

간결한 위상 변위 회로를 갖는 소형 광대역 위상 배열 안테나

Small Broadband Phased Array Antenna with Compact Phase-Shift Circuits

한 상 민 · 권 구 형* · 김 영 식**

Sang-Min Han · Koo Hyung Kwon* · Young-Sik Kim**

요 약

본 논문에서는 IMT-2000 소형 기지국 시스템 응용을 위한 광대역 특성을 갖는 위상 배열 안테나 시스템의 평판형, 소형 구조를 설계 및 구현하였다. 저비용, 단순 설계의 빔 형성망을 구성하기 위해 두 가지 방법이 제안되었다. 첫번째로 연속적으로 위상을 조정할 수 있는 새로운 소형 광대역 위상 천이기를 병렬 결합선로를 이용하여 설계하였으며, 둘째로는 위상 배열 안테나에서 기준 위상을 갖는 위상 천이기를 대체할 수 있는 등가적인 위상 지연기를 제안하였다. 또한 광대역 시스템 구현을 위해 광대역 위상 천이기와 함께 광대역 특성을 갖는 와이드 슬롯 안테나를 단위 안테나로 설계하였다. 따라서 설계된 위상 배열 안테나 시스템은 낮은 복잡도와 적은 공정 비용에도 불구하고 소형, 광대역, 그리고 넓은 빔 틸팅 각도를 갖도록 설계되었다. 제작된 3×1 선형 위상 배열 안테나 시스템은 와이드 슬롯 안테나의 접지면으로 충분한 1.6 λ × 1.6 λ의 소형 구조로 구현되었으며, 실험 결과 IMT-2000 대역 내에서 15 dB 이하의 S₁₁을 보였고, E평면 방사 패턴에서 -29°에서 +30°의 빔 스캔 각도를 나타내었다.

Abstract

In this paper, the planar, compact, and broadband phased array antenna system for IMT-2000 applications has been investigated. Two methods for designing a low-cost and low-complex beam-forming network are proposed. First, a new compact and broadband phase shifter with continuously controlled phase bits is designed by using parallel coupled lines. Second, its equivalent phase delay line is suggested to be capable of replacing the complex phase shifter with a reference phase bit on a phased array antenna. For the purpose of achieving the broadband system, in addition to the broadband phase shifter, a wide-slot antenna with a ground reflector is utilized as an element antenna. Therefore, the phased array antenna system has achieved compact size, broad bandwidth, and wide steering angle, although it has low complexity and low fabrication cost. The 3×1 phased array antenna system has a compact size of 1.6 λ × 1.6 λ, which is the sufficient ground plane of the wide-slot antenna. Experimental results present that the S₁₁ has less than 15 dB within the band and its radiation patterns on an E-plane have the capability of steering an antenna beam from -29° to +30°.

Key words : Phased Array Antennas, Phase Shifters, Slot Antennas, Phase Delay Lines

I. 서 론

최근 통신 시스템의 발전 추이는 소형 집적화와 함께 지능화 및 능동 제어화를 통한 인텔리전트 시

고려대학교 전파공학과(Department of Radio Sciences and Engineering, Korea University)

*LG 전자정보통신(LG Electronics Inc.)

**고려대학교 전파공학과(Department of Radio Sciences and Engineering, Korea University)

· 논문 번호 : 20030620-090

· 수정완료일자 : 2003년 8월 2일

시스템으로 발전하는 경향을 보이고 있다. 특히 스마트 안테나를 비롯한 레이더, 자동 빔 제어 기지국 안테나 등과 같은 위상 배열 안테나는 전기적으로 안테나 빔을 제어할 수 있는 유용한 시스템 응용 영역으로 많은 연구가 진행되고 있다. 최근 광대역의 소형 기지국 시스템이나 소형 레이더를 이용한 무선국의 사용이 늘어남에 따라 위상 배열 안테나의 가장 큰 단점인 시스템의 복잡성을 개선하기 위해 간단한 위상 천이 회로 설계와 평판형 안테나의 광대역화 등에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다^{[1]~[4]}.

본 논문에서는 IMT-2000대역(1.92~2.17 GHz)에서 응용 가능한 소형 광대역의 위상 배열 안테나를 설계하였다. 시스템의 소형화를 위해 기존의 3 dB 가지선로 하이브리드(3 dB Branchline Hybrid)를 이용한 반사 방식 위상 천이기 회로에 비해 약 1/4 크기를 갖는 결합 선로 위상 천이기(Coupled Line Phase Shifter)를 제안하였으며, 시스템의 복잡도와 크기를 줄이기 위해 능동 소자를 사용하지 않고 동일한 위상 천이 특성을 갖는 위상 지연기를 설계하여 위상 배열 안테나의 기준 위상을 위해 사용하였다^{[5],[6]}.

또한 시스템의 광대역화를 위해서는 모든 구성 요소의 대역폭이 규격의 대역폭을 만족시켜야 하므로, 광대역 특성을 갖는 결합선로 위상 천이기의 사용과 함께 광대역 설계에 용이한 와이드 슬롯(Wide-Slot) 안테나를 배열을 위한 단위 안테나로 사용하였다.

본 논문의 구성은 제1장 서론에 이어, 제2장에서는 소형 광대역의 결합선로 위상 천이기를 제안하였으며, 또한 기준 위상에 사용하기 위한 위상 지연기를 설계하였다. 제3장에서는 배열 안테나에 사용될 단위 안테나로 반사기를 갖는 와이드 슬롯 안테나를 낮은 프로파일(Profile)과 작은 크기에서 구현하였다. 제4장에서는 위상 천이 회로와 와이드 슬롯 배열 안테나를 하나의 기판에 구현하여 위상 배열 안테나의 빔 틸트 특성을 실험하였으며, 제5장에서 결론을 맺었다.

II. 결합선로 위상 천이기와 위상 지연기를 이용한 위상 천이 회로

위상 배열 안테나의 가장 복잡한 요소로 지적되는 위상 천이기를 포함한 급전 회로는 시스템의 복잡도 및 크기를 결정하는 중요한 요소일 뿐만 아니라, 가장 많은 비용을 요구하는 서브 시스템이다. 또한 광대역의 시스템을 제어할 수 있기 위해 낮은 위상 오차, 삽입 손실 및 이득 평탄도 등이 복합적으로 요구된다^{[7],[8]}. 이를 위해 최근 빔 형성망^[1] 및 안테나 배열 구조^{[3],[4]} 등을 이용하여 간단하고 소형인 위상 천이 급전 회로를 구성하려는 연구들이 보고되고 있으며, 저가의 다이오드를 사용하여 저비용의 시스템을 설계하는 기술^[9]도 소개되고 있다. 또한 연속적인 위상 천이를 얻을 수 있으면서 큰 위상 변위 비트를 얻기 위해 여러 단을 결합하는 기술도 유용하게 이용되고 있다^{[10],[11]}.

본 논문에서는 단일 결합선로가 갖는 광대역 특성을 이용하여, 터미네이션의 리액티브 부하(jX)의 반사계수를 조정하는 방법에 의해 광대역의 위상 변위 회로를 제안하였으며, 또한 이와 동일한 위상 변위 특성을 갖는 등가적 위상 지연기를 제안하였다.

그림 1은 제안된 위상 천이기와 위상 지연기의 구조를 보이고 있다. 그림 1(a)의 위상 천이기는 중심 주파수에서 리액티브 부하의 변화 값이 위상 천이기의 위상 변화로 나타나는 커플러의 원리를 이용한 것으로, 부하의 반사계수 변화가 출력의 위상 변화로 나타나게 된다^{[5],[12]}. 식 (1)에서 보이는 바와 같이

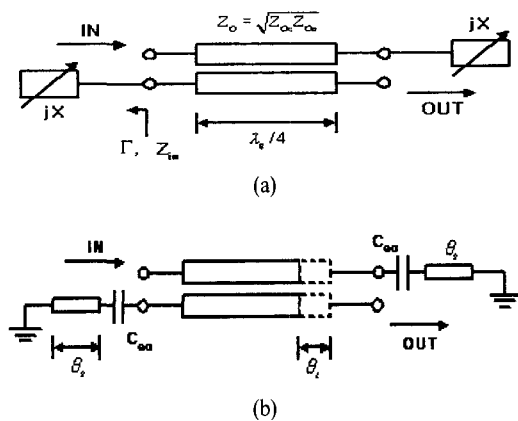


그림 1. (a) 결합선로 위상 천이기와 (b) 위상 지연기의 구조

Fig. 1. Configurations of (a) the coupled line phase shifter and (b) its phase delay line.

부하의 리액턴스 값의 변화는 반사 계수의 위상 변화를 만들며, 이는 위상 천이기 출력값으로 표현된다. 따라서 반사 계수의 크기는 1에 가까울수록 손실이 적은 것을 의미하며, 각 바이어스 상태에 따른 위상 변화가 출력 위상 천이 값으로 나타내어진다. 본 연구에서는 정합이 되지 않은 터미네이션 부하를 바랙터 다이오드(Varactor Diode), 급전회로 등으로 모델링하였으며, 각 바이어스 상태에서의 반사 계수 변화를 관찰하여 위상 변위 결과를 예측하였다. 중심 주파수 2.1 GHz에서 각 바이어스 상태에 따른 시뮬레이션 결과, 무손실 특성과 약 65°의 위상 천이 특성을 가질 것이 예측되었다^[6].

$$\Gamma = |\Gamma| e^{j\phi} = \frac{(R_s - Z_0) + jX}{(R_s + Z_0) + jX} \quad (1)$$

결합선로는 결합 특성을 증가시키는 것에 의해 대역폭을 증가시킬 수 있으므로^[13], 결합선로의 길이와 결합도를 조정하여, 800 MHz 대역폭의 위상천이기를 제작하였다. 제작된 1단의 위상 천이기는 40% 대역폭(1.7 GHz~2.5 GHz)에서 연속적으로 약 65°까지의 위상 천이를 나타냈으며, 삽입 손실은 약 3 dB, 위상 오차는 3° 이내의 작은 값을 나타내었다.

설계된 위상 천이기를 2단으로 연결하여 IMT-2000 대역에서의 120° 위상 천이기를 제작하였으며, 레이아웃은 그림 2에서 보는 바와 같다. 사용된 기판은 강한 결합력을 통해 광대역 특성을 얻기 위해 높은 유전 상수를 갖는 RT Duroid 6010 기판($\epsilon_r = 10.2$)을 사용하였으며, 바랙터 다이오드는 작은 내부 저항($R_s = 0.9$)과 직렬 인덕턴스($L_s = 0.6nH$)를 갖는 것을 사용하였다.

그림 1(b)는 기준 위상 천이 회로를 대체할 수 있는 등가적 위상 지연기의 설계를 보이고 있다. 위상

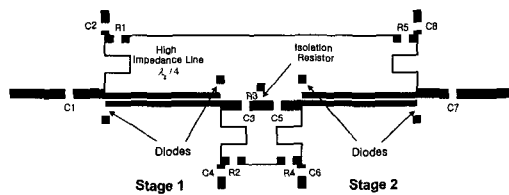


그림 2. 2단의 결합선로 위상 천이기의 레이아웃
Fig. 2. Layout of the two-stage coupled line phase shifter.

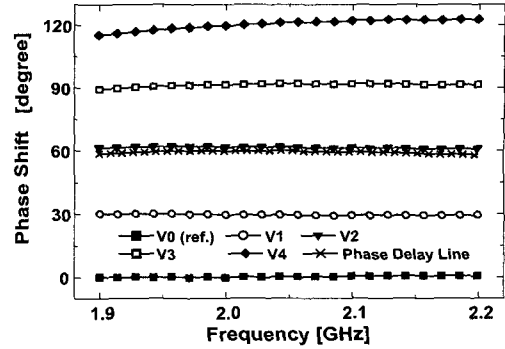


그림 3. 결합선로 위상 천이기와 위상 지연기의 위상 변위 실험 결과

Fig. 3. Shifted phases of the two-stage phase shifter and its phase delay line(Experimental results).

지연기는 앞서 설계된 위상 천이기와 동일한 특성을 나타내면서, 능동 소자를 사용하지 않아 시스템의 간략화와 저가화를 기할 수 있는 회로이다. 본 논문의 위상배열 안테나는 홀수 개의 단위 안테나를 갖는 구조이며, 이 같은 경우에 배열 중앙에 사용되는 위상 천이기는 양방향 빔 틸팅을 위해 위상 값을 고정하여 사용될 수 있으며, 간단한 회로 구성을 갖는 위상 지연기로 대체될 수 있다.

위상 지연기 회로는 가변 캐패시터의 역할을 하는 다이오드를 등가의 캐패시터(C_{eq})로 대체하였으며, 정확한 캐패시턴스와 대역 튜닝을 위해 결합선로의 길이(θ)와 캐패시터를 연결한 스텔브(θ_s)를 튜닝하여 기준 위상으로 사용된 60°의 위상 천이 값을 얻을 수 있었다.

그림 3은 결합선로를 이용한 위상 천이기와 위상 지연기의 실험 결과를 보이고 있다. 위상 천이기는 30°, 60°, 90°, 120°의 위상 천이를 설정하여 보이고 있으며, 위상 지연기는 그 중심 값인 60°의 위상 천이를 나타내고 있다. 위상 오차는 위상 천이기에서 각각 $\pm 0.4^\circ$, $\pm 0.4^\circ$, $\pm 0.4^\circ$, $\pm 1.4^\circ$, $\pm 3.6^\circ$ 위상 지연기에서 $\pm 1.1^\circ$ 의 매우 낮은 값을 나타내었다. 대역내 이득 평탄도는 0.9 dB에서 1.1 dB이며, 삽입 손실은 격리 저항으로 인해 다소 증가하여 약 8.5 dB를 나타내었다. 또한 기존의 3 dB 하이브리드를 사용한 경우 보다 약 1/4의 크기로 구현되었다.

III. 반사기를 이용한 와이드 슬릿 안테나

본 장에서는 위상 배열 안테나에 사용될 와이드 슬롯 안테나를 설계, 제작하였다. 슬롯 안테나는 패치 안테나와 함께 단일 기판에 시스템과 집적이 용이한 평판형 안테나로 소형이면서 비교적 대역폭이 넓은 특성을 지니고 있다. 또한 슬롯을 둘러싼 도체 판이 슬롯 뒷면에 구현될 시스템 회로의 접지로 활용될 수 있으므로, 간략한 시스템 구현에 적합한 설계상 이점을 가지고 있다.

본 논문에서는 단일 슬롯 안테나에 반사기를 장착하여 광대역 특성과 단일 지향성을 갖는 안테나를 설계하였으며, 이를 배열 안테나에 적용하여 위상 배열 안테나에 사용 가능한 안테나 특성을 연구하였다.

3-1 단일 안테나 설계

광대역 특성을 갖는 슬롯 안테나 설계를 위해 기존 반파장 슬롯보다 길고, 폭이 넓은 와이드 슬롯을 사용하였으며^[14], 슬롯 안테나의 특성인 양방향 방사 특성을 단일 방사 특성으로 변화시키기 위해 슬롯 뒷면에 반사기를 장착하여 단일 지향성을 갖는 안테나를 설계하였다. 그림 4는 설계된 단일 와이드 슬롯 안테나의 구성을 보이고 있다. 반사기는 평면 도체판을 이용하여 구현하였으며, 안테나 기판과의 이격을 위해 매우 낮은 유전율을 갖는 스티로폼($\epsilon_r=1.07$)을 사용하였다.

반사기는 슬롯으로부터 $\lambda/4$ 정도의 거리에 두어 전기적으로 개방(Open) 상태를 만드는 것이 일반적이나^{[15][16]}, 더 낮은 프로파일로의 설계를 위해 반사기 거리(t_f)를 0.15λ 에서 0.35λ 로 설정하였을 때, 설계 가능한 안테나의 대역폭, F/B(Front-to-Back Ra-

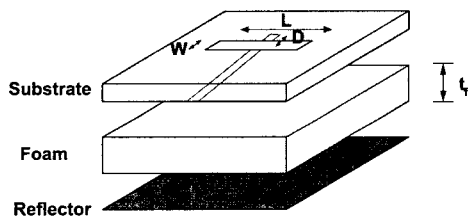


그림 4. 그라운드 반사기를 갖는 마이크로스트립 급전 슬롯 안테나의 구조

Fig. 4. Configuration of a microstrip-fed single slot antenna with a GND reflector.

tio), 빔폭(Half-Power Beamwidth) 등을 시뮬레이션을 통해 조사하였다. 시뮬레이션 결과 0.25λ , 0.20λ , 0.15λ 의 반사기 거리에서는 F/B가 약 16 dB 정도의 비슷한 값을 나타내었으며, 대역폭과 빔폭은 모두 0.15λ 에서 가장 넓은 값을 얻을 수 있었다. 또한 반사기로 인한 방사 방향에서의 빔 패턴의 왜곡은 없는 것으로 조사되었다. 따라서 유사 조건에서 가장 낮은 프로파일을 갖는 0.15λ (약 20 mm)의 반사기 거리를 설정하였다.

안테나의 공진 주파수와 대역폭은 슬롯의 길이(L), 폭(W), 그리고 마이크로스트립 급전선의 윗선 길이(D)에 의해 결정되므로^{[17][18]}, 이들 요소를 이용하여 IMT-2000 대역을 만족하는 단일 와이드 슬롯 안테나를 설계하였으며, $L=93.9$ mm, $W=10$ mm, $D=6.8$ mm의 값으로 제작되었다. 실험 결과 2.058 GHz 중심 주파수에서 410 MHz의 대역폭을 얻을 수 있었으며, 방사 패턴은 6.3 dBi의 이득과 12 dB 이상의 F/B, 그리고 E 평면과 H 평면에서 각각 78.4° 와 102.3° 의 빔폭과 17 dB, 11 dB의 교차편파 수준(Cross Polarization Level)을 얻을 수 있었다.

3-2 배열 안테나 설계

앞의 절에서 설계된 단일 안테나의 특성을 이용하여 선형 배열 안테나를 설계하였다. 선형의 배열 안테나의 안테나간 간격은 좁을수록 소형의 안테나를 구현할 수 있으나, 식 (2)와 식 (3)에서 보는 바와 같이 $\lambda/2$ 이하의 간격에서는 간격이 줄어들수록 따라 이득은 감소하고, 틸트 각은 증가하는 특성을 갖는다. 또한 안테나간 간격에 의해 배열 요소(Array Factor)가 결정되므로 위상 배열 안테나의 패턴을 결정하는 요소가 되기도 한다. 따라서 안테나간 간격은 위상 배열 안테나의 특성을 결정짓는 중요한 요소로 작용하게 된다.

$$D = \frac{1}{\frac{1}{N} + \frac{2}{N^2} \sum_{m=1}^{N-1} \frac{N-m}{m\beta d} \sin(m\beta d)} \quad (2)$$

$$\theta_o = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1}\left(\frac{\alpha}{\beta d}\right) = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1}\left(\frac{\alpha}{2\pi d/\lambda}\right) \quad (3)$$

여기서 N은 단위 안테나의 수이며, d는 단위 안테나간 거리, α 는 위상 천이기에 의한 단위 안테나간 입

표 1. 안테나 배열간 간격(d)에 따른 와이드 슬롯 배열 안테나의 특성($N=3$)

Table 1. Wide-Slot Three-Element Array Antenna Characteristics due to Inter-Element Spacing, d .

$d[\lambda]$	HPBW [deg.]	Gain [dBi]	F/B [dB]	Scan angle [deg.]	Pattern (E-plane)
0.2	51.0	9.8	16.3	112.9	
0.3	42.0	11.0	14.7	67.5	
0.4	36.0	11.7	18.4	49.2	
0.5	29.5	11.8	20.7	38.9	
0.6	23.5	12.3	16.9	32.3	

력 위상차이고, β 는 전파 상수(Propagation Constant)를 나타낸다.

앞서 설계된 반사기를 갖는 단일 와이드 슬롯 안테나와 120° 의 위상 천이 회로를 이용하여, 3개의 안테나 배열에 적용하여 안테나 주요 요소들에 대한 특성을 조사하였으며, 각 안테나 간격에서의 배열 특성을 표 1에 정리하였다.

표 1에서 보는 바와 같이 0.4λ 이상에서는 메인 빔에서 부엽이 발생하기 시작하고, 틸트 각과 빔 폭이 급격히 줄어들기 시작하므로 안테나의 커버리지를 감소시키게 되며, 안테나 이득은 큰 차이를 보이지 않고 있다. 따라서 패턴의 왜곡 없이 큰 빔 틸트 각을 얻을 수 있는 0.3λ 의 안테나 간 거리를 설정하여 E 평면 방향의 와이드 슬롯 선형 배열 안테나를 설계하였다. 설계된 배열 안테나 구조는 평면형 구조와 소형 간략화를 위한 설계 과정에 의해 제작되었으며, $\pm 60^\circ$ 의 위상천이기 회로를 사용하여 위상 배열 안테나를 구현할 경우, 약 65° 의 빔 틸트 각을 가질 수 있도록 설계되었다.

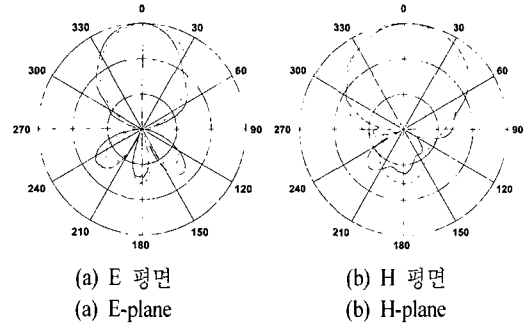


그림 5. 와이드 슬롯 배열 안테나의 방사패턴(실선: 측정치; 점선: 교차편파 측정치; 대쉬선: 시뮬레이션 결과; $f_0=2.045$ GHz; 10 dB/div.)

Fig. 5. Radiation patterns of the wide-slot array antenna at 2.045 GHz (solid lines: measured with co-pol.; dotted lines: measured with cross pol.; dashed lines: simulated results; 10 dB/div.).

3×1 선형 배열 와이드 슬롯 안테나는 위상 천이기와 동일한 기판을 사용하여 제작되었으며, 전체 기판 크기는 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 이며, 슬롯의 크기와 움푹 길이는 상호 결합으로 인한 영향을 고려하여 일부 튜닝 과정을 거쳐 제작되었다. 측정 결과 VSWR ≤ 2 기준으로 1.86 GHz에서 2.19 GHz의 약 330 MHz 대역폭을 나타내었으며, 방사 패턴은 그림 5에서 나타내었다. 약 10.4 dBi 이득과 17.5 dB 이상의 F/B, E 평면과 H 평면에서 각각 41° , 58° 의 빔폭과 15.4 dB, 14.8 dB의 교차편파 수준을 나타내었다.

IV. 소형 광대역 위상 배열 안테나

본 장에서는 제2장의 빔 형성망 회로와 제3장에서 설계된 배열 안테나를 이용하여 위상 배열 안테나를 설계 제작하였다. 그림 6은 설계된 위상 배열 안테나의 레이아웃을 보이고 있다. 실선으로 도시된 부분은 마이크로스트립 급전선, 결합선로 위상 천이기와 등가 위상 지연기, 그리고 전력 분배기로 구성된 빔 형성망 회로이며, 점선으로 표시된 것이 기판의 뒷면에 위치한 슬롯 안테나이다. 배열 안테나 중앙에 위치한 등가 위상 지연기는 급전 회로 및 능동 소자인 다이오드를 사용하지 않아 회로를 매우 간략하게 구현할 수 있었으며, 양측의 위상 천이 회로는 각각 하나의 급전 포트에 의해 조절되도록 설계하였

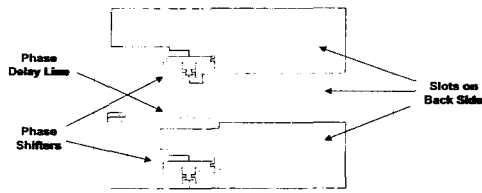


그림 6. 위상 배열 안테나의 레이아웃
Fig. 6. Layout of the wide-slot array antenna.

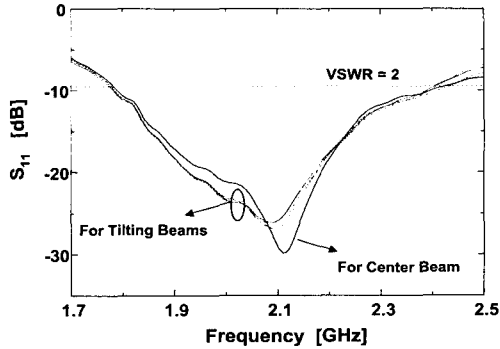


그림 7. 제작된 위상 배열안테나의 S_{11} (실선: 메인 빔; 점선: 틸트된 빔)
Fig. 7. Measured S_{11} of the phased array antenna(solid line for the main beam; dotted lines for steered beams).

다. 전력 분배기는 각 포트의 격리도(Isolation)와 정합 특성을 향상시키기 위해 전력 분배 회로를 사용하였으며, 평면 구조에 사용할 수 있는 Folk-Type 전력 분배기^[10]를 설계하여 적용하였다. 전체 회로의 크기는 약 $23\text{ cm} \times 23\text{ cm}$ ($1.6\lambda \times 1.6\lambda$)의 크기로 와이드 슬롯 배열 안테나의 접지 평면과 동시에 빔 형성망 회로의 접지면으로 사용되어졌다.

그림 7은 제작된 위상 배열 안테나의 대역폭 특성을 보이고 있다. 실선은 각 배열 안테나에 동일 위상을 주어 안테나 중심에 메인 빔을 형성한 경우이며, 점선으로 표시된 선들은 각각 빔이 틸트된 경우의 대역폭을 나타낸다. 전체 대역폭은 630 MHz로 안테나만의 대역폭 보다 충분히 넓은을 알 수 있으며, 이는 Fork-Type 전력 분배기와 위상 천이 회로에 의한 정합 특성을 반영한 결과이다.

그림 8은 위상 배열 안테나의 3개의 요소 안테나

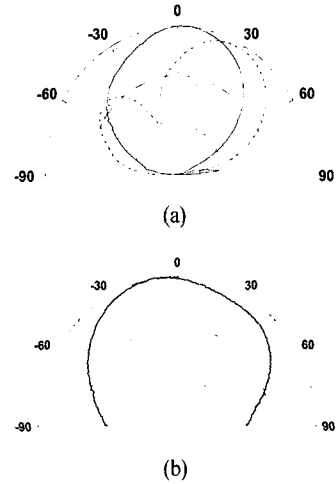
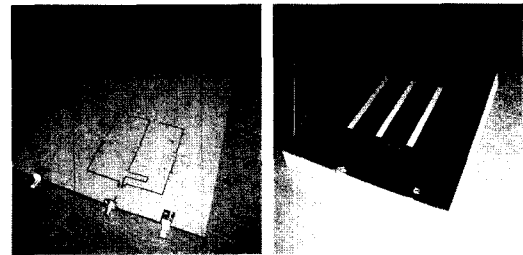


그림 8. 측정된 위상 배열 안테나의 방사패턴(10 dB/div.) (a) E-평면(점선: Beam 1; 실선: Beam 2; 대취선: Beam 3), (b) H-평면(Beam 2)
Fig. 8. Measured radiation patterns of the phased array antenna(10 dB/div.). (a) E-plane(dotted line: Beam 1; solid line: Beam 2; dashed line: Beam 3), (b) H-plane(Beam 2).



(a) 빔 형성망 회로 (b) 결합된 위상 배열 안테나
(a) A beam-forming network (b) An assembled phased array antenna

그림 9. 완성된 위상 배열 안테나 사진
Fig. 9. Photographs of the implemented phased array antenna.

에 각각 $-60^\circ / 0^\circ / 60^\circ$ (Beam 1), $0^\circ / 0^\circ / 0^\circ$ (Beam 2) $60^\circ / 0^\circ / -60^\circ$ (Beam 3)의 위상 천이를 설정한 경우 안테나 방사 빔의 틸트 결과를 보이고 있다. 크기는 메인 빔의 크기에 대해 정규화 되어진 값이며, 단일 안테나가 틸트 각에 대해 거의 동일한 방사량을 가지므로 상대적 크기의 차이는 1~2 dB 정도였다. 틸트시에 반대 부호 각도의 방향으로 부엽이 예측되었으며, 실험 결과 8~9 dB의 부엽이 관찰되었다. 식 (3)에 의한 선형 위상 배열 안테나의 빔 틸트 각은

약 $\pm 33^\circ$ 로 예측되었으나, 실험 결과 각각의 상태에서 -29° , 0° , 30° 의 틸트 각이 측정되었으며, 빔폭은 메인 빔에서 E 평면은 40° , H 평면은 76° 를 나타내어 대체로 양호한 실험 결과를 보였다.

그림 9는 제작된 위상 배열 안테나의 실물 사진을 보이고 있다. 그림 9(a)는 위상 천이기와 위상 지연기를 포함한 빔 형성망 회로 사진이며, 회로 뒷면에 슬랏 안테나가 위치하게 된다. 그림 9(b)는 반사기를 장착하여 완성된 위상 배열 안테나의 사진을 보이고 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 IMT-2000 대역 응용을 위한 광대역의 소형 위상 배열 안테나를 3×1 선형 배열로 설계하였다. 안테나와 빔 형성망 회로는 모두 규격의 대역에 맞도록 설계되어졌으며, 소형화와 설계 간략화를 위해 소형 위상 천이기와 등가 위상 지연기를 제안하였고, 안테나의 소형화 설계가 이루어졌다. 실험 결과 IMT-2000 대역에 충분한 대역의 평판형 위상 배열 안테나를 구현하였으며, 40° 의 빔 폭을 갖고, -29° 에서 $+30^\circ$ 까지의 빔 틸트 성능을 확인하였다.

제작된 위상 배열 안테나 시스템은 소형 기지국 등에 이용하기에 적합한 소형, 저비용의 시스템으로 향후 위상 배열 안테나 시스템 설계 방식에 다양하게 적용할 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] N. C. Karmakar, M. E. Bialkowski, "A Beam-Forming Network for a Circular Switched-Beam Phase Array Antenna", *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, vol. 11, no. 1, pp. 7-9, Jan. 2001.
- [2] P. V. Brennan, "Low cost phased array antenna for land-mobile satcom applications", *IEE Proc.*, vol. 138, Pt. H, no. 2, pp. 131-136, Apr. 1991.
- [3] M. Krairiksh, P. Ngamjanyaporn and C. Kessuwan, "A Flat Four-Beam Compact Phased Array Antenna", *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, vol. 12, no. 5, pp. 184-186, May 2002.
- [4] M. E. Bialkowski, N. C. Karmakar, "A Two-Ring Circular Phased-Array Antenna for Mobile Satellite Communications", *IEEE Antennas Propagat. Magazine*, vol. 41, no. 3, pp. 14-23, Jun. 1999.
- [5] S.-M. Han, K. Kwon and Y.-S. Kim, "New Compact Broadband Phase Shifters using Coupled Lines", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 36, no. 5, pp. 399-400, Mar. 2003.
- [6] S.-M. Han, Y.-S. Kim, "Coupled Line Phase Shifters and Its Equivalent Phase Delay Line for Compact Broadband Phased Array Antenna Applications", *Journal of the KEES*, vol. 3, no. 1, pp. 194-198, May 2003.
- [7] S. Koul, B. Bhat, *Microwave and millimeter wave phase shifters*, Norwood: Artech House, vol. 2, Ch. 9 & 11, 1991.
- [8] S. Lucyszyn, I. D. Robertson, "Synthesis techniques for high performance octave bandwidth 180 analog phase shifters", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 40, no. 4, pp. 731-740, Apr. 1992.
- [9] N. C. Karmakar, M. E. Bialkowski, "Low Cost Phase Shifters for L-Band Phased Array Antennas", in *1997 IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, pp. 2476-2479. Jul. 1997.
- [10] S. Lucyszyn, I. D. Robertson, "Decade bandwidth hybrid analogue phase shifter using MMIC reflection terminations", *Electron. Lett.*, vol. 28, no. 11, pp. 1064-1065, May 1992.
- [11] S. Lucyszyn, I. D. Robertson, "Two-Octave Bandwidth Monolithic Analog Phase Shifter", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 2, no. 8, pp. 343-345, Aug. 1992.
- [12] M. H. Kori, S. Mahapatra, "Integral analysis of hybrid coupled semiconductor phase shifters", *IEE Proc.*, vol. 134, Pt. H, no. 2, pp. 156-162, Apr. 1987.
- [13] D. M. Pozar, *Microwave engineering*, 2nd Ed., New York: John Wiley & Sons Inc., Ch. 78, 1998.
- [14] Jia-Yi Sze, Kin-Lu Wong, "Bandwidth Enhancement of a Microstrip-Line-Fed Printed Wide-Slot Antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol.

- 49, no. 8, pp. 1020-1024, Jul. 2001.
- [15] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Boston: Artech House, Ch. 7, 2001.
- [16] Y. Yoshimura, "A microstrip-fed slot antenna", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 20, no. 11, pp. 760-762, Nov. 1972.
- [17] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse and D. M. Pozar, "Design of Wide-Band aperture-Stacked Patch Microstrip Antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, no. 9, pp. 1245-1251, Sep. 1998.
- [18] J. Kim, W. Park, "Network Modeling of and Inclined and Off-Center Microstrip-Fed Slot Antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 46, no. 8, pp. 1182-1187, Aug. 1998.
- [19] A. A. M. Salch, "Planar Electrically Symmetric n-Way Hybrid Power Dividers/Combiners", *IEEE trans. Microwave Theory Tech.*, vol. T-28, no. 6, pp. 555-563, June 1980.

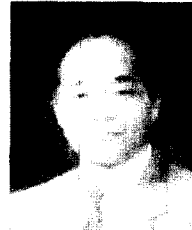
한 상 민



1996년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학사)
 1998년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
 2003년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학박사)
 2003년 10월~현재: Post-doctoral research fellow at UCLA

[주 관심분야] 능동 직접 안테나, 위상 배열 안테나, RFIC MMICs

김 영 식



1973년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1977년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1986년 5월: University of Massachusetts at Amherst, ECE (공학석사)

1988년 5월: University of Massachusetts Amherst, ECE (공학박사)

1978년 3월~1982년 1월: 홍익공업대학 전자과 조교수
 1989년 2월~1993년 2월: ETRI 이동통신연구단 무선기술 연구실 실장

1993년 2월~현재: 고려대학교 전파통신공학과 교수
 [주 관심분야] 안테나, 초구조파 소자 및 회로

권 구 형



2001년 2월: 고려대학교 전기전자전파 공학부 (공학사)
 2003년 2월: 고려대학교 전파통신공학과 (공학석사)
 2003년 2월~현재: LG전자 정보통신

[주 관심분야] RF 수동소자 및 시스템

템