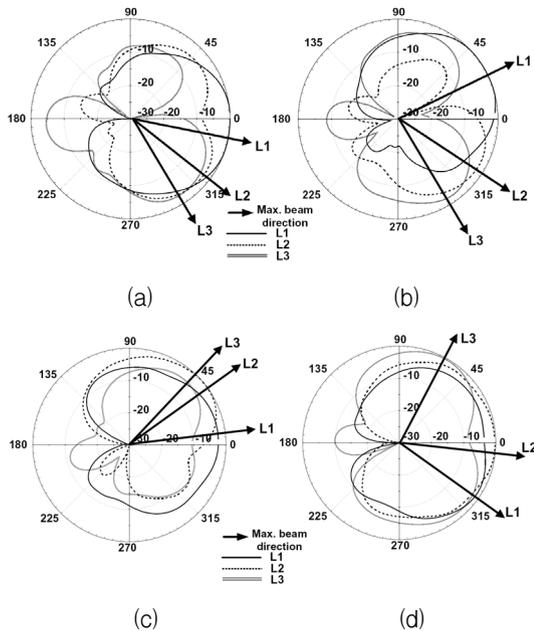
동작주파수 10 GHz에서 안테나의 최대 이득은 내부 급전의 경우 6.8 dB이고, 외부 급전은 6.2 dB이다. 그림 4에서는 팔의 길이가 L1일 때, 내부 외부 급전 상에서의 측정된 방사 패턴과 편파 비를 나타내었다. 각 내부 외부

급전 상에서 팔의 길이가 L1일 경우는 그림 4의 (a), (c)에서와 같이 방사패턴은 안테나로부터 수직인 축빔의 형태를 갖는다.



[그림 4] L1=1.64 λg일 때, 10 GHz에서 측정된 방사 패턴과 편파 비 (a) 내부 급전의 방사 패턴, φ=0°, (b) 내부 급전의 RHCP 편파 비, φ=0°, (c) 외부 급전의 방사 패턴, φ=0°, (d) 외부 급전의 LHCP 편파 비, φ=0°

내부 급전에 대한 방사 패턴은 그림 4 (a)에서와 같이 112°의 일반적인 나선 안테나의 넓은 반전력빔폭(HPBW) 특성을 가지며, 반전력빔폭 이내에서 편파 비(그림 4 (b))가 15 dB 이상의 값을 가지므로 축비 또한 3 dB 이내이다. 외부 급전에 대한 방사 패턴은 그림 4 (c)에서와 같이 79°의 반전력빔폭 특성을 가지며, 반전력빔폭 이내에서 편파 비는 15 dB 이상의 값을 갖는다. 또한 각 급전에 따른 나선 안테나의 빔 틸트 특성을 조사하기 위해, 팔 길이 L2, L3에 대한 방사패턴을 측정 하였으며, 그림 5에 각 팔 길이 (L1, L2, L3)에 따른 방사패턴을 도시하였다. 내부 급전과 외부 급전은 모두 축빔(L1)과 두 개의 빔 틸트 (L2, L3)를 가진다. 그림 5 (a)와 (b)는 φ=0°와 φ=90°에서의 내부 급전의 방사 패턴이며, 그림 5 (c)와 (d)는 φ=0°와 φ=90°에서의 외부 급전의 방사 패턴이다. 빔 틸트의 방향은 내부 급전의 경우 축빔(L1)으로부터 양(+)의 θ (Elevation)방향으로 틸트 되고, 외부 급전의 경우 축빔 (L1)으로부터 음(-)의 θ (Elevation)방향으로 틸트 된다.



[그림 5] 10 GHz에서  $L1=1.64 \lambda_g$ ,  $L2=3.25 \lambda_g$ ,  $L3=4.32 \lambda_g$  일 때의 축빔과 두 개의 빔 틸트 구성 (a) 내부 급전(RHCP),  $\phi=0^\circ$  (b) 내부 급전(RHCP),  $\phi=90^\circ$  (c) 외부 급전(LHCP),  $\phi=0^\circ$  (d) 외부 급전(LHCP),  $\phi=90^\circ$

또한 나선 안테나는 Z축으로부터 약간의 비대칭적인 구조를 가지고 있으므로, 축빔 또한 정확히  $\theta=0^\circ$ 를 향하지는 않는다. 또한 L1, L2, L3 전체 빔 틸트의 범위는  $\phi=0^\circ$ 일 때보다  $\phi=90^\circ$ 일 때 더 넓은 값을 가진다. 이는 실제 빔 틸트 시스템에 적용 시 시스템에서 요구되는 편파 및 최대 빔의 수평 축(Azimuth:  $\Phi$ ) 방향에 따라 달리 적용 될 수 있는 한팔 원형 안테나의 또 다른 특성이다.

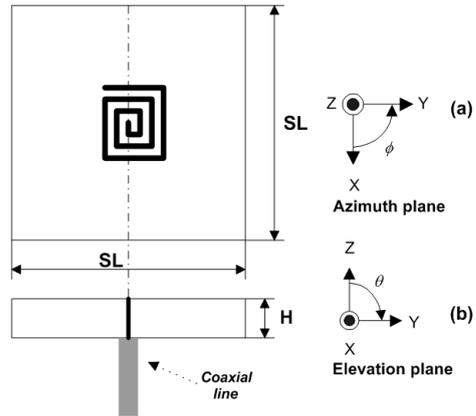
[표 1] 두 개의 급전 점 과 나선 팔 길이(L1 ~ L3)에 대한 최대 빔 방향과 이득

	F1 (RHCP), $\phi=0^\circ$		F1 (RHCP), $\phi=90^\circ$	
	Max. beam direction ( $\theta$ )	Gain (dBi)	Max. beam direction ( $\theta$ )	Gain (dBi)
L1	7	6.8	325	6.4
L2	36	8.7	353	7.7
L3	47	5.6	62	7.4

	F2 (LHCP), $\phi=0^\circ$		F2 (LHCP), $\phi=90^\circ$	
	Max. beam direction ( $\theta$ )	Gain (dBi)	Max. beam direction ( $\theta$ )	Gain (dBi)
L1	349	6.2	27	6.1
L2	322	4.7	327	4.6
L3	303	4.4	302	4.5

### 3. 단일 한팔 직각 나선 안테나의 빔 틸트 특성과 이중 원형편파 특성

### 3.1 안테나 구성



[그림 6] 한 팔 직각 나선 안테나의 구성 (a)윗면, (b) 옆면

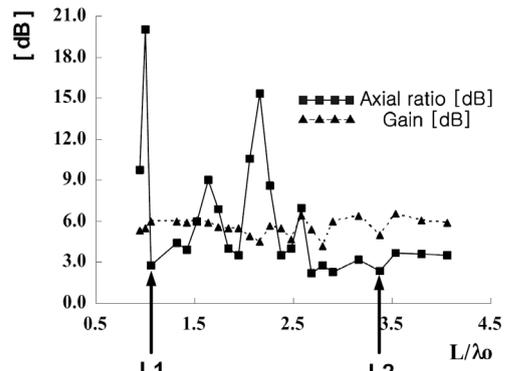
그림 6은 제안된 한팔 직각 나선 안테나의 구성도이다. 유전체 기판은 본 논문의 2장에서와 같은 재질의( $\epsilon_r=3.27$ , Roger's TMM3)를 사용하였고, 기판의 두께(H)는 3.175 mm이다. 기판 위에 인쇄 되어 있는 나선은 동축 선로에 의해 급전 되었으며, 사용된 기판은 한 변의 길이(SL)가  $1 \lambda_0=18 \text{ mm}$ 인 정사각형이다. 안테나의 동작 주파수는 2장에서와 같은 10 GHz (X-band)이다. 나선의 폭 넓이는 0.5 mm로 일정 하며, 나선의 팔은 중심의 급전으로부터  $A0, A0, 2A0, 2A0, 3A0, 3A0 \dots (M-1)A0, MA0$ 의 방법으로 증가 되며, 여기서  $A0=1.58 \text{ mm}$ 는 나선 안테나의 기본 단위길이 이며, M은 정수이다[2]. 또한 나선의 팔은 우원편파를 얻기 위해 오른쪽방향으로 증가시켰다.

### 3.2 설계 및 측정

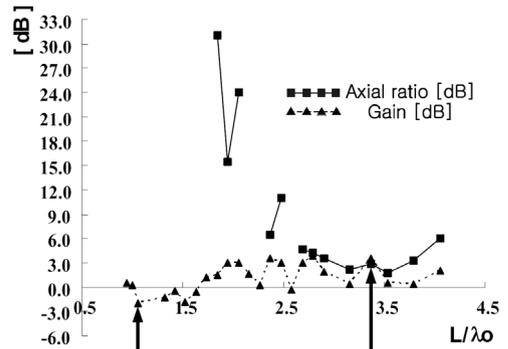
3장에서는 동일 급전 상에서 나선의 팔 길이 변화에 따른 축빔과 빔 틸트에서의 편파의 특성을 조사하기 위해 우선 그림 7에서와 같이 안테나 길이(L) 증가에 따른 안테나의 축비와 이득을 조사하여 두 개의 나선 길이(L1:축빔, L2 빔 틸트)를 선정하였다. 그림 7은 3.1절에서 언급된 직각 나선 안테나 상에서 두 원형편파(RHCP/LHCP)의 경우에 대하여 최대 빔 방향( $\Phi$ )에서의 이득과 축비에 대한 3D-full wave analysis를 통한 시뮬레이션 결과이다. 두 개의 길이(L1=1.05  $\lambda_0$ , L2=3.35  $\lambda_0$ ) 모두 3 dB 축비 규범으로부터 결정된다[2-3]. L1=1.05  $\lambda_0$ 은 오직 우원편파의 최대 빔 방향( $\Phi$ )에서의 3 dB 축비로부터 결정(제안된 안테나는 오른쪽으로 감겨진 우원편파를 갖는다.)되어 지며, 최대 빔 방향( $\Phi$ )에서 이득은 6 dBi이고, 축비는 2.8 dB이다. L2는 우원편파와 좌원편파 모두 최

대 빔 방향( $\Phi$ )에서의 3 dB 축비로부터 결정되며, 우원편파에서 L2에 대한 이득은 5 dBi이고, 축비는 2.4 dB이며, 좌원편파에서 L2에 대한 이득은 6 dBi이고, 축비는 2.8 dB이다. 그림 7 (b)의 좌원편파의 경우, 안테나가 우원편파의 안테나 이므로 좌원편파에 대한 이득은 우원편파에 대한 이득 보다 적으며, 위 식 2에서처럼 좌원편파의 전계 강도의 크기가 우원편파의 그것 보다 작을 경우, 좌원편파에 대한 축비가 불연속한 구간을 가진다. 그러나 나선의 길이가 증가되면서 빔 틸트 구간( $2.5 \lambda_0$  이상)에서는 좌원편파에서도 축비의 불연속 구간이 사라지며 동일 안테나 상에서 서로 다른 두 개의 편파를 동시에 사용할 수 있는 구간이 나타난다. 이는 동일 한팔 나선 안테나를 이용하여 서로 다른 최대 빔 방향에서 두 가지의 편파를 동시에 사용하는 어플리케이션에 적용 될 수 있다고 예상된다. 그림 8은 두 원형편파의 축비 규범과 안테나 이득으로부터 결정된 두 나선 길이(L1, L2)에 대한 최대 빔 방향을 알아보기 위해, 나선의 팔 길이 증가( $L = 1 \lambda_0 \sim 4 \lambda_0$ ) 따른 우원편파의 최대 빔 방향의 변화에 대한 시뮬레이션 결과이다. 팔 길이 변화에 대해 최대 빔 방향은 각 각 수직방향(Elevation:  $\Theta$ )에서는  $11^\circ \sim 36^\circ$ 의 변화를 보이고, 수평방향(Azimuth:  $\Phi$ )에서는  $-25^\circ \sim 83^\circ$ 의 변화를 보인다. 또한 최대 빔 방향은 L1에서는 2장에서와 같이 나선의 비 대칭구조로부터 Z축 으로부터 약  $11^\circ$  틀어진 축빔( $\Theta=11^\circ, \Phi = -7^\circ$ )의 방향이며, L2에서는 빔 틸트 ( $\Theta=29^\circ, \Phi = 43^\circ$ )의 방향이다. 좌원편파의 경우는 각  $\Theta$ 와  $\Phi$ 의 최대 빔 방향의 무 방향성 변화 때문에 그래프로 나타내지 않았다. 결정된 두 나선 길이( $L1=1.05 \lambda_0, L2=3.35 \lambda_0$ )를 갖는 각각의 안테나를 제작 하였고, 두 안테나에 대한 측정된 반사손실을 그림 9에 표시 하였다. 두 안테나(L1, L2)의 반사손실은 10 GHz 대역에서 모두  $-10$  dB 이하이며, L2 는 L1보다나선 길이가 길기 때문에 동일한 주파수 대역(4 GHz-20 GHz)에서 보다 많은 공진점을 갖는다[2-3]. 그림10은 좌, 우원편파에 대한 축비( $L1=1.05 \lambda_0$ )의 방사패턴과 최대 빔 방향의 측정결과이다. 우원편파의 경우 최대 빔 방향은  $\Phi=-7^\circ$ 와  $\Theta=11^\circ$ 이고, 좌원편파의 경우 최대 빔 방향은  $\Phi=140^\circ$ 와  $\Theta=43^\circ$ 이다. 앞에서 언급되었듯이, 본 안테나는 급전으로부터 오른쪽으로 감긴 우원편파의 안테나 이므로, 축빔에서는 우원편파의 최대 이득은 좌원편파보다 더 크다. 그림 11은 좌, 우원편파에 대한 빔 틸트( $L = 3.35 \lambda_0$ )의 방사패턴과 최대 빔 방향의 측정 결과 이다. 빔 틸트에서는 우원편파의 경우 최대 빔 방향은  $\Phi=43^\circ$ 와  $\Theta=29^\circ$ 이고, 좌원편파의 경우 최대 빔 방향은  $\Phi=76^\circ$ 와  $\Theta=313^\circ$ 이다. 따라서 빔 틸트의 경우 그림 7의 축비에 대한 길이 결정에서 언급되었듯이 하나의 나선 안테나를 서로 다른 두 편파의 최대 빔

방향에서 동시에 사용할 수 있게 됨을 실제 안테나 제작 및 측정을 통하여 확인하였다. 그림 12는 측정된 빔 틸트(RHCP,  $\Phi=43^\circ$ 와 LHCP,  $\Phi=76^\circ$ )의 편파비이다 (식 3, 4 참조). L2의 동일한 나선길이에서, 안테나의 최대 편파비는 우원편파의 경우  $\Phi$ 의 최대 빔 방향과 같고, 좌원편파의 경우  $\Phi$ 의 최대 빔 방향과 약 30도 정도 틀어져있다.

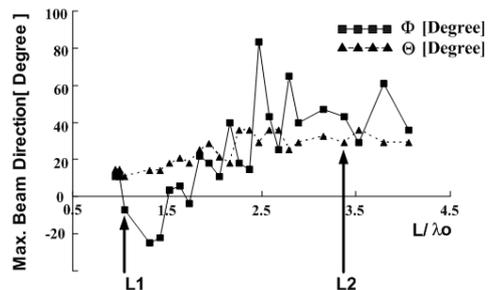


(a)

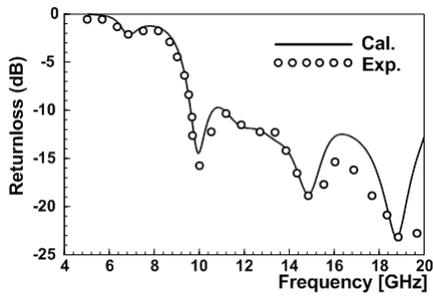


(b)

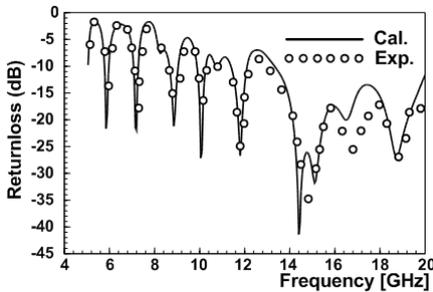
[그림 7] 최대 빔 방향( $\Phi$ )에서의 이득과 축비로부터 나선의 팔 길이의 선택 (a) 우원편파, (b) 좌원편파



[그림 8] 나선 팔 길이(L) 증가에 따른 우원편파의 최대 빔 방향

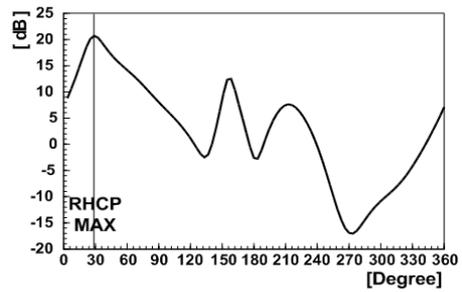


(a)

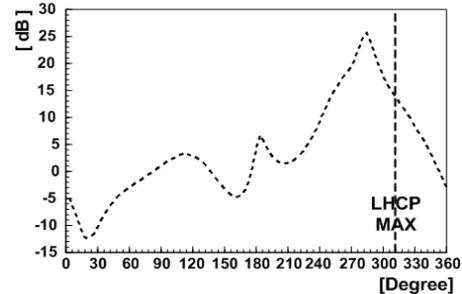


(b)

[그림 9] 한팔 나선 안테나의 반사손실 (a)  $L1 = 1.05 \lambda_0$ , (b)  $L2 = 3.35 \lambda_0$

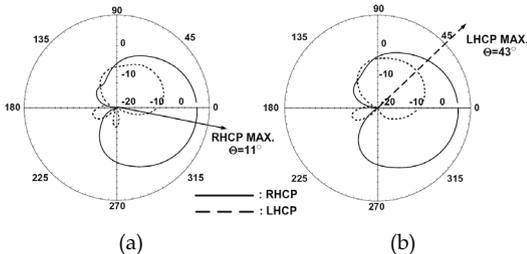


(a)

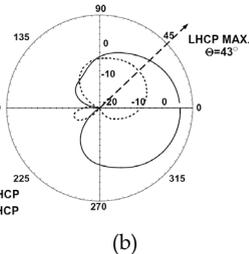


(b)

[그림 12] 빔 틸트( $L2 = 3.35 \lambda_0$ )에서의 편파비 (a)  $\phi = 43^\circ$ 에서 우원편파, (b)  $\phi = 76^\circ$ 에서 좌원편파

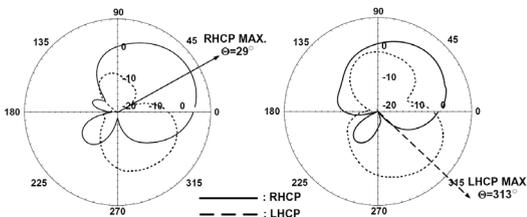


(a)

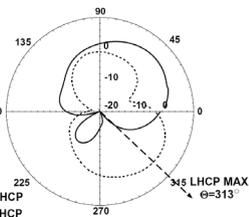


(b)

[그림 10] 축빔( $L1 = 1.05 \lambda_0$ )에서의 방사 패턴 (a)  $\phi = -7^\circ$ 에서 우원편파의 최대 이득 방향, (b)  $\phi = 140^\circ$ 에서 좌원편파의 최대 이득 방향



(a)



(b)

[그림 11] 빔 틸트( $L2 = 3.35 \lambda_0$ )에서의 방사 패턴 (a)  $\phi = 43^\circ$ 에서 우원편파의 최대 이득 방향, (b)  $\phi = 76^\circ$ 에서 좌원편파의 최대 이득 방향

## 4. 결론

본 논문에서는 한팔 나선 안테나에서 나선의 둘레 크기에 따라 둘레 길이가  $1 \lambda_g$  일 때 축빔( $1 \lambda_g$ ) 그리고 둘레가  $1 \lambda_g$  이상 커졌을 때 나선 안테나의 수직축(Z축)으로부터 빔이 틸트되는 현상을 기초로 하여, 나선의 길이를 가변하여 축빔과 빔 틸트에서의 편파특성을 조사하였다. 이때 한팔 원형 나선 안테나의 급전점 변화(내부, 외부)에 따라 나선의 감는 방향이 바뀌면서 발생하는 원형편파의 변화와 나선의 길이 증가에 따라 각 원형편파에서 최대 빔 방향 또한 서로 상이한 방향으로 틸트 된다는 것을 확인하였고, 이를 아래의 표 1에 정리하였다. 원형스파이럴이 Z-축으로부터 약간 비대칭적인 구조를 가지므로, 축빔에서는 안테나가 Z-축(axis)으로부터 약간 기울어진 각을 가지며 ( $7^\circ$ : RHCP,  $325^\circ$ : LHCP), 나선 길이에 따른 최대 빔 방향의 변화는 수평축 ( $\Phi$ )면에서  $30^\circ$  이상이며, 안테나의 최대 이득은 5.6 ~ 8.7 dBi의 값을 가진다. 또한 한팔 직각 나선 안테나에서 나선의 빔 틸트 시 축빔에서는 본래의 원형편파가 주방사(main radiation)가 되지만 나선의 둘레가  $1 \lambda_g$  이상 커지게 되면 두 원형편파 모두가 서로 다른 최대 빔 방향을 가지며 틸트 된다는 것을 확인하였다. 또한 빔 틸트 시 서로 다른 편파의 축비는 3 dB 이하로 단일 안테나에서 서로 다른 두 개의 편

파를 사용할 수 있으므로 단일 안테나에서 두 개의 편파로 서로 다른 빔 방향을 갖는 다이버시티(diversity) 또는 빔 상호간 낮은 상호관계(correlation)가 필요한 MIMO 통신 시스템에서 유용하게 사용될 수 있다. 이러한 한팔 나선 안테나의 급전 및 길이 변화에 따른 편파 및 빔 틸트의 특성 변화는 일반적인 안테나 어레이에 의한 빔 틸트 시스템에서의 여러 안테나 소자와 위상변환기를 사용하게 되어 전체 빔-포밍 시스템의 크기가 커지는 단점을 해결하기 위하여, 단일 안테나를 사용한 소형 빔-포밍을 구현하는 것이 가능하게 하며, 소형화가 요구되는 이동통신 시스템에 더욱 유용하게 적용될 수 있음을 제시하였다.

### 참고문헌

- [1] R. Bawer, J. J. Wolfe, "The spiral antenna," IRE International Convention Record, Pt. T, pp. 84-95, May 1960.
- [2] H. Nakano, J. Eto, Y. Okabe, J. Yamauchi, "Tilted-and axial-beam formation by a single-arm rectangular spiral antenna with compact dielectric substrate and conducting plane," IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 50, no. 1, pp. 17-24, Jan. 2002.
- [3] H. Nakano, Y. Shinma, J. Yamauchi, "A monofilar spiral antenna and its array above a ground plane-formation of a circularly polarized tilted fan beam," IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 45, Issue 10, pp. 1506-1511, Oct. 1997.
- [4] K. Hirose, K. Kawai, H. Nakano, "An array antenna composed of outer-fed curl elements," IEEE Int. Antennas and Propagation Symp., vol. 2, pp. 1162 - 1165, Jun. 1998.
- [5] K. Hirose, K. Kawai, H. Nakano, "A curl antenna for a linearly polarized wave," IEEE Int. Antennas and Propagation Symp., vol. 4, pp. 2752 - 2755, Aug. 1999.
- [6] J. Dyson, "The unidirectional equiangular spiral antenna", IRE Trans. Antennas and Propag., vol. 7, Issue 4, pp. 329-334, 1959.
- [7] J. J. H. Wang, V. K. Tripp, "Design of multioctave spiral-mode microstrip antennas", IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 39, no. 3, pp. 332-335, Mar. 1991.
- [8] H. Nakano, "Analysis on beam reflection of spiral antenna," IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 55, no. 12, pp. 693-694, Dec. 1972.
- [9] H. Nakano, Y. Shinma, H. Mimaki, J. Yamauchi, K. Hirose, "An beam formation using spiral array antennas," IEEE Int. Antennas and Propagation Symp., pp. 1628 -1631, Jul. 1996.

### 양 찬 우(Chanwoo Yang)

[준회원]



- 2009년 2월 : 홍익 대학교 전자공학 학사 졸업
- 2009년 ~ 현재 : 서울 산업대학교, NID융합기술 대학원, 방송통신 융합 프로그램 석사과정

<관심분야>

MIMO Antenna, 이동통신 안테나, RF, 방송통신융합 시스템

### 박 세 현(Sehyun Park)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (석사)
- 2003년 9월 : 일본동경공업대학교 전기전자공학부 (박사)
- 2003년 10월 ~ 2004년 7월 : 일본동경공업대학교(Post Doctor)
- 2004년 8월 ~ 2008년 5월 : 삼성종합기술원 전문 연구원
- 2008년 6월 ~ 현재 : 삼성전자 DMC연구소 책임 연구원

<관심분야>

전기/전자, 정보통신, 전파전파, MIMO Antenna, 이동통신 안테나, Millimeter wave high gain antenna.

### 정 창 원(Changwon Jung)

[정회원]



- 2001년 12월 : University of Southern California, 전자공학 (석사)
- 2005년 6월 : University of California, Irvine, 전자공학 (박사)
- 1997년 1월 ~ 2000년 6월 : LG 정보통신, 연구원
- 2005년 7월 ~ 2005년 10월 : University of California, Irvine, Post Doctor
- 2005년 11월 ~ 2008년 4월 : 삼성종합기술원, 전문연구원
- 2009년 3월 ~ 현재 : 서울산업대학교, NID 융합기술 대학원, 조교수

<관심분야>

안테나, RF, EMI/EMC, RF-MEMS, 센서