

# Ka-Band 위성중계기용 수신하향변환기 모듈 개발

## Development of a Receiver Downconverter Module for Ka-band Satellite Payload

장 동 필 · 염 인 복 · 이 성 팔

Dong-Pil Chang · In-Bok Yom · Seung-Pal Lee

### 요 약

본 논문에서는 Ka-band 위성중계기에 사용되어지는 수신하향변환기(Receiver-Downconverter) 모듈의 설계 및 제작 그리고 시험 결과에 대하여 기술하였다. 개발된 수신하향변환기는 30.6 GHz~31 GHz 대역의 신호를 입력으로 받아들이며 20.8 GHz~21.2 GHz 대역의 신호를 출력하는 일종의 Downconverter 이지만, 모듈의 입력단에 저잡음 증폭부가 포함된 수신기의 역할도 하고 있다. 개발된 모듈은 제작과정 및 시험과정에 있어 위성중계기 부품 제작 규정을 준수하였으며, 그 개발된 성능은 현재까지 알려진 국내외 유사 부품중의 최고의 성능을 보여주고 있다. 측정된 모듈의 성능은 상온에서 1.9 dB의 잡음지수, 55 dB 이득, 58 dBc의 C/I3 값을 보여주고 있다. 제작된 모듈의 크기는 93 mm×84 mm×26 mm이며 무게는 240 g으로서 국내외 유사 제품에 비해 소형이다.

### Abstract

This paper describes the design and the test results of the receiver-downconverter module for a Ka-band Satellite Payload. The developed module is not only a downconverter that convert the signal of 30.6 GHz~31.0 GHz to the signal of 20.8 GHz~21.2 GHz but also is a receiver that has the function of low noise amplification in the front stage. It has been fabricated and tested by the qualified satellite component manufacturing process and it shows the best performance of the receiver-downconverter modules operating at Ka-band frequency up to date. The module has the performance of 1.9 dB-NF, 55 dB-Gain, and 58 dBc-C/I3 for the two tone signals of -59 dBm input power respectively at ambient temperature. It is a small and light module with the size of 93 mm×84 mm×26 mm and the weight of 240 g.

Key words : Receiver, Downconverter, Ka-band, Satellite Payload

### I. 서 론

그 동안 Ka 대역 이상의 주파수 영역은 비상업용 목적의 용도로서 부품 및 서비스가 개발되어 왔으나 최근 들어 상업용 서비스의 예고 등에 힘입어 그 활용범위가 확대되어가고 있다.

또한 위성 서비스의 한 영역으로 선진국에서 활

발하게 개발이 진행되어지고 있다. Ka 대역의 활용을 가능하게 한 요인으로서 밀리미터파 대역 부품을 조립하고 시험하는 기술의 발전을 꼽을 수 있는데, 그중에 MMIC 기술의 활용은 가장 큰 요인으로 꼽을 수 있을 것이다. 그리고 MMIC를 조립하고 시험하는 기술의 발전에 힘입어 이제 밀리미터파 대역은 어렵게 느껴지지 않게 되었다.

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunication Research Institute)

· 논문 번호 : 20021102-11S

· 수정완료일자 : 2002년 12월 14일

본 논문에서 기술하고 있는 Ka 대역 위성중계기용 수신하향 변환기는 모든 증폭기를 MMIC Chip으로 구현하였으며, 또한 그 제작 공정 및 조립 공정을 우주 환경에 견딜 수 있도록 하기 위해 인증된 우주 환경 부품 개발 공정을 이용하였다. 우주환경 부품은 일반 지상용 상용 부품에 비해 월등한 신뢰성이 요구되어지기 때문에 부품의 개발과 제작에 있어 많은 제약이 따르게 된다. 이러한 이유 때문에 위성중계기용 부품은 일반 상용부품보다 다소 성능이 못 미치는 경우가 있으나 본 연구에서 개발된 수신하향 변환기 모듈은 아주 우수한 성능을 가지고 있다.

본 연구와 관련하여 사용되어진 MMIC Chip들은 ETRI에서 수년전부터 진행해온 MMIC 개발연구의 결과로 얻어진 부품들로서 ETRI 연구원이 설계하고 미국의 TRW사에서 제작하였다. 물론 TRW사의 MMIC 제조 공정은 Space-Qualified Process이다.

개발된 Ka 대역 위성중계기용 수신하향변환기 모듈은 30.6~31.0 GHz의 입력신호를 20.8~21.2 GHz 대역의 출력신호로 변환하여 주는 일종의 Down-converter 부품이며, 입력단에 저잡음 증폭기가 포함되어 있는 수신기이기도 하다. 이 모듈에 대하여 상온에서 1.9 dB의 잡음지수, 55 dB의 이득, 58 dBc의 C/I3, 그리고 100 dBc 이상의 in-band spurious 특성이 구현되었다. 개발된 모듈은 93 mm×84 mm×26 mm의 크기이며, 240 g의 무게를 가지는 소형 모듈이다.

## II. 본 론

### 2-1 모듈 설계

본 연구에서 개발하고자 하는 위성중계기용 수신하향변환기(Receiver-Downconverter)의 주요 목표 성능은 표 1과 같다. 이 모듈은 65°C에서 2.3 dB 이하의 잡음 지수와 상온에서 55 dB의 이득, 그리고 56 dBc 이상의 C/I3 특성이 요구되어지고 있다.

본 연구에서 개발하고자 하는 수신하향 변환기는 표 1과 같이 많은 규격들이 복합적으로 요구되어지기 때문에 단순히 어느 한 특성만을 위주로 모듈을 설계할 수 없다. 따라서 부품들의 적절한 선정과 배치가 이루어져야 하는데, 본 연구에서는 잡음지수와 모듈의 선형성을 우선적으로 고려하고, 대역의 신호

표 1. Ka대역 수신하향변환기 성능 규격

Table 1. Performance Requirement of the Ka-band Receiver-Downconverter.

Parameter	Requirement
Operating Frequency (GHz)	30.6~31.0 GHz(Up Link) 20.8~21.2 GHz(Down Link)
Input Power	~ -57 dBm
Gain	55±1 dB
Gain Flatness	0.6 dB/100 MHz 1.5/400 MHz
Gain Slope	0.02 dB/MHz
Noise Figure	2.3 dB/@65°C
Noise Figure Variation	0.1 dB/10°C
Group Delay Variation	1 ns P-P/100 MHz
Group Delay Ripple	0.2 ns P-P/any channel
Phase Shift Variation	2.0° (-76~-56 dBm input)
Amplitude Linearity	-56 dBc
AM/PM Conversion	0.1°/dB(-76~-56 dBm input)
Inband Spurious	-103 dBm/Any 4 kHz -98 dBm/Any 1 MHz -128 dBm/Mixer IM Product
Out of band Spurious	-64 dBm Any 4 kHz -30 dBc/LO 2 <sup>nd</sup> Harmonic
Input VSWR	1.25 : 1
Output VSWR	1.35 : 1
Operating Temperature	-15~65°C

제거를 위해 여파기를 설계하여 삽입하는 방법을 이용하였다. 잡음지수 특성을 달성하기 위해 초단에 31 GHz 저잡음 증폭기 2개를 사용하였고, 혼합기 이후에 21 GHz 대역 증폭기 2종 3개와 전압제어 감쇄기 1개를 사용하여 모듈의 선형성을 확보하기 위해 적절히 배치하였다. 그림 1에 설계된 Ka 대역 수신하향변환기의 구성도를 나타내었다.

본 연구에서 개발하고자 하는 수신하향변환기 모듈은 위성중계기에 탑재를 목표로 개발되었고 위성중계기의 전체 성능 등을 고려하여 모듈간의 연결에 있어 대부분 도파관 전송선로를 사용하도록 되어 있다. 저잡음 특성을 유지하기 위하여 위성중계기의 수신안테나로부터 수신하향변환기까지의 경로상에 존재하는 모든 부품은 도파관을 이용하여 제작되어야만 선로손실을 최소화 할 수 있기 때문이다. 개발하고자하는 모듈은 입력단에 WR-28 도파관과 출력단에 WR-51 도파관이 연결되도록 설정되었으며, 따라서 도파관으로부터 마이크로스트립

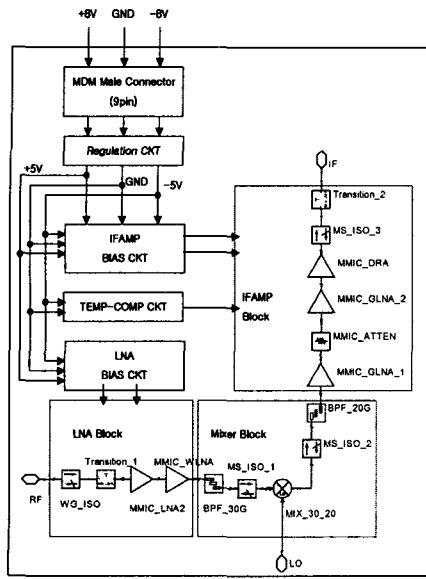


그림 1. Ka대역 수신하향변환기 구성도  
Fig. 1. Block Diagram of the Ka-band Receiver-Downconverter Module.

전송선로로의 변환이 이루어져야만 한다.

그리고 본 모듈이 주변의 다른 부품들과 연결되어질 때 상호 영향을 받지 않도록 하기 위하여 입력단과 출력단에 Isolator 부품을 사용하는 것이 필요하게 되었다.

표 2에는 그림 1의 Ka 대역 수신하향변환기 구성도에 따라 선택된 증폭기와 기타 부품들의 특성을 고려한 모듈의 성능 예측값을 보였다.

표 2에 볼 수 있듯이 개발하고자 하는 Ka 대역 수신하향변환기 모듈은 상온에서 2.2 dB의 잡음 지수와 57 dBc 정도의 IMD (C/I3) 특성이 달성될 수 있을 것으로 예상되어졌다. 그러나 모듈의 잡음지수는 +65°C에서 2.3 dB가 요구되어지기 때문에 상온에서 최소한 2.0 dB 이하가 구현되어져야 할 것으로 예상되어짐으로 저잡음 증폭기의 잡음지수가 개선되어지지 않을 경우 입력단의 도파관-마이크로스트립 변환부에서 최소의 손실을 구현해야 할 것으로 판단된다.

모듈 구성도상의 각 부분의 부품에 대한 설명은 다음 절에서 좀더 상세히 설명하도록 하겠다.

## 2-2 부품 설계 및 특성

앞 절에서 설명하였듯이 Ka 대역 위성중계기용 수신하향변환기 모듈은 4종의 증폭기 MMIC Chip과 1종의 혼합기 MMIC chip, 그리고 1종의 전압제어 감쇄기 MMIC chip이 사용되어졌다. 그리고 대역외 신호 제거를 위해 2종의 마이크로스트립 대역통과 필터가 사용되어졌으며, 반사손실 특성이 저조

표 2. Ka대역 수신하향변환기 모듈의 성능 예측  
Table 2. Predicted Performance of the Ka-Band Receiver-Downconverter Module.

Block	N.F. (dB)	Gain (dB)	OIP 3 (dBm)	Cum. N.F. (dB)	Cum. Gain (dB)	Cum. IP3 (dBm)	Signal Level (dBm)	IMD (dBc)	Remark
Input		0			0		-59		
Isolator	0.1	- 0.1	100	0.1	-0.1	100	-59.1	-318.2	W/G
Transition	0.3	- 0.3	100	0.4	-0.4	96.99	-59.4	-312.78	W/G-M/S
LNA2	1.7	17	10	2.1	16.6	10	-42.4	-104.8	MMIC
WLNA	2.5	17	13	2.15	33.6	12.83	-25.4	- 76.46	MMIC
Filter 30G	1	- 1	100	2.15	32.6	11.83	-26.4	- 76.46	MIC
Isolator	0.9	- 0.9	100	2.15	31.7	10.93	-27.3	- 76.46	Drop-in
Mixer	8	- 8	20	2.16	23.7	2.85	-35.5	- 76.29	MMIC
Isolator	0.8	- 0.8	100	2.16	22.9	2.05	-36.1	- 76.29	Drop-in
Filter 20G	2	- 2	100	2.17	20.9	0.05	-38.1	- 76.29	MIC
GLNA	1.6	17	15	2.18	37.9	12.89	-21.1	- 67.99	MMIC
Attenuater	14.8	-14.8	20	2.19	23.1	-1.93	-35.9	- 67.93	MMIC
GLNA	1.6	17	15	2.19	40.1	12.02	-18.9	- 61.84	MMIC
DRA	5	16	30	2.19	56.1	25.89	- 2.9	- 57.58	MMIC
Isolator	0.8	- 0.8	100	2.19	55.3	25.09	- 3.7	- 57.58	Drop-in
Transition	0.3	- 0.3	100	2.19	55	24.79	- 4	- 57.58	MS-W/G

한 부품들간의 간섭을 줄이기 위해 Drop-in Isolator를 혼합기의 전후에 사용하였다. 설계된 IF 필터는 19.6 GHz의 2<sup>nd</sup> LO 전력을 30 dBc 이상으로 억제할 수 있도록 필터 자체의 감쇄 특성이 40 dBc 이상 되도록 설계 되었다. 그리고 위성중계기에 조립될 다른 모듈들과 본 수신하향변환기 모듈간의 간섭효과를 최소화하기 위해 모듈의 입출력측에 Isolator를 추가로 사용하였다. 특히 입력측 Isolator는 삽입손실 특성이 0.1 dB 정도로 우수한 도파관 Isolator를 사용하였으며, 출력측에는 비교적 크기가 작은 Drop-in Isolator를 사용하였다.

2-2-1 WR-28 to Microstrip Transition

개발하고자 하는 모듈의 입력 단자가 WR-28 도파관으로 규정되어져 있기 때문에 모듈 내부의 부품들과의 연결을 위해 WR-28 to Microstrip Transition이 반드시 필요하게 되었다. 그러나 모듈의 저잡음 특성을 구현하기 위하여 저잡음 증폭기의 앞부분에 위치되어질 WR-28 to Microstrip Transition은 낮은 삽입손실이 요구되어진다. 본 연구에서는 위성중계기 부품의 신뢰도 및 안정성을 고려하여 도파관-동축선-Microstrip 변환 구조를 선택하였으며, 선로의 변환시의 불연속성으로 인한 손실을 최소화 하기 위하여 전자파 구조해석 소프트웨어를 이용하여, 설계 및 해석을 반복 수행하여 가장 최적화되어진 결과로서 모듈의 기구물 설계에 반영하였다<sup>[1]</sup>. 설계된 Transition을 Test-Jig로 제작하여 측정된 결과 0.3 dB 정도의 삽입손실과 30 dB 정도의 통과대역 반사손실이 측정되어졌으며, 모듈에 적용시 초단 저잡음 증폭기와 연결되어지는 Microstrip Line상에서 추가로 Tuning이 필요할 것으로 예상되어졌다.

2-2-2 Ka 대역 저잡음 MMIC 증폭기<sup>[2~4]</sup>

앞에서 설명했듯이 본 연구에서 개발하고자 하는 모듈은 위성중계기의 수신부에 사용되어질 부품으로서 낮은 잡음지수 특성이 요구되어진다. ETRI에서는 Ka 대역 위성 중계기용 저잡음 증폭기를 개발하였으며 그 특성은 그림 2에 나타내었다. 모듈의 구성도내의 2<sup>nd</sup> 증폭기인 Ka 대역 광대역 저잡음 증폭기는 30 GHz 대역에서 18 dB의 이득과 2.3 dB 정

도의 잡음지수 특성을 가지고 있다. 개발된 MMIC는 0.15 um GaAs PHEMT 공정을 이용하여 미국의 TRW사에서 제작되었으며, 모든 Chip에 대하여 측정이 이루어졌다.

2-2-3 Ka 대역 주파수 혼합기 MMIC<sup>[5]</sup>

본 연구와 관련하여 개발된 Ka 대역 주파수 혼합기는 Doubly balanced Diode Mixer이며 그 측정된 특성을 그림 3에 보였다.

2-2-4 K대역 MMIC 증폭기 및 감쇄기<sup>[6]</sup>

모듈 구성도에서 볼 수 있듯이 혼합기 이후의 IF 증폭단에는 21 GHz 대역 증폭기 2종 3개가 사용되어진다. 이중 1<sup>st</sup> AMP와 2<sup>nd</sup> AMP는 21 GHz 대역 저잡음 증폭기이지만 Balanced 구조를 가지는 증폭

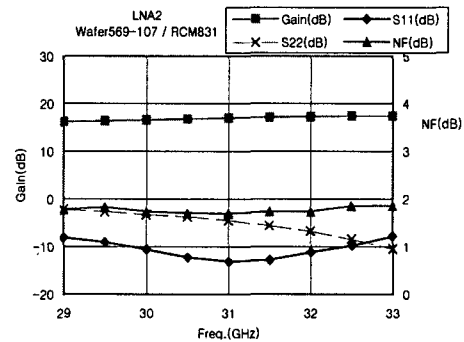


그림 2. Ka 대역 저잡음 증폭기 MMIC 특성  
Fig. 2. Test Result of the Ka-band LNA MMIC.

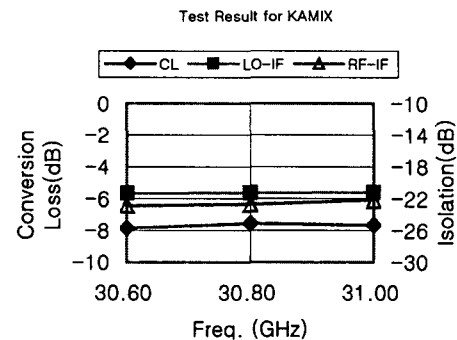


그림 3. Ka 대역 주파수 혼합기 MMIC 특성  
Fig. 3. Test Result of the Ka-band Mixer MMIC.

기로서 5 dBm 이상의 P1 dB 특성을 나타내며, 잡음 지수는 1.6 dB이며, 이득은 18 dB이다. 최종단 증폭기의 경우 중전력 증폭기로서 23 dBm의 P1 dB 특성을 가지고 있으며, 이득 특성을 그림 4에 보였다.

모듈의 IF 증폭단에는 모듈 전체의 이득을 조정하고 온도변화 따른 이득의 변화량을 최소화 할 수 있도록 온도보상 기능을 수행하기 위하여 전압제어 감쇄기 MMIC 가 사용되어진다. 이 MMIC의 경우 -2~-32 dB 정도의 이득 변화를 제어할 수 있다.

2-2-5 필터

개발하고자 하는 Ka 대역 수신하향 변환기는 혼합기의 입력측에 Image Rejection Filter와 혼합기의 출력측에 Spurious Rejection Filter를 삽입하여 대역외의 원하지 않는 신호를 제거하는 기능을 수행하게 된다. 변환기의 주파수 특성상 Image Rejection Filter는 21 GHz 대에서 30 dBc 정도의 Rejection 특성이 요구되어지면, Spurious Rejection Filter는 19.6 GHz에서 40 dBc 이상의 Rejection이 요구되어진다. 모듈의 기구물에 Filter를 삽입 조립하여야 하기 때문에 Filter는 Alumina 기판을 이용하여 설계 제작되었다. 그림 5에 설계된 Filter의 Simulation결과를 삽입하였다.

2-3 모듈 제작 및 측정

설계된 Ka 대역 수신하향변환기 모듈은 단일 모듈 기구물에 조립되어지도록 설계되었다. 물론 증폭기 및 혼합기, 그리고 감쇄기 MMIC들은 sub-car-

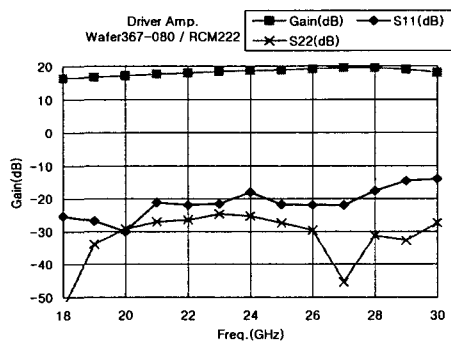
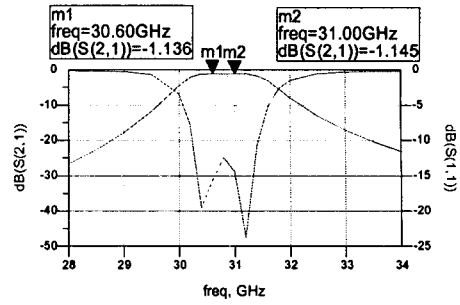
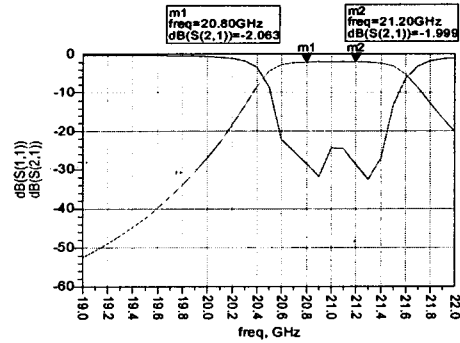


그림 4. Ka 대역 중전력 증폭기 MMIC 특성  
Fig. 4. Test Result of the Ka-band MPA MMIC.



(a) Image Rejection Filter



(b) Spurious Rejection Filter

그림 5. 설계된 Filter의 특성  
Fig. 5. Simulation Results of the designed filter.

rier를 사용하여 선조립후 모듈에 장착하도록 하여 작업성을 향상시켰으며, DC-Bias는 Bias 회로를 통한 증폭기의 발진을 방지하기 위해 EMI-Filter 형태의 Feed-Thru Capacitor를 이용하여 공급하였다.

또한 모듈의 기구물 설계에 있어, 기구물의 공진 현상 발생을 방지하기 위하여 전자파 구조해석 소프트웨어를 이용하여 모든 RF 통과 영역에서의 공진 주파수가 35 GHz 이상 되도록 설계하였다.

모듈의 조립은 과거 위성중계기 부품을 생산한 경험을 가지고 있는 국내 업체에서 인증된 공정 절차에 따라서 이루어졌다.

조립된 모듈은 잡음지수 특성 개선과, 이득 평탄도 특성 개선 등을 위한 Tuning 과정 후에 상온 시험 및 온도시험의 과정으로 특성 측정이 이루어졌다. 특히 잡음 지수 특성 개선을 위한 저잡음 증폭기의 Bias 조절 및 입력측 마이크로스트립 선로상의 Tuning을 통하여 상온에서 1.9 dB 정도의 잡음지수가 달성되었다. 그림 6에 개발된 모듈의 잡음지수 특성 측정결과를 나타내었다.

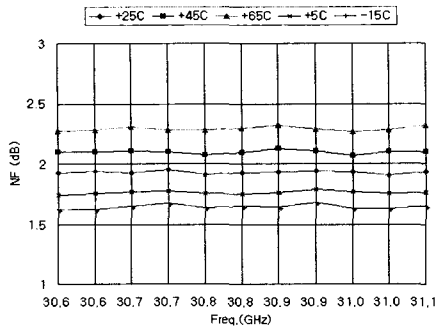


그림 6. Ka 대역 수신하향변환기의 잡음지수 특성  
Fig. 6. NF Test Results of the Ka-Band Receiver-Downconverter.

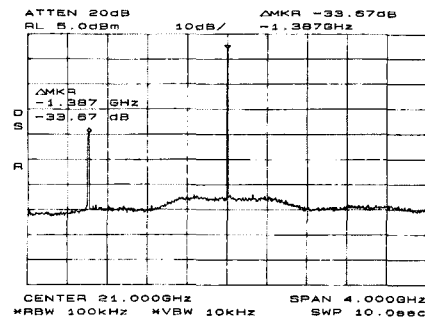


그림 9. Ka 대역 수신하향변환기의 2<sup>nd</sup> LO 특성  
Fig. 9. Test Result for the 2<sup>nd</sup> LO Signal Output of the Ka-Band Receiver-Downconverter.

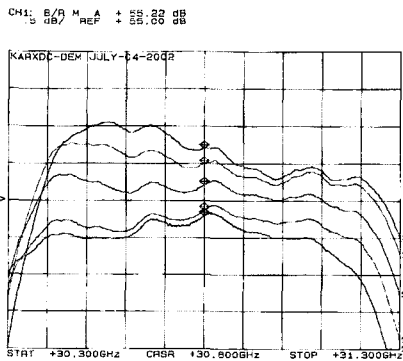


그림 7. Ka 대역 수신하향변환기의 이득 특성  
Fig. 7. Gain Test Results of the Ka-Band Receiver-Downconverter.

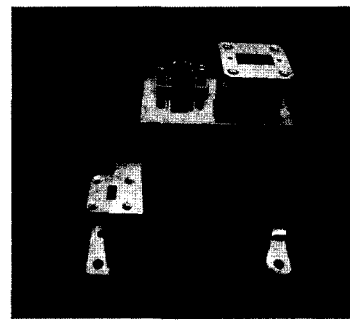


그림 10. 제작된 Ka 대역 수신하향변환기  
Fig. 10. Assembled Ka-band Receiver Downconverter Module.

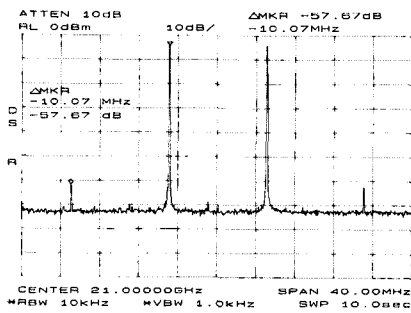


그림 8. Ka 대역 수신하향변환기의 IMD 특성  
Fig. 8. IMD Test Result of the Ka-Band Receiver-Downconverter.

측정된 모듈의 이득특성은 상온에서  $55.1 \pm 0.1$  dB의 특성과  $0.25$  dB/10°C의 온도변화 특성을 보였다. 그림 7에 이득 특성 측정결과를 보였다. 개발된

Ka대역 수신하향변환기의 성능은 표 1의 요구 규격을 모두 만족하는 것으로 측정되었다.

그림 8에는 개발된 모듈의 IMD 특성인 C/13특성 측정결과를 보였으며, 그 특성은 57 dBc 이상으로 요구 규격을 만족하고 있다.

그림 9에는 대역의 Spurious 신호중에 가장 큰 2<sup>nd</sup> LO 신호에 대한 Rejection 특성을 보였다. 측정결과 33 dBc 이상으로 규격인 30 dBc를 만족하고 있다.

그림 10에는 개발된 Ka-Band 수신하향변환기 모듈의 사진을 보였다. 제작된 모듈은 93 mm×84 mm×26 mm 크기이며, 무게는 240 g으로서 소형 경량 모듈이다.

### III. 결 론

본 논문에서는 Ka 대역 위성중계기용 수신하향

변환기 모듈의 설계 및 제작, 그리고 측정된 결과에 대하여 간략하게 기술하였다. Ka 대역에서의 무선 통신용 부품은 그 개발에 있어 많은 어려움이 있는 것이 현실이다. 그러나 과거 10여년전에 비하면 현재의 밀리미터파 부품 개발 기술은 많은 발전을 하였으며, 특히 선진국에서는 위성통신분야 뿐만 아니라 일반 지상통신분야에서도 기술개발이 활발히 이루어지고 있다. 본 연구는 위성중계기 국산화를 위한 연구의 일환으로 진행되었으며, 개발된 Ka 대역 수신하향변환기 모듈은 현재까지 알려진 국내의 Ka 위성중계기용 수신하향변환기 중에 최고의 성능을 보이고 있어 그 성과가 크다고 할 수 있다. 더욱이 개발된 모듈의 조립 공정이 위성부품 조립 공정을 이용하였으며, 모든 시험을 위성중계기의 환경조건에 맞추어 진행하여 국내 위성부품 개발 실적에 일조하였다는 것이 큰 의미를 갖는다. 다만 국내의 MMIC 제조 기반이 열악하여 외국의 MMIC 공정을 이용하였다는 점이 아쉬움으로 남는다.

참 고 문 헌

[1] Bill Oldfield, "Connector and Termination Con-

struction above 50 GHz", *Applied Microwave & Wireless*, pp. 56-66, 2001년 4월.  
 [2] 염인복, "MMIC회로를 이용한 위성중계기용 30 GHz대 저잡음증폭기 모듈 개발", 한국전자파 학회논문지, pp. 769-805, 2000년 8월.  
 [3] 임중식 외 3, "위성통신용 30 GHz대 MMIC 저잡음 증폭기의 설계 및 제작", 대한전자공학회 논문지, pp. 13-20, 1999년 9월.  
 [4] 유영근 외 3, "위성수신기용 Ka-대 MMIC 광대역 저잡음증폭기 개발", 한국통신학회 1998년도 하계종합학술발표회 논문집(하), pp. 731-734, 1998년.  
 [5] Keun-Kwan Ryu, Dong-Phil Jang, Moon-Que Lee, In-Bok Yom and Seong-Pal Lee, "Design Of Double-Balanced MMIC Mixer For Ka-Band Satellite Communications", *Microwave And Optical Technology Letters*, vol. 34, no. 6, Sep. 2002.  
 [6] 염인복 외 4, "위성 지구국용 20 GHz대 MMIC 저잡음증폭기 설계", 대한전자공학회 1998년도 추계종합학술대회 논문집, pp. 319-322, 1998년.

장 동 필



1992년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)  
 1994년 2월: 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 1994년 2월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원  
 [주 관심분야] 밀리미터파 대역 증

폭기 및 모듈 설계 및 제작

이 성 팔

1979년: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1986년: Polytechnic Institute of New York (공학석사)  
 1990년: Polytechnic Institute of New York (공학박사)  
 1980년~현재: 한국전자통신연구원 통신위성개발연구센터장, 책임연구원  
 [주 관심분야] 위성통신중계기

염 인 복



1990년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)  
 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 위성RF부품연구팀장, 선임연구원  
 1992년 9월~1995년 5월: 무궁화 위성 현장교육 참여 (영국 M- tra Marconi 사)

[주 관심분야] 위성통신중계기, MMIC회로, 필터 설계