論文 96-21-12-17

슬롯결합구조를 갖는 이동통신 기지국용 마이크로스트립 위상배열 안테나의 설계

正會員 장 정 필*, 장 병 준**, 윤 영 중***, 박 한 규***

A Design of the microstrip phased array antenna with the slot-coupled structure for the base station of mobile communication

Jeong Pil Jang*, Byung Jun Jang**, Young Joong Yoon***,
Han Kyu Park*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 향후 디지틀 이동통신용 기지국 안테나로 사용할 수 있도록 슬롯결합 급전구조를 갖는 마이크로스트립 안테나의 정확한 해석 및 설계방식을 제시하고 그 특성을 분석하였다. 슬롯결합 급전구조의 정확한 해석은 가역정리를 이용한 full-wave 모멘트법을 이용하여 해석하였다. 수치해석에 사용된 기저함수는 해의 수렴도, 정확도 및 계산시간을 비교하여 패치는 3개의 EB모드, 슬롯은 1개의 PWS모드를 사용하였다. 위상천이기로는 PIN 다이오드를 스위칭소자로 이용하여, 4비트 위상천이기를 제작하였으며, 30°, 60° 부하선로형 위상천이기와 90°, 180° 반사형 위상천이기로 4비트 위상천이기를 구성하였다. 이러한 슬롯결합형 구조와 4-bits 위상천이기를 이용한 8소자의 균일 위상배열 안테나를 설계하였다.

제작된 4비트 위상천이기는 실험결과 위상오차는 2°~3° 정도이며, 위상천이시 발생되는 전체 삽입손실은 3 dB 내외의 값을 가지고 있다. 4비트 위상천이기를 8배열 소자를 가진 슬롯결합 급전구조의 배열안테나에 적용시킨 결과, 빔폭은 12°~14°, 빔이동각은 9° 정도로 측정되어, 전체 빔이동범위(scanning angle)는 90° 정도가 되며, 안테나의 이득은 12 dBi로 측정되었다. 본 논문에서 제작된 안테나는 슬롯결합형 구조를 갖고 있으므로 위상천이기와 급전선로에 의한 기생방사를 줄일 수 있으며, 안테나의 대역폭을 개선할 수 있을 뿐만아니라 소형, 박형의 고이득 안테나를 제작할 수 있어서 이동통신 환경에서 사용할 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, the microstrip phased array antennas with coupling-slots for the base station of mobile communication

*LG 종합 기술원 연구원
**LG전자 멀티미디어 연구소 선임연구원
***연세대학교 전파공학과
論文番號:96216-0723
接受日字:1996年 7月 23日

is proposed and analyzed with accurate analysis method which is based on both reciprocity principle and full-wave analysis. The basis functions used for the numerical analysis are determined depending upon the accuracy, convergence properties of the solution, and the computation time:The patch uses 3 EB mode and the slot uses 1PWS mode. The designed phased array antenna has 8 slot-coupled microstrip patch array elements and the beam scanning capability is obtained by using the 4-bits PIN-diode phase shifters as switching devices which are consisted of the loaded line phase shifters for 30° and 60° and the reflection type phase shifters for 90° and 180°, respectively.

The 4-bits phase shifters which are made by connecting each phase shifter have about 2°~3° phase errors and their insertion loss are about 3dB for each phase state. The fabricated 8-element phased array antenna with 4-bits phase shifters provides 12°~14° beamwidths depending on the scanning angle and is capable of scanning its beam to ±45° with 9° intervals, and the gain 12dBi. The overall results show that the slot-coupled phased array antenna has great advantages of wideband, high gain and reduced spurious radiation. Also, the antenna can be made small and thin. Furthermore, the scanning property of this antenna allows for its application in several areas, such as mobile communication system and PCS.

Ⅰ. 서 론

최근 이동통신에 대한 관심이 증가됨과 동시에 한정된 주파수 자원내에서 용량을 증가시키는 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 이동통신 수요가 급증함에 따라서 기존의 800MHz대역의 셀룰라 방식이 이미 포화상태에 이르고 있다[1]. 따라서 새로운 주파수 대역(1.8~2.0GHz)에서 이동통신 서비스를 구현하고자하는 개인휴대통신 (PCS:Personal Communication Service) 이 최근 활발히 연구되고 있다. 개인휴대통신에서는 기존의 셀룰라 방식과는 달리 마이크로셀로 구성되며 각각의 셀은 지능화(intelligent) 구조를 갖는다[2]. 이러한 지능화 셀을 구성하기 위해서는 기지국에서 송·수신 빔을 가변하여 환경에 맞게 조절할 수 있는 위상배열안테나가 필수적이다[3, 4].

위상배열 안테나는 기존의 이동통신에서 사용하던 무지향성안테나 및 섹터안테나에 비하여 여러가지 장점을 갖고 있다. 안테나를 배열하므로 빔폭을 줄이고 높은 이득을 얻을 수 있으며, 위상을 조절하여 빔의 방향을 바꿀 수 있으므로 주변환경에 의해 미약해진 신호까지도 수신할 수 있다. 따라서 원하는 단말기로부터 수신된 신호는 개선시키고 그 외의 다른 단말기에서 수신되는 간섭신호를 줄일 수 있으므로 신호 대 간섭비(C/I:Carrier to Interference ratio)를 개선할 수 있다. 이것은 이동체에서 기지국까지의 역방향 링크를 개선함으로써 이동체는 더욱 적은 전력으로 송신이 가능하기 때문에 수신기에 사용하는 건전지의 수명을 연장시켜 궁극적으로는 단말기의 소형화도 가능하다[5, 6].

그림 1은 마이크로스트립 안테나를 이용한 위상배열안테나의 구성도이다. 위상배열안테나는 방사소자, 급전선로, 위상천이기, 전력분배기의 4부분으로 나누어진다. 위상배열안테나의 경우 위상천이기를 방사소자와 동일평면에 구성할 경우 회로가 복잡해지고 기생방사 등의 문제가 일어나므로 이를 해결하기 위한 구조로 방사소자와 급전선로를 서로 다른 기판에 구성하고, 이 둘을 슬롯을 이용하여 전자기적으로 결합하여 급전하는 슬롯결합 방식을 사용하였다[7, 8, 9, 10].

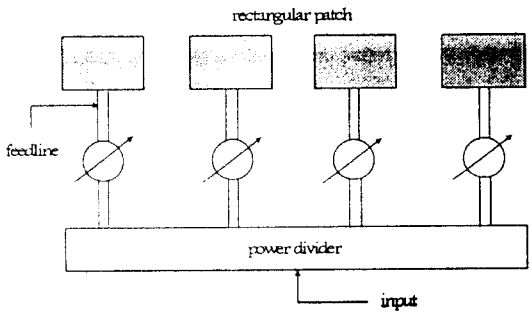


그림 1. 마이크로스트립 위상배열안테나
Fig. 1.Microstrip phased array antenna

본 논문에서는 PCS 이동통신 환경에서 이용하기 위한 1.8 GHz 주파수대의 위상배열안테나를 설계, 제작하여 원하는 범위 내에서의 빔이 이동되는 것을 확인하였다. 위상배열안테나를 제작하기 위해서 먼저 30°, 60° 부하선로형 위상천이기[11, 12]와 90°, 180° 반사형 위상천이기[11, 13]로 구성된 4-bits 위상천이기를 제작하여 일정한 위상특성을 확인하고 슬롯결합형 8배열 위상배열안테나를 설계, 제작하여 빔의 이동을 실험하였다.

Ⅱ. 슬롯결합 마이크로스트립 안테나의 해석

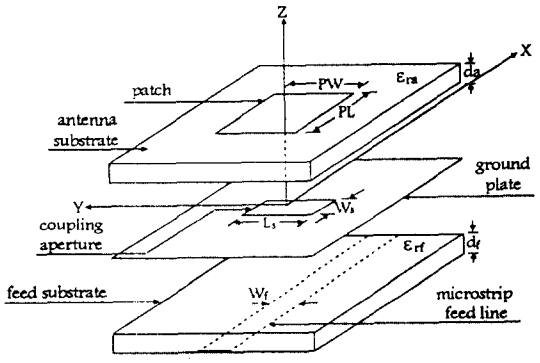


그림 2. 슬롯결합 마이크로스트립 안테나의 구조
Fig. 2. Configuration of a slot coupled microstrip antenna

슬롯결합 마이크로스트립 안테나의 구조는 그림 2와 같다. 접지면과 유전체 기판은 x, y축 방향으로 무한대로 크다고 가정하면 패치와 슬롯의 표면 전류밀도를 구하기 위한 적분방정식은 가역정리[8]와 등가원리에 의해 유도할 수 있다. 등가원리에 의하면 슬롯은 슬롯이 없다고 가정한 접지면의 양쪽에 있는 등가 자기전류로 대치할 수 있으며, 슬롯의 폭이 유전체 내부의 파장에 비하여 아주 작은 경우 등가 자기전류는 y축 성분만을 갖는다고 가정할 수 있다. 또한 슬롯에서의 전계의 접선방향 성분이 연속이라는 경계조건을 만족시키기 위하여 슬롯 양쪽의 등가 자기전류 밀도는 크기가 같고 부호가 반대로 가정한다.

해석 방법으로 모멘트법을 이용하였으며, 모멘트법에 사용되는 그린함수의 설명과 추가적인 해석은 참고문헌 [8]을 참조하면 구할 수 있으며 본 논문에서는 자세한 설명은 생략하였다. 이상의 이론을 바탕으로 해석 프로그램을 작성하였는데 기본적으로 DOS 환경하에서 수행될 수 있도록 하였다. 이 경우 사용하는 기저함수의 형태에 따라 수행시간이 결정되며 본 논문에서 사용된 기저함수는 해의 수렴도, 정확도 및 계산시간을 비교하여 패치는 3개의 EB모드, 슬롯은 1개의 PWS모드를 사용하였다. 이러한 전류함수를 사용할 경우 적분구간은 Green함수와 전류함수의 곱에 의해 결정되며, 사용하는 Green함수에 따라서 다르기는 하지만 150 k_0를 넘지 않는다. 이렇게 프로그램을 구성하면 계산시간은 486PC상에서 한주파수에서 결과를 얻는데 20초를 넘지않는다.

Ⅲ. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는 PCS 이동통신 환경에서 사용할 수 있는 중심주파수 1.8GHz의 위상배열안테나를 제작하였다. 안테나는 마이크로스트립 안테나를 사용하였고, 안테나와 위상천이기간의 최적설계가 가능하도록 슬롯결합형 급전구조를 사용하였으며, 8개의 배열소자를 사용하므로써 12°의 빔폭을 갖는 빔을 이용해 90°의 안테나 동작영역을 얻고자 한다. 위상천이기는 PIN 다이오드를 스위칭소자로 이용한 위상조절이 간편한 4-bits 위상천이기를 사용하였다.

먼저 위상배열안테나에서 위상을 조절해주는 4-bits 위상천이기와 슬롯결합형 단일패치 마이크로스트립 안테나를 각각 제작하여 실험하였다. 설계, 제작된 4-bits 위상천이기와 슬롯결합형 마이크로스트립 안테나를 이용하여 실제 이동통신 기지국에 사용할 수 있는 8소자 슬롯결합형 마이크로스트립 위상배열안테나를 제작하고 실험하였다.

(1)4-bits 위상천이기 제작 및 실험결과

본 논문에서 사용한 위상천이기는 위상배열안테나가 12°의 빔폭을 갖고 90° 정도의 동작영역을 갖도록 하기위해서 안테나간의 위상차를 30°가 되도록 하는 4-bits 위상천이기이다. 4-bits 위상천이기는 각 비트별로 일정한 각을 갖는 위상천이기들로 구성된다. 제작된 4-bits 위상천이기는 4개의 위상천이기(30°, 60°, 90°, 180°)를 연결하여, 4개의 위상조합을 통해서 30° 간격으로 0°에서 330°까지 위상을 얻을 수 있다. 30°와 60°는 위상차가 작은 경우이므로 정확한 위상천이

를 얻기 위해 부하선로형 위상천이기[11, 12]를 사용하였으며, 90°와 180°는 하이브리드를 이용한 반사형 위상천이기[11, 13]를 사용하였다. 실험에 사용한 기판은 유전율 2.3, 두께 0.635(mm)인 테프론 기판이며, 스위칭용으로 사용되는 PIN 다이오드의 성능은 ON/OFF시에 주어지는 임피던스의 특성에 따라 결정된다. 본 논문에서는 주로 저주파수 대역(3GHz이하)에서 사용되는 Hewlett Packard사의 HP3830, Alpha사의 SMP1300-01, Siemens사의 BAR63-03W의 3종류로 실험하였다.

4-bits 위상천이기를 제작하기 위해서 30°, 60°, 90°, 180° 위상천이기 각각을 제작하였다. 위상천이기의 동작원리는 위상천이기 내에 있는 PIN 다이오드의 ON과 OFF상태가 서로 일정한 각 만큼의 위상천이를 갖게 된다. 위상천이기는 입력과 출력사이의 값이 위상차만 일으키는 것이므로 삽입손실이 작게 설계하여야 하며, 삽입손실이 어느 정도 발생하더라도 PIN 다이오드의 ON과 OFF상태가 비슷한 값의 삽입손실을 가지고 있어야 한다.

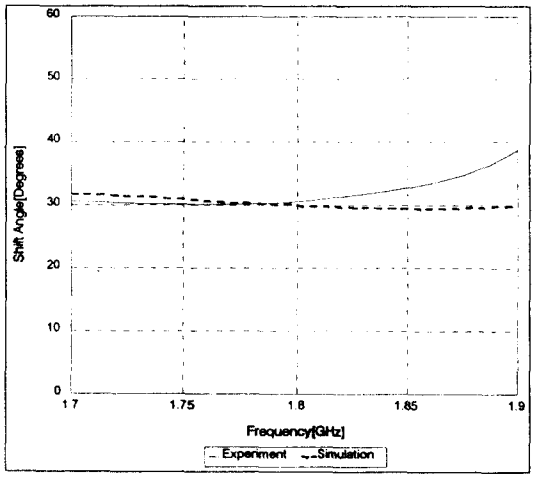
표 1은 각 위상천이기의 위상 실험 결과를 중심 주파수에서 비교한 것이다. 위상 오차는 중심주파수에서 2% 미만의 좋은 결과를 얻을 수 있었으며, 삽입손실도 1dB내외로 측정되었다. 실험 결과에서도 알 수 있듯이 반사형 위상천이기가 부하선로형보다 삽입손실이 크게 나타난다.

표 1. 각 위상천이기의 위상값 및 삽입손실 (실험치)
Table. 1. Phase value and insertion loss of the each phase shifter(experiment value)

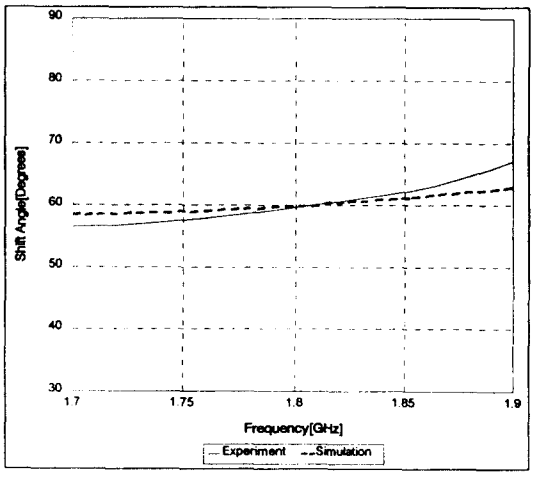
이론치	실험치	위상오차(°/%)	삽입손실 (dB)	
			Diode ON	Diode OFF
30°	30.6°	0.6°/2.00%	0.559	0.946
60°	59.6°	0.4°/0.67%	0.571	0.392
90°	89.3°	0.7°/0.78%	1.369	0.811
180°	180.5°	0.5°/0.28%	0.931	0.917

그림 3은 각 비트별로 제작된 위상천이기의 위상 실험 결과를 계산치와 비교한 것이다. 중심 주파수에서는 천이된 위상값이 계산치와 실험치가 일치함을 알 수 있으나 중심 주파수로부터 떨어진 대역에서는 오차가 증가함을 알 수 있다. 이것은 부하선로형과 반사형 위상천이기가 연결된 스터브의 길이에 의존하므로 중심 주파수를 벗어난 영역에서는 길이에 따른 위상값이 달라지기 때문이다.

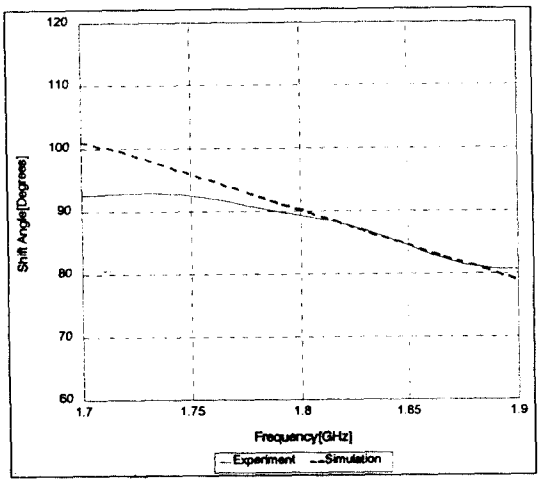
표 2는 4가지 위상천이기를 하나로 합친 형태인 4-bits위상천이기에 대한 실험결과로 0°부터 330°까지 30° 간격으로 얻은 각 위상상태에 대한 위상 및 삽입손실을 보여준다. 실험결과에서 위상오차는 약 2%



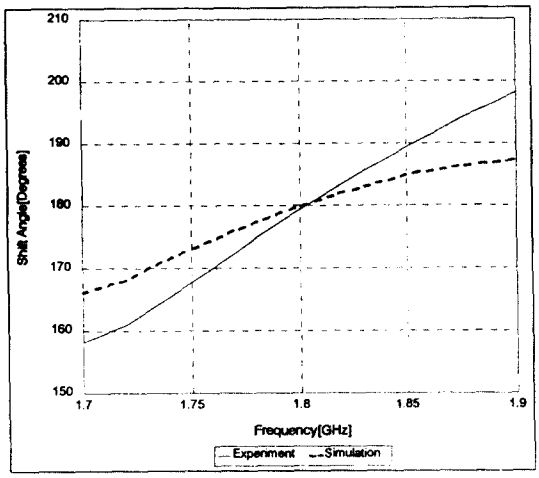
(a) 30° 위성천이기



(b) 60° 위상천이기



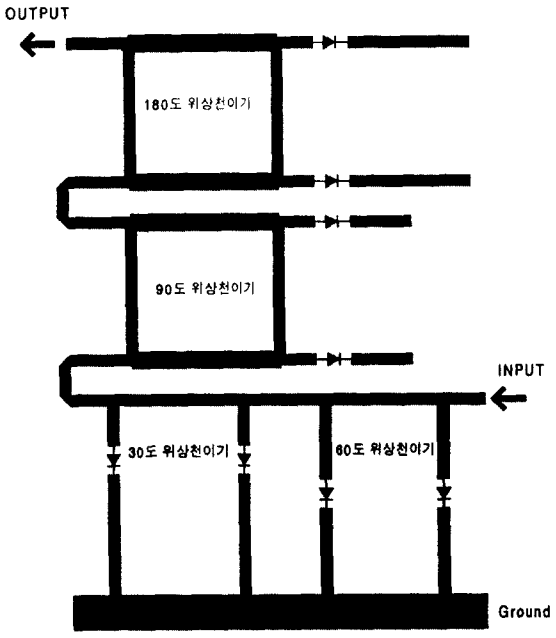
(c) 90° 위상천이기



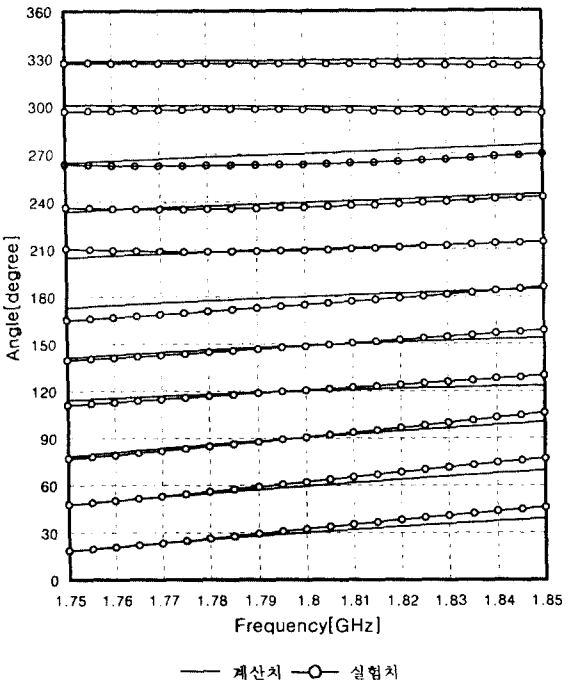
(d) 180° 위상천이기

그림 3. 각도별 위상천이기의 위상천이
Fig. 3. The phase variation of the each phase shifter

내외로 양호한 결과를 얻을 수 있었으나, 삽입손실은 약 2.5~3.5 dB 사이의 값으로 다소 손실이 크게 나타남을 알 수 있는다. 이것은 4개의 위상천이기에서 각각 발생하는 삽입손실이 합쳐진 결과로 분석된다. 특히 30° 및 60°와 같은 부하선로형은 연결된 부하가 개방스터브라면 길이에 따라 특정주파수에서 $\lambda_g/4$의 길이가 되어 삽입손실이 커지는 경우가 발생한다. 그러



(a)



(b)

그림 4. 4-bits 위상천이기의 구성도와 위상천이 결과
(a) 구성도 (b) 위상천이
Fig. 4. The phase variation of the 4-bits phase shifter
(a) pattern (b) phase shift

표 2. 4-bits위상천이기의 위상값 및 삽입손실 (실험치)
Table. 2. Phase value and insertion loss of the 4-bits phase shifter(experiment value)

이론치	실험치	위상오차 (°/%)	삽입손실 (dB)	이론치	실험치	위상오차 (°/%)	삽입손실 (dB)
0°	0.0°	0.0°/0.0%	3.605	180°	174.9°	5.1°/2.8%	3.415
30°	32.3°	2.3°/7.7%	3.038	210°	209.3°	0.7°/0.3%	2.734
60°	62.1°	2.1°/3.5%	3.741	240°	236.6°	3.4°/1.4%	3.313
90°	90.6°	0.6°/0.7%	4.282	270°	263.5°	3.5°/1.3%	3.568
120°	120.5°	0.5°/0.4%	2.485	300°	298.0°	2.0°/0.7%	2.920
150°	148.7°	1.3°/0.9%	2.977	330°	326.7°	3.3°/1.0%	3.288

므로 이로 인해 중심주파수인 1.8GHz에서의 삽입손실이 커지지 않도록 주의해야 한다.

그림 4는 제작된 4-bits 위상천이기의 구성도와 0°~360°에서 30° 간격으로 얻은 위상차에 대한 실험값을 계산치와 비교한 것이다. 4-bits 위상천이기는 60°, 30°, 90°, 180°의 순서로 구성한 것이며, 입출력단의 임피던스 정합을 고려하여 구성하였다. 각 위상천이기의 실험 결과와 같이 중심주파수에서는 실험치와 계산치의 위상값이 대체적으로 일치하지만 중심주파수를 벗어난 지역에서는 다소 오차가 발생함을 알 수 있다.

(2)8배열 슬롯결합형 위상배열안테나 제작 및 실험결과

그림 5는 제작된 안테나의 이득 및 방사패턴을 측정하기 위한 시스템의 구성도이다. 측정시 제작된 안테나를 수신 안테나로 하여 Positioner 위에 부착시켜 고정시키고 신호발생기(HP8672A Synthesized Signal Generator)를 사용하여 제작된 안테나의 공진주파수(1.7896GHz)의 신호를 표준 다이폴 안테나를 사용하여 송신하였다. Positioner를 360° 회전시키면서 1° 간격으로 신호의 세기를 측정하여 방사패턴 기록장치에 기록하였다. 안테나의 방사 패턴 측정시 주의할

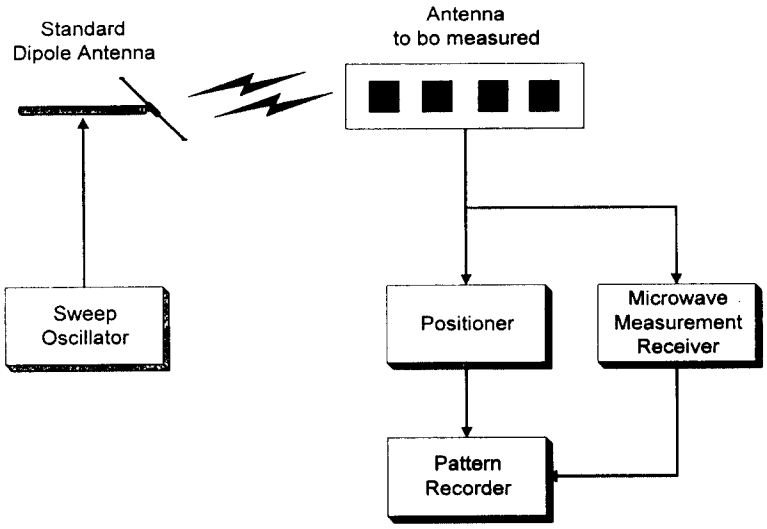


그림 5. 안테나의 방사패턴 측정 시스템의 구성도
Fig. 5. The System for measuring the radiation pattern of the antenna

점은 송신 안테나와 수신 안테나간의 거리가 원역장을 이루도록 충분한 거리를 유지해야 하며, 두 안테나의 높이를 같도록 하여 정확한 H-plane 패턴을 얻을 수 있다. 안테나의 방사 패턴 측정시 발생하는 가장 큰 오차원인은 주변의 반사체에 의하여 발생하는 반사파들이다. 따라서, 정확한 방사 패턴 특성을 얻기 위해서 반사파의 영향을 줄일 수 있는 무반향실에서 실험하였다.

위상천이기는 30° 간격의 위상천이를 갖는 4-bits 위상천이기를 이용하였으며, 안테나의 배열간격은 0.55 λ_0로 하였다. 표 3은 빔폭은 12° 정도이며 빔 이동각이 9°인 8배열 위상배열안테나의 이동빔들의 주빔의 각 및 빔폭과 빔의 최대값의 차를 구한 것이다. 이동된 빔들은 서로 3° 정도의 겹치는 부분을 갖고 있으며, 86°의 동작영역을 갖고 있다. 주빔의 최대값은 단일패치의 방사패턴이 90° 부근에서 최대이며 0° 부근에서 최소이므로 빔이 이동되는 각이 커질수록 점차적으로 작아진다.

표 4는 표 3에서 얻은 5가지 빔 이동의 경우 각 배열요소들이 가져야 하는 위상값이다.

표 3. 빔의 이동시 주빔의 빔폭과 최대값(8배열)
Table. 3. BW and maximun value of the main beam in case beam shifting (8-array)

	주빔의 각(°)	주빔의 빔폭 (°)	주빔의 최대값(dB)
A	90	12	0.00
B	81	14	−0.17
C	73	12	−0.61
D	64	12	−1.42
E	54	14	−2.70

표 4. 각 배열요소들의 위상값(8배열)
Table. 4. Phase value of the each array element(8-array)

	소자 1	소자 2	소자 3	소자 4	소자 5	소자 6	소자 7	소자 8
A	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	330	300	270	240	210	180	150
C	0	300	240	180	120	60	0	300
D	0	270	180	90	0	270	180	90
E	0	240	120	0	240	120	0	240

시뮬레이션 결과를 바탕으로 하여, 8배열 슬롯결합형 위상배열 안테나를 제작, 실험하였다. 실험에 사용된 기판은 대역폭을 개선하기 위하여 방사소자에는 두꺼운 유전율 2.5, 두께 2.388mm인 테프론 기판을 사용하였고, 위상천이기의 경우 유전율 2.3, 두께 0.635mm의 기판을 사용하였다. 안테나의 방사소자의 폭과 길이는 각각 60mm와 49.5mm이며, 슬롯의 폭과 길이는 1.5mm와 15.3mm이다. 위상천이기에는 HP3830과 SMP1300-01의 두 가지 PIN 다이오드를 사용하였으며, 안테나간의 배열 간격은 0.55 λ_0이다.

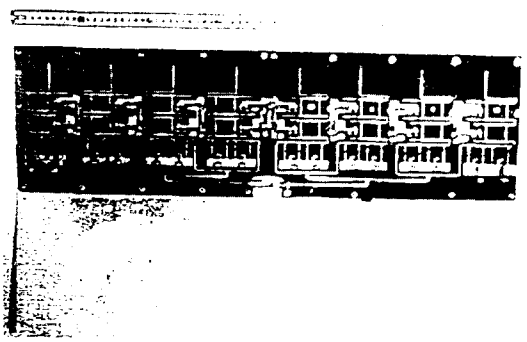
그림 6은 제작된 8배열 슬롯결합형 위상배열안테나에 대한 사진이다. 사진에서와 같이 위상천이기의 접지면과 슬롯의 접지면은 비어홀(via hole)을 뚫어 연결하였다. 공진주파수는 1.7896 GHz로 편차가 1% 이하로 우수한 결과를 나타냈으며, 공진저항도 49.14 +j 0.14로 정합이 잘되어 있음을 볼 수 있다.

그림 7은 9° 간격으로 빔이동을 한 경우 측정한 방사패턴이다. 점선은 시뮬레이션 결과이다. 실험결과 예상했던 빔과 유사한 빔들을 얻을 수 있었다. 8소자의 배열안테나에 30° 간격으로 위상변화를 줄 경우 배열요소(AF:Array Factor)를 구해보면 배열안테나에 수직인 방향을 90°라고 할 경우 약 10° 간격으로 90°~50° 사이에 5개의 빔을 얻을 수 있지만 단일패치의 방사패턴을 곱한 결과 빔의 이동각은 0°, 10°, 20°, 30°, 40° 보다 줄어든 0°, 9°, 17°, 26°, 36°의 빔 이동을 얻었으며, 빔폭은 12°를 얻었다. 빔 이동각이 줄어든 이유는 단일 안테나의 방사패턴이 실제 90°에서 최대값을 갖고 0°에서 최소값을 갖는 형태이므로 빔이 이동시 빔의 최대값의 90° 방향쪽은 0° 방향쪽에 비해서 상대적으로 값이 커지기 때문에 배열요소로 구한 이상적인 경우에 비해 빔의 이동각이 작아진다. 이것은 실험에서도 입증되듯이 빔의 이동각이 커질수록 단일 안테나의 영향을 많이 받게 되어 원하는 빔의 이동각의 오차도 크게 나타남을 알 수 있었다. 방사패턴의 실험결과에서 단일패치의 방사패턴에 의한 영향으로 이동방향과 반대 방향의 부엽이 이동방향의 부엽에 비하여 전반적으로 크게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 단일 패치의 또 다른 영향으로 시뮬레이션 결과와 같이 단일 패치가 90도 부근에서 값이 0도에서의 값보다 작은 값을 갖고 있어서 배열안테나의 경우에도 90도 방향으로 빔이 이동하면서 크기가 다소

감소하게 된다. 그러나, 이때 실제 감소량은 1-2dB 정도의 작은 값이므로, 실험 환경이 완전한 원역장을 이루지 못하고, 측정 안테나와 측정에 사용한 다이폴 안테나가 실험시 정확한 높이, 거리로 고정하지 못할 경우, 주변의 반사체에 의한 반사손실이 발생하여 정확한 이득 측정이 어렵다. 실험결과에서 부엽이 주빔에 비해서 -7dB 정도로 크게 나온 것은 실험환경에서 제작된 안테나와 측정안테나와의 거리가 완전한 원역장이 되도록 충분한 거리(약 8m이상)를 유지하지 못했고, 반사파에 의한 영향 때문이다.

실험결과 제작된 안테나는 90°를 기준으로 하여 좌우로 90° 정도의 동작영역을 갖고 있으며, 안테나의 배열을 통해서 12dBi의 고이득을 얻을 수 있었다.

(a)



(b)

그림 6. 8소자 마이크로스트립 위상배열안테나
(a) 전면 ; (b) 후면

Fig. 6. Microstrip phased array antenna with eight array elements
(a) front ; (b) rear

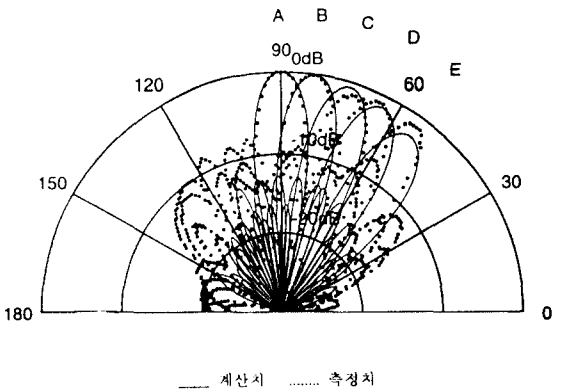


그림 7. 8배열 슬롯결합 위상배열안테나의 방사패턴(계산치,측정치)

Fig. 7. Slot-coupled phased array antenna with eight array element(calculated value, experiment value)

V. 결 론

본 논문에서는 PCS 주파수대에서 이동통신 기지국용으로 사용할 수 있는 위상배열안테나를 연구하였다. 위상배열안테나의 구성은 4-bits 위상천이기, 슬롯결합 급전구조를 갖는 마이크로스트립 안테나 및 전력분배기를 결합하여 설계하였다. 안테나부는 구형패치(rectangular patch)를 이용하였고, 급전방법은 대역폭 및 급전선에 의한 기생방사의 개선을 위해서 슬롯결합형 급전구조를 사용하였다.

먼저 4-bits 위상천이기를 제작하고, 0°부터 330°까지 30° 간격으로 위상천이를 실험하여 안정된 위상값을 확인하였다. 슬롯결합 급전구조는 1986년 Pozar가 제시한 가역정리(Reciprocity Theorem)을 이용한 모멘트법을 기본으로 슬롯결합 배열 안테나를 해석하였고 이상의 이론을 프로그래밍할 때 고려사항을 기술하였다. 설계된 위상천이기와 슬롯결합 급전구조를 이용하여 제작된 위상배열안테나는 전체동작범위는 약 90°가 되어 실제 PCS 이동통신 환경에서 기지국용으로 사용할 경우 적합하다.

앞으로 위상천이기를 보다 소형화하고 위상천이기의 협대역특성을 개선하기 위해서 위상천이기에 대한 연구가 진행되어야 하며, 안테나의 광대역화를 위해서 방사소자 위에 유전체 덮개층을 사용하고 방사패턴을

임의의 방향으로 주사할 수 있는 평면배열을 이용한 평면위상배열안테나에 대한 연구가 필요하다[14, 15, 16].

이상의 연구로부터 슬롯결합 마이크로스트립 안테나를 이용한 다양한 안테나 시스템을 설계하는 것이 가능하리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. R. Schneiderman, "Antenna makers set "SMART" goals," *Microwave & RF.*, pp. 33-41, May., 1995.
2. J. Browne, "Advances in antennas drive wireless systems," *Microwave & RF.*, pp. 129-131, May., 1995.
3. G. Y. Delisle and A. T. Denidni, "Experimental investigations of phased array characteristics for PCS applications," *ICUPC'93.*, pp. 49-53, 1993.
4. A. P. Ansbro, D. Finotto and P. Gianola, "A phased array antenna system for mobile communications in L-band," *APMC.*, pp. 944-947, 1995.
5. S. A. Harbin and B. K. Rainer, "A low-power wireless communications system," *IEEE VTC'94.*, pp. 673-676, 1994.
6. G. G. Raleigh, S. N. Diggavi, V. K. Jones and A. Paulraj, "A blind adaptive transmit antenna algorithm for wireless communication," *IEEE VTC'95.*, pp. 1494-1499, 1995.
7. P. L. Sullivan and D. H. Schaubert, "Analysis of an aperture coupled microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, no. 8, pp. 977-984, Aug., 1986.
8. D. M. Pozar, "A reciprocity method of analysis for printed slot and slot coupled microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, no. 12, pp. 1439-1446, Dec., 1986.
9. D. M. Pozar, "Analysis of an infinite phased array of aperture coupled microstrip patches," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-37, no. 4, pp. 418-425, Apr., 1989.
10. Y. Kuwahara, Y. Matsuzawa, H. Kitahara and M. Haneishi, "Phased array antenna with a multilayer substrate," *Proc. IEE*, vol. 141, pt. H, no. 4, pp. 295-298, Aug., 1994.
11. S. K. Koul and B. Bhat, *Microwave and Millimeterwave Phase Shifters*, Artech House., 1991.
12. H. A. Atwater, "Circuit design of the loaded-line phase shifter," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-33, no. 7, pp. 626-634, July., 1985.
13. M. H. Kori, "Integral analysis of hybrid coupled semiconductor phase shifters," *Proc. IEE.*, vol. 134, pt. H, no. 2, pp. 156-162, Apr., 1987.
14. J. R. James, "What's new in antenna?," *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 32, no. 1, pp. 6-18, Feb., 1990.
15. J. F. Z rcher and F. E. Gardiol, *Broadband Patch Antennas*, Norwood, MA: Artech House., 1995.
16. J. Lin and T. Itoh, "Active integrated antennas," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-42, no. 12, pp. 2186-2194, Dec., 1994.

장 정 필(Jeong Pil Jang) 정회원

1994년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
1996년 2월 : 연세대학교 전자공학과 대학원(공학석사)
1996년 2월~현재 : LG 종합 기술원 연구원
※주관심분야 : 안테나, 초고주파 회로설계, 이동통신

장 병 준(Byung Jun Jang) 정회원

1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
1992년 2월 : 연세대학교 전자공학과 대학원(공학석사)
1997년 2월 : 연세대학교 전자공학과 대학원(공학박사)
1995년 3월~현재 : LG전자 멀티미디어 연구소 선임연구원
※주관심분야 : 전자기해석, 안테나, 초고주파, 회로설계, 이동통신

윤 영 중(Young Joong Yoon) 정회원

1959년 3월 9일생
1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
1986년 9월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
1991년 12월 : Georgia Institute of Technology 졸업(Ph.D.)
1992년 3월~1993년 2월 : 한국전자통신연구소 위성통신기술 연구단 선임연구원
현재 : 연세대학교 전파공학과 조교수
※주관심분야 : 안테나, 전파전파, 위성통신 등임.

박 한 규(Han Kyu Park) 정회원

1941년 6월 21일생
1964년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1968년 2월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
1973년 : 불란서 파리대학교(소르본 대학교) 박사과정 수료(DEA)
1975년 : 불란서 파리6대학교(Ph.D.)
1976년~1992년 : 연세대학교 전자공학과 교수
1992년~현재 : 연세대학교 전파공학과 교수
※주관심분야 : 마이크로파, 전파전파, 안테나