

Ku 대역 위성통신 송수신 겸용 마이크로스트립 8×2 배열 안테나

Satellite Communication Microstrip 8×2 Array Antenna for TX / RX Dual Operation at Ku-band

윤재승 · 전순익 · 최재익 · 채종석

Jae-Seung Yun · Soon-Ik Jeon · Jae-Ick Choi · Jong-Suk Chae

요 약

본 논문에서는 이동차량에서 위성과의 송, 수신 양방향 서비스와 위성 방송 수신을 목적으로 하는 능동 위상 배열 마이크로스트립 안테나를 위한 8×2 부배열을 설계, 제작, 측정하였다. 수신 11.7~12.75 GHz, 송신 14~14.5 GHz 대역에 대하여 단일 소자로 송, 수신을 위하여 ±45° 직교화 된 두 개의 선형 편파를 사용한다. 수신 대역의 광대역 특성을 위하여 두 패치 사이의 이중 공진을 이용하였고, 공기층의 두께를 조절하여 20 dB 이상의 격리도 특성을 보였다. 양각 방향에 대하여 전기적으로 30° 빔 틸트 하였으며 낮은 부엽 수준을 위하여 테이퍼형 전력분배와 좁은 소자간 간격을 사용하였다.

Abstract

Microstrip 8×2 sub-array antennas for a extension to active phased array antennas are designed, fabricated and measured for TX/RX dual operation in satellite communication and a reception of satellite broadcasting. For the frequency range from 11.7 to 12.75 GHz for RX and from 14 to 14.5 GHz for TX, two orthogonal linear polarizations of ±45° are used to transmit and receive simultaneously with one radiator. They adopt dual resonance between two patches for wideband characteristics in RX band and show isolation characteristics over 20 dB. An electrical beam tilt of 30° is achieved and a tapered power distribution, narrow element spacing are used for the purpose of low side-lobe characteristics.

Key words : Microstrip, Array Antennas, TX/RX Dual Operation

I. 서 론

1995년 8월 국내 최초의 통신방송위성 무궁화 1호가 발사된 이래 현재 3호가 발사되어 통신 및 방송 서비스를 하고 있다. 통신용은 송, 수신 양방향 서비스를 요구하며, 송, 수신 각각 직교화된 선형편파를 사용한다. 기존의 이동 차량 내에서 위성 서비스는 지구국을 통한 통신이 그 주류를 이루었으며,

높은 안테나 이득과 정교한 빔 자세 제어 등이 크게 요구되지 않았다. 하지만 군사적인 목적이나 위성 지구국을 통한 서비스가 어려운 경우, 위성과의 직접 통신이 요구된다.^[1]

또한 다양한 서비스를 수용하려는 요구가 증가함에 따라 이동 차량 내에서 위성 방송 수신에 대한 필요성이 증가되고 있으며, 통신용 안테나로 방송 수신을 겸하고자 한다. 이때 방송용 편파는 원형 편

한국전자통신연구원 무선방송연구소(Radio & Broadcasting Research Lab., Electronics and Telecommunication Research Institute)
· 논문 번호 : 20020307-030
· 수정완료일자 : 2002년 4월 23일

파를 요구하지만^[2], 통신은 선형 편파를 송수신한다.

이동 차량 내에서 위성으로의 직접 송, 수신은 경우 그 위치와 지면의 경사도 등에 따라, 빔 틸트 각도와 요구되는 편파가 변화한다.^[3] 그리고 적도 상에 위성이 다수 존재하므로 고이득과 인접위성으로의 간섭을 줄이기 위하여 방위각 방향으로 좁은 빔폭을 요구한다. 또한 차량 위에 탑재하기 위하여 로우 프로파일 구조로 구현되어야 하므로, 방사소자로 마이크로 스트립 패치 안테나가 적당하다.

안테나의 양각 방향은 우리 나라와 위성의 위도, 경도를 고려할 때 45° 정도의 빔 틸트가 요구되며^[3], 본 논문에서는 전기적으로 30°의 빔 틸트를 구현하고자 한다. 이는 전기적인 빔 스캔에 의해 요구되는 좁은 소자 간 간격과 적용되는 안테나의 실효 개구면 감소로 인한 음영 현상 등을 고려한 것이다.

송, 수신 안테나의 편파 또한 위치와 경사도에 따라 결정되며, 서로 직교하여야 한다. 본 논문에서는 ±45°의 두 편파를 가정하고 배열 안테나를 설계하였다. 이 때 패치 자체가 차지하는 공간이 가장 커서 급전 회로를 위한 공간이 가장 부족하므로 다른 편파 각도에 대해서는 설계가 훨씬 용이하다.

마이크로스트립 패치 안테나는 그 대역폭 특성이 주파수에 민감하므로 넓은 수신 주파수 대역의 서비스를 위하여 광대역 특성이 요구된다. 이를 위한 방법으로 동일 평면 상에 기생패치 구조^[4], 광대역 임피던스 정합회로^[5], 패치에 슬롯 삽입^[6], 광대역 개구면 결합형 안테나^[7], U 슬롯 안테나^[8] 등이 있으나, 공간적인 제약^{[4][5]}이나 동축 급전등의 부적절성^[7] 등으로 인하여 모두 적절하지 않다. 그러므로 본 논문에서는 두 패치를 공기층을 사이에 두고 적층시켜 그 이중 공진을 이용한 방법^[9]을 사용한다.

급전회로의 설계는 양각 방향으로 빔 틸트를 위해 테이퍼된 전력 분배를, 방위각 방향으로는 균일 전력 분배로 하였고 송신 회로는 비교적 좁은 대역폭이므로 직렬형 급전구조를 수신 회로는 병렬형 급전 구조를 이용하여 이득 특성과 공간 제약 특성을 최적화 하였다.

II. 배열 안테나 설계

2-1 안테나 요구 사항

위성 통신용 송, 수신 겸용 이동 차량 안테나의 기술적 요구 사항은 편파각, 방위각과 양각의 빔 틸트 각도, 송/수신 간 격리도, 교차 편파 분리도 등이다. 편파각은 우리 나라 여러 지방의 위도와 경도에 따라 다소 다른 값을 가지며 지면의 경사각에 따라 변한다. 따라서 이동차량의 경우 원칙적으로 편파기를 이용하여 선형 편파의 각도를 가변시켜야 하지만 본 논문에서는 위치와 그 경사각이 크지 않는 것으로 가정하여 안테나 소자를 임의의 각도에 고정시켜 원하는 편파각을 얻어서 사용하였다. 본 논문에서는 편파각을 45°로 가정하고 방사소자를 회전하여 편파 불일치가 가장 극단적인 경우에 대하여 설계하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 이 경우가 설계시 공간 제약이 또한 가장 큰 경우에 해당된다.

그 다음은 송/수신 간 격리도로 본 논문에서는 배열 안테나 시 수신 -20 dB 이하, 송신 -25dB 이하를 목표로 한다. 일반적으로 이중 급전시 두 포트에서의 요구 대역폭이 증가할수록 상호간 격리도 특성은 저하된다. 본 안테나는 11.7~12.75 GHz, 약 8.6 %의 수신 대역의 넓은 대역폭을 커버해야 하므로 14~14.5 GHz, 약 3.5 %의 송신 대역이 협대역이지만, 수신에 영향을 의하여 그 특성이 저하될 것으로 예상된다. 마지막으로 교차편파 분리도는 송, 수신 모두 -20 dB 이하를 목표로 한다. 교차 편파 분리도는 격리도와 함께 송/수신 겸용 소자의 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 이동 차량용 안테나의 경우 박형의 구조가 필수이므로, 도파관 형태의 필터는 사용을 회피하는 것이 바람직하다. 따라서 안테나 자체의 송, 수신 신호 분리 특성이 우수해야 한다. 교차편파 분리도와 송/수신 격리도를 종합하면 -40 dB 이상의 특성을 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

2-2 단일 안테나 설계

위성 통신과 위성 방송의 수신을 동시에 서비스하기 위하여 마이크로스트립 안테나의 광대역화가 요구되며 이를 위하여 본 논문에서는 직접 급전되는 구동 패치와 공기층을 사이에 두고 전자기적으로 결합되는 스택 패치의 이중 공진을 이용한다.^[9] 이 경우 송/수신 간 격리도 특성의 저하가 예상된다.

따라서 공기층의 두께를 적절히 조절하여 대역폭 조건을 만족시키면서 격리도 특성이 크게 저하되지 않도록 하여야 한다. 일반적으로 공기층의 두께가 증가할수록 상호간의 전자기적 결합이 감소되어 대역폭 특성은 저하되지만 상호 격리도 특성은 개선된다.^[11] 반면에 그 두께가 감소하면 그 반대의 특성을 보인다. 또한 두 패치의 공진 주파수를 조정하여 대역폭과 격리도 특성도 조정 가능하다. 그림 1은 단일 안테나의 구조로 구동 패치와 스택 패치를 각각 나타낸다.

두 장의 기판이 적절한 두께의 공기층을 두고 전자기적으로 결합되어 있으며 구동 패치는 아래 층 기판의 윗면에 송, 수신 이중 급전되어 있다. 공기층 위의 위층 기판의 아래면에 스택 패치가 존재하며 윗 면은 유전체만이 존재하여 레이돔 역할을 한다. 여기서 사용된 공기층의 두께는 송, 수신 대역에서 -15 dB 이하의 반사손실 특성과 -15 dB 이하의 격리도 특성을 만족하도록 반복적인 방법으로 2.5 mm의 값으로 결정하였다. 송, 수신 포트의 정합시, 급전회로를 배열로 확장할 것을 고려하여 선폭의 두께를 좁게 함과 동시에 지나치게 낮은 선폭으로 인한 제작상의 오차와 컨덕터 손실이 크지 않도록 하였다. 송, 수신 각각의 방사 슬롯에서의 입력 임피던스는 두 방사 소자의 스택으로 인하여 일반적인 값인 200 Ω 정도의 값에서 50~100 Ω 정도로 낮아진다. 이는 방사 슬롯을 저항 성분으로 표시된다고 할 때 두 개의 저항 성분이 병렬로 연결되었음을 의미한다.^[11] 따라서 스택패치는 낮은 임피던스를 가지며 이는 높은 임피던스를 가지는 일반적인 경

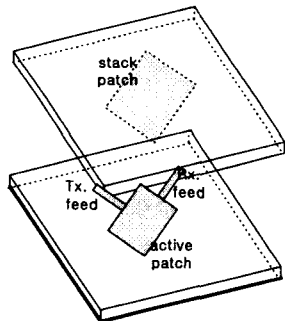


그림 1. 단일 스택 패치 안테나의 구조
Fig. 1. The structure of single stack patch antenna.

우보다 그 선폭이 증가하여 모드 순수성을 유지하기 어려우므로 이중 급전시 직교화된 다른 포트로의 유입 성분을 증가시킨다.^[12] 본 논문에서 사용된 기판은 아래 층 기판은 방사 소자와 송, 수신 급전 회로가 모두 존재하여야 하므로 비유전율, 손실탄젠트, 두께가 각각 $\epsilon_r=3.5, \tan \delta =0.004, h=0.508$ mm의 기판을 사용하였다. 반면에 윗 층 기판에는 능동 패치만 존재하므로 비유전율, 손실탄젠트, 두께가 각각 $\epsilon_r=2.5, \tan \delta =0.0025, h=0.508$ mm인 기판을 사용하였다.

설계된 안테나의 파라미터는 아래의 표 1과 같으며 송신 포트는 안테나에서 62 Ω(0.8 mm)의 폭을 가지는 스택패치를 100 Ω(0.29 mm)으로 정합시켰으며, 수신 포트는 80 Ω(0.5 mm)의 스택패치를 105 Ω(0.26 mm)을 통하여 다시 85 Ω(0.42 mm)으로 정합시켰다. 송, 수신 포트 최종 단의 임피던스는 배열로의 확장과 단일 방사 소자의 반사손실 대역폭, 상호 격리도 등을 고려하여 선택된 값이다. 단일 소자의 송, 수신 반사 손실, 상호간 격리도는 그림 2와 같다.

-15 dB 이하의 수신 반사 손실 대역폭은 11.55~12.85 GHz(10.7%)이며 송신 반사 손실 대역폭은 13.9~14.8 GHz(6.3%)를 얻었다. 이는 송, 수신 대역폭을 충분히 만족시킬 뿐만 아니라 수신 대역폭이 송신 대역폭 보다 넓어야 한다는 조건도 만족시킨다. 수신 안테나 설계 시 대역폭이 송신보다 넓도록 패치의 크기, 스택패치의 임피던스, 단 수 등을 선택하였고, 특히 2단의 스택패치는 송신 대역보다 수신 대역의 대역폭 특성을 개선 시켰을 뿐 아니라 배열 구조로의 확장을 용이하게 하였다. 다음으로 송/수신 격리도 특성은 수신 대역에서 -15~-16.5dB, 송신 대역에서 -20~-22 dB로 송신 포트에서의 큰 전력에 의한 수신 포트로의 유입이 상대적으로 더 적음을 알 수 있다.

표 1. 설계된 단일 안테나 파라미터

Table 1. Simulated single antenna parameter.

	송신	수신
구동패치(L×W)	5.4×6.4 mm	6.4×5.4 mm
스택패치(L×W)	6.5×8.0 mm	8.0×6.5 mm
급전라인(W)	0.29 mm	0.38 mm

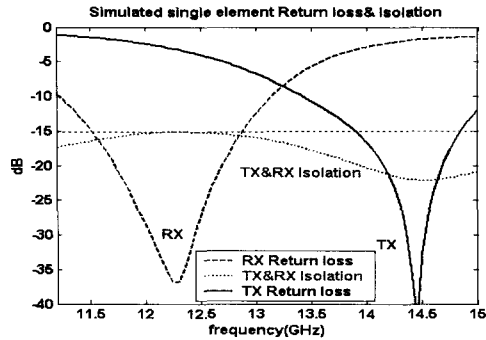
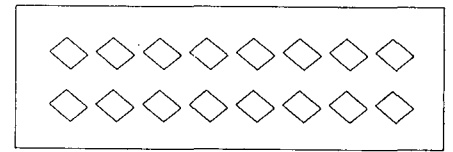


그림 2. 단일 안테나 산란계수 시뮬레이션 결과
Fig. 2. Simulation result of scattering parameter in single antenna.

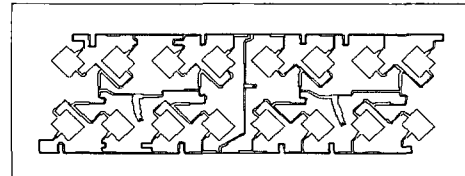
2.3 배열 안테나 설계

배열 안테나는 안테나 뒷 단의 능동 모듈 등과의 결합을 고려하여 그 수를 결정하며 빔 스캔 요구 사항 등이 고려되어야 하며 그에 따라 소자간 간격 등이 결정된다. 송, 수신 겸용 안테나의 경우 급전 회로가 동일 평면 상에 존재하는 경우 1차원 선형 배열이 가능하고 2차원 평면 배열은 원칙적으로 불가능하다. 따라서 기존에 2차원 평면 배열 구조를 위하여 송신과 수신 급전 회로를 층간 분리하는 방법을 사용하였다.^[13] 하지만 이는 전체 안테나 구조를 복잡하게 할 뿐만 아니라 제작 시 기관의 수직 정렬에 의한 오차 등이 Ku 대역에서 성능의 변화를 가져올 수 있다. 따라서 본 논문에서는 송, 수신 급전 구조를 동일 평면 상에 구현하면서도 2차원 평면 배열이 가능한 8×2 배열 안테나를 설계하였다. 그 구조는 아래의 그림 3과 같다.

송, 수신 급전 회로는 각각 한 평면 상에 8×2, 4×2로 구현되지만, 실제적인 기능 블록은 모두 8×2로 동작한다. 송신 급전 회로는 그 대역폭이 5% 미만이므로 직렬형 구조로 급전하였다. 이 때 급전 선간의 전력 분배의 용이함과 주파수에 따른 위상 오차를 감소시키기 위하여 양각 방향의 좌, 우 소자의 중심으로부터 양 끝으로 급전되도록 하였다.^[14] 2차원 평면형 배열 구조를 가능하게 하기 위하여 아래 소자에 대해서는 소자를 180° 회전시키고 윗 소자와 아래 소자의 최종 급전 회로 위상차를 또한 180°가 되게 하였다. 양각 방향의 소자에 대하여 소자



(a) 스택 패치
(a) Stack patch



(b) 구동 패치
(b) Active patch

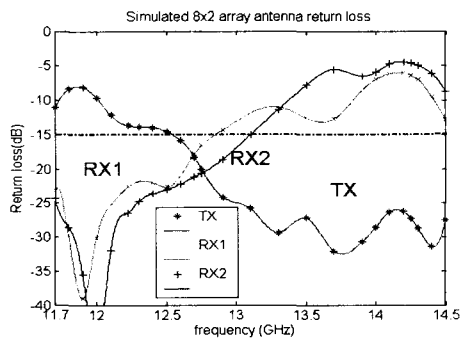
그림 3. 8×2 배열 안테나 구조
Fig. 3. The structure of 8×2 array antenna.

간 간격을 12.5 mm로 하였으며 이는 14.25 GHz에서 $0.59 \lambda_0$ 이다. 이 때 30° 빔 스캔을 위한 요구되는 소자 간 위상차는 102°이다. 30° 빔 스캔 시 부엽 수준이 상승하지 않도록 테이퍼된 전력분배회로를 설계하였다. 방위각 방향에 대해서는 2개의 소자를 사용하며 빔 방향이 브로드 사이드가 되도록 한다. 소자 간 간격은 적절한 이득과 급전회로의 공간등을 고려하여 16.8 mm로 하였다. 양각 방향의 소자에 대하여 테이퍼된 전력 분배를 사용하였으므로 방위각 방향에 대해서도 낮은 부엽 수준이 기대된다. 수신 급전 구조는 2×2를 기본 블록으로 하여 4×2의 기본 급전 구조를 취한다. 하지만 기능적인 전력 분배 구성은 8×2로 동작한다. 수신 대역폭은 8.6%로 5% 이상 광대역이므로 병렬형으로 급전된다. 소자 간 간격은 송, 수신 이중 급전이므로 송신과 동일하며 중심 주파수인 12.225 GHz에서 양각, 방위각 각각 $0.51 \lambda_0$, $0.68 \lambda_0$ 이다. 이 때 30° 빔 스캔을 위한 요구되는 소자 간 위상차는 92°이다. 수신 대역의 주파수가 낮으므로 동일한 간격에 대한 전기적인 소자 간 간격이 감소하였으므로 상대적으로 테이퍼 정도가 적은 비율을 사용하였다. 또한 병렬형 전력 분배가 소자 간 테이퍼를 구현하기 쉽지 않음을 고려하였다. 설계된 8×2 배열 안테나의 반사 손실 및 상호 격리도 특성은 그림 4와 같다. 수신 주파수 대역에서 수신 포트 1, 2는 모두 -15 dB 이

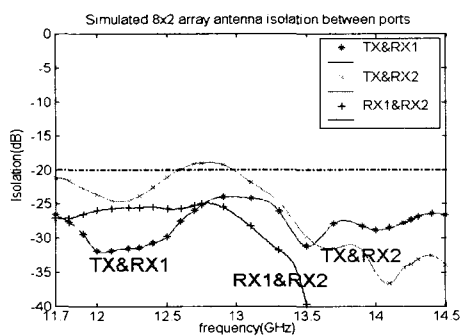
하를 만족시키며, 송신 포트는 단일에 비해 그 대역폭이 매우 증가하여 -25 dB 이하를 만족하였다. 송, 수신 상호 격리도는 수신 대역에서 -20 dB 이하, 송신 대역에서 -25 dB 이하를 만족하였다. 또한 수신 두 포트 간의 격리도는 전 대역에서 -25 dB 이하를 만족하여 요구 조건을 만족하였다.

III. 측정 결과 및 고찰

적층된 구조를 이용한 광대역 송, 수신 겸용 마이크로스트립 배열 안테나는 그림 3과 같이 구동 패치와 기생 패치를 플라스틱 스페이서와 나사를 이용하여 이격시켜 공기층을 구현하여 제작, 측정하였다. 제작된 송, 수신 겸용 8×2 배열 안테나의 반사 손실과 상호 간 격리도 특성이 그림 4에 나타나 있다.



(a) 설계된 8×2 배열 안테나 반사손실
(a) Simulated 8×2 array antenna return loss

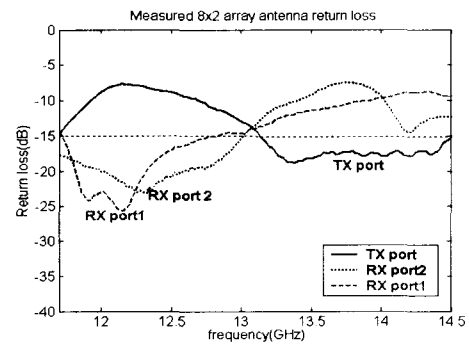


(b) 설계된 8×2 배열 안테나 격리도
(b) Simulated 8×2 array antenna isolation

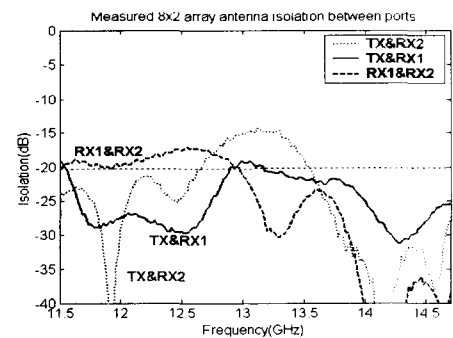
그림 4. 설계된 8×2 배열 안테나 산란계수
Fig. 4. Simulated 8×2 array antenna scattering parameter.

반사손실 대역폭 특성은 -15 dB 이하 기준 수신 포트는 1과 2에 대하여 각각 $11.7 \sim 12.75$ GHz(약 8.6%), $11.5 \sim 12.9$ GHz(약 11.4%)이며, 송신 포트는 $13.2 \sim 14.5$ GHz(약 9.4%)을 보였다. 설계 결과에 비하여 송신 포트는 다소 대역폭이 감소하였으며 수신 포트는 포트 1의 경우는 다소 감소하고 2는 유사한 특성을 보였다. 격리도 특성은 송신과 수신 1포트, 송신과 수신 2포트, 수신 1과 2포트 사이에 대하여 설계 결과와 유사한 특성을 보였다. 먼저 송신과 수신 1포트는 수신 대역에서 -20 dB 이하, 송신 포트에서 -25 dB 이하의 특성을 보였으나, 수신 대역에서 약간 그 값이 상승하고 대역폭 특성이 다소 열화 되었다.

송신과 수신 2포트는 수신 대역, 송신 대역 모두 원하는 특성을 만족하였으나 그 외 주파수에서 약



(a) 측정된 8×2 배열 안테나의 반사손실
(a) Measured 8×2 array antenna return loss



(b) 측정된 8×2 배열 안테나의 격리도
(b) Measured 8×2 array antenna isolation

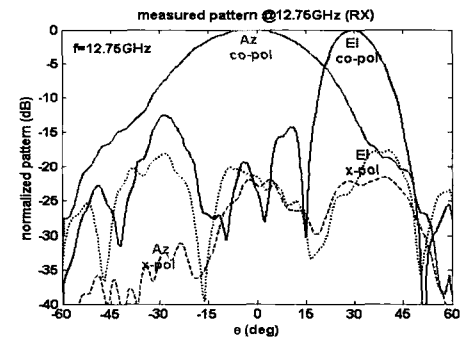
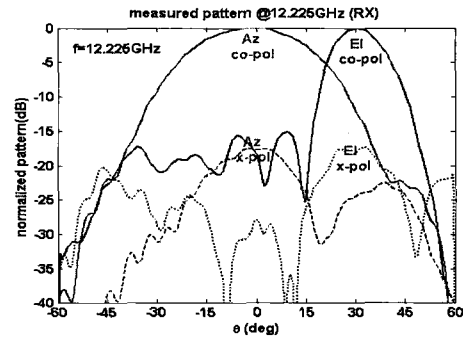
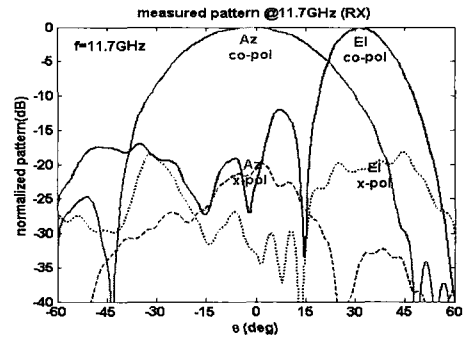
그림 5. 측정된 8×2 배열 안테나의 산란계수
Fig. 5. Measured 8×2 array antenna scattering parameter.

-15~-20 dB 정도로 다소 그 특성이 좋지 않았다. 하지만 설계 결과와는 달리 수신 주파수인 12.0 GHz와 송신 중심 주파수인 14.25 GHz에서 그 값이 설계 결과보다 양호한 결과를 보였다. 특정 주파수에서 격리도의 선택성이 개선되면서 서비스의 주파수 대역에서 다소 열화되었다고 판단할 수 있으며 이는 좀 더 바람직한 결과이다.

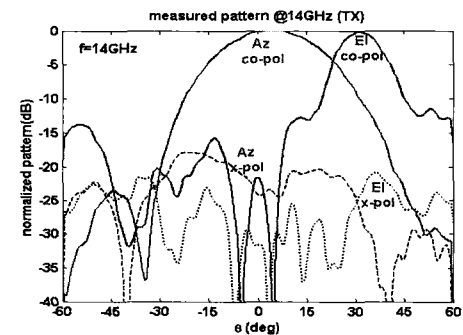
그림 5는 제작된 광대역 송, 수신 겸용 마이크로 마이크로스트립 8×2 배열 안테나의 방사 패턴을 보여주고 있다. 이 방사 패턴은 근접 전계 측정장비를 통해 측정된 데이터로부터 얻어낸 far-field 방사 패턴이다.

제작된 안테나와의 편파를 일치시키기 위하여 측정은 Ku 대역에서 근접전계 측정 장비의 프로브의 편파를 45°에 고정시키고 수행하였다. 그림 (a)는 수신 방사패턴으로 부엽 수준이 방위각 방향에 대하여 -12~-15 dB, 양각 방향에 대하여 -20 dB 이하의 값을 가진다. 교차 편파 수준은 송신에 비하여 다소 특성이 좋지 않으며 -17~-22 dB 정도의 값을 가진다. 이는 방위각 방향의 2소자에 대한 위상차가 180°로부터 오차를 가지는 것과 좁은 공간 내에 위치한 수신포트의 병렬형 급전 회로에 의한 것으로 사료된다. 그림 (b)는 송신 방사패턴으로 부엽 수준이 -12~-15 dB로 수신의 특성과 유사하다. 직렬형 급전으로 인하여 방사 패턴이 주파수에 다소 민감한 특성을 보이지만 중심 주파수에서의 전체적인 부엽 특성은 수신 포트보다 우수하다. 교차 편파 수준도 -22~-28 dB로 그 특성이 우수하다. 측정된 이득 값은 수신 대역에서 14.0~14.8 dBi의 값을 가져 설계값인 16.2~17.0 dBi보다 낮은 값을 가진다. 이는 수신 주파수가 송신 주파수보다 낮음에도 불구하고 병렬형 급전과 함께 좁은 공간 내에 집적을 위한 bending, 비균일 전력 분배를 위한 큰 임피던스 차이에서 비롯되는 피드 폭의 큰 변화 등에서 발생하는 불요방사가 설계치보다 실제의 경우보다 크게 나타나기 때문이다^[15]. 하지만 수신 안테나는 송신의 경우보다 이득값 요구 사항이 작으므로 송신 안테나의 특성이 더욱 중요하다. 송신 안테나의 이득은 16.0~17.0 dBi로 설계치인 17.3~17.7 dBi와 그 차이가 비교적 적으며 수신보다 큰 값을 가진다. 이는 직렬형 급전에 의한 피드 손실이

수신에서보다 작기 때문에 사료된다.



(a) 수신 방사패턴
(a) RX radiation pattern



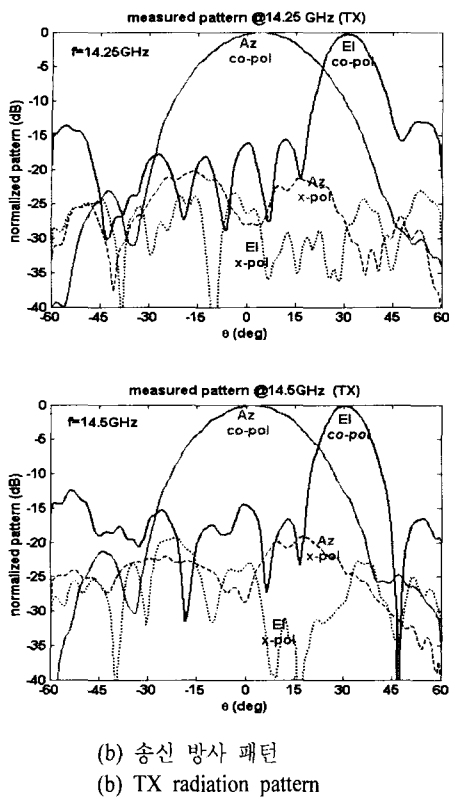


그림 6. 8×2 배열 안테나의 방사패턴 측정결과
Fig. 6. Measured radiation pattern of 8×2 array antenna.

IV. 결 론

본 논문에서는 이동 차량 내에서 양방향 위성 송, 수신과 위성 방송 수신을 위한 Ku 대역 광대역 송, 수신 겸용 마이크로스트립 8×2 배열 안테나를 설계, 제작, 측정하였다. 양각 방향 빔 틸트, 편파 각도 요구 사항 등을 만족시키면서 반사손실 대역폭 특성, 송, 수신간 격리도, 교차 편파 분리도 등에서 만족할 만한 특성을 보였다. 반사 손실 대역폭과 송, 수신간 격리도는 서로 상충되는 경향을 보였으며 공기층의 두께가 주요 설계 변수였다. 제작된 안테나는 송신 14.25 GHz와 수신 12.225 GHz에서 주 빔은 양각 방향으로 30° 틸팅 특성을 가지며, 시뮬레이션 빔 패턴과 거의 일치하며 반사손실(< -15 dB 이하) 송신 9.4 %, 수신 8.6, 11.4 % 의 특성을 보였다. 이와 동시에 송, 수신 격리도는 수신 -20 dB 이하, 송

신 -25 dB 이하를 보였다.

본 안테나는 동일한 평면상에 방사소자와 송, 수신 2차원 평면 구조를 위한 급전이 가능한 구조로 8×2 배열을 방위각 방향으로 확장 가능하다.

향후 연구는 양각 방향으로 틸팅된 패턴을 가지면서 패턴의 주파수 민감도가 크지 않으면서 고이득을 가지는 단일 소자의 기술 개발의 확보와 이의 배열 확장 가능성에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] T. Murata, H. Mitsumoto, M Fujita, S. Tanaka, K. Takano, K Imai and N. Toyama, "Portable Digital Satellite News Gathering (SNG) RF Terminal Using a Flat antenna", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E77-B, no. 12, pp. 1501-1510, Dec. 1994.
- [2] K. Ito, K. Ohmaru and Y. Konishi, "Planar Antennas for Satellite Reception", *IEEE Trans. on Broad-casting*, vol. 34, pp. 457-464, Dec. 1994.
- [3] W. L. Pritchard, H. G. Suyderhood and R. A. Nelson, *Satellite Communication System Engineering*, Prentice Hall, pp. 97-104, 1993.
- [4] G. Kumar and K. C. Gupta, "Broadband Microstrip Antennas Using Additional Resonators Gap-Coupled to the Radiating Edges", *IEEE Trans Antennas Propagat.*, vol. 32, pp. 1375-1379, Dec. 1984.
- [5] H. G. Pues and A. R. Van De Capelle, "An Impedance-Matching Technique for Increasing the Bandwidth of Microstrip Antenna". *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 37, no. 11, pp. 1345-1354, Nov. 1989.
- [6] T. Huynh and K. F. Lee, "Single-layer single patch wideband microstrip antenna". *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 1310-1312, Aug. 1995.
- [7] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse and D. M. Pozar, "Design of Wide-Band Aperture- Stacked Patch Antennas". *IEEE Trans. Antennas*

- Propagat.*, vol. 46, pp. 1245-1251, Sep. 1998.
- [8] C. L. Lee, B. L. Ooi and X. D. A. Zhou, "Broadband Air-Filled Stached U-slot Patch Antenna", *IEEE Asia Pacific Microwave Conference*, vol. 1, pp. 174-177, 1999.
- [9] R. Q. Lee, K. F. Lee and J. Bobinchak, "Characteristics of a Two-layer Electromagnetically Coupled Rectangular patch Antenna", *Electron. Lett.*, vol. 23, pp. 1070-1072, Sep. 1987.
- [10] B. Glimeno, J. L. Cruz, E. A. Navarro and V. Such, "A Polarizer Rotator System for Three-Dimensional Oblique Incidence", *IEEE Trans Antennas Propagat.*, vol. 42, no. 7, pp. 912-919, July 1994.
- [11] K. R. McKay, "A Stacked Microstrip Antenna for Mobile Satellite Communication", *A Thesis of M.S. in Carleton Univ.*, pp. 53-67, Oct. 1993.
- [12] J. Huang, "Microstrip Antenna Developments at JPL", *IEEE AP-Magazine*, vol. 33, no. 3, pp. 33-41, June 1991.
- [13] Y. J. Kim, W. S. Yun, and Y. J. Yoon, "Dual-Frequency Microstrip Array Antenna with Dual-Polarization", *Asia Pacific Microwave Conference*, vol. 2, pp. 375-378, 1999.
- [14] J. Huang, "A parallel-Series-Fed Microstrip Array with High Efficiency and Low Cross-polarization", *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol. 5, no. 5, pp. 230-233, 1992.
- [15] W. Menzel and I. Wolff, "A Method for Calculating the Frequency-Dependent Properties of Microstrip Discontinuities", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 25, no. 21, pp. 107-112, Feb. 1977.

윤 재 승



변위기 설계

1999년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 2001년 2월: 포항공과대학교 전자 컴퓨터공학과 (공학석사)
 2001년 2월~현재: 한국전자통신연구원 연구원

[주 관심분야] 안테나 설계, 위상

최 재 익



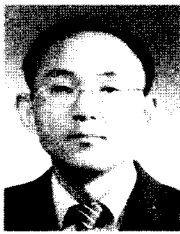
구원 책임연구원

1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1983년 9월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1995년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)

1983년 2월~현재: 한국전자통신연구원

[주 관심분야] 위성통신/이동통신시스템, 안테나 및 RF 기술

전 순 익



나 시스템 설계

1984년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 9월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

[주 관심분야] 초고주파 수동/능동

부품 설계, 위성통신 RF 시스템 설계, 위상 배열 안테나 시스템 설계

채 종 석



비동기 방식 시스템

1977년 2월: 항공대학교 전자공학과 (공학사)
 1979년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1985년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

[주 관심분야] 위성 지구국, 디지털 위성방송, 전파방송, 비동기 방식 시스템