위성통신을 위한 송수신 겸용 삼중 적층 마이크로스트립 패치 배열 안테나 설계

박웅희* · 노행숙**

Design of Three-stacked Microstrip Patch Array Antenna Having Tx/Rx Feeds For Satellite Communication

Ung-Hee Park* · Haeng-Sook Noh**

요 약

본 논문은 Ku-대역 위성 통신에서 배열 안테나의 하나의 단일 안테나로 사용 가능한 송/수신 겸용 구조의 마이크로스트립 패치 배열 안테나에 관한 것이다. 본 논문에 제시된 마이크로스트립 패치 배열 안테나의 단일소자인 하나의 마이크로스트립 패치 안테나는 고이득과 광대역 특성을 구현하기 위하여 한 개의 방사패치와 두 개의 기생패치로 구성된 삼중 적층 구조 형태로 설계하였다. 이러한 단일 패치 안테나 소자는 고이득의 특성을 얻기 위하여 1x8 배열 구조로 배열하였으며, 안테나 크기 및 급전 손실을 고려하여 직렬과 병렬 급전을 혼합하여 급전 회로를 설계하였다. 제안된 삼중 적층 송/수신 겸용 배열 안테나는 무궁화 3호 위성과의 방송 및 통신 송수신을 위해 송신 주파수대역(14.0~14.5 GHz)은 수직편파, 수신 주파수대역(11.7~12.75 GHz)은 수평편파로 설계하였다. 설계한 안테나의 타당성을 검증하기 위하여 삼중 적층 구조의 마이크로스트립 패치 안테나를 실제 제작 및 측정하였다. 그 결과 송/수신 대역 내에서 배열 안테나 이득은 17~18 dBi이고, 임피던스 대역폭은 전대역에서 10 % 이상의 결과를 보이며, 교차편파 레벨은 -25 dB 이하, 부엽레벨은 -9.4 dB 이하의 양호한 결과를 보였다.

ABSTRACT

This paper presents a microstrip patch array antenna having transmission feed and reception feed for satellite communication in the Ku band. In this paper, the element of the patch array antenna is a three-stacked structure consisting of one radiation patch and two parasitic patches for high gain and wide bandwidth characteristics. To obtain higher gain, the unit elements are expanded into a 1x8 array using a mixture of series and parallel feeds. The proposed antenna has horizontal polarization for the Rx band and vertical polarization for the Tx band. To verify the practicality of this antenna, we fabricated a three-stacked patch array antenna and measured its performance. The gain of the array antenna in the Rx and Tx bands exceeds 17 and 18 dBi, respectively. The impedance bandwidth is over 10 % in both bands. The cross-polarization level is below -25 dB, and the sidelobe level is below -9.4 dB.

키워드

마이크로스트립 안테나, 배열안테나, 삼중패치안테나, 위성통신안테나, 패치안테나

* 강원대학교 삼척캠퍼스 전자공학과

** 한국전자통신연구원 전파기반부 선임연구원

접수일자 : 2007. 1. 23

I. 서 론

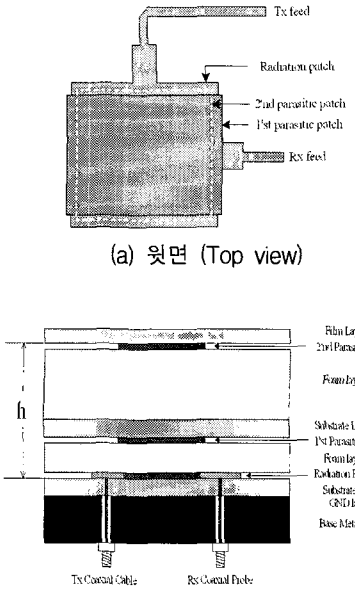
최근 위성을 이용한 통신에 있어서, 지상의 단말국은 고정국에서 이동국으로 그 수요가 확대되고 있다. 지상의 이동 단말국에 사용되는 안테나는 안정적인 위성 추적 기능과 통신 기능 제공이 필수적이다. 이와 더불어 이동체 장착을 위해 위성 통신용 안테나의 경량화, 소형화 등 많은 추가적인 요구가 발생하고 있다. 하나의 방사소자에서 송/수신 전 대역에서 동작하는 송/수신 겸용 마이크로스트립 패치 안테나는 위성 통신용 이동 단말 안테나의 경량 및 소형화에 대한 좋은 해답이라 할 수 있다. 그러나, 송/수신 겸용 마이크로스트립 패치 안테나는 일반적으로 5 % 미만의 좁은 임피던스 대역폭과 낮은 이득을 갖는다. 단일 급전 또는 단일 편파에서의 마이크로스트립 패치 안테나의 이득과 대역폭 개선을 위하여 이중 혹은 삼중 적층 구조 형태의 패치를 자주 이용한다. 하지만, 서로 다른 편파를 가지는 이중 급전 형태의 마이크로스트립 패치 안테나에서의 이중 혹은 삼중 적층 구조 형태에 대해서는 그 연구가 거의 진행되지 않았다.[1~5]

본 논문에서는 Ensemble 7.0을 이용하여 송/수신 겸용 구조의 마이크로스트립 패치 안테나를 삼중 적층 구조로 설계하였다. 설계된 안테나는 송신대역(14.0~14.5 GHz)에서는 수직편파, 수신대역(11.7~12.75 GHz)에서는 수평편파로 송/수신 급전회로를 동일 기판 상에 배치하였다. 먼저, 단일 구조의 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 및 특성을 시뮬레이션을 통해 살펴본 후, 이를 이용하여 1x8 배열 구조로 설계 및 제작하여 그 특성을 살펴보았다. 제작된 마이크로스트립 패치 안테나의 1x8 배열 구조인 마이크로스트립 패치 배열 안테나는 위성 통신용 지상국 안테나의 배열 안테나의 하나의 단위 안테나 소자로 사용 가능하다. 마이크로스트립 패치 배열 안테나를 여러 개 결합하여 지상국 안테나를 구성하면 지상국 안테나의 원하는 안테나 이득과 패턴을 얻을 수 있을 것이다.

II. 안테나 설계 및 제작

2.1. 단일소자 설계

그림 1은 본 논문에서 제안한 고이득 특성을 갖는 삼중 적층 패치 및 이를 급전한 송/수신 급전회로를 도시한



(a) 윗면 (Top view)

(b) 옆면 (Side view)

그림 1. 단일 방사 소자의 형상
Fig. 1 Configuration of the single patch

그림이다. 제안된 단일소자는 한 개의 방사 패치와 두 개의 기생 패치 및 송/수신 급전회로로 구성된다. 방사 패치(Radiation patch)는 신호를 송신 혹은 수신하기 위한 소자로서의 역할을 하고, 첫 번째 기생 패치(1'st parasitic patch)는 임피던스 대역폭을 넓히기 위해 사용되며, 두 번째 기생 패치(2'nd parasitic patch)는 단일소자의 유효 개구면적을 증가시켜 안테나 이득을 높이는 디렉터로서의 역할을 한다. 방사 패치와 첫번째 기생 패치 및 두 개의 기생 패치의 사이에는 폼(Foam)을 삽입하여 그 간격을 조절하였다. 삼중 적층 패치 소자에서, 폼이나 공기층의 두께는 이득과 대역폭 특성을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 그림 1에서 유전체 기판층 #1 (Substrate Layer #1)의 아랫면은 접지면이고, 윗면은 방사 패치와 송/수신 급전회로가 배치되어 있다. 유전체 기판층 #2(Substrate Layer #2)은 아랫면 상에만 첫 번째 기생 패치가 존재하며 윗면은 도체를 모두 제거하였다. 필름층은 아랫면 상에 두 번째 기생 패치가 존재하는 형태를 가지고 있다. 폼층 #1과 #2 (Foam layer #1 and #2)는 유전체 기판층 #1과 #2에 비하여 낮은 유전상수를 가지며, 방사 패치와 기생 패치들 간의 전자기적 커플링을 효과적으

로 발생시키기 위하여 사용된 것이다. 일반적으로 방사 패치와 두 번째 기생 패치간의 거리(h)는 0.5λ 정도 간격을 갖는다.

배열소자에 있어서 단일 패치소자 형태가 결정되면, 다음으로 그 소자를 어떻게 급전할 것인지 결정해야 한다. 본 제안된 패치 안테나에서는 수신 급전회로는 병렬 급전형태로, 송신 급전회로는 병렬과 직렬 급전형태가 복합된 구조로 설계되었다. 이러한 급전 구조는 각 송신 혹은 수신 대역에 있어서 광대역 특성 및 대칭형 안테나 패턴을 가지게 할 뿐 아니라 안테나 소형화를 위하여 채택되었다.[6]

표 1. 적층된 유전층과 패치 수에 따른 송/수신 겸용 단일 안테나의 성능 비교
Table. 1 Differences in antenna performance according to the number of parasitic layers for dual Tx and Rx

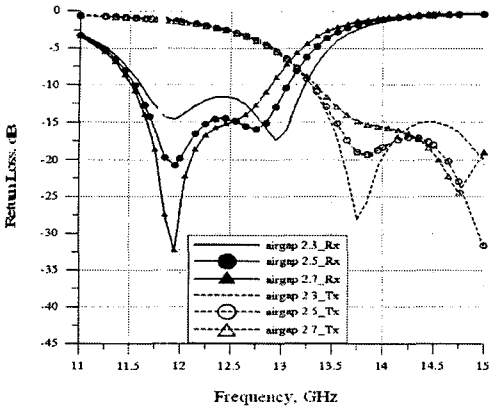
항목		단층	이중 적층	삼중 적층	비고
패치 크기 (WxL [mm^2])	방사	7.88 x 6.70	8.25 x 6.82	7.86 x 6.56	-
	1'st 기생		8.21 x 5.72	8.02 x 5.88	-
	2'nd 기생			7.46 x 6.24	-
대역폭 [%]	Rx	2.0	11.6	12.8	@10 dB이하
	Tx	2.5	7.9	14.0	
송수신 고립도 [dB]		-26	-18.1	-17.5	@송수신 대역내
이득 [dBi]	Rx	5.5 ~ 6.5	7.8 ~ 8.0	10.4 ~ 10.8	@송수신 대역내
	Tx	5.7 ~ 6.8	7.5 ~ 7.7	10.1 ~ 10.5	

표 1은 제안된 삼중 적층 패치와 단층, 이중 적층과의 특성 및 성능 비교를 Ensemble 7.0을 이용하여 살펴본 것이다. 각각의 방사 패치는 단일 구조에서 송/수신을 위해 선택할 수 있는 최적의 방사 패치 구조이다. 제안된 삼중 적층 패치의 단일 소자는 단층 패치 단일소자보다 임피던스 대역폭 약 5배와 이득은 약 5 dB, 이중 적층 패치 단일 소자보다 임피던스 대역폭(Tx 기준)은 약 2배와 이득은 약 3 dB 증가함을 볼 수 있다.

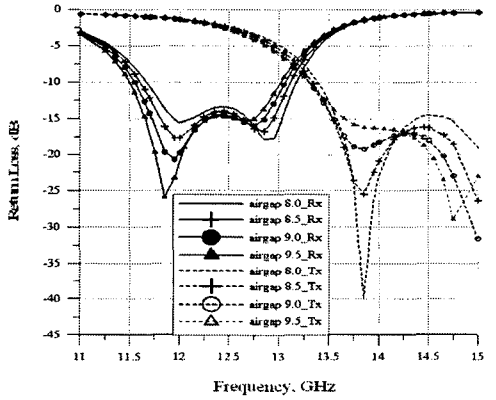
그림 2는 삼중 적층 패치 단일소자의 폼층 #1과#2의 두께 변화에 따른 반사손실 양에 대하여 Ensemble 7.0의 시뮬레이션을 이용하여 비교한 것이다. 그림. 2로부터 폼층 #1의 두께가 두꺼워질수록 임피던스 대역폭은 더 좁아지며, 공진 주파수는 낮아짐을 볼 수 있다. 또한, 폼층 #2의 두께가 두꺼워질수록 공진 주파수는 더 낮아지지만 임피던스 대역폭에는 거의 변화가 없음을 볼 수 있다. 그림 2의 반사손실 결과로부터 위성으로의 신호를 송신하기 위한 송신 안테나(14.0~14.5 GHz)와 위성으로부터 신호를 수신하기 위한 수신 안테나(11.7~12.75 GHz)는 폼층 #1과 #2의 두께가 각각 2.5 mm, 9.0 mm일 때 최적의 안테나 특성을 가짐을 알 수 있었다. 또한 그 밖의 방사 패치, 기생 패치 크기 및 유전체 기판층의 비유전율 등도 대역폭, 안테나 이득, 방사 패턴 등을 고려하여 시뮬레이션을 이용하여 표 2와 같이 설정하였다.

표 2. 삼중 적층 패치 안테나의 유전체층 비유전율과 두께
Table. 2 Permittivity and thickness of the dielectric layers in the designed three-stacked patch antenna

층 구분	비유전율	두께 [mm]
필름층	2.25	0.04
폼층 #2	1	9
유전체 기판층 #2	2.17	0.508
폼층 #1	1	2.5
유전체 기판층 #1	2.17	0.508



(a) 폼층 #1의 두께에 따른 반사손실 변화
(Return loss variation according to the thickness of foam layer #1)



(b) 폼층 #2의 두께에 따른 반사손실 변화
(Return loss variation according to the thickness of foam layer #2)

그림 2. 삼중 적층 패치 단일소자의 폼층 두께에 따른 반사손실 특성 변화
Fig. 2 Return loss characteristics according to the thickness of the foam layers of the three-stacked patch antenna

2.2. 배열 안테나 설계

표 1과 표 2에서 제시된 최적의 삼중 적층 마이크로스트립 패치 단일소자를 사용하여 Ku 대역 위성 통신용 지상 단말국에서 하나의 단위 소자 안테나로 사용 가능한 배열 안테나를 설계하였다. 그림 3은 본 논문에서 제안된 배열 안테나 구조로서 그림 1의 단일소자를 1x8배열 형태로 확장하여 구성하였다. 배열 안테나에서 단일 소자는 무궁화 3호 위성의 위치에 따른 편파 보정을 위해 14도 기울기를 가지도록 설계하였다.[6] 제안된 배열 안테나에 있어서 그레이팅 로브 레벨을 억압시키기 위한 최적의 단일 소자 간의 거리는 약 0.85λ0이나, 단일소자가 고이득 특성일 경우에는 소자 간격이 가까워지면 소자 간섭이 증가하게 된다. 제안된 배열 안테나의 단일 소자 사이의 거리는 위의 조건 등을 고려하여 λ0(22 mm) 간격으로 하였다.

그림 4는 유전체 기판층 #1의 도면을 도시한 것이다. 그림 4에서 수신 급전회로는 병렬 급전 형태이고, 송신 급전회로는 직렬과 병렬 급전의 혼합된 형태임을 알 수 있다. 이러한 형태의 급전선로의 선택은 수신 안테나 급전의 경우 광대역 특성을 얻기 위한 것이며, 송신 급전의 경우 안테나 크기를 최소화하면서 대칭적인 안테나 방사 패턴을 얻기 위한 것이라 할 수 있다. 그림 5는 그림 3에 제시된 1x8 배열 안테나의 반사손실 및 격리 특성에 대한 Ensemble 7.0의 시뮬레이션 결과로, 반사손실은 수신대역(11.7~12.75 GHz)에서 -14 dB이하, 임피던스 대역폭(<-10 dB)은 12.2 %를 가졌다.

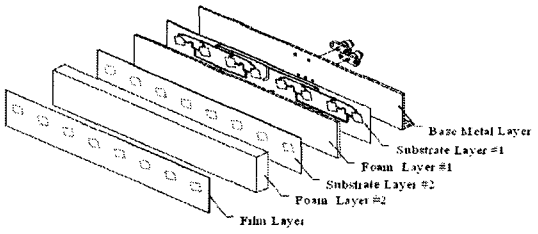


그림 3. 1x8 배열 안테나의 구성도
Fig. 3 Assembly drawing of the 1x8 array antenna

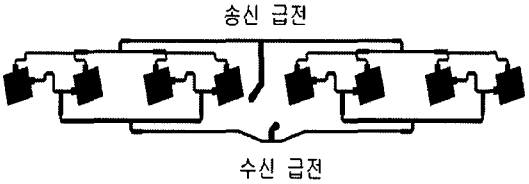


그림 4. 유전체 기판층 #1의 패턴도면
Fig. 4 Drawing of substrate layer #1

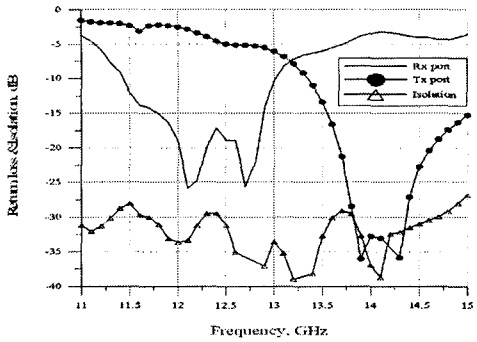
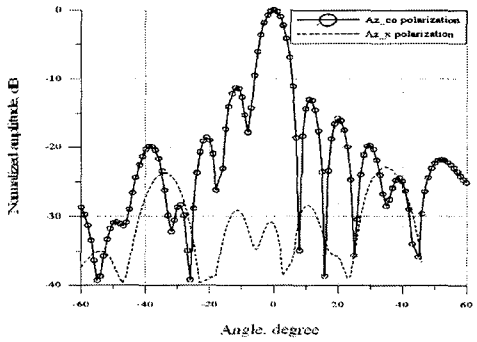
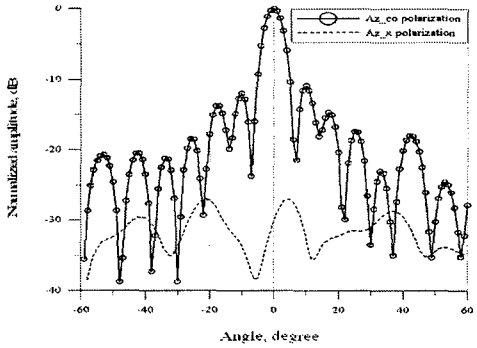


그림 5. 1x8 배열 안테나의 반사손실 및 격리도 시뮬레이션 결과

Fig. 5 Simulated results for the return loss and isolation characteristics of a 1x8 array antenna



(a) 수신 패턴 (Rx pattern @12.25 GHz)



(b) 송신 패턴(Tx pattern @14.25GHz)

그림 6. 1x8 배열 안테나의 방위각 방향 방사 패턴 시뮬레이션 결과(실선 : co-polarization, 점선 : cross-polarization)

Fig. 6 Simulated radiation patterns of 1x8 array antennas in the azimuth plane (solid: co-polarization pattern, dotted: cross-polarization pattern)

또한, 송신 대역 (14.0~14.5 GHz) 내에서 반사손실은 -22 dB이하, 임피던스 대역폭은 11 % 이상 임을 알 수 있다. 송신 및 수신 포트 간 격리도는 11.7~14.5 GHz 대역 내에서 -27 dB이하이며, 수신 대역 내 안테나 이득은 18.1~18.9 dBi, 송신 대역 내 안테나 이득은 18.5~18.7 dBi임을 시뮬레이션을 통해 얻었다. 그림 6은 설계된 배열 안테나의 방위각 방향 방사 패턴의 시뮬레이션 결과로서 송신 및 수신 패턴에 있어서 부엽레벨은 -11 dB이하이고, 교차편파 레벨은 -27 dB이하이며, 3-dB 빔폭은 12.25 GHz, 14.25 GHz에서 각각 6.7도, 5.4도의 결과를 보였다

2.3. 배열 안테나의 제작 및 측정

제안된 배열 안테나의 설계 결과에 대한 타당성을 검증하기 위하여, 1x8 송/수신 겸용 배열 안테나를 제작하였다. 그림 7은 실제 제작된 1x8 배열 안테나의 사진이다. 그림 8은 Agilent사의 Vector Network Analyzer 8510C를 이용하여 측정한 제작된 안테나의 반사손실 및 송수신 격리도결과이다. 수신 포트에 있어서 그림 5의 시뮬레이션 결과와 그림 8의 측정 결과를 비교해보면, 반사손실 결과에 있어서는 약 200 MHz정도 주파수가 천이된 것을 알 수 있다. 송신 포트에 있어서의 반사 손실은 시뮬레이션 결과보다 약 10 dB 이상의 열화된 특성을 보이지만, 송/수신 전체 대역에 있어서 -12 dB이하의 비교적 양호한 반사 손실 성능을 유지한다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 격리도 특성에 있어서도 송/수신 동작 대역 내에서 -25 dB이하로 양호한 결과를 보인다. 그림 9는 제작된 1x8배열 안테나의 방사 패턴 측정결과로서 그림 6의 시뮬레이션 패턴과 비교하여 거의 일치함을 알 수 있다. 패턴에 있어서 교차편파 레벨은 송/수신 패턴 모두에 대하여 -22 dB이하, 부엽레벨은 송신 대역에 있어서 -9.4 dB 이하, 수신 대역에 있어서 -9.9 dB 이하의 결과를 보였다.

그림 7. 제작된 삼중 적층 마이크로스트립 패치 1x8 배열 안테나

Fig. 7 Photograph of the fabricated three-stacked 1x8 array antenna

표 3은 제작된1x8 배열 안테나의 측정된 이득 결과로서, 수신 대역 내 이득은 17.1~18.1 dBi, 송신 대역 내 이득은 17.5~17.8 dBi로 시뮬레이션 결과와 비교하여 약 1 dB 정도 차이를 보였다. 이는 제작 공정 및 측정 상의 오차일 뿐 아니라 복잡한 급전 선로 손실에 대한 시뮬레이션 프로그램상의 미세한 예측 오차에 따른 결과라 할 수 있다.

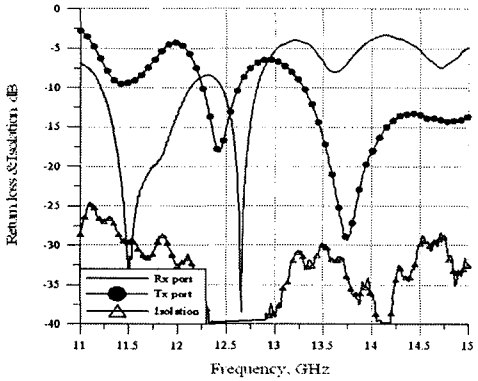
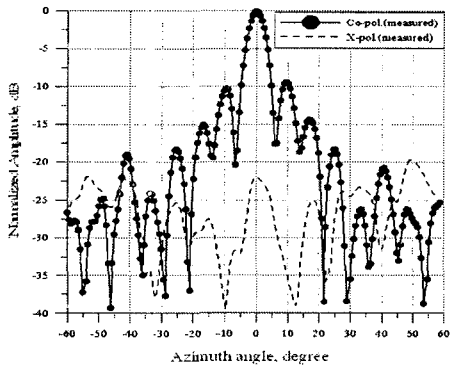


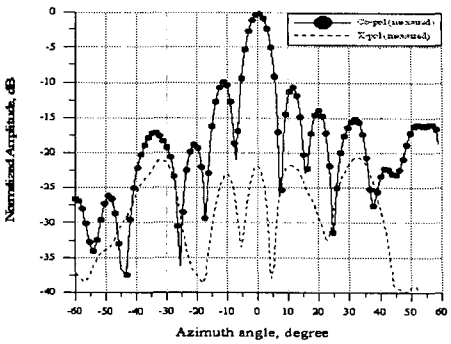
그림 8. 제작된 1x8 배열 안테나의 반사손실 및 격리도 측정결과
Fig. 8 Measured results for the return loss and isolation characteristics of a fabricated 1x8 array antenna

표 3. 실제 제작된 송/수신 겸용 1x8 배열 안테나의 이득
Table. 3 Measured gain of the fabricated 1x8 array antenna for dual Tx and Rx

항목	수신 대역			송신 대역		
주파수[GHz]	11.7	12.25	12.75	14.0	14.25	14.5
이득[dBi]	18.1	17.5	17.1	17.8	17.5	17.5



(a) 수신 패턴 (Rx pattern @12.25 GHz)



(b)송신 패턴 (Tx pattern @14.25 GHz)

그림 9. 1x8 배열 안테나의 방위각 방향 방사 패턴 측정결과
(실선 : co-polarization, 점선 : cross-polarization)
Fig. 9 Measured radiation patterns of 1x8 array antennas in the azimuth plane
(solid: co-pol. pattern, dotted: cross-pol. pattern)

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 Ku-대역 양방향 위성 통신 및 위성 방송 수신을 위한 지상국에서 단위소자 안테나로 사용 가능한 송/수신 겸용 마이크로스트립 패치 소자를 이용한 배열 안테나의 새로운 형태를 제안하였다. 제안된 안테나는 고이득, 광대역 특성을 얻기 위하여 삼중 적층 구조로 설계하였고, 다중 층을 이용한 구조의 복잡성을 최소화하고자 동일 기판상에 송/수신 급전회로를 배치하였다. 이러한 배열 안테나의 실용성을 검증하기 위하여 1x8 배열 안테나를 실제 제작 및 측정하였다. 측정 결과는 비교적 Ensemble를 이용한 시뮬레이션 결과와 유사한 경향을 보였다. 삼중 적층 마이크로스트립 패치 안테나의 단일소자 성능을 살펴보면, 송/수신 대역 내 이득은 10~11 dBi, 임피던스 대역폭은 10~12 %정도의 결과를 보였다. 상기 단일소자는 실제 안테나 시스템 상에 구현하기 위해서 1x8 배열 형태로 확장하였으며, 제작된 배열 안테나는 송/수신 전 대역 내에서 17.1~18.1 dBi, 반사손실은 -12 dB이하, 송수신 격리도는 -25 dB이하로 나타났다. 예측했던 바와 같이 제안된 삼중 적층 구조 안테나는 고이득, 광대역 특성을 가졌다.

결과적으로 제안된 송/수신 겸용 삼중 적층 구조의 마이크로스트립 패치 배열 안테나는 비교적 작은 크기로

고이득, 광대역 특성을 만족시킬 수 있음을 본 논문을 통해서 확인하였다. 제작된 마이크로스트립 패치 배열 안테나는 Ku-대역 양방향 통신 혹은 방송용 지상국 안테나 시스템의 단위 방사 소자로서 활용 가능하다. 지상국 안테나의 원하는 이득과 패턴을 위해 다수의 마이크로스트립 패치 배열 안테나를 공간적으로 배치하면 소형, 경량화된 안테나 시스템을 제작할 수 있으리라 생각한다.

참고문헌

[1] R.Q.Lee, K.F.Lee, and J. Bobinchak, "Characteristics of a two-layer electromagnetically coupled rectangular patch antenna", Electron. Lett., vol. 23, pp. 1079-1072, 1987

[2] Eisuke Nishiyama, Shigeru Egashira, and Akihide Sakitani, "Stacked circular polarized microstrip antenna with wide band and high", Proc. Of IEEE AP-S Int. Symp. and URSI Radio science meeting, pp. 1923-1926, 1992

[3] M. Rubelj, P. F. Wahid, and C. G. Christodoulou, "A microstrip antenna array for direct broadcast satellite receivers", Microwave and Optical Technology Lett., vol.15, issu.2, pp.68-72, 1997.

[4] Shigeru Egashira, Eisuke Nishiyama and Akihide Sakitani, "Stacked microstrip antenna with wide band and high gain", IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.44, issu.11, pp.1533-1534,1996.

[5] U.K. Revankar and A.Kumar, "Broadband stacked three-layer circular microstrip antenna arrays", Electron. Lett., vol. 28, no. 21, pp. 1995-1997, 1992.

[6] U.H. Park et al., "A novel mobile antenna for Ku-Band satellite communications", ETRI J., vol. 27, no. 3, pp. 243-249, 2005.

저자소개

박 웅 희(Ung-Hee Park)

2000년 서강대학교 전자공학과 공학박사
2000.3~2006.8 한국전자통신연구원 안테나기술팀 선임연구원
2006.8~현재 강원대학교 삼척캠퍼스 전자공학과 조교수
※관심분야 : 마이크로파 및 안테나 설계

노 행 숙(Haeng-Sook Noh)

1995년 단국대학교 전자공학과 공학사
1999년 단국대학교 전자공학과 공학석사
2000년~현재 한국전자통신연구원 전파기반부 선임연구원
※관심분야 : 마이크로파 및 안테나 설계