

원형편파의 축비 대역폭 개선을 위한 직렬 급전 십자개구 결합 마이크로스트립 안테나

A Series Feeding Cross-Aperture Coupled Microstrip Antenna for Improving Axial Ratio Bandwidth of Circular Polarization

김형락 · 윤영중

Hyunrak Kim · Youngjoong Yoon

요약

본 논문에서는 원형편파를 발생시키기 위한 여러 가지 방법 중 단일 급전 십자개구 결합 방식이 가지는 협대역의 축비 대역폭을 개선하기 위해 단일 급전으로 하이브리드 급전의 효과를 가져올 수 있는 직렬 급전 십자개구 결합 마이크로스트립 안테나를 제안하고, 기존에 발표된 단일 급전 십자개구 결합 안테나와의 축비 대역폭, 이득, 방사패턴, 그리고 임피던스 대역폭 등과 비교하여 개선된 축비 대역폭 특성을 제시하여 제안된 안테나의 타당성을 보였다. 또한 제안된 단일 안테나를 이용해 2×2 배열 안테나로 확장하는 과정에서 시퀀셜 로테이션 기법을 적용함으로써 더욱 넓은 축비 대역폭을 확보할 수 있도록 하였다. 직렬급전 단일 안테나와 2×2 배열 안테나의 측정된 축비 대역폭은 110 MHz(4.6%)와 420 MHz(17.5%)를 보였고, 측정된 임피던스 대역폭(VSWR<1.5)은 240 MHz(10%)와 500 MHz(20.8%)를 가졌으며, 이득 측정결과에서는 단일 안테나와 2×2 배열 안테나 모두 3 dB 이득 대역폭에서 400 MHz(16.7%) 이상의 평탄 특성을 가지며 최대이득에서는 8.2 dBi와 12.5 dBi의 이득특성을 보여주었다.

Abstract

In this paper, a novel series feeding cross-aperture coupled microstrip antenna with the effect of hybrid feeding is proposed and demonstrated experimentally to improve narrow axial ratio bandwidth of cross-aperture coupled antenna with single feeding among the various methods for generating circular polarization. The validity of a proposed series feeding cross-aperture coupled microstrip antenna is shown by comparing experimental results between the reported and the proposed microstrip antenna, and 2×2 array microstrip antenna based on the proposed single microstrip antenna used sequential rotation technique to accomplish broader axial ratio bandwidth. In the proposed single and 2×2 array microstrip antenna, the measured axial ratio bandwidths are 110 MHz(4.6%) and 420 MHz(17.5%), maximum gains are 8.2 dBi and 12.5 dBi, 3 dB gain bandwidths are above 400 MHz(16.7%), and impedance bandwidths for the VSWR<1.5 are 240 MHz(10%) and 500 MHz(20.8%), respectively.

Key words : series feeding, the effect of hybrid feeding, axial ratio bandwidth, circular polarization

I. 서론

무선통신에서 사용되는 안테나 중 마이크로스트립 안테나는 일반적인 안테나에 비해 저가격(low

cost), 박형(low profile), 경량(low weight)이며, 대량 생산의 가능과 설치의 용이하므로 지금까지 많이 응용되고 있다. 하지만 이러한 장점들에도 불구하고 임피던스 대역폭의 협소함으로 인해 많은 응용 분

연세대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical Electronics Eng., Yonsei Univ.)

· 논문 번호 : 20011224-178

· 수정완료일자 : 2002년 2월 6일

아에 적용되지는 못하였다^[1]. 특히 원형편파 안테나는 임피던스 대역폭 외에 축비 대역폭까지도 고려되어야 하므로 더욱 심화된 협대역의 특성을 가지게 되어 관련 응용분야에 적용되기에는 더더욱 어려웠다^[2]. 원형편파 마이크로스트립 안테나를 설계하는 방법 중 급전구조면에서는 크게 단일 급전방식과 하이브리드 형태의 급전방식이 있다^[3]. 모서리 급전 방식, 타원형 패치 급전 방식, 절단된 모서리를 가진 급전 방식 등의 단일 급전과 단일 기관을 사용하는 급전구조는 구조가 간단하고 제작이 간편하지만 단일 안테나에서는 협대역의 축비 대역폭 특성을 가지므로 관련 응용분야에 사용되기가 힘들었으며, 항상 시퀀셜 로테이션을 적용한 배열화를 통해서만 충분한 축비 대역폭을 확보할 수 있었다^[4]. 하지만 그에 따른 안테나의 물리적 크기가 커지는 단점이 발생한다. 하이브리드 급전형태는 하이브리드 전력 분배기를 이용한 형태가 있는데 구조가 복잡하고, 제작이 어려우며, 안테나의 물리적 크기가 커진다는 단점이 있으나 광대역의 축비 대역폭을 가진다. 따라서 단일 급전을 이용하면서도 광대역의 축비특성을 얻을 수 있는 연구가 많이 진행되고 있는데 최근에는 단일 급전 방식으로 십자개구 결합을 통한 두 개의 직교 모드를 방사패치에 급전하는 구조가 제안되었다. 하지만 이는 일반적인 단일 급전 방식보다 개선된 축비 대역폭을 얻을 수 있었지만 중심주파수에서 2.5 %에 불과하였다^{[5],[6]}. 또한 진행파 안테나의 형태를 가지며 보다 넓은 축비 대역폭을 확보할 수 있는 구조가 제안되기도 하였으나 대부분의 에너지가 방사체에 전달되지 못하고 부하쪽으로 전달되어 매우 낮은 이득특성을 가지며, 축비 대역폭 내의 주파수에서 협대역의 3 dB 이득 대역폭을 가지므로 진정한 의미에서의 원형편파 안테나로 사용되기에는 힘들었다^[7].

따라서 본 논문에서는 단일 급전 십자개구 결합 방식이 가지는 협대역의 축비 대역폭을 개선하기 위해 단일 급전으로 하이브리드 급전의 효과를 가져올 수 있는 직렬 급전 십자개구 결합 마이크로스트립 안테나를 제안하였으며, 기존에 발표된 단일 급전 십자개구 결합 안테나와의 축비 대역폭, 이득, 방사패턴, 그리고 임피던스 대역폭 등과 비교하여 개선된 특성을 제시하고자 한다.

II. 안테나 설계

2-1 하이브리드 급전을 통한 원형편파의 발생

단일 안테나로 광대역의 축비 대역폭을 얻기 위한 방법 중 대표적으로 그림 1과 같은 하이브리드 급전을 통해 원형편파를 만들어내는 방법이 있다^[3]. 여기서 각 포트에 여기되는 신호는 크기가 같고, 위상이 90°씩 차이가 난다. 즉, 포트간 90° 위상차가 발생될 때 패치에 유도되는 전류는 최대와 최소의 두 관계에 있다. 하지만 180° 위상차가 발생될 때 패치에 유도되는 신호는 크기는 같고 위상이 반대가 된다. 예를 들어 포트 1과 포트 3의 관계에서 패치에 여기되는 신호는 180°의 위상차를 보인다. 따라서 포트 3에서 패치에 여기되는 전류의 크기는 포트 1과 같지만 위상이 반대가 되는데, 이를 해결하기 위해 포트 1과 반대방향으로 급전하여 패치에 흐르는 전류의 흐름을 동일하게 유지시켰다. 하지만 이와 같은 방법은 외부 하이브리드 소자를 필요로 하기 때문에 비록 축비 대역폭의 개선은 이룰 수 있으나, 안테나의 물리적인 크기가 커지게 되는 단점을 가진다. 따라서 외부 하이브리드 소자를 필요로 하지 않으면서도 하이브리드 급전의 효과를 가져올 수 있는 새로운 안테나의 구조가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 기존에 제안된 원형편파용 단일 급전 십자개구 결합 방식에 하이브리드 급전효과를 가져

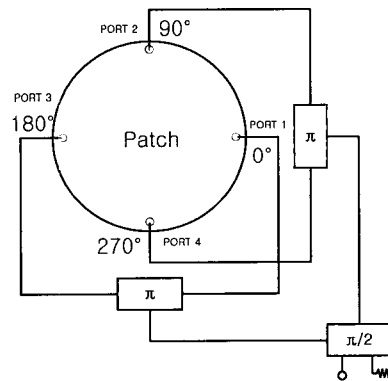


그림 1. 광대역 원형편파 발생을 위한 하이브리드 급전 구조

Fig 1. Hybrid feeding structure for broadband circular polarization.

올 수 있는 새로운 안테나 구조에 대해 제안하고자 한다.

2-2 제안된 직렬 급전 십자개구 결합 마이크로 스트립 안테나

그림 1에서 보인바와 같은 광대역 원형편파 발생을 위한 하이브리드의 급전효과를 이용하면서도 외부 하이브리드 소자가 필요하지 않는 제안된 직렬 급전 십자개구 결합 마이크로스트립 안테나를 그림 2에 보였다. 여기서 급전선로는 십자개구의 뒤쪽에 직렬형태로 결합이 이루어지며, 급전선의 끝 부분에 급전부의 리액턴스 성분을 최소화하기 위한 튜닝 스타버를 위치시켰다.

그림 2에서 십자개구의 개구결합되는 부분들을 포트 1, 2, 3, 4라 하고 각 포트간 90° 의 위상차를 급전선의 길이차만으로 변화시켰으며, 180° 위상차가 발생하는 포트들에는 서로 반대방향으로 급전하였다. 제안된 직렬 형태의 급전구조에서 주기적으로 변하는 전류의 크기와 위상을 급전선에 표시하면 그림 3과 같다. 그림에서 볼 수 있듯이 각각의 포트를 지나는 전류의 크기는 최대, 최소를 반복한다. 이는 포트간 90° 위상차가 잘 유지되는 것을 보여주는 것이다. 또한 180° 의 위상차가 발생하는 포트들에서는 서로 반대방향으로 급전함으로써 동일한 방향의 전류흐름을 유지시켰다.

따라서 제안된 급전구조는 외부 하이브리드 소자를 이용하지 않고도 하이브리드 급전의 효과를 가져올 수 있다. 이처럼 급전선을 통해 시간의 흐름에

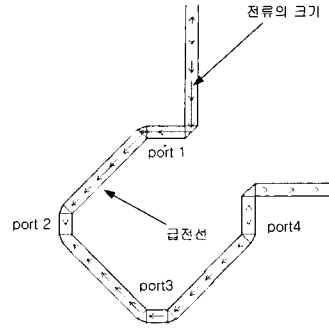


그림 3. 급전선에 흐르는 전류분포
Fig. 3. Current distribution on feeding line.

따라 패치에 유도되는 전류의 분포를 나타내면 그림 4와 같고 시간의 흐름에 따라 회전함을 볼 수 있다.

따라서 제안된 직렬급전 십자개구 결합 급전을 이용하면 외부 하이브리드 소자 없이도 하이브리드 급전구조의 효과를 가져올 수 있으므로 광대역의 축비 대역폭과 임피던스 대역폭을 얻어낼 수 있고, 그에 따른 원형편파 마이크로스트립 안테나의 크기 도 소형화할 수 있다.

임피던스 매칭에서는 개구의 길이 L_s 와 폭 W_s 를 변화시켜 설계주파수 대역에서 패치로 유도되는 결합크기를 결정하고, 튜닝 스타버 길이 L_{os} 를 변화시켜 급전부의 리액턴스 성분을 최소화하였다. 이는 시뮬레이션을 통해 최적의 설계 파라미터를 구하였으며, 표 1에서 제안된 단일 안테나의 설계 파라미터 값을 보였다.

그림 2에 보인 제안된 단일 안테나에 시퀀셜 로

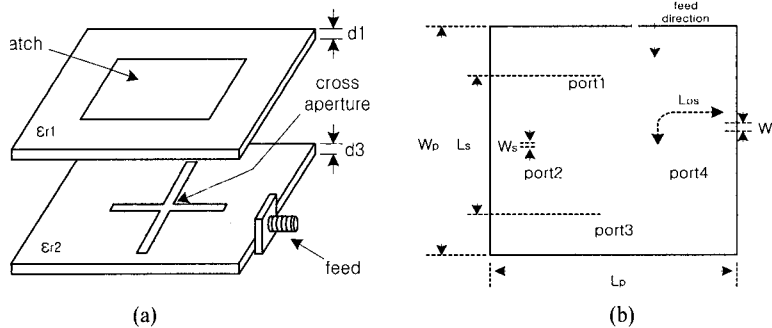


그림 2. 제안된 직렬 급전 개구결합 안테나의 측면(a)과 후면(b)
Fig. 2. Side(a) and bottom view(b) of the proposed series feeding cross-aperture coupled antenna.

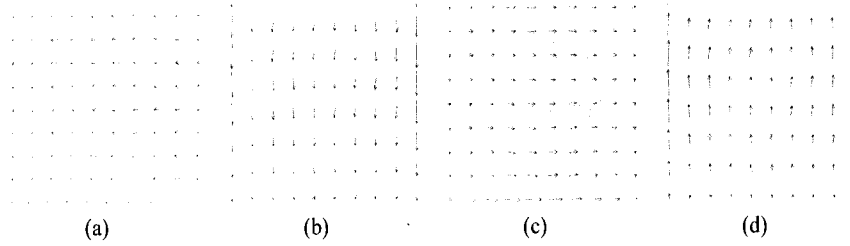


그림 4. 시간의 흐름에 따른 패치의 전류분포
Fig. 4. Current distributions on patch in process of time.

표 1. 제안된 단일 안테나의 파라미터 값
Table 1. Parameter values of proposed single antenna.

파라미터	값	파라미터	값
W_p	45 mm	L_p	45 mm
W_s	0.7 mm	L_s	28.55 mm
L_{os}	13.65 mm	W_f	1.479 mm
d_1	1.575 mm	d_2	4.5 mm
d_3	0.8 mm	ϵ_{r1}	2.2
ϵ_{r2}	4.6		

테이션 기법에 적용해 2×2 배열 안테나로의 확장을 그림 5에 보였다. 시퀀셜 로테이션 기법의 적용에 있어서는 위 패치들과 아래패치들 사이에 180°의 위상차를, 각각의 패치들 사이에는 90°의 위상차를 두었다. 따라서 각각의 패치들 사이에는 0°, 90°, 180°, 270°의 위상차를 가진다. 또한 배열 간격은 77 mm(0.62 λ)로 고정하였으며, 배열화에 따른 급전

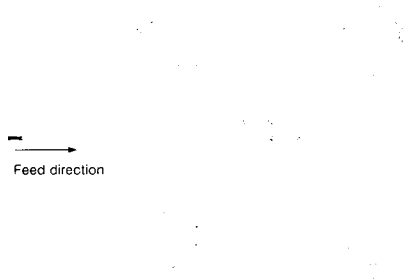


그림 5. 직렬 급전 개구결합 배열(2×2) 안테나의 후면
Fig. 5. Bottom view of series feeding cross-aperture coupled 2×2 array antenna.

선에서의 임피던스 변화로 배열 안테나의 튜닝 스텝은 제안된 단일 안테나에서의 튜닝 스텝 길이보다 짧아진 길이의 8.7 mm로 최적화하였다. 그 외에 다른 파라미터들은 제안된 단일 안테나와 같은 제원을 사용하였다.

Ⅲ. 시뮬레이션 및 측정결과 고찰

그림 6, 7에서 제안된 단일 안테나와 2×2 배열 안테나의 시뮬레이션된 축비특성, 반사손실, 이득, 그리고 방사패턴을 보였다. 시뮬레이션 툴(tool)은

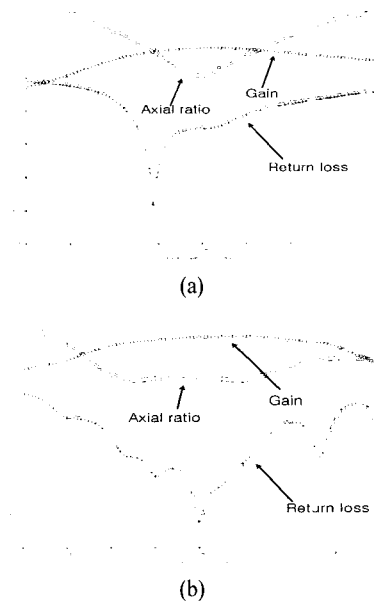


그림 6. 제안된 단일 안테나(a)와 2×2 배열 안테나 (b)의 시뮬레이션 반사손실
Fig. 6. Simulated return loss of proposed single(a) and 2×2 array antenna(b).

원형편파의 축비 대역폭 개선을 위한 직렬 급전 십자개구 결합 마이크로스트립 안테나

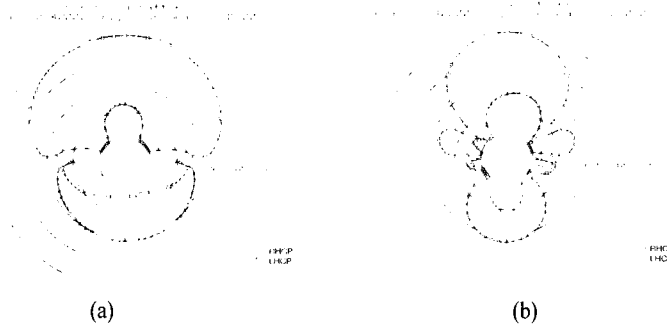


그림 7. 제안된 단일 안테나(a)와 2x2 배열 안테나(b)의 시뮬레이션 방사패턴 ($f_0=2.4$ GHz, $E_\phi=0^\circ$)
 Fig. 7. Simulated radiation pattern of proposed single(a) and 2x2 array antenna(b) ($f_0=2.4$ GHz, $E_\phi=0^\circ$).

Ansoft의 Ensemble 5.1을 이용하였다.

시뮬레이션에서 볼 수 있듯이 단일 안테나의 축비 대역폭이 시퀀셜 로테이션을 이용해 배열하였을 때 더욱 증가된 광대역의 축비 대역폭을 가지며, 배열로 인한 임피던스 대역폭의 향상 또한 볼 수 있다. 제안된 단일 안테나와 2x2 배열 안테나는 평탄

한 이득 특성을 가지는데 3 dB 이득 대역폭을 비교해 볼 때 각각 500 MHz의 넓은 대역폭을 가진다. 이는 각각의 축비대역폭 동작주파수에서 안테나가 일정한 성능을 가지는 것을 의미한다.

그림 8, 9, 10, 11, 12에서 각각 제안된 단일 안테나와 2x2 배열 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 반

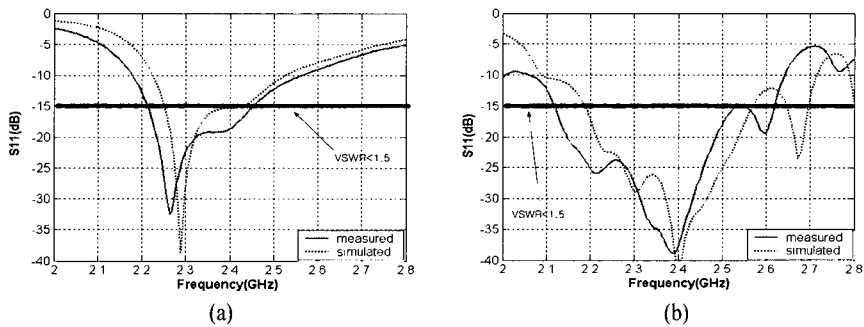


그림 8. 제안된 단일 안테나(a)와 2x2 배열 안테나(b)의 반사손실
 Fig. 8. Return loss of proposed single(a) and 2x2 array antenna(b).

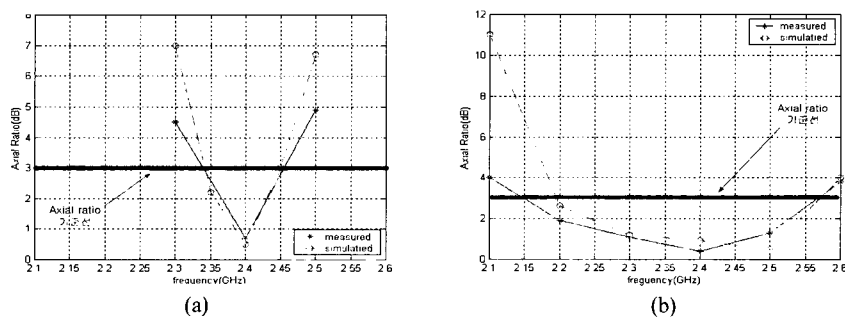


그림 9. 제안된 단일 안테나(a)와 2x2 배열 안테나(b)의 축비
 Fig. 9. Axial ratio of proposed single(a) and 2x2 array antenna(b).

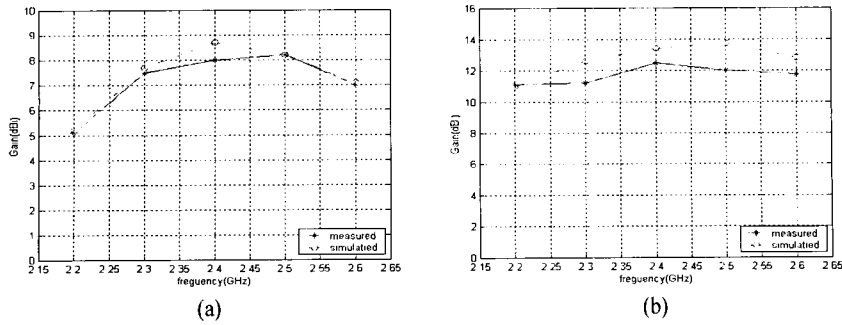


그림 10. 제안된 단일 안테나(a)와 2×2 배열 안테나(b)의 이득
 Fig. 10. Gain of proposed single(a) and 2×2 array antenna(b).

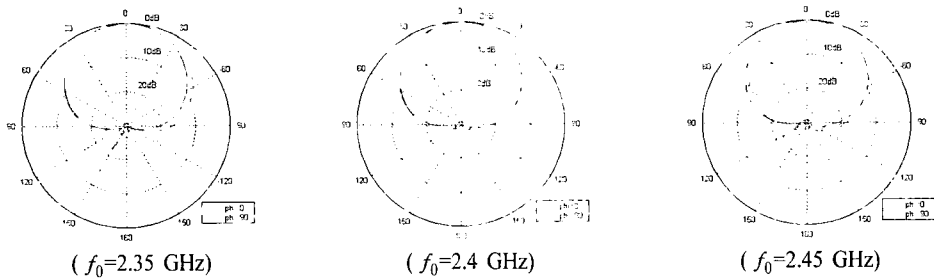


그림 11. 제안된 단일 안테나의 각 주파수별 E, H-plane 패턴 측정결과
 Fig. 11. E and H-plane patterns of proposed single antenna at frequencies.

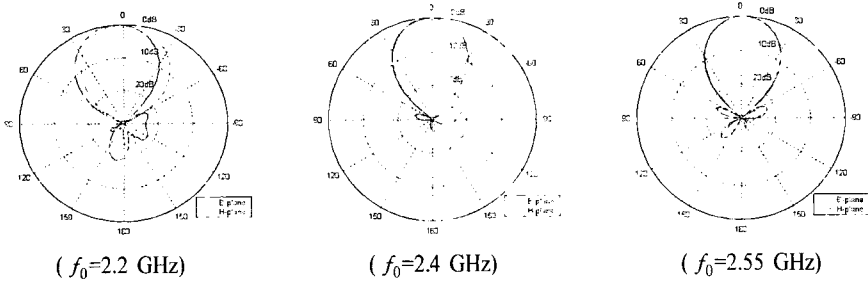


그림 12. 제안된 2×2 배열 안테나의 각 주파수별 E, H-plane 패턴 측정결과
 Fig. 12. E and H-plane patterns of proposed 2×2 array antenna at frequencies.

사손실, 축비특성, 이득, 그리고 각 동작 주파수에서의 방사패턴을 각각 나타내었으며 표 2에 제안된 단일 안테나와 2×2 배열 안테나의 시뮬레이션 및 측정결과를 각각 정리하였으며 기존 안테나와의 비교도 제시하였다.

표 2를 기준으로 직렬급전 십자개구 결합 단일 마이크로스트립 안테나의 특성들을 비교해 보면 다

음과 같다. 축비 특성에서는 약 2배정도 증가된 4.6%의 축비 대역폭을 가지므로서 제안된 직렬급전 구조의 타당성을 보여주었으며, 최대이득에서는 3.2 dBi 증가된 8.2 dBi를 가졌다. 최대이득에서의 차이는 기존에 연구된 안테나와 직렬급전 안테나의 최적화된 개구의 길이와 폭이 각각 다르기 때문이다. 3 dB 이득 대역폭을 비교해 볼 때 기존 안테나에서

표 2. 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정결과

Table 2. Simulated and measured results of proposed antennas.

안테나	기존 안테나 [5]	제안 안테나(시뮬레이션)		제안 안테나(측정)	
		단일	2×2	단일	2×2
축비 대역폭	60 MHz (2.5 %)	100 MHz (4.2 %)	390 MHz (16.3 %)	110 MHz (4.6 %)	420 MHz (17.5 %)
임피던스 대역폭 (VSWR<1.5)	335 MHz (13.7 %)	200 MHz (8.3 %)	400 MHz (16.7 %)	240 MHz (10 %)	500 MHz (20.8 %)
최대 이득	5 dBi	8.7 dBi	13.75 dBi	8.2 dBi	12.5 dBi
3dB 이득 대역폭	80 MHz (3.27 %)	500 MHz (20.8 %)	500 MHz (20.8 %)	400 MHz 이상	400 MHz 이상

보여준 80 MHz의 3 dB 이득 대역폭에 비해 320 MHz 증가된 약 400 MHz 이상의 3 dB 이득 대역폭을 가지므로서 증가된 축비 대역폭 동작주파수 내에서 직렬급전 안테나가 안정된 성능을 가지는 것을 보여주었다. 3 dB 이득 대역폭에서는 시뮬레이션에 비해 측정결과가 약 100 MHz의 감소를 보이고 있는데 이는 측정시 주파수 표본화 과정에서 발생하는 송신 안테나의 측정 주파수의 한계치 때문이다. 따라서 충분히 넓은 측정 주파수 대역을 가진 송신 안테나를 이용해 본다면 시뮬레이션과 거의 일치하는 3 dB 이득 대역폭을 확보할 수 있다고 생각된다. 임피던스 특성에서는 기존에 연구된 안테나가 직렬급전 단일 안테나보다 넓은 대역폭을 가졌다.

직렬급전 단일 안테나와 2×2 배열 안테나의 특성들을 비교해 볼 때 측정된 축비 대역폭은 시뮬레이션에 비해 중심 주파수에서 각각 10 MHz와 30 MHz 증가된 110 MHz(4.6%)와 420 MHz(17.5%)를 보이고, 측정된 임피던스 대역폭(VSWR<1.5)은 시뮬레이션에 비해 각각 40 MHz와 100 MHz 증가된 240 MHz(10 %)와 500 MHz(20.8 %)를 가졌으며, 이득 측정결과에서는 단일 안테나와 2×2 배열 안테나 모두 최대이득에서는 시뮬레이션 결과 보다 0.5 dBi와 1.25 dBi 감소된 8.2 dBi와 12.5 dBi의 이득특성을 보여주었다. 이와 같이 시뮬레이션과 측정 결과에서의 차이는 제작시 기판과 기판 사이의 정확한 공기층의 구현, 측정 주파수 표본화에서 발생하는 표본개수, 그리고 방사패턴 측정시 발생하는 안테나와 안테나 사이의 정렬오차로 사료된다. 또한

제안된 단일 안테나와 2×2 배열 안테나는 시뮬레이션 결과에 비해 각각 감소된 이득특성을 보인다. 이는 방사패턴 측정결과에서 볼 수 있듯이 낮은 주파수 대역에서의 후방사 증가와 높은 주파수의 빔폭에 비해 상대적으로 넓은 빔폭을 가지기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 원형편파를 발생시키기 위한 방법 중 단일 급전 십자개구 결합 방식이 가지는 협대역의 축비 대역폭을 개선하기 위해 단일 급전으로 하이브리드 급전의 효과를 가져올 수 있는 직렬 급전 십자개구 결합 마이크로스트립 안테나를 제안하고, 기존에 발표된 단일 급전 십자개구 결합 안테나와의 축비 대역폭, 이득, 방사패턴, 그리고 임피던스 대역폭 등과 비교하여 개선된 특성을 제시하였다. 측정 결과 제안된 직렬 급전 개구결합 안테나의 경우 중심주파수 2.4 GHz 대역에서 기존에 제안된 안테나보다 약 2배 정도 증가된 4.6 %의 축비 대역폭, 3.2 dBi 증가된 8.2 dBi의 이득특성, 240 MHz(10 %)의 임피던스 대역폭(VSWR<1.5)을 보였으며, 2×2 배열 시에는 17.5 %의 축비 대역폭, 12.5 dBi의 이득특성, 500 MHz(20.8 %)의 임피던스 대역폭을 보였다.

참 고 문 헌

[1] Keith R. Carver and James W. Mink, "Microstrip antenna technology", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-29, no. 1, pp.2-24, Jan. 1981.

- [2] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, *The analysis and design of microstrip antennas and arrays*, IEEE press, 1995.
- [3] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip antennas*, IEE, 1989.
- [4] Kai Fong Lee and Wei Chen, *Advances in microstrip and printed antennas*, John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [5] T. Vlasits, E. Korolkiewicz, A. Sambell, and B. Robinson, "Performance of a cross-aperture coupled single feed circularly polarised patch antenna", *Electronics Letters*, vol. 32, no 7, Mar. 1996
- [6] B. Al-Jibouri, T. Vlasits, E. Korolkiewicz, S. Scott, and A. Sambell, "Transmission-line modelling of the cross-aperture-coupled circular polarised microstrip antenna", *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings*, vol. 147, no. 2, April 2000.
- [7] Aloni, E and Kastner, R., "Analysis of a dual circularly polarized microstrip antenna fed by crossed slots", *Antenna and propagation, IEEE Transactions AP*, vol. 42, Issue 8, pp. 1053-1058, Aug. 1994.

김 형 락



자 및 안테나

2000년 2월: 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)
 2000년 3월~2002년 2월: 연세대학교 전기전자공학과(공학석사)
 2002년 3월~ 현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 마이크로파 능동소

윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1991년 12월: Georgia Inst. of Tech. 전기공학 (공학박사)
 1992년 3월~1993년 2월: 한국전자통신연구소 선임연구원
 1993년~ 현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파, 고온 초전도, EMI/EMC 등