

# 디지털위성중계기 시스템 성능 분석 및 구현

김기중\* · 서학금\*\*

The system performance analysis and implementation of Digital Communication Satellite

Ki-Jung Kim\* · Hak Geum Seo\*\*

## 요 약

본 연구는 디지털위성중계기의 우주인증 모델에 대한 성능분석 및 구현에 대해 기술하였다. 사전 성능 분석은 각 구성품 회로 시뮬레이션을 통해 각 구성품에 대한 요구 규격 대비 만족 여부를 사전 검증하고, 각각의 구성품을 순서대로 연결하여 전체적인 디지털위성중계기의 요구 규격에 만족하는지를 사전 검증하였다. 사전 시스템 성능 분석을 통하여, 각 구성품의 요구 규격을 정의하고, 그 규격을 바탕으로 제작하였으며, 최종적으로 시스템 통합하여 전체적인 디지털위성중계기의 성능 측정을 하였다.

## ABSTRACT

This study introduces about the analysis, verification and implementation of Digital Communication Satellite transponder. Through the pre-performance analysis of each component by the circuit level simulation, each component's performance was checked whether satisfying the specifications. When each of the components was connected in order, System's performances were evaluated through system harmonic balanced simulation whether satisfying the specifications. Through pre-analysis of the system performance, specification of each component was defined. On the basis of that specification, Components which comprise the Digital Communication Satellite repeater were manufactured, and finally, the overall system performance check was made by integrating the components of Digital Communication Satellite transponder.

## 키워드

Simulation, SHF Band, Digital Satellite Transponder  
디지털위성중계기, 우주인증 모델, 시스템 성능분석

## 1. 서 론

기존 아날로그 위성 중계기에서 점차 위성중계기에 대해서도 디지털화가 가속화되고 있다. 아날로그 위성 중계기는 강우에 대한 신호의 감쇄 등의 단점을 가지고 있다. 아날로그 위성중계기에 비해 디지털위성중계기는 자동 및 수동 이득 조정 기능 보유, 부채널 스위

칭기능, 방송기능 등을 가지고 있어서 위성 통신 효율을 극대화할 수 있는 장점을 가지고 있다.

디지털위성중계기의 개념도는 그림 1과 같다. 안테나로부터 미약한 신호의 SHF 대역의 신호를 수신하여 입력필터(IFA : Input Filter Assembly)로 필터링되고, 미약한 신호를 저잡음증폭기(LNA : Low Noise Amplifier)로 증폭을 시켜준다. 그리고 입력다중화기

\* 삼성탈레스 통신시스템그룹(kj08.kim@samsung.com)

\*\* 교신저자(corresponding author : 국방과학연구소(do4son@naver.com))

접수일자 : 2014. 01. 15

심사(수정)일자 : 2014. 03. 21

게재확정일자 : 2014. 04. 11

(IMUX : Input Multiplexer)가 각 주파수 대역을 필터링하고 하향주파수변환기(Down Converter)를 통해 L대역으로 하향 변환한다. 그 신호는 채널증폭기(Channel Amplifier)를 사용하여 디지털신호처리를 하고, 다시 L대역을 상향주파수변환기(Up Converter)를 거쳐 SHF대역으로 변환한다. 상향 변환된 신호를 다시 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)를 통해 고출력증폭을 하며, 채널별로 필터링을 하기 위하여 출력다중화기(OMUX : Output Multiplexer)를 거쳐서 안테나(ANT : Antenna)로 송출하게 된다.

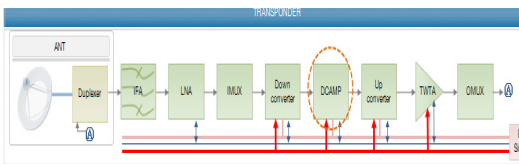


그림 1. 디지털 위성 중계기 구성  
Fig. 1 Configuration of digital satellite transponder

본 디지털 위성 중계기를 개발을 위해 초기에 시스템 성능 분석을 위하여 각 구성품마다 정확한 모델링을 통하여 시뮬레이션 하였고, 각 구성품을 연결하여 시스템 성능 분석을 하였다. 최종적으로 시스템 시험을 통하여 시스템 성능 검증을 수행하였다.

## II. 디지털 위성 중계기

### 2.1 디지털 위성 중계기 개념

디지털 위성 중계기의 개념도는 그림 2와 같다. 디지털 위성 중계기는 안테나(Antenna), 입력필터(IFA : Input Filter Assembly), 저잡음증폭기(LNA : Low Noise Amplifier), 입력다중화기(IMUX : Input Multiplexer), 하향주파수변환기(Down Converter), 스위치(Switch), 채널증폭기(Channel Amplifier), 상향주파수변환기(Up Converter), 출력다중화기(OMUX : Output Multiplexer) 그리고 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)으로 구성된다[1]. 그 중 핵심적인 역할을 하는 구성품이 디지털 채널증폭기로 다양한 부채널 스위칭 및 FGM(Fixed Gain Mode), ALC(Automatic Level Control) 등의 기능을 보유한다.

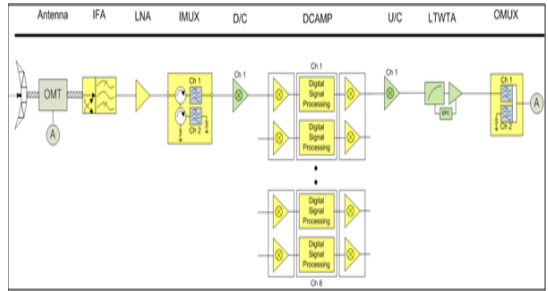


그림 2. 디지털 위성 중계기 개념도  
Fig. 2 Overview of digital satellite transponder

디지털 위성 중계기의 각 단 신호 레벨은 그림 3과 같다. 최소~최대 IPFD(Input Power Flux Density) 인가시 채널증폭기(Channel Amplifier)를 통하여 이득 조절을 하여 디지털 위성 중계기의 최대 출력을 증폭하는 각 구성품 단별 신호 레벨도를 보여준다. 과신호(Overdrive) 신호 인가시 디지털 위성 중계기가 포화되는 신호 흐름을 보여준다. 과신호가 인가되더라도 저잡음증폭기(LNA)부터 포화되면서 뒤쪽의 고출력 증폭기에 큰 신호가 인가되지 않는다[2].

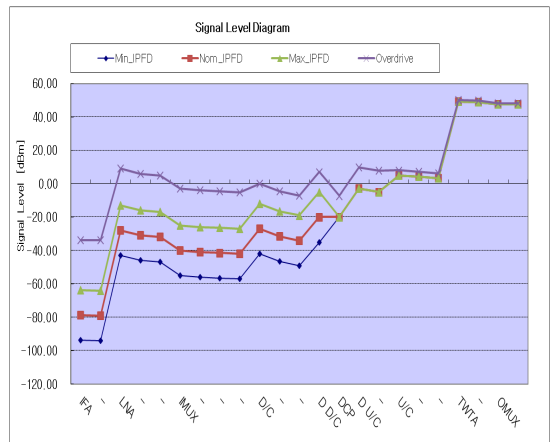


그림 3. 디지털 위성 중계기 신호 레벨도.  
Fig. 3 Signal diagram of digital satellite transponder

### 2.2 디지털 위성 중계기 시뮬레이션 분석

디지털 위성 중계기의 시스템 수준의 규격을 각각 Worst Case 분석을 하여 각 구성품 규격을 할당을 하였고, 그 규격을 바탕으로 각 구성품의 요구 규격을 정의하였다.

디지털위성중계기의 정확한 시뮬레이션을 위하여 수동부품 및 능동부품 내부의 마이크로스트립 필터 등에 대해서는 각 측정결과를 s2p파일로 추출하여 시뮬레이션 하였다. 그림 4는 입력필터(IFA : Input Filter Assembly), 저잡음증폭기(LNA : Low Noise Amplifier), 입력다중화기(IMUX : Input Multiplexer), 하향주파수변환기(Down Converter), 상향주파수변환기(Up Converter), 스위치(Switch), 채널증폭기(Channel Amplifier), 출력다중화기(OMUX : Output Multiplexer) 그리고 TWTA(Traveling Wave Tube Amplifier)가 모두 연결된 시스템 레벨의 시뮬레이션 회로를 보여준다.

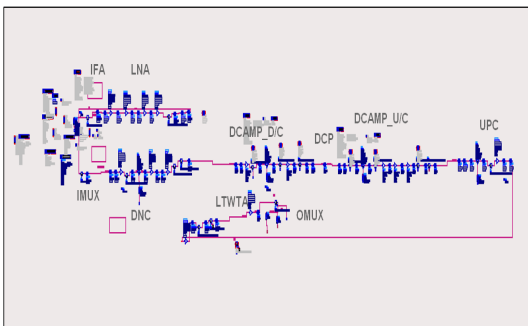


그림 4. 디지털위성중계기 시뮬레이션 회로.  
Fig. 4 Simulation schematic of digital satellite transponder

또한 정밀한 시뮬레이션을 위하여 입력단에 4개의 신호를 발생시켜 ADS HB(Harmonic Balanced) 시뮬레이션을 수행하여, 상호변조 및 하모닉 등이 시스템의 규격안에 들어오는지 확인하였다.

디지털위성중계기 설계 단계에서 각 구성품의 입력 레벨범위에 맞게 제작이 되었는지 확인하고, 각 구성품 최대 입력레벨보다 높게 분석이 되면 구성품단 입력 또는 출력단의 감쇄기를 삽입하여 최적으로 구성을 하였다. 또한 입력단에 4개의 주파수 톤을 발생시켜 각 구성품의 국부발진기와 입력단 하모닉에 의한 불요파 분석을 시뮬레이션 하였다. 최대 IPFD(Input Power Flux Density) 신호레벨 인가시 저잡음증폭기의 출력은 -37.9dBm 정도의 레벨이 출력된다.

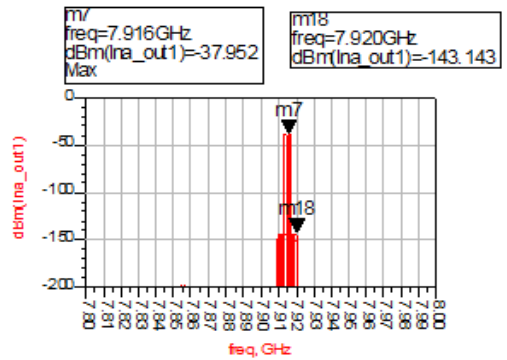


그림 5. 저잡음증폭기 출력단의 신호  
Fig. 5 Signals of LNA output

그림 6은 저잡음증폭기의 출력단 신호가 IMUX를 거쳐 L대역으로 하향변환된 신호의 출력스펙트럼을 보여준다. 광대역의 불요파 성분을 보기 위해 25GHz까지의 스펙트럼을 시뮬레이션 하였다. L대역으로 변환된 신호레벨을 -40.7dBm 정도 출력이 됨을 알 수 있다. 고주파 대역의 7.9GHz 대역은 -76dBm 으로 출력이 되지만, 채널처리부에서도 L대역의 필터가 다단 내장되어 있어 고주파 대역의 불요파는 차단된다.

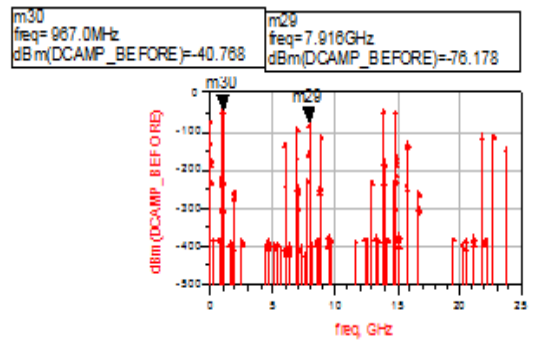


그림 6. 하향주파수변환기 출력단 신호  
Fig. 6 Signals of D/C output

그림 7은 채널처리부 내부에는 하향주파수변환기, 디지털채널처리부, 상향주파수변환기로 구성되어 있다. 그림 7은 채널처리부 내부의 하향주파수변환기의 출력을 시뮬레이션 하였다. 하향 변환된 신호가 58MHz에서 -25.7dBm이 출력됨을 알 수 있다.

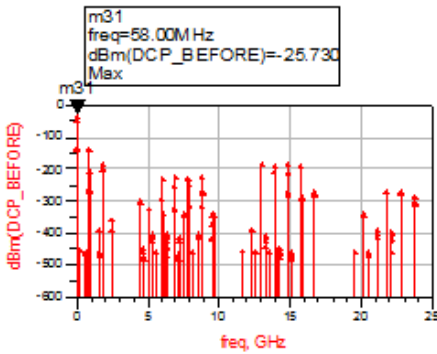


그림 7. 채널처리반 내부의 하향주파수변환기 출력단 신호  
Fig. 7 Signals of D/C output of CAMP

그림 8은 채널처리반 내부의 하향주파수변환기 출력신호가 디지털채널처리부를 거쳐 다시 상향주파수변환기의 출력을 시뮬레이션 하였다. L대역의 출력신호는 -9dBm의 신호가 출력되고, 그때 가장 큰 불요파 성분은 채널증폭기의 국부발진기 신호성분으로 -62.1dBm으로 출력된다. 하지만 디지털위성중계기 출력단에는 안테나 진단에 출력다중화기(OMUX)가 채널 필터링하는 역할을 하기 때문에 -62dBm 정도의 신호는 필터링되어 통화품질 및 불요파 기준 충족에 문제가 되지 않는다[3].

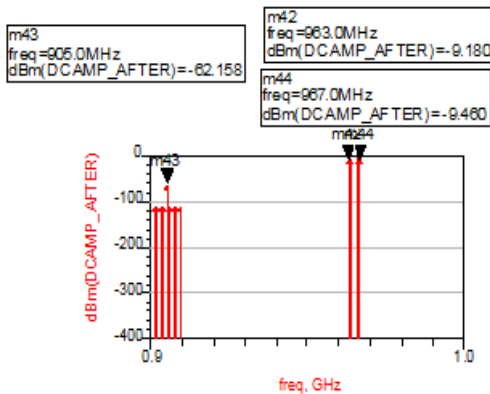


그림 8. 채널증폭기의 상향주파수변환기 출력단 신호  
Fig. 8 Signals of U/C output of CAMP

채널증폭기의 출력 신호는 다시 L대역을 SHF대역으로 상향변환기능을 하는 상향주파수변환기로 구성이 된다. 그 신호는 다시 지상에서 수신 가능하도록

고출력으로 증폭할 수 있는 고출력증폭기(TWTA)로 전달된다. 그림 9는 고출력증폭기 출력단 신호를 보여준다. 약 50dBm의 신호가 증폭하게 된다.

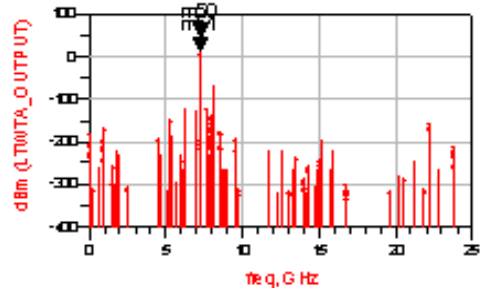


그림 9. 고출력증폭기(TWTA) 출력단 신호  
Fig. 9 Signals of TWTA output.

그림 10은 최종적으로 고출력 증폭된 신호가 OMUX를 거쳐서 필터링된 신호의 파형을 보여준다.

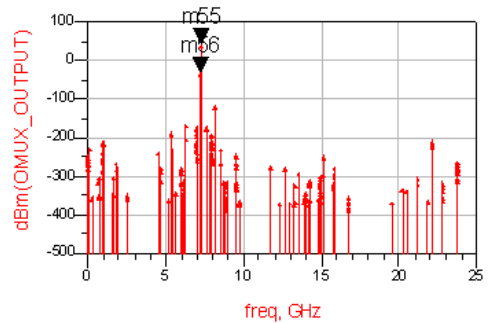


그림 10. OMUX 후의 필터링된 신호  
Fig. 10 Filtering signals of OMUX output

국부발진기 불요파 성분으로 인하여 대역 외 스퓨리어스 성분이 시뮬레이션 상에는 나오지만 불요파성능 기준에 만족한다. 이 밖에 구현 전에 다양한 시뮬레이션을 실시하여 디지털중계기 시스템 성능 만족에 문제가 없는지 사전 검증을 완료하였다.

### 2.3 디지털위성중계기 구현

디지털위성중계기의 구현을 위해 하니콤 구조의 패널을 적용하여 각 구성품을 최적 배치하여 구성하였다. 사전 각 구성품 및 패널의 3D를 설계하여 시스템 통합 시 기구 및 인터페이스적으로 오류를 최소화하였다.

그림 11은 하니콤구조의 패널위에 각 구성품의 3D 배치를 최적으로 배치하고 각 구성 품간의 신호연결을 위하여 RF Semi-Rigid 케이블 및 도파관을 연결한 전체 형상이다. 디지털위성중계기의 성능분석은 별도의 EGSE(Electrical Ground Support Equipment)를 통하여 시험을 하는데, EGSE 간의 신호연결 및 전원 등의 연결을 위해 디지털위성중계기 전체 패널 양쪽에 신호연결 인터페이스 판넬이 구성되어 있다. 또한 각 구성품 사이에 DPDT(Double Pole Double Throw) 스위치가 구성되어 있어, 각 단의 입출력 신호를 점검할 수 있도록 설계되어 있다.

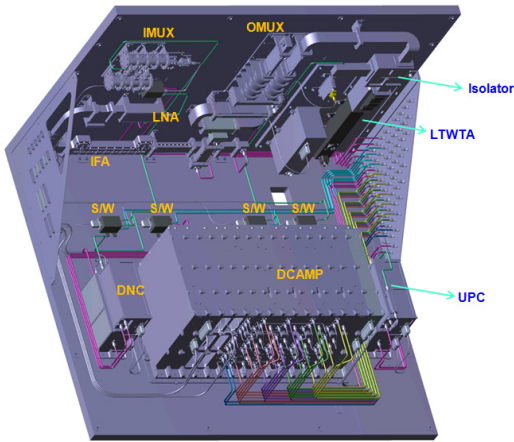


그림 11. 디지털위성중계기 전체 3D 형상  
Fig. 11 3D figure of digital satellite transponder

2.4 디지털위성중계기 시험 결과

시스템 시뮬레이션을 통해 각 구성품 규격을 할당하였고, 최종적으로 시스템 연동시험을 하였다. 그림 12은 시스템 최종 출력 파형을 보여준다. OMUX 뒤의 Test Coupler를 통하여 스펙트럼분석기에 연결하여 측정하였다. 감쇄기를 통하여 나온 출력전력은 -4.36dBm이며, 실제 감쇄기 40dB와 출력단 선로 손실 10.5dB를 더하면 디지털위성중계기의 최종 출력은 46.14dBm이다.

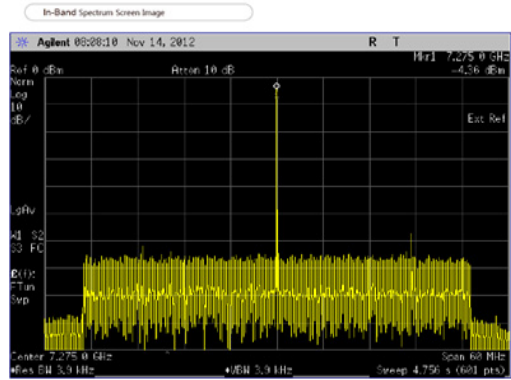


그림 12. 디지털위성중계기 최종 출력 파형  
Fig. 12 Final output signal of digital satellite transponder

그림 13은 디지털위성중계기의 위상잡음 특성을 보여준다. 100Hz 떨어진 지점에서 위상잡음 특성은 -70.01dBc/Hz 로 우수한 특성을 보인다.

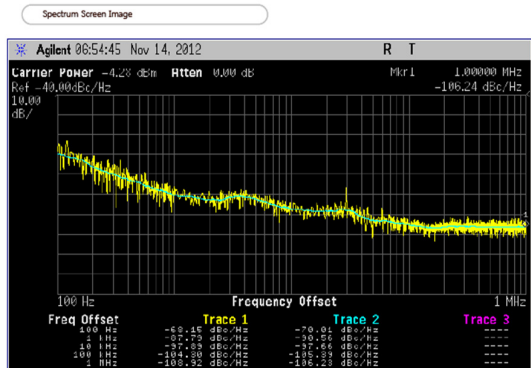


그림 13. 디지털위성중계기의 위상잡음 특성  
Fig. 13 Phase noise characteristics of digital satellite transponder

그림 14는 디지털위성중계기의 주파수 응답특성을 보여준다. 채널중폭기에는 기존 아날로그 위성중계기와는 다르게 채널처리반 내부에 디지털필터가 적용되어 있어, 급격한 주파수 응답 특성을 보여준다. 중심 주파수에서 37MHz 떨어진 지점에서 45dBc 이상의 특성을 보인다.

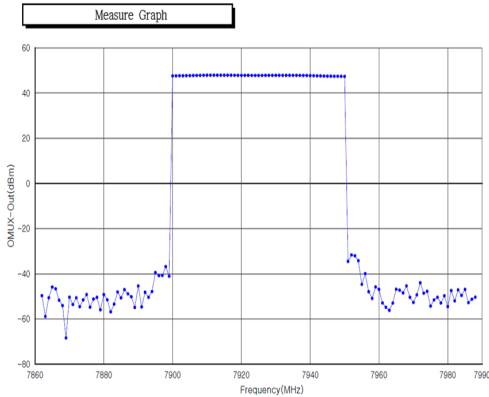


그림 14. 디지털위성중계기의 응답 특성  
Fig. 14 Response characteristics of digital satellite transponder

그림 15은 디지털위성중계기의 최대출력에서 2dB Back Off 하여 두 개의 톤을 발생시켜서 시험한 진폭선형성 특성을 보여준다. 고출력증폭기인 TWTA의 성능에 주로 좌우되는 특성이다[4]. 진폭선형성은 2dB 출력 Back Off 시 -23.91dBc의 특성을 보인다.

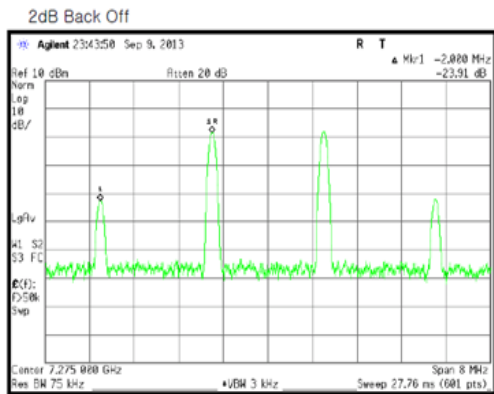


그림 15. 디지털위성중계기의 진폭선형성 특성  
Fig. 15 Amplitude linearity characteristics of digital satellite transponder

최대 출력 특성 및 위상잡음 특성, 주파수 응답 특성, 진폭선형성 특성 이 외에도 균지연 특성, 평탄도 특성, EIRP(Effective Isotropically Radiated Power) 특성 등에 대해서도 각 시스템 시뮬레이션 및 분석을 통하여 구성품 규격을 할당하였고 최종적으로 시스템

시험을 통하여 입증하였다.

### III. 결 론

시스템 규격 만족 여부를 시스템 분석 및 시뮬레이션을 통하여 각 구성품 규격을 검증하였고, 최종적으로 시스템 시험을 통하여 입증하였다. 또한 정확한 시스템 시뮬레이션을 구현하고자 수동소자 및 능동소자의 마이크로스트립 필터 등에 대해서는 측정결과를 바탕으로 s2p 파일을 추출하여 시스템 시뮬레이션에 반영하였다. 최종적으로 시스템 시험을 통하여 시스템 분석치와 비교하였다. 정확한 시뮬레이션을 구현하기 위하여 ADS에서 HB시뮬레이션을 적용하였고, 또한 4개톤 이상을 발생시켜 상호변조 및 불요파 특성 등에 대한 실제적인 시뮬레이션을 수행하였다. 사전 검증을 통하여 시스템 규격을 기준으로 각 구성품의 규격을 할당하였고, 그 규격을 바탕으로 제작된 구성품을 시스템 통합 시험하여, 시스템 규격을 만족하는 것을 입증하였다.

### 감사의 글

본 연구는 국방과학연구소 핵심기술과제(UC100032ED)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] K. Kim and H. Ko, "The Optimization using PCB EM interpretation of GEO satellite's L Band Converter," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 8, 2013, pp. 1219-1226.
- [2] M. Go, S. Pyo, and Hyo-dal Park, "Study on the Broadband RF Front-End Architecture," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 3, 2009, pp. 183-189.
- [3] M. Go, H. Shin, and H. Park, "A RF Module for digital terrestrial and multi-standard reception," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 1, no. 1, 2006, pp. 8-19.

- [4] T. Kim, J. Park, and Y. Rhee, "Implementation of Ka-band Low Noise Block Converter For Satellite TVRO," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 3, no. 2, 2006, pp. 93-100.

### 저자 소개



#### 김기중(Ki-Jung Kim)

2002년 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사)

2008년 인하대학교 대학원 전자통신공학 졸업(공학석사)

2008년~현재 삼성탈레스 통신시스템그룹 재직중

※ 관심분야 : 위성통신시스템, 위성용 전력공급기



#### 서학금(Hak-Geum Seo)

1989년 강원대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1992년 강원대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1989년~현재 국방과학연구소 재직중

※ 관심분야 : 위성통신시스템, 이동통신, 신호처리

