

Ka 대역 통신위성용 다중 빔 배열 급전 반사판 안테나

Multibeam Reflector Antenna for Ka-Band Communication Satellite

윤소현 · 엄만석 · 최장섭 · 염인복

Sohyeun Yun · Manseok Uhm · Jangsup Choi · Inbok Yom

요 약

본 논문은 한반도 지역에 보편적 위성 통신 서비스를 제공하기 위한 정지궤도 위성의 다중 빔 서비스 커버리지 요구에 따라, 서비스 영역 내의 이득을 높일 수 있는 구현 가능한 안테나 구성 시나리오를 제안하였다. 제안된 시나리오는 위성 탑재가 가능하도록 안테나 및 급전 네트워크 구성을 간소화하고, 제한된 주파수 및 편파 자원을 효율적으로 사용하기 위한 급전 네트워크 설계를 포함하고 있다. 또한, 전기적 성능 만족을 위하여 배열 소자의 배치 및 여기 계수 최적화가 수행되었다.

Abstract

This paper presents the multibeam service coverage of GEO(Geostationary Orbit) satellite and the practical antenna scheme scenarios to provide the universal communication services on the Korean peninsula. The proposed antenna systems consist of the simplest scheme and feed network so that they can be mounted on satellites. The feed networks are effectively organized according to the frequency and polarization plan. Despite simple structure, all scenarios meet the electrical performance by the optimization of feed allocation and feed excitation.

Key words : Multibeam, Excitation Optimization, Hybrid Antenna, Feed Network, Beamforming

I. 서 론

고용량 데이터 전송 및 사용자 단말의 경량화를 위해 다중 빔을 갖는 정지 궤도 위성 시스템에 대한 요구가 증가하고 있다. 이와 같은 추세에 부응하여 ETRI는 2010년 6월에 발사된 복합 위성 ‘천리안’의 Ka 대역 통신 탑재체를 성공적으로 개발하였다^[1]. 그리고 한반도 지역에 보다 나은 서비스 제공을 위해 고이득 반사판 안테나와 다수의 급전 소자를 결합한 하이브리드 안테나를 연구하고 있다^[2]. 한반도 전역에는 광대역 통신 서비스를 제공하고, 남한 지역은 차세대 VSAT(Very Small Aperture Terminal) 통

신 서비스를 제공하기 위한 서비스 영역은 그림 1과 같다. 하이브리드 안테나의 개별 빔은 서비스 영역 내에서 전기적 성능이 만족되도록 빔의 개수, 빔 크기, 주파수 및 편파 등이 할당되어야 한다. 서비스 영역 내 개별 빔 간 간격(θ_s)이 동일하면 최소 빔의 개수는 (서비스 지역 면적 $\times 1.155$)/ θ_s^2 이며, 통상적으로 최소 빔 개수의 120 %를 사용한다^[3]. 개별 빔의 개수 및 크기가 결정되면 GO(Geometrical Optics) 방법에 따라 급전 소자 설계가 가능해진다^[2]. 동일한 빔 간격을 갖는 일반적인 다중 빔 안테나 시스템은 설계 파라미터를 비교적 쉽게 도출할 수 있다^[3]. 그러나 그림 1과 같이 서비스 영역의 크기가 다르고

한국전자통신연구원 무선RF탑재기술연구팀(Wireless & Satellite Payload Research Team, Electronics and Telecommunications Research Institute)

· Manuscript received April 5, 2012 ; Revised May 3, 2012 ; Accepted May 4, 2012. (ID No. 20120405-038)

· Corresponding Author : Sohyeun Yun (e-mail : yunsh@etri.re.kr)

빔 간격이 일정하지 않으면 구성이 복잡해지고 소자의 개수가 증가한다. 그러나 본 논문에서는 급전 소자 개수의 증가 없이, 전기적 성능을 극대화 시키는 안테나 구성 시나리오에 대해 소개한다.

II. 다중 빔 안테나 설계

광대역 통신 및 VSAT 통신 서비스 영역은 한정된 주파수 자원 내에서 독도와 제주도, 서해안 지역 등을 포함한 보편적 서비스 제공이 가능해야 한다. 그림 1의 B1, B2 지역은 광대역 통신을 위해 주파수가 분리되고, B1과 VSAT 통신 서비스 지역(B3~B5)은 동일 주파수 대역에서 편파 분리된다. 위성 탑재 안테나 시스템은 이와 같은 요구사항을 만족함과 동시에, 탑재 가능하도록 반사판의 개수는 2 개 이하, 각 반사판의 크기는 2 m 이하로 제한한다. 또한, 다중 빔 안테나의 급전 네트워크 최소화를 위해 급전 소자의 개수는 9 개 이하로 한다. 급전 소자의 개수는 개별 빔의 개수와 같고, 개별 빔은 빔 그리드에 의해 결정된다. B1~B2 서비스 빔과 B3~B5 서비스 빔의 그리드가 동일하지 않기 때문에 개별 빔의 개수는 증가하게 된다. 이를 피하기 위해 급전 네트워크는 단일 급전 시스템과 배열 급전 시스템을 조합하여 구성한다. 급전 소자의 개수가 적기 때문에 빔 형성에 중복 사용되는 소자들이 있고, 특정 빔에 대해 소자를 최적화시키면 다른 빔들의 성능은 열화될 수밖에 없다. 이와 같은 열화를 최소화하기 위해 배열 소자의 여기 계수뿐 아니라, 배치의 최적화 수행이 요구된다. 전기적, 기계적 요구사항을 만족할 수 있는 다중 빔 안테나 시스템은 다음의 3 가지 시나리오에 의해 구현될 수 있을 것이다.

2.1 시나리오 1: 겸용 단일 반사판

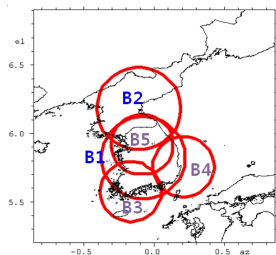


그림 1. 한반도 내 서비스 커버리지
Fig. 1. Service coverage.

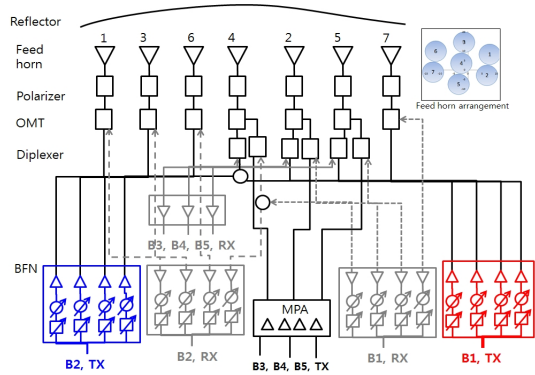


그림 2. 겸용 다중 빔 안테나 구성도
Fig. 2. Block diagram for combined antenna.

겸용 다중 빔 안테나는 단일 반사판으로 송수신 주파수 대역(20/30 GHz)에서 5개의 서비스 빔을 형성한다. 송수신 주파수 대역에서 동시에 높은 EOC (Edge Of Coverage) 이득을 얻기 위해 반사판은 송수신 주파수에서 설계되었다. 급전 네트워크 간소화를 위해 B1~B2 영역은 배열 급전 시스템, B3~B5 영역은 단일 급전 시스템으로 구현한다. 단일 급전에 사용된 소자들은 빔 B1 영역에 재사용된다. 배열 급전 시스템으로 구현되는 광대역 통신 서비스 빔은 4 개 소자로 형성된다. 겸용 단일 반사판 안테나의 급전 네트워크는 급전 소자, 편파기, 직교 모드 변환기(OMT: Ortho-Mode Transducer), 다이플렉서와 같은 급전 부품과 빔 형성 네트워크(BFN: Beam Forming Network)로 구성된다. 겸용 단일 반사판 안테나의 구성도는 그림 2와 같다.

배열 급전 시스템은 배열 소자에서 송수신되는 신호의 크기 및 위상 제어를 통해 빔을 형성하기 때문에 송수신 각각의 빔 형성 네트워크가 사용된다^[4]. 이 때 신호 크기와 위상은 배열 소자의 여기 계수 최적화를 통해 도출한다. 배열 소자의 신호 크기는 고출력 증폭기의 출력을 결정한다. 고출력 증폭기 개발의 어려움을 고려하면, 그 종류를 줄이는 것이 시스템 차원에서 유리하다. 고출력 증폭기의 종류를 줄이려면 배열 소자의 신호 크기가 균일해야 한다. 즉, 위상만 최적화하여 서비스 빔을 형성해야 한다. 배열 소자는 TE₁₁ 모드를 갖는 코니컬 혼으로 가정하고, 개구면 크기는 식 (1)에 의해 결정된다. θ_{10} 은 급전 혼의 10 dB 빔폭이고, D는 개구면 크기이다. B1, B2 지역을 위한 여기 위상 계수는 PO(Physical

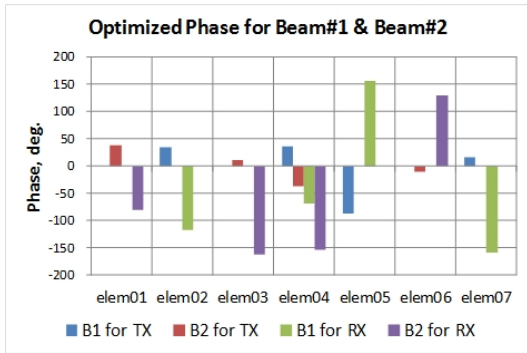


그림 3. 시나리오 1 배열 소자의 여기 위상 최적화
Fig. 3. Phase optimization of Scenario 1.

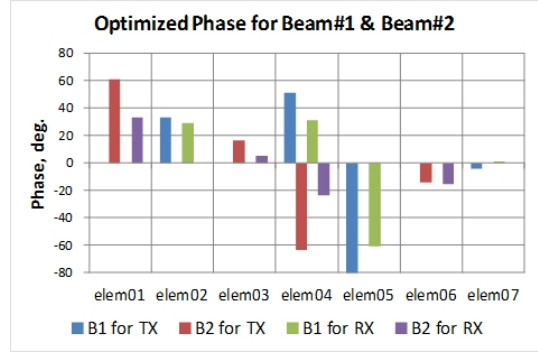


그림 5. 시나리오 2 배열 소자의 여기 위상 최적화
Fig. 5. Phase optimization of Scenario 2.

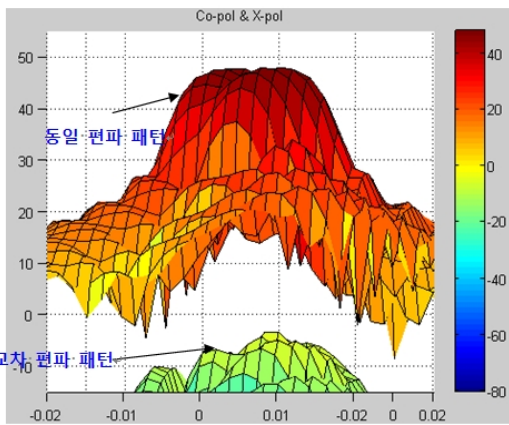


그림 4. 시나리오 1 안테나 방사 패턴(B1, 송신)
Fig. 4. Radiation pattern of Scenario 1(B1, Tx).

Optics) 방법을 통해 최적화한다^[5]. 배열 소자의 최적화된 여기 신호 위상은 그림 3과 같다.

$$\theta_{10} = 17.2D^2 - 85.9D + 130.4 \quad (1)$$

반면, VSAT 통신을 위한 단일 급전 시스템은 송신 전력을 유연하게 제어하기 위해 다중 입출력 증폭기(MPA: Multi-Port Amplifier)^[6]를 사용한다. 정지 궤도 128.2°E에 위치한 1 번째 시나리오 위성 탑재 안테나는 그림 4와 같은 패턴 특성을 보인다. 이득 특성은 표 1과 같고, 30 dB 이상의 교차 편파 특성을 갖는다.

2-2 시나리오 2: 송수신 분리 다중 빔 안테나

다중 빔 형성을 위한 2 번째 시나리오는 송수신을 분리하여 각 주파수 전용 시스템을 구현하는 것이

표 1. 시나리오에 따른 다중 빔 안테나 설계

Table 1. Design results of multi-beam antenna.

Beam #	주파수	EOC gain [dB]			
		시나리오 1	시나리오 2	시나리오 3	
				단일 급전	배열 급전
B1	TX	41.30	41.33	40.62	45.85
	RX	43.27	42.88	41.25	44.46
B3	TX	44.43	44.95	43.73	46.46
	RX	44.95	44.47	45.86	47.70

다. 주파수 분리 시스템은 광대역 특성을 가져야 하는 단일 반사판 안테나보다 급전 부품 개발이 용이하며, 다이플렉서 제거, OMT 수량 감소 등으로 급전 네트워크 단순화가 가능해진다. 하지만, 시나리오 1과 마찬가지로 빔 그리드는 서로 일치하지 않기 때문에 단일 급전과 배열 급전 시스템을 혼합 사용한다. 송신 안테나는 2 m 반사판과 7개의 급전 소자를 사용하고, 수신 안테나는 1.4 m 반사판과 7개의 급전 소자를 사용하여 설계하였다. 광대역 통신 서비스 지역은 EOC 이득 최적화를 위해 개별 소자의 여기 위상 계수 최적화가 수행되었다. 여기 신호 위상 변화는 그림 5와 같이 ±80° 범위이고, 이득 특성은 표 1에 나타내었다.

2-3 시나리오 3: 서비스 분리 다중 빔 안테나

다중 빔 형성 3 번째 시나리오는 빔 그리드가 동일한 서비스 별로 시스템을 분리하는 것이다. 동일한 빔 그리드에 의한 안테나는 효과적인 급전 소자 배치가 가능하기 때문에 전기적 성능이 향상된다.

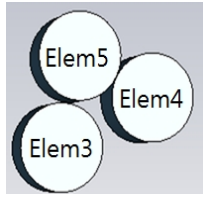


그림 6. 시나리오 3의 단일 급전 소자 배치 최적화
Fig. 6. Optimized single feed element allocation of Scenario 3.

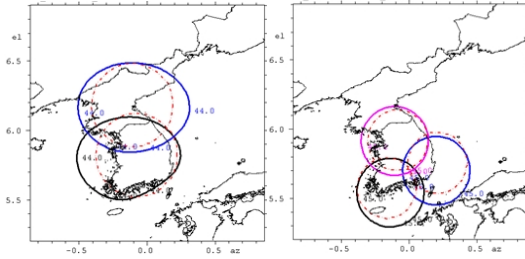


그림 7. 시나리오 3의 배열 급전 안테나 방사 패턴
Fig. 7. Radiation pattern of array feed Scenario 3.

또한 서비스 분리 시스템은 단일 급전, 배열 급전, 단일/배열 급전이 혼합된 네트워크 모두 사용 가능하다. 단, 송수신 대역을 포함하는 광대역 부품 설계가 필요하다. 모든 서비스 빔을 단일 급전 시스템으로 형성하면 가장 단순한 안테나 구성도를 가진다. 단일 급전 시스템의 빔 성능은 급전 소자의 물리적 위치에 좌우되는데, VSAT 통신용 빔들은 빔 간 간격이 서로 다르기 때문에 그림 6과 같이 물리적 충돌이 없도록 배치 최적화를 수행하였다.

서비스 분리 시스템의 광대역 통신 서비스 빔들을 배열 급전으로 형성하면 1.8 m 송수신 겸용 반사판과 8 개의 급전 소자가 사용된다. VSAT 통신은 1.7 m 반사판과 7 개의 급전 소자로 형성한다. 송수신 대역을 모두 만족시키기 위해 각 시스템의 급전 소자 여기 위상 최적화가 수행되었다. 최적 설계된 서비스 분리 시스템은 그림 7과 같은 패턴을 갖는다. 여기서, 점선은 서비스 요구 빔을 의미하고, 실선은 안테나 EOC 이득 성능을 나타낸다. 서비스 영역 내 최저 EOC 이득은 표 1에 나타내었다. 배열 급전되는 서비스 분리 안테나 시스템은 다른 시나리오에 비해 2~3 dB 향상된 이득 특성을 가진다.

III. 결 론

제한된 주파수 자원을 활용하여 한반도 지역에 광대역 통신과 VSAT 통신 서비스를 제공하는 다중 빔 안테나는 3 가지 구현 가능한 시나리오에 의해 최적 설계되었다. 각 시나리오는 반사판의 개수, 급전 네트워크, 소자의 개수 등에 의해 구분되며, 급전 네트워크는 단일 급전, 배열 급전, 단일/배열 혼합 급전에 따라 결정된다. 전기적 성능 향상을 위해 각 시나리오의 급전 소자는 배치 최적화 및 여기 계수 최적화가 수행되었다. 이와 같이 설계된 안테나 시나리오는 전체 시스템의 요구 사항에 따라 선택적으로 사용될 수 있어, 시스템 초기 설계에 활용이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. P. Lee, J. H. Jo, M. H. You, and J. S. Choi, "Verification and application of COMS Ka band payload system", *29th AIAA International Communications Satellite Systems Conference(ICSSC 2011)*, Nov. 2011.
- [2] 윤소현, 엄만석, 염인복, "S-대역 위성 탑재용 다중 빔 대형 안테나의 전기적 설계 연구", *한국전자과학회논문지*, 21(11), pp. 1240-1247, 2010년 11월.
- [3] Sudhakar K. Rao, "Parametric design and analysis of multiple-beam reflector antennas for satellite communications", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 45, no. 4, pp. 26-34, Aug. 2003.
- [4] Yoshinori Suzuki, Akira Meguro, Kiyoshi Kobayashi, and Masazumi Ueba, "Multibeam phased array feed system using beam group concept", *NTT Technical Review*, vol. 5, no. 1, pp. 61-69, Jan. 2007.
- [5] S. H. Yun, M. S. Uhm, and I. B. Yom, "Optimization of complex excitation of array-fed elements for communications and broadcasting large reflector satellite antenna", *Antennas and Propagation(APSURSI), 2011 IEEE International Symposium*, pp. 3320-3322, Jul. 2011.
- [6] M. Aloisio, P. Angeletti, and M. Lisi, "Multiport amplifiers for satellite applications: Historical perspective and future directions", *IEEE International Vacuum Electronics Conference, IVEC '09*, pp. 201-202, Apr. 2009.