

구형 방사 패턴을 갖는 평면 배열 안테나 설계에 대한 연구

A Study on a Planar Array Antenna Design with a Flat-Topped Radiation Pattern

염순영 · 표철식 · 전순익 · 김창주

Soon-Young Eom · Cheol-Sig Pyo · Soon-Ick Jeon · Chang-Joo Kim

요 약

본 논문에서는 이동통신 기지국 안테나로 활용하기 위한 구형 빔 패턴을 갖는 평면 배열 안테나 설계 및 제작 그리고 실험에 대하여 기술하였다. 원하는 구형 빔 패턴을 형성하기 위해 종래에 많이 사용하던 $\sin(x)/x$ 전류 분포를 사용하지 않고 급전 회로망의 설계 제작이 용이한 진폭과 위상 성분의 전류 분포로 최적화하였다. 본 논문에서 설계하는 평면 배열 안테나는 직사각형 격자 배열 구조를 가지며, 16×8 배열 소자로 구성된다. 각 방사 소자는 선형 수직 편파와 동축 여기 구조를 갖는 단일 마이크로스트립 소자이며, 윌킨슨 전력 분배기와 180° 링 하이브리드 결합기를 기본 소자로 하는 급전 회로망이 설계된다. 평면 배열 안테나는 방위각 방향으로 $0.55 \lambda_0$ 의 소자 간격을 갖는 16 배열 소자에 의해 90° 구형 빔 패턴을 형성하고, 양각 방향으로 $0.65 \lambda_0$ 의 소자 간격을 갖는 8 배열 소자에 의해 10° 의 일반적인 정형 빔 패턴을 형성한다. 또한, 16×8 배열 안테나는 좌우 상하 대칭적으로 네 부분으로 나뉘어져 있으며, 128개의 방사 소자, 32개의 1-4 행 분배기, 4개의 1-8 열 분배기 그리고 1개의 1-4 입력 전력 분배기로 구성된다.

본 논문에서 제안한 평면 배열 안테나 구조의 전기적인 특성을 검증하기 위하여 1.92~2.17 GHz(IMT2000 대역)에서 동작하는 평면 배열 안테나 실험 시제품을 제작하였으며, 실험 측정 성능들은 시뮬레이션 성능들과 매우 유사함을 보여 주었다.

Abstract

In this paper, the design, fabrication and experiment on a planar array antenna with a flat-topped radiation pattern for a mobile base station antenna were described. The current distribution of an antenna aperture, which is easily realizable in a feeding network compared with the conventional one of $\sin(x)/x$, was optimized for shaping a desired flat-topped radiation pattern. The planar array antenna designed in this paper has a rectangular lattice and is composed of array elements of 16×8 . Each radiating element, which is a microstrip element fed coaxially, has a linear vertical polarization and the feed network which use a Wilkinson power divider and a 180° ring hybrid coupler as a base element is designed. The flat-topped radiation pattern with 90° is shaped by 16 array elements with the element spacing of $0.55 \lambda_0$ in the azimuth plane, and the normal radiation pattern with 10° is shaped by 8 array elements with the element spacing of $0.65 \lambda_0$ in the elevation plane. Also, the planar array antenna is symmetrically divided into four parts. It consists of one hundred-twenty-eight radiating elements, thirty-two 1-4 column dividers, four 1-8 row dividers and one 1-4 input power divider.

In order to verify electrical performances of the planar array antenna proposed in this paper, the experimental breadboard operated in the band of 1.92~2.17 GHz(IMT2000 band) was fabricated, and its experimental results were a good agreement with simulation ones.

Key words : Planar Array Antenna, Flat-Topped Radiation Pattern, Radiating Element, Feeder Network, Base Station Antenna

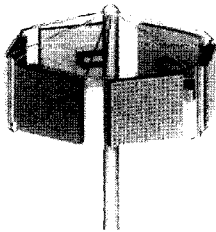
한국전자통신연구원 안테나기술연구팀(Antenna Technology Research Team, ETRI)

· 논문 번호 : 20040608-078

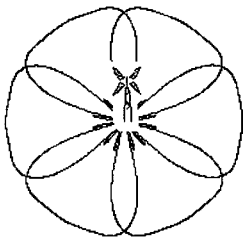
· 수정완료일자 : 2004년 8월 18일

I. 서론

현재 국내에서는 전기적 또는 기계적으로 빔 스위칭 및 빔 성형 기능을 갖는 이동 통신 기지국용 안테나 시스템을 개발하여 응용 시험 단계를 거치고 있다. 그러나, 이러한 배열 안테나의 빔 패턴은 일반적인 정형 빔 패턴을 갖는다. 향후 주어진 전파 환경에서 유동적인 트래픽 조절 및 최대 용량을 증대하기 위해 기존의 3섹터 빔(120°)에서 더 많은 섹터를 요구할 경우 좁아진 빔 폭과 인접 빔과의 Cross-over 문제 등으로 인하여 어려움이 발생한다. 이를 해결하기 위한 방법으로서 이동 통신 기지국 안테나 시스템은 다양한 빔 형태와 다양한 이득을 갖는 많은 독립적인 빔을 제공하여야 하며, 빔 폭내에서는 균일한 이득 그리고 빔 가장자리에서는 급격히 떨어지는 이득을 제공하여야 한다. 또한, 안테나 빔 성능은 최적의 빔 커버리지를 제공하기 위하여 조정이 가능하여야 한다. 이를 구현하기 위한 기본적인 기술로서 안테나의 빔 패턴을 구형 섹터 빔 패턴 기술로 구현하는 것이 요구된다.



(a) 1-열_6-섹터
(a) 1-row_6-sectors



(b) 빔 커버리지
(b) Beam coverage(azimuth cross-section)

그림 1. 구형 섹터 빔 패턴을 갖는 평면 배열 안테나들의 설치 및 빔 커버리지

Fig. 1. Installation and beam coverage of planar array antennas with a flat-topped radiation pattern.

그림 1은 한 예로서 방위각 방향으로 구형 섹터 빔 패턴을 갖는 1-열_6-섹터 평면 배열 안테나들의 설치 개념도 및 빔 커버리지를 보여준다.

그림 1(a)는 1-열_6-섹터로 구성된 평면 배열 안테나들로서 각 안테나는 60°의 구형 빔 패턴을 갖는다. 그림 1(b)는 방위각 방향에서의 빔 커버리지를 보여준다.

이러한 평면 배열 안테나들은 지구국 용도(시스템 가격 및 트래픽 환경 등에 따라 고정 빔을 갖는 수동 배열 안테나, 기계적 위상 천이기를 갖는 수동 배열 안테나, 빔 성형 망을 갖는 다중 빔 능동 배열 안테나, 전자 빔 제어를 갖는 능동 위상 배열 안테나 등으로 구분할 수 있다.

본 논문에서는 고정 빔을 갖는 수동 배열 안테나로서 90° 구형 빔 패턴을 갖는 평면 배열 안테나에 대하여 설계 방법을 제시하고, IMT 2000 주파수 대역에서 동작하는 안테나 시제품을 제작하고 실험하였으며, 그 결과들을 시뮬레이션 결과들과 비교 분석하였다.

II. 구형 빔 패턴을 갖는 안테나 규격 및 개구면 전류 분포

표 1은 구형 빔 패턴을 갖는 안테나의 설계 규격으로서, IMT2000용 이동통신 기지국 안테나를 위한 것이다.

표 1에 의하면 안테나의 구형 빔 패턴은 방위각 방향에 대해서만 요구되며, 양각 방향에 대해서는

표 1. 구형 빔 패턴을 갖는 안테나의 설계 규격
Table 1. Antenna specification with a flat-topped beam pattern.

설계 변수		설계 규격
주파수 대역		1.920~2.170 GHz
편파		선형(수직) 편파
안테나 이득		13 dBi 이상
빔 형태 및 3 dB 빔 폭	방위각	90° 구형 빔 패턴
	양각	10° 정상 빔 패턴
사이드 로브 레벨	방위각	20 dBc 이하
	양각	13 dBc 이하
교차편파 레벨(@ 정방향)		20 dBc 이하

정상적인 빔 패턴이 요구된다. 수직 방향의 안테나 크기는 양각 방향의 3 dB 빔 폭과 사이드 로브 레벨에 의해 결정된다. 13 dBc의 사이드 로브 레벨 값은 균일한 진폭 분포를 갖는 안테나 개구면에 대해서 얻어진다. 그러므로, 수직 방향에서의 안테나 개구면 크기 D_v 는 다음 식 (1)에 의해 결정될 수 있다.

$$\theta_{0.5} = k_v \frac{\lambda}{D_v}, \quad D_v = k_v \frac{\lambda}{\theta_{0.5}} \quad (1)$$

여기서, k_v 는 개구면 진폭 분포에 의해 좌우되는 계수이며, 균일한 전류 분포에서는 50.8°의 값을 갖는다. 그러나, 안테나 제작시 발생하는 랜덤 오차를 고려해 보면, 수직방향에서의 안테나 크기 D_v 는 약간 증가하여야 하며, 사이드 로브 레벨 규격을 만족하려면 개구면 진폭 분포가 약간 테이퍼져야 한다. k_v 는 약 60° 정도의 값을 갖는다고 가정하면, 중심 주파수에서 수직방향에서의 안테나 크기는 $D_v = 880$ mm이다. 이러한 크기는 현재 상용 기지국 안테나의 크기와 비슷하다.

구형 빔 패턴을 형성하기 위해 종래에 널리 사용하던 안테나 개구면의 전류 분포는 $\sin(x)/x$ 의 전류 분포이다. 그러나, 90° 구형 빔 폭과 같이 비교적 넓은 구형 빔 패턴을 요구할 경우 이러한 전류 분포를 사용하는 방법은 각 방사 소자들간의 상대적인 큰 진폭차 및 위상차(0° 또는 180°) 요구에 의해 배열 안테나의 급전 회로망 구현이 어렵다. 그러므로, 본 논문에서는 원하는 구형 빔 패턴 특성을 만족하면서 급전 회로망의 설계 제작이 용이한 전류 분포를 추출하는 방법을 사용하였다. 이러한 방법은 급전 회로에서 구현이 용이한 특정한 진폭 성분 특성을 갖고서 위상 성분만을 제어하여 원하는 구형 빔 패턴을 얻는 방법으로 종래의 안테나 개구면 전류 분포를 $\sin(x)/x$ 로 형성하는 방법에 비하여 구형 빔 패턴 폭에 관계 없이 다양한 설계 값을 제공할 수 있다. 특히, 구형 빔 패턴의 급격한 기울기가 요구될 경우에는 보다 많은 배열 소자들이 필요하며, 이러한 경우에는 종래의 방법보다는 본 논문의 방법에 의한 전류 분포가 훨씬 급전 회로망 구현이 쉽다.

본 논문에서는 안테나 개구면의 전류 분포 최적화를 위해 참고문헌 [1]이 바탕을 둔 알고리즘을 사용하였으며, 프로그램의 입력 데이터로는 다음과 같

은 설계 변수들이 사용된다.

- 배열 소자 갯수(N_b)
- 배열 소자 간격(파장 단위)
- 개구면 진폭 성분 분포
- 얻고자 하는 방사 패턴 변수들
 - 원하는 방사 패턴의 3-dB 빔 폭[deg]
 - 첫 번째 사이드 로브 각[deg]
 - 사이드 로브 레벨 억압 계수
 - 단위 소자 패턴의 형태

프로그램 수행 후 결과로는 방사 패턴의 진폭 및 위상 특성이 출력된다. 출력 방사 패턴을 검토하고 원하는 패턴 규격이 만족될 때까지 입력 데이터들의 값을 조금씩 튜닝한다. 그러므로, 요구되는 구형 빔 패턴 폭에 따라 안테나 개구면의 진폭 및 위상 조합이 결정되며, 이러한 조합은 특정한 한 개가 아니라 여러 개의 진폭 및 위상 분포 조합이 생길 수 있다.

양각 방향의 배열 개수는 식 (1)에 의해 8개로 결정하였으며, 방위각 방향에서는 좌우 대칭적으로 8개씩 전체 16개의 배열 소자들이 사용되었다. 배열 소자의 간격은 방위각 방향으로 $0.55 \lambda_0$ 이며, 양각 방향으로는 $0.65 \lambda_0$ 로 결정하였다. 이것은 단위 방사 소자의 구조(이득 특성 등)가 반영된 값이다. 방위각 방향에서 원하는 구형 빔 패턴의 3-dB 빔 폭을 90°로 정하였을 경우에 본 논문에서 선택한 최적화된 평면 배열 안테나 개구면의 전류 분포는 그림 2와 같이 주어진다.

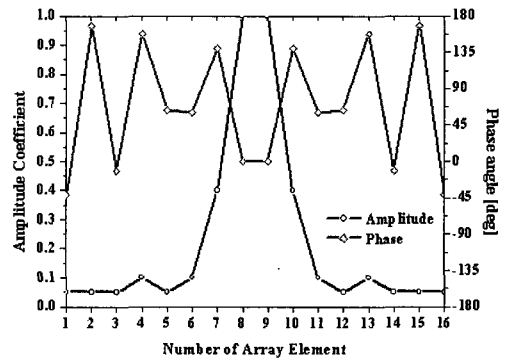


그림 2. 방위각 방향에서의 배열 소자들의 진폭 및 위상 분포 데이터

Fig. 2. Amplitude and phase distributions of array elements in the azimuth direction.

그림 2에서 보는 바와 같이 두 개의 중심 소자들을 기준으로 가장자리로 갈수록 상대적인 진폭 값이 감소 또는 유지하는 형태의 진폭 특성을 보이는 반면에 위상 특성은 증가와 감소를 반복하는 위상 특성을 보인다. 만약에, 그림 2와 다른 진폭 특성을 갖는 설계 조건에서는 그것에 대응하는 최적화 위상 특성이 다르게 주어질 것이다. 그러므로, 그림 2의 전류 분포는 90° 구형 빔 패턴을 갖는 평면 배열 안테나를 구현할 수 있는 여러 개의 전류 분포 중에 하나라 볼 수 있다.

III. 평면 배열 안테나 설계 및 제작

전체 평면 배열 안테나의 구성도는 그림 3과 같이 크게 대칭적으로 4등분되며, 급전 회로망과 동축 급전 마이크로스트립 방사 소자 128개로 구성된다. 급전 회로망은 32개의 행 분배기(1개의 행 분배기는 4개의 방사소자에 전력 분배), 4개의 열 분배기(1개의 열 분배기는 8개의 행 분배기에 전력 분배 즉, 전체 배열 안테나의 1/4 부분 전력 분배) 그리고 1개의 입력 전력 분배기(4개의 열 분배기로 전력 분배)로 구성된다.

그림 3에 보면 안테나로 입력된 신호는 1-4 입력 전력 분배기에 의해 동일한 전력 및 위상을 갖는 4

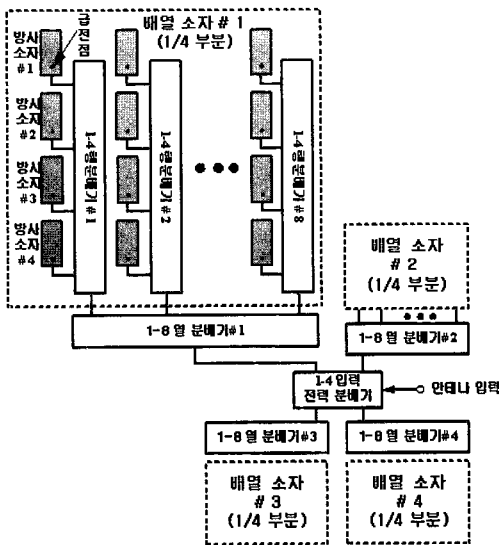


그림 3. 전체 평면 배열 안테나의 구성도
Fig. 3. Block diagram of an overall planar array antenna.

개의 신호를 출력하며, 출력된 4개의 신호는 동일한 동축 케이블에 의해 4개의 1-8 열 분배기 입력에 연결된다. 각 열 분배기는 8개의 출력을 제공하며, 각 출력은 동축 케이블들을 사용하여 해당 1-4 행 분배기의 입력과 연결된다. 이때, 사용되는 동축 케이블들의 길이는 요구 진폭 및 위상 조건을 만족시키기 위해 조정될 수 있다. 동일한 출력 전력 및 위상을 제공하는 각 행 분배기의 출력은 4개의 방사 소자의 입력과 동축 급전으로 연결된다.

배열 안테나를 구성하는 핵심 소자로서 본 논문에서 사용된 마이크로스트립 방사 소자는 그림 4와 같은 구조를 갖는다. 그림에서 보듯이 동축 급전 구조로서 수직 선형 편파를 제공하며, 각 방사 소자의 설계 값들은 각각 길이 $L=67\text{ mm}$, 폭 $W=34\text{ mm}$, 동축 급전의 위치 $l_{exc}=53.5\text{ mm}$, 높이 $h=8\text{ mm}$ 를 갖는다. 높이 h 사이에는 공기로 채워진다.

1:1 윌킨슨 전력 분배기를 기본 소자로 사용하는 1-4 행 분배기는 전체 배열 안테나에 32개가 필요하며, 행으로 놓여 있는 4개의 방사 소자에 전력을 공급하는 기능을 제공한다. 또한, 각 방사 소자간 고역리 특성을 제공한다. 모든 1-4 행 분배기는 동일한 전력 및 위상 특성을 출력하며, 한 개의 행 분배기에 4개의 방사 소자가 동축 핀으로 연결된다. 행 분배

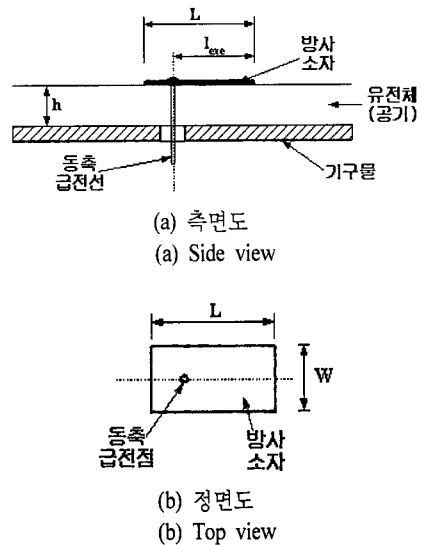


그림 4. 동축 급전되는 단위 방사 소자 구조
Fig. 4. Single radiating element structure with a coaxial feed.

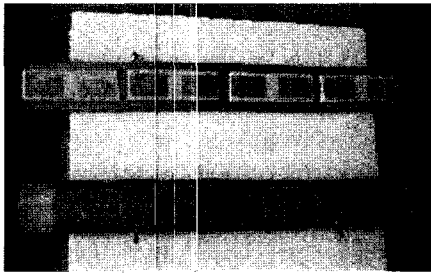


그림 5. 제작된 방사 소자 및 1-4 행 분배기의 시제품
Fig. 5. Breadboard of fabricated radiating elements and 1-4 column dividers.

기에 사용된 윌킨슨 전력 분배기의 입출력 VSWR 실험 값은 1.92~2.17 GHz 동작 대역 내에서 1.2보다 작았으며, 삽입 손실은 다역폭 내에서 3.3 dB보다 작았다. 제작된 방사 소자 및 1-4 행 분배기 시제품은 그림 5에 보여진다.

1-8 열 분배기는 전체 배열 안테나에 4개 필요하며, 각 열 분배기는 좌우 그리고 상하 대칭 구조 형태를 갖는다. 각 열 분배기는 1-4 입력 전력 분배기로부터 입력된 신호를 그림 2와 같은 급전(진폭 및 위상) 요구 조건을 만족시키기 위하여 전력을 분배 및 위상을 제어하는 기능을 제공한다. 열 분배기는 180° 링 하이브리드 결합기를 기본 소자로 사용하며, 결합기 소자의 4 단자 중에 사용하는 않는 격리 단자는 50 Ω으로 정합되며, 이때, 단락 회로(short circuit)는 끝이 개방된 0.25 λ₀ 전송 선로로 구현하였다.

180° 링 하이브리드 구조는 90° 브랜치라인 하이브리드 구조에 비하여 상대적으로 넓고 우수한 입출력 VSWR 및 단자간 격리 특성을 제공한다^[2]. 180° 링 하이브리드 결합기 소자는 그림 6과 같으며, 그림 7과 같이 각 열 분배기에 7개 사용된다. 그림 2

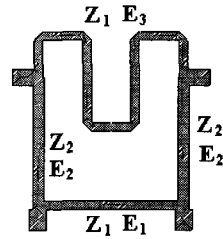


그림 6. 180° 링 하이브리드 결합기 소자
Fig. 6. 180° ring hybrid coupler element.

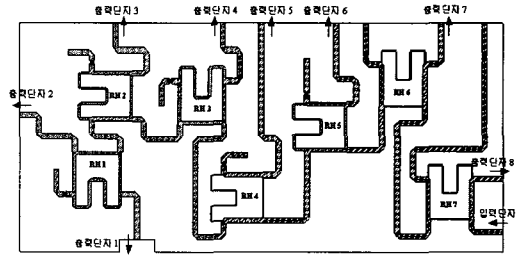


그림 7. 180° 링 하이브리드를 기반으로한 열 분배기 회로(1/4 부분)
Fig. 7. Layout of a row divider composed of 180° ring hybrids(1/4 part).

의 요구 진폭 및 위상 분포 데이터를 만족시키기 위한 각 180° 링 하이브리드 결합기의 요구 설계 변수(전기적 변수)는 표 2와 같이 주어진다. Z₁, Z₂는 전송 선로의 특성 임피던스를 그리고 E₁, E₂, E₃는 전송 선로의 전기적인 길이를 각각 나타낸다.

이러한 열 분배기는 한 개의 입력에 8개의 요구되는 진폭 및 위상 값들을 출력하도록 설계된다. 또한, 한 개의 열 분배기의 출력 8개는 행 분배기의 각 입력과 동축 케이블을 통해 연결된다.

제작된 열 분배기의 전기적인 특성으로 입력 VSWR은 대역 내에서 2.0 이하였으며, 또한 출력 단자간 격리 특성은 20 dB 이상이었다. 제작된 열 분배

표 2. 180° 링 하이브리드 결합기 소자의 설계 변수
Table 2. Design parameters of a 180° ring hybrid coupler element.

설계 변수	RH 1	RH 2	RH 3	RH 4	RH 5	RH 6	RH 7
Z ₁ [W]	70.7	86.6	76.3	141.1	86.6	125.1	125.1
Z ₂ [W]	70.7	61.2	66.1	53.5	61.2	54.5	54.5
E ₁ [deg]	90	90	90	90	90	90	90
E ₂ [deg]	90	90	90	90	90	90	90
E ₃ [deg]	180	180	180	180	180	180	180

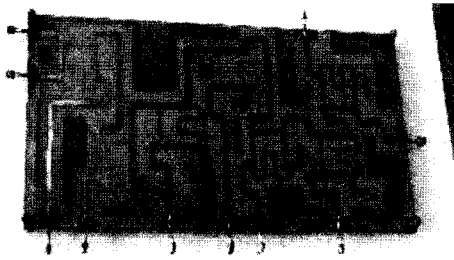


그림 8. 제작된 1-8 열 분배기 시제품
Fig. 8. Breadboard of a fabricated 1-8 row divider.

기(1/4 부분) 실험 시제품은 그림 8과 같다.

1-4 입력 전력 분배기는 행 분배기와 비슷한 구조로서 전체 배열 안테나에 1개가 요구된다. 입력 전력 분배기는 1:1 윌킨슨 전력 분배기를 기본 소자로 사용하며, 한 개의 입력 전력 분배기에 4개의 열 분배기가 동축 케이블을 통해 연결된다.

IV. 평면 배열 안테나 실험 및 결과 분석

평면 배열 안테나의 상대적인 진폭 및 위상 보정을 위하여 스위칭 방법^{[3]-[5]}을 참조하였으며, 이 중에서 그림 9와 같은 실험 보정 구성도를 사용하였다. 그림에서 보듯이 1-4 행 분배기의 입출력 특성은 모두 동일하다는 가정 하에 1-4 입력 전력 분배기와 4개의 1-8 열 분배기까지의 상대적인 요구 전력비와 위상차를 실험적으로 측정 및 보정하였다.

1-4 입력 전력 분배기의 4개중 3개의 출력에는 50 Ω 종단 소자를 부착하고 나머지 출력 단자에는 해

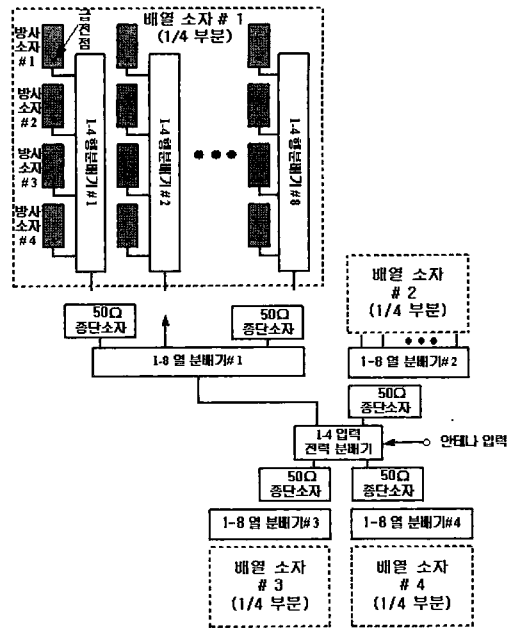


그림 9. 각 채널간 상대적인 전력비와 위상차를 보정하는 실험 구성도

Fig. 9. Experimental block diagram for calibrating relative power ratio and phase difference.

당 열 분배기에 그대로 연결된다. 또한, 열 분배기 #1의 출력 단자 8개 중에서 7개 출력 단자는 50 Ω 종단 소자에 의해 종단되고 남은 한 개의 출력 단자만 실험에 사용된다. 그러므로, 상대적인 요구 전력비와 위상차는 안테나 입력 단자와 열 분배기 #1의 2번 출력 단자 사이에서 실험적으로 측정 및 보정된다. 보정 방법은 대부분 위상 성분으로 동축 케이

표 3. 1-8 열 분배기의 실험 보정 결과
Table 3. Experimental calibration results of 1-8 row dividers.

No	열 분배기 #1		열 분배기 #2		열 분배기 #3		열 분배기 #4		요구치	
	진폭[dB]	위상[deg]	진폭[dB]	위상[deg]	진폭[dB]	위상[deg]	진폭[dB]	위상[deg]	진폭[dB]	위상[deg]
8	-1.1	20	-1.1	20	-1.1	18	-1.1	10	-1.1	10
7	-9.3	143	-8.8	159	-9.1	148	-9.7	146	-9.7	146
6	-20.3	133	-19.0	127	-20.9	125	-19.2	119	-19.2	119
5	-25.3	-29	-24.6	-28	-27.3	-30	-26.0	-36	-26.0	-36
4	-20.3	54	-19.7	56	-21.9	44	-21.1	49	-21.1	49
3	-25.0	120	-24.4	126	-27.4	117	-26.6	121	-26.6	121
2	-25.4	-30	-26.0	-23	-28.5	-7	-27.8	-25	-27.8	-25
1	-26.5	-102	-26.0	-85	-28.1	-95	-28.7	-90	-28.7	-90

블의 길이를 줄이거나 늘리는 방법을 사용하였다.

같은 방법으로 열 분배기 #1의 모든 출력 단자에 대해서 그리고 나머지 열 분배기에 대해서도 동일한 방법으로 수행된다. 측정 보정된 각 1-8 열 분배기의 실험 보정 결과는 표 3에 요약하여 정리하였다.

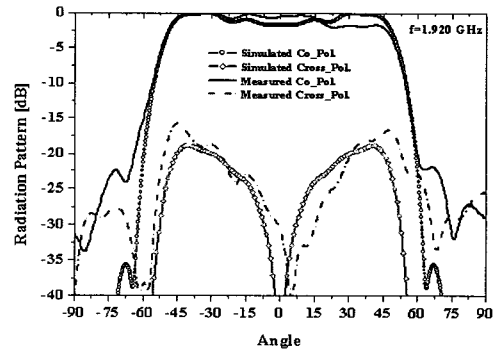
참고로, 요구치는 열 분배기 #4의 값들을 기준으로 사용하였으며, 각 열 분배기의 상대적인 요구 진폭 비와 위상 오차는 각각 1.3 dB rms 진폭 오차 그리고 8.1° rms 위상 오차를 보여준다. 만약에 구형 빔 패턴 특성에 민감하게 영향을 주는 5, 6, 7, 8 배열 소자들만을 고려하면 각각 0.6 dB rms 진폭 오차 및 6.1° rms 위상 오차를 보여준다. 이러한 분석 결과는 1, 2, 3, 4 배열 소자들은 상대적으로 구형 빔 패턴 특성에 덜 민감하게 작용하며, 또한 상대적으로 큰 진폭비(-20~-26 dB)를 급전 회로상에서 정확하게 구현하기 어렵다는 것을 의미한다. 그리고, 전체 배열 소자에서 요구하는 그림 2의 상대적인 요구 진폭 비와 위상 차는 표 3을 바탕으로 동축 케이블들을 이용하여 보정하였다.

조립된 전체 배열 안테나 시제품 제작 사진은 그림 10과 같다.

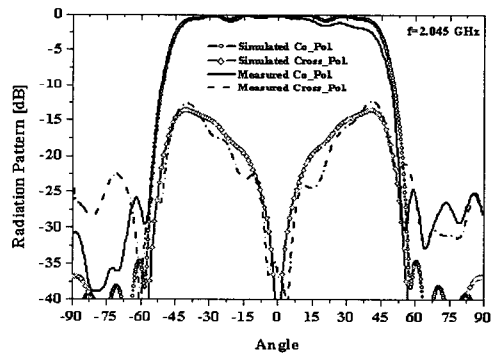
제작된 안테나 시제품의 측정된 방사 패턴 특성은 시뮬레이션 패턴과 비교하여 제시하였다. 시뮬레이션 결과는 상용 시뮬레이터인 HFSS를 사용하여 설계된 마이크로스트립 패치 방사 소자의 빔 패턴에 배열 인자를 곱한 것이다. 그림 11은 동작 주파수 대역내 $f=1.920$ GHz, $f=2.045$ GHz, $f=2.170$ GHz에서 각각 얻어진 방위각 방향에서의 주 편파 및 교차 편파 방사 패턴 특성에 대한 측정 및 시뮬레이션 성능

비교 그래프들을 나타낸다.

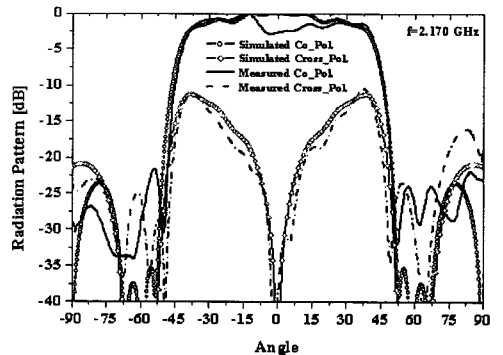
시뮬레이션 및 측정 결과는 빔 패턴의 주 빔 부분은 만족스럽게 일치하며, 사이드 로브 부분에서는 약간의 차이를 보여준다. 일반적으로 사이드 로브 특성은 안테나 자체 성능과 측정실에서의 반사 효과



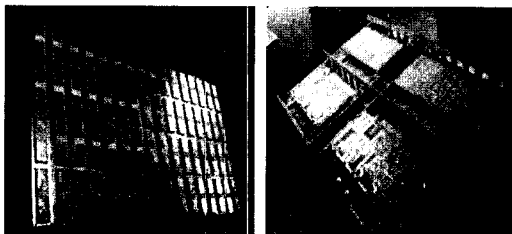
(a) $f=1.92$ GHz



(b) $f=2.045$ GHz



(c) $f=2.17$ GHz



(a) 전면부

(b) 후면부

(a) Front-side

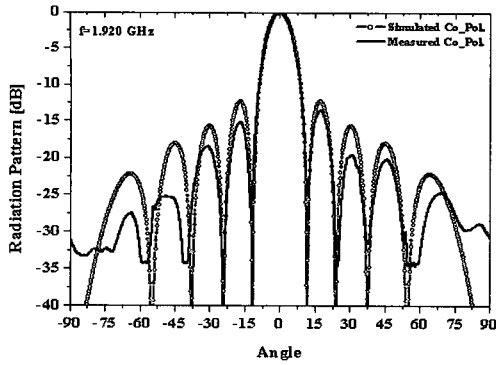
(b) Back-side

그림 10. 제작된 90° 구형 빔 패턴을 갖는 평면 배열 안테나의 시제품

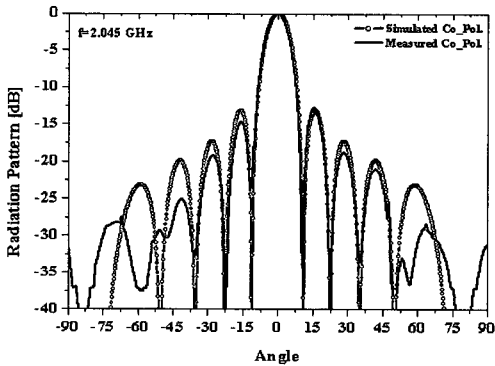
Fig. 10. Breadboard of the fabricated planar array antenna with a 90° flat-topped beam pattern.

그림 11. 방위각 방향에서 측정된 주편파 및 교차 편파 방사 패턴 특성

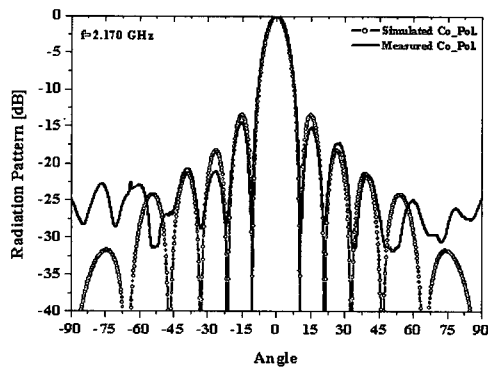
Fig. 11. Radiation patterns for co- and cross-polarization measured in the azimuth plane.



(a) $f=1.92$ GHz



(b) $f=2.045$ GHz



(c) $f=2.17$ GHz

그림 12. 양각 방향에서 측정된 주 편파 방사 패턴 특성

Fig. 12. Radiation patterns for co-polarization measured in the elevation plane.

에 의해 크게 영향을 받는다. 그러므로, 측정실 환경에 의한 영향인지 확인하기 위하여 안테나 시제품을 180° 회전하여 빔 패턴을 측정한 결과 빔 패턴은 좌우로 대칭인 현상을 보여주었다. 이것은 측정실 환

표 4. 안테나 시제품의 이득 특성

Table 4. Gain characteristics of the antenna breadboard.

항 목	측정 주파수		
	1.92 GHz	2.045 GHz	2.17 GHz
측정 이득[dBi]	12.5	14.0	13.8
시뮬레이션 이득[dBi]	13.1	14.4	13.6

경이 빔 패턴에 거의 영향을 주지 않음을 확인할 수 있었다. 그러므로, 시뮬레이션 및 측정 결과의 사이드 로브 부분에서는 차이는 보정 케이블의 진폭 및 위상 오차와 방사 소자간 상호 결합 효과 등에 기인한 것으로 추정할 수 있다. 측정된 사이드 로브 레벨은 대역 내에서 22 dBc 이상이었으며, 교차 편파 레벨은 정방향에서 30 dBc 이상이었다.

또한, 그림 12는 양각 방향에서의 주 편파 방사 패턴 특성에 대한 측정 및 시뮬레이션 성능 비교 그래프들을 나타내는데 측정 및 시뮬레이션 비교 결과는 매우 만족스럽게 일치함을 알 수 있으며, 측정된 사이드 로브 레벨은 대역 내에서 12.8 dBc 이상이었다.

또한, 안테나 시제품의 안테나 이득은 표준 혼 안테나를 이용(표준 혼 이용 : 15.1~15.7 dBi @ 1.92~2.17 GHz)하여 측정하였으며, 측정 결과는 표 4에 제시하였다.

위의 시뮬레이션 및 측정 방사 패턴들은 매우 유사한 결과를 보여주었으며, 중심 주파수 2.045 GHz에서 14.0 dBi 값을 보여주었다. 참고로, 방위각 방향에서 90도의 구형 빔 패턴과 양각 방향에서 10°의 일반 빔 패턴을 갖는 안테나의 이상적인 지향성은 약 16 dBi이다. 안테나 효율은 보정 케이블의 오차(위상 및 진폭), 회로 손실, 방사 소자간 상호 결합 효과 및 불규칙성 등에 기인한 것으로 추정된다. 동일한 개구면을 갖는 구형 빔 패턴 안테나와 일반 빔 안테나의 지향성을 비교하면 구형 빔을 갖는 안테나가 상대적으로 매우 낮은 지향성을 갖음을 알 수 있는데, 이것은 특수한 요구 빔 패턴 특성에 기인한다.

V. 결 론

이동통신 기지국용 90° 구형 빔 패턴을 갖는 배열 안테나 시제품을 설계 및 제작하고 실험하였다. 128

개의 방사 소자들로 구성된 평면 배열 안테나는 방위각 방향으로 16개의 배열 소자를 이용하여 90°의 구형 빔 패턴을 형성하였으며, 양각 방향으로는 8개의 배열 소자를 이용하여 10°의 정상 빔 패턴을 형성하였다. 구형 빔 패턴을 형성하기 위해 급전 회로망의 설계 제작이 용이한 진류 분포를 갖는 즉, 진폭 및 위상 특성을 제어하는 방법을 사용하였다. IMT-2000 주파수 대역에서 동작하는 평면 배열 안테나 실험 시제품의 실험 결과들은 시뮬레이션 성능들과 매우 유사함을 보여 주었으며, 안테나 측정 이득은 대역폭 내에서 12.5 dBi 이상이었다.

본 논문에서 사용한 설계 방법 및 안테나 실험 시제품은 향후 다양한 구형 빔 패턴 폭을 갖는 평면 배열 안테나 설계에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] 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*, Moscow, vol. 41, no. 10, 1996.

[2] D. M. Sazonov, *Antennas and Microwave Devices*, Moscow, Highest school, 1988.

[3] S. Mano, T. Katagi, "A method for measuring amplitude and phase of each radiating element of a phased array", *Electronics and Communication in Japan (IECE)*, vol. 65-B, no. 5, pp. 58-64, May 1982.

[4] G. G. Bubnov, S. M. Nikulin, Yu. N. Seryakov and S. A. Fursov, "Technique of switching for test of phased array antenna parameters", M. Radio & Svyaz Press, 1988.

[5] A. G. Shubov, S. A. Ganin, A. M. Shitikov and A. V. Shishlov, "Limit of accessible antenna array efficiency under their calibration by means of switching method", *Proceedings of the Nordic Antenna Symposium*, Lund, Sweden, pp. 225-230, Sep. 2000.

업 순 영



1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 1991년 8월~1993년 7월: 이탈리아 Alenia Spazio사와 VSAT(DAMA-SCPC) 국제 공동개발 (파견)

1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
 [주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 설계, 위성통신 RF 시스템 설계, 위상 배열 안테나 및 하이브리드 안테나 설계 등

표 철 식



1991년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1991년 1월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 [주 관심분야] 안테나, 무선 시스템, RFID, 센서 네트워크 설계 등

전 순 익



1984년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1996년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1990년 9월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

[주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 설계, 위성통신 RF 시스템 설계, 위상 배열 안테나 및 하이브리드 안테나 설계 등

김 창 주



1980년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1993년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1979년 12월~1983년 3월: ADD 연구원

1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원 전파기술연구그룹장
[주 관심분야] 무선통신 및 전파기술 등