

X-band 송/수신 겸용 마이크로스트립 배열 안테나 설계

정희원 노행숙*, 윤재승*, 전순익*

Design of Microstrip array antennas for Tx/Rx dual operation at X-band

Haeng-sook Noh*, Jae-Seung Yun*, Soon-Ik Jeon* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 위성통신용 송/수신 안테나 시스템을 위한 배열 안테나를 설계하고, 이를 제작하여 그 결과를 검증한다. 본 논문에 제시된 안테나는 하나의 마이크로스트립 패치 소자로 송/수신을 겸용하기 위하여 광대역 특성을 가지며, 송/수신 주파수 대역에서 각각 우원편파와 좌원편파로 동작하도록 설계하였다. 특히 광대역 특성을 얻기 위해 적층 기술을 이용하였고, 원형편파 생성을 위해 truncated square 형태의 정사각형 소자를 이용하였으며, 2x1 시퀀셜 로테이션 배열 방식을 적용하여 대역폭 특성을 더욱 개선시켰다. 설계 결과에 대한 타당성을 검증하기 위하여 8x1 마이크로스트립 배열 안테나를 제작 및 측정하여 시뮬레이션 결과와 비교하였으며, 측정결과는 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 보였다.

ABSTRACT

Tx/Rx dual microstrip array antennas for satellite communications are designed, fabricated, and measured in this paper. They have a Right Handed Circular Polarization (RHCP) for Tx and Left Handed Circular Polarization (LHCP) for Rx. Two stacked patches are used for wideband characteristics and corner-truncated square patches are adopted for a circular polarization. To enhance bandwidth characteristics of a circular polarization, 2x1 sequential rotation arrays are applied. From the measured results, 8x1 microstrip array antennas have a good agreement with those of the simulation. Therefore the array antennas are applicable to satellite communication antennas, active phased array antennas, and radiators in other antennas.

I. 서론

최근 위성통신 및 이동통신과 같은 무선 통신서비스는 상당한 발전을 거듭해 왔다. 이러한 서비스를 고품질로 사용하기 위해서 통신시스템의 한 구성요소로서 송/수신 최전단인 안테나 기술의 중요성이 증가되고 있다. 특히 통신시스템을 좀더 가볍고, 이동이 비교적 간편한 시스템을 구현하기 위해 안테나 하나로 송/수신을 겸용할 수 있는 광대역 안테

나^{[1],[2]}의 연구가 필요하게 되었다. 이에 적용하기 위한 안테나로서 마이크로스트립 패치 안테나는 기존의 다이폴이나 반사기 안테나보다 소형, 경량, 박형이며, 제작이 용이하고, 가격면에서도 저렴할 뿐만 아니라 대량생산이 가능하므로 여러 통신 분야에 많이 사용되고 있다. 그러나 송/수신 겸용 안테나의 소자로서 마이크로스트립 안테나는 복사효율이 낮고, 대역폭이 매우 좁다는 단점을 가지고 있다. 따라서 마이크로스트립 안테나의 이러한 협대역 특성

* 한국전자통신연구원 무선방송연구소(hsno@etri.re.kr, jsyun@etri.re.kr, sijeon@etri.re.kr)

※ 본 논문은 2002년 4월 JCCI 학술대회에서 우수논문으로 선정되어 게재 추천된 논문입니다.

을 개선하기 위해 마이크로스트립 패치 안테나 위에 기생패치층을 덧붙인 적층구조^{[14][15]}를 사용하기도 하고, 원형편파^[3]를 이용하는 안테나의 경우 반사손실과 편파특성을 동시에 개선시킬 수 있는 시퀀셜 로테이션 배열 방법^[4]을 이용하기도 한다.

본 논문에서는 위에서 제시한 방법들을 이용하여 X-band 위성통신용 송수신 겸용 안테나를 설계하였다. 본 논문에 제시된 안테나는 송신 주파수 대역에서는 우원편파를 사용하고, 수신 주파수 대역에서는 좌원편파를 사용한다. 또한 X-band 대역 내에서 송수신이 모두 가능하도록 하기 위해서 약 15% 정도의 광대역 특성을 필요로 하며, 이 안테나는 추후 능동 위상배열 안테나의 방사부로 적용할 목적으로 설계하는 것으로서 뒷단에 부착될 능동모듈과의 조립성을 고려한다면 배열 안테나로 제작하는 것이 유리하다. 따라서 위에서 제시한 모든 조건을 만족하기 위해서 안테나의 방사소자는 좌, 우원편파 특성을 동시에 가지며 광대역이어야 한다. 또한 위상 배열 안테나의 방사부로 사용할 경우 빔 틸트에 따른 그레이팅 로브의 생성을 억제하기 위하여 더욱 좁은 소자간 간격이 요구되며, 따라서 안테나의 크기도 작아져야 한다. 이를 고려하여 본 논문에 제시된 안테나는 단일 방사소자로는 Truncated square patch 형태를 사용하고, 8x1배열구조를 가지며, 급전 방식으로는 대량생산 및 조립성을 감안하여 직접급전 방식을 이용하였다. 또한 광대역 특성을 얻기 위해 적층 구조를 사용하였고, 축비와 광대역 특성을 동시에 개선하기 위해 2x1 시퀀셜 로테이션 배열 방식을 도입하였다. 이 안테나의 설계는 Ensemble 7.0을 이용하였으며, 설계 결과를 검증하기 위해 실제 제작을 통하여 그 성능을 측정하고, 설계 결과와 비교, 검토하였다.

II. 송/수신 겸용 안테나의 설계

본 논문에서는 Truncated square patch 형태의 단일 방사소자를 사용하여 배열 안테나를 설계하였다. 그림 1은 송/수신 겸용 배열 안테나에 사용된 단일 방사소자의 구조이다. 이 구조에 있어서 square patch 크기 및 커팅된 면적은 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 여러가지 형태에 대한 수치계산에 의해 최적의 형태를 찾아 결정하였다. 또한 직접급전된 Radiation patch와 Parasitic patch 사이의 air층을 적절히 조절하여 두개의 적층된 patch의 전기적 결합에 의한 이중공진 효과로 인해 넓은 대역폭을

얻을 수 있도록 하였다. 이때 patch의 형태와 air층의 두께(t_2), 각 유전체의 유전율 및 두께는 서로 상호작용에 의해 성능을 향상 또는 저하시킬 수 있으므로 여러가지 경우에 대한 시뮬레이션을 통하여 최적의 값을 찾아내야 한다.

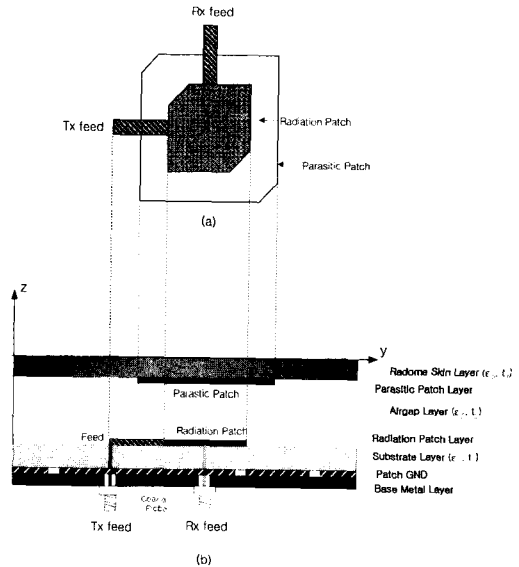


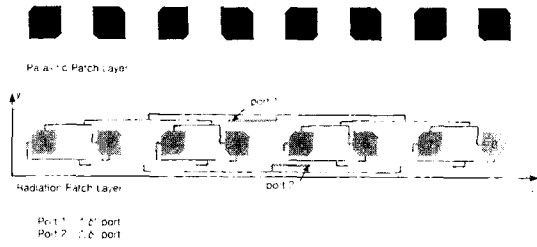
그림 1. 단일 방사소자의 구조 (a)윗면 (b)단면

표 1은 시뮬레이션을 통해 최적화 시킨 송/수신 겸용 마이크로스트립 패치 안테나에 사용된 유전체 기판과 air층의 두께 및 유전율을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 과정을 통하여 표 1의 air층 두께 2.5mm일 경우 원하는 대역 내에서 반사손실 대역 특성이나 격리도면에서 가장 최적화된 특성을 얻을 수 있었다.

표 1. 송/수신 겸용 마이크로스트립 패치 안테나 유전체 기판과 air층의 두께와 유전율

Radome skin permittivity	ϵ_{r3}	2.5
Radome skin thickness	t_3	0.508mm
Air-gap permittivity	ϵ_{r2}	1
Air-gap thickness	t_2	2.5mm
Substrate permittivity	ϵ_{r1}	3.5
Substrate thickness	t_1	0.508mm

그림 2에서는 그림 1의 단일 패치를 이용하여 실제 제작된 송/수신 겸용 8x1배열 안테나를 도시하였다. 이 배열 안테나에 있어서 배열 간격은 빔 조향범위 내에서 그레이팅 로브가 발생하지 않도록 식(1)을 이용하여 결정하였다.



-> Port 1 : 수신 급전port , Port 2: 송신 급전port
 그림 2. 8x1 Truncated square patch 배열 안테나

$$\frac{d}{\lambda} < \frac{1}{1 + |\sin \theta_0|} \quad (\theta_0: \text{빔조향 최대각도})^{[1]} \quad (1)$$

본 안테나는 32x32 능동 위상배열 안테나에 적용할 목적으로 설계하였으며, 이때 양각 방향으로 최대 35°, 방위각 방향으로 최대 4°로 빔을 조향하는 것을 목표로 한다. 이러한 조건과 추후 안테나 뒷단에 부착될 능동채널의 수 등을 고려하여 배열 안테나의 소자수는 8x1로 하였으며, 식 (1)의 조건을 만족하기 위해서는 소자간 간격이 최대 0.630λ₀이어야 한다. 그러나 송/수신 겸용 안테나 구현을 위한 단일기판 내 회로 구현의 복잡성으로 인하여 실제 소자간의 간격은 급전선 배치 등의 편의를 위해 0.750λ₀으로 설계하였다. 이 배열 안테나의 각 유전체 두께와 유전율은 표 1과 같다. 그리고 Radiation patch는 stub와 λ_g/4 Transformer를 사용하여 임피던스 정합하였으며, 급전형태는 T-Junction 전력분배기를 이용한 직접급전 방식을 사용하였다. 또한 설계된 안테나는 그림 2와 같이 patch 1과 2, patch 3과 4, patch 5과 6, patch 7과 8이 각각 서로 0°, 90°의 위상차를 갖도록 함으로서 시퀀셜 로테이션 배열 방법을 사용하여 안테나의 반사손실과 편파 대역폭 특성을 개선시키는 효과를 갖게 하였다.

그림 3은 앞서 논의된 조건들을 만족하도록 8x1 배열 안테나를 설계하였을 경우 air층 두께에 따른 격리도 특성을 제시한 것이다. 각 경우에 있어서 반사손실 특성은 큰 차이가 없으므로 그 결과는 생략하였다. 본 논문에서 설계하고자 하는 안테나는 송/수신 겸용으로서 수신 대역 7.25GHz~7.75GHz이면서, 송신 대역 7.9GHz~8.40GHz 내에서 격리도 특성이 뛰어나 송신 신호가 수신 신호에 간섭을 주지 않아야 한다. 따라서 배열 안테나에 있어서 이 조건을 만족시키기 위해 air층 두께는 2.5mm로 선택되었음을 알 수 있다.

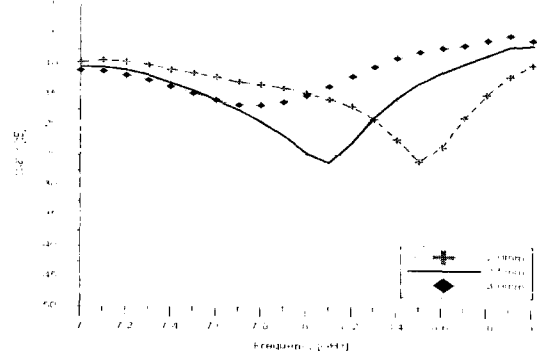


그림 3. 8x1 배열 안테나의 반사손실과 송/수신 격리도의 시뮬레이션 결과 (a) 반사손실 (b) 송/수신 격리도

그림 4(a)는 그림 2에 도시된 배열 안테나의 반사손실과 격리도 특성에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 수신대역인 7.25~7.75GHz에 대하여 대역 내에서 -15dB이하의 반사손실 특성을 보이며, 반사손실 대역폭(-10dB 이하)은 25%이상임을 알 수 있다. 또한 송신 대역인 7.9~8.4GHz에 대하여 대역 내에서 -18dB이하의 반사손실을 보이며, 반사손실 대역폭은 25% 이상임을 알 수 있다.

그림 4(b)는 송/수신 간의 격리도 특성을 나타낸 것으로서 7~8.7GHz 대역 내에서 송/수신 격리도는 -10dB이하이며, 특히 송신 주파수 대역내의 7.9~8.4GHz 부근에서는 -15dB이하의 특성을 보인다.

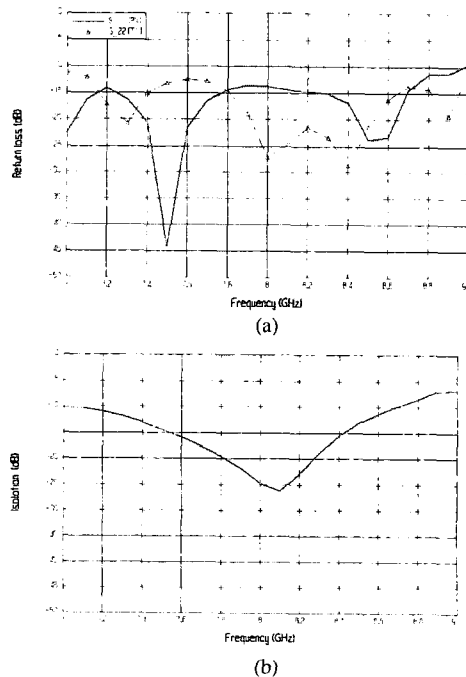


그림 4. 8x1 배열 안테나의 반사손실과 송/수신 격리도의 시뮬레이션 결과 (a) 반사손실 (b) 송/수신 격리도

그림 5는 설계된 안테나의 이득 및 축비 특성을 나타낸 그래프이다. 수신출력 port에 있어서 수신대역 내 이득은 15.1~16.0dBi이고, 축비는 1.5dB이하이며, 축비 2.0 dB 이하의 대역폭은 23%이다. 그리고 송신입력 port에서의 송신대역 내 이득은 16.2~16.7dBi이고, 축비는 1.5dB이하이며, 축비 2.0 dB를 만족하는 대역폭은 19%이다.

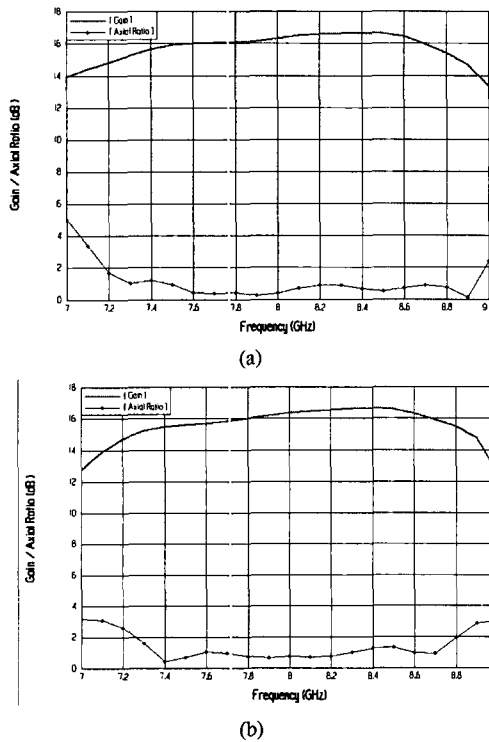


그림 5. 8x1 배열 안테나 이득과 축비 시뮬레이션 결과 (a) port1 (Rx port) (b) port2 (Tx port)

그림 6는 설계된 안테나의 방사패턴을 나타낸 것으로서 그림 6(a)는 좌원편파를 이용한 수신대역 중 7.5GHz에서의 방위각 방향 패턴(Azimuth plane pattern)을 나타낸 것이고, 그림 6(b)는 우원편파를 이용한 송신대역 중 8.15GHz에서의 패턴을 나타낸 것이다. 여기서 부엽 레벨은 7.5GHz, 8.15GHz에서 모두 12dB이하의 특성을 보이고, 3dB빔폭은 각각 8.6°, 8°이다. 방사패턴에 있어서 양각 방향 패턴(Elevation plane pattern)은 일반적인 패치 안테나의 단일 방사소자 패턴과 유사하므로 이는 생략하였다.

III. 제작 및 측정결과 검토

본 절에서는 그림 2에서 제시한 배열 안테나의

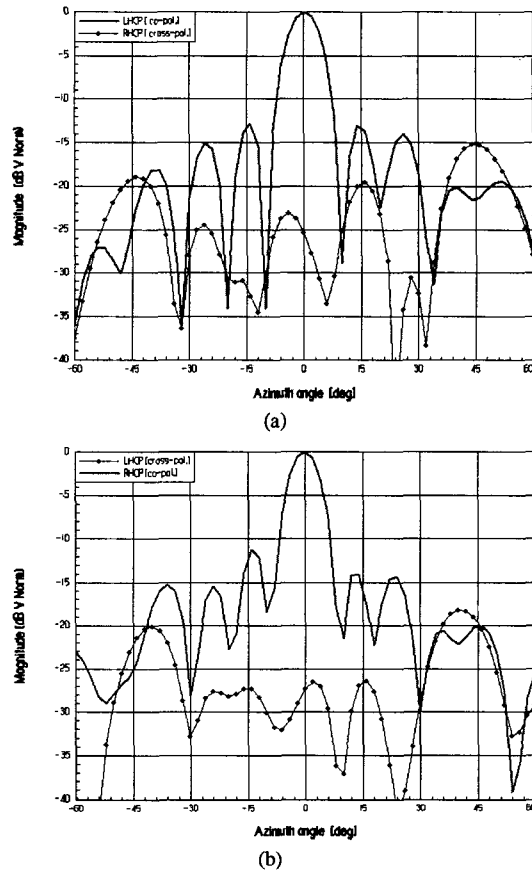


그림 6. 8x1 배열 안테나의 방위각 방향 방사패턴 시뮬레이션 결과 (a) $f_{c_rx}=7.5GHz$ (b) $f_{c_tx}=8.15GHz$

설계결과에 대한 타당성을 검증하기 위해 송/수신 겸용 배열 안테나를 실제 제작하고, 측정하여 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교하였다. 실제 제작하기에 앞서 본 안테나는 적층구조로서 조립시 각 층간의 어라인 오차로 인한 성능의 저하를 가져올 수 있다. 따라서 그림 7에서는 크기가 같은 두 층 조립시 Radiation patch layer를 기준으로 Parasitic patch layer가 수평방향으로 -0.1, 0, +0.1mm 만큼 어긋났을 경우에 대한 반사손실과 격리도에 대한 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 그림 7을 통해 알 수 있는 바와 같이 수평방향 ±0.1mm의 오차에 대하여 송/수신 반사손실 및 격리도 특성은 큰 변화를 보이지 않으며 성능저하에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

그림 8은 실제 제작된 송/수신 겸용 배열 안테나로서 그림 8(a)는 제작된 8x4 배열 안테나의 Parasitic patch 층의 뒷면이고, 그림 8(b)는 Radiation patch 층의 앞면이며, 그림 8(c)는 Parasitic

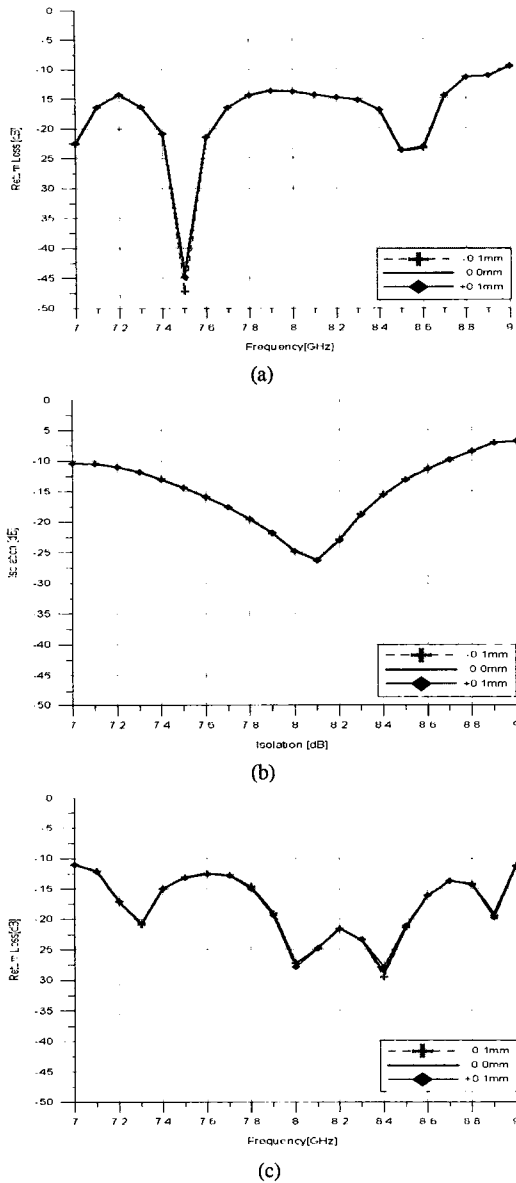


그림 7. 층간 어라인 오차에 따른 시뮬레이션 비교 결과
 (a) 수신 port 반사손실
 (b) 송/수신 간의 격리도
 (c) 송신 port 반사손실

patch, airgap, Radiation patch 층을 모두 조립한 그림을 나타낸 것이다. 여기서 실제 안테나 제작에 있어서 한 개의 채널은 8x1 배열 안테나로, 즉, 부 배열 단위로 동작하나 다수의 배열 안테나로 확장하기 위해 제작 및 능동 모듈과의 조립 편의성을 고려하여 8x1 부배열 소자 4개로 구성된 8x4 배열 안테나 단위로 제작하였다.

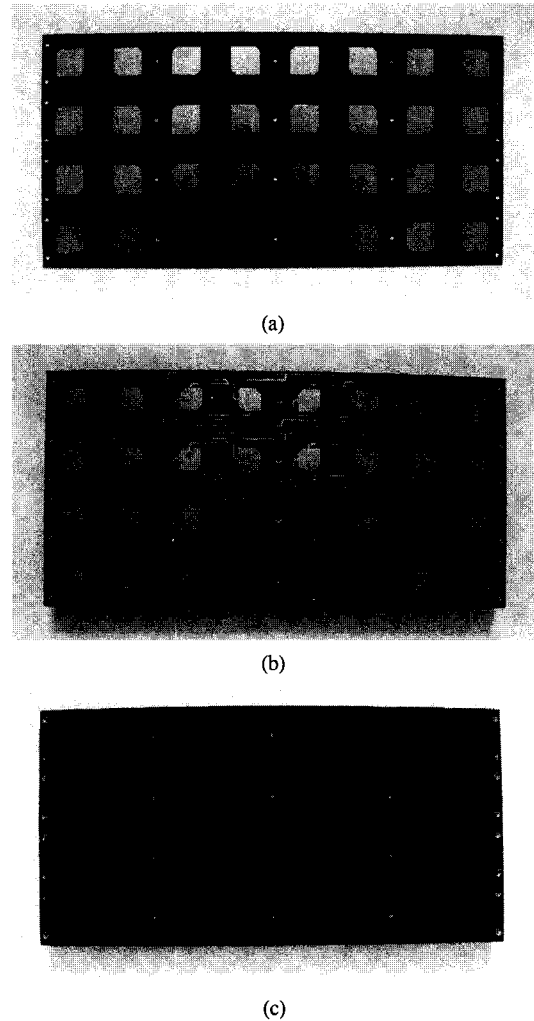


그림 8. 실제 제작된 송/수신 겸용 배열 안테나
 (a) Parasitic patch layer 뒷면
 (b) Radiation patch layer 앞면
 (c) 조립된 송/수신 겸용 배열 안테나의 앞면

그림 9은 제작된 안테나의 반사손실과 격리도 특성에 대한 측정 결과를 나타낸 것이고, 그림 10은 제작된 안테나의 방위각 방향 방사패턴을 나타낸 것이다. 그림 9에 의하면 반사손실 측정결과는 수신 port의 경우 시뮬레이션 결과와 거의 유사한 경향을 보이고, 송신 port에서는 전대역에서 5dB정도 반사손실이 나빠진 경향을 보이거나 전체적으로 -14dB이하로 양호한 성능을 보인다. 또한 송/수신 격리도 특성에 있어서는 시뮬레이션 결과에서는 8.15GHz에서 가장 좋은 특성을 보이거나 측정결과에서는 7.98GHz에서 피크값을 보여 약 200MHz정도 주파수가 천이된 경향을 보였다. 또한 그림 10의 방사패턴 측정결과에 의하면 수신 대역 내 7.5GHz와 송

신 대역 내 8.15GHz의 방사패턴은 시뮬레이션 결과와 거의 유사하나 전체적으로 부엽레벨이나 교차편파 레벨이 최대 5dB정도 높아진 경향을 보인다. 이는 높은 임피던스의 스텐브에 의한 제작상의 오차와 Near-field System에 의한 패턴 측정 시 전자파가 완전히 차폐되지 않은 환경 상의 오차 때문이라고 사료된다.

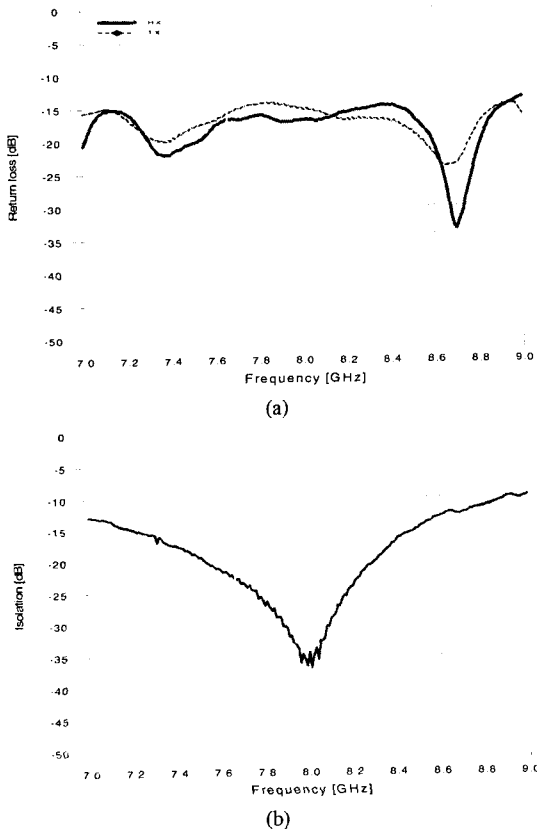


그림 9. 8x1 배열 안테나의 반사손실과 송수신 격리도의 측정 결과 (a) 반사손실 (b) 송수신 격리도

표 2는 측정된 안테나 이득을 나타낸다. 안테나 이득면에 있어서 측정결과는 수신 대역 이득이 13.3~14.3dB이고, 송신 대역 이득은 14.1~14.6dB로 나타났다. 이는 설계 프로그램인 Ensemble 7.0이 급전선의 bending이나 junction에서의 불요방사 등을 정확히 고려하지 못할 뿐만 아니라 substrate layer($\epsilon_{r1}=3.5$)로 사용된 기판의 유전율과 탄젠트 손실 등의 전기적 특성이 전체적으로 균일하지 못하기 때문으로, 송신 대역과 같은 높은 주파수일수록 급전 손실이 시뮬레이션보다 더욱 큰 값을 가졌다.

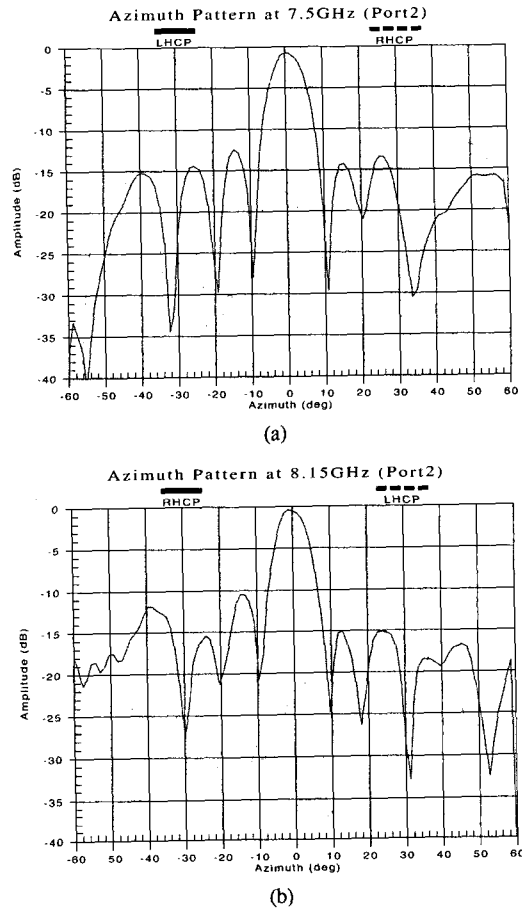


그림 10. 8x1 배열 안테나의 방위각 방향 방사패턴 측정결과 (a) $f_{c_rx}=7.5GHz$, (b) $f_{c_tx}=8.15GHz$

표 2. 제작된 송수신 겸용 8x1 배열 안테나 이득

주파수[GHz]	수신 대역			송신 대역		
	7.25	7.50	7.75	7.90	8.15	8.40
이득[dBi]	13.3	14.1	14.3	14.1	14.6	14.3

IV. 결론

본 논문에서 마이크로스트립 패치 소자를 이용한 X-band 위성통신용 송수신 겸용 안테나를 제시하였다. 일반적으로 송수신 겸용 안테나를 구현하기 위해서는 송수신 급전 포트를 각기 다른 층에 위치시킴으로서 두 급전 회로 간의 상호 간섭도 줄이고 광대역 특성도 동시에 개선시키기 위해 직접 급전 방식과 개구결합 방식이나 비아홀 급전방식을 혼합한 구조를 이용한다. 그러나 이러한 방식들은 안테나 부피가 커지고 층간 어라인 문제로 인해 대량

생산에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에 제시된 안테나는 이러한 문제를 해결하기 위해 단일 patch에 직접 이중 급전을 함으로써 송/수신 분리 안테나에 비해 부피를 줄이고, 다층기판을 이용할 경우의 어라인 문제도 해결하였으며, 적층구조 형태와 시퀀셜 로테이션 방법을 이용함으로써 반사손실 및 편파 특성면에서 광대역 특성도 얻을 수 있었다. 이러한 특성을 검증하기 위해 설계한 안테나를 직접 제작, 측정된 결과 대체적으로 설계결과와 유사한 경향을 보였다. 따라서 본 논문에서 제시한 안테나는 실제 송수신 겸용 위성통신이나 그 밖의 안테나 시스템 방식부로서 적용 가능하리라 생각된다.

참 고 문 헌

[1] J.R James, and P.S. Hall, *Handbook of microstrip antennas*, London: Peter Peregrinus, 1989.
 [2] HANEISHI, M., YOSHIDA, S., and GOTO, N., "A broadband microstrip array composed of single-feed type circularly polarized microstrip antennas," in *Int. Symp. Dig. Antennas Propagat. Soc.*, May. 1982, pp. 160-163
 [3] P. C. SHARMA, and KULCIP C. GUPTA, "Analysis and optimized design of single feed circularly polarized microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-31, No. 6, pp. 949-954, Nov. 1983.
 [4] P. S. Hall, "Dual circularly polarized sequentially rotation microstrip array with high isolation," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 5, pp. 236-239, May. 1992.
 [5] 김남현, 노광현, 강영진, "이동통신 기지국을 위한 적층된 원형 마이크로스트립 안테나 설계", *전자공학회논문지*, 제 37권, TC편, 제 2호, pp.181-188, 2000년 2월

노 행 속(Haeng-Sook Noh)



1995년 2월 : 단국대학교
전자공학과 졸업
1999년 8월 : 단국대학교
전자공학과 석사
2000년 5월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 연구원

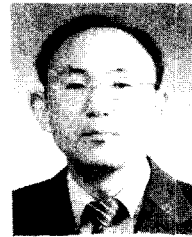
<주관심 분야> 위성 배열 안테나 설계

윤 재 승(Jae-Seung Yun)

1999년 2월 : 연세대학교 전기공학과 졸업
2001년 2월 : 포항공과대학교 전자컴퓨터공학과 석사
2001년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 연구원

<주관심 분야> 안테나 설계, 위성 변위기 설계

전 순 익(Soon-Ik Jeon)



1984년 2월 : 고려대학교
전자공학과 졸업
1996년 2월 : 고려대학교
전자공학과 석사
1990년 9월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<주관심 분야> 초고주파 수동/능동 부품 설계, 위성 통신 RF 시스템 설계, 위성 배열 안테나 시스템 설계