

IMT-2000 주파수대역에서 이중공진 적층구조 마이크로스트립 패치 안테나의 설계 및 제작

정회원 오상진*, 윤중한**, 이상목***, 광경섭****

A Design of Dual-band Microstrip Patch Antenna in Multilayered Planner Structures for IMT-2000 systems

Sang Jin Oh*, Joong Han Yoon**, Sang Mok Lee***, Kyung-Sup Kwak**** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 차세대 이동통신인 IMT-2000 (하향: 1.885GHz~2.025GHz, 상향: 2.11GHz ~2.2GHz)주파수대역에서 동작하는 정사각형 적층구조 마이크로스트립 안테나를 설계 및 제작 측정하였다. 송/수신 주파수대역이 서로 상이한 IMT-2000주파수대역에서 동작하도록 하기위해 시뮬레이터를 사용하여 이중공진 안테나를 설계하였으며 최적화된 파라미터를 가지고 실제 제작 및 측정하였다. 측정된 결과는 다음과 같다: 공진주파수는 1.8475GHz, 2.2GHz에서 각각 나타났으며 대역폭은 각각 10.2%와 7.8%에 이르는 결과를 얻었다. 그리고 반사계수는 -18dB, -27dB로 나타났다.

이득은 시뮬레이터를 이용한 결과를 보면 8dB~10dB의 높은 이득을 얻을수 있음을 알 수가 있다.

ABSTRACT

In this paper, a stacked square microstrip patch antenna was designed, manufactured and tested for IMT-2000 system (down link: 1.885GHz~2.025GHz, up link: 2.11GHz~2.2GHz). To apply IMT-2000 system, which has different forward and reverse link bands, we designed a dual-band operated antenna. We determined antenna parameters through optimization procedure. With the parameters, We manufactured a stack square microstrip patch antenna and measured its characteristics with HP 8510c network analyzer. The measured results are as follows: resonant frequency of 1.8745GHz and 2.2GHz, bandwidth of up to 10.2% and 7.8%, return loss of -18dB and -27dB, respectively. High gain of simulated result is ranged to 8dB~10dB.

I. 서론

최근 이용자가 폭증하고 있는 이동통신 분야와 무궁화 위성의 성공적인 발사로 더욱 주목을 받고 있는 위성통신 분야에서는 고품질의 다양한 통신 서비스를 더욱 효과적으로 제공할 수 있는 시스템을 개발하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 이동통신서비스에 이용되는 휴대 단말기는 소형화, 다기능화, 경량화 및 저전력화를 목표로 발전되어 왔으

며, 기지국 및 단말기에 필수적인 안테나는 신호 입출력의 처음과 끝을 담당하며 통화품질을 결정하는 핵심 부품으로서 단말기의 형태 및 재질에 따라 설계가 달라져야 하며 설계기술 난이도가 높은 부품이다.

마이크로스트립 안테나는 이러한 요구조건을 충족시키는 안테나로 가볍고 평면이나 굴곡이 있는 곳에도 부착이 용이하며 최근의 사진식각 기술을 이용한 저렴한 가격에 제작이 가능하다. 또한 MMIC

* (주)LG이노텍 연구소
*** 재능대학 정보통신과

** 인하대학교 전자공학과
**** 인하대학교 정보통신

논문번호: 00490-1229, 접수일자: 2000년 12월 26일

에 적용이 가능하고 다양한 형태의 patch 형태를 선택하여 공진 주파수, 편파, 패턴과 임피던스에 따라 제작이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 마이크로스트립 안테나를 다양한 분야에 적용하기 위해서는 낮은 효율, 저전력 및 높은 선택도(Q)를 가지고 있으며 또한 낮은 편파 순수도, 낮은 지향성, 불필요한 급전부 방사와 매우 협소한 대역폭과 같은 단점들을 극복해야 한다.

특히 협소한 대역폭을 확대시키기 위해 많은 방법이 제안되었다.^{[1][2]} 협소한 대역폭을 확대시키기 위한 가장 일반적인 방법으로 기판의 두께를 증가시키거나 기판의 유전상수를 낮추는 방법이 알려져 있다.^[1] 그리고 마이크로스트립 안테나의 고유 공진 주파수대역을 조정하여 대역폭을 확대시키는 방법으로 주파수 이동특성을 가지는 마이크로스트립 안테나 기술이 개발, 연구되고 있다.^[4]

특히 통신 기술이 발전되어짐에 따라 송수신 겸용 소형 단말기의 개발이 요구되어지고 있으며, 방사소자로 광대역 신호를 송수신할 수 있게 하기 위하여 이중주파수 대역에서 광대역 특성을 가지는 광대역 이중공진 안테나 연구가 필수적이다. 이에 따라 2개의 패치를 결합하여 사용하는 접합형 이중공진 안테나, 단락핀을 이용한 단일형 이중공진 안테나, 리액턴스성 부하를 이용한 단일형 이중공진 안테나 등에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 또한 송수신 편파가 동일하여 위성통신과 같이 서로 다른 편파를 이용하는 분야에서는 적합하지 못하다.

적층구조의 안테나는 서로 다른 층에 패치가 놓여있는 구조로 각각의 패치는 서로 다른 주파수에서 공진하게 되어 이중공진을 얻을 수 있게 된다.^[10] 물론 각각의 공진주파수가 매우 근접하지 않은 위치에서 공진이 일어나게 설계하면 광대역 특성도 동시에 얻을 수 있는 구조이다.

본 논문에서는 대역폭을 확대시키고 멀티미디어 서비스를 위한 안테나를 구현하기 위해 적층된 구조를 기본으로 하여 IMT-2000 주파수 대역으로 확장시켰다. 시뮬레이터를 통해 최적화된 모델의 파라미터를 얻었고 급전부와 안테나의 독립성을 증가시키기 위해 동축급전을 이용했으며 안테나의 특성은 반사손실, 정재파비, 이득, 그리고 무반사실에서의 방사패턴 측정을 통해 확인하였다. 실제로 제작한 안테나를 네트워크 분석기(HP 8510c Network Analyzer)로 측정하였다. II절에서는 적층구조의 마이크로스트립 안테나의 설계 및 최적화 과정을 설명하고, III절에서는 모델 및 시뮬레이션 결과에 대

해 설명하고 있다. IV절에서는 제작된 모델과 측정된 결과와 시뮬레이터를 이용한 결과에 대해 비교 분석하였다. V절에서는 안테나의 방사패턴 측정 결과를 나타내고 VI절에 결과를 맺는다.

II. 적층구조의 마이크로스트립 안테나

2.1 이중공진 안테나 설계

IMT-2000 주파수 대역에서 동작하는 이중공진 마이크로스트립 동축급전 안테나를 설계하였다. 먼저 원하는 동작중심 주파수에 대해서 급전위치를 고려하지 않고 기판의 두께 및 유전 상수와 패치의 길이를 고려하여 설계하였다. 우선 원하는 주파수대역을 2.04GHz로 가정하고서 전송선로 모델을 이용하여 하층기판의 패치 사이즈를 결정하였다. 그리고 이 결과를 바탕으로 시뮬레이터를 이용하여 공기층과 상층기판의 패치 크기 그리고 상층기판의 유전상수를 결정하였다.

전송선로 모델 해석방법은 오래 전에 제안된 방법으로 비교적 정확한 결과를 도출하지만 다른 해석방법보다는 정확성이 떨어지고 다양한 모델에 적용하는데 문제가 있다. 하지만 대략적인 안테나의 동작특성을 직관적으로 파악하는 데 있어 상당히 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 패치의 길이와 너비는 무한히 펼쳐진 것이 아니라 유한하므로 정확한 해석을 위해서는 가장자리 효과를 반드시 고려해 주어야 한다. 이 가장자리 효과는 패치와 기판의 두께의 함수로 주어진다. E-평면의 가장자리 효과는 패치의 길이(L)와 기판의 높이(h)의 비(L/h)의 함수로 주어지고 기판의 유전상수의 함수로 주어지게 된다. 대부분의 패치의 경우 $L/h \gg 1$ 이므로 가장자리 효과가 줄어들지만 정확한 해석을 위해서는 공진주파수에 영향을 주는 가장자리 효과를 고려해야 한다. 전자파들 중 일부는 기판내부를 전파하게 되고 일부는 공기 층으로 전파되어지기 때문에 다음의 식과 같은 관계식을 도출해 낼 수가 있다.^{[11][2]}

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2)$$

이처럼 패치의 각 면에 따라 ΔL 만큼 확장되어지기

때문에 실제 유효 패치길이는 다음과 같다.

$$L_{\text{reff}} = L + 2\Delta L \quad (3)$$

이때 공진 주파수는 다음과 같은 수식으로 구할 수가 있다.

$$f_{r0} = \frac{C_0}{2(L + 2\Delta L)(\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}})} \quad (4)$$

2.2 안테나 설계 및 최적화 과정

본 논문에서 제안한 안테나 구조는 그림 1과 같다. 동축급전을 이용한 적층구조의 사용으로 공진주파수가 아랫패치 2.04GHz, 기생패치 2.035GHz로 기준을 삼을 경우 IMT-2000 주파수 대역에서 정확히 이중공진하고 대역폭이 230MHz 이상이 되도록 설계되었다.

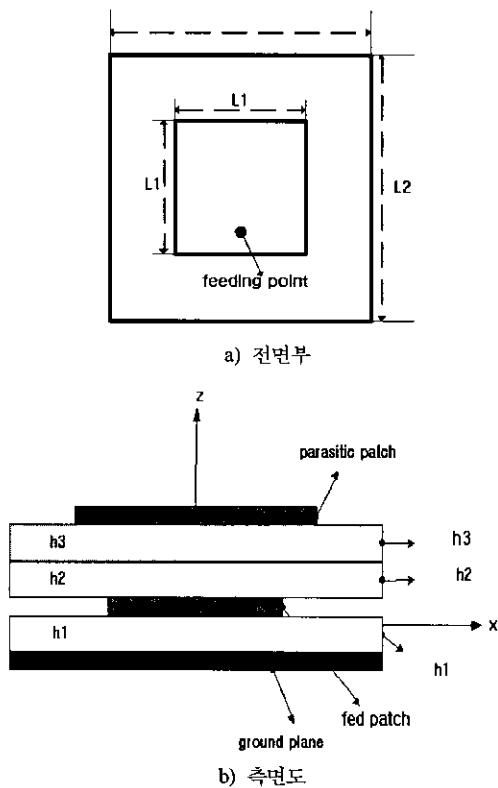


그림 1. 적층구조의 이중공진 안테나 구조도

그림 1b)는 실제 설계에 사용된 3층 적층구조로써 만일 2층구조로 제작될 경우 나타나는 동축급전 구조에서의 제작의 정밀성을 높이면 기판의 상대

유전상수 값을 낮춤으로써 안테나의 대역폭 및 정확한 이중공진 특성을 개선하고자 공기층을 삽입하였다(h2). 그리고 개구 결합 적층구조가 아닌 동축 급전 적층구조를 사용한 이유는 첫째, 급전부와 방사체를 직접 연결시키기 때문에 유전체 기판의 정렬을 정확히 할 수가 있어 정확한 동작대역과 이중공진의 형태를 얻을 수 있는 장점이 있고 둘째, 다른 급전구조와는 달리 급전부와 방사체 사이의 결합을 최소화시킬 수 있는 장점을 들 수가 있다.

하나의 안테나로 광대역특성을 얻고자 할 때는 일반적으로 유전상수가 낮고 기판의 두께가 두꺼운 기판을 사용한다.^[6] 그러나 적층구조의 경우 상층기판(h3)의 유전상수는 낮고 하층기판(h1)의 유전상수는 높은 기판을 사용하여 광대역 특성을 얻는다.^[15] 이와 같은 원리를 이용하여 상층기판의 유전상수를 하층기판의 유전상수보다 낮게 설정하고 전송라인 모델^[9]을 이용하여 아랫패치의 크기를 결정하였다. 그리고 시뮬레이터를 가지고 IMT-2000주파수대역에서 이중공진 특성을 얻을 수 있는 최적의 파라미터를 결정하였다.

다음 그림2~4는 시뮬레이터를 이용하여 다른 파라미터는 고정시키고 공기층의 두께 변화에 따른 반사계수, 상층기판의 유전율 및 두께의 변화에 따른 반사계수의 변화를 살펴보고 최적화 시키는 과정을 나타내고 있다.

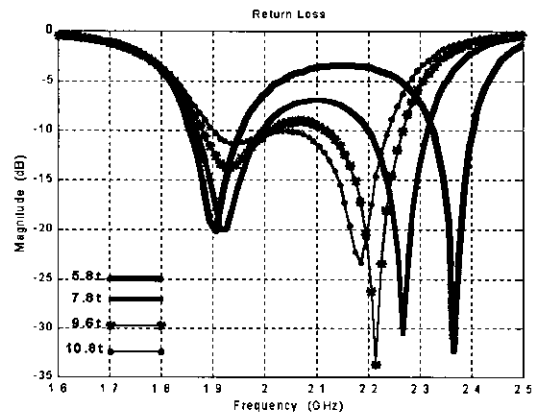


그림 2. 공기층(h2)의 두께변화에 따른 반사손실(단위 t=mm)

그림 2에 공기층(h2)의 변화에 따른 반사손실을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 5.8mm~10.8mm까지 변화 시켜가면서 반사손실을 살펴본 결과 공기층이 두꺼워질수록 하향대역은 점점 오른쪽으로 이동하고 상향대역은 왼쪽으로 이동하면서 대역폭이 확대되는 것을 관찰할 수 있었다.

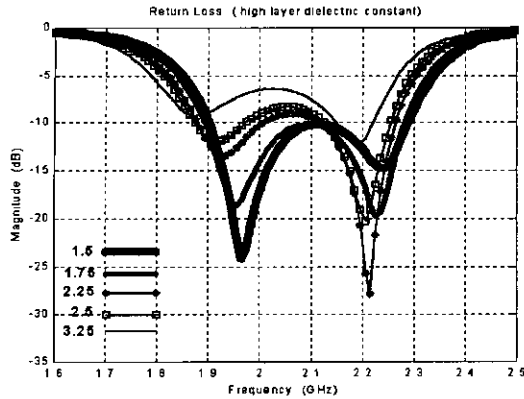


그림 3. 상층기판의 유전상수 변화에 따른 반사손실변화

그림 3에서는 상층기판(h_3)의 유전상수의 변화에 대한 반사손실의 변화를 나타내었다. 상층기판의 유전상수가 하층기판의 유전상수 보다 낮은 경우에는 패치와 접지면 사이에 전자파가 적게 저장되어 대역폭이 증가하며 표면파의 발생은 억제 가능하여 원하는 대역폭과 이중공진 형태를 얻을 수 있다는 것을 알 수가 있었다. 유전상수가 증가하면서 하향 밴드는 왼쪽으로 상향밴드는 오른쪽으로 움직이는 것을 관찰할 수 있었고 유전상수가 하층기판의 유전상수와 같은 3.2이상일 경우에 이중공진은 생기지 않거나 임피던스 대역폭이 극히 좁아짐을 관찰할 수 있었다. 따라서 상층기판의 유전상수는 하층기판의 유전상수보다는 작아야 하고 설계하고자 하는 동작대역을 정확히 얻기 위해 적절한 유전상수를 선택해야 할 것이다.

그림 4에서는 상층기판의 두께(h_3)를 변화 시켜 가면서 반사손실의 변화를 살펴보았다. 두께가 증가하면서 주파수 대역은 점점 왼쪽으로 움직여지는 것을 관찰할 수 있었고 이러한 두께의 증가는 아래 패치와의 결합현상을 감소시켜 결과적으로 대역폭이 좁아지는 현상을 나타내고 있다.

즉, 상층기판의 두께가 얇을수록 아래 패치와의 결합현상의 증가로 대역폭이 확대된다고 볼 수가 있다. 시스템설계에 있어서는 다른 파라미터와 마찬가지로 원하는 대역에서 사용할 수 있는 파라미터를 적절하게 선택해주는 것이 좋다.

최적화 과정을 거치면서 공기층(h_2)의 두께가 증가할수록 대역폭이 확대되는 결과를 얻을 수 있었지만 어느 정도 이상의($0.0735\lambda_0$) 두께에서는 이중공진이 생성되지 않으므로 적절한 두께를 선택해야 됨을 알았다. 그리고 상층기판의 유전상수 및 두께에 있어서도 유전상수는 상층기판의 유전상수가 하

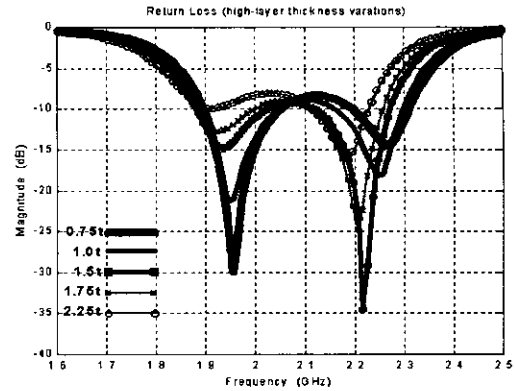


그림 4. 상층기판의 두께 변화에 따른 반사손실변화

층기판의 유전상수보다 낮아야 하고 상층기판의 두께가 증가하면 하층기판의 패치와의 결합현상의 감소로 협소한 대역폭이 나타남을 관찰하였다. 이런 결과를 바탕으로 최적화된 파라미터를 살펴보면 하층기판의 유전율(ϵ_{r1})은 3.2, 두께(h_1)는 2.4mm, 패치 크기는 $40.33\text{mm} \times 40.33\text{mm}$ 이고 상층기판의 유전율(ϵ_{r3})은 2.2, 두께는 (h_3)1.6mm, 패치 크기는 $50.75\text{mm} \times 50.75\text{mm}$ 로 결정되었다. 그리고 공기층(h_2)의 두께는 9.6mm 일 때 최적의 결과를 얻을 수 있었다. 이 결과를 표 1에 정리하여 나타내었다.

표 1. 안테나의 설계 파라미터

L_1	W_1	ϵ_{r1}	h_1
40.33mm	40.33mm	3.2	2.4mm
L_2	W_2	ϵ_{r3}	h_3
50.75mm	50.75mm	2.2	1.6mm

L_1 : 아래패치의 길이
 W_1 : 아래패치의 너비
 ϵ_{r1} : 하층기판 유전상수
 h_1 : 하층기판의 두께
 L_2 : 기생패치의 길이
 W_2 : 기생패치의 너비
 ϵ_{r3} : 상층기판 유전상수
 h_3 : 상층기판의 두께

III. 모델 및 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 모델은 하향대역 1.885GHz ~2.025GHz, 상향대역 2.11GHz~2.2GHz에서 동작하는 조건으로 시뮬레이션 하였으며 공기층, 즉 아래패치와 적층된 기생패치의 간격은 9.6mm으로 결정하였다. 그림 5~7에서는 최적화된 파라미터를 가지고 모의실험 한 결과를 반사계수, 정재파비(VSWR), 이득을 통해 나타내었다.

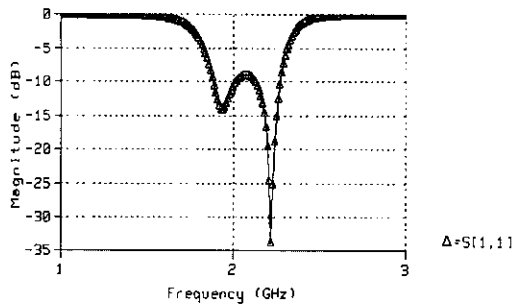


그림 5. 시뮬레이터를 이용한 반사계수 특성

시뮬레이션 결과 하향대역에서의 공진 주파수는 1.934GHz이고 상향대역에서의 공진주파수는 2.216GHz에서 발생한다. 그리고 대역폭은 하향대역에서는 1.8743GHz에서 2.0295GHz까지 155.2MHz대역 이었고 상향대역에서는 2.101GHz에서 2.2715GHz 까지 170.5MHz대역을 나타내고 있음을 알 수가 있었다. 반사계수 역시 IMT-2000 주파수 대역을 정확하게 이중공진 하는 결과임을 살펴볼 수가 있다. 그리고 시뮬레이션 이득의 결과는 8dB~9dB를 가진다는 것을 알 수 있었다. 표 2에서는 시뮬레이션의 결과를 정리해 나타내었다.

표 2. 시뮬레이션 결과(공진주파수 및 대역폭)

공진주파수		대역폭	
하향	상향	하향	상향
1.934GHz	2.216GHz	1.8743GHz~ 2.0295GHz (155.2MHz/ 7.94%)	2.101GHz~ 2.2715GHz (170.5MHz/ 7.911%)

IV. 안테나 제작 및 측정

III절에서의 시뮬레이션 결과를 바탕으로 하여, 그림 8a)와 그림 8b)에 나타난 것처럼 실제 제작하여 측정하였다. 아래 패치는 정사각형의 형태로 40.33mm의 크기를 가지고 상층기판의 기생 패치 역시 정사각형 형태로 50.75mm의 크기로 제작하였다.

아래 기판은 유전상수 3.2인 2.4mm 두께의 기판을 사용하였고 상층기판은 유전상수 2.2인 1.6mm 두께의 기판을 사용하였으며 동축 프로브급전을 이용하였다.

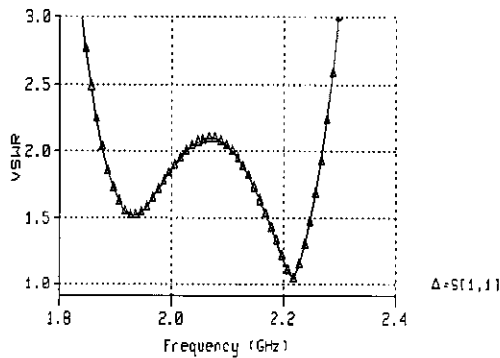


그림 6. 시뮬레이터를 이용한 VSWR

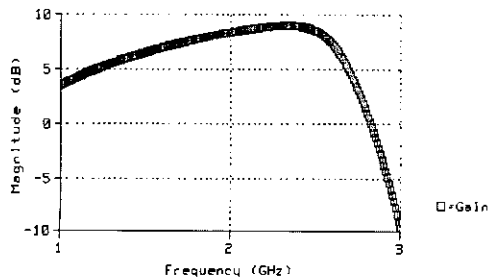
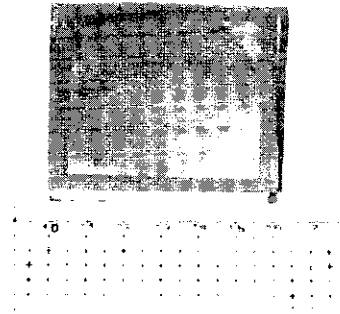
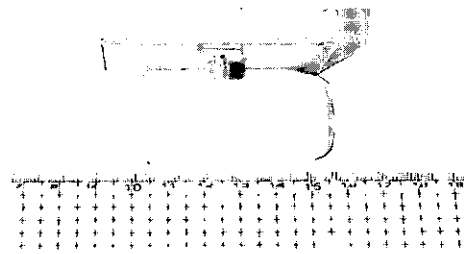


그림 7. 시뮬레이터를 이용한 Gain 특성



(a) 전면도



(b) 측면도

그림 8. 실제 제작된 정사각형 적층형 마이크로스트립 패치 안테나

그림 9~11은 제작되어진 안테나를 HP 8510c Network analyzer를 이용하여 측정한 결과와 시뮬레이션 결과를 함께 나타내었다.

측정범위는 1.75GHz~2.35GHz로 설정하였다. 공진주파수는 각각 1.8745GHz, 2.21GHz 에서 나타났고 각각 -27dB, -18dB의 측정치를 가진다. 대역폭은 하향대역에서는 1.822GHz~2.023GHz, 상향대역은 2.1055GHz~2.2735GHz로써 각각 200MHz, 168MHz의 대역폭을 가지는 결과를 얻었다. 이는 10.2%와 7.8%에 해당하는 수치이다. 표 3에서는 측정된 공진주파수 및 대역폭에 대한 수치를 나열하였다.

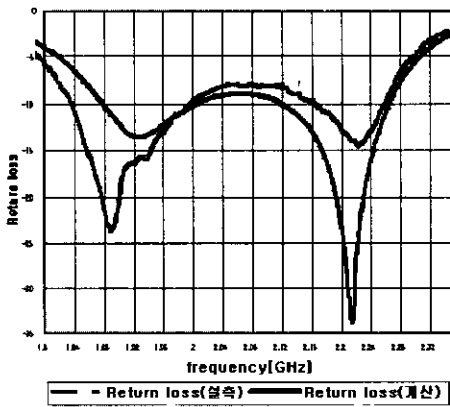


그림 9. 적층구조 안테나의 반사계수

시뮬레이션 결과와 측정된 결과를 비교해 본 결과 상향 주파수 및 하향주파수의 공진 주파수가 거의 일치하는 것을 볼 수 있었고 대역폭 역시 IMT-2000 주파수 대역을 포함하는 정확한 이중공진 형태를 얻었다는 것을 알 수 있었다.

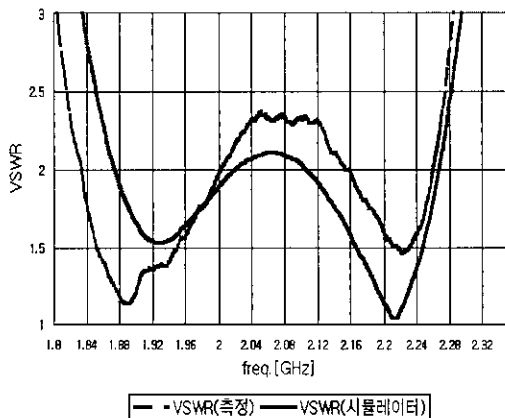


그림 10. 적층구조 안테나의 VSWR

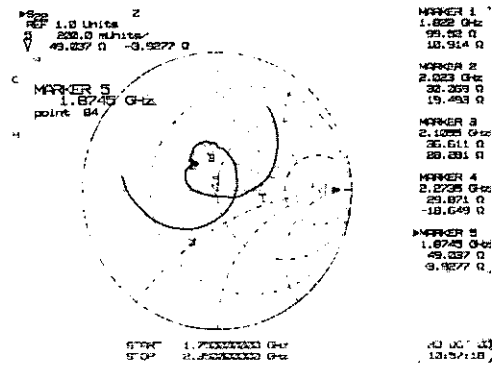


그림 11. 스미스 차트

그리고 본 논문에서 실제 안테나를 제작할 때 고려해야 될 급전부분에서의 납땜부분의 영향을 최소화하고 기관의 유전율을 낮추어 대역폭을 확대하기 위해 공기층을 삽입한 것이 정확한 이중공진을 얻어내는데 효과적 이었음을 확인 할 수 있었다.

표 3. 측정결과 (공진주파수 및 대역폭)

공진주파수		대역폭	
하향	상향	하향	상향
1.8745GHz	2.2GHz	1.822GHz ~2.023GHz (10.2%)	2.1055GHz ~2.2735GHz (7.8%)

V. 안테나 방사패턴 측정

지향성은 복사 도체를 원점으로 하여, 이로부터 복사되는 전파의 방향에 따라 상대적 크기를 극좌표 형식으로 나타낸 것을 의미하며 표현식은 다음과 같다.

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A} = \frac{4\pi}{\iint P_n(\theta, \phi) d\Omega} \quad (5)$$

그림 12와 그림 13는 정사각형 이중공진 마이크로스트립 적층형 안테나의 공진 주파수인 1.8745GHz와 2.2GHz에서 실측한 E-평면과 H-평면의 방사패턴의 측정 결과이다. 안테나 구조의 대칭성에 의해 좌우 패턴이 대칭을 이루고 있음을 알 수가 있다

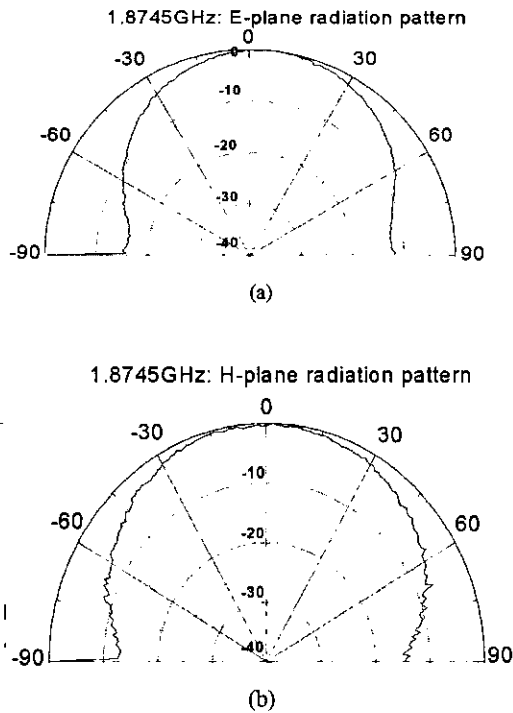


그림 12. 하향 밴드에서의 안테나 방사패턴측정

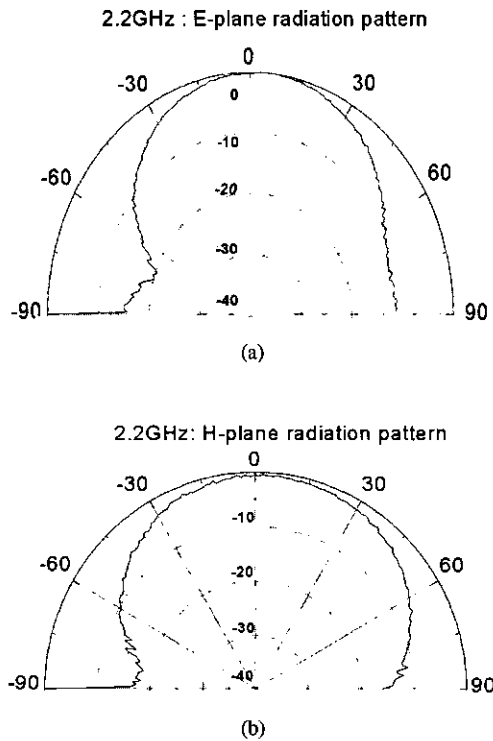


그림 13. 상향 밴드 안테나 방사패턴측정

VI. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나를 이용하여 향후 상용화될 이중공진 IMT-2000 주파수 대역에서 동작이 가능한 안테나를 설계하였다.

전송라인 모델 해석법과 시뮬레이터(Ensemble 5.0)를 바탕으로 적층형 이중공진 안테나의 최적 파라미터를 얻었으며 시뮬레이션 결과를 이용하여 실제 제작하여 그 특성을 서로 비교 분석하였다.

공진주파수는 각각 1.8745GHz, 2.2GHz에서 나타났고 각각 -27dB, -18dB의 크기를 가진다. 대역폭은 하향대역에서 1.822GHz~2.023GHz, 상향대역은 2.1055GHz~2.2735GHz로써 200MHz, 168MHz의 대역폭을 가지는 결과를 얻었으며 이는 10.2%와 7.8%에 해당하는 수치이다. 이 결과는 모의실험 한 결과와 거의 일치하는 정확한 결과로써 IMT-2000 주파수대역을 정확히 이중공진 하는 특성을 얻었다. 따라서 본 논문에서 구현한 정사각형 마이크로스트립 적층구조 안테나는 IMT-2000 시스템에 충분히 사용가능 하리라 여겨진다. 향후 광대역(멀티미디어) 위성통신 서비스에서도 사용 가능한 안테나 설계를 위해서 적층구조에서 원형편파를 생성하는 구조에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] D. M. Pozar "Microstrip Antennas", Proceeding of the IEEE Trans. Antennas and Propagat. Vol.80, No.1, Jan, pp. 79~91, 1992.
- [2] J. F. Zurcher and F. E. Gardiol, Broadband Patch Antenna, Artech House Boston London.1995.
- [3] Balanis, C. A, Advanced Engineering Electromagnetics, Jonh Wiley & Sons, Inc New York.1989.
- [4] Z. F. Liu, P. S. kooi , L. W. Li, M. S. Leong, and T. S. Yeo, "A Method for Designing Broad-Band Microstrip Antennas in Multi-layered Planar Structures", IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol.47, No.9, pp. 1416~1420, Sept., 1999.
- [5] K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip antenna technology" IEEE Trans. Antennas and Propagat., AP-29, pp. 2~24, Jan., 1981.

- [6] D. H. Schaubert, F. G. Farrar, A. Sindoris. and S. T. Hayes, "Microstrip Antennas with Frequency Agility and Polarization Diversity", IEEE Trans. Antennas and Propagat., AP-29, No.1, pp.118~123, JAN., 1981.
- [7] H. R. Hanssani, and D. Mirshekar Syahkal, "Study of electromagnetically coupled stacked rectangular patch antennas", IEE Proc. Microw. Antennas Propagat., Vol.143, No.1, pp. 7~13, Feb., 1995.
- [8] T. A. Denidni and M. Hoton, "Experimental Investigations of Broadband Microstrip Antenna For PCS Applications", Proceedings of the 49th Vehicular Technology Conference Vol.3, pp. 1764~1767, May, 1999.
- [9] R. Q. Lee and K. F. Lee, "Experimental Study of the Two Layer Electromagnetically Coupled Rectangular Patch Antenna", IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol.38., No.8, pp.1298~1302, Aug, 1990.
- [10] P. Piazzesi, S. Macl, and G. B. Gentili, "Dual-Band, Dual-Polarized Patch Antennas", International Journal of Microwave and Millimeter-wave CAD, Vol.5, No.6, pp. 375-384, 1995.
- [11] J. S. Chen and K. Lu. Wong, "A Single-layer Dual-Frequecny Rectangular Microstrip Patch Antenna Using A Single Probe Feed", Microwave and Optical Technology Letters, Vol.11, No.2, pp. 83~84, Feb., 1996.
- [12] S. Maci and G. B. Gentili, "Dual-Frequency Patch Antennas", IEEE Antennas & Propagation Magazine, Vol. 39, No. 6, pp. 13~20, Dec., 1997.
- [13] B. F. Wang and Y. T. Lo, "Microstrip Antennas for Dual-Frequency Operation", IEEE Trans. Antennas Propagat., AP-32, No.9, pp. 938~943, Sept., 1984.
- [14] H. R. Hassani and D. Mirshekar-Syahkal, "Analysis of Stacked Rectangular Patch Antennas with Nonaligned Patches or Unequal Patch Sizes", IEEE Trans. Antennas and Propaga., Vol.42, No.9, pp.1333~1336, Sep., 1994.
- [15] R. B. Waterhouse, "Stacked Patches Using High and Low Dielectric Constant Material Combinations", IEEE Trans. Antennas and Propag., Vol.47, No.12, pp.1767~1771, Dec., 1999.
- [16] G. Splitt and M. Davidovitz, "Guidelines for Design of Electromagnetically Coupled Microstrip Patch Antennas on Two-Layer Substrate", IEEE Trans. Antennas and Propaga., AP-38, No.7, pp. 1136~1140, July, 1990.
- [17] R. Q. Lee, K. F. Lee and J. Bobinchak, "Characteristics of a two-layer electromagnetically coupled rectangular patch antenna", Electronics Letters, Vol.23, pp. 1070~1072, Sept., 1987.
- [18] R. B. Waterhouse, "Design of Probe-Fed Stacked Patches", IEEE Trans. Antennas and Propagat., Vol.47, No.12, pp. 1780~1784, Dec., 1999.
- [19] F. Croq and D. M. Pozar, "Millimeter-Wave Design of Wide-Band Aperture Coupled Stacked Microstrip Antennas", IEEE Trans. Antennas and Propaga., Vol.39, No.12, pp. 1770~1776, Dec, 1991.

오 상 진(Sang Jin Oh)

정회원



1999년 2월 : 인하대학교
전자공학과 졸업(공학사)
2001년 2월 : 인하대학교
전자공학과 대학원
졸업(공학석사)
2000년 2월~현재 : (주)LG
이노텍 연구소 연구
6그룹 연구원

<주관심 분야> 안테나 설계, RF

윤 중 한(Joong Han Yoon)

정회원

한국통신학회 논문지 제26권 제4B호 참조
인하대학교 전자공학과 박사과정

이 상 목(Sang Mok Lee)

정회원



1984년 2월 : 한국항공대학교

항공전자공학과 졸업
(공학사)

1986년 2월 : 한국항공대학교

항공전자공학과 대학원
졸업(공학석사)

1996년 8월~현재 : 인하대학교 전자공학과 박사과정
수료

1990년 3월~현재 : 재능대학 정보통신과 부교수
<주관심 분야> 안테나 설계, 통신망, 통신이론

곽 경 섭(Kyung-Sup Kwak)

정회원

한국통신학회 논문지 제26권 제4B호 참조

현재 : 4인하대학교 정보통신 전문대학원 원장