

## 개구면 결합을 이용한 Patch 안테나에 관한 연구

이광두\*, 임상현\*, 최용인\*, 김현진\*, 윤영근\*, 하성재\*, 이용덕\*, 안창돈\*, 홍의석\*  
광운대학교 전파공학과\*

### Design of Aperture-coupled Patch Antenna

Kwang-Du Lee\*, Sang-Heun Lim\*, Hyun-Jin Kim\*, Yong-in Choi\*,  
Young-Keun Yun\*, Sung-Jae Ha\*, Yong-Deuk Lee\* Chang-Don An\*,  
Ui-Seok Hong\*

Dept. of Radio Science & Eng. of Kwangwoon Univ.\*

#### 요 약

마이크로 스트립을 이용하여 셀룰러(824-894 MHz) 이동통신용 송수신 안테나를 설계 및 제작하였다. 이때 넓은 대역폭을 얻기 위하여 개구면 결합형(aperture-coupled) 안테나를 설계하였으며 사용된 기판은 2층의 FR-4 ( $\epsilon_r=4.7$ ) 기판과 공기층을 합한 3단으로 이루어져 있다. 안테나 특성파악을 위한 스트립의 진류분포와 슬롯의 자유분포 해석은 전송선로 모델법을 적용하였고 제작된 안테나는 VSWR 1.5:1 이하의 높은 복사 특성을 얻으므로써 좁은 공간에서 편리하게 설치하여 쓸 수 있는 우수한 안테나임을 확인하였다.

#### I. 서론

이동전화 시스템이 1984년에 우리나라에 도입된 이후 비약적으로 발전하면서 각종 서비스를 제공할 수 있는 범위가 확대되었고 통화 품질과 시스템의 성능도 좋아졌을 뿐 아니라 주파수도 효율적으로 사용할 수 있게되어 가입자 수요량이 많아졌다. 이러한 수요 요구에 따라 이동통신용 소자들이 계속 개발되어 왔으며 안테나 또한 주파수 이용 효율을 높이면서 소형화, 경량화 쪽으로 눈부신 향상을 가져왔다. 안테나는 전송선로와 자유공간을 연결하는 구조물이라 정의 할수 있다. 초고주파용 소형안테나는 구조상 제조 공정이 쉽고 가격이 저렴하며 소형 경량으로 유전체 기판위에 집적화 하여 대량 생산이 가능한 마이크로 스트립 안테나가 널리 이용되고 있다. 또한

마이크로파용 능동소자 MIC, MMIC의 기술발달로 인해서 안테나와 능동소자를 동일한 기판상 집적화 하는 것을 가능하게 하였으며 그에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다[1]. 본 논문에서는 기지국안테나 중에서 구조가 평면형으로 공간을 적게 차지하고 건물 및 이동체 표면에 설치하기 편리한 특징이 있으며 주파수 재이용을 위한 셀분화가 용이하면서 마이크로 스트립 안테나가 갖고있는 단점인 표면파의 여기와 좁은 대역폭을 보상하여 광대역을 실현 할 수 있도록 하기 위해 마이크로 스트립 패치 안테나의 일종인 개구면 결합 안테나(aperture-coupled patch antenna)를 연구하였다.

#### II. 개구면 결합형 안테나 구조

Aperture-coupled antenna는 안테나와 급전선로 사이를 전기적으로 연결하는 다른 급전 방법보다 많은 이점을 가지고 있다. 특히 급전 선로 부분과 방사

소자 부분을 분리하여 방사체 부분의 마이크로 스트립은 저 유전율의 기판으로 두께를 두껍게 하고 급전선로 부분은 고유전율로 구현 할수 있으므로 MMIC화 할수 있는 장점을 가지고 있다[8].

Aperture-coupled antenna는 급전회로와 방사부분의 분리로 인하여 기생방사를 막을수 있고 다층으로 구현하면 넓은 대역폭을 얻을수 있다[1]. 뿐만 아니라 위와 같은 Aperture-coupled microstrip antenna로 원형편과 안테나를 구현할수 있으며 off-slot을 이용하는 방법과 십자형 slot을 이용하는 방법이 있다. 십자형 슬롯은 넓은 대역폭을 가질수 있다는 장점이 있지만 2개의 편파가 생길수 있다는 단점을 가지고 있어 임피던스 정합하는데 어려움이 있다. 슬롯의 구조에서 길이는 공진 주파수와 관계가 있고 폭은 coupling과 관계가 있는데 결합되는 양을 크게하면 효율은 커지는 반면 축비(Axial ratio)가 나빠진다. 분리된 기판에 급전 회로부와 방사패치를 따로 만들으로써 급전회로에서 발생하는 spurious 방사에 대한 영향을 받지 않으며 급전 회로부의 공간을 유용하게 이용할수 있다. 그리고 입력 임피던스는 슬롯의 크기와 위치에 의해서 결정되며 슬롯의 결합(coupling)에 의해서 발생하는 리액턴스 성분을 스테브에 의해 정합시킬수 있다. 기본적으로 슬롯의 길이는 임피던스의 저항성분을 정합시킬 수 있으며 Microstrip line의 길이를 적당히 조정하여 리액턴스 성분을 정합시킬 수 있다[6]. 아래 그림 1의 슬롯이 하나인 십자형 Aperture-coupled antenna는 마이크로 패치의 비접촉 feeding 방법중의 하나인 coupling 메카니즘 구조를 보여주고 있다. 안테나에서 슬롯이 하나인 경우는 선형 직선편과 안테나를 광대역으로 구현하기 위해서 쓰인다. Patch는 상단의 기판상에 놓여 있으며 기판 아래에 Ground Plane이 놓이고 구형 슬롯은 Ground Plane에 있다. 위에서 내려다 볼 때 그림 2와 같이 슬롯은 패치 중앙에 놓이며 다른 면에 feed line이 있다.

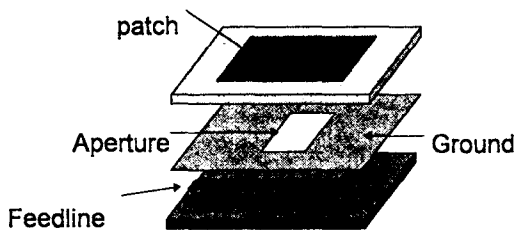


그림 1. 슬롯결합형 안테나의 구조

슬롯은 일반적으로 patch보다 작으며 두 개의 기판

은 slot과 feed line이 교차하도록 배열한다. 슬롯을 교차하는 feed line은 슬롯을 지나  $\lambda_g/4$  길이를 갖도록 유지하여 feed line으로부터 전달된 RF에너지가 슬롯을 지나 전자계적으로 방사 소자에 직렬 결합되어 전류가 최대인 지점에서 coupling이 일어나도록 한다[1]. 그림 1에서 처럼 두기판은 일반적으로 그 두께 및 유전율이 다르다.

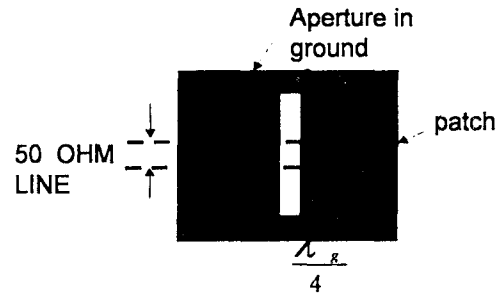


그림 2. 패치와 슬롯, 급전선로의 메카니즘

방사 소자 부분의 기판은 표면파의 여기가 적고 넓은 대역폭을 가져야 하므로 낮은 비유전율을 가져야 하고 반면에 급전 회로부의 기판은 회로의 크기를 감소시킬수 있도록 높은 비유전율을 가져야 한다[4]. Ground Plane이 Patch와 feed line사이에 있으므로 한쪽 기판의 유전율은 다른쪽 기판의 유전율에 영향을 주지 않는다. 그리고 두께 역시 coupling에 영향을 미치는데 두꺼울수록 coupling이 적게 일어나고 슬롯이 길어질수록 coupling이 대체로 적게 일어난다. 또 슬롯의 크기가 증가함에 따라 안테나의 방사는 증가하지만 ground plane에서 발생하는 side lobe의 원인이 되기도 한다. 최적의 coupling을 유지하기 위해서 슬롯의 폭은 작게 하는 것이 좋다. 대체로 슬롯 길이의 1/10 정도 선택한다[3]. Aperture와 feed line의 상세한 그림은 그림2에서 보여주고 있다. feed line은 패치의 공진 넓이에 의해 결정되고 feed line폭은 슬롯보다 작다. aperture는 공진하기에 너무 작아 임피던스상에서 단지 리액턴스 성분만을 갖는다.

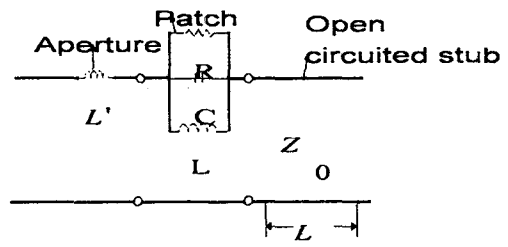
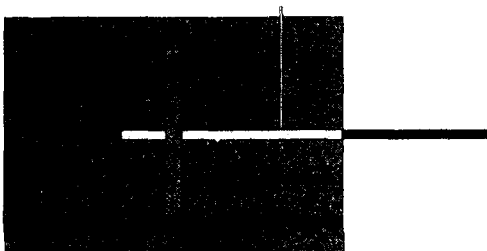


그림 3. Aperture-Coupled Patch의 등가회로

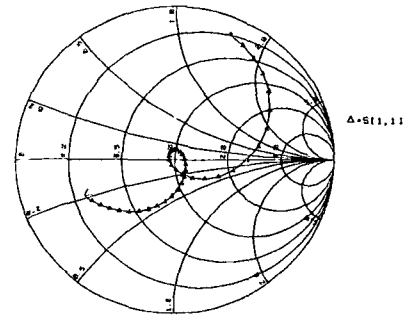
그림 3에서는 Aperture - coupled antenna의 등가 회로를 보여 주고 있다. L은 공진 슬롯밀에 연결된 인덕턴스 성분이고 RLC병렬 회로는 패치의 등가 회로이다. stub는 feed line과 같은 특성을 갖는 open선로이다. 스테브는 안테나가 실수 입력 임피던스를 갖도록 슬롯과 패치의 인덕턴스를 보상한다. 최종적인 목적은 실험적인 결정이 필요하다. 패치의 크기, 슬롯의 폭, feed line폭의 임피던스 값은 상수를 유지해야 하고 슬롯의 길이 및 스테브의 길이를 조정하므로써 안테나를 설계해야한다[3].

### III. 안테나 설계 및 제작

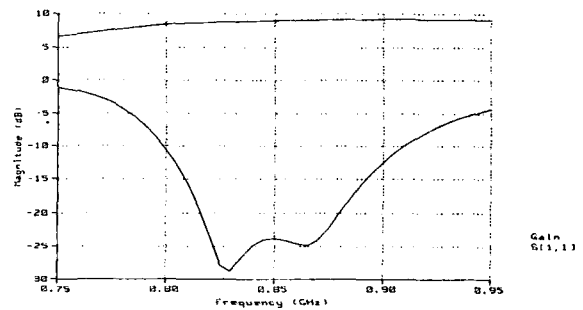
마이크로 스트립 패치 안테나를 설계할때는 일반적으로 전송선로 모델법으로써는 보통 공진 주파수, 기판의 두께, 기판의 유전율을 이용하여 설계를 시작한 다음에 최종적으로 패치의 공진길이 L과 폭 W 및 입력 임피던스 등을 계산한다. 그러나 공진기 모델 해석법은 패치의 공진길이와 폭을 미리 결정한 뒤 기판의 제반 특성등에 의하여 공진 주파수가 결정된다. 패치의 공진길이 L과 폭W은 전송선로 모델을 이용하여 대략적인 크기를 미리 결정한 뒤 급전 선로의 특성 임피던스와 패치의 입력 임피던스가 정합되는 점에서 원하는 공진주파수인 836.5 MHz (수신 주파수 대역: 824 - 849 MHz), 881.5MHz (송신 주파수 대역: 869 - 894 MHz)에 따른 패치의 공진 길이(L)는 126 mm와 폭(W)113 mm을 결정하였다. 마이크로 스트립 급전 선로의 설계는 방사손실과 선로 손실을 고려하여 임피던스 정합을 시켰으며 설계 tool 은 moment-method 방식의 마이크로 스트립 안테나 해석 simulator인 앙상블 5.1 을 이용하여 제작하였다. 그림 4 (a) ~ (d)는 설계 tool을 이용한 안테나의 layout  $S_{11}$ , 스미스 차트, gain, 방사 패턴의 시뮬레이션한 결과값을 보여 주고 있다. 본 연구는 마이크로 스트립의 단점을 극복하기 위해 넓은 대역폭과 높은 이득을 얻는데 중점을 두었다.



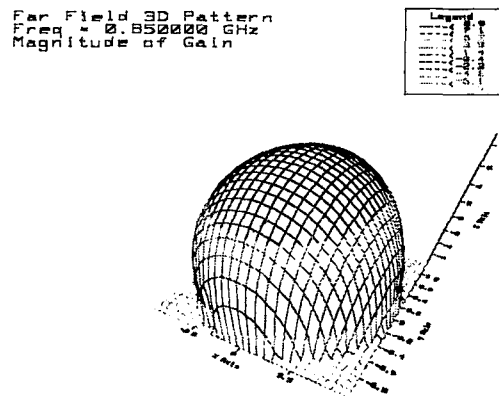
(a) Layout



(b) Smith chart



(c) 반사손실 및 이득



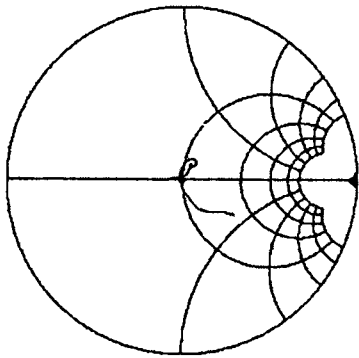
(d) 3D far field pattern

그림4. 안테나 시뮬레이션 결과

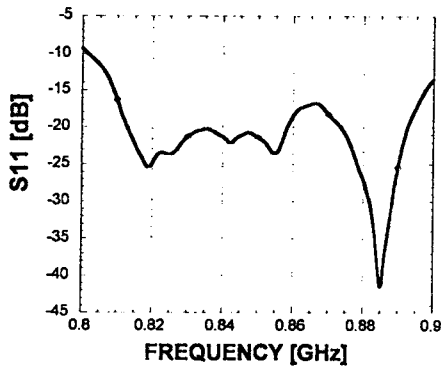
### IV. 안테나의 측정 결과

본 논문에서 설계, 제작한 안테나의 임피던스 정합 특성을 측정하기 위해 HP8501C Network analyzer를

사용하였다. 그림 5 (a) ~ (b)는 셀룰러 주파수 대역 (824-894 MHz)에서의 측정된 반사 곡선과 스미스 차트상에서의 임피던스 정합 상태를 보여 주고 있다. 측정된 반사 계수는 -15 dB ~ -30 dB의 특성을 얻었다. 시뮬레이션한 반사계수와 비교하면 2dB ~ 5 dB의 차이가 나는데 이는 에칭 제작시 발생할 수 있는 오차와 유전율의 변화, 기판과 기판 사이의 간격을 유지시켜 주는 기둥의 각도 차이 등으로 인한 오차로 추정된다.



(a) Smith chart상의 임피던스 정합



(b) 반사 손실값

그림 5. 제작된 안테나의 측정 결과

## V. 결론

마이크로스트립을 이용하여 셀룰러 통신을 위한 송수신 공용 안테나로서 마이크로 스트립이 갖고 있는 좁은 주파수 대역과 낮은 이득의 단점을 보완하기 위한 연구에 중점을 두었다. 또한 이동 통신의 수

요가 급증하면서 셀이 세분화되고 사업자 증가에 따른 주파수 이용 효율의 극대화, 소형화, 경량화, 제작비의 절감이라는 측면도 중요시하였다.

본 논문에서 2층의 기판과 공기층을 합하여 3단의 aperture-coupled patch 안테나를 설계, 제작하였으며 -15 dB ~ -30 dB의 우수한 반사 특성을 얻었다. 본 안테나는 셀룰러 이동통신에서 요구되는 광대역화와 높은 이득을 얻음으로써 시장에서 상품화 되고있는 기지국용 중계기로서 손색이 없음을 확인하였다.

## 참고문헌

- [1] Balanis, "Antenna Theory", Willy, 1997
- [2] Bahl, "Microstrip Antenna", Artech House, 1997
- [3] Bhartia, Rao, Tomar, "Millimeter-wave Microstrip and Printed Circuit Antennas", Artech House, 1991
- [4] Schrader, "Microstrip circuit analysis" Prentice Hall, 1995
- [5] Stutzman, Thiele, "Antenna Theory and Design", Wiley, 1998
- [6] 문창희, 홍의석, "A Implementation of the circular Polarization Antenna Using Microstrip", 1997
- [7] 최상훈, 남상욱, "Analysis of Microstrip Antenna with waveguide feeding structure", 한국통신 학회 논문지, 1987
- [8] 이두한, 김교현, 홍의석, "Injection-Locking coupled Oscillator를 이용한 빔 주사용 능동 위상배열 안테나의 설계 및 제작", 한국통신 학회 논문지, 1997