

# 위성 S-대역 옴니 안테나 합성 이득 해석

김중표\*, 이상곤\*\* 정회원

## Combined Gain Analysis of Satellite S-band Omni-antenna

Joong-Pyo Kim\*, Sang-Kon Lee\*\* Regular Members

### 요 약

위성의 발사부터 임무 궤도 운용을 포함한 어떤 위성의 자세에서도 지상국과의 통신 링크 보장을 위해서는 TC&R (Telemetry, Command & Ranging)의 안테나는 반구 옴니 패턴을 가져야 한다. 지구 옴니 안테나 패턴을 제공하기 위해서는 위성의 +z 축 방향과 -z축 방향에 각각 반구 옴니 패턴을 갖는 안테나를 배치하게 된다. 본 연구에서는 반구 옴니 빔을 갖는 RHCP 및 LHCP 편파 Quadrifilar 헬릭스 안테나를 설계하고 안테나 이득 및 축비 요구 규격을 잘 만족함을 확인하였다. +z 축 방향과 -z축 방향에 안테나 편파 조합에 따른 합성된 옴니 안테나 지구 패턴의 특성을 분석하기 위해 +z 및 -z 축에 4가지 편파 배치안에 대해 합성 빔을 비교 분석하였다. 이 결과를 바탕으로 실제 위성 구조물에 +z축 및 -z축에 RHCP 및 LHCP S-대역 옴니 안테나를 각각 장착하고 위성 구조물에 의한 합성 이득 패턴을 얻고 링크에 대한 영향 분석을 수행하였다.

**Key Words** : satellites; omni-antennas; antenna pattern; polarization; combined gain.

### ABSTRACT

The TC&R(Telemetry, Command & Ranging) antennas should have the hemispherical omni antenna patterns to make sure that the communication link between the satellite and the ground station can be established under whatever satellite attitude during after launch to on-orbit mission. The hemispherical omni-antennas are typically placed on the +z axis and -z axis of the satellite to provide the spherical omni patterns. The S-band quadrifilar helix antennas having RHCP and LHCP hemispherical omni pattern are designed to meet the antenna gain and the axial ratio requirements. To investigate the omni-antenna pattern characteristics depending on four cases of antenna polarization combination placed on the +z axis and -z axis, the antenna pattern of each case is analyzed. Based on the result, after installing the designed RHCP and LHCP S-band omni-antennas on the +z axis and -z axis of the satellite, the combined antenna gain is obtained and finally analyzed in conjunction with the communication link influence.

## I. 서 론

천리안 위성은 통신, 해양 및 기상 임무 탑재체를 장착한 복합위성이다. 발사부터 임무 수명 때까지 위성의 상태 확인 및 위성의 임무 유지를 위해 필수적으로 사용되는 원격측정 명령계의 주된 기능은 위성과 지상국 사이의 원격측정 및 원격명령 링크를 보장하고 위성 및 지상국 사이의 거리 측정을 위한 레인지 기능을 제공하는 것이다.

위성의 발사부터 임무 궤도 운용을 포함한 어떤 위성의 자세에서도 지상국과의 통신 링크 보장을 위해서는 TC&R (Telemetry, Command & Ranging)의 안테나는 반구 옴니 안테나 패턴을 제공하여야 한다. 지구 옴니 패턴을 제공하기 위해서는 위성의 +z 축 방향과 -z축 방향에 각각 반구 옴니 안테나를 배치하게 된다.

본 연구에서는 위성의 +z 축 방향과 -z축 방향에 장착되는 반구 옴니 빔을 갖는 빔 패턴 및 축비 요구 규격을 잘 만족하는 RHCP(Right Handed Circular Polarization) 및 LHCP(Left Handed Circular Polarization) 편파 Quadrifilar 헬릭스 안테나를 설계한다[1][2]. +z 축 방향과 -z축 방향에 안테나 편파 조합에 따른 합성된 안테나 지구 빔의 영향을 분석하기 위해 +z 및 -z 축에 4가지 편파 배치안에 대해 합성 빔을 비교 분석하였다. 분석한 결과 동일 편파를 배치하는 것 보다는 반대 편파를 배치하는 것이 지구 빔 이득 간섭에 더 작은 영향을 줄을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 실제 위성 구조물에 +z축 및 -z축에 RHCP 및 LHCP S-대역 옴니 안테나를 각각 장착하고 위성 구조물에 의한 합성 이득 패턴을 얻고 통신링크에 대한 영향을 분석하였다.

\* 본 연구는 교육과학기술부 통신해양기상위성 시스템 및 본체 개발사업 지원으로 수행하였음.

\*\*한국항공우주연구원 위성전자팀 (jpkim@kari.re.kr), 한국항공우주연구원 위성전자팀(skon@kari.re.kr)

접수일자: 2012년 5월 18일, 수정완료일자: 2012년 6월 1일, 최종 게재 확정일자: 2012년 6월 19일

## II. S-대역 옴니 안테나 설계

위성의 발사부터 임무 궤도 운용을 포함한 어떤 위성의 자세에서도 지상국과의 통신 링크 보장을 위해서는 원격측정명령계의 TC&R의 안테나는 반구 옴니 안테나 빔을 가져야 한다. 그것을 만족하기 위해 사용되는 대표적인 위성 옴니 안테나 형태는 스파이럴 안테나 및 Quadrifilar 헬릭스 안테나가 있다[1][2]. 천리안위성에 사용된 안테나 구조는 Quadrifilar 헬릭스 안테나로 그림 1에 나타내었다. 동작 주파수 2.09 GHz에 대해 좌선 헬릭스 구조에 의해 RHCP 패턴을 갖도록 설계되었다.

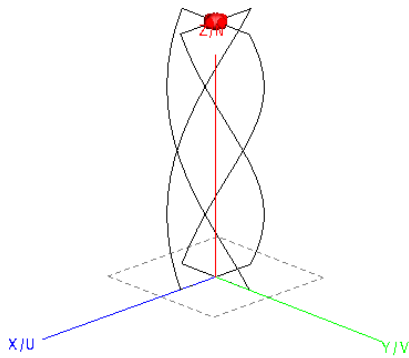


그림 1. Quadrifilar 헬릭스 안테나 해석 구조(RHCP)

그림 1의 RHCP 빔 패턴을 갖는 Quadrifilar 헬릭스 안테나에 대해 FEKO 상용툴[3]을 이용하여 해석한 결과를 그림 2에 나타내었다. 주 편파 RHCP는 요구 RHCP 패턴을 잘 만족하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 교차 편파 RHCP 패턴도 -90에서 +90도 반구 영역에서 매우 낮게 유지되고 있음을 알 수 있다. 그림 3은 얻어진 축비에 대한 결과를 보여주고 있다. 요구 축비를 잘 만족하고 있음을 알 수 있다. 그림 4는 주빔 RHCP 극좌표 패턴을 나타낸 것이다. 이 극좌표 안테나 패턴은 III장의 편파 조합의 결과와의 비교를 위해 사용된다. III장에서 다룰 안테나 편파 조합 분석을 위해 -z축에 RHCP 안테나를 배치하면 그림 4처럼 주편파 RHCP가 180도로 방사하게 된다.

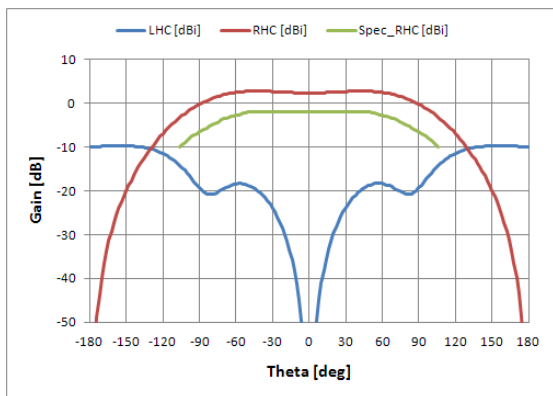


그림 2. Quadrifilar 헬릭스 안테나 빔 패턴

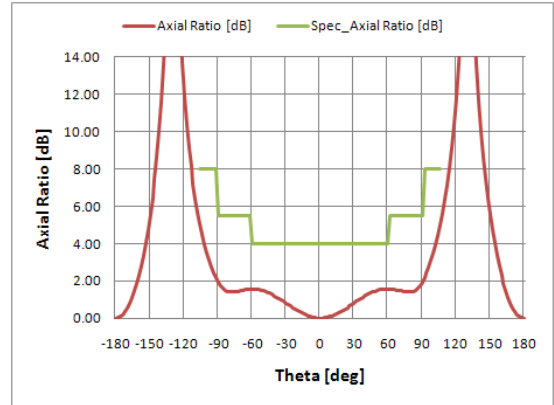


그림 3. Quadrifilar 헬릭스 안테나 축비

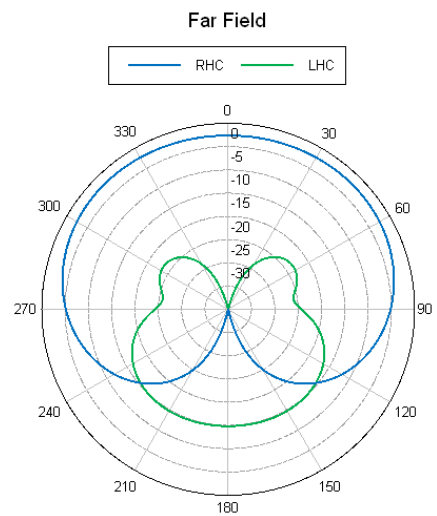


그림 4. Quadrifilar 헬릭스 안테나 극좌표 패턴(RHCP)

그림 5는 LHCP Quadrifilar 헬릭스 안테나 패턴을 얻기 위해 그림 1의 RHCP 편파를 위해 좌선으로 된 것을 우선 헬릭스 구조로 바꾸고 III장에서 다룰 안테나 조합 분석을 위해 -z축 방향으로 배치하면 해석 결과에서 알 수 있듯이 180도에서 주빔 LHCP가 방사되고 있음을 알 수 있다.

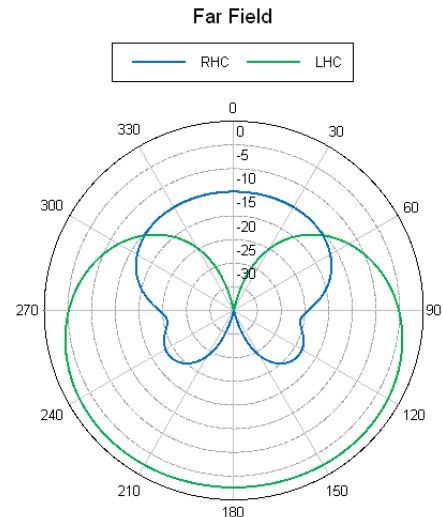


그림 5. Quadrifilar 헬릭스 안테나 극좌표 패턴 (LHCP, 180도 회전)

### Ⅲ. 안테나 편파 배치 조합 분석

위성의 발사부터 임무궤도에서의 안정적인 통신링크 계공을 위해 지구 옴니 안테나 빔 패턴을 형성하기 위해 +z 및 -z축에 반구 옴니 안테나를 장착하게 된다. +z 및 -z 축에 장착되는 안테나 편파는 크게 4가지 형태가 될 수가 있다. 표 1은 4가지 형태에 대한 안테나 편파 조합을 나타내고 있다.

표 1. 안테나 편파 배치 조합

번호	+z 축	-z 축
1	RHCP	RHCP
2	RHCP	LHCP
3	LHCP	RHCP
4	LHCP	LHCP

여기서 1번 및 2번의 형태는 3번 및 4 번의 형태의 대칭의 경우가 되므로 1 및 2번의 경우에 대해서만 빔 패턴 분석을 수행하였다.

그림 6은 안테나 편파 조합 분석을 위해 사용된 해석 모델을 보여 주고 있다. 안테나 사이에 놓인 도체평판은 1m x 1m의 완전도체를 나타낸다. 도체 평판 위 아래에 놓인 안테나의 위치는 각각 1m 이격되게 배치되어 있다.

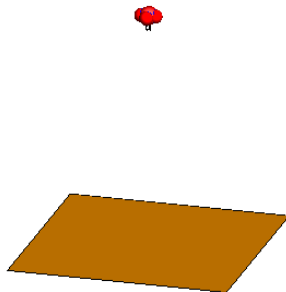
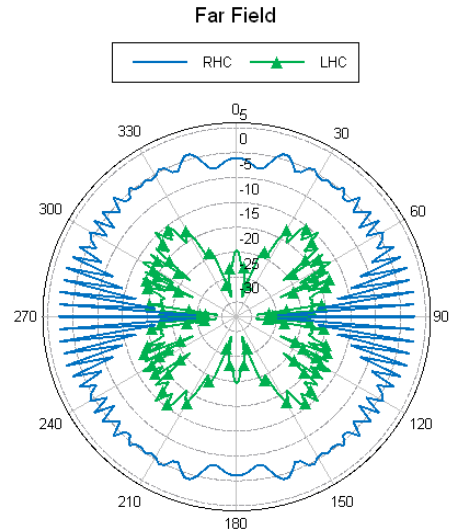


그림 6. 안테나 편파 조합 분석 모델

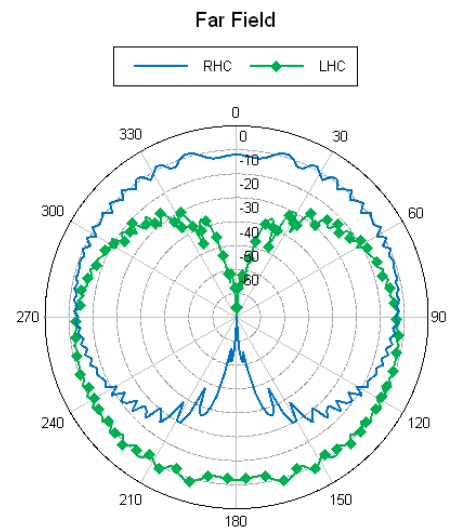
그림 7은 +z 및 -z 축 안테나 편파 배치 조합 1번 즉 RHCP/RHCP 배치에 대한 합성 안테나 이득을 보여주고 있다. 그림 4의 단일 안테나 패턴 결과와 비교하여 안테나 이득도 각도에 대해 빔 크기 변화가 발생함을 알 수 있으며, +/-z 축에 수평 방향인 90도 및 270도 근방에서 합성 패턴 간섭에 의해 상당한 크기의 널(Null)이 발생함을 알 수가 있다. 90도 및 270도 근방에서의 널에 의해 통신에 큰 영향을 줄 수가 있음을 알 수가 있다.



Gain (Frequency = 2.09 GHz; Phi = 0 deg) - RHQA\_0.5tum\_test\_RHC\_RHC

그림 7. 합성 안테나 이득 패턴 (1번 조합)

그림 8은 +z 및 -z 축 안테나 편파 배치 조합 2번 즉 RHCP/LHCP 배치에 대한 합성 안테나 이득을 보여주고 있다. 그림 4의 단일 안테나 패턴 결과와 비교하여 RHCP 반구 빔의 안테나 이득이 각도에 대해 빔 세기 변화가 발생함을 알 수 있으며, +/-z축에 수평 방향인 90도 및 270도 근방에서 조합 1번과 비교하여 널은 없지만 RHC 및 LHC 패턴이 거의 동일한 값을 가지게 된다. 90도 및 270도 아래쪽 반구로 넘어가면 LHCP가 주빔으로 역할을 하게 된다. 조합 2번의 경우의 합성 이득 빔 해석을 토대로 90도 및 270도를 기점으로 주빔 패턴이 서로 바뀌게 된다. 90도 및 270도 영역에서 안정된 통신 링크 보장을 위해 지상국 안테나의 편파 스위칭이 요구된다. 2번 조합이 비록 편파 스위칭을 하여야 하지만 1번 조합보다는 우수한 빔 커버리지 특성을 제공할 수 있다.



Gain (Frequency = 2.09 GHz; Phi = 0 deg) - RHQA\_0.5tum\_test\_RHC&LHC

그림 8. 합성 안테나 이득 패턴 (2번 조합)

### IV. 위성 구조물 간섭 분석

III절의 안테나 편파 조합 분석 결과를 토대로 2번 조합 즉 +z 및 -z축에 RHCP 및 LHCP 옴니 안테나를 실제 천리안 위성 구조물에 장착하였다. 장착시 장착 구조물에 간섭이 최소화되도록 배치되어야 한다. 특히 정지궤도 위성에서는 액체 Apogee 엔진 점화시 위성이 궤도면에 수평으로 놓이게 되는데 이 경우 III절에서 언급한 90도 및 270도에서 편파 간섭이 일어나면서 통신 링크가 단절될 수 있다. 이를 위해 25도 경사지게 옴니 안테나를 배치하여 이러한 통신 링크 간섭을 피하도록 하였다. 그림 9는 +z 및 -z축에 대해 장착된 안테나 및 위성 구조물을 나타내고 있다. +z축에 장착된 S-대역 옴니 안테나 근방에 탑재체 구조물 및 혼 안테나가 존재하며 -z축에는 반사경 안테나와 Apogee 엔진이 존재하고 있다. 또한 +y축 방향에는 대형 태양 전지판이 배치되어 있다.

우선 위성과 같은 대형 구조물에 의한 안테나 합성 이득의 해석 결과의 적합성 검증을 위해 사용되는 MLFMM, PO, 및 MOM/PO 수치해석 기법의 유사성은 참고문헌[4]에서 확인할 수 있다. 그 중 가장 정확한 해석 결과를 제공하는 MLFMM 기법[5]을 적용하여 얻어진 결과를 그림 10에 나타내었다.

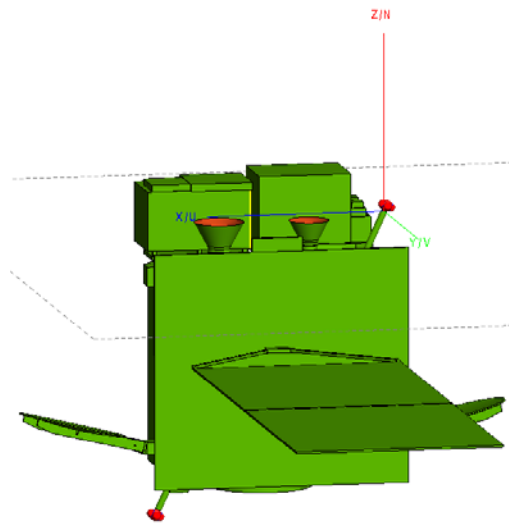
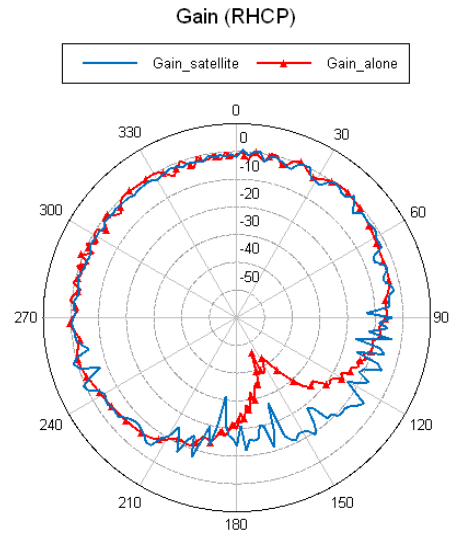


그림 9. 위성구조물에 장착된 RHCP/LHCP 안테나

그림 10은  $\phi=0^\circ$ 에서 위성구조물이 있는 경우와 위성 구조물이 없이 안테나만 있는 경우에 얻어진 RHCP 패턴으로 전체적인 패턴은 백로브를 제외하고는 거의 같은 경향을 나타내면서 구조물에 의해 발생된 간섭에 의해 수 dB의 패턴 변이를 보여준다. 이러한 안테나 이득의 변이는 위성 및 지상국 간의 통신 링크마진에 고려된다. 특히 전이궤도 액체 Apogee 엔진 점화시 통신 링크 유지를 위하여 25도 경사지게 안테나를 배치한 효과에 의해 지상국을 바라보는 270도 근방에서는 구조물에 의한 널이 발생하지 않음을 알 수가 있으며, 이 경우 지상국의 안테나 패턴은 RHCP로 되어 있어야

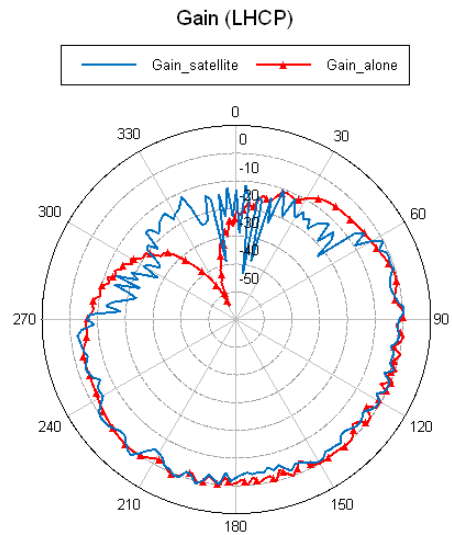
한다.



RHC Gain (Frequency = 2.09 GHz; Phi = 0 deg)

그림 10. 합성이득 패턴(RHCP)

그림 11은  $\phi=0^\circ$ 에서 위성구조물이 있는 경우와 위성 구조물이 없이 안테나만 있는 경우에 얻어진 LHCP 패턴으로 전체적인 패턴은 그림 10처럼 백로브를 제외하고는 거의 유사한 패턴 경향을 나타내며 구조물 간섭에 의해 발생된 간섭으로 수 dB의 패턴 이득 변이가 나타남을 알 수 있다.



LHC Gain (Frequency = 2.09 GHz; Phi = 0 deg)

그림 11. 합성이득 패턴(LHCP)

그림 12는  $\phi=90^\circ$ 의 경우에 대해 위성구조물이 있는 경우와 안테나만 있는 경우에 대해 얻어진 RHCP 패턴으로  $\phi=0^\circ$ 의 경우와는 다르게 270도 근방에서 비교적 큰 널이 발생함을 알 수 있다. 이것은 -y 축 근방에 존재하는 탑재체에 의한 영향으로 보인다.

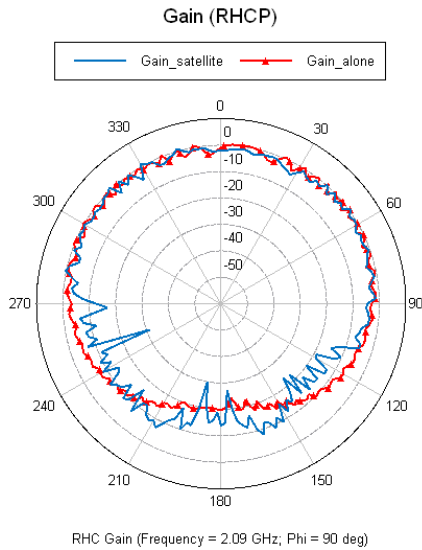


그림 12. 합성이득 패턴(RHCP)

그림 13은  $\phi=90^\circ$ 에서 위성구조물이 있는 경우와 안테나만 있는 경우에 얻어진 LHCP 패턴으로  $\phi=0^\circ$ 의 경우와는 다르게 270도를 넘어서 급격히 이득이 떨어지는 것이 없음을 알 수 있다. 270 각도로 위성이 지상국을 바라보는 경우는 LHCP로 사용하는 것이 나음을 알 수 있다.

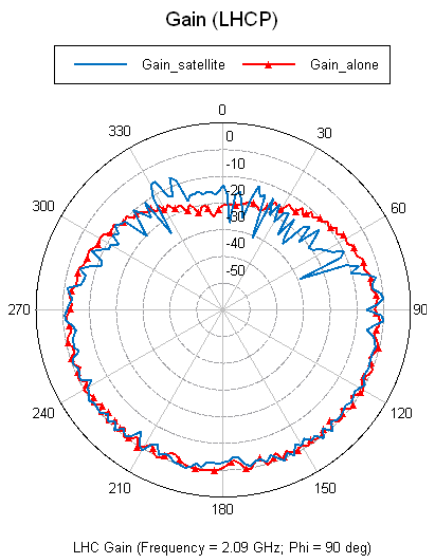


그림 13. 합성이득 패턴(LHCP)

## V. 결론

위성의 발사부터 임무 궤도 운용을 포함한 어떤 위성의 자세에서도 지상국과의 통신 링크 보장을 위해서는 원격측정명령계 TC&R (Telemetry, Command & Ranging)의 안테나는 전구를 커버하기 위해 위성의 +z 축 방향과 -z 축 방향에 각각 반구 옴니 안테나를 배치하게 된다. 이를 위해 위성에서 옴니 안테나로 많이 사용되는 Quadrifilar 헬릭스 안테나를 선정하고 요구 안테나 이득 및 축비를 만족하는 S-

대역 RHCP 및 LHCP 편파 Quadrifilar 헬릭스 안테나를 설계하였다. +z 축 방향과 -z축 방향에 장착되는 4가지 안테나 편파 조합에 따른 합성된 안테나 전구 빔의 특성을 분석하였고 +z 및 -z 축에 서로 다른 편파를 장착하는 것이 더 나은 합성 이득을 제공함을 확인하였다. 이 결과를 바탕으로 실제 위성 구조물에 +z축 및 -z축에 RHCP 및 LHCP S-대역 옴니 안테나를 각각 장착하고 위성 구조물에 의한 합성 이득 패턴을 얻고 링크에 대한 영향 분석을 수행하였다. 얻어진 합성 이득 분석 결과를 바탕으로 저궤도, 정지궤도, 및 우주 탐사선 프로그램에서 최적의 안테나 배치에 활용할 예정이다.

## 참고 문헌

- [1] Surrey Satellite Technology Ltd. home page: <http://www.sstl.co.uk>.
- [2] C. C. Kilgus, "Spacecraft and ground station applications of the resonant quadrifilar helix," Digest of the 1974 Int. IEEE/AP-S Symp., pp. 75-77, 1974.
- [3] FEKO Suite 5.5, [Online]. Available: <http://www.feko.info>.
- [4] 김중표, 양군호, 이상곤, COMS L-대역 송신 안테나 합성 이득 해석, 통신위성우주산업연구회논문지 제5권 제 2호, pp. 19-24, 2010.
- [5] J. Yuan, Y. Qiu, J. L. Guo, Y. L. Zou, and Q. Z. Liu, "Fast analysis of antenna mounted on electrically large composite objects," PIER 80, pp. 29-44, 2008

## 저자

김 중 표(Joongpyo Kim)



· 2000년 2월 : 경북대학교 전자공학과 박사졸업  
 · 2000년 3월~현재 : 한국항공우주연구원 위성본체실 위성전자팀  
 <관심분야> : 초고주파회로, 안테나, 위성 통신시스템 설계, 원격측정명령계

정희원

이 상 곤(Sangkon Lee)



· 1987년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사졸업  
 · 1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사졸업  
 · 1989년 1월~1996년 1월 : LG정밀(주) 선임연구원

정희원

· 2008년 2월 : 충남대학교 전자공학과 박사졸업  
 · 1996년 2월~현재 : 한국항공우주연구원 위성본체실 위성전자팀장  
 <관심분야> : 인공위성 전력계 및 원격측정명령계