

새로운 빔 조향 방식을 갖는 반사판 기반의 이동형 위성 통신 안테나

Reflector Based Mobile Satellite Antenna with Novel Beam Steering Scheme

정 영 배 · 엄 순 영

Young-Bae Jung · Soon-Young Eom

요 약

본 논문에서는 새로운 빔 조향 방식을 갖는 하이브리드 안테나를 제안하였다. 본 안테나는 카세그레인 안테나 구조로서, 파라볼라 구조의 고이득 특성을 구현하기 위하여 설계된 주반사판과 평판형 구조로서 모든 방향에서 $\pm 3^\circ$ 회전할 수 있도록 설계된 부반사판의 경사각을 이용하여 안테나 빔 조향(beam pointing)을 제어할 수 있도록 하였다. 또한, 20개의 소자 안테나로 구성되는 능동 배열을 급전부에 적용함으로써, 일차적으로 급전 배열에 의한 전자기 빔 조향 제어와 함께, 부 반사판의 경사각을 이용한 이차적인 빔 조향 제어가 가능하도록 하였다. 본 안테나는 이동체 내에서 위성을 통한 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있도록 설계되었으며, 무궁화위성의 사양에 맞춰 송신은 Ka-대역(30.085~30.885 GHz)에서, 수신은 K-대역(20.355~21.155 GHz)에서 동작하도록 설계되었다. 또한, 제작된 시제품 안테나의 특성 시험을 통하여, 송신 및 수신 대역에서 최소 47 dBi와 44.4 dBi의 안테나 이득을 가지며, 급전 배열 및 부 반사판을 통하여 안테나의 빔이 $\pm 2^\circ$ 범위까지 가변할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes a hybrid antenna with novel beam steering scheme. The antenna have a cassegrain structure composed of two reflectors. The main reflector is designed for high gain performance using parabola curvature, and the sub-reflector is plate and can be rotated by $\pm 3^\circ$. Thus proposed antenna can steer a antenna beam using the inclination of sub-reflector. A feed array composed of 20 elements is adapted as a feeder for electrical beam steering, and the antenna can be possible to steer the beam by the feed array with sub-reflector. Proposed antenna was fabricated to be operated in Ka-band(30.085~30.885 GHz) for TX and K-band(20.355~21.155 GHz), which are the operation frequencies of the Korean satellite, Mugunhwa, to provide satellite multi-media service to vehicles. By the performance test, it can be known that the antenna has minimum gain of 47 dBi for TX and 44.4 dBi for RX and can steer the beam by $\pm 2^\circ$ with sub-reflector.

Key words : Hybrid Antenna, Satellite Communications, Shaped Reflector

I. 서 론

위성 통신은 지리적으로 넓은 서비스 영역과 통신 장애가 적다는 전파환경상의 장점으로 근래에 들어

널리 서비스되고 있다. 또한, 이러한 위성 통신은 고정형에서 점차적으로 진보하여 이동체에 탑재할 수 있는 형태로 발전하게 되었으며, 이동체에서의 원활한 통신을 위하여, 이동체의 움직임에 따른 위성의

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음(2007-F-041-03, 지능형 안테나 기술개발)」
한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20081222-153

· 수정완료일자 : 2009년 2월 4일

위치 변화를 신속하게 파악하고, 이를 통하여 정확하게 위성을 추적할 수 있는 다양한 형태의 안테나 개발이 진행되고 있다.

상술한 이동형 위성 통신 안테나로서 가장 오랜 동안 활용되어온 구조는 모터 제어를 통한 기계식 반사판 안테나이다^{[1]~[5]}. 그러나, 기계적 추적 방식의 안테나는 내구성이 좋고, 제작 단가가 저렴하다는 점에도 불구하고, 전자식 추적 방식에 비하여 안테나 빔의 제어 속도가 느리다는 단점으로 주로 선박 및 일부 항공기 등에 적용 범위가 극히 제한되어 왔다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 Tang & Chu^[6], Mailloux^[7] 등에 의하여 하이브리드(hybrid antenna) 안테나가 제안되었으며, Bachrah & Gailmow^[8] 등에 의하여 안테나 설계를 위한 이론적 연구가 수행되었다.

하이브리드 안테나는 기계식 안테나 구조에 적용되는 반사판과 전자식 안테나 구조에 적용되는 위상 배열(phased array)로 구성된다. 이러한 구조적 특징으로, 반사판의 개구면(aperture area) 설계에 따라 상대적으로 용이하게 고이득 특성을 구현할 수 있으며, 급전부에 위상 배열 구조를 적용함으로써, 기계식 안테나의 최대 단점으로 지적되고 있는 안테나 빔의 조향 제어 속도를 현격하게 개선할 수 있다.

본 논문의 안테나는 상술한 특징을 갖는 이중 반사판의 카세그레인 구조를 갖는 하이브리드 안테나로서, 급전부에는 20개의 소자안테나로 구성되는 위상 배열을 포함한다. 주 반사판의 경우, 요구 사양에 의하여 제안된 안테나의 허용면적 내에서 안테나의 이득을 극대화하기 위하여, 개구면을 원형이 아닌 타원 구조로 설계하였으며, 부 반사판은 평판형 구조로서 모든 방향으로 최대 $\pm 3^\circ$ 까지 회전할 수 있도록 설계하였다. 이러한 구조적 특징으로, 빔의 조향 제어를 급전 배열에만 의존하는 일반적인 하이브리드 안테나와는 달리, 반사판의 경사각 제어를 통해서도 안테나의 빔 조향 제어를 수행할 수 있도록 하였다. 이러한 장점을 통하여, 하이브리드 안테나에 요구되는 전자식 빔 조향 범위의 상당 부분을 부 반사판의 경사각 제어로 실현할 수 있으며, 이를 통하여, 다수의 소자 안테나와 능동 채널로 구성되는 급전 배열의 규모를 획기적으로 줄임으로써, 안테나의 제작 단가를 절감뿐 아니라, 경량화 및 소형화 등의 부수적인 효과를 도모할 수 있다. 본 논문에서 제

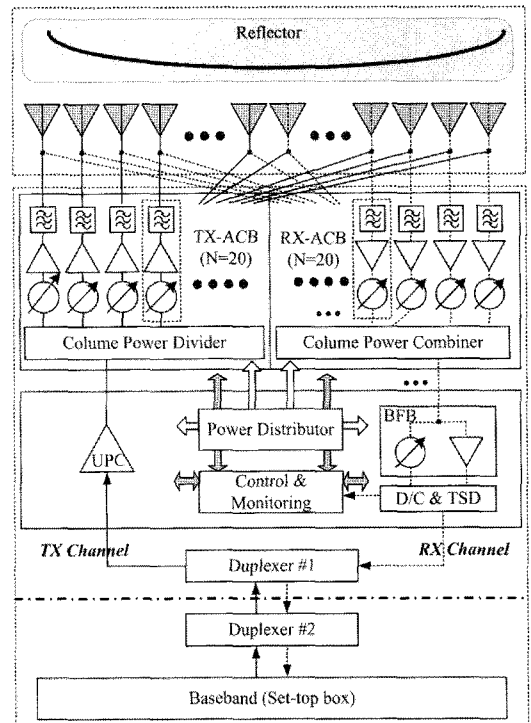


그림 1. 하이브리드 안테나의 구조(ACB: 능동채널블록, UPC: 상향 주파수변환기, DNC: 하향 주파수변환기, TSD: 추적신호검출기, BFB: 빔성형블록)

Fig. 1. Hybrid antenna structure(ACB: Active Channel Block, UPC: Up-Converter, DNC: Down-Converter, TSD: Tracking Signal Detector, BFB: Beam Forming Block).

안하는 하이브리드 안테나의 구조와 주요 사양은 다음의 그림 1과 표 1에 나타나 있다.

II. 하이브리드 안테나 설계

그림 2는 회전하는 부 반사판을 포함하는 하이브리드 안테나의 전체 구조와 설계 수치를 보여주고 있다. 본 그림에 나타난 바와 같이, 제안된 안테나는 오프셋 카세그레인 안테나 구조를 가지고 있으며, 요구 성능을 만족시킬 수 있는 최적의 설계 수치를 찾을 수 있도록 설계가 진행되었다.

이러한 최적의 성능 구현을 위한 안테나 설계를 위하여, 먼저 주 반사판에 대한 구조 설계와 부 반사판의 위치를 결정하여야 한다. 파라볼라 형상은 다음의 식 (1)에 의하여 결정되며, 이를 위하여, x-축

표 1. 하이브리드 안테나의 주요 사양

Table 1. Main specifications of hybrid antenna.

항 목	요 구 사양
동작 주파수	송신: 30.085~30.885 GHz 수신: 20.355~21.155 GHz
안테나 이득	송신: 45 dBi 이상 수신: 43 dBi 이상
부엽 레벨	ITU-R s.465-5
편파	송신: LHCP 수신: RHCP
교차 편파	송신: 24 dB 이상 수신: 24 dB 이상
빔 조향	전자식: $\pm 2^\circ$ EI, Az 기계식: $\pm 25^\circ$ @EI & 360° @Az
추적 방식	Tracking beam forming in K-band
크기	지름=높이=170 cm

에서의 반사판 직경 D_x , y-축에서의 반사판 직경 D_y , z-축에서의 반사판 이격거리 H 와 파라볼라의 초점 (focus) F 의 값을 결정한다.

$$z = f - \frac{x^2 + y^2}{4f} \quad (1)$$

또한, 부 반사판의 위치는 파라볼라 초점으로 부터 부 반사판이 이격된 거리 L_s 와 z-축과 부 반사판

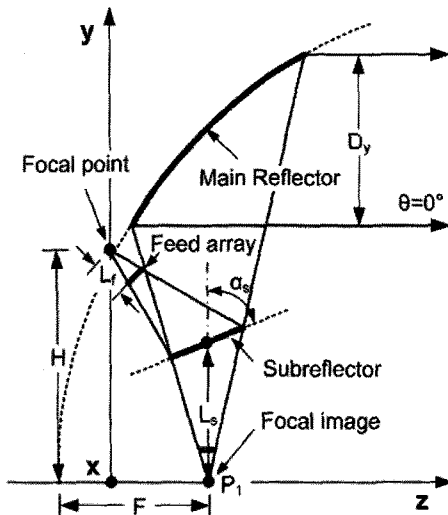


그림 2. 회전 가능한 부 반사판을 포함하는 제안된 하이브리드 안테나 구조

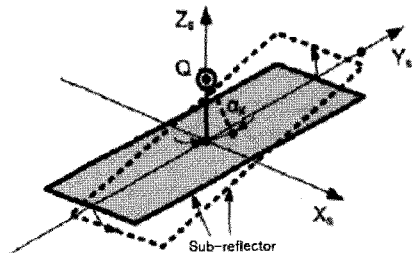
Fig. 2. Structural scheme of proposed HA with rotational sub-reflector.

사이의 각도 α_s 에 따르며, 본 설계를 통하여 결정된 하이브리드 안테나의 설계 수치는 $D_x=150$, $D_y=118$, $H=126.1$, $F=84$, $L_s=71.5$, $\alpha_s=67$ 이다.

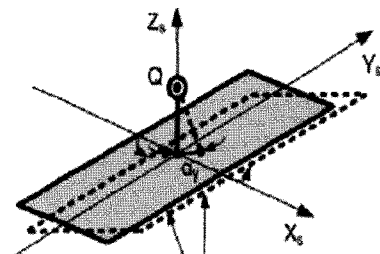
다음 단계에서는 반사판의 개구면 형상을 결정하여야 한다. 본 설계에 있어서, 안테나의 요구 사양을 만족하기 위해서는 직경 190 cm의 레이돔에 안테나가 장착되어야 하며, 레이돔 내부에서 안테나의 기계적 구동을 위한 여유 공간을 고려하는 경우, 최대 170 cm 이내로 설계되어야 한다.

일반적인 경우와 같이, 주 반사판의 개구면을 원형으로 설계했을 때, 최대 직경은 118 cm이며, 이 경우, 안테나에 요구되는 이득 사양을 만족시킬 수 없다는 문제가 발생된다. 따라서, 가용한 공간에서 주 반사판의 면적을 극대화할 수 있도록, 그림 4의 (a)에 도식된 바와 같이, 주 반사판의 개구면을 타원으로 설계함으로써 약 1.1 dB 정도 이득 개선 효과를 도모하였다.

그림 3은 부 반사판의 구동 방식을 도식적으로 설명하고 있다. 부 반사판은 부 반사판 상측, 즉, Z_s -축 1 cm 지점에 위치한 Q점을 기준으로 X_s -축과 Y_s -방향으로 진자(pendulum) 운동을 할 수 있도록 설계되



(a) 방위각 방향의 빔 조향 제어
(a) Azimuth beam scanning



(b) 양각 방향의 빔 조향 제어
(b) Elevation beam scanning

그림 3. 부 반사판의 구동 개념

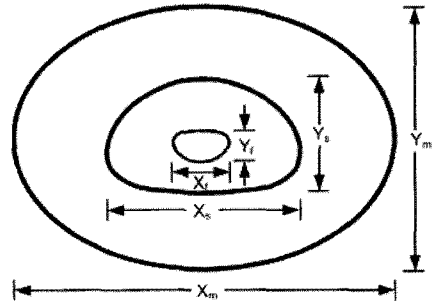
Fig. 3. Operational concept of sub-reflector.

었다. 이때, 양각 방향으로 안테나의 빔을 조향 제어하기 위해서는 부 반사판을 X_s -축으로 회전시켜야 하며, 방위각 방향으로 제어하기 위해서는 Y_s -축으로 회전시켜야 한다. 여기서, 각 방향에 대한 부 반사판의 기울기는 회전각 α_x 와 α_y 로 표기하였다.

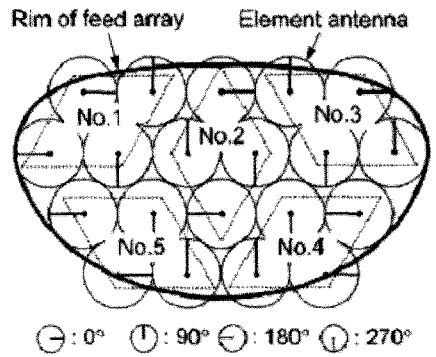
마지막으로, 안테나 성능을 최적화 시킬 수 있는 급전 배열의 구조를 결정하여야 한다. 급전 배열의 구조는 급전 배열의 구성하는 소자 안테나 형태, 배열 방식 및 배열 간의 간격 등으로 결정될 수 있다. 본 단계에서는 GO 시뮬레이션을 이용한 기본 설계 과정과는 달리, Physical Optic(PO)을 이용하여, 급전 배열의 구조를 포함하여, 기본 설계 과정에서 결정된, 급전 배열의 위치(L_f)와 같은 주요 설계 수치를 최적화함으로써 안테나 성능을 극대화하는 과정으로 설명할 수 있다.

그림 4는 PO를 이용하여 결정한 최종 반사판 및 급전 배열의 설계 결과를 개괄적으로 도식하고 있다. 상술한 바와 같이, 주 반사판의 개구 형상(aperture shape)은 안테나 이득을 극대화하기 위하여 타원 구조로 설계되었다. 주 반사판의 개구 형상이 결정되면, GO의 ray tracing 기법을 이용하여 주 반사판에 대응하는 부 반사판과 급전 배열의 개구 형상을 결정할 수 있으며, 그 형태는 그림 4의 (a)에 도식된 바와 같이, 일그러진 타원 형태를 갖는다. 본 설계 과정을 통하여 결정된 반사판과 급전 배열의 최종 크기는 다음과 같다: $X_m=150$ cm, $Y_m=118$ cm(주 반사판), $X_s=70$ cm, $Y_s=40$ cm(부 반사판), $X_f=17$ cm, $Y_f=9$ cm(급전 배열).

그림 4의 (b)는 급전 배열의 세부 구조를 도식하고 있다. 본 그림에 나타난 바와 같이, 급전 배열은 20개의 소자 안테나로 구성되며, 소자 안테나 간의 전자기적 간섭을 최소화하고 안테나 빔 패턴을 최적화하기 위하여, 6각형(hexagonal) 배열 구조를 이용하였다. 또한, 급전 배열을 통한 전자식 위성 추적 기능을 구현하기 위하여, 그림에서와 같이 4개의 소자로 구성된 5개의 그룹으로 분할하였다. 이를 통하여, 각 그룹에 포함되는 소자 안테나 간의 위상을 상대적으로 90° 단위로 회전시킴으로써, 소자 안테나 빔 패턴의 비대칭 특성이나 배열 안테나 구성 시 안테나를 구성하는 채널 간의 이득 혹은 위상 오차에 의하여 발생할 수 있는 방사 패턴 왜곡 현상을 방지할 수 있도록



(a) 반사판 및 급전 배열의 크기
(a) Size of reflector and feeder



(b) 급전 배열의 초기 위상 분포
(b) Initial phase distribution of feeder

그림 4. 반사판 및 급전부 설계
Fig. 4. Design of reflector and feeder.

하였다. 또한, 본 안테나의 추적 빔은 $1.2^\circ \times 0.6^\circ$ 의 빔 폭을 갖는 K-대역의 수신 빔을 이용한다. 추적 빔의 제어를 위하여, 앞서 서술한 바와 같이, 전체 급전 배열을 5개 그룹으로 나누고, 해당 그룹 중 2번(No. 2)을 제외한 4개 그룹에 대한 위상을 제어하는 방식으로 설계되었다. 이때, 같은 구역에 위치한 소자 안테나는 동일 위상으로 동시에 제어된다. 이러한 방식으로 제어되는 급전 배열을 통하여 형성되는 추적 빔의 좌표는 각각 $(Az, El)=(0^\circ, 0.6^\circ)$, $(0.4^\circ, 0^\circ)$, $(0^\circ, -0.6^\circ)$, $(-0.4^\circ, 0^\circ)$ 이며, 급전 배열에 인가되는 위상 값을 제어함으로써 추적 빔이 좌표는 자유롭게 설정할 수 있다.

III. 안테나 제작 및 성능 평가

그림 5는 제작된 급전 배열의 실물 사진을 보여준다. 본 배열에서는 20개의 송신 및 수신 이중 대역에서 각각 원형 편파 특성을 갖는 안테나 소자를 구

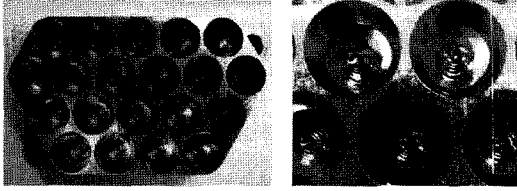


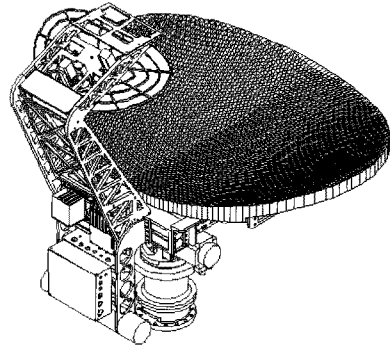
그림 5. 제작된 급전 배열의 실물 사진
Fig. 5. Photo of fabricated feed array antenna.

현하기 위하여, 본 논문에서는 내부에 원뿔 나선형 소자(conical helix element)를 갖는 원형 도파관 구조를 사용하였다. 배열을 구성하는 소자 간의 간격은 송신 대역에서 $0.49 \lambda_0$ 이며, 수신 대역에서는 $0.72 \lambda_0$ 로 최적화되어 있으며, 나선형 소자의 제작 상의 편리와 제작 단가 절감을 위하여 높은 탄성도를 갖는 탄소강(carbon steel) 소재의 스프링을 사용하였다^[9].

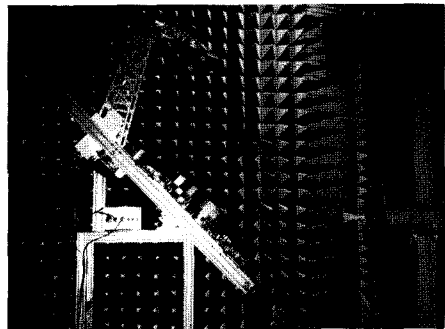
급전 배열을 포함하는 제작된 전체 안테나의 시제품은 그림 6과 같다. 특히, 반사판의 제작 오차를 최소화하기 위하여, 컴퓨터 프로그램에 의하여 제어(CNC: Computerized Numerical Control)되는 정밀 기계 장치(MCT: Machining Center)를 통하여 알루미늄으로 제작되었다. 기본적인 안테나 설계 이외에, 주 반사판과 부 반사판을 연결하는 지지 구조물을 격자(lattice) 구조로 설계함으로써, 구조의 강도를 높이고, 인접 구조물에 의하여 발생하는 전파 간섭 현상을 최소화하였고, 해당 구조물의 중량을 25% 이상 줄일 수 있었다.

또한, 제작된 안테나는 무반사실(anechoic chamber)에 설치된 Orbit사의 근접 전계(near-field) 측정 장비를 이용하여 측정하였으며, 안테나 부 반사판의 회전각에 따라 급전 배열의 위상 데이터를 개별적으로 인가하는 방식으로 진행되었다.

안테나 패턴에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과는 그림 7(.....: 시뮬레이션 결과 @제어각=0°, —: 측정 결과 @제어각=0°, - - - : 측정 결과 @제어각=-2°, —·—·: 측정 결과 @제어각=+2)에 제시되어 있다. 이중, 그림 7의 (a)와 (b)는 송신 패턴에 대하여 방위각 및 양각 방향으로 -2°, 0°, +2° 만큼 주 빔을 조향 제어한 결과를 보여주고 있으며, 그림 7의 (c)와 (d)는 동일한 각도를 제어한 수신 패턴의 결과이다. 또한, 안테나 설계의 효용성을 검증하기 위하여, 빔 조향각=0°에서의 시뮬레이션 패턴을 제시하였으



(a) 안테나 구조 설계
(a) Structural antenna design



(b) 패턴 측정 전경
(b) Scene of antenna pattern measurement

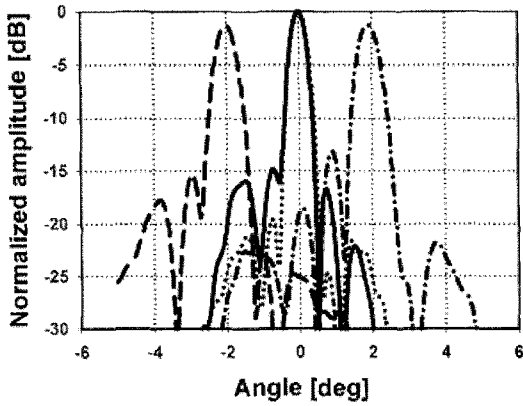
그림 6. 하이브리드 안테나 제작
Fig. 6. Fabrication of hybrid antenna.

며, 측정 결과와 매우 유사함을 확인할 수 있다.

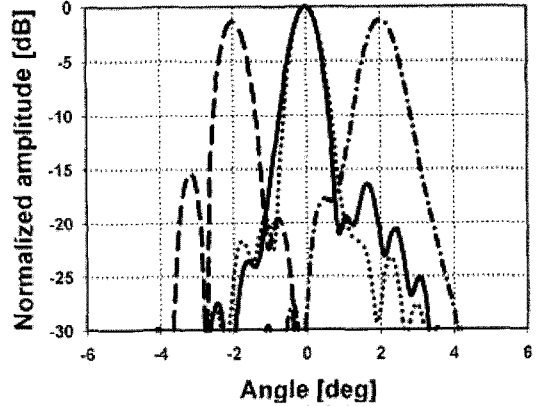
제작된 안테나는 송신 대역에서 최소 47.2 dBi, 수신 대역에서 최소 44.7 dBi의 이득을 가지며, 타원 형태로 설계된 주 반사판의 개구 형상에 의하여, 타원의 장축에 위치한 방위각 방향의 빔 폭이 양각 방향에 비하여 협소하다는 것을 알 수 있다. 또한, 모든 패턴 결과에서 부엽 레벨(side-lobe level)은 15 dB 이하로 확인되었으며, 본 결과는 시뮬레이션 결과에 비하여 약 5 dB 정도 열화된 수준으로 안테나 제작 및 급전 배열의 위상 제어 오차에 의하여 발생된 것으로 판단된다. 안테나의 빔 제어에 따른 지향 오차(pointing error by beam steering)는 0.11° 이며, 이로 인하여 발생하는 최대 지향 손실(pointing loss)은 약 1.6 dB이다.

IV. 결 론

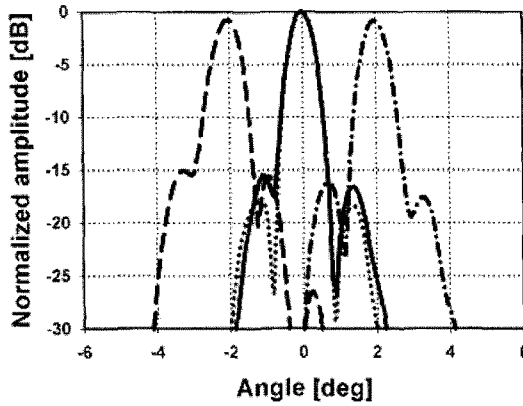
본 논문에서는 새로운 형태의 빔 조향 방식을 갖



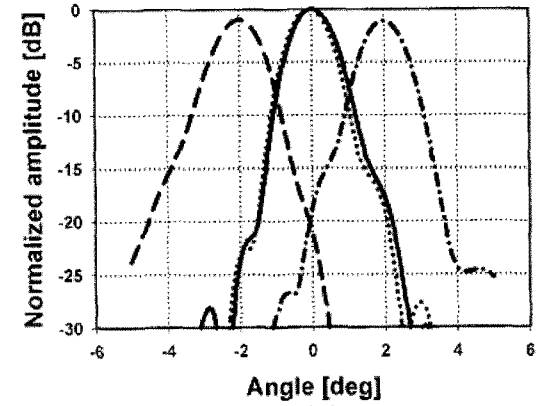
(a) 송신 대역 양각
(a) TX patterns in azimuth



(b) 송신 대역 방위각
(b) TX patterns in elevation



(c) 수신 대역 양각
(c) RX patterns in azimuth



(d) 수신 대역 방위각
(d) RX patterns in elevation

그림 7. 안테나 방사 패턴의 시뮬레이션 및 측정 결과
Fig. 7. Simulated and measured radiation patterns.

는 하이브리드 안테나를 소개하였다. 본 안테나는 두 개의 반사판으로 구성되며, 주 반사판은 파라볼라 형태의 곡률과 함께 타원 모양의 개구 형상으로 설계함으로써 주어진 면적에서 최대의 이득을 구현하도록 하였다. 안테나 빔의 제어 방식에 있어서, 빔의 조향 제어를 전자식 급전 배열에만 의존하는 기존의 하이브리드 구조와는 달리, 부 반사판이 회전하도록 설계함으로써, 부 반사판의 경사각에 따라 빔의 지향 방향을 제어할 수 있도록 하였다. 또한, 부 반사판이 $\pm 3^\circ$ 범위에서 회전할 때, 안테나 빔의 지향 방향이 $\pm 2^\circ$ 가변될 수 있으며, 이를 통하여, 빔의 조향 제어를 위해 요구되는 급전 배열에 규모를 획기적으로 줄일 수 있었다.

상술한 바와 같이, 새로운 빔 조향 방식을 갖는 본

안테나는 능동 배열을 통한 전자식 위성 추적 방식을 부가함으로써, 기계식 안테나의 최대 단점인 추적속도를 개선하도록 하였다. 또한, 부 반사판이 회전하도록 설계함으로써, 부 반사판의 경사각 제어를 통하여 안테나 빔의 지향 방향을 제어할 수 있으며, 이를 통하여, 급전 배열의 역할을 최소화하고, 그 규모를 획기적으로 줄일 수 있도록 하였다. 이러한 장점을 통하여, 이동형 안테나에 대한 성능 향상 및 제작 비용 절감 등의 효과를 동시에 실현함으로써, 경쟁력있는 상용 안테나 모델을 제시할 수 있었다.

참고 문헌

[1] V. Schena, F. Ceprani, "FIFTH project solutions de-

- monstrating new satellite broadband communication system for high speed train", *Vehicular Technology Conference*, vol. 5, pp. 2831-2835, May 2004.
- [2] A. Monk et al., "An ultra-low profile airborne reflector antenna subsystem for broadband satellite communications", *21st AIAA International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit*, AIAA2003-2316, Apr. 2003.
- [3] A. Densmore, V. Jamnejad, "A satellite-tracking K- and Ka-band mobile vehicle antenna system", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 42, no. 4, pp. 502-513, Nov. 1993.
- [4] Y. Inasawa, S. Kuroda, K. Kusakabe, I. Naito, and Y. Konishi, "Aeronautical ultra-low-profile reflector antenna designed by physical optics shaping technique", *2004 IEICE Society Conference*, C-1-5, Sep. 2004.
- [5] H. Wakana et al., "COMETS for Ka-band and millimeter-wave advanced mobile satellite communications and 21 GHz advanced satellite broadcasting experiments", *IEEE International Conference on Communications*, vol. 1, pp. 79-83, Jun. 1998.
- [6] C. H. Tang, R. S. Chu, Hybrid antenna configurations for limited electronic scanning, NEREM-74; Northeast Electronics Research and Engineering Meeting, Boston, Mass., Record part 4, Newton, Mass., pp. 185-198, Oct. 1974.
- [7] A. W. Rudge, K. Milne, A. D. Oliver, and P. Knight, *The Handbook of Antenna Design*, IEEE Press, 1982.
- [8] L. D. Bachrah, G. K. Galimov, *Scanning Reflector Antennas*, Moscow, Science, 1981.
- [9] Y. B. Jung, S. Y. Eom, S. I. Jeon, and S. O. Park, "Dual-band and dual-polarised horn antenna including conical helix", *Electronics Letters*, vol. 43, no. 8, pp. 432-434, Apr. 2007.

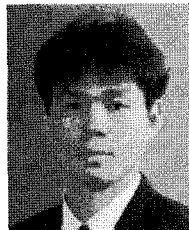
정 영 배



1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년 2월: 한국정보통신대학교 전자공학부 (공학석사)
 2001년 2월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

[주 관심분야] 초고주파 수동 및 능동 부품설계, 이동통신용 안테나, 위성 통신용 위상 배열 안테나 시스템

엄 순 영



1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원

2007년 7월~2008년 7월: 미국 조지아공대 국제공동개발
 1991년 8월~1993년 7월: 이탈리아 Alenia Spazio사와 VS-AT(DAMA-SCPC) 시스템 국제공동개발
 [주 관심분야] 초고주파 수동/능동 부품 및 시스템, 위상 배열 안테나, 위성/이동 통신 안테나 및 RF 시스템 등