

우주발사체용 UHF-대역 안테나의 반사면 크기에 의한 영향 분석

황수설*, 마근수*, 홍성용** 정회원

An Impact Analysis Results of Antenna Reflector for the UHF-band Antenna of Space Launch Vehicle

Soosul Hwang*, Keunsu Ma* and Sung-Yong Hong** Regular Members

요 약

본 논문에서는 우주발사체의 표면에 장착되는 다양한 종류의 안테나 중 UHF-대역 안테나의 반사면 크기 변화에 따른 안테나의 주요 성능지표인 공진주파수, 반사손실, 이득 및 방사패턴 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 반사면의 크기에 의한 영향을 파악하기 위해 충분한 크기의 반사면을 갖는 경우와 KSLV-I에 탑재된 안테나 반사면과 동일한 크기의 반사면을 가진 경우, 제작된 안테나의 형상에 의해 가질 수 있는 최소크기의 반사면을 가진 경우의 3가지 형태로 반사면 모델을 제시하고 각각의 모델에 대한 시뮬레이션을 진행하여 안테나 성능에 미치는 영향을 확인하였다. 시뮬레이션 결과, 반사면의 크기가 변화하여도 공진주파수와 10dB 대역폭은 거의 변화하지 않는 것으로 확인되었다. 반사면의 크기변화에 따른 안테나 이득은 반사면의 크기가 감소됨에 따라 전반적인 이득과 3dB 대역폭은 감소되고, 방사패턴의 최대이득 방향이 안테나의 수직방향으로 변동되는 것으로 확인되었다. 방사패턴 특성은 전방방향으로 각 반사면 모델이 거의 동일한 특성을 보였고 후방방향에서는 반사면의 크기가 작아짐에 따라 후방방사가 더욱 많이 발생되어 방사패턴에 차이를 보였다.

Key Words : Antenna Reflector, PIFA, Reflector Model, Return Loss, Radiation Pattern

ABSTRACT

This paper represents the impact analysis results of antenna reflector for the UHF-band antenna of Space Launch Vehicle. Three types of UHF-band antenna reflector model have been proposed and simulated to compare their characteristics such as resonance frequency, reflection loss and radiation pattern etc. Simulation results showed that resonance frequency and return loss of each reflector models were rarely affected even if reflector sizes are changed. The antenna gain and 3dB bandwidth were slightly changed to the worse directions as the reflector sizes are smaller.

I. 서론

우주발사체는 인공위성을 목표하는 궤도에 투입하기 위한 목적으로 사용되는 로켓을 말한다. 우주발사체에는 발사운용 중 발사체의 상태정보를 지상으로 전송하기 위한 원격측정시스템, 발사체의 추적을 위한 추적시스템, 비정상상태 발생시 더 이상의 비행을 중단시키기 위한 비행중단시스템 등의 전자시스템이 탑재되게 되며, 지상과의 통신을 위한 다양한 주파수 대역의 안테나가 발사체 외부면에 장착되게 된다.

우주발사체는 Slant Range가 1500km 이상인 장거리 비행

을 수행하여야 하므로 최대 비행거리까지 지상국과의 안정된 RF 통신링크를 유지하기 위하여 비행운용 중 발사체가 겪게 되는 발사체의 자세변화, 고속으로 진행되는 발사체의 공기역학적(Aerodynamic) 특성, 단분리(Stage Separation)와 위성덮개 분리(Nose Fairing Separation)에 의한 접지면의 변화, 고온/고압의 환경, 화염(Flume)의 영향 등 외부 환경에 의한 영향을 고려하여 탑재되는 안테나의 구조 및 장착 위치, 개수 등이 결정되게 된다[1]. 일반적인 경우, 우주발사체에서는 추력비를 높이기 위해 탑재체의 무게가 최소화 되도록 설계가 진행되고 있으며, 이러한 이유에 의해 앞서 제

*한국항공우주연구원 발사체기술연구소 발사체기술개발실 발사체전자팀 (sooseul@kari.re.kr, ksm@kari.re.kr),

**충남대학교 전파공학과 RF 기술연구실 (syhong@cnu.ac.kr), 교신저자 : 홍성용

접수일자 : 2012년 8월 28일, 수정완료일자 : 2012년 9월 18일, 최종 게재 확정일자 : 2012년 9월 21일

시한 안테나 장착을 위한 고려사항을 충분히 만족하는 안테나 탑재 공간 확보는 현실적으로 어렵다. 특히, UHF-대역 안테나는 타 주파수 대역의 안테나에 비해 크기가 상대적으로 크므로, 단분리나 위성덮개가 분리된 이후에는 충분한 크기의 안테나 반사면이 확보되지 못한다.

한국항공우주연구원에서 개발한 소형위성발사체(KSLV-I : Korea Space Launch Vehicle-I)의 UHF-대역 안테나의 경우에도 안테나의 탑재공간을 확보하기 위해 상단부가 돌출된 형태로 안테나 반사면이 형성되어 있다. 이러한 구조의 반사면은 위성덮개가 씌워진 상태에서는 충분한 반사면이 확보되지만 위성덮개가 분리된 이후에는 반사면의 크기가 작아져 안테나의 방사패턴에 영향을 줄 가능성이 있다.

이에, 본 논문에서는 KSLV-I에 적용된 UHF-대역 안테나를 이용하여 반사면의 크기 변화에 따른 공진주파수, 반사손실 및 방사패턴 등의 주요 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 안테나 반사면의 크기는 이론에 의해 요구되는 반사면의 크기를 기준으로 KSLV-I에 탑재된 반사면 형상과 최소 반사면을 가지는 형상으로 모델링하여 각각의 형상에 의한 영향을 비교하였다.

II. UHF-대역 안테나의 반사면 모델

우주발사체에 탑재되는 안테나는 발사체의 운동방향이 지상국에서 멀어지는 방향이므로 안테나의 방사패턴은 발사체 후미 방향으로 전방향 방사가 요구되어지며, 발사 초기에는 발사체의 수직방향으로도 적절한 방사패턴을 가져야 하는 등의 성능요구조건을 만족하여야 한다. 또한, 고속으로 운동하는 발사체에 탑재되기 위해서는 공기역학적으로도 유리한 형태를 가져야 하며, 고온/고압의 환경변화에 대해서도 큰 영향을 받지 않고 안정된 RF 통신이 가능하여야 한다. 우주발사체에서는 이러한 발사체의 운용조건에 적합한 형태인 역-F 안테나(PIFA : Planar Inverted F Antenna)나 패치 안테나가 주로 탑재되고 있으며, KSLV-I에도 UHF-대역 안테나로 역-F 안테나가 탑재되어 있다.

안테나의 반사면(Reflector)은 안테나 표면에 안정적인 전

류분포를 유도하여 원하는 형태의 전자파 방사가 이루어지도록 하는 역할을 하며, 이상적인 성능을 보이기 위해서는 무한한 크기의 반사면이 요구되지만 실질적인 경우의 안테나 반사면은 유한한 크기를 가지게 된다[2,3]. 경험적인 결과에 의해 요구되는 반사면의 크기는 안테나의 동작주파수에 대해 최소한 $\lambda/4$ 이상의 크기를 가져야 하지만[4], 앞서 서술한 바와 같이 발사체에서 이러한 요구조건을 충분히 만족하는 안테나 탑재 공간 확보가 현실적으로 어렵다.

그림 1에 KSLV-I의 상단부 외부면에 장착된 UHF-대역 안테나와 반사면을 보였다.

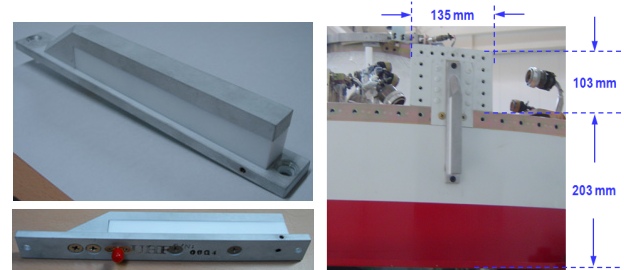


그림 1. KSLV-I에 탑재된 UHF-대역 안테나와 반사면

KSLV-I의 경우에도 안테나의 탑재공간 부족으로 충분한 크기의 반사면이 확보되지 못하고 상단부가 돌출된 형태로 반사면이 구성되어 있다. 이와같이 반사면이 충분한 크기를 갖지 못하면 반사면 뒷부분으로 후방방사가 발생될 수 있으므로, 전방방향의 방사이득과 방사패턴에 영향을 주게 있다.[5]

이러한 반사면의 크기에 의한 영향을 파악하기 위해 반사면을 3가지 형태로 모델링하여 시뮬레이션을 통해 영향성을 분석하였다. 분석에 적용한 반사면 모델은 그림 2와 같다. 반사면 모델 (I)은 충분한 크기의 반사면이 확보되었을 때 반사면의 중앙에 UHF-대역 안테나가 위치하였을 때이고, 반사면 모델 (II)는 KSLV-I의 안테나 탑재 형상과 동일한 형태의 반사면을 가지고 있을 때이며 반사면 모델 (III)은 UHF-대역 안테나 크기에 수직방향으로 안테나 장착을 위한 30mm의 최소 공간을 갖는 형태의 모델이다. 시뮬레이션에 적용한 반사면은 완전도체(Perfect Conductor)이고 평면인

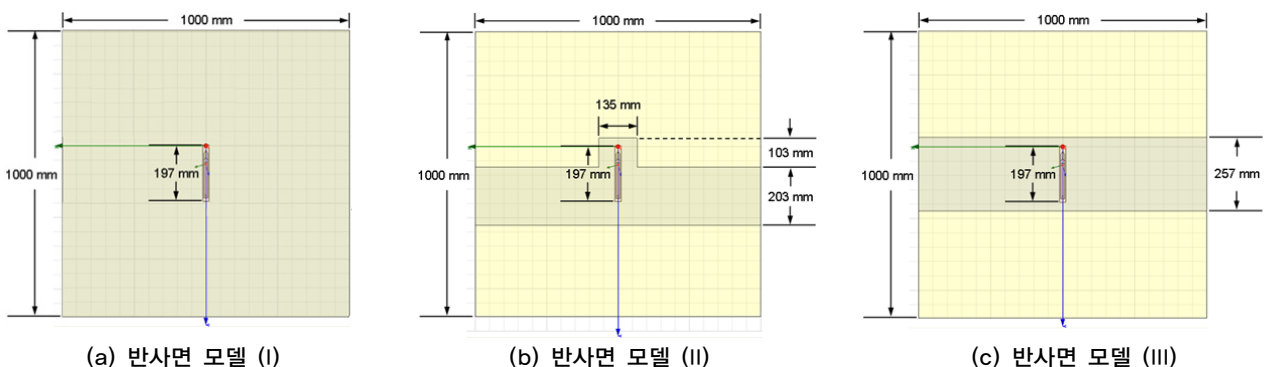


그림 2. 해석에 적용한 다양한 형태의 반사면 모델

것으로 가정하였다. 좀 더 정확한 해석을 위해서는 안테나가 장착될 발사체의 표면을 곡면으로 모델링하여야 하나 발사체의 반경이 안테나의 크기에 비해 매우 커서 반경이 한 파장보다 훨씬 클 경우 곡면에 대한 영향은 무시할만하므로 안테나가 탑재되는 발사체의 표면은 곡면에서 평면으로 근사화 시킬 수 있다.[6]

III. UHF-대역 안테나의 반사면 크기에 의한 영향분석

안테나 반사면 크기에 의한 영향 분석은 Ansoft 사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator) V.10을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 결과 분석은 충분한 크기의 반사면이 확보되어 이상적인 안테나 패턴을 보이는 반사면 모델 (I) 과 서로다른 반사면 형태를 가지는 반사면 모델 (II)와 (III)의 특성 비교를 통해 수행하였다. 각 반사면 모델에 대한 반사손실 시뮬레이션 결과를 그림 3에 나타내었다.

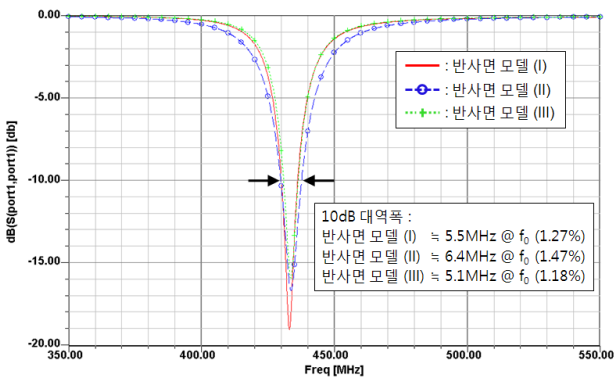


그림 3. 반사면 모델의 반사손실 특성

각 반사면 모델의 반사손실 특성을 보면, 반사면의 크기 변화에 의해 UHF-대역 안테나의 공진주파수는 거의 변화하지 않는 것으로 확인되었다. 안테나의 특성을 나타내는 10dB

대역폭은 충분한 크기의 반사면을 갖는 반사면 모델 (I)의 경우 설계 중심주파수에서 5.5MHz의 대역폭을 가지며 반사면 모델 (II)의 경우 6.4MHz, 반사면 모델 (III)의 경우 5.1MHz의 대역폭을 갖는 것으로 시뮬레이션 되었다. 각 반사면 모델에 대한 대역폭의 차이는 미미하며, 시뮬레이션 수행시의 오차를 고려하였을 때 거의 변화하지 않는 것으로 볼 수 있다. 반사손실 시뮬레이션 결과에 의하면 반사면의 크기가 변화되더라도 UHF-대역 안테나는 설계 중심주파수에서 안테나로서의 역할을 충분히 수행할 수 있으리라 판단된다.

그림 4에 각각의 반사면 모델에 대한 YZ 면($\Phi=90^\circ$)에서의 안테나 이득 특성을 보였다. 우주발사체에 탑재되는 안테나는 지상국에서 멀어지는 방향이므로 방사패턴이 발사체의 운동방향에 대해 후미 방향으로 치우친 전방향성의 방사가 요구되어 진다.

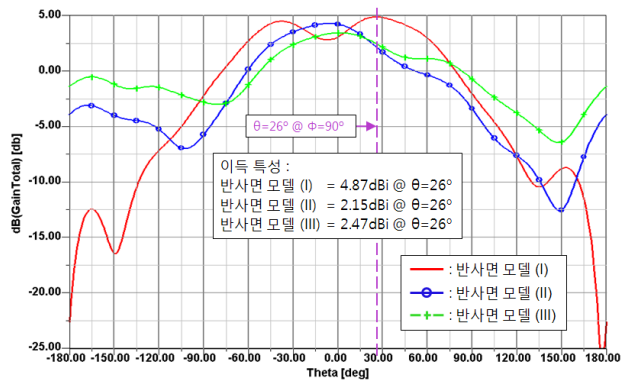


그림 4. 반사면 모델의 이득 특성

앞선 요구조건을 바탕으로 설계된 안테나를 반사면 모델 (I)에 적용되었을 경우 안테나 탑재면의 수직방향에 대해 후미 방향으로 약간 치우쳐진 $\theta=26^\circ$ 에서 최대이득을 보이는 것을 확인할 수 있고, 3dB 대역폭이 120° 인 전방향성의 방사 패턴 특성을 보였다. 유한한 크기의 반사면을 가지는 반사면 모델 (II)와 (III)에 적용하였을 경우에는 반사면의 크기가 감소됨에 따라 전반적인 이득과 3dB 대역폭은 감소되고, 방사

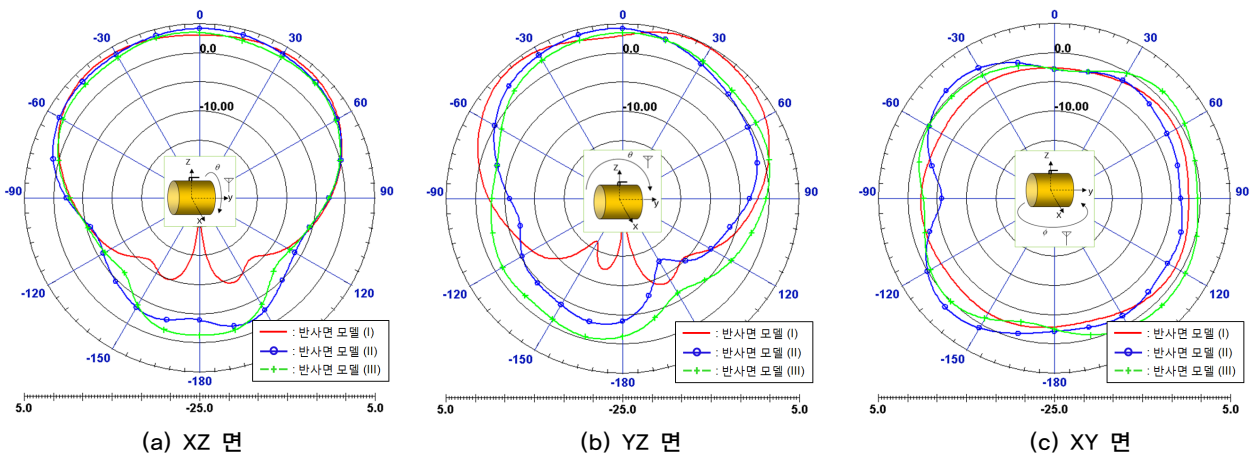


그림 5. 반사면 크기 변화에 따른 방사패턴 특성

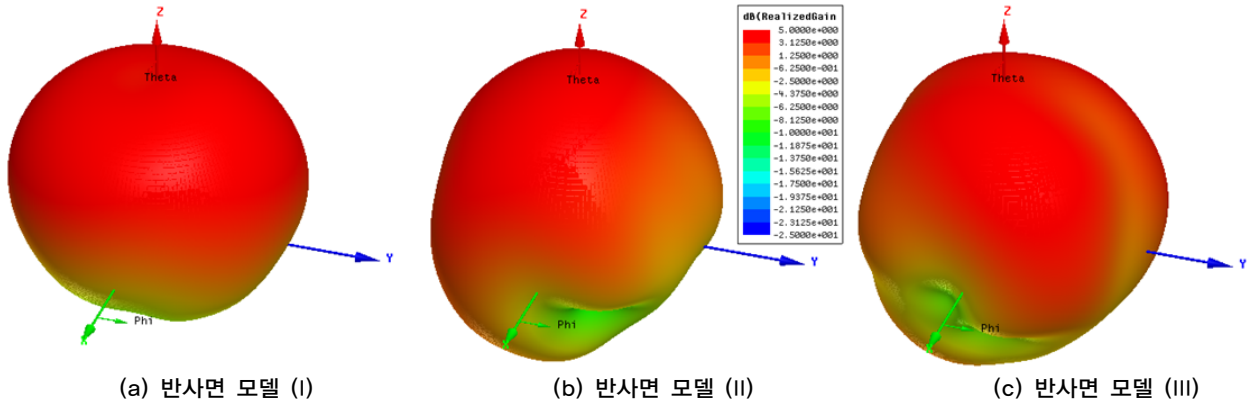


그림 6. 반사면 모델에 따른 3차원 방사패턴 특성

패턴의 최대이득 방향이 안테나의 수직방향으로 변동되는 특성을 보였다. 각 반사면 모델의 이득 특성은 최대이득을 보이는 $\theta=26^\circ$ 를 기준으로 반사면 모델 (I)은 4.87dBi, 반사면 모델 (II), (III)은 2.15, 2.47dBi의 이득을 보임으로써 반사면의 크기가 작아짐에 따라 2.5dB 정도의 이득에 손실이 발생되는 것으로 확인되었다.

반사면 크기에 따른 방사패턴 특성 분석을 XZ, YZ, XY 평면으로 나누어 진행하였고, 해석된 방사패턴 특성은 그림 5와 같다. XY 면 방사패턴의 경우 안테나가 장착된 면에 대해 수평방향으로는 반사면이 존재하기 때문에 전방방향에서는 각 반사면 모델이 거의 동일한 특성을 보였고 후방방향에서는 반사면의 크기가 작아짐에 따라 후방방사가 더욱 많이 발생되어 방사패턴에 차이를 보이게 된다. YZ 면인 경우에도 반사면의 크기가 작아짐에 따라 후방방사가 더욱 많이 발생되고, 최대 이득을 보이는 고각(Elevation Angle)이 안테나의 수직방향($\theta=0^\circ$)으로 이동되며 이득 및 대역폭이 감소되는 특성을 보이는 것으로 확인되었다.

반사면의 크기에 따른 후방방사의 양은 그림 6의 3차원 방사패턴을 통해서도 확인할 수 있다. 반사면 모델 (I)의 경우에는 대부분의 에너지가 전방방향을 향해 방사되는 것을 확인할 수 있으나, 반사면 모델 (II)와 (III)의 경우에는 모델 (I)과 비교하여 더욱 많은 양의 후방방사가 발생되어 안테나가 고출력 송신시스템에 적용될 경우에는 발생한 후방방사 성분에 의해 발사체에 탑재되는 여타 시스템에도 영향을 줄 가능성이 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 우주발사체의 표면에 장착되는 다양한 종류의 안테나 중 UHF-대역 안테나의 반사면 크기 변화에 따른 안테나의 주요 성능지표인 공진주파수, 반사손실, 이득 및 방사패턴 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 반사면의 크기에 의한 영향을 파악하기 위해 충분한 크기의 반사면을 갖는 경우와 KSLV-I에 탑재된 안테나 반사면과 동일한 크기의

반사면을 가진 경우, 제작된 안테나의 형상에 의해 가질 수 있는 최소크기의 반사면을 가진 경우의 3가지 형태로 반사면 모델을 제시하고 각각의 모델에 대한 시뮬레이션을 진행하여 안테나 성능에 미치는 영향을 확인하였다. 시뮬레이션 결과, 반사면의 크기가 변화하여도 공진주파수와 10dB 대역폭은 거의 변화하지 않는 것으로 확인되었다. 반사면의 크기 변화에 따른 안테나 이득은 반사면의 크기가 감소됨에 따라 전반적인 이득과 3dB 대역폭은 감소되고, 방사패턴의 최대 이득 방향이 안테나의 수직방향으로 변동되는 것으로 확인되었다. 방사패턴 특성은 전방방향으로 각 반사면 모델이 거의 동일한 특성을 보였고 후방방향에서는 반사면의 크기가 작아짐에 따라 후방방사가 더욱 많이 발생되어 방사패턴에 차이를 보였다.

이와같이 안테나 반사면이 충분한 크기를 가지지 못하게 되면 전반적인 안테나 성능은 저하되게 되지만 안테나의 주요 성능에 미치는 영향은 미미한 것으로 확인되어, 반사면의 크기가 변화되더라도 UHF-대역 안테나는 설계 중심주파수에서 안테나로서의 역할을 충분히 수행할 수 있으리라 판단된다.

따라서, 발사체에 탑재될 안테나는 충분한 크기의 반사면을 가지는 것이 우선적으로 요구되며, 충분한 크기의 반사면을 가지지 못할 경우에는 발사체의 구조적인 상황과 후방방사에 의한 여타 탑재시스템에 미치는 영향을 고려하여 안테나의 탑재위치를 선정하여야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 신영중, 정민석, 이범선, "위성 발사체용 PIFA의 설치각도에 따른 안테나 패턴분석," 제4회 우주발사체기술 심포지움, pp. 334-339, 2003.
- [2] H. Nakano, R. Suzuki and J. Yamauchi, "Low-profile Inverted-F Antenna with Parasitic elements on an Infinite Ground Plane," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 145, No. 4, pp. 321-325, August 1998.
- [3] H. Nakano, Y. Asano, H. Minaki and J. Yamauchi, "Tilted

Beam Formation by an Array Composed of Strip Inverted F Antennas with a Finite-sized EBG Reflector," IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communication Proceedings, pp. 438-441, 2005.

- [4] C. A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design," John Wiley & Sons INC, Second Edition, 1997.
- [5] I. Nystrom, and D. Karlsson, "Reduction of Back Radiation and Cross-coupling in Dual Polarized Aperture Coupled Patch Antennas," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 4, pp. 2222-2225, 1997.
- [6] D. L. Wu, "Omnidirectional Circularly-Polarized Conformal Microstrip Array for Telemetry Applications," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 2, pp. 998-1001, 1995.

저자

황 수 설(Soosul Hwang)

정회원



- 1998년 2월 : 충남대학교 전파공학과 학사
- 2000년 2월 : 충남대학교 대학원 전파공학과 석사
- 2000년 1월 ~ 2002년 2월 : 삼성전자 무선사업부 연구원

· 2002년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 발사체전자팀 선임연구원

<관심분야> : 비행종단시스템(FTS), 무선통신 및 시스템, RF 능동회로 설계, 능동 제어회로 설계

마 근 수(Keunsu Ma)

정회원



- 1990년 2월 : 충남대학교 전기공학과 학사
- 1994년 2월 : 충남대학교 대학원 전기공학과 석사
- 2003년 2월 : 충남대학교 대학원 전기공학과 박사

· 1994년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 발사체전자팀 책임연구원/팀장

<관심분야> : 위성체 및 발사체 전자시스템, 공진형 dc/dc 컨버터

홍 성 용(Sung-Yong Hong)

정회원



- 1988년 2월 : KAIST 대학원 전자공학과 석사
- 1994년 2월 : KAIST 대학원 전자공학과 박사
- 1994년 ~ 1996년 : 쌍신전기 연구소장
- 1996년 ~ 현재 : 충남대학교 전파공학과 정교수

<관심분야> : RF Filter, Frequency Synthesizer, Multi-layer component 등