

복합 빔 패턴 형성을 위한 원통형 하이브리드 안테나

A Cylindrical Hybrid Antenna for Shaping Complex Beam Patterns

엄순영 · 정영배 · 전순익 · 김창주

Soon-Young Eom · Young-Bae Jung · Soon-Ick Jeon · Chang-Joo Kim

요 약

본 논문에서는 복합 빔 패턴들을 형성하기 위해 오프셋 선형 급전 배열에 의해 공간 급전되는 원통형 하이브리드 안테나에 대하여 기술한다. 선형 급전 배열은 12개의 마이크로스트립 패치 소자들로 구성되며, 수평면에서 90°의 구형 빔 패턴을 형성한다. 그리고, 수직면에서 -5° ~ -25° 범위에 걸쳐 코씨컨트 빔 패턴을 형성하기 위해 선형 급전 배열에 의해 원통형 반사판상의 수직 곡선이 성형화 된다. IMT-2000 서비스 대역에서 동작하는 140×50 cm 크기의 원통형 반사판 개구면을 갖는 하이브리드 안테나 시제품을 설계 및 제작하였으며, 또한 안테나의 전기적 성능들을 측정하고 그 결과들을 분석하였다.

Abstract

In this paper, a cylindrical hybrid antenna which is spatially fed by an off-set linear feed array is described to form complex beam patterns. The linear feed array consists of twelve micro-strip patch elements and forms a flat-topped beam pattern with a beam-width of 90° in the horizontal plane. The vertical curve on the cylindrical reflector with the linear feed array is shaped in order to form a cosecant beam pattern within the range of -5° to -25° in the vertical plane. To form complex beam patterns, the hybrid antenna with cylindrical reflector aperture of 140×50 cm was designed and fabricated to be operated within the IMT 2000 service band, and also electrical performances of the antenna were measured and analyzed.

Key words : Hybrid Antenna, Cylindrical Reflector, Linear Feed Array, Flat-Topped Beam Pattern, Cosecant Beam Pattern

I. 서 론

현재의 셀룰라, PCS 등 음성 서비스 기반 무선 통신 서비스에서 점차 IMT 2000(WCDMA) 광대역 무선 데이터 통신 서비스로 증가하는 추세이며, 또한 서비스 대역 전환도 점차적으로 이루어질 전망이다. 또한, 기술적으로 엷다운 로드 전송 성능을 Mbps 급으로 개선시킨 Wibro 휴대 인터넷 서비스도 점차 전국적인 서비스로 확대 실시될 예정이다. 현재 이러한 광대역 서비스를 제공하는 기지국 안테나들은 일반적으로 일정 방향으로의 지향성 빔 패턴을 갖는

다. 이러한 안테나 빔 패턴의 경우, 기지국 타워 주위의 전력 밀도는 과잉으로 크며, 셀 가장자리에서는 오히려 부족하다. 그러므로, 셀터 셀 영역 안에서 QoS(Quality of Service)를 보증하기 위해 송신 전력 제어, 새로운 서비스 스케줄링 등 다양한 기술 개발을 시도하고 있다. 이것은 선형 고출력 전력 증폭기를 요구하고 또한 전력 소모 증가 및 시스템의 신뢰성을 떨어뜨린다.

본 논문은 기지국 안테나(BSA) 설계 기술 관점에서 이러한 단점들을 극복하기 위해 연구된 것으로, 주어진 기지국 시스템의 출력 전력을 효율적으로 사

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT 신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음[2007-F-041-01, 지능형 안테나 기술 개발].」

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20070905-096

· 수정완료일자 : 2007년 11월 13일

용하기 위해선 섹터 셀 범위 내에서 서비스 사용자들에게 균일한 전력 밀도를 제공할 필요가 있다. 이를 위해 안테나는 수평 방향으로 구형 빔 패턴과 수직 방향으로 코씨컨트 빔 패턴의 복합 빔 패턴을 형성하여야 한다. 즉, 구형 빔 패턴은 지향 부분이 중앙 부분에서 평탄하면서 가장자리 부분에서는 가파른 기울기를 갖는 형태이며, 코씨컨트 빔 패턴은 수직 방향 서비스 거리에 따라 전파 전력 밀도가 균일하도록 수직 방사 패턴이 코씨컨트 포락선 형태를 갖는다.

안테나 빔 패턴 성형 기술은 선형 전력 증폭기의 전력 제어 기술과 대비될 수 있는 개념으로 수동 전력 밀도 제어 개념으로 볼 수 있으며, 섹터 셀 안에서의 전력 사용 효율을 개선하기 위해 과잉 영역의 전력 밀도를 부족한 영역으로 안테나 빔 패턴 성형을 통해 전환하는 기술이다. 이와 같은 안테나 기술은 셀 범위내 불규칙한 감쇄 또는 가장자리 영역에서 발생하는 데이터 품질 저하 개선, 기지국과 단말기 사이에 전력 제어를 획기적으로 감소, 섹터 셀 범위 확장을 통해 시스템 투자비 절감 효과, 단말기 전원 사용 시간 증대로 가입자 선호도 개선 등의 장점들을 제공한다.

선형 또는 평면 배열 안테나 설계^{[1]-[4]}, 이중 성형 반사판 설계^[5] 그리고 하이브리드 안테나 설계^{[6],[7]} 기술과 같은 다양한 형태의 안테나 구조를 이용하여 복합 성형 빔 패턴을 설계 및 분석할 수 있다. 본 논문에서는 수평면에서 구형 빔 패턴 특성, 그리고 수직면에서는 코씨컨트 빔 패턴 특성을 효율적으로 형성하기 위해 원통형 성형 반사판과 선형 급전 배열로 이루어진 하이브리드 안테나 구조를 제안한다. 이것은 종래의 평면 배열 안테나 구조에 비하여 상대적으로 급전 구조가 단순하고, 공간 급전을 사용하기 때문에 안테나 효율이 더 높은 장점이 있으나, 상대적으로 안테나의 전체 부피가 커진다는 단점이 있다. 하이브리드 안테나 구조는 선형 급전 배열의 공간적 여기에 의해 반사판 안테나의 개구면 필드를 형성하는 방법으로 수평면에서의 구형 빔 패턴 형성은 선형 급전 배열에 의해 이루어지며, 원통형 반사판은 단순히 입사 전자파를 반사하는 역할을 하며, 수직 방향의 코씨컨트 빔 패턴 형성은 원통형 반사판의 일차원 표면 성형에 의해 이루어진다. 본 논문에서 연구하고자 하는 안테나의 복합 빔 패턴 조건

은 수평면에서 90°(@ 3 dB 레벨)의 구형 빔 패턴 특성과 수직면의 -5°~-25° 범위 내에서 코씨컨트 빔 포락선 특성을 갖는다. 그리고, 동작 주파수 대역은 IMT 2000 주파수 대역 1.92~2.17 GHz이며, 편파 특성은 선형 수직 편파라고 가정한다.

II. 하이브리드 안테나 구조 및 설계 알고리즘

본 논문에서 수평 방향으로 구형 빔 패턴, 그리고 수직 방향으로 코씨컨트 빔 패턴을 형성하기 위해 제안하는 안테나 구조는 그림 1과 같은 오프셋 하이브리드 안테나 구조이다. 여기서 하이브리드 안테나란 반사판과 급전 배열 소자로 구성된 안테나를 의미한다.

그림 1에 보여지는 설계 변수 D_x , D_y 는 x-축 및 y-축 방향에서의 반사판 개구면 크기, F 는 초점 길이, H 는 z-axis으로부터 오프셋 변위, 그리고 β 는 급전 배열의 z-axis 수직 방향 기준을 각각 나타낸다.

제안된 오프셋 하이브리드 안테나의 수평 방향에서의 요구 구형 빔 패턴은 선형 급전 배열 소자들에 의해 이루어지며, 배열 소자들이 요구하는 개구면 진폭 및 위상 분포 데이터를 얻기 위해 주어진 진폭 분포 조건하에서 위상 분포를 최적화하는 패턴 분석 방법이 사용된다^[8]. 이러한 방법은 $\sin(x)/x$ 개구면 분포를 얻는 방법에 비하여, 급전 회로 구현이 용이하다.

또한, 하이브리드 안테나의 수직면에서의 코씨컨트 빔 패턴은 그림 2와 같이 원통형 반사판 일차원

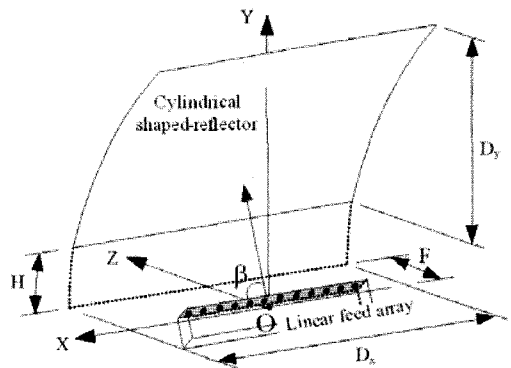


그림 1. 제안된 오프셋 하이브리드 안테나 구조
Fig. 1. Proposed off-set hybrid antenna structure.

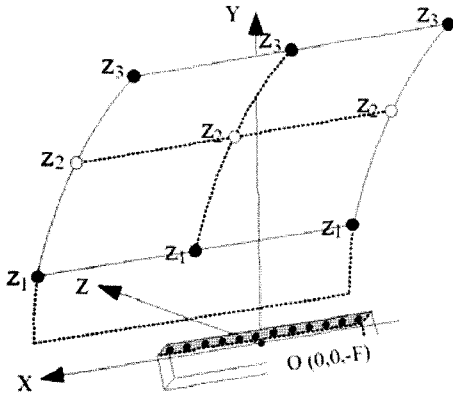


그림 2. 원통형 반사판의 일차원 성형화(3×3 직사각형 격자)

Fig. 2. Cylindrical reflector's one-dimensional shaping (3×3 rectangular lattice).

성형화를 통해 이루어진다. 원통형 반사판이란 그림 2에서 보는 바와 같이 XOZ 평면 내에 z 좌표들은 모두 동일함을 의미한다.

원통형 반사판 성형화는 식 (1)과 같이 주어지는 파라볼라 곡선들로 구성되는 YOZ 평면상 곡면을 갖고 시작된다. 반사판 표면은 직사각형 격자 상에 수직면 일차원 스플라인에 의해 결정된다. 즉, 수직면 격자의 중심 노드들은 고정되고, 주변 노드들은 z-축의 상하 방향으로 움직이며, 이것들은 반사판 표면 설계 벡터, $\mu = [z_1, z_2, \dots, z_L]^T$ 를 구성한다. 이러한 표면 설계 벡터들은 물리 광학에 기반을 둔 반사판 최적 성형화 과정을 통해 얻어진다. 안테나 방사 패턴은 다음 식 (2)와 같이 주어진다^{[5],[7]}.

$$z = F - \frac{y^2}{4F} \tag{1}$$

$$G(\mathbf{p}, \mu) = \begin{bmatrix} G(p_1, \mu) \\ \vdots \\ G(p_n, \mu) \end{bmatrix} \tag{2}$$

여기서, $\mathbf{p} = [p_1, p_2, \dots, p_n]^T$ 는 원거리 영역 수직면에서의 관측 점 집합이다. 또한, 반사판 성형 알고리즘은 다음 식 (3)과 같이 요구 방사 패턴과 실제 방사 패턴 간의 거리를 최소화하는 것이다.

$$\min_{\mu} \|G(\mathbf{p}, \mu) - G_d(\mathbf{p})\|^2$$

$$= \min_{\mu} \left\{ \sum_{i=1}^n [G(p_i, \mu) - G_d(p_i)]^2 \right\} \tag{3}$$

여기서, $G(\mathbf{p}, \mu)$ 와 $G_d(\mathbf{p})$ 는 각각 실제 방사 패턴과 요구(코씨컨트) 방사 패턴을 나타낸다.

주어진 설계 벡터들에 대해서, 방사 패턴 반복 계산 횟수(n)에 따른 실제 방사 패턴과 요구 방사 패턴과의 패턴 오차(e)의 수렴성은 그림 3에 보여진다. 그림 3에서 보듯이, 오차는 처음에는 급격히 떨어지다가 빠르게 최소값으로 수렴하게 된다($N_1 < N_2 < N_3$). 그러므로, 반사판 성형화 알고리즘에는 설계 계산을 줄이기 위한 최적화 과정이 중요하다. 즉, 많은 격자 노드 수의 계산은 상대적으로 많은 시간이 소요되기 때문에 처음에는 최소 격자 수로 패턴 오차를 계산한 후 패턴 오차가 주어진 오차 범위 내 들어오면 다시 격자 수를 확장하여 다시 패턴 오차를 계산하는 방법을 사용하는 것이 효과적이다.

만약에 y-축 방향의 고정 노드와 인접 노드들 간의 거리가 한 파장보다 작다면 더 이상의 격자 수 확장은 요구되지 않으며, 최적화 과정은 끝나게 된다.

III. 하이브리드 안테나 설계

3-1 선형 급전 배열 설계

선형 급전 배열 소자를 구성하는 단위 방사 소자

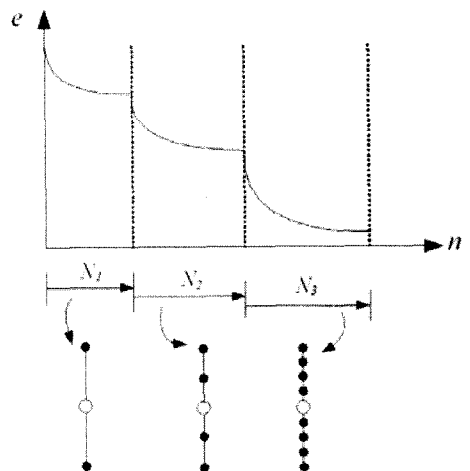


그림 3. 격자 수 확장에 따른 최적화 설계 과정

Fig. 3. Optimization design process according to extension of the lattice.

는 동작 주파수 대역을 고려하여 그림 4와 같이 광대역 특성의 안테나 소자 구조^[9]를 선택하였으며, 설계 치수와 함께 제시하였다. 방사 소자가 구현된 에폭시 기판(FR-4, $\epsilon_r=4.4$)과 레이돔(polystyrene, $\epsilon_r=2.6$) 기판 그리고 접지 기구물간에는 공기로 채워지므로 이를 지지하기 위해 보조 이격 장치가 사용되었다.

선형 급전 배열은 그림 4의 단위 방사 소자 12개를 이용하여 수평 방향(x-축 방향)으로 선형적으로 배열된다. 이때, 배열 소자간 간격은 8.1 cm($0.55 \lambda_0$)이므로 전체 선형 급전 배열의 길이는 가장자리 가드 부분을 포함하여 약 100 cm이다. 설계 제작된 단위 방사 소자의 측정 방사 패턴은 그림 5에 보여진다. 이때, 측정에 사용된 방사 소자는 5개의 방사 소자 중 중간에 위치한 것으로 주변 방사 소자와의 결

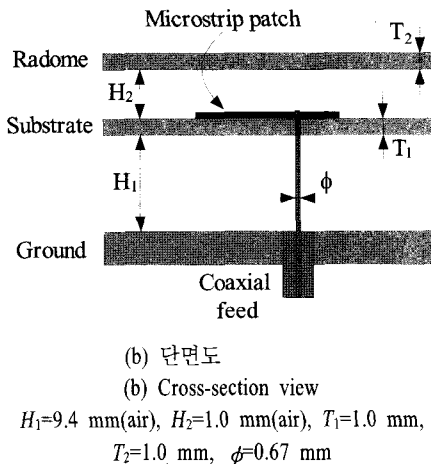
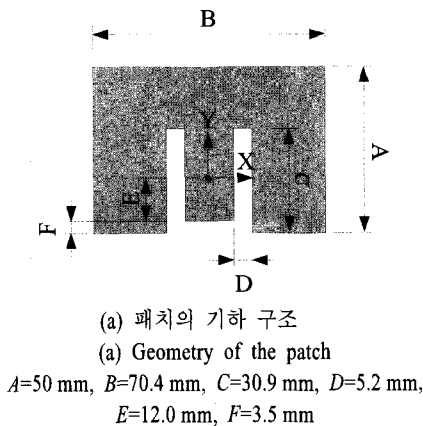
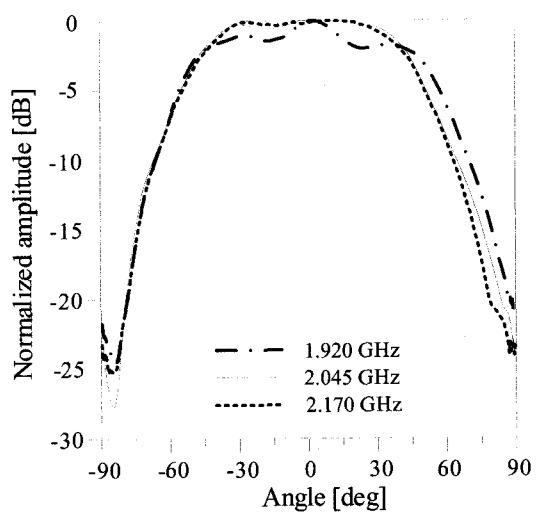
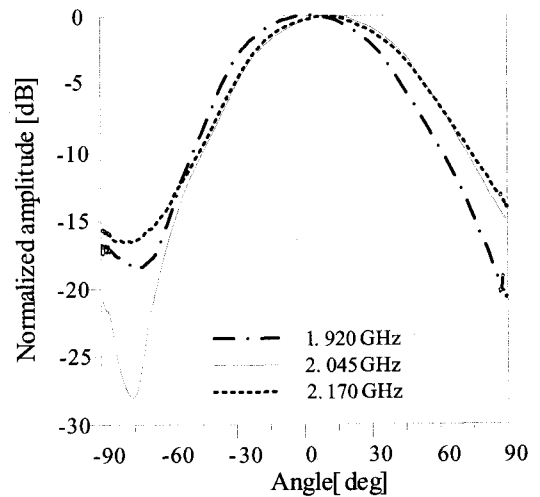


그림 4. 동축 급전을 갖는 방사 소자
 Fig. 4. Radiating element excited by coaxial line.



(a) 수평면
 (a) Horizontal plane



(b) 수직면
 (b) Vertical plane

그림 5. 측정된 단위 방사 소자의 방사 패턴 특성
 Fig. 5. Measured radiation patterns of the single radiating element.

합 특성이 반영된 것으로 소자간 상호 결합량은 -20 dB 이하이다.

본 논문에서 90° 의 구형 빔 패턴을 형성하기 위한 선형 급전 배열 개구면에서 요구되는 진폭 및 위상 분포는 주어진 배열 간격 및 단위 방사 소자의 특성을 고려한 패턴 분석을 통해 그림 6과 같이 제시된다.

그림 6의 선형 급전 배열 개구면 분포를 구현하기 위해 그림 7과 같은 선형 급전 배열을 위한 급전 망

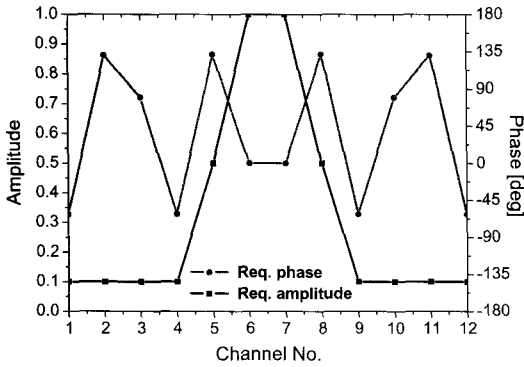


그림 6. 선형 급전 배열의 요구 진폭 및 위상 분포
Fig. 6. Amplitude and phase distributions required in the linear feed array(LFA).

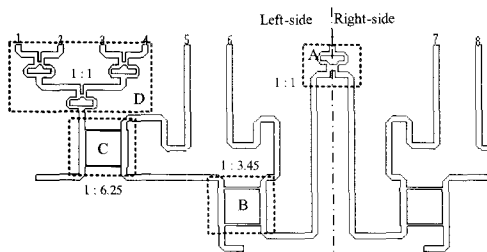


그림 7. 선형 급전 배열을 위한 급전 망 회로
Fig. 7. Feed network circuit for the LFA(half part).

회로가 설계되었다. 급전 망 회로는 좌우 대칭 구조이며, 1개의 입력에 각 12개의 출력 단자들을 갖는다. 내부 회로는 요구 진폭 및 위상 분포를 만들기 위해 1:1 전력 분배를 갖는 윌킨슨 전력 분배기(A) 1개, 1:3.45 전력 분배를 갖는 90° 브랜치라인 결합기(B) 2개, 1:6.25 전력 분배를 갖는 90° 브랜치라인 결합기(C) 2개, 그리고 3개의 1:1 윌킨슨 전력 분배기로 구성된 1-4 way 전력 분배기(D) 2개로 구성된다. 12개의 각 방사 소자들과 급전 망 회로 출력 단자들 간의 연결은 동축 케이블로 이루어진다. 각 동축 케이블이 연결된 상태에서의 급전 망 회로의 각 채널 간 측정된 진폭 및 위상 데이터는 각각 표 1 및 표 2와 같다.

표 1과 표 2의 요구 및 측정 진폭 및 위상 데이터를 비교할 때, 진폭 오차는 0.03(0.3 dB 해당) 이하, 그리고 위상 오차는 중심 주파수에서는 $\pm 7.5^\circ$ 이하, 그리고 대역 가장자리에서는 $\pm 24.2^\circ$ 이하의 오차를 보여준다. 이러한 가장자리에서의 위상 오차가 중심 주파수에서 보다 상대적으로 큰 이유는 급전 망 회

표 1. 급전망 회로의 측정된 진폭 데이터 값
Table 1. Amplitude data measured in the feed network circuit.

Ch. No.	요구 진폭 값	측정 진폭 값		
		1.92 GHz	2.045 GHz	2.17 GHz
1	0.1	0.11	0.11	0.11
2	0.1	0.11	0.10	0.10
3	0.1	0.11	0.09	0.10
4	0.1	0.11	0.10	0.10
5	0.5	0.50	0.50	0.50
6	1.0	0.97	1.00	0.98
7	1.0	0.97	0.99	0.97
8	0.5	0.50	0.50	0.49
9	0.1	0.11	0.10	0.10
10	0.1	0.11	0.09	0.10
11	0.1	0.11	0.10	0.10
12	0.1	0.11	0.11	0.11

표 2. 급전망 회로의 측정된 위상 데이터 값
Table 2. Phase data measured in the feed network circuit.

Ch. No.	요구 진폭 값 [deg]	측정 위상 값 [deg]		
		1.92 GHz	2.045 GHz	2.17 GHz
1	-62.20	-47.00	-60.00	-81.00
2	130.50	141.00	138.00	132.00
3	79.70	89.00	80.00	71.00
4	-61.80	-44.00	-62.00	-81.00
5	131.80	146.00	137.00	125.00
6	0.00	-4.00	1.00	-0.40
7	0.00	-6.00	-0.60	-2.20
8	131.80	144.00	135.00	124.00
9	-61.80	-41.00	-58.00	-75.00
10	79.70	86.00	77.00	68.00
11	130.50	133.00	131.00	126.00
12	-62.20	-38.00	-57.00	-74.00

로와 동축 케이블에 사용된 전송 선로의 주파수 분산 효과에 따른 것이다.

3-2 원통형 반사판 설계

본 논문에서 설계하고자 하는 복합 빔 패턴을 설

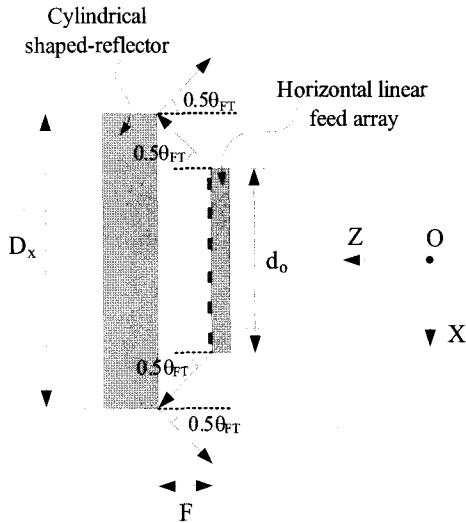


그림 8. 반사판의 수평 길이의 초기 결정
Fig. 8. Initial choice of the reflector horizontal length.

계하기 위한 원통형 반사판의 크기는 수평면에서 구형 빔 패턴을 형성하는 선형 급전 배열의 크기 및 수직면에서 코씨컨트 빔을 형성하는 빔 폭에 의존한다. 선형 급전 배열의 공간 spillover 손실을 줄이고, 사이드 로브 레벨을 줄이기 위한 반사판 수평 길이의 초기 결정은 그림 8에서 보는 바와 같이 선형 급전 배열의 길이 d_o 와 구형 빔 폭에 식 (4)에 의해 결정될 수 있다. 그러므로, 반사판의 수평 길이를 줄이기 위해서는 초점 길이를 줄여야 한다. 그러나 정확한 반사판의 수평 길이는 물리 광학 기반 시뮬레이션 과정을 통해 결정된다.

$$D_x = d_o + 2 \cdot F \cdot \tan\left(\frac{\theta_{FT}}{2}\right) \quad (4)$$

여기서, d_o 는 급전 배열의 길이, F 는 초점 길이 그리고 θ_{FT} 는 구형 빔 폭을 각각 나타낸다.

원통형 하이브리드 안테나(CHA)에서 선형 급전 배열의 위상 중심은 반사판의 초점 길이(focal length)를 따라 위치되어야 한다. 선형 급전 배열을 구성하는 단위 방사 소자는 그림 4(a)에서와 같이 수직면(x-축 방향)에서 비대칭 구조이므로 급전 배열의 위상 중심은 정확히 예측되어야 한다. 그림 9는 수직면에서의 선형 급전 배열의 위상 패턴들을 보여준다. 위상 패턴은 원점으로부터 1 mm 오프셋 되었을

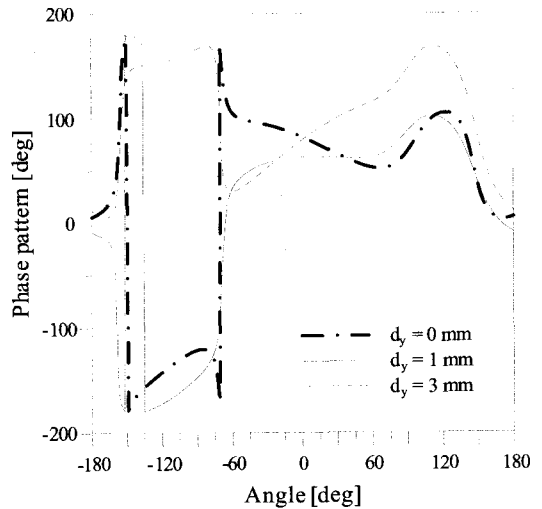


그림 9. 수직면에서의 선형 급전 배열의 위상 패턴
Fig. 9. Phase pattern of the LFA on the vertical plane.

때, 즉, $d_y=1.0$ mm일 때 거의 일정한 위상 특성을 보여준다. 이것은 방사 패치의 중심에 해당되는 위치이다.

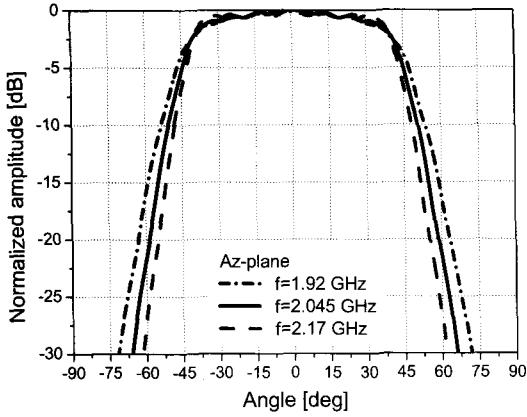
수직 방향에서의 코씨컨트 빔 패턴은 식 (5)와 같이 주어진다.

$$E_{el}(\theta) = \frac{\sin(\theta_o)}{\sin(\theta_o - \theta)}, \quad \theta \in [-\theta_m, 0] \quad (5)$$

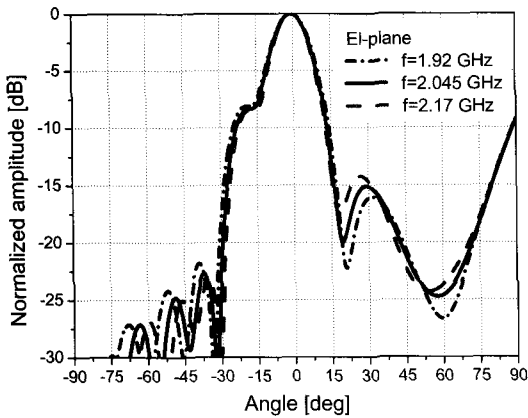
표 3. 원통형 반사판 성형화 시뮬레이션에 사용된 입력/초기 데이터

Table 3. Input/initial data for cylindrical reflector shaping simulation.

항 목		입력/초기 데이터
선형 급전 배열	방사 소자 패턴	시뮬레이션 E-패턴 데이터 시뮬레이션 H-패턴 데이터
	개구면 진폭 및 위상 데이터	표 1의 요구 진폭 데이터
		표 2의 요구 위상 데이터
	배열 간격	8.06 cm(0.55 λ_o)
배열 소자 수	12	
원통형 반사판 기하 구조	D_x	140 cm
	D_y	50 cm
	H	20 cm
	F	30 cm
	β	60°



(a) 수평면
(a) Horizontal plane



(b) 수직면
(b) Vertical plane

그림 10. 원통형 하이브리드 안테나의 시뮬레이션 방사 패턴 특성

Fig. 10. Simulated radiation pattern characteristics of the cylindrical hybrid antenna.

여기서, $E_{el}(\theta)$ 는 수직 패턴 진폭, θ_0 는 최대 빔 지향 각, θ_m 은 코씨컨트 최대 각을 나타내며, 본 논문에서는 $\theta_0=5^\circ$, $\theta_m=25^\circ$ 을 고려한다. 코씨컨트 빔 패턴 요구 특성에 따라 반사판의 성형화는 달라지며 또한 반사판의 수직 길이가 결정된다. 그림 1의 수직 방향(y-축 방향) 반사판 기하 설계 변수 D_y , H , F 는 선형 급전 배열에 의한 블록킹 효과가 없도록, 그리고 수직 방향에서의 반사판 빔 조향각을 만족하도록 결정된다.

복합 빔 패턴을 제공하기 위해 원통형 반사판 성형화 시뮬레이션에 사용된 입력/초기 데이터는 표 3

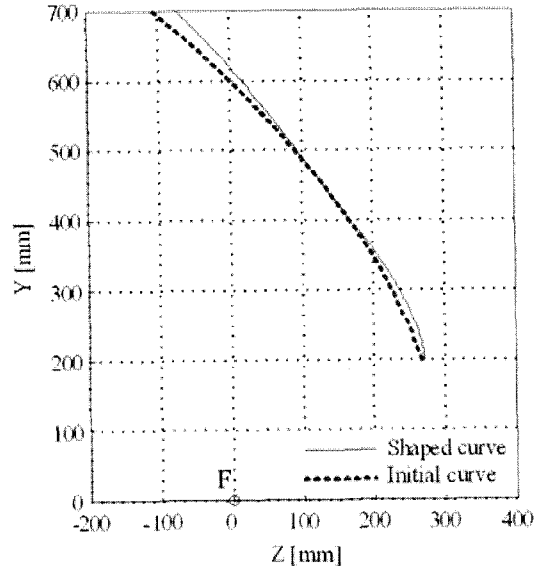


그림 11. 원통형 반사판의 x-축 단면도
Fig. 11. Cross-section(x-axis) of the cylindrical reflector.

에 요약하여 정리하였다.

$-5^\circ \sim -25^\circ$ 범위의 수직면 코씨컨트 빔 패턴을 구현하기 위해 제2장의 알고리즘을 바탕으로 Matlab으로 작성된 자체 프로그램을 사용하였다. 표 3의 입력/초기 데이터를 사용하여 최적화 시뮬레이션 과정을 통해 얻어진 원통형 하이브리드 안테나(CHA)의 시뮬레이션 방사 패턴 특성은 그림 10에, 그리고 안테나 시제품 제작을 위한 원통형 반사판의 x-축 단면도는 그림 11에 각각 보여준다.

IV. 시제품 제작 및 실험 결과

수평 및 수직 방향으로 각각 구형 빔 패턴 및 코씨컨트 빔 패턴들을 형성하는 원통형 하이브리드 안테나 시제품이 전기적 성능 검증을 위해 제작되었다. 제작된 안테나의 크기는 140 cm(수평)×50 cm(수직)이며, 반사판 제작은 수직 방향으로 얇은 성형 도체 프레임을 동시에 제작하고 일정 간격으로 배열한 후 넓고 얇은 도체 판을 그 위에 깔고 볼트를 조이는 방법을 사용하였다. 비교적 낮은 주파수(2 GHz) 대역이므로 이와 같은 제작 방법은 제작 비용은 절감할 수 있을 뿐만 아니라 전체 안테나의 무게를 크게 줄일 수 있다. 그림 12는 방사 패턴 실험을 위해 무

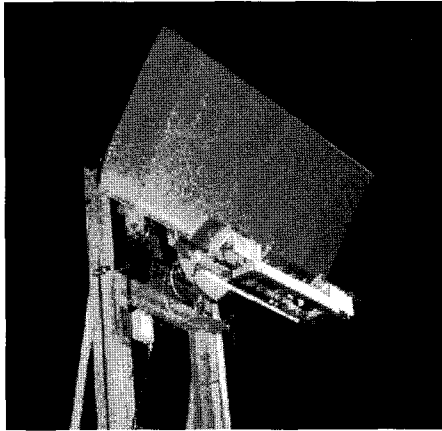


그림 12. 무반사실 타워에 설치된 안테나 시제품 사진
Fig. 12. Photo of the antenna prototype installed on an anechoic chamber tower.

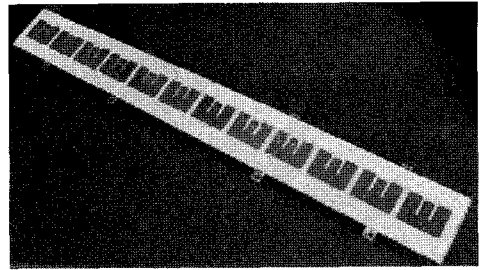
반사실 측정용 타워에 설치된 안테나 시제품 사진을 보여준다.

그림 13은 선형 급전 배열을 구성하는 부품들로서 그림 13(a)는 방사 소자 배열 보드이며, 그림 13(b)는 선형 급전 배열 개구면의 요구 진폭 및 위상 데이터를 제공하기 위한 급전 망 회로이다. 안테나 위상 보정은 각 방사 소자들과 급전 망 회로 출력 단자들간의 연결에 필요한 동축 케이블의 길이들을 조정하여 이루어진다. 측정된 주파수 대역내 진폭 및 위상 데이터는 표 1과 표 2에 정리되어 있다.

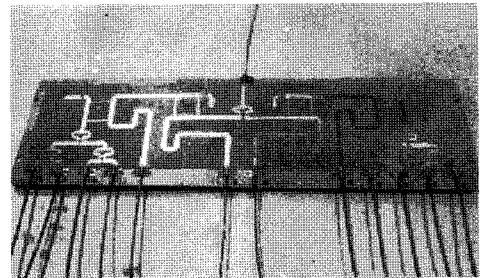
원통형 하이브리드 안테나(CHA)의 측정된 입력 반사 손실 특성은 그림 14에 보여지며, 단위 방사 소자(SRE) 및 선형 급전 배열(LFA)의 측정된 입력 반사 손실 특성들도 성능 비교를 위해 함께 제시하였다. 모두 비슷한 형태의 반사 손실 특성을 보여주고 있으며, 또한 동작 대역(1.92~2.17 GHz) 내에서 -12 dB 이하임을 알 수 있다.

동작 주파수 대역(1.92~2.17 GHz) 내에서 원통형 하이브리드 안테나 시제품의 측정 방사 패턴 특성은 시뮬레이션 방사 패턴 특성과 선형 급전 배열(LFA)의 측정 방사 패턴들과 함께 그림 15와 그림 16에 각각 제시하였다. 즉, 그림 15는 주파수 특성에 따른 수평면에서의 구형 빔 패턴 특성을, 그리고 그림 16은 주파수 특성에 따른 수직면에서의 코씨컨트 빔 패턴 특성을 각각 보여주고 있다.

그림 15의 측정 결과로부터 원통형 하이브리드



(a) 방사 소자 배열 보드
(a) Radiating element array board



(b) 동축 케이블이 연결된 급전 망 회로 보드
(b) Feed network board with the coaxial cables

그림 13. 제작된 선형 급전 배열 시제품
Fig. 13. Fabricated LFA prototype.

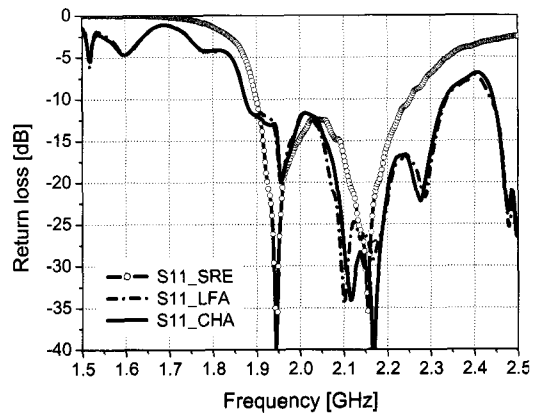
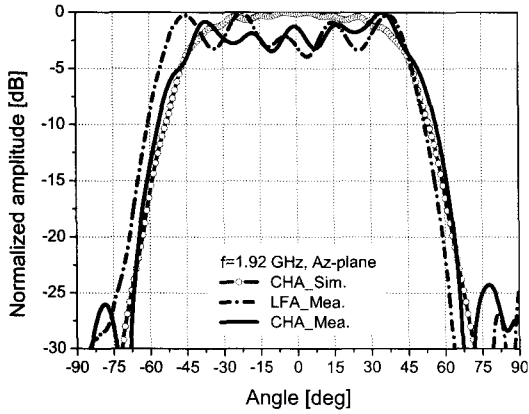
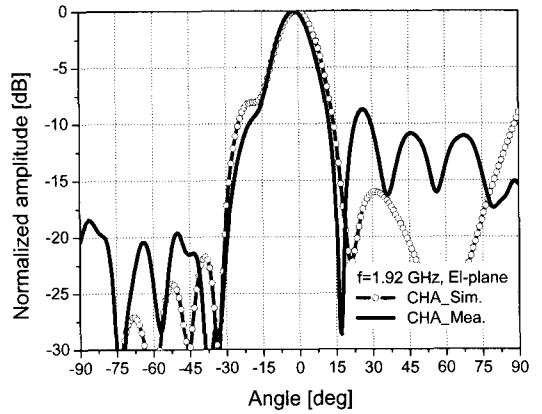


그림 14. 측정된 입력 반사 손실 특성
Fig. 14. Measured input return loss characteristics.

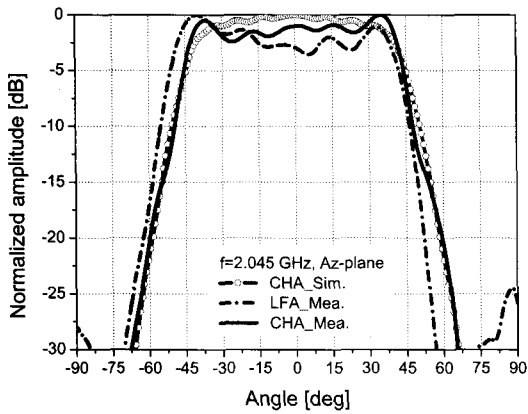
안테나의 수평면에서의 측정 구형 빔 패턴 특성은 시뮬레이션 특성과 비교하여 동작 주파수 대역에서 비교적 일치하는 양호한 특성을 보이고 있다. 다만, 구형 빔 폭 내에서 ± 1.5 dB 이하의 리플 특성을 보이는데, 이것은 선형 급전 배열의 리플 특성에 기인한 것으로 급전 배열 개구면의 진폭 및 위상 특성을 보



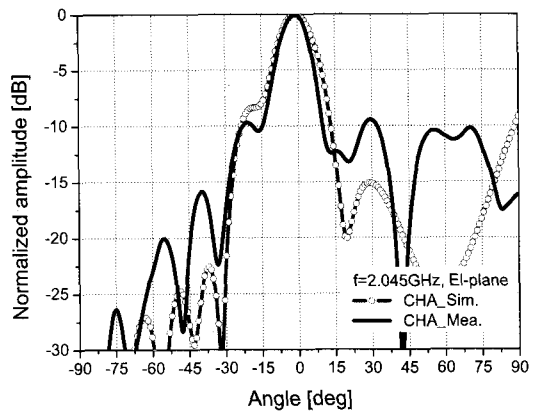
(a) 구형 빔 패턴 @ $f=1.92$ GHz
(a) Flat-topped beam pattern @ $f=1.92$ GHz



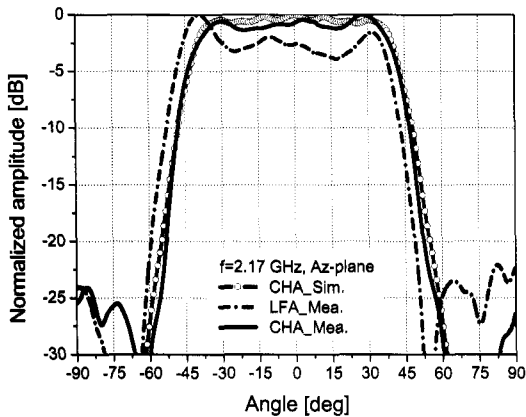
(a) 코씨컨트 빔 패턴 @ $f=1.92$ GHz
(a) Cosecant beam pattern @ $f=1.92$ GHz



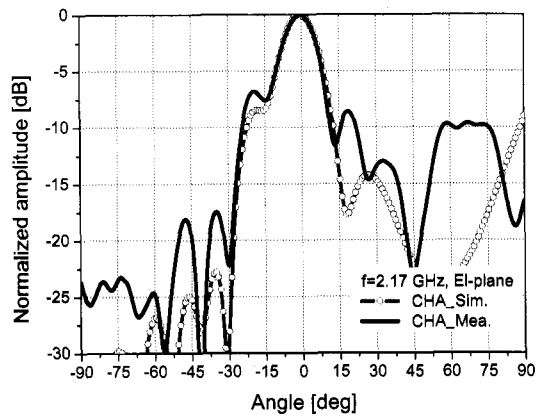
(b) 구형 빔 패턴 @ $f=2.045$ GHz
(b) Flat-topped beam pattern @ $f=2.045$ GHz



(b) 코씨컨트 빔 패턴 @ $f=2.045$ GHz
(b) Cosecant beam pattern @ $f=2.045$ GHz



(c) 구형 빔 패턴 @ $f=2.17$ GHz
(c) Flat-topped beam pattern @ $f=2.17$ GHz



(c) 코씨컨트 빔 패턴 @ $f=2.17$ GHz
(c) Cosecant beam pattern @ $f=2.17$ GHz

그림 15. 측정된 구형 빔 패턴
Fig. 15. Measured flat-topped beam patterns.

그림 16. 측정된 코씨컨트 빔 패턴
Fig. 16. Measured cosecant beam patterns.

다 정확히 구현함으로써 해결할 수 있다. 그림 15로 부터 안테나 시제품의 측정된 3 dB 구형 빔 폭은 $f = 1.92$ GHz, $f = 2.045$ GHz, $f = 2.17$ GHz에서 각각 86.6° , 85.6° , 80.4° 이며, 사이드 로브 레벨 특성은 동작 주파수 대역 내에서 -24.1 dB 이하임을 알 수 있다. 또한, 그림 16의 측정 결과로부터 원통형 하이브리드 안테나의 수직면에서의 측정 빔 패턴 특성은 시뮬레이션 특성과 비교하여 코썬컨트 빔 영역(-5° 에서 -25° 범위) 내에서 일치하는 특성을 보이나, 사이드 로브 특성은 비교적 큰 차이를 보인다. 첫 번째 원인은 원통형 반사판과 선형 급전 배열을 함께 연결하는 지지 기구물에 의한 전파 산란 영향에 기인한 것으로 지지 기구물을 흡수체로 덮음으로써 사이드 로브 레벨이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 그러므로, 향후 지지 구조물이 안테나의 전기적 특성에 영향을 주지 않도록 선형 급전 배열의 공간 급전 영역을 고려한 지지 기구물 설계가 요구된다. 두 번째 원인은 반사판 설계 시뮬레이션시 방사 패턴은 주로 반사파에 의해 결정된다는 가정에 따른 것으로, 이러한 가정은 반사판 안테나의 지향성이 선형 급전 배열의 지향성에 비해 아주 클 때 유효하다. 일반적으로, 안테나의 지향성은 수평 및 수직 패턴 지향성의 곱으로 표현될 수 있다. 본 논문에서의 반사판과 선형 급전 배열의 수평 지향성은 거의 동일하며, 수직 지향성은 한 차수 정도의 차이를 보인다. 그러므로, 수직 방향에서의 상대적으로 얇은 반사판의 전파 산란 효과가 수직면 사이드 로브 특성에 큰 차이를 보이는 원인으로 추정된다. 수직면 코썬컨트 빔 패턴은 $0^\circ \sim 90^\circ$ 범위 내 빔들은 하늘로 향하고 $0^\circ \sim -90^\circ$ 범위 내 빔들은 지상으로 향하므로 후자가 더 중요한 특성이다. 그러므로, $-25^\circ \sim -90^\circ$ 범위 내 사이드 로브 특성은 그림 16으로부터 동작 주파수 대역 내에서 -15.9 dB 이하임을 알 수 있다. 또한, 동작 주파수 대역 내에서 측정된 교차 편파 특성은 정방향(boresight)에서 -23.2 dB 이하이며, 서비스 섹터 범위 내에서는 $-12 \sim -16$ dB 범위에 있다. 또한, 원통형 하이브리드 안테나 시제품의 이득 측정 방법은 주파수 스캔하면서 표준 혼 안테나 대비 안테나 정 방향에서 상대적인 레벨들을 측정하였다. 측정 이득은 표 4에 시뮬레이션 이득과 비교하여 제시하였다.

표 4. 안테나 시제품의 이득 비교

Table 4. Measured gain of the antenna prototype.

주파수	시뮬레이션 이득 [dBi]	측정 이득 [dBi]	이득 오차 [dB]
1.92 GHz	10.4	8.1	-2.3
2.045 GHz	11.3	10.1	-1.2
2.17 GHz	11.2	10.9	-0.3

측정 및 시뮬레이션 이득간의 오차는 1.92 GHz 및 2.045 GHz에서 다소 크다. 이러한 이유는 구형 빔 패턴의 리플 특성 때문에 수평면에서의 최대 이득 값은 구형 빔 폭 내 다른 방향에 있으며, 정 방향에서 측정된 이득은 최대값 대비 1.92 GHz, 2.045 GHz 그리고 2.17 GHz에서 각각 -1.3 dB, -1.0 dB, -0.7 dB가 더 작으며, 또한 코썬컨트 빔 패턴의 최대 이득 값도 약 $-2^\circ \sim -3^\circ$ 정도 오프셋 되어 최대값 대비 약 -0.3 dB 정도 작기 때문이다.

표 4의 시뮬레이션 및 측정된 안테나의 이득이 안테나 크기에 비하여 작은 이득 특성 즉, 낮은 효율 특성을 보여주는데 이것은 본 연구에서 요구하는 90° 구형 빔 패턴을 얻기 위해 고효율의 균일 개구면 전류 분포를 형성하는 것이 아니라 개구면의 중심부는 진폭이 크고, 그리고 가장자리로 갈수록 진폭이 작아지도록 하는 전류 분포를 요구하기 때문이다.

V. 결 론

본 논문에서는 수평면에서의 90° 구형 빔 패턴과 수직면에서의 $-5^\circ \sim -25^\circ$ 코썬컨트 빔 포락선을 형성하는 선형 배열 공간 급전에 의한 원통형 반사판 안테나 즉, 하이브리드 안테나 구조가 제안되었다. 이러한 복합 빔 패턴을 갖는 원통형 하이브리드 안테나는 빔 서비스 영역 내에서 균일한 전력 밀도를 제공하는 특징이 있다. IMT 2000 주파수 대역에서 동작하는 안테나 시제품을 설계 및 제작한 후 방사 패턴 등 안테나의 전기적인 특성들을 측정하였으며, 시뮬레이션 결과들과의 성능 비교를 통한 오차를 분석하였다.

본 논문에서 제안하는 복합 빔 패턴을 제공하는 하이브리드 안테나 구조는 종래의 구형 빔 패턴을 갖는 평면 배열 안테나 구조와 비교하여 상대적으로

단순한 구조를 가지며, 반사판 표면 성형화를 통해 임의의 복잡한 빔 패턴을 설계할 수 있는 장점이 있으므로 이동통신 기지국/중계기 안테나로 충분히 활용 및 응용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

[1] G. Lee, M. Masound, "Design of a base station antenna with a sharp roll-off sector pattern", *IEEE Int. Antennas and Propagation Symp.*, 34, pp. 1602-1605, Jul. 1996.

[2] K. Matsumoto, E. T. Rahardjo, and M. Haneishi, "Beam shaping using microstrip array antenna", *Proceedings of Conference Journees Internationales De Nice Sur Les Antennes, Jina 94. France, Nice*, pp. 670-673, Nov. 1994.

[3] Soon Young Eom, Cheol Sig Pyo, Soon Ik Jeon, S. A. Ganin, A. V. Shishlov, A. G. Shubov, and V. Ya. Tscherbekov, "Research of planar array antenna with flat-topped radiation pattern for perspective base stations of mobile communication", *Antennas*, no. 1, pp. 30-38, 2005.

[4] S. P. Skobelev, "Analysis and synthesis of array antenna with element flat-topped patterns", *Radiotekhnika*, no. 10, pp. 44-47, 1990.

[5] A. S. Reutov, A. V. Shishlov, "Features of the step-wise contour beam reflector antenna synthesis using cubic spline representation of reflector surface", *Electromagnetic Waves and Electric Systems*, Moscow, no. 2, pp. 4-14, 2003.

[6] S. P. Skobelev, "Parabolic cylindrical antenna with linear array forming flat-topped element radiation patterns", *Radiotekhnika*, no. 6, pp. 42-48, 2004.

[7] A. S. Reutov, A. V. Shishlov, "Focuser-based hybrid antennas for one-dimensional beam steering", *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Phased Array Systems and Technology*, Dana Point, California, pp. 411-414, 2000.

[8] A. S. Kondrat'ev, A. D. Khzmalyan, "Phase-only synthesis of antenna arrays for a given amplitude radiation pattern", *Journal of Communications Technology and Electronics*, vol. 41, no. 10, Moscow, 1996.

[9] Yu. Ge, K. P. Esselle, and T. S. Bird, "Broadband E-shaped patch antenna for 5~6 GHz wireless computer network", *Proceedings of IEEE Int. Antennas and Propagation Symp.*, vol. 2, pp. 942-945, Jun. 2003.

업 순 영

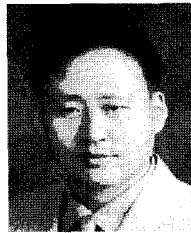


1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

1991년 8월~1993년 7월: 이탈리아 Alenia Spazio사와 VS-AT(DAMA-SCPC) 시스템 국제공동개발

[주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 및 시스템, 위상 배열 안테나, 위성/이동 통신 안테나 및 RF 시스템 등

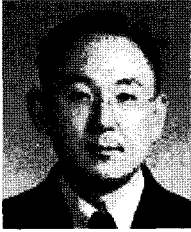
정 영 배



1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년 2월: 한국정보통신대학원 전자공학부 (공학석사)
 2006년 9월~현재: 한국정보통신대학원 전자공학부 박사과정
 2001년 2월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] RF 수동/능동회로, 위성통신안테나

전 순 익



1984년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)

1996년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)

2003년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

1990년 9월~현재: 한국전자통신연구원 안테나기술연구팀 팀장, 책임연구원

[주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 및 시스템, 안테나 시스템, CR 시스템 등

김 창 주



1980년: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)

1988년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1993년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1979년 12월~1983년 3월: 국방과학연구소 연구원

1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원 전파기술연구그룹장

[주 관심분야] 전파신호처리, CDMA 신호해석