

마이크로스트립안테나(MSA) 기술 동향

이범선

경희대학교 전파공학과

(우)449-701 경기도 용인시 기흥읍 서천1리

E-mail : bomson@nms.kyunghee.ac.kr

Technical trends of microstrip antenna

Bomson Lee

Department of Radio Engineering, Kyunghee University

Seochun-1ri Kihenug-eup Yongin-Si Kyungki-Do Korea

E-mail : bomson@nms.kyunghee.ac.kr

요 약

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나에 대한 최근의 국내외 주요 연구 결과를 요약 정리하고, 몇 가지 설계 예를 제시하였다. 단일 방사 소자 기술 동향은 광대역 안테나, 이중공진 안테나, 이중편파 안테나, 원형편파 안테나로 구분하여 최초의 개발 동향을 중심으로 기술 하였다. 배열화에 있어서는 기존의 연구결과를 정리하고 몇 가지 설계 예를 제시하였다.

1. 서 론

마이크로스트립 안테나(MSA)는 70년대 이후에 본격 개발되기 시작한 경량 박형 구조의 안테나로 많은 응용 범위에 있어서 기존의 안테나들을 대체하고 있다. 이 안테나들에 대한 연구는 그 동안 지속적으로 수행되어 [1]-[3] 각종 기능을 갖는 안테나가 개발되어 왔지만, 광대역화에 대한 문제, 이중공진 및 이중편파 발생 문제, 급전방식, 배열화에 따른 급전손실 문제 및 새로운 구조 개발에 대한 연구는 아직도 활발하다. 본 논문에서는 최근의 국내외 학술 전문지에 실린 이러한 문제에 대한 주요 연구 결과를 점검하고, 몇 가지 설계 예를 제시한다. 제 2장과 3장에서는 단일 방사 소자로서의 MSA의 기술 개발 동향 및 몇 가지 설계 예를 서술하였고, 4장에서는 이러한 방사소자의 배열화 방식 및 이에 따른 문제점에 대하여 요약하였으며, 5장에서 결론을 내렸다.

2. 단일 방사 소자 개발 동향(MSA)

2.1 광대역 안테나

마이크로스트립 안테나는 기본적으로 높은 Q값을 갖는 공진형 방사체로 협대역 특성을 갖는다. 이러한 단점을 개선하기 위해서 공진체 부피를 증가시키는 방법이 흔히 사용되고 있다. 가장 간단한 방법은 저유전율 유전체를 사용하면서 두께를 증가시키는 것이다. 이러한 방법으로 최대 5%의 10dB 반사손실을 기준으로 한 임피던스 대역폭을 얻을 수 있으나 급전손실 및 표면파 증가로 효율이 감소한다. 이 경우에도 대역폭 요구를 만족시키지 못 할 경우 기본 패치 옆에 기생 소자를 적절히 사용하면 20-30% 정도의 대역폭을 얻을 수 있다 [4]. 적층 방식을 이용하면 최고 50% 정도까지 대역폭 [5,6]을 구현 할 수 있다. 이러한 대역폭 증가 원리는 지름이 작은 다이폴 안테나의 임피던스 대역폭 보다 지름이 큰 다이폴 또는 바이코니컬 안테나의 임피던스 대역폭이 더 큰 원리와 유사하다. 이러한 부피 증가를 허용할 수 없는 응용 범위에서는 주어진 패치의 기본 공진 모드를 교란하는 방식들이 주로 사용되고 있다. 이는 U-슬롯이나 칫솔 형태의 슬롯을 패치면에 삽입하거나 패치 형태를 Bow-tie 모양으로 구현한 방법들이 속한다고 볼 수 있다. 이 외에도 임피던스 정합 기술을 이용한 광대역 방식[7]이 있는데 이를 이용하면 기본 패치보다 약 4배 정도로 대역폭을 개선할 수 있다. 광대역 안테나 설계시에 고려해야 할 주요 파라미터로 입력 임피던스, 이득 및 방사패턴을 든다면, 10-15% 대역폭까지는 이득 및 방사패턴이 크게 변하지 않아 입력 임피던스가 입력 임피던스가 설계의 제한 요소가 되나 이 이상의 대역폭에서는 오히려 이득 및 방사패턴 (특히 cross-pol)이 설계의 제한 요소가 되는 경우가 많은

점을 염두에 두어야 한다. 아래 절에서는 여러 가지 광대역 안테나의 설계 예를 보인다.

2.1.1 개구 결합 적층 안테나

그림 1과 같은 구조의 개구 결합 적층 마이크로스트립 기법을 사용하여 그림 2에서 보는 바와 같이 10dB 반사손실 대역폭 35.6%(8.76-12.12GHz)의 특성을 얻었다[8].

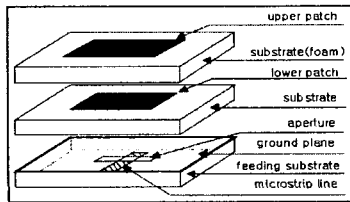


그림 1. 개구 결합 적층 패치의 구조

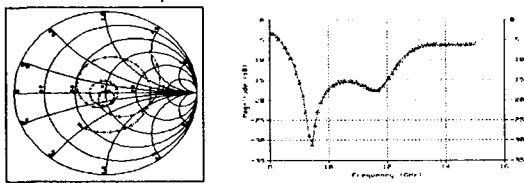


그림 2. 적층구조 사용시의 스미스차트 궤적과 반사손실

2.1.2 U-slot 안테나

U슬롯 안테나는 그림 3에서 보는 바와 같이 기본 패치에 U자 모양의 슬롯을 넣은 구조를 갖는데 방사하는 면의 모서리(Radiating Edge)의 밑 부분에 위치한 슬롯은 기본 공진 모드를 발생시키는 전류분포를 교란하여 근접 주파수에서 또 다른 공진을 일으키게 한다. 또한 방사하지 않는 면(Non-Radiating Edge)에 있는 두 개의 슬롯은 패치의 정방향(Broadside)으로 발생하는 교차편파를 줄이는 역할을 하는 것으로 판단된다.

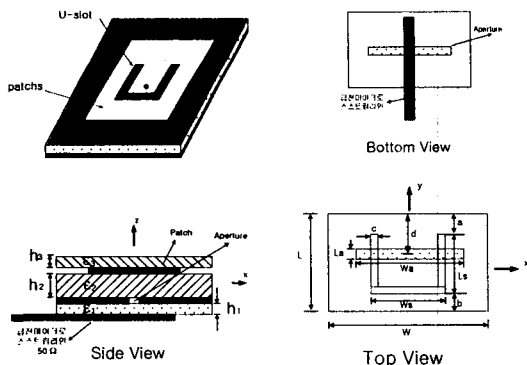


그림 3. 개구 결합 U-slot 안테나

본 설계 예에서는 개구 결합 급전방식을 이용한 U 슬

롯 안테나를 설계하고 제작하였다. 측정결과 폼(유전율 1.06)을 사용한 경우는 34%의 반사손실 대역폭을 얻었으며 유전율 2.5인 테프론 기판을 사용한 경우 14%의 대역폭을 얻었다. 그러나 방사패턴에 있어서는 U 슬롯을 이용함으로써 교차편파(Cross-pol)이 증가하는 특성을 보였다[9].

2.1.3 정합회로를 이용한 광대역 기술

정합회로를 이용하여 광대역 특성을 얻을 수 있다[7].

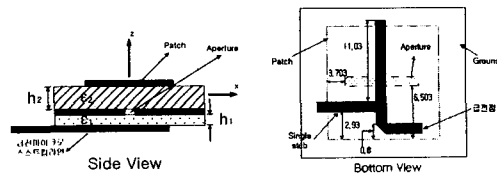


그림 4. 스테르블을 이용한 광대역 개구 결합 패치

개구면 급전 방식일 경우 스테르블 길이와 슬롯크기를 이용하여 Critical coupling 시킬수 있지만 주파수에 따른 임피던스 변화폭이 커서 협대역(약 1.4%)특성을 가진다. 그림 4는 주파수에 따른 임피던스 변화폭이 작도록 슬롯 크기를 작게해서 Under coupling 시킨후 Single open stub로 정합한 시뮬레이션 결과이며, 그림 5는 방사패턴을 나타낸다. 일반적으로 under coupling후에 stub 정합하는 방법은 개구면 크기를 작게하여 후방 방사를 줄이는 효과도 부수적으로 얻을 수 있다. 이 안테나는 IMT-2000 송신 주파수대(1.92-1.98GHz)를 만족하고, 안테나 크기를 줄이기 위하여 세라믹 기판에 구현하였다. ($\epsilon_{r1} = \epsilon_{r2} = 22$, 패치크기 = 13.7mm)

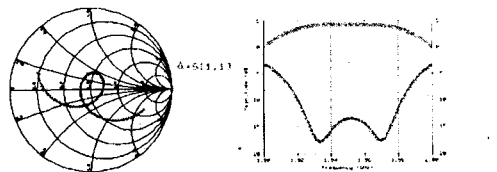


그림 4. Single open stub를 이용한 정합 결과

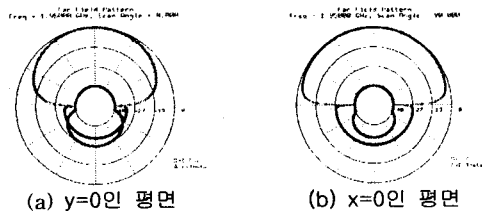


그림 5.중심주파수(1950 MHz)에서의 co-pol과 cross-pol

2.1.4 최근의 광대역화 기술 동향

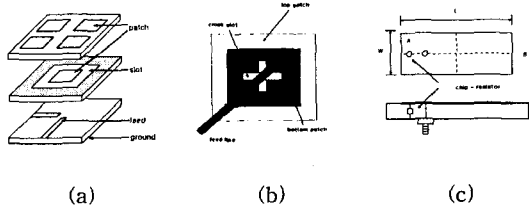


그림 6. 최근 광대역화 기술 동향

그림 6의 (a)는 광대역 proximity-coupled, 이중 편파 안테나인데, 적층 방식과 기생 소자 방식을 조합한 구조로서 약 25%의 대역폭을 얻을 수 있다[10]. (b)는 단일 급전과 십자슬롯을 이용한 적층구조의 광대역 원형편파 안테나이며[11], (c)는 Chip-resistor의 저항 R을 이용하여 Q를 낮춤으로서 광대역을 얻을 수 있는 안테나이다[12].

2.2 이중 공진 안테나

2.2.1 슬롯을 이용한 이중 공진 패치안테나

방사면(Radiating Edge) 가까이 얇은 슬롯을 넣어 이중 공진 주파수를 얻을 수 있다[13]. 직사각형 기본 패치에서는 여러 공진 모드가 생겨나게 되지만 일반적으로 TM_{100} 모드를 이용한다. 이중공진을 얻기위하여 슬롯을 이용해 강제적으로 전류의 흐름을 변화시킨다. 이렇게 슬롯을 넣게 되면 TM_{300} 모드를 형성시킬 수 있다. 이때 슬롯의 길이를 조절함으로써 TM_{100} 모드에서 방사되는 것과 유사한 필드를 생성시킬 수 있다.

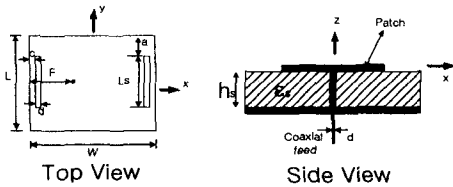


그림 7. 슬롯을 이용한 이중 공진 패치안테나의 구조

2.2.2 이중급전 원형편파 이중빔 패치안테나

하나의 패치를 직접방식과 개구면 개구면 방식을 이용하여 각각 다른 주파수로 급전하면서 원형편파 이중빔을 형성하도록 설계할 수 있다(그림9).

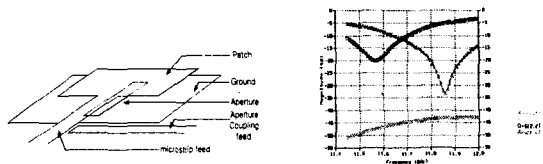


그림 8. 단일 이중 공진 패치안테나의 급전방법
두 포트에서 공진주파수는 각각 11.58GHz, 11.85GHz 이고, 두 빔은 23°의 각도를 유지한다(그림10).
제한된 패치안테나는 모듈형으로 확장이 용이한 2x2 배열

열안테나이고, 써렌셜 급전구조를 이용해 두 개의 좌원형 편파를 발생시킨다. 포트간 격리도는 43dB이며 각 포트에서의 반사손실은 그림 8에서 보는 바와 같다.

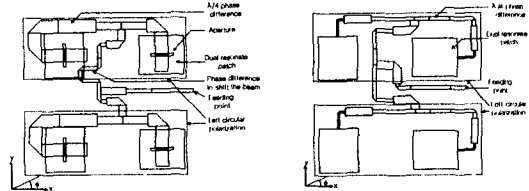
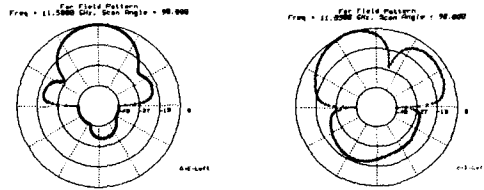


그림 9. 각 층에서의 급전구조와 방사패치



(a) $\phi = 0^\circ$ (b) $\phi = 90^\circ$
마이크로스트립급전 개구결합급전

그림 10. 각 급전구조별 방사패턴

2.2.3 최근의 이중공진 안테나 기술 동향

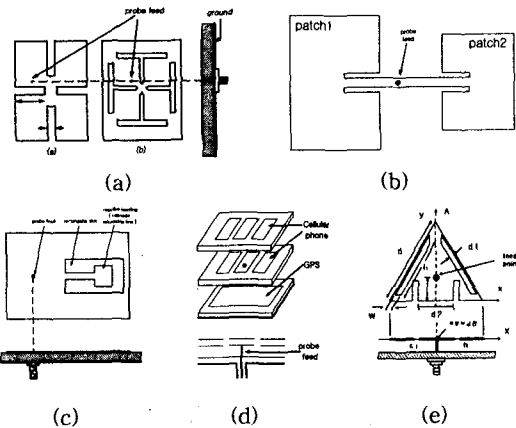


그림 11. 최근의 이중공진 안테나

그림 11에서 (a)는 네 개의 슬롯을 이용하여 패치 크기를 줄이고, 공진주파수를 낮출 수 있는 구조이고[13], (b)는 단일 급전구조와 inset-microstrip line을 사용하여 매칭구조를 간단하게한 구조이며[14], (c)는 마이크로스트립 라인으로 이루어진 reactive-loading과 슬롯을 적절하게 선택함으로써, 이중공진을 얻을 수 있는 구조이다[15]. (d)는 3단의 패치 구조를 적절히 여기함으로써 이중공진을 얻을 수 있고[16], (e)는 삼각 패치안에 두 쌍의 협소한 슬롯을 사용하여 이중 공진주파수의 다양한 비를 얻을 수 있는 구조이다[17].

2.3 이중 편파 안테나

주파수 대역의 사용 요구 증가 및 이동통신에서의 편파 다이버시티 요구는 이중편파 안테나를 필요하게 한다.

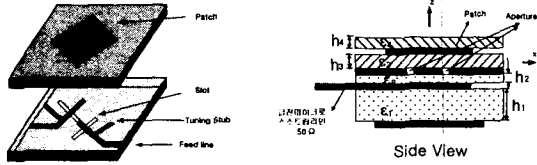
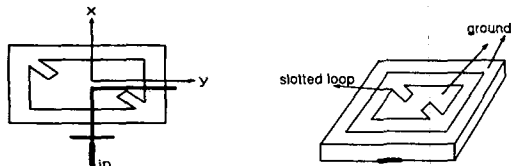
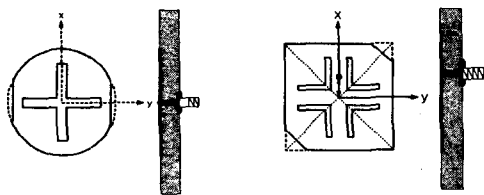


그림 12. 개구 결합 급전구조의 이중 편파 안테나
 그림 12에서 보듯이 윗면은 마름모꼴로 패치를 구현하고 접지면에는 두 개의 작은 슬롯을 놓고 급전면에는 이중편파를 위해 45도씩 기울여 이중 급전을 하였다. 하나의 패치에 이중급전을 함으로써 두 포트간의 격리도가 감소하는 문제가 발생하는데 접지면의 슬롯을 완전히 중앙에서 90도로 교차하게 하여 교차편파를 감소시킴으로써 두 포트간의 격리도가 약 50dB 정도로 문헌[12]에서 제시하는 18dB보다 훨씬 개선되는 결과를 보였다. 포트 1과 2에서의 대역폭은 반사손실 20dB를 기준으로 하여 각각 2.29~2.4GHz(4.7%)와 2.27~2.42GHz(6.4%)를 얻었는데 이는 WLL사용 대역폭인 2.3~2.4GHz(4.25%)를 만족한다.

2.4 원형편파 안테나 최근 기술 동향



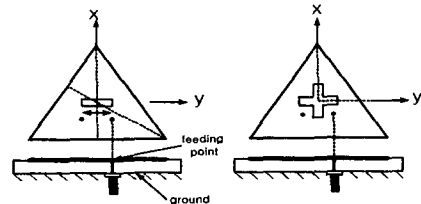
(a) 단일 급전 슬롯 루프 안테나



(b) 모서리 절단을 이용한 슬롯 패치안테나



(c) inset 마이크로스트립 라인 급전 패치안테나



(d) 삼각 패치안에 슬롯을 삽입한 패치안테나

그림 13. 원형편파 안테나 최근 동향

그림 13에서 (a)는 양방향성의 방사패턴을 갖으며, 두 개의 대각선 스테브 슬롯과 사각 루프 슬롯으로 구성된 넓은 축비를 갖는 안테나이며[18], (b)는 모서리가 절단된 구조에 슬롯을 삽입하여 제작상의 허용오차를 넓게 한 구조이다[19]. (c)는 inset 마이크로스트립 라인으로 급전하여 외부 매칭회로가 필요없는 장점이 있으며, slit에 의해 패치 표면에 흐르는 표면전류의 길이가 길어져 공진주파수를 낮출 수 있으며[20], (d)는 삼각 패치안에 협소한 수평 슬롯을 넣어 원형편파를 발생시킬수 있고, 수평 슬롯을 대신하여 십자 슬롯을 사용할 경우 공진주파수를 낮출 수 있다[21].

3. 배열 안테나 설계 기술

3.1 상호 결합

고이득을 얻기 위해서는 배열화가 필요한데 이에 방사소자간의 상호 결합을 고려해야 한다. E-plane과 H-plane에서의 상호결합은 각각 $r^{-1/2}$ 과 $r^{-3/2}$ 에 비례한다. (r=방사소자간의 거리)

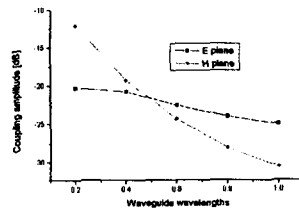


그림 14. 거리에 따른 E-plane과 H-plane에서의 커플링

3.2 급전구조 비교

표1. 각 급전구조별 장단점

구분	급전 방법	장 점	단 점
직렬 급전	Travelling형	광대역 특성. 급전선이 차지하는 공간이 적음.	중심 주파수 이외의 주파수에서는 방사방향 편이.
	Resonant형	급전선이 차지하는 공간이 적음.	협대역 특성.
병렬 급전	Corporate형	광대역 특성. 모든 주파수에서 동위상 급전이 가능.	급전선이 차지하는 공간이 넓고 급전 손실이 큼

급전구조에는 직렬급전과 병렬급전 구조가 있는데 이들의 장단점은 표1와 같다.

4.3 배열화에 따르는 문제점

마이크로스트립 배열안테나에 있어서 방사 소자수 및 급전선로 길이가 길수록 손실이 증가하고 따라서 안테나 이득 및 효율이 감소한다. 이러한 손실은 급전선에 의한 방사, 표면파 발생, 상호 결합등에 의한 것인데 이 때문에 corporate 급전방식일 경우 최대 이득이 약 35dB로 제한된다. 따라서 고효율이 요구되는 응용범위에서는 주빔 편이가 어느 정도 허용된다면 진행파형 급전방식을, 협대역이 허용된다면 공진형 급전방식을 고려해 볼 수 있다. 또 주빔 방향이 Broadside에서 많이 벗어나는 응용범위에서는 scan blindness 영향을 고려해야 한다.

4.4 배열안테나 설계 예

개구결합 이중급전 구조의 단일소자를 이용하여 주엽의 최대값과 부엽의 최대값과의 차이가 17dB 이상이고 이득이 약 14dB인 체비셰프 배열 WLL 기지국 안테나를 진행파형 직렬 급전방식(그림 15)을 이용하여 설계하였다[22].

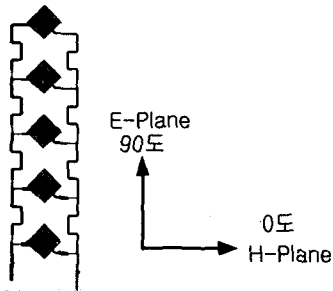


그림 15. 진행파형 급전구조를 이용한 WLL 기지국 안테나 방사소자간의 간격은 $0.8\lambda_0$ 로 하였다. 주엽의 최대값과 부엽 레벨의 비가 17dB인 5X1 배열 안테나의 방사패턴을 얻기 위해서는 전류분포비가 0.638 : 0.856 : 1 : 0.856 : 0.638이 되어야 하기 때문에 패치에서 방사하는 전력비는 0.407 : 0.733 : 1 : 0.733 : 0.407 이 되어야 한다. 이와 같은 전력비를 얻기 위해서 급전라인의 임피던스를 조절하여 체비셰프 배열 5X1 안테나를 설계한 급전선 구조를 그림에 나타내었다.

4.5 시퀀셜 로테이션 배열 설계 예

시퀀셜 로테이션 배열에서 m번째 패치의 로테이션 각

과 급전 위상은 아래의 식에 의해서 결정된다.

$$\phi_m = (m-1)p\pi / M$$

여기서, p는 정수, M은 시퀀셜 배열을 이루는 패치의 수이다. 그림 16은 p=1인 경우의 시퀀셜 로테이션 배열 구조와 반사전압의 분포를 나타낸 그림이다.

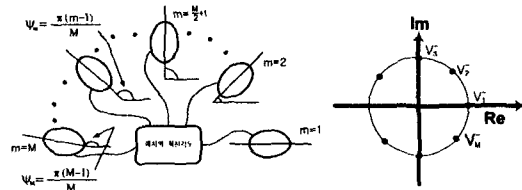


그림 16. 시퀀셜 로테이션 배열 (p=1)

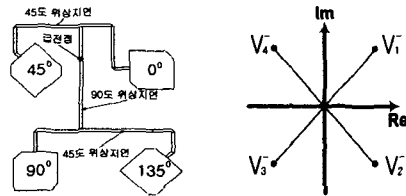


그림 16. 2x2 시퀀셜 로테이션 배열 반사파 phasor도

그림17와 같은 구조의 시퀀셜 로테이션 배열 방법 (M=4)은 각 패치에 위상 차를 0°, 45°, 90°, 135°로 하여 급전 점에서 각 패치에 반사되어 돌아오는 전압의 위상이 0°, 90°, 180°, 270°로 되어 급전 점에서 그 전압이 상쇄된다. 그리고 패치를 45°씩 좌원형편과 방향으로 물리적으로 회전시킴으로써 편파특성을 개선함과 동시에 전송선의 거리 차에 따른 위상 차를 보상하여 각 패치에서는 동일 순간에 동일 방향으로 전계가 방사된다.

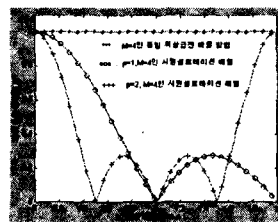


그림 19. p=1, M=4와 p=2, M=4 인 시퀀셜 로테이션 배열의 주파수(f/f_0)에 따른 반사전압

그림 19은 M=4로 가정하여 계산한 결과이며 정규화된 동일위상급전방식의 반사전압을 비교차원에서 함께 나타내었다. 주파수는 중심주파수에 대해 정규화 하였고 반사전압은 동일위상급전의 반사전압에 대해 정규화 하였다. 그림에서 보듯이 p=1, M=4 인 시퀀셜 로테이션 배열이 p=2, M=4 인 시퀀셜 로테이션 배열보다 반사파

상쇄 특성이 넓은 주파수 대역에서 우수함을 알 수 있다. 따라서 $p=2$, $M=4$ 인 시퀀셜 로테이션 배열보다 좀 더 넓은 임피던스 대역폭을 얻을 수 있다. 또 $p=1$ 일 경우 급전 선로 길이를 대폭 줄일 수 있어 큰 배열 안테나 일 경우 효율의 개선 효과가 크다. 이 방식을 8×8 배열 안테나로 확장 제작하여 이득 25.4dB, 10dB 반사손실 대역폭 18.82%, 3dB 축비대역폭 9.03%를 얻었다[23].

5. 결론

본 논문에서는 MSA에 대한 최근의 국내외 연구 동향을 파악해보고 몇 가지 설계 예를 정리해 보았다. 본 논문에서 서술된 광대역화 방법, 이중편파 이중공진 이중빔 발생 방법, 배열화에 따르는 분체점 분석등은 상당부분 기존의 국내의 학술 전문지에 실린 내용이고, 또 지면의 부족으로 상세한 내용이 생략된 부분이 많으므로 상세한 내용을 원할 경우 관련 문헌을 참고하여야 한다.

참고문헌

[1] David M. Pozar and Daniel H. Schaubert, The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays. IEEE AP Society., A selected Reprint Volume, 1995.

[2] J. R. James and P. S. Hall, Handbook of Microstrip Antennas., IEE Electromagnetic wave series 28.

[3] Hai Fong Lee and Wei Chen, Advances in Microstrip and Printed Antennas., Jone Wiley & Sons, Inc., 1997.

[4] F. Croq and D. M. Pozar, "Milimeter-Wave Design of Wide-Band Aperture-Coupled Stacked Microstrip Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 39, No. 12, pp. 1770-1776, Dec., 1996.

[5] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, Microstrip Antennas, IEEE Press, Inc. New York, 1995.

[6] S. D. Targonski and R. B. Waterhouse, "An Aperture Coupled Stacked Patch Antenna with 50% Bandwidth," Proceedings of IEEE AP Symposium, pp. 18-21, Baltimore, Maryland, July, 1996.

[7] Hugo F. Pues and Antoine R. Van De Capelle, An impedance-Matching Technique for Increasing the Bandwidth of Microstrip Antennas.

[8] 최원규, 이범선, "광대역 특성을 갖는 개구결합 적층 마이크로스트립 배열안테나 설계," 1998년도 추계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, pp.215-218, 1998

[9] 유명완, 이범선, "개구결합 급전방식에 의한 U 슬롯 마이크로스트립 안테나 제작 및 측정" 1999년도 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, pp.225-228, 1999.

[10] Eva Schwenzfeier, "Broadband, Dual Polarised Microstrip Antennas with Improved Beam Forming and Gain Capabilities," IEEE AP-S International Symposium, vol.1, pp.120-123, Orlando, Florida, July 1999

[11] C.B. Ravipati and L. Shafai, "A Wide Bandwidth Circularly Polarized Microstrip Antenna Using a Single," IEEE AP-S International Symposium, vol.1, pp.244-247, Orlando, Florida, July 1999.

[12] Kin-Lu Wong and Kai-Ping Lim "Small Broadband Rectangular Microstrip Antenna with Chip-resistor Loading.", Electronics Lett., vol.33, pp. 1593-1594, September 1997.

[13] Kai-Ping, Yang and Kin-Lu Wong, "Compact Dual-frequency Operation of Rectangular Microstrip Antennas," IEEE AP-S International Symposium, vol.3, pp.1652-1655, Orlando, Florida, July 1999.

[14] Shan-Cheng Pan and Wen-Hsiu Hsu, "Single-feed Dual-frequency Microstrip Antenna with Two Patched," IEEE AP-S International Symposium, vol.3, pp.1644-1647, Orlando, Florida, July 1999.

[15] Hua-Ming Chen, "Reactively Loaded Microstrip Antenna for Dual-frequency Operation", IEEE AP-S International Symposium, vol.3, pp.1648-1651, Orlando, Florida, July 1999.

[16] Mohamed Sanad and Noha Hassan, "A compact Dual-band Microstrip Antenna for Portable GPS/Cellular Phones," IEEE AP-S International Symposium, vol.1, pp.116-119, Orlando, Florida, July 1999.

[17] Jui-Han Lu, "Dual-frequency Operation of Single-feed Triangular Microstrip Antennas" IEEE AP-S International Symposium, vol.3, pp.1656-1659, Orlando, Florida, July 1999.

[18] Xianming and Y.W.M.Chia, "A novel Single-feed Circular Polarized Slotted Loop Antenna," IEEE AP-S International Symposium, vol.1, pp.248-251, Orlando, Florida, July 1999.

[19] Wen-Shyang Chen, "Small Circularly Polarized Microstrip Antennas," IEEE AP-S International Symposium, vol.1, pp.256-259, Orlando, Florida, July 1999.

[20] Wen-Shyang Chen, "Inset-microstrip-fed Circularly Polarized Microstrip Antennas," IEEE AP-S International Symposium, vol.1, pp.260-263, Orlando, Florida, July 1999.

[21] Jui-Han Lu, "Single-feed Circularly Polarized Triangular Microstrip Antennas," IEEE AP-S International Symposium, vol.1, pp.264-267, Orlando, Florida, July 1999.

[22] 유명완, 양태식, 최종인, 이범선, "WLL 기지국용 개구결합 이중급전 마이크로스트립 체비셰프 5×1 배열 안테나 설계", 1999년 추계 한국통신학회 논문집.

[23] 양태식, 이범선, "단축된 위상지연을 사용하는 시퀀셜 로테이션 광대역 원형편파 마이크로스트립 배열안테나", 한국전자과학회 vol 10, No 4, pp.628-638, 1999.11.