

기생 패치의 결합 특성을 이용한 빔 틸팅 마이크로스트립 패치 배열 안테나 설계

Design of a Tilted Beam Microstrip Patch Array Antenna using Parasitic Patch Coupling Characteristics

하 재 권 · 박 동 철*

Jae-Kwon Ha · Dong-Chul Park*

요 약

본 논문에서는 기생 패치와 구동기 패치가 서로 다른 층에서 H-plane 에지 결합과 broadside 결합을 통해 고 이득과 큰 틸팅 각도를 얻을 수 있는 위성 방송 수신용의 마이크로스트립 패치 배열 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 고가의 유전체 기판 대신에 폴리에스터 동장 적층 필름과 폼을 사용하여 16×8 배열로 설계 제작되었으며, 이득 22.9 dBi, 3dB 빔 폭 4.6°, 그리고 broadside 방향에서 43.9° 기울어진 빔 특성을 가지고 있다.

Abstract

In this paper, we proposed a microstrip patch array antenna for DBS reception which had high gain and high tilted angle through mutual coupling driver patch to parasitic patch in H-plane edge and broadside direction in different layers. It was designed and fabricated in 16×8 array by using low cost polyester based copper-clad laminate and foam instead of high cost dielectric substrate. It had gain of 22.9 dBi, beamwidth of 4.6°, and tilted angle from broadside direction of 43.9°.

Key words : Tilted Beam, Microstrip Antenna, Edge Coupling, Broadside Coupling, Parasitic Patch

I. 서 론

안테나 방위각과 앙각에 대한 정확한 지향은 미약한 전파 신호를 수신하는 데 따른 손실 방지뿐만 아니라, 전파 자원의 효율적인 활용과 관리 측면에서도 중요한 요소로 취급되어 왔다. 특히, 기지국과 위성 서비스용의 안테나와 같이 특정 방향으로의 정확한 지향 설치가 요구되는 환경에서는 초기 설치 비용뿐만 아니고, 향후 유지 보수 비용도 고려하여 자동 추적 장치가 부착되거나 간편하게 지향 설치가 가능한 안테나 장치가 요구된다. 이에 따라 앙각과 방위각 중에서 한 방향의 지향을 틸팅된 빔으

로 해결하고, 나머지 방향을 수동 혹은 자동으로 조정하므로써, 안테나의 지향 설치와 운용을 간단하고 편리하게 수행할 수 있는 빔 틸팅 마이크로스트립 패치 안테나 기술이 연구되기 시작하였다^{[1]-[3]}.

틸팅 빔을 갖는 대표적인 안테나가, 바로 지상파 방송 수신용으로 사용되는 다이폴 야기 우다 안테나이다^[4]. 이 안테나의 동작 원리를 마이크로스트립 패치에 적용한 평판 배열 안테나가 John Huang에 의해 최초로 제안되었다^[1]. John Huang은 구동기 패치와 기생 패치들로 이루어진 이와 같은 안테나를 마이크로스트립 야기 배열 안테나라 부르면서 흥미 있는 실험적 연구 결과를 발표하였다^[2]. 적절한 크

블루웨이브텔(주)(Bluewavetel Co., Ltd.)

*충남대학교 전파공학과(Dept. of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20021113-153

· 수정완료일자 : 2002년 12월 20일

기의 기생 패치와 구동기 패치 간 간격을 유지할 때 기생 패치와 구동기 패치는 상호 결합에 의해 특정 방향으로 큰 지향성 빔을 얻을 수 있으며, 이러한 결과는 E-면 결합과 H-면 결합 형태의 마이크로스트립 야기 배열 안테나로 모두 구현 가능하지만, E-면 결합의 세기가 H-면 결합보다 더 강하게 이루어진다고 하였다. 그러나, 패치 간 간격이 아주 좁은 경우에는 E-면 결합보다는 오히려 H-면 결합이 강하게 발생되고^{[5],[6]} 에지 결합보다는 broadside 결합이 더 강하다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 또한, 동일 평면 상의 E-면 결합은 구동기 패치 좌우의 기생 패치 때문에 전송선에 의한 직접 급전 방식은 적용할 수 없으므로 가장 간단하고 공간을 적게 차지하는 동축 급전 방식을 적용하였다. 그러나 동축 급전 방법은 고주파 영역에서는 프로브에 의한 방사 영향을 무시할 수 없고 프로브 급전점의 제작 공정상의 오차가 발생할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 구동기 패치와 기생 패치가 서로 다른 층에서 H-plane 결합과 broadside 결합에 의해 고 이득과 큰 각도의 틸팅 빔을 얻을 수 있는 마이크로스트립 패치 배열 안테나를 설계 제작하였으며, 그 성능을 측정하고 분석하였다.

II. 안테나 동작 특성과 기본 구조

빔 틸팅 마이크로스트립 패치 안테나가 다이폴 야기 우다 안테나^[4] 원리에서 출발하였지만, 틸팅 빔의 방향과 방사 소자들간 결합 방법은 많은 차이가 있다. 빔 틸팅 마이크로스트립 패치 안테나는 전자기적 에너지가 구동기 패치에서 기생 패치로 공간파와 표면파를 통해 결합되고, 다이폴 야기 우다 안테나에서는 전자기적 에너지가 공간을 통해 안테나 축을 중심으로 동일하게 방사하므로 이웃의 기생 소자와 강한 전자기적 결합이 가능하다. 따라서 다이폴 야기 우다 안테나에서는 유도기 소자를 증가시키에 따라서 이득은 계속 증가하지만, 마이크로스트립 안테나에서는 유도기 갯수 증가에 따라 만족할 만한 이득 증가 효과는 일어나지 않는다. 기생 패치에 보다 강한 유도 전류를 얻기 위해서는 유전 상수가 낮은 기판을 선택하거나 두꺼운 유전체 기판을 선택하여야 한다.

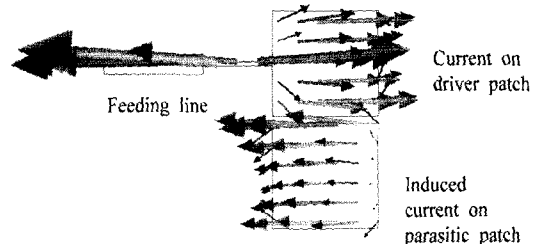
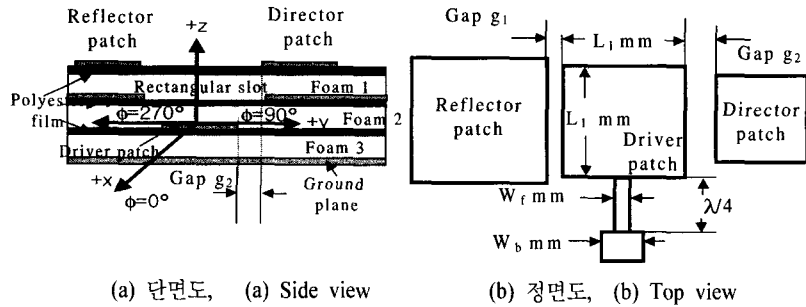


그림 1. H-면 결합된 마이크로스트립 패치 안테나의 전류 분포

Fig. 1. Current distributions of H-plane coupled microstrip antenna.

구동기 패치에서 발생된 전자계에 의한 기생 패치의 유도 전류 분포는 그림 1과 같다. 기생 패치에 유겨된 전류는 구동기 패치의 그것과는 반대 위상이 분포된다.

두 패치 간 거리에 따른 위상 차이는 구동기 패치를 기준으로 아래쪽 방향, 즉 기생 패치 방향으로 전파가 진행하면, 기생 패치의 전류는 구동기 패치에 분포된 전류원에 비해 두 전류원이 존재하는 거리만큼 위상이 빨라진 효과를 갖는 것이고, 기생 패치의 반대 방향으로 전파가 진행하는 경우에는 기생 패치의 전류는 구동기 패치에 분포된 전류에 비해 두 전류원이 존재하는 거리만큼 위상이 늦어진 효과를 갖는다. 구동기 패치의 전류와 기생 패치에 유겨된 전류에 의한 자계가 각각의 전파 진행 방향에서 벡터 합성되었을 때, 특정 방향으로 큰 합성 자계가 나타나게 된다. 이 때, 구동기 패치 위쪽 방향으로 큰 합성 자계가 나타나면, 기생 패치는 반사기 역할이 우세하고, 그 반대 방향인 아래쪽 방향으로 큰 합성 자계가 나타나면, 기생 패치는 유도기 역할이 우세하다. 그러나 기생 패치와 구동기 패치 상에 나타나는 전류 분포는 그림 1에서 보는 바와 같이 크기와 위상이 서로 다른 전류 분포가 각각의 패치 폭만큼 넓게 분포하고 있으므로, 다이폴 야기와 같은 end-fire 방향의 빔이 나타나지 않는다. 또한 기생 패치와 구동기 패치의 고정된 간격은 사용 주파수 변화에 따라서 서로 다른 위상으로 나타나기 때문에 기생 패치에 유겨된 전류 크기와 위상이 변화되어 틸팅 빔의 특성이 동작 주파수에 따라서 민감하게 변하는 원인이 된다.



(a) 단면도, (a) Side view (b) 정면도, (b) Top view

그림 2. 단일 안테나 구조
Fig. 2. Configuration of a single antenna.

그림 2는 제안된 안테나의 기본적인 구조이며, 기생 패치와 구동기 패치는 서로 다른 층에서 H-plane과 broadside 결합이 이루어지고 있으며, 전송선에 의한 직접 급전 방법이 채택되었다. 제안된 안테나는 세 장의 폴리에스터 동장 적층 필름과 이들 필름을 각각 분리하는 세 장의 폼으로 구성된다. 가장 윗층의 폴리에스터 동장 적층 필름 위에 기생 패치가 존재하고, 그 아래 층에는 2 mm 폼, 그 아래층에 급전 배열망과 상위의 기생 패치들간의 불필요한 결합을 방지하기 위해 구동기 패치보다 큰 슬롯을 가지는 폴리에스터 동장 적층 필름, 그리고 그 아래에는 2 mm 폼, 아래층에 동일 재질의 동박 에칭된 구동기 패치와 급전 망이 있고, 그 아래층에 2 mm 폼, 가장 하위 층은 접지판이 있다. 폼의 유전상수는 1.03에서 1.06 사이의 값이고, 적층 필름 층을 유지하고 공간적으로 패치 및 층간 분리와 광대역 특성 확보를 위해 사용되었다. 폴리에스터 필름의 유전상수는 3.2이고 두께는 0.15 mm이다. 그러나 폼의 영향과 얇은 두께로 인해 유효 유전상수는 폼의 유전상수에 가깝다.

빔 틸팅 마이크로스트립 패치 안테나의 기생 패치 크기와 간격은 유전체의 유전상수와 두께에 따라 다르겠지만, 근본적으로는 다이폴 야기 우다 안테나에서 기생 소자의 최적 크기와 간격을 얻기 위한 실험적 방법에서 찾을 수 있다.

III. 안테나 설계

설계 제작될 안테나 사양은 표 1과 같다. 국내에서 무궁화 위성 방송을 수신할 수 있는 45° +/- 3°

의 큰 틸팅 각도를 설계 우선 목표로 설정하였다.

무궁화 위성에 의해 서비스되고 있는 위성 방송 대역은 기존의 방송 대역과 통신 대역을 모두 포함하는 11.70 GHz~12.75 GHz이다. 따라서, 위성 방송용의 중계기 EIRP보다 9 dB 이상 낮은 위성 통신 대역의 선형 편파를 만족하는 안테나를 설계하는 것이 유리하다. 이는 일본 및 우리나라와 같이 통신 및 방송 대역에서 각각 편파가 다른 전파를 사용하면서 위성 방송 서비스를 두 대역에서 제공하는 특별한 경우에는, 하향 링크의 신호 세기가 약한 통신 대역 편파를 설계 목표로 설정하는 것이 일반적이다. 특히 이중 편파 특성을 갖는 안테나는 구조적으로도 복잡하고, 능동 소자 등을 사용해야 하기 때문에 저렴하고 실용적인 안테나 설계 제작 측면에서는 바람직하지 못하다.

구동기 패치와 기생 패치가 동일면이 아닌 서로 다른 층에서 H-면 결합된 구조이므로 틸팅 각도에 따라서는 두 패치가 겹쳐질 수 있는 구조도 가능하다. 따라서, John Huang이 제안하였던 단일 층 구조보다 훨씬 많은 설계 변수가 존재한다.

기생 패치와 구동기 패치가 서로 가까이 위치하고 다층 구조에서의 상호 결합 특성이 발생하는 복잡한 구조를 수치 해석적인 방법으로 해석하는 것

표 1. 안테나 설계 요구 사양

Table 1. Design requirements of the antenna.

특성	규격
중심 주파수	11.85 GHz
편파	직선 편파
틸팅 각도	45° +/- 3°
이득	> 19 dBi

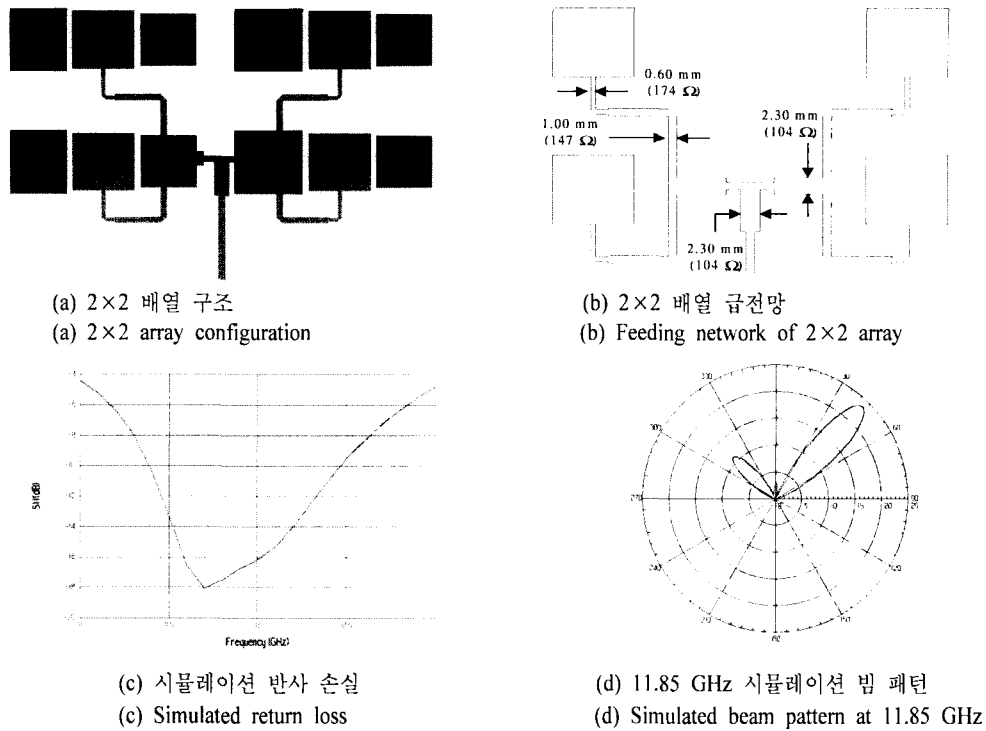


그림 3. 2×2 배열 구조와 성능 시뮬레이션

Fig. 3. Configuration of 2×2 array antenna and performance simulation.

은 어렵기 때문에, 상용 도구(Ansoft의 Ensemble 8.0)과 기존의 실험적인 방법으로부터 얻은 설계 가이드 라인^{[2],[3]}을 활용하여 표 1의 요구 규격을 만족할 수 있는 단일의 빔 틸팅 안테나가 설계되었다. 주 빔의 틸팅 각도와 패턴은 반사기 패치와 유도기 패치의 간격과 크기에 의해 영향을 받으며, 안테나 이득은 주로 유도기 패치의 크기와 구동기 패치와 유도기 패치 사이 간격에 의해 크게 영향을 받는다. 단일의 빔 틸팅 마이크로스트립 패치 안테나의 설계 변수는 표 2와 같다.

그림 3은 2×2 기본 배열 구조와 이에 대한 성능 시뮬레이션 결과이다. 급전 방법은 동일 전력 급전 방식의 병렬 구조와 T-접합을 이용하였다. 구동기 패치의 입력 임피던스는 160 Ω으로 유도기 패치와 구동기 패치가 모두 존재하는 경우에 임피던스 매칭이 가능하도록, 0.60 mm 폭의 174Ω의 λ/4 변환기(길이 5.70 mm)를 사용하여 1.00 mm 폭의 147.0 Ω 라인과 연결된다. 다층 구조에서 배열 급전망은 147.0 Ω 임피던스 라인을 기본 급전선으로 사용하

표 2. 안테나 설계 규격

Table 2. Design specifications of the antenna.

설계 변수	규격
반사기 크기	10.45×10.45 mm ² (구동기의 1.2배)
구동기 크기(L,)	9.50×9.50 mm ²
유도기 크기	8.55×8.55 mm ² (구동기의 0.8배)
구동기와 반사기 중심 간격	0.435 λ ₀ (Gap g ₁ = 1.03 mm)
구동기와 유도기 중심 간격	0.395 λ ₀ (Gap g ₂ = 0.98 mm)
개구 슬롯 크기	17.0×17.0 mm ²
Foam 1 두께	2 mm
Foam 2 두께	2 mm
Foam 3 두께	2 mm

였다.

2×2 기본 배열 구조가 4개 결합되어 4×4 패치 배열 그룹이 형성된다. 이때에도 2×2 기본 배열 구조에서 사용되었던 T-접합과 동일 구조의 λ/4 변환

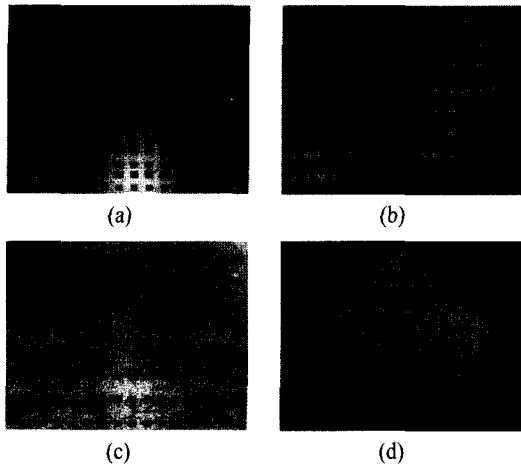


그림 4. 제작된 안테나

(a) 반사기 및 유도기 패치 층, (b) 구형 슬롯 층,
(c) 구동기 패치와 급전망 층, (d) 레이돔

Fig. 4. Fabricated Antenna.

(a) Layer of reflector and director patches, (b) Layer of rectangular slots, (c) Layer of driver patches and feeding network, (d) Radome

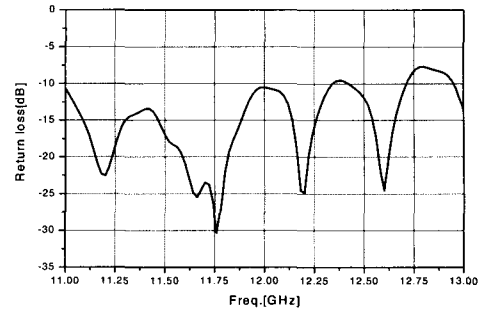
기를 사용하였으며, 이와 같은 T-접합과 $\lambda/4$ 변환기는 4×4 패치 배열 그룹 4개를 결합하여 8×8 패치 배열 그룹을 형성하는데에도 사용되었다. 8×8 패치 배열 그룹은 Microstrip to waveguide transition interface를 이용하여 LNB(Low Noise Block)로 연결된다.

IV. 안테나의 제작 및 측정 분석

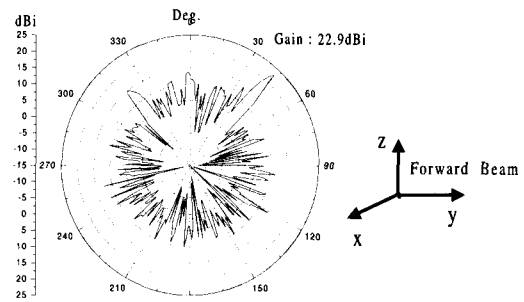
제작된 16×8 배열 안테나는 그림 4(a)의 반사기 및 유도기 패치 층, 그림 4(b)의 구형 슬롯층, 그림 4(c)는 구동기 패치와 급전망 층, 그리고 그림 4(d)는 레이돔으로 구성되고 이들 각각의 층들이 폼과 교번으로 적층되어 있다.

2개의 8×8 패치 배열 그룹이 Microstrip to waveguide transition interface에서 결합되면서 배열 패치들로부터 유기된 전류는 최종적으로는 갭 결합으로 합해지고 LNB로 입력된다. 설계된 패치 배열 구조는 최종적으로 16×8 배열 안테나를 구성한다.

제작된 안테나의 측정된 반사손실은 그림 5(a)와 같이 구형 슬롯 층에 의한 방사 억압 효과 때문에 전반적으로 -10 dB 이하의 낮은 특성을 보이고 있다. 공진 주파수는 구동기 패치의 에칭 에러와 기생



(a) 측정된 반사 손실
(a) Measured return loss



Forward beam : 43.8 Deg., Backward lobe 15 dBi at 319.7 Deg.

(b) 11.85 GHz에서 측정된 빔 패턴
(b) Measured beam pattern at 11.85 GHz

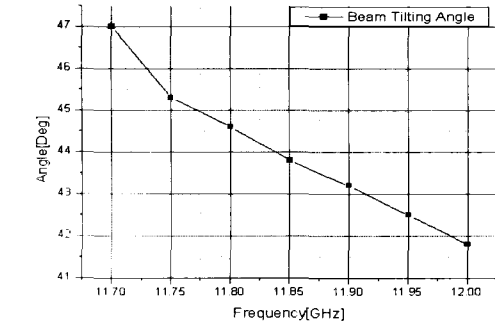
그림 5. 제작된 안테나의 측정 결과

Fig. 5. Measured results of the fabricated antenna.

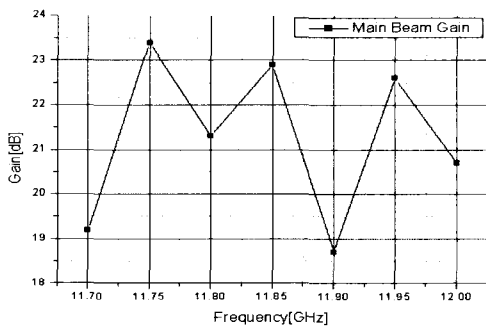
패치간의 결합 효과 때문에 11.762 GHz로 이동하였다. 주 빔은 11.85 GHz에서 그림 5(b)와 같이 broadside 방향에서 43.9° 기울어졌고, 반 전력 빔폭은 약 4.6° 이다. 15 dBi의 부엽이 broadside에서 319.7° 되는 지점에 나타난 것을 볼 수 있다. 제작된 안테나의 이득(22.9 dBi)은 일반적인 동일 크기 배열 안테나에 비해 낮다.

주파수에 따른 주 빔의 틸팅 각도는 그림 6(a)와 같이 주파수 증가에 따라 틸팅 각도가 작아지고 주파수가 증가하면 틸팅 각도가 커지고 있다. 주파수에 따른 이득 변화는 그림 6(b)와 같이, 주파수 증가에 따라, 이득은 진동하면서 작아지고 있다. 즉 주파수 증가에 따라 반사기 역할이 약화되어 주 빔의 틸팅 각도가 작아지고, backward 빔 레벨이 증가하면서, 주 빔의 이득은 감소한 결과를 보인다.

동박 적층된 폴리에스터 필름의 유효 유전상수는 균일하지 못하고 이에 따른 기생 패치들의 크기와 간격은 최적화가 필요한 것으로 판단된다. 또한 기



(a) 주 빔의 틸팅 각도 변화
(a) Tilted angle variation of main beam



(b) 주 빔의 이득 변화
(b) Gain variation of main beam

그림 6. 안테나의 틸팅 각도와 이득 변화
Fig. 6. Variations of tilted angle and gain of the antenna.

생 패치와 급전 망 간의 결합 방지를 위해 삽입된 슬롯 층은 급전 망에서의 방사는 억제하지만, 에너지를 가진 공진기 역할을 하기 때문에 전체적인 반사 손실이 낮아지고 이득이 주파수에 따라서 진동하는 현상이 발생하는 것으로 판단된다^{[7],[8]}.

V. 결 론

구동기 패치와 기생 패치 간의 간격이 아주 가까울 경우 E-면 결합보다는 H-면 결합이 강하게 발생하는 사실에 근거하여 H-면 결합이 다층 구조에서 이루어지는 새로운 안테나를 구현하였다. 고가의 테프론 기판을 대체할 수 있는 저가의 폴리에스터 필름에 동박 적층 재질을 사용하여, 43.9°의 큰 틸팅 각도와 22.9 dBi의 고 이득 특성을 구현함으로써, 저렴한 경량 박형의 위성 방송 수신용 안테나 제품화가 가능할 것으로 판단된다. 제작된 안테나는 양

각 방향의 지향을 틸팅된 빔으로 해결하고, 방위각 방향을 조정하므로써 무궁화 3호 위성으로부터 DBS 신호를 수신할 수 있었다.

본 연구의 의의는 양각과 방위각을 정확하게 지향해야 하는 기지국이나 위성 통신 및 방송용 서비스에서 안테나의 설치와 운용, 그리고 유지보수를 편리하고 간단하게 제공해 줄 수 있다는 데 있으며, 또한 평판형 구조로 구현하여, 설치 공간의 제약 극복과 이동체 탑재용의 안테나로 적용할 경우에는 이동체 표면의 aero-dynamic 설계가 가능하다. 특히, 향후 전파 자원의 효율적인 운용과 관리 측면에서 전파의 세기뿐만 아니라 빔 패턴에 대한 엄격한 규제가 예상됨에 따라서, 빔 형성과 제어가 가능한 새로운 안테나 연구 측면에서 이와 같은 빔 틸팅 평판 안테나와 응용 기술이 더욱 활발하게 연구될 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] John Huang, "Planar Microstrip Yagi Array Antenna", *IEEE AP-S Int. Symp. Digest*, pp. 894-897, Red Lion Inn San Jose, CA June 26-30, 1989.
- [2] John Huang, A. C. Densmore, "Microstrip Yagi Array Antenna for Mobile Satellite Vehicle Application", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-39, pp.1024-1030, July 1991.
- [3] 하재권, 박동철, "빔 틸팅 특성을 갖는 개구 급전 마이크로스트립 안테나 설계 연구", *한국전자학회논문지*, 12(5), pp. 705-712, 2001년.
- [4] H. Yagi, "Beam Transmission of Ultra Short Waves", *Proc. IRE*, vol. 16, pp. 715-741, June 1928.
- [5] R. P. Jedlicka, M. T. Poe and K. R. Carver, "Measured Mutual Coupling Between Microstrip Antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-29, pp. 147-149, Jan. 1981.
- [6] A. R. Krowne, C. M. Sindoris, "H-Plane Coupling between Rectangular Microstrip Antennas", *IEE Electronics Letters*, vol. 16 pp. 211-213, 1980.

[7] P. R. Haddad, D. M. Pozar, "Anomalous Mutual Coupling between Microstrip Antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-42, pp. 1545-1549, 1994.

[8] O. S. Rosales, "Comments on Anomalous Mutual Coupling Between Microstrip", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-44, pp. 132-133, 1996.

하 재 권



1980년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1982년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

2003년 2월: 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1994년~1998년: 한국전자통신연구원

무선방송연구소 선임연구원

1989년~1990년: Rockwell International (Texas, USA) Visiting Engineer

1998년~2000년: 목원대학교 정보통신공학과 Brainpool 교수 (정보통신부)

1999년 10월: 제1회 정보통신 벤처 창업 경진대회 입상 (정보통신부)

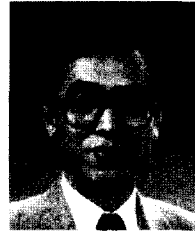
2001년~현재: 목원대학교 정보통신공학과 겸임 교수

2000년 6월~현재: 블루웨이브텔(주) 대표이사

2001년 8월~현재: IT 국제 표준화 전문가(ITU-R WP 6S, 정보통신부)

[주 관심분야] Satellite link and earth station, DBS antenna, Ultra-wideband antenna, Tilted beam antenna, multi-band antenna, antenna and RF circuits for ITS system

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)

1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)

1984년 12월: Univ. of California Santa Barbara (공학박사)

1977년~1978년: Ruhr University, Bochum, Germany, 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson

1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chairperson

2000년~2001년: 한국전자파학회 회장

1976년~현재: 충남대학교 공과대학 전파공학과 교수

2002년 5월~현재: 충남대학교 산업기술연구소장

[주 관심분야] Microwave and millimeter-wave, passive devices, EMC/EMI topics and antenna