

새로운 성형 반사판 기반의 이동 위성 통신 안테나 설계

Novel Mobile Satellite Communication Antenna Design Based on Shaped-Reflector

정 영 배 · 박 성 옥*

Young-Bae Jung · Seong-Ook Park*

요 약

본 논문은 이동 위성 통신을 위한 성형 반사판 기반의 하이브리드 안테나 설계에 대하여 서술한다. 하이브리드 안테나는 성형 반사판과 1×8 배열의 선형 위상 배열 안테나로 이루어진 급전부로 구성되며, 최소의 개구면으로 안테나에 요구되는 최적의 성능을 구현하기 위하여, 반사판 성형화 기법이 적용되었다. 또한, 급전부 설계에 있어서, 능동 배열의 수를 최적화함으로써 전체적인 안테나의 제작 단가를 최소화 할 수 있다는 장점을 갖는다. Ka-대역에서 설계된 본 안테나는 양각 방향 +45°를 기준으로 ±3° 범위에서 빔 패턴을 전기적으로 제어할 수 있으며, 부엽 레벨을 포함한 안테나 빔 패턴에 대해서는 ITU-R S.465-5에 만족하도록 설계되었다.

Abstract

This paper presents hybrid antenna(HA) design based on shaped reflector for mobile satellite communication. HA is composed of a shaped reflector and a feeder having 1×8 linear phased array, and reflector shaping method is applied for the performance optimization with minimum aperture size. And, in the feeder design, HA has another merit to minimize the manufacturing cost by optimizing the number of element. Proposed HA is designed at Ka-band and can electrically control a beam pattern within ±3° in the basic angle of +45° in elevation. This antenna is designed to meet ITU-R S.465-5 for beam pattern including side-lobe level.

Key words : Antenna, Hybrid antenna, Shaped Reflector

I. 서 론

위성 통신은 지리적으로 넓은 서비스 영역과 우주 궤도 상에 존재하는 위성과의 직접 교신으로 통신장애가 적다는 전파 환경상의 장점 등으로 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 위치 변화를 파악할 수 있는 능동 위상 배열 안테나의 개발이 전 세계적으로 이루어지고 있는 실정이다.

본 논문에서는 이동형 위성 통신을 위한 성형 반사판 기반의 하이브리드 안테나에 대하여 서술한다. 하이브리드 안테나는 1974년에 최초로 C. H. Tang과 R. S. Chu^[1]에 의하여 소개되었으며, 반사판에 위상 배열 안테나를 급전부로 적용함으로써, 고이득 특성과 함께 전기적인 빔 조향을 통한 고속 위성 추적의

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2007-F-041-02, 지능형 안테나 기술 개발].」

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

*한국정보통신대학교 전자공학부(School of Engineering, Information and Communications University)

· 논문 번호 : 20080523-04S

· 수정완료일자 : 2008년 7월 8일

장점을 동시에 갖는 구조적 특징을 갖는다.

본 논문의 하이브리드 안테나는 무궁화 5호의 위성 사양에 맞춰 Ka-대역(30.085~30.885 GHz) 송신용으로 설계되었다. 또한, 초기 상태에서 양각 방향 45°를 지향하며, 급전부 위상 배열 안테나의 위상 제어를 통하여 양각 방향 ±3°를 제어함으로써, 기계식 안테나에서 발생할 수 있는 이동체의 급격한 움직임에 따른 위성 추적 이탈 현상을 방지할 수 있다. 이러한 한정적인 범위에서의 전기적 위성 추적은 급전부 위상 배열을 최소화 할 수 있으며, 이를 통하여 안테나의 제작 단가를 현격하게 낮출 수 있다는 장점을 갖는다.

II. 하이브리드 안테나 설계

2.1 반사판 설계 알고리즘

하이브리드 안테나의 설계 절차는 그림 1에 도식된 바와 같다.

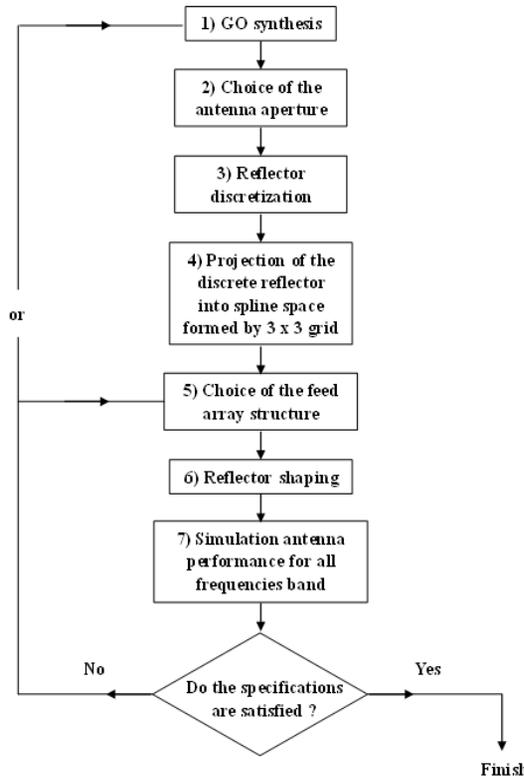


그림 1. 하이브리드 안테나 설계 절차
Fig. 1. Hybrid antenna design flow.

첫 번째 단계는 geometrical optic(GO)을 이용한 기본 구조를 설계한다. 본 단계에서는 반사판 표면의 형상 정보를 포함하여, focal line을 비롯한 반사판 설계의 기본 요소를 선택한다. 다음으로는 반사판 표면에서의 ray coordinate를 통하여, 안테나 개구면의 형상을 결정하며, 결정된 반사판의 형상 설계를 목적하는 사양에 최적화하기 위하여, GO를 통하여 얻어진 반사판 표면을 삼각형 격자 구조로 세분화한다. 세분화된 격자 구조의 반사판 구조는 다수의 교점(node)을 갖는 스플라인(spline) 공간으로 천이되어 각 교점이 스플라인의 통제점(control point)이 되도록 처리한다.

다음은 최초의 설계 단계에서 결정한 초점선(focal line)에 위치할 급전부를 설계하는 것이다. 본 단계에서는 급전부로 적용될 위상 배열의 구조, 소자 안테나 종류(type) 및 규모(number)를 결정한다. 급전부의 구조가 결정되면, physical optic(PO)을 이용하여 반사판 표면이 최적화 될 수 있는 최적의 곡면 형상을 찾도록 한다. 이러한 방식으로 도출된 반사판 설계 결과는 안테나의 동작 주파수 전체 대역에서 시뮬레이션 되며, 본 과정을 통하여 각 동작 주파수 대역에서 성능이 최적화 될 수 있는 급전 배열의 위상 정보를 도출하도록 한다.

도출된 위상 정보를 통하여, 급전 배열을 구성하는 각각의 소자 안테나에서 방사된 전계(field)가 원역장(far-field)에서 모두 동위상(in-phase)이 되도록 하며, 각 소자 안테나의 이득 차(deviation)가 최소화 되는 조건으로 반복 설계를 수행한다. 이때, 도출된 설계 데이터가 요구 사양을 만족하지 못하는 경우, 최초 반사판 설계의 기본 요소를 수정하거나, 급전부 위상 배열의 설계 정보를 수정함으로써 원하는 사양을 만족하도록 한다.

식 (1)은 상술한 하이브리드 안테나 설계를 통하여 얻어진 성능 결과가 목표하는 안테나 사양에 최적화되도록 하기 위한 안테나 설계의 판단 공식이다.

$$\Delta G(p, \mu) = \|G^{total}(p, \mu) - G_d(p)\| \quad \mu = [z_1, z_2, \dots, z_M]^T \quad (1)$$

식 (1)에서, G^{total} 는 M 개의 교점을 갖는 스플라인 곡면의 반사판 설계를 통하여 얻어진 안테나의 이득 특성을 나타내며, G_d 는 목표하는 안테나의 요구 사

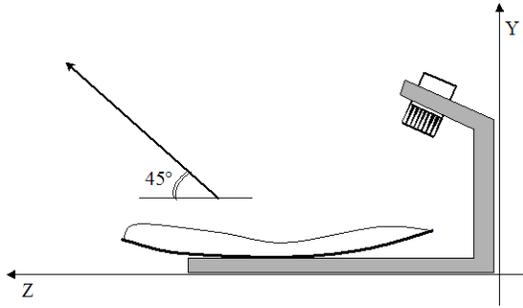


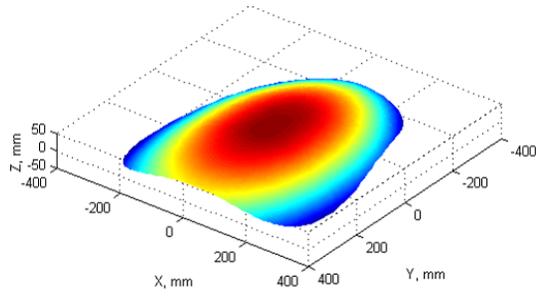
그림 2. 하이브리드 안테나의 구조 형상
Fig. 2. Structure image of hybrid antenna.

양을 나타낸다. 본 논문의 하이브리드 안테나 설계에서는 식 (1)에 나타난 이득 오차(ΔG)가 허용 가능한 수준에 도달하도록 상술된 설계 과정을 반복하여 실시한다.

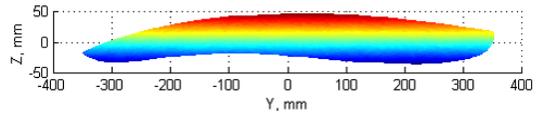
2-2 하이브리드 안테나 설계

그림 2는 하이브리드 안테나의 구조를 도식하고 있다. 도식된 바와 같이, 하이브리드 안테나는 Z축 방향으로 성형 반사판이 눕혀져 있으며, 우측 상단에 위치한 8개의 소자 안테나로 구성된 위상 배열이 위치함으로써 기본적으로 양각 방향 45°를 지향하도록 설계되어 있다.

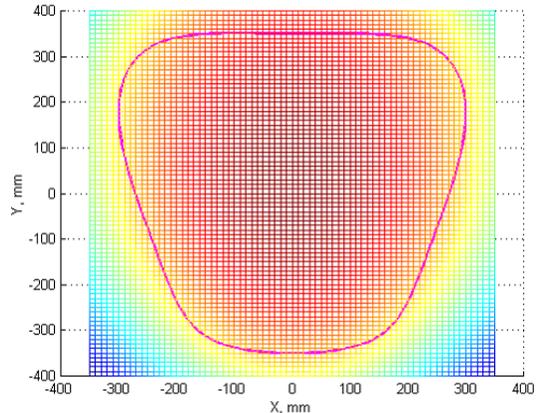
그림 2에 도식된 구조 형상을 통하여 설계된 성형 반사판의 설계 결과는 그림 3에 도식되어 있다. 그림 3의 (a), (b)에 나타나 있는 바와 같이, 반사판의 표면 형상은 일반적인 반사판의 곡선 구조가 아닌 임의의 스프라인 곡선 구조를 갖는다. 또한, 그림 3의 (c)에는 반사판의 개구면 형상을 도식하고 있다. 본 그림에 도식된 바와 같이, 반사판의 개구면 형상 역시 원형이나 타원형과 같이 정형화된 구조가 아닌 유사 사다리꼴 구조를 취하고 있다. 본 개구면의 형상은 전술한 바와 같이, 안테나의 효율을 극대화하기 위하여 최초 원형으로 선정된 개구면 구조에서 실제로 전계가 여기되는 부분만을 취함으로써 얻어지는 결과이다. 따라서, 그림 3의 (c)에 도식된 적색 부분이 급전부로부터 방사된 전계의 대부분이 도달하는 부분이며, 다른 색으로 도식된 잔여 부분의 경우, 도달된 전계의 양이 무시할만한 수준으로 개구면 설계에서 제외하였다.



(a) 상단 사시도
(a) Inclined top-view



(b) 측면도
(b) Side-view



(c) 반사판 개구면 형상(상측면도)
(c) Reflector aperture shape(top-view)

그림 3. 성형 반사판 설계 결과
Fig. 3. Simulation results of shaped reflector.

표 1은 그림 3에 도식된 반사판 설계 결과를 이용하여 전기적 양각 제어에 따라 급전 배열을 구성하는 각각의 소자 안테나를 개별적으로 동작시켰을 경우의 하이브리드 안테나 이득 특성 분석 결과를 보여준다. 본 결과는 사각형 개구면을 갖는 혼 안테나 소자를 이용하였으며, 각각의 소자 안테나의 이격거리가 10 mm인 상태에서 시뮬레이션 되었다.

본 결과에 나타난 바와 같이, 1번부터 12번까지 총 12개로 구성된 직선 배열에서 1번, 2번, 11번 및 12번 소자의 이득 특성이 상대적으로 낮다는 것을

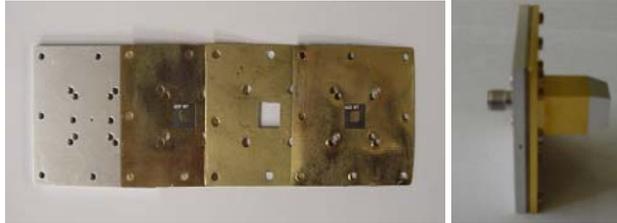
표 1. 개별 급전부 배열소자에 대한 하이브리드 안테나 이득 특성

Table 1. Partial gain characteristics of hybrid antenna as array element.

No. of element		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Scan angle	-3°	8.9	17	24.2	27.8	29.1	28.1	28.3	28.1	31.8	30.2	26.5	24.9
	0°	17.5	25.9	29.7	27.6	29.3	29.2	30.3	30.2	29.3	27.2	29.5	31.0
	+3°	24.4	28.5	28.9	31.1	32.2	32.1	32.8	32.2	30.1	27.4	22.9	17.8



(a) 1x8 혼 배열 안테나
(a) 1x8 Horn array antenna



(b) 적층형 평판 안테나로 급전되는 혼 안테나 소자
(b) Horn element fed by stacked planar antenna

그림 4. 제작된 1x8 위상 배열로 구성된 급전부 사진

Fig. 4. Photo of manufactured feeder composed of 1x8 phased array.

알 수 있다. 따라서, 급전부는 3번부터 10번까지 총 8개의 소자로 구성된 위상 배열로 설계되었다.

또한, 8개의 소자로 구성된 위상 배열은 최적의 성능을 구현하기 위하여, 전술한 바와 같이 원역장에서 최대 이득 특성을 갖도록 전기적 제어 양각에 따라 개별적인 위상 데이터가 제공되어야 한다.

III. 하이브리드 안테나의 제작 및 시험

그림 4의 (a)는 1x8 위상 배열로 구성된 하이브리드 안테나의 급전부 실물 사진이다. 급전부는 8개의 소자가 직렬로 구성된 직렬 배열(seriese array) 구조를 가지며, 배열을 구성하는 각각의 소자 안테나 입력단(input port)에는 출력되는 전계의 위상 및 신호 세기를 제어하는 송신용 능동 채널이 연결되어 있다. 또한, 급전부의 안테나 소자로 설계된 혼 안테나는 그림 4의 (b)에 나타난 바와 같이 정사각형의 개구면을 갖는 혼과 혼의 급전부로 설계된 적층형 평판 안테나로 구성된다. 이와 같이, 평판 안테나를 이용하여 혼의 급전부를 구성하는 경우, 제작 공정 및 단가에서 유리하며, 혼에 의한 고이득 특성을 함께 얻을 수 있다는 장점을 갖는다^[2].



그림 5. 제작된 하이브리드 안테나의 사진

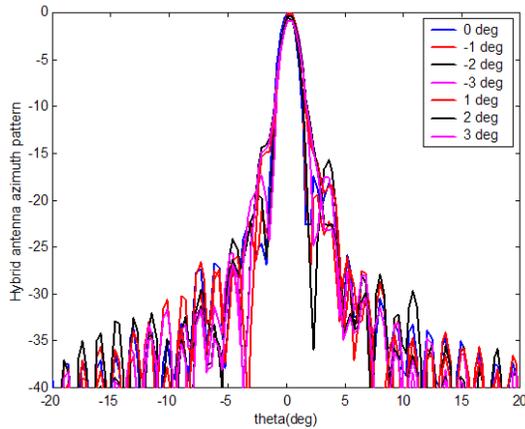
Fig. 5. Photo of manufactured hybrid antenna.

급전부와 함께, 전술한 설계 방식을 통하여 제작된 하이브리드 안테나의 실물 사진은 그림 5에 나타나 있다. 안테나 제작은 알루미늄을 프로그램 기반의 정밀 기계 가공을 통하여 제작되었다.

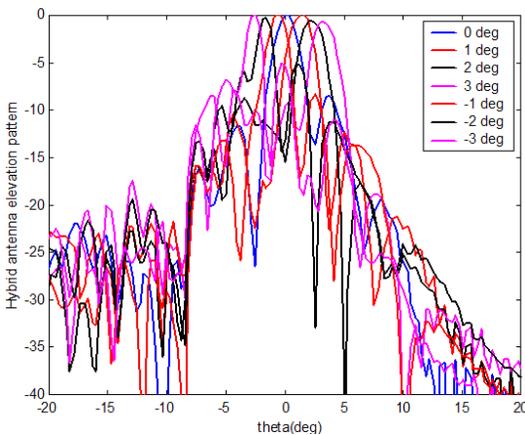
제작된 하이브리드 안테나는 그림 6과 같이 무반사실(anechoic chamber)에서 Orbit사의 근역장(near-feild) 측정 장비를 통하여 측정되었다. 또한, 하이브리드 안테나의 전기적 빔 제어 성능을 확인하기 위하여, 무반사실 외부에서 프로그램을 통하여 급전부



그림 6. 근역장을 이용한 안테나 시험 전경
Fig. 6. Antenna test by near-field measurement.



(a) 방위각 패턴 @ $\phi=90^\circ$
(a) Azimuth pattern @ $\phi=90^\circ$



(b) 양각 패턴 @ $\phi=0^\circ$
(b) Elevation pattern @ $\phi=0^\circ$

그림 7. 하이브리드 패턴 측정 결과
Fig. 7. Measured radiation patterns of hybrid antenna.

의 8개 능동 채널의 위상을 제어하였다.

그림 7은 하이브리드 안테나의 패턴 측정 결과이다. 결과에 도시된 바와 같이, 안테나의 빔 폭은 약 $1.3^\circ \times 2.2^\circ$ (Az, El)이며, 부엽 레벨은 양각 방향에서 -15 dB 이하와 방위각 방향에서 -7 dB 이하를 보였다. 그림 7의 (b)의 결과에서 알 수 있듯이 안테나의 전기적 제어 양각이 커질수록 부엽 레벨은 상대적으로 증대함을 알 수 있었다. 본 측정 결과는 안테나의 요구 성능 규격인 ITU-R S.465-5를 만족하며, 전기적 제어 양각($-3 \sim +3^\circ$)에서 최소 37.5 dBi 이상의 이득을 갖는다.

IV. 결 론

본 논문에서는 위상 배열로 구성된 급전부를 갖는 성형 반사판 기반의 이동 위성 통신용 하이브리드 안테나를 소개하였다. 반사판의 설계는 GO를 통한 구조 설계와 PO를 통한 주파수별 세부 설계로 이루어지며, 안테나 표면을 다수의 통제점을 갖는 스프라인 영역으로 천이하여 최소의 개구 면적에서 성능을 극대화 하도록 표면 형상을 설계하였다. 또한, 위상 배열로 구성된 급전부 역시 최적의 성능을 구현하도록 성능을 비교 분석하였으며, 이를 통하여 능동 채널이 연결된 1×8 급전 배열을 구현하였다. 본 안테나는 기존의 전자식 안테나가 갖는 고속 위성 추적 기능과 반사판 기반의 기계식 안테나가 갖는 고이득 및 낮은 제작 비용의 장점을 모두 수용함으로써 새로운 이동 위성 통신용 단말 구조로 적용될 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] Y. -B. Jung, S. -Y. Eom, S. -I. Jeon, and C. -J. Kim, "Novel Ka-band microstrip antenna fed circular polarized horn array antenna", *IEEE International Conf. on Antenna and Propagation*, pp. 2476-2479, Jun. 2004.

[3] A. S. Reutov, A. V. Shishlov, "Focuser-based hybrid antennas for one-dimensional beam steering", *IEEE International Conf. on Phased Array Systems and Technology*, pp. 411-414, May 2000.

[4] Soon-Young Eom, Seong-Ho Son, Young-Bae Jung, Soon-Ik Jeon, S. A. Ganin, A. G. Shubov, A. K. To-

bolov, and A. V. Shishlov, "Design and test of a mobile antenna system with Tri-band operation for broadband satellite communications and DBS reception", *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. 55, no. 11, pp. 3123-3133, Nov. 2007.

정 영 배



1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년 2월: 한국정보통신대학교 전자공학부 (공학석사)
 2001년 2월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 [주 관심분야] 초고주파 수동 및 능동부품설계, 이동통신용 안테나, 위성 통신용 위상 배열 안테나시스템

박 성 욱



1987년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1993년 8월: 한국통신인력개발본부
 1997년 3월: Arizona State University, Electrical Engineering (공학박사)
 1997년 9월~현재: 한국정보통신대학교(ICU) 교수
 [주 관심분야] 안테나의 설계 및 분석, 전자파의 복사 및 산란, 전자장 수치 해석기법, 차세대 이동통신 및 MIMO 안테나