

위성 탑재용 다중빔 대형 반사판 안테나의 최적 설계

윤소현, 엄만석, 염인복 정회원

Optimum Design of Multi-beam Large Reflector Antenna for Satellite Payload

Sohyeun Yun, Manseok Uhm and Inbok Yom *Regular Members*

요 약

본 논문은 보편적 통신방송 서비스를 고속의 데이터 처리 속도로 개인휴대단말에 제공하기 위한 고이득의 위성 탑재용 다중빔 대형 반사판 안테나의 설계에 관해 연구한 것이다. 대형 반사판 안테나는 급전부를 배열소자로 사용한 하이브리드 형태로 다중빔을 형성하도록 한다. 다중빔의 각각은 급전 배열소자의 일부군을 사용하여 형성되며, 배열소자군의 각 소자는 적절한 신호 크기와 위상을 갖도록 최적화되어야 한다. 최적화 과정은 GO (Geometrical Optics) 및 PO (Physical Optics) 해석을 통해 이루어졌다. 또한, 요구되는 EIRP (Effective Isotropically Radiated Power) 및 개별 소자의 전력 크기를 만족하도록 배열 소자의 개수도 최적화하였다. 한반도 지역에 서비스를 제공하기 위해 15개의 다중빔을 구성하고, 최적화 설계 과정을 통해 30m 급 반사판 안테나 구조와 25개 배열 소자로 구성되는 급전부를 설계하였다.

Key Words : array fed, cluster, hybrid antenna, large antenna, multi-beam, phased array

ABSTRACT

This paper presents the study on multi-beam large aperture antenna systems for a satellite payload. Multi-beam large antenna provides the universal communication and broadcasting services to personal portable terminals. The hybrid antenna composed of a large reflector and a feed array forms multi-beams. The feed cluster consists of a group of feed elements and each element should be optimized for the appropriate amplitude and phase. The optimization progress for amplitude and phase was performed by GO (Geometrical Optics) and PO (Physical Optics) method. The number of feed elements as well as the power level per element were also optimized to meet the required EIRP (Effective Isotropically Radiated Power). In conclusion, 30m-class reflector and twenty five elements for fifteen beams over Korean Peninsula were designed through the optimization process.

I. Introduction

최근, 높은 전송 속도로 개인휴대단말을 통한 보편적 통신방송 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 이를 위해서는 고이득의 안테나가 필요하기 때문에 위성 탑재용 안테나의 개구면 크기가 증가하고 있다 [1], [2]. 또한, 주파수 재사용 인자를 극적으로 향상시키기 위해 다중빔 시스템이 적용되고 있다 [3], [4]. 다중빔 대형 안테나 시스

템은 하이브리드 안테나 형태로 구현될 수 있다. 하이브리드 안테나 시스템은 빔 스캔과 빔 성형을 유연하게 조절할 수 있는 장점이 있다 [5]. 하이브리드 안테나는 단일 소자로 급전되거나 배열 소자에 의해 급전된다. 단일 소자 급전 안테나는 반사판의 표면을 최대한 활용하지만, 빔폭의 10배 이상 되는 광범위한 지역에 양질의 서비스를 제공하는 어렵다 [2], [5]. 고이득의 광범위한 지역 스캔은 적절한 신호 크기와 위상을 갖는 위상 배열 소자군을 동시에 여기시킴으로써 구현될 수 있기 때문에, 배열 소자

한국전자통신연구원 무선RF탑재기술연구팀 (yunsh@etri.re.kr, msuhm@etri.re.kr, ibyom@etri.re.kr)

※ 본 연구는 방송통신위원회지원으로 수행하였음.

접수일자 : 2010년 9월 3일, 수정완료일자 : 2010년 9월 16일, 최종게재확정일자 : 2010년 10월 12일

에 의해 급전되는 하이브리드 안테나 시스템이 다중빔 구현에 적절하다 [6]. 따라서 본 논문에서는 배열 급전 하이브리드 안테나에 대해 설명할 것이다.

II. 다중빔 안테나 시스템

1. 하이브리드 구조의 설계 개념

다중빔 하이브리드 안테나를 설계하는 방법은 다양하게 존재할 수 있다. 그 중, 광선 경로 또는 GO (Geometrical Optics) 법은 반사판 개구면의 직경이 한 파장 이상인 경우 좋은 접근방식이다. GO 해석은 비교적 간단하게 물리적인 크기를 예측할 수 있기 때문에, 하이브리드 안테나 개발 초기 단계에서 구현 가능 여부와 제약 사항을 판단할 수 있다. 만약, 광선들이 포물축에 평행하게 입사된다면 광선들은 초점에 집중된다. 반면, 광선들이 포물축에 대해 어떤 각도를 가지고 입사되면 반사판에서 반사된 광선들은 그림 1과 같이 초점에 집중되지 않는다. 그림 1에서 지역 1과 지역 3은 하나의 광선이 지나가는 지역이지만, 지역 2는 2개의 광선 경로가 지난다. 지역 2에는 광선들을 횡단하는 가장 좁은 지역이 있는데 이를 크로스오버라고 한다. 크로스오버 지역은 일정 각도를 갖는 2개의 광선 경로가 겹쳐지기 때문에 전자파의 간섭 영역이다. 간섭 영역은 반사판 끝으로부터 2개의 광선과 화면(caustic surface)에 의해 정해진다. 입사각의 편향이 클수록 크로스오버 영역은 넓어지고 초점으로부터 멀어진다 [7]. 이를 그림 2에 나타내었다.

빔이 편향된 경우, 급전 소자는 크로스오버 지역에 위치해야 한다. 위상 중심을 갖는 단일 급전의 경우 소자를 크로스오버 영역으로 이동시키면 편향 빔을 만들 수 있으나 빔폭의 2~3배 이하 영역에 대해서만 가능하다. 단일 소자를 초점에서 멀리 놓을수록 개구면에서의 위상 오차가 증가하며 이득이 급격히 감소하고 부엽레벨은 상승한다 [8]. 이러한 오차는 하나의 위상 중심점을 갖지 않고 적절한 신호 크기와 위상을 크로스오버 영역에 분포시킴으로써 해소할 수 있다. 이러한 급전 방법은 위상 배열에 의해 구현될 수 있다. 위상 배열 개구면이 그림 2의 점선으로 표시된 크로스오버 영역에 위치할 때 급전 시스템의 크기를 최소화할 수 있다. 급전의 위치는 다음 사항에 의해 선택된다; 1) 각 빔의 최대 이득, 2) 각 빔에 필요한 최적의 급전 소자 개수, 3) 개별 소자의 전력 한계, 4) 배열 시스템의 크기 최소화, 5) 각 빔을 위한 급전 소자 개수의 동일화. 이와 같이 결정되는 배열 소자의 개구면은 전력을 분산시킬 수 있는 장점이 있지만 급전 시스템이 커지는 단점이 있다. 배열 시스템의 크기는 배열 소자의 간격을 줄임으로써 작게 만들 수 있다. 배열에서 소자의 이산적인 위치는 오차를 발생시킬 수 있다. RF 부품의 물리적인 크기 제약 내에서, 배열 소자의 간격이 짧을수록 오차를 줄일 수 있다. 인접한 빔을 생성하기 위해서는 인

접 소자군은 중첩될 수밖에 없는데 이는 개별 소자가 3~4개의 빔 형성에 동시에 사용되어야 함을 의미하기 때문에 개별 소자의 방사 전력이 증가하게 된다. GO 법을 사용하여, 급전 배열의 최적 위치 및 반사판의 직경, 초점 거리, 급전 시스템 크기와 같은 최적 안테나 구조를 도출한다.

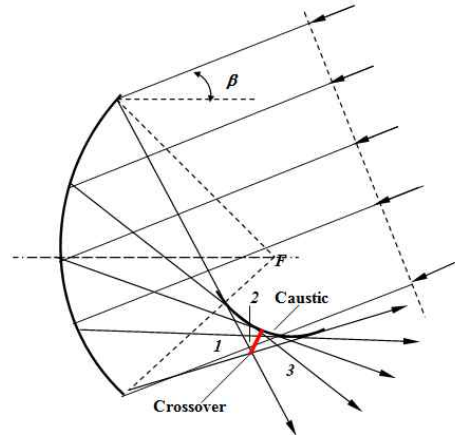


그림 1. 편향각(β)을 갖는 광선 경로 구조

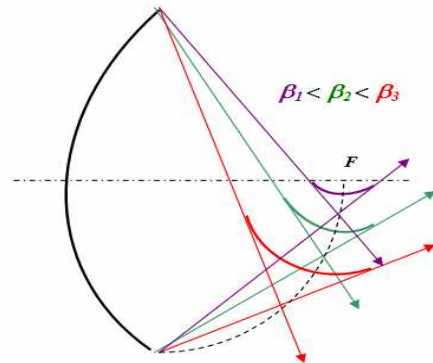


그림 2. 편향각 ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$)에 따른 광선 구조

급전 시스템의 크기를 결정하는 데 있어, 소자 사이 간격 뿐 아니라 EIRP (Effective Isotropically Radiated Power)와 개별 소자 당 전력 한계도 제약조건이 된다. 그림 3과 같은 한반도 서비스 지역에 양질의 통신 방송 서비스를 제공하기 위해 요구되는 빔 당 EIRP는 68.5 dBW 이상이다. 서비스 지역은 위성이 128°E에 위치해 있다고 가정하고 얻어진 것이다. 세 개의 빔이 한 점에서 교차하도록 빔의 직경은 0.32°로 하였다. 이웃 빔 사이 간격은 빔 직경에 대해 0.866배가 되도록 하여 육각 격자 배열을 형성하였다 [9].

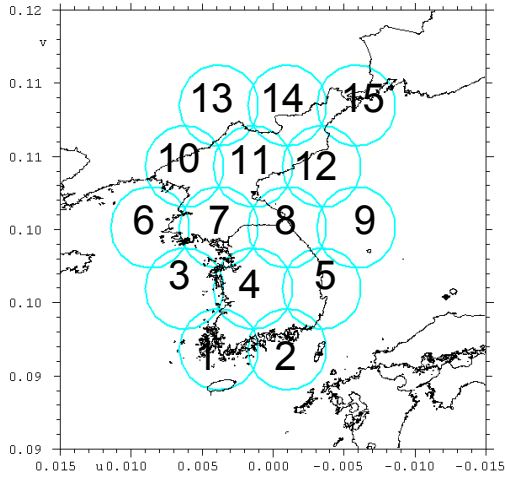


그림 3. 서비스 커버리지 요구사항

2. 설계 최적화

다중빔을 위한 소자군 설계는 두 단계에 걸쳐 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 GO 법을, 두 번째 단계에서는 PO (Physical Optics) 법을 사용한다. 급전 시스템의 크기와 위치는 앞 절에서 설명한 GO 법에 의한 광선 경로로부터 설계된다. 배열 개구면에서 광선 경로들의 교차가 요구 빔을 형성하기 위해 여기 되는 소자군을 결정한다. 배열의 위치는 크로스오버 영역 어디에나 위치할 수 있기 때문에 그 위치를 변화시키면서 안테나의 구조적 설계 파라미터를 결정한다. 반사판 구조는 전파 방해가 일어나지 않으며 낮은 부엽 레벨 특성을 가지며 빔 간 격리도가 좋은 오프셋 구조가 적절하다. GO 법에 의해 설계된 최적의 S 대역 안테나 구조는 그림 4에 나타낸 것과 같다.

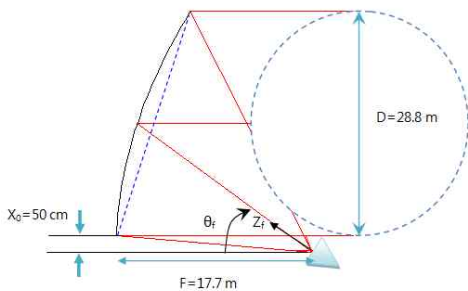


그림 4. 오프셋 반사판 안테나의 최적 설계 구조

두 번째 단계에서는, 첫 번째 단계의 GO 법에 의해 선택된 배열 소자를 여기 시켜 요구 빔을 형성시킨다. 요구 빔을 형성하기 위한 적절한 여기 계수를 구하기 위해서는 송신 모드에서 동작하는 배열 개구면에서의 전자계를 계산해야 한다. 이는 PO 법에 따라, 단일 소자에 의한 안테나의 개별 빔 패턴을 구하고 개별 빔을 적절히 합성하여 소자군에 해당되는 요구 빔 패턴을 얻는다. 소자군에 필요한 소자의 개수는 EOC (Edge Of Coverage) 이득에 의해 증감될 수 있다. PO 법에 의해 계산된 각 빔의 EOC

이득 부족분을 표 1에 나타내었다. 예를 들어, 36개의 소자를 사용한 경우 빔 11번의 EOC 이득은 요구 조건에 비해 가장 부족하며, 그 정도는 0.66 dB 이다. 25개의 소자를 사용하면, 빔 15번에서 최악의 경우가 발생하며 EOC 이득이 0.50 dB 만큼 부족하다. 소자의 개수를 줄여 21개로 할 경우 빔 14번에서 1.0 dB 만큼 EOC 이득이 불만족 된다. 36개와 21개 소자의 경우는 전체 빔 중 절반 정도가 요구 EOC 이득을 만족시키지 못하는 반면, 25개 소자의 경우는 대체로 EOC 이득에 근접한 성능을 보인다. 빔 간의 이득 차이를 살펴보면 36개 소자는 1.2 dB, 25개 소자는 0.52 dB, 21개 소자는 1.11 dB 이다. 또한 각 경우에 대한 평균 EOC 이득은 0.24 dB, 0.17 dB, 0.39 dB로 25개 소자인 경우의 성능이 가장 우수하다.

표 1. 소자 개수에 따른 각 빔의 EOC 이득 부족분

Beam#	36 elements	25 elements	21 elements
1	0.300615	0.003735	-0.051525
2	0.024109	-0.016203	0.584164
3	0.530366	0.056178	-0.072122
4	0.334181	-0.019492	-0.113309
5	0.113874	-0.012859	0.114831
6	-0.538673	0.206096	0.180074
7	0.271398	0.073263	0.003418
8	0.360476	0.048647	0.114646
9	0.294238	0.088074	0.465825
10	-0.478478	0.285510	0.645003
11	0.656109	0.214763	0.608707
12	0.553011	0.221991	0.788024
13	0.365839	0.467211	0.866751
14	0.442610	0.448944	0.999076
15	0.334665	0.501769	0.641684

25개 소자가 사용되는 경우, 빔 당 요구되는 소자의 개수는 그림 5와 같이 4개로 구성된다. 4개의 급전 소자가 최적의 여기 신호 크기 (dB)와 위상 (degree) 가질 때 빔이 형성된다. 빔 4번과 빔 15번을 형성하기 위한 급전 소자의 여기 계수를 그림 6에 그 일 예를 보였다. 각 빔을 위한 소자의 신호 크기는 -15 dB 범위에서 변화하며 위상 변이는 10°와 23° 이다.

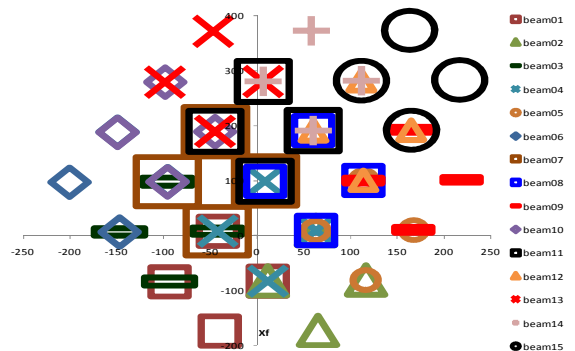


그림 5. 최적 소자 배열 구조 및 빔 형성 소자 할당

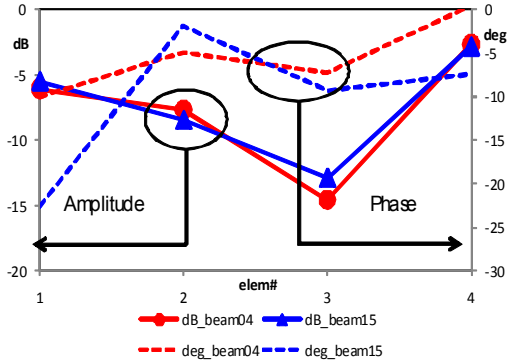


그림 6. 빔 형성을 위한 최적 여기 계수 (빔 4번, 빔 15번)

급전 소자의 개수는 최대 방사 전력에 의해서도 제한된다. 68.5 dBW의 EIRP 요구 사항을 만족시키려면 빔 당 전력은 80 W 이상이어야 하며, 소자 당 최대 방사 전력은 80 W 여야 한다. 선택된 25개 소자의 전력은 그림 7과 같이 4 W~78 W 범위이며 개별 소자의 평균 전력은 48 W 이다. 최대 전력을 갖는 소자 19번은 그림 5에서와 보인 것과 같이 4개의 빔, 즉 빔 7, 10, 11, 13번을 형성하기 위해 동시에 사용되어 78W 전력을 방사하며 소자 당 전력 한계 요구 사항인 80W 이하를 만족한다. 이와 같은 해석을 통해 25개 급전 소자로 구성된 오프셋 하이브리드 반사판 안테나는 한반도의 15개 빔을 형성하는데 적절함을 알 수 있다. 본 논문에서 설계한 S 대역 하이브리드 안테나의 최적 성능을 그림 8에 나타내었다. 빔 별 최대 이득에 보다 2 dB 작은 값을 각 빔별로 표시하였다. 그림 3에 제시한 요구 서비스 커버리지와 유사한 패턴을 가짐을 알 수 있다.

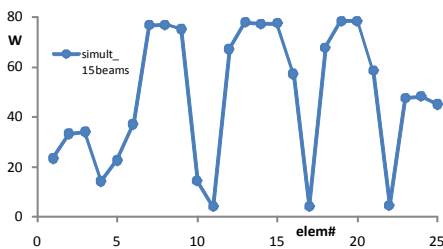


그림 7. 배열 급전 소자의 전력 분포 (W)

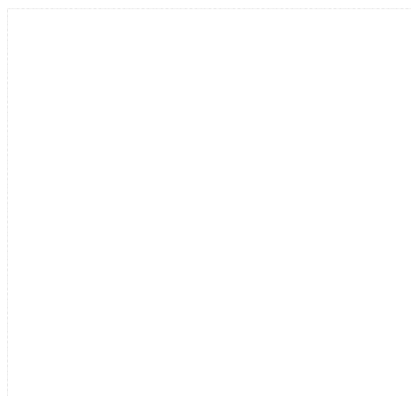


그림 8. 한반도 다중빔을 위한 2dB 이득 Contour

III. 결론

위성 탑재용 안테나의 대형화는 개인 휴대 단말에 대한 직접 서비스와 주파수의 효율적 사용을 위해 필수불가결한 현상이다. 이를 구현하기 위해 본 논문에서는 30m 급 반사판 안테나의 구조를 설계하고, 25개 소자로 구성된 배열 급전 시스템의 최적 여기 계수를 도출하였다. 이러한 최적화 과정은 GO 법과 PO 법에 의해 이루어졌다. 선택된 급전 소자의 개수 및 도출된 여기 계수의 적절성은 빔 당 요구 EIRP 및 소자 당 한계 전력에 의해 판단되었다. 추후, 최적화된 여기 계수를 급전 소자에 할당시킬 수 있는 빔 형성 회로에 대한 연구가 진행될 것이다.

참고 문헌

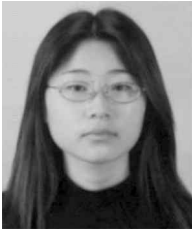
- [1] Ken-ichi Haryu, Yasuhiko Yamasa, Teruki Okamoto, Yuichi Otsu and Kazuhiko Yoneyama, B.B.Mandelbrot, "Development of Antenna System for S-band Mobile Satellite Communications and Broadcasting", IEEE 46th Vehicular Technology, 1996.
- [2] P.J.B.Clarricoasts, H.Zhou, "Design and Performance of a Reconfigurable Mesh Reflector Antenna", IEE Proceedings-H, Vol. 138, No. 6, Dec., 1991.
- [3] Sohyeun Yun, Mansuk Uhm, Inbok Yom and Doseob Ahn, "A Study on the Analysis of the Mesh Reflector Antenna", Korea Information and Communications Society Winter Conference 2010.
- [4] Ken-ichi Haryu, Yasuhiko Yamasa, Teruki Okamoto, Yuichi Otsu and Kazuhiko Yoneyama, B. B. Mandelbrot, "Development of Antenna System for S-band Mobile Satellite Communications and Broadcasting", IEEE 46th Vehicular Technology, 1996.
- [5] Shunichiro Egami and Makoto Kawai, "An Adaptive Multiple Beam System Concept", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. SAC-5, NO. 4, May, 1987.
- [6] Hiroki Shoki, Yasuo Suzuki, Kyoto Tokunaga and Hiroaki Tsunoda, "Weight Optimization Method for Array-Fed Reflector Antennas Used for Multibeam Satellite Communications", IEEE, 1997.
- [7] Robert J. Mailloux, Phased Array Antenna Handbook, 2nd Edition, Artech House, Boston · London, 2005.
- [8] A.V.Mrstik, R.G.Smith, "Scanning capabilities of

large parabolic cylinder reflector with phased array feed", IEEE Trans. on AP, Vol. 29, No. 5, pp. 455-465, 1981.

[9] Sudhakar K. Rao, "Design and Analysis of Multiple-Beam Reflector Antennas", IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 41, No. 4, pp. 53-59, August, 1999.

저 자

윤 소 현 (Sohyeun Yun) 정회원



1998년 : 충북대학교 전파공학과
학사졸업
2000년 : 충북대학교 전파공학과
석사졸업
2000년 현재 : 한국전자통신연구원
무선RF탑재기술연구팀
선임연구원

<관심분야> 위성탑재용 안테나, 위성추적 안테나, 안테나
급전소자, 수동소자 개발

엄 만 석 (Manseok Uhm) 정회원



1987년 : 중앙대학교 전자공학과
학사졸업
1989년 : 중앙대학교 전자공학과
석사졸업
2007년 : 중앙대학교 전자공학과
박사졸업

1992년~현재 : 한국전자통신연구원 무선RF탑재기술연구
팀 책임연구원

<관심분야> 위성시스템, 위성탑재체, 능동소자, MMIC,
수동소자, 안테나 개발

염 인 복 (Inbok Yom) 정회원



1990년 : 한양대학교 전자공학과
학사졸업
2004년 : 충남대학교 전자공학과
석사졸업
2007년 : 충남대학교 전자공학과
박사졸업

1990년~현재 : 한국전자통신연구원 무선RF탑재기술연구
팀 팀장

<관심분야> 위성시스템, 위성탑재체, 능동소자, MMIC,
수동소자, 안테나 개발