論文2002-39TC-3-4

DBS 수신용 빔 틸트형 슬롯 어레이 도파관 안테나의 특성

(Characteristics of Beam-tilting Slot Array Waveguide Antennas for DBS Reception)

閔 庚 植 *, 金 東 哲 *, 新 井 宏 之 **

(Kyeong-Sik Min, Dong-Chul Kim, and Hiroyuki Arai)

요 약

본 논문에서는 DBS 수신용 이동체 탑재형 시스템에 이용하기 위한 빔 틸트형 슬롯 어레이 복사 도파관 안테나의 특성을 기술하고 있다. 슬롯 도파관 어레이의 기초연구로써, 도파관 광벽면 위에 놓인 16 슬롯 소자에 대하여 설계를 행하였다. 빔 틸트 특성을 가지는 안테나의 슬롯 길이, 슬롯사이의 거리 그리고 크로스 슬롯의 사이각과 같은 설계 파라미터들은 모멘트법에 의해 계산되었다. 이들 결과를 근거로 16소자×16열의 복사 도파관 안테나를 설계·제작하였다. 제작된 안테나의 측정된 주 빔의 지향각은 48°~50° 사이로 다소 측정 주파수에 의존했으며, 측정치는 설계치와 잘 일치하였다. 측정된 앙각 지향성의 3 dB 빔폭은 약 13° 정도였고, DBS 대역에서의 축비는 약 2.8 dB 이하, 이득은 24 dBi 이상으로 관측되었다. 제작한 도파관 평면 안테나의 성능을 평가하기 위하여, 안테나를 위성 추적 제어시스템과 결합하여 차량을 이용하여 고속도로에서 필드 성능 시험을 행하였다. 측정을 하는 동안, 차안에서 연속적인 TV 시청이 가능하였고 제안된 안테나의 우수한 성능이 입증되었다.

Abstract

This paper describes the characteristics of beam-tilting slot array waveguide antennas for mobile DBS reception. As a basic study of slotted waveguide array, design for 16 slot elements located on a broad-wall waveguide is considered. Design parameters such as slot length, space between each slot and cross slot angle of antennas with the beam-tilting characteristics are calculated by method of moments. Based on these results, the radiation waveguide antennas with 16-element × 16-array are designed and fabricated. The measured main beam direction angles of the fabricated antennas are 48° to 50° depending on the measured frequencies and it shows good agreement with prediction. The measured 3 dB beam width of elevation pattern is about 13° , and the axial ratio and the gain measured at DBS band are observed 2.8 dB below and 24 dBi above, respectively. In order to evaluate a performance of the fabricated waveguide planar antenna, it is combined with the satellite tracking control system and the field performance test of antenna mounted on a mobile vehicle is carried out at highway. During the measurement, it was possible to watch television without a break signal in a driving vehicle and an excellent performance of the proposed antennas was demonstrated.

Key Words : Beam-tilt, Slot array, Radiation waveguide, Mobile DBS reception, Satellite tracking antenna control system.

* 正會員, 韓國海洋大學校 工科大學 電波工學科
(Department of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University)
** 正會員, 요코하마 國立大學 電子情報工學科
(Division of Electrical and Computer Engineering, Yokohama National University)
接受日字:2001年12月10日, 수정완료일:2002年2月20日

Ⅰ. 서 론

이동통신과 위성통신 및 위성방송의 급진전으로 정보의 다양화와 고도화가 눈부시게 진전되었고, 이들 정보의 중요한 전달 매체인 전파의 수요가 급속히 증가되고 있다. 무선을 이용한 정보통신의 폭발적인 수요증

가는 점점 주파수의 이용범위를 확대시키고 있으며, 정보용량의 증가와 고주파수의 이용에 의한 새로운 형태의 안테나 개발이 사회적으로 강하게 요구되고 있다. 이들 서비스 가운데 우리나라 위성방송의 경우, 최근 위성방송사업자가 선정되면서 다양한 프로그램의 제공과 위성 인터넷 서비스 등을 통한 위성방송의 활성화 및 경제적 파급 효과가 급증할 것으로 기대된다. 위성방송을 수신하기 위해서는 고이득·고효율의 안테나가 필수적이며, 고정된 위치에서 위성방송을 시청하기 위해서 지금까지는 파라볼라형 안테나가 주류를 이루어 왔다. 휴대전화의 예에서 볼 수 있는 것처럼, 언제 어디서나 자기가 필요로 하는 정보를 얻으려는 수요층이 점점 증가하고 있다. 따라서 이러한 욕구를 충족시키기 위하여, 차, 배 그리고 기차 등과 같은 이동체로 이동을 하면서 위성을 이용한 최신 정보 방송 및 통신을 가능하게 하려는 연구가 활발히 진행되고 있다[1~4]. 이동체에서 DBS(Direct Broadcasting from Satellite)를 수신하기 위한 시스템은 TV 수상기와 안테나 그리고 위성신호를 추적하고 안테나의 방향을 제어하는 추적제어용 회로로 구성되어 있다. 안테나의 경우는 이동을 전제로 하므로 파라볼라 안테나보다는 소형·경량이며 박형인 평면 안테나들이 주류를 이루고 있다[5~7]. 이들 안테나 중에서도, 슬롯 어레이 도파관 안테나는 고주파수에서 급전손실이 적기 때문에 고이득·고효율을 실현할 수 있으며, 소형화와 박형화가 가능하고 이동시 안테나의 안정성을 유지하면서 위성으로부터의 신호를 수신할 수 있어, 이동체 탑재형 DBS 수신 안테나로 주목받고 있다[8,9]. 따라서 본 논문에서는 슬롯 어레이 도파관 안테나를 설계·제작하여 안테나의 특성을 평가하고자 한다. 우리나라 무궁화 위성의 경우, 위성에서부터 우리나라 지상을 바라보았을 때 앙각의 범위가 약 43°~50° 근방에 위치하고 있고, 위성으로부터의 신호를 받기 위해서는, 지상의 이동체에 탑재된 안테나를 지면에서부터 약 46.5° 정도 세워야만 한다. 따라서 안테나의 높이가 자연히 높아져서 미관상 좋지 않을 뿐만 아니라, 바람의 저항 등을 받게 되어 안테나의 효율이 외부적인 요인으로 인해 떨어지게 된다. 이를 해결하는 방법으로 본 논문에서는 안테나를 설계할 때 주빔의 각도를 임의로 조정할 수 있는 빔 틸트형 누설파 안테나[10] 설계를 행하였다. 또한 DBS 주파수 대역(11.7 GHz~12.0 GHz)에서 원편파를 수신할 수 있도록 도파관 광벽면 위에 크로스 슬롯소자를 이용한 원편파 복사 도파관 안테나를 설계하였다. 복사 도파관 어레이 안테나의 크기는 급전 도파관 안테나의 크기에 의존하며, 본 논문에서는 안테나의 크기를 대폭 개선하고 급전효율이 매우 좋은 DBS 수신용 16 포트 급전 도파관 어레이[11,12]의 크기를 사용하여 설계하였고 16소자×16열 도파관 안테나를 제작하였다. 측정결과, 앙각에 대해 약 49°의 빔 틸트를 하였으며, 앙각 지향성의 3 dB 빔 폭은 약 13° 정도였다. DBS 대역에서의 축비는 약 2.8 dB 이하였고, 이득은 24 dBi 이상으로 최대 26 dBi를 얻었다. 제작한 안테나를 위성 추적 제어시스템과 연동시켜 차량을 이용하여 필드 측정을 한 결과[13,14], 파라볼라 안테나보다 앙각의 범위가 넓은 본 논문에서 제안한 평면 도파관 안테나가 우수한 성능을 보였으며, 고속도로나 위성으로부터의 전파가 차량에 설치된 안테나에 직접 전달되는 도심의 시내에서는 연속적인 TV 시청이 가능하였다.

Ⅱ. 16소자 어레이의 설계

1 크로스 슬롯 안테나의 구조

그림 1은 하나의 도파관 광벽면 위에 크로스 슬롯을 어레이 한 3차원 구조 도파관 안테나를 보이고 있다. 원편파 특성을 얻기 위해 도파관에 크로스 슬롯 소자를 사용[15~17]하였고, Taylor와 Chebyshev의 지향특성 계산법을 이용하여 어레이 설계를 행하였다[18]. 어레이 설계에 있어서, 복사전력을 균일하게 하고 반사를 최소로 하기 위하여 각 소자의 길이를 변화시켰으며, 크로스된 소자사이의 각도를 조정함으로써 각 소자가 3 dB 이하의 축비를 가지도록 설계하였다. 또한 빔 틸트의 효과를 얻기 위해 소자간의 큰 위상차가 필요하기 때문에 본 논문에서는 거리를 조정하여 위상차의 효과를 얻는 누설파 기법을 사용하였다. 어레이 설계를 하는 동안, 슬롯 소자의 폭은 1.5 mm로 일정하게 하였으며, 도파관 중심으로부터 슬롯의 중심까지의 offset도 2.8 mm로 고정하였다. offset의 위치는 소자가 최소의 축비를 가지는 곳으로 했다. 문헌[15~17]을 참고하여 하나의 도파관 광벽면 위에 위치하는 크로스 슬롯의 수를 16소자로 하여 설계를 행하였다. 소자의 수가 증가할수록 높은 이득을 얻을 수는 있으나, 앙각의 반치폭이 좁아지게 된다. 본 논문에서는 DBS 수신에 안테나를 적용하는 것을 목적으로 하므로 25 dBi 이상의 이득과 13° 정도의 반치폭을 가지도록 소자의 수를 16소자로

선정하였다. 설계 주파수는 11.85 GHz로 하여 소자들의 사이각(θ)과 길이(L) 그리고 소자사이의 간격(d)를 구하였다.

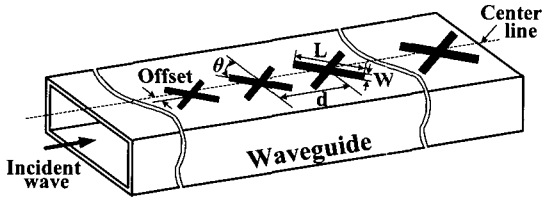


그림 1. 어레이 설계를 위한 3차원 도파관 안테나 구조
Fig. 1. 3-D waveguide antenna structure for array design.

2. 슬롯의 사이각 설계

그림 2는 각 슬롯이 1 dB 이하의 축비를 가질 때의 크로스 슬롯 사이각의 변화를 보여주고 있다. 슬롯 소자의 번호가 클수록 각의 변화가 크며, 이는 그림 1에서 보듯이 입사파에 대해 슬롯의 번호가 클수록 슬롯의 크기를 크게 하여 반사를 줄이고, 전계의 균일한 개구분포를 가지도록 설계한 것에 의존한다. 각 크로스 슬롯이 최소 축비를 가지도록 설계할 때에 크로스 슬롯 사이의 각도 θ도 그림 2와 같이 변화하며, 이 중에서 축비 1 dB 이하이면서 각도의 변화가 앞의 크로스 슬롯 각에 가장 가까운 각도를 선택한다. 실제 제작에서는 ±0.5° 정도의 차이를 두면서 만든다는 것이 어렵고, 복잡하므로 전체 소자의 축비가 1.3 dB 정도로 다소 나빠지는 손실을 감수하면서 16소자의 평균값인 57.5°로 하여 제작하였다.

3. 슬롯의 길이와 슬롯사이의 간격

그림 3은 16소자 각각에 대한 슬롯의 길이와 슬롯사이의 간격을 계산한 것이다. 그림 3으로부터 알 수 있는 것처럼, 슬롯의 길이는 슬롯의 번호가 큰, 즉 종단부로 갈수록 커지고 있음을 알 수 있다. 이는 전파를 안테나 전체에 대해 균일하게 복사하기 위한 기법이다. 단락된 종단부로부터의 반사를 줄이기 위해 슬롯의 길이를 조정하여 전계의 균일분포를 실현하고 있다. 또한 설계에 있어서 크로스를 이루는 두 개의 직선 슬롯의 길이는 각각 공진주파수와 축비 그리고 반사계수에 영향을 주기 때문에, 두 개의 직선 슬롯의 길이는 아주 미세한 차이를 가지지만 본 논문에서는 제작을 용이하게 하기 위하여, 크로스를 이루는 두 개의 직선 슬롯의 길이를 같게 하여 설계하였다. 예를 들면, 설계로부터 얻은 1번 크로스 슬롯의 최소 축비와 최저 반사계수를 가지는 두 직선 슬롯의 길이는 각각 9.876 mm와 10.124 mm이나, 제작을 용이하게 하기 위해 제작에 있어서는 두 직선 슬롯의 평균치인 10.00 mm를 사용하였다. 그 결과 10.00 mm 슬롯의 축비는 9.876 mm와 10.124 mm인 슬롯보다 다소 나빠지지만 1 dB 이내를 유지하도록 하였다. 또한 전파의 주 빔을 정면방향에서 약 47° 정도 틸트시키기 위해 소자사이의 간격을 조정하였다. 그림 3에서 보는 것처럼 설계에 있어서 슬롯의

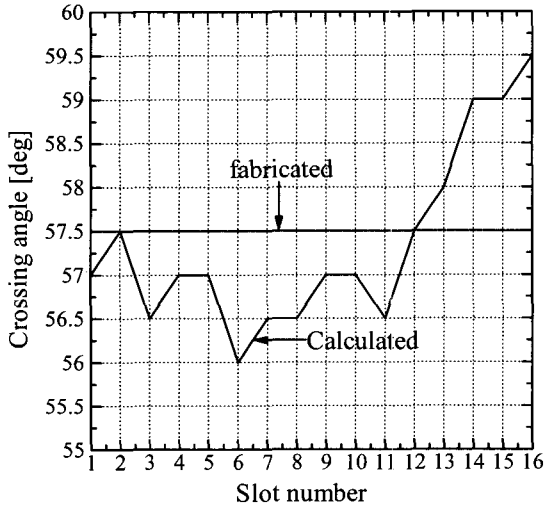


그림 2. 16소자의 크로스 슬롯 각에 대한 설계
Fig. 2. Design for cross slot angle of 16-element.

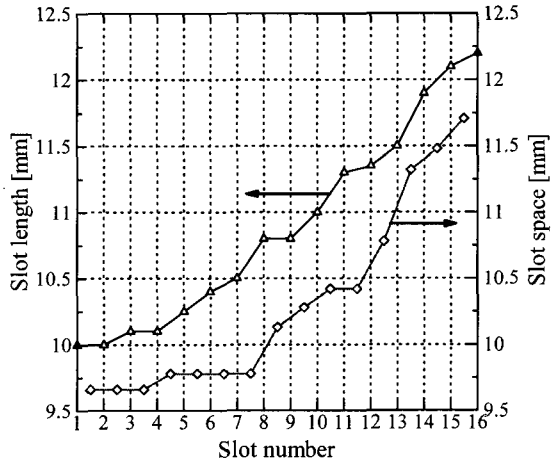


그림 3. 16소자의 슬롯의 길이와 슬롯사이의 간격에 대한 설계
Fig. 3. Design for slot length and distance between each slot of 16-element.

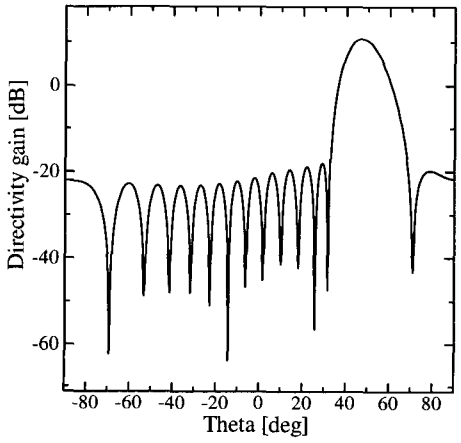
간격은 부등 간격이며, 슬롯길이의 변화와 유사한 특성을 보이고 있다. 어레이 설계에는 Taylor 지향성과 Chebyshev지향성을 사용하여 부엽준위를 설정하였다. 소자사이의 간격은 빔 틸트에 큰 영향을 주며, 이들 간격의 미세한 조정으로 빔의 방향이 틀려질 수 있으므로 제작시에는 특히 주의를 하여야만 한다.

4. 지향성 패턴 설계

도파관 어레이 안테나의 빔 틸트 특성을 알아보기 위하여, Taylor지향 특성과 Chebyshev지향 특성을 조합하여 어레이 지향성 설계를 행하였다[16]. 표 1은 지향성 패턴 설계에 사용된 파라미터들을 나타낸다. 표 1로부터 알 수 있는 것처럼, 소자 사이의 간격은 지향각이 47° 가 되도록 그림 3의 설계치를 이용하여 부등 간격으로 하였고, 주 빔을 포함한 5번째 Null 점까지는 Chebyshev지향성을 사용하였고, 6번째 Null 점부터는 Taylor지향성을 적용하였으며, Null 교점은 5로 하였다.

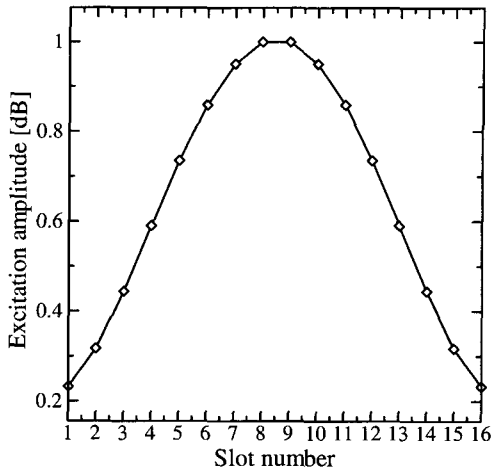
표 1. 16소자에 대한 지향성 설계 파라미터
Table 1. Beam pattern design parameter for 16 elements.

소자 수	16개
소자 간격	부등 간격
지향 각도	47도
지향 특성	Taylor + Chebyshev
Null 교점	5
부엽 준위	-30 dB
주파수	11.85[GHz]



(a) 지향이득 패턴

(a) Directivity gain pattern



(b) 각 슬롯 소자의 여진 계수

(b) Excitation coefficients of each slot element

그림 4. 16소자의 계산된 지향이득과 여진 계수
Fig. 4. Calculated directive gain and excitation coefficients of 16-element.

표 1의 설계파라미터를 이용하여 계산한 지향이득 패턴과 슬롯 각 소자의 진폭여진계수를 각각 그림 4의 (a)와 (b)에 나타낸다. 어레이 지향성 설계는 11.85 GHz에 대하여 행하였으며, 두 그림으로부터 알 수 있는 것처럼 지향이득은 지향각 47° 에서 최대치인 10.85 dBi, 3 dB 빔 폭은 40° ~54° 로 약 14° 정도의 넓은 각을 가짐을 알 수 있었다. 또한 부엽의 레벨도 -30 dB로 매우 양호한 특성을 보이고 있다.

Ⅲ. 16소자×16열 도파관 안테나의 실험 및 검토

1. 안테나의 제작

하나의 급전 도파관에 16개의 복사소자 설계로부터 얻은 결과를 이용하여, 16개의 급전 도파관을 중첩시켜 그림 5와 같은 16소자×16열 복사 도파관 안테나를 제작하였다. 제작된 안테나의 크기는 20.3 mm×29.6 mm 이며, 급전 도파관의 크기에 맞추어 금형으로 제작하였다. 복사 도파관은 알루미늄판을 사용하여 프레스 가공하였고, 급전 도파관은 다이케스팅 공법을 사용하여 균일한 도파로의 형성을 하였으며, 다이케스팅으로 인한 고열의 알루미늄이 서서히 식으면서 발생하는 수축현상과 휘어짐을 방지하기 위해, 금형에 특수한 지화열처리 등을 행하였다. 다이케스팅 기계의 압출조건으로 온

도는 690℃~700℃, 증압시간 1.9초, 속도는 저속으로 설정하였다. 복사 도파관과 급전 도파관의 완벽한 결합의 여부에 따라 안테나의 특성에 지대한 영향을 미친다. 열에 의한 레이저 가공이나 용접으로 결합을 할 경우, 복사 도파관의 두께가 얇아 슬롯의 변형 및 복사 도파관 판넬 자체에 휘어짐이 발생하여 빔의 틸트 및 안테나 이득이 현저하게 떨어지게 된다. 복사 도파관과 급전 도파관의 결합을 위해, 본 논문에서는 열에 의한 가공이 아닌 순간적인 압력에 의해서 결합할 수 있는 방법인 리벳팅 공법을 채택하였다. 우선 리벳팅을 위해서는 조밀한 간격으로 리벳팅 홀과 핀을 구성해 주어야 한다. 이를 위해서 복사 도파관 부분에는 직경을 1.8 mm, 간격을 2.5 mm로 하여 1600개의 리벳팅용 홀을 형성하였고, 급전 도파관의 전체 관벽에는 직경이 1.5 mm이고 높이가 1 mm인 리벳팅 핀을 2.5 mm 간격으로 1600개 만들어서 결합을 시켰다. 복사 도파관의 두께가 0.6 mm이므로 0.4 mm의 여유 길이로 리벳을 하여 완벽한 결합을 형성한다. 완벽한 리벳팅을 하기 위해 리벳팅용 치구를 특별히 주문 제작하였다. 너무 강한 압력으로 리벳팅을 할 경우 탄력에 의해 안테나가

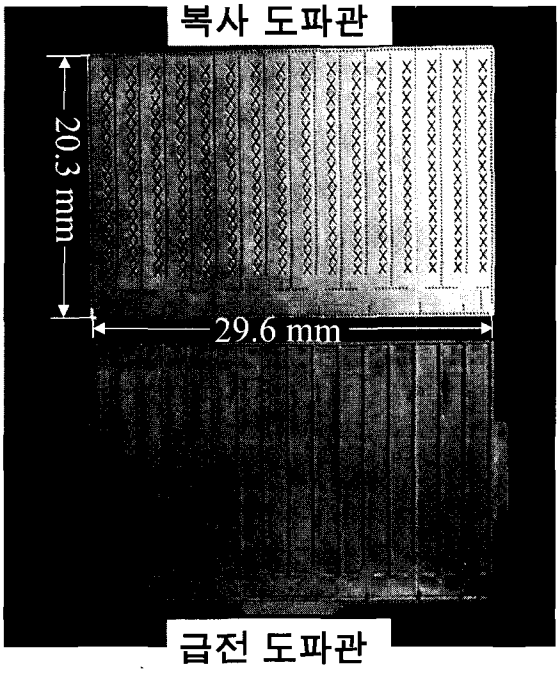


그림 5. 제작된 16소자×16열 복사 도파관과 급전 도파관의 사진

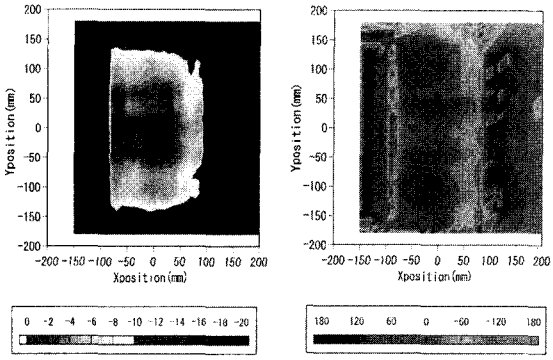
Fig. 5. Photograph of the fabricated 16-element × 16-array radiation and feed waveguide.

역으로 휘어지는 현상이 발생할 수도 있고 약한 압력으로 리벳팅을 할 경우 복사 도파관과 급전 도파관 사이에 미세한 Gap이 생기고 전파의 누설이 발생하여 안테나 이득이 떨어지게 된다. 따라서 본 논문에서는 수십 차례의 시행착오를 거듭한 결과 420톤의 압력으로 리벳팅을 진행하여 완벽한 결합을 얻을 수 있었다. 그림 5는 실제 제작된 복사 도파관과 급전 도파관의 사진이고, 이들을 결합하여 측정에 사용하였다.

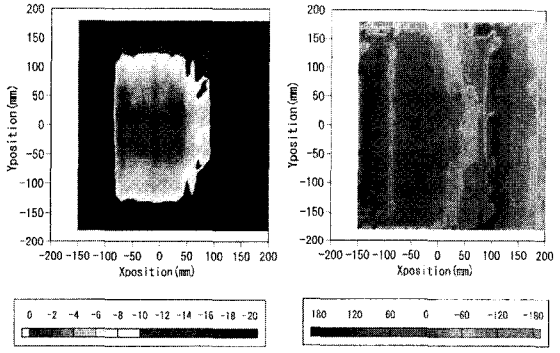
2. 근방계 측정

그림 6은 제작된 안테나의 전계에 대한 진폭분포와 위상분포를 알아보기 위하여 근방계에서 측정한 결과를 나타낸다. 근방계에서의 진폭분포와 위상분포를 알면, 안테나의 각 개구로 나오는 전파를 진단할 수 있고 문제점의 원인을 쉽게 파악할 수 있는 장점이 있다. 측정된 주파수의 범위는 11.55 GHz~12.3 GHz까지이며, 그림 6은 각각의 주파수에 대한 안테나의 진폭분포와 위상분포를 나타낸다. 근방계 측정에 있어서 안테나와 측정 혼 안테나 사이의 거리는 약 1 관내파장이고, 측정의 범위는 X축과 Y축 모두 -200 mm에서 200 mm까지로 하였으며, 도파관 안테나는 X축으로는 -90 mm에서 95 mm, Y축으로는 -150 mm에서 150 mm에 걸쳐 설치·관측되었다. 측정 데이터는 각각의 주파수에서 측정된 진폭과 위상을 보여주고 있다. 그림 6에서 11.7 GHz 및 11.85 GHz에서의 진폭분포를 살펴보면, 안테나의 중심부에서는 빨간색으로 강한 진폭을 보이고 있으나 양 가장자리로 갈수록 진폭이 약해짐을 볼 수 있다. 이는 안테나의 각 소자로부터 수신되는 전계분포가 이들 주파수에서는 균일하지 못함을 나타내며, 결과적으로 이 주파수 범위 내에서는 안테나의 성능이 다소 떨어짐을 의미한다. 위상분포도 유사한 특성을 보이고 있으며 이는 각 열의 도파관으로 분배되는 위상이 틀려져 원방계에서 Grating Lobe를 발생시키는 원인이 되고, 이들의 중첩에 의해 안테나의 이득과 효율이 저하된다. 그림 7의 지향성 패턴을 보면 -53 ° 근방에서 약 -13 dB 정도의 Grating lobe가 발생하고 있음을 알 수 있다. 반면에 그림 6(d)의 12.15 GHz에서 측정된 진폭과 위상분포를 살펴보면 진폭 분포가 안테나 전면에 걸쳐 일정하고, 위상도 각 열별로 거의 일정하므로 최상의 안테나 이득과 효율을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 6(e)의 12.3 GHz 측정에서는 진폭은 매우 양호한 특성을 보이고 있으나, 위상이 안테나의 각 열에서 틀려지고 있어 이 주파수에서는 높은 Grating lobe가 발생하고 있음을 예측할 수 있다. 근방계 측정

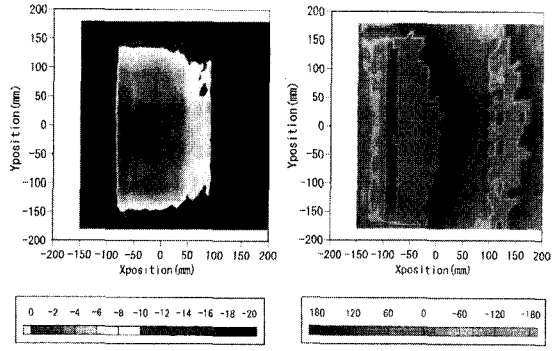
결과로부터 알 수 있는 것처럼, 제작한 안테나는 약 100~150 MHz정도 높은 주파수쪽으로 천이하고 있고, 12.1~12.15 GHz에서 공진함을 알 수 있다. 주파수 천이의 문제를 해결하기 위해서는 안테나 복사부와 급전부의 접합을 완벽하게 하여야 하며, 제작에 있어 슬롯 사이각의 평균치보다는 소자 각각의 최적치를 사용할 필요가 있으며, 특히 급전부의 Cable-to-Waveguide Adaptor의 크기와 급전 핀의 삽입높이 등을 최적화함으로써, 급전부에서의 반사를 줄임과 동시에 주파수 천이를 개선할 수 있을 것이다.



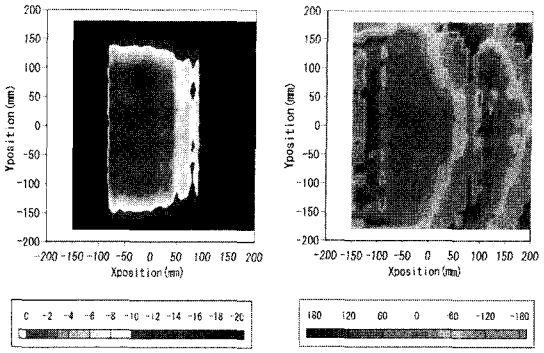
(a) 11.70 GHz



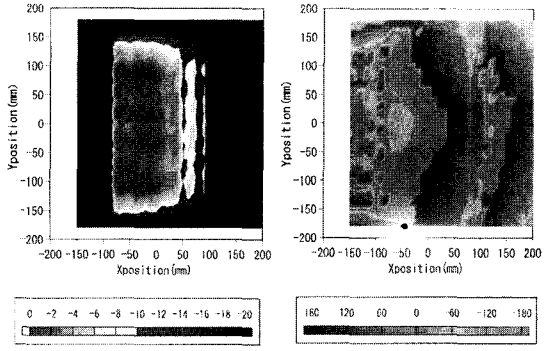
(b) 11.85 GHz



(c) 12.00 GHz



(d) 12.15 GHz



(e) 12.30 GHz

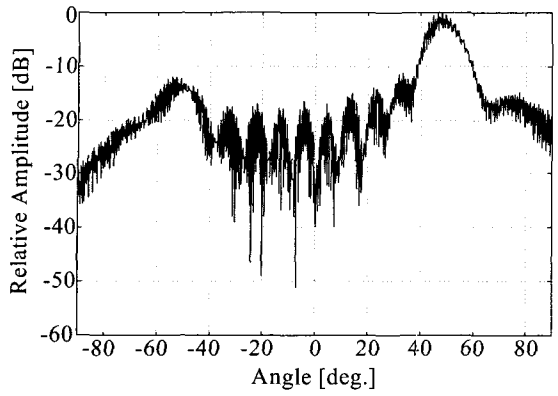
그림 6. 근방계에서 측정된 안테나 전계의 진폭과 위상 분포

Fig. 6. Distribution of amplitude and phase of antenna electric fields measured at near field.

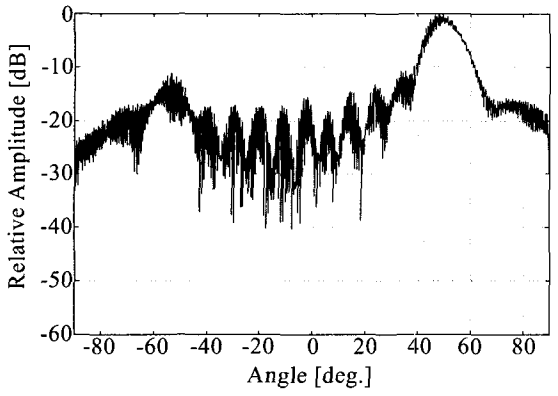
2. 지향성 패턴

지향성 측정은 8 m(L)×5 m(W)×4 m(H)인 전파암실에서 좌현편파에 대해 행하였다. 그림 7은 DBS 밴드에서 Spin linear로 측정된 지향성 패턴을 보여주고 있다. 송신측에는 혼 안테나를 설치하여 연속적으로 고속회전을 시키고, 수신측에는 제작한 안테나를 설치하여 방위각 방향으로 회전시키면서 수신되는 레벨을 기록하도록 하였다. 그림 7의 (a), (b), (c)는 좌현편파의 측정된 지향성 패턴을 각각 나타내고 있다.

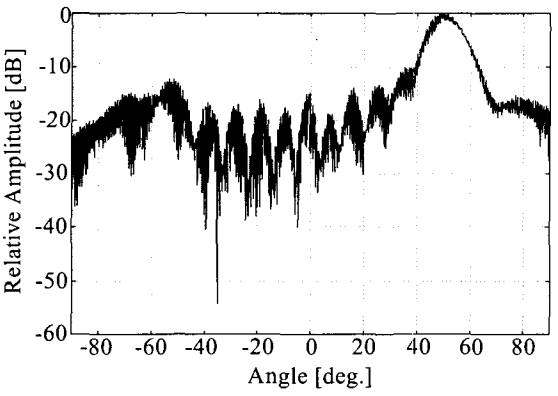
그림 7로부터 알 수 있는 것처럼 DBS대역에 걸쳐 측정된 주 빔의 최대 지향방향은 49° 로 설계치 47° 보다 2° 정도 차가 있으나 3 dB 빔폭이 43° ~56° 로 약 13° 의 폭을 가지며, 측정된 이 값은 목표한 빔 틸트 앙각의 범위에 포함된다. 또한 제작된 안테나의 측정으로부터 원하는 방향으로의 빔 틸트 특성을 확인할 수 있었다. 하지만 그림 7(a)로부터 알 수 있는 것처럼, 11.7 GHz에서 축비가 약 2.8 dB정도이고, 오히려 그림



(a) 11.70 GHz



(b) 11.85 GHz



(c) 12.00 GHz

그림 7. 측정된 지향성 패턴
Fig. 7. Measured radiation pattern.

7(c)와 같이 12.0 GHz에서 약 1.5 dB의 축비가 관측되어 주파수가 천이되었음을 알 수 있었다. 천이된 원인으로는 제작된 복사 도파관과 급전 도파관의 결합과정에서 그림 1에 표시된 offset이 완벽하게 설계와 일치하지 않음으로써 축비가 나빠졌고, 완벽한 결합이 이루어지지 않음으로써 주파수 천이가 일어난 것으로 사료된다. 하지만 전체적으로는 DBS 대역에서 2.8 dB 이하의 축비가 얻어졌고, 매우 양호한 빔 틸트 특성을 보이고 있어, 무궁화 위성방송에 사용하기 위한 안테나로써의 역할을 충분히 할 수 있음을 보여주고 있다. 또한 부엽의 레벨도 -13 dB이하로 양호함을 알 수 있다.

4. 이득

그림 8은 안테나의 계산된 이득과 측정된 이득의 비교를 나타내고 있다. 측정에 있어서 기준안테나로써 혼 안테나를 사용하여 측정하였으며, 원편파를 얻기 위해 송신측에는 Spin Linear 기법을 사용하였다. 수신측에는 제작된 안테나를 사용하였으며, 빔의 방향은 송신측으로부터의 신호를 스펙트럼 분석기로 먼저 수신하여 신호레벨이 최대가 되는 지점을 선택하여 설치하였다. 이때 안테나의 기울어진 각도가 빔의 틸트 각을 나타내며, 대략 47° 에서 50° 사이였다. 그림 8에서 보이는 것처럼 계산된 최대 이득은 11.85 GHz에서 26.5 dBi였고, 측정에서는 25.1 dBi가 얻어졌다. 또한 측정된 이득의 최대치는 12.1 GHz에서 26.1 dBi였고, 근방계 측정과 지향성 측정에서 나타났던 것처럼 주파수 천이가 생겼다. 주파수 천이에 의해 측정치는 DBS 대역에서 약 1.5 dBi정도 계산치에 비해 이득이 떨어지고 있고 이는 제작상의 오차에 기인한다고 판단된다. 하지만 11.7 GHz~12.2 GHz에 걸쳐 측정된 이득은 23.8 dBi 이상이었고, 제작된 안테나를 사용하여 필드 성능 시험

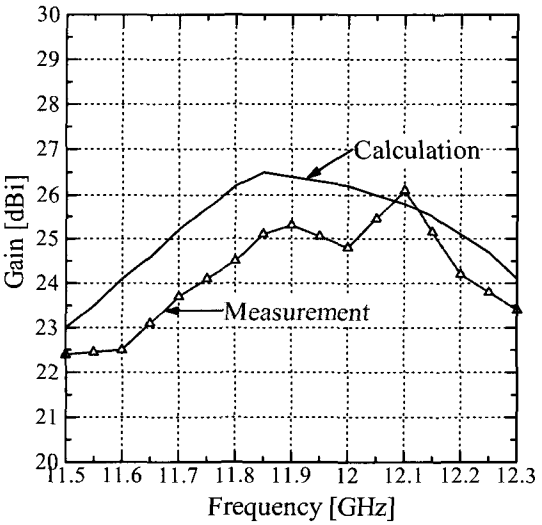


그림 8. 어레이 안테나의 계산된 이득과 측정된 이득의 비교
Fig. 8. Comparison between calculated and measured gain of array antennas.

을 한 결과, 위성방송을 수신하는 데에는 전혀 문제가 없었다.

5. 필드 측정

제작된 안테나의 성능을 평가하기 위해 차량에 위성방송 수신안테나 시스템을 설치하여, 경부고속도로에서 필드 측정을 하였다[14]. 차량의 내부에 위성으로부터의 AGC 신호레벨을 측정하기 위한 컴퓨터와 TV 모니터를 설치하고, 차량의 지붕에 자체 제작한 위성 추적 제어회로와 안테나를 설치하였다. 그림 9는 고속도로상에서 시속 110 Km의 속도로 주행할 경우의 추적시간과 수신된 AGC 신호레벨의 한 예를 보여주고 있다. 그림으로부터 알 수 있는 것처럼, 3.2 V의 기준신호레벨 이하로 떨어지는 구간에서 안테나는 회전을 하나, 기준신호레벨 이하로 떨어지는 시간이 매우 짧아서 안테나의 회전을 느낄 수 없었다. 또한 항상 시청 가능 레벨 이상을 유지함으로써 이동하는 차내에서 연속적인 TV 시청이 가능하였다. AGC 신호레벨에 잔 리플이 생기는 것은 고속도로의 표면이 고르지 못해서 AGC 신호레벨이 미세하게 변동하면서 생기는 것으로 위성으로부터의 신호를 추적하는 데는 전혀 지장이 없었다.

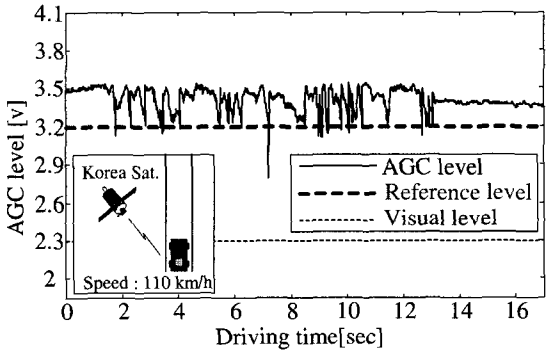


그림 9. 고속도로에서 측정된 AGC 신호레벨
Fig. 9. The measured AGC signal level on the highway.

V. 결 론

본 논문에서는 DBS 수신용 이동체 탑재형 시스템에 이용하기 위한 빔 틸트형 슬롯 어레이 복사 도파관 안테나의 특성을 기술하고 있다. 16소자×1열 안테나에 대하여 설계를 행하였고, 빔 틸트를 위한 최적의 슬롯 길이, 슬롯사이의 거리 그리고 크로스 슬롯의 사이각을 얻을 수 있었다. 이들 결과를 이용하여 16소자×16열의 복사 도파관 안테나를 제작하였다. 특히, 설계에 있어서 안테나가 지면과 수평한 위치에서 무궁화 위성을 지향할 수 있도록 하는 빔 틸트형 평면 도파관 어레이 안테나에 주안점을 두었으며, 지향성 패턴을 측정한 결과 빔의 지향각은 다소 주파수에 의존하지만 48° ~50° 사이로 설계치와 잘 일치하였다. 앙각 지향성의 3 dB 빔 폭은 약 13° 정도였고, DBS 대역에서의 축비는 약 2.8 dB 이하, 이득은 24 dBi 이상으로 12.1 GHz에서 최대 26.1 dBi를 얻었다. 근방계의 측정으로부터 급전부와 결합을 시키는 과정에서 발생하는 오차에 의한 주파수 천이와 이득 저하에 대한 문제점을 찾아 낼 수 있었고, 그 대안을 제시하였다. 제작한 안테나를 위성 추적 제어시스템과 연동시켜 차량을 이용하여 고속도로에서 필드 측정을 한 결과, 연속적인 TV 시청이 가능하였고 제안한 안테나의 우수한 성능이 입증되었다.

참 고 문 헌

[1] K. Nishikawa, "Mobile DBS *receiving antenna* system," *Toyota Central Lab. R&D Review*, Vol. 27, No. 1, p. 65, March 1992.

[2] S. Ohmori, "Phased array antenna for mobile satellite communication systems," *Proc. APMC '94* pp. 827~830, Oct. 1994.

[3] S. Samejima, "Satellite communications in the multimedia era," *Proc. MWE'96*, pp. 400~407, Dec. 1996.

[4] R. Miura, T. Tanaka, A. Horie, and Y. Karasawa, "DBF Self-beam steering array antenna for mobile satellite applications using beam-space maximalratio *combination*," *IEEE Trans. Veh. Tech.* Vol. 48, No. 3, pp. 665~675, May 1999.

[5] M. Haneishi, S. Sato, K. Yahagi and A. Kaise, "A consideration on beamtilt-type planar DBS antenna," *ITE Tech. Rept.*, RE-88-31, Sept. 1988.

[6] E. Rammos, "New wideband high-gain stripline planar array for 12 GHz satellite TV," *Electron Lett.*, Vol. 18, No. 6, pp. 252~253, March 1982.

[7] Y. Furukawa, N. Goto and K. Maehara, "A beam-tilt planar waveguide slot antenna of single layer structure for satellite TV," *IEICE Tech. Rept.*, AP88-40, Jul. 1988.

[8] M. Ando, K. Sakurai and N. Goto, "Characteristics of a radial line slot antenna for 12 GHz band satellite TV reception," *IEEE Trans. Antenna & Propagation*, Vol. 34, No. 10, pp. 1269~1272, Oct. 1986.

[9] H. Sasazawa, Y. Oshima, K. Sakurai, M. Ando and N. Goto, "Slot coupling in a radial line slot antenna for 12 GHz band satellite TV reception," *IEEE Trans. Antenna & Propagation*, Vol. 36, No. 9, pp. 1221~1226, Sept. 1988.

[10] W. J. Getsinger, "Elliptically polarized leaky-wave array," *IRE Trans. Antenna & Propagation*, Vol. 10, pp. 165~172, 1962.

[11] 민경식, 김광욱, 김동철, 임학규 "유도성 벽을 이용한 π분기형 일층구조 급전 도파관 어레이의 설계", *한국전자파학회논문지* 제 12권, 제 2호, pp. 257~267, 2001. 2.

[12] 민경식, 김동철, "차량 탑재형 DBS수신 시스템용 16 포트 급전 도파관 어레이", *대한전자공학회논문지*, 제 39권 제 2호, 2002. 2.

[13] K. S. Min, S. H. Park, D. H. Kang, D. C. Kim and H. G. Lim, "A basic study on the azimuth tracking algorithm for mobile DBS reception antenna system," *Proc. of ISAP 2000*, Vol. 1, pp. 25~28, Aug. 2000.

[14] 김동철, 민경식, 新井 宏之, "차량용 DBS 수신을 위한 위성 추적 안테나 제어시스템의 성능 구현", *대한전자공학회논문지*, 2001. 9.(심사진행중)

[15] J. Hirokawa, "A study of slotted waveguide array antennas," *Doctor dissertation, Tokyo Institute of Technology*, Nov. 1993.

[16] M. Takahashi, J. Takada, M. Ando and N. Goto, "A slot design for uniform aperture field distribution in single-layered radial line slot antennas," *IEEE Trans. Antenna & Propagation*, Vol. 39, No. 7, pp. 954~959, Jul. 1991.

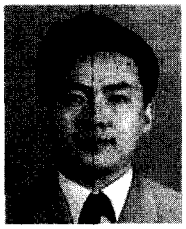
[17] J. Hirokawa, M. Ando and N. Goto, "Waveguide-fed parallel plate slot array antenna," *IEEE Trans. Antenna & Propagation*, Vol. 40, No. 2, pp. 218~223, Feb. 1992.

[18] N.Goto, "A technique of grating lobe suppression and an application to planar waveguide slot arrays for dual frequency use," *IECE Tech.* Rept., AP87-10, May 1987.

저 자 소 개

閔 庚 植(正會員)

1989년 2월 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사). 1991년 2월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사). 1991년 1월 한국해양대학교 조교. 1993년 1월~93년 9월 고등기술연구원 정보통신연구실 근무. 1993년 10월~96년 9월 동경공업대학 전기전자공학과 (공학박사). 1997년 3월~현재 한국해양대학교 전파공학과 조교수. 2001년 2월~2002년 2월 일본 요코하마 국립대학 객원교수. <주관심분야 : 위성방송 및 이동통신용 평면안테나 설계, Direct Conversion RF 회로 설계 및 초고주파회로 설계>



金 東 哲(正會員)

1990년 2월 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사). 1992년 2월 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 (공학석사). 1992년 3월~95년 1월 (주) 대룡정밀 연구소 연구원. 1995년 4월~현재 (주) 백금정보통신 연구소장. 1998년 3월~현재 한국해양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정. <주관심분야 : 평면안테나 및 초고주파회로 설계>

新井 宏之(正會員)

Hiroyuki ARAI received the B.E. degree in Electrical and Electronic Engineering, M.E. and D.E.in Physical Electronics from Tokyo Institute of Technology in 1982, 1984 and 1987, respectively. After a research associate in Tokyo Institute of technology, he joined to Yokohama National University as a lecturer in 1989. Now he is an associate professor in Division of Electrical and Computer Engineering, Yokohama National University. He investigated microwave passive components for high power handling applications such as RF plasma heating in large Tokamaks. He developed a flat diversity antenna for mobile telephone terminal,a polarization diversity base station antenna for Japanese PDC systems, and small base station antennas of In-building micro cellular system. He was awarded the "Meritorious Award on Radio" by the Association of Radio Industries and Businesses in 1997 for the development of polarization diversity antenna. He is collaborating with a large number of companies for mobile terminal antennas, cellular base station antennas, antenna measurement techniques, indoor/ outdoor propagation measurement and simulation, and EMC measurements and wave absorbers. He published more than 50 reviewed journal papers and about four hundreds international and domestic conference papers. He is the co-author and authors of five text books about electromagnetic waves and mobile antennas, and he holds four US patents of antenna, and several Japanese patents.