

# Ka 대역 통신위성중계기용 저잡음증폭기 모듈 개발

장동필\*, 정진철\*, 염인복\*, 박종홍\*, 오승엽\*\*

\*한국전자통신연구원 통신위성 RF 기술팀, \*\* 충남대학교 전자공학과  
전화 : 042-860-6443

## Development of LNA module for Ka-band Communication Satellite Payload

Donig-Pil Chang\*, Jin-Cheol Jung\*, In-Bok Yom\*, Jong-Heung Park\*, Seung-Hyeup Oh\*\*

\*Electronics and Telecommunications Research Institute, \*\*Chungnam National University  
E-mail : dpjang@etri.re.kr

### Abstract

A LNA module, integrated microwave assemblies (IMAs) were developed for use in Ka-band Satellite Communication Satellite Payload that operates in the frequency range of 29.6 ~ 30.0GHz. The module will be placed directly behind their respective antenna feed horns to minimize the required waveguide and system noise figure impact. Two MMIC LNA Chips were used in the module design. The measured result shows that the module has 32dB gain and 2.4dB NF performance. The module size is 51mm X 36mm X 22 and the mass is 92g. The Noise Figure performance is the best result of currently available modules for satellite payload operating in the same frequency range. The module will be assembled using space-qualified process and tested for space qualification.

### I. 서론

위성중계기를 이용한 통신은 지상통신에 비해 지형의 영향을 받지 않고 언제 어디서나 통신서비스를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 위성중계기를 개발하여 지구 밖의 우주로 발사하여 성공적으로 서비스를 제공하기 위해서는 많은 개발비용과 실패에 대한 위험성이 크다는 단점을 가지고

있다. 이로 인하여 위성중계기를 제작하여 성공적으로 동작 시킬 수 있는 기술을 가지고 있는 국가는 많지 않다. 특히 위성중계기 개발 기술은 국가 안보와 관련된 특수 기술로서 분류되어 기술을 보유한 국가에서 기술의 공개를 꺼리고 있는 실정이다. 이러한 현실에서 국내에서도 국내기술로서 위성중계기를 개발하고자 하는 시도가 진행중에 있으며, 지금까지 적지 않은 경험을 쌓아오고 있다. 최근의 통신위성중계기는 광대역, 초고속 서비스의 구현을 위해 Ka 대역의 주파수를 사용하고자 국내외적으로 연구개발 노력이 집중되고 있다. 하지만 Ka 대역의 높은 동작 주파수로 인하여 통신위성중계기용 통신용 부품들의 성능저하가 피할 수 없는 짐이 되고 있다.

본 논문에서는 Ka 대역에서 동작하는, 통신위성중계기의 잡음지수 특성에 결정적인 영향을 미치는 저잡음 증폭기의 개발에 관하여, 설계 및 제작, 그리고 측정된 결과들을 기술하고자 한다.

개발된 Ka 대역 저잡음 증폭기 모듈은 2개의 저잡음 증폭기 MMIC Chip과 2개의 isolator를 사용하여 제작되었으며, 입출력은 도파관을 이용하였다. 제작된 모듈의 동작주파수는 29.6 ~ 30.0GHz 이면, 상온에서 2.0dB의 잡음지수 특성과 32dB의 이득을 가지는 것으로 측정되었다. 제작된 모듈의 크기는 51mm X 36mm X 22이며, 무게는 92g으로서 소형 경량의 모듈로 개발되었으며, 필요에 따라 위성중계기의 구성에 있어서 조립 위치를 자유롭게 결정할 수 있다.

## II. LNA 모듈의 설계

개발하고자 하는 Ka 대역 저잡음 증폭기 모듈의 성능 목표는 표 1 과 같다. 성능목표들 중에 2.3dB 잡음 지수를 상온이 아닌 섭씨 71 도에서 실현하기는 매우 어려운 것으로 판단된다. 본연구와 관련하여 2002 년에 ETRI 에서 섭씨 66 도에서 2.3dB 의 잡음지수를 갖는 30GHz 대역 저잡음 주파수 하향변환기 모듈을 위성중계기로 개발한 경험을 가지고 있으나, 최대 동작 온도가 섭씨 6 도 상승하였으므로 잡음 지수의 상승이 예상된다.[1]

표 1 Ka 대역 저잡음증폭기 모듈의 성능 목표

Parameter	Target
Frequency	29.6-30.0 GHz
Maximum Input Power	-48dBm
Gain	33±1 dB
Gain Variation	0.75dBp-p
Noise Figure	2.3dB @ 71° C
Group Delay Variation	0.8 nsp-p
Phase Shift	0.5 degree/dB
Amplitude Linearity	-61 dBc
In-band Spurious Outputs	-70 dBc
Out of Band Spurious Outputs	-70 dBc
Input/Output VSWR	1.2:1
Temperature Range	-15 ~ 71° C

그림 1 은. 설계된 Ka 대역 통신위성 중계기용 LNA 모듈의 구성 블록도이다. 그림에서 볼 수 있듯이 LNA 모듈은 2개의 증폭기와 2개의 Isolator로 이루어 지며, 입출력은 도파관으로서 첫번째 증폭기의 앞과 출력측에 Waveguide-to-Microstrip 변환기가 삽입되었다. 입력측 Isolator 는 도파관형 Isolator 로서 삽입손실이 0.1dB, 그리고 Isolation 이 50dB 이상의 우수한 특성을 가지는 부품으로서 Dorado-International 이라는 회사의 제품이다. 출력측의 Isolator 는 Drop-in 형태의 Isolator 로서 0.9dB 의 삽입손실과 20dB 의 Isolation 특성을 가지는 Dorado-International 사의 제품이다.

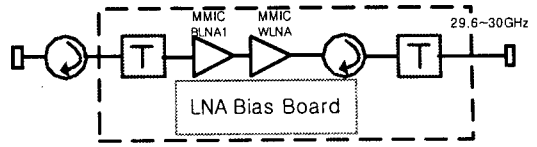


그림 1. Ka 대역 저잡음 증폭기 모듈의 구성 블록도

Waveguide-to-Microstrip 변환기는 LNA 모듈의 장착의 유연성을 높이기 위해 in-Line 구조로 설계 되었다. 그림 2 는 설계된 Waveguide-to-Microstrip 변환기의 HFSS 해석을 위한 도면이다. TestJig 를 제작하여 측정한 결과 Waveguide-to-Microstrip 변환기의 삽입 손실은 5mm 길이의 Microstrip Line 의 손실을 포함하여 0.4 dB 를 나타내었으며, 반사손실은 LNA 의 동작주파수 대역내에서 25dB 이상이였다.

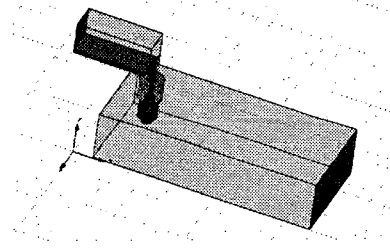


그림 2. Ka 대역 Waveguide-to Microstrip 변환기

Ka 대역 저잡음 증폭기 모듈에는 2 개의 저잡음 증폭기 MMIC Chip 이 사용되었다. 사용된 MMIC Chip 은 본 연구와 관련되어 2000 년도에 개발된 부품으로서 국내 연구인력이 설계하였으며, 미국의 NGST 사에서 제작되었다. MMIC 증폭기는 0.15um GaAs p-HEMT 공정을 이용하여 제작되었다. 증폭기 모듈의 잡음 지수를 결정짓는 부품은 초단 증폭기로서 본 연구에 사용된 초단 증폭기는 30GHz 근처에서 1.7dB 이하의 잡음지수와 17dB 이상의 이득을 가지고 있는 Single-ended two-stage 증폭기이다. 이 Chip 크기는 2.5mm X 1.5mm 이다. 모듈의 2차 증폭기로 사용된 MMIC Chip 은 30GHz 근처에서 17.5dB 이상의 이득과 2.6dB 이하의 잡음지수 특성을 가지며 동작주파수 대역폭이

1GHz 이상인 광대역 저잡음 증폭기이다. 이 증폭기는 입출력측에 Lange Coupler 을 삽입한 Balanced two-stage 증폭기 구조이며, 따라서 입출력 반사손실이 20dB 이상의 특성을 가지고 있다. Chip 의 크기는 3.0mm X 2.2 mm 이다.

증폭기 MMIC Chip 에 DC Bias 를 공급하기 위하여 BJT 를 이용한 능동 바이어스 회로를 설계 하였으며, 이회로는 +5V 와 5V 를 입력으로 받아서 각각의 증폭기가 필요로 하는 바이어스 전압으로 변환시켜주며, 온도 변화에 의한 바이어스 전압의 변화로 약간의 온도보상 효과를 가진다. 그러나 궁극적으로 -15 ~ 71° C 의 온도변화 범위에서 이득의 변화가 0.75dB 이내가 되도록 하기 위해서는 추가적인 기법이 필요했으며, Thermistor 를 이용하여 Bias Current 를 조정하도록 하는 기법을 삽입하였다. DC Bias Circuit 은 ThickFilm 공정을 이용하여 알루미늄 기판상에 구현 되었다.

표 2 에 각 구성부품의 특성을 고려한 모듈의 전체 성능 예측 결과를 보였다. 표 2 에서 볼 수 있듯이 모듈의 성능은 32.4dB 정도의 이득과 상온에서 2.25dB 의 잡음지수가 예상되며, 67dBc 의 IMD3 특성을 가질 것으로 판단된다.

### III. 모듈 제작 및 측정

모듈 제작을 위해서 우선 모듈의 하우징의 설계가 필요하다. 하우징 설계는 Chip 부품의 부착 방식, DC 회로 기판의 장착 방법등을 고려하여야 하며, 특히 입출력 도파관 플랜지를 고려해야 한다. 일반적으로 MMIC Chip 은 Carrier 위에 부착한 후에 모듈에 나사를 이용하여 체결하는 방식을 이용하지만, 이런 방식의 경우 Ka 대역과 같이 동작 주파수가 높을 경우 완벽한 Carrier 의 Ground 체결 효과를 달성할 수 없기 때문에 증폭기 이득의 감소 및 잡음 지수의 증가, 그리고 때로는 모듈의 발진 등의 현상이 발생하는 원인이 되기도 한다. 하지만 Carrier 를 사용할 경우 모듈의 제작 과정에서의 Chip 의 불량 등에 대하여 쉽게 수정 작업이 가능하며, 또한 사용중의 모듈에 고장이

발생하였을 경우에도 수리 작업이 용이한 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 모듈의 잡음 지수를 최대한 낮추어야 하는 목표에 따라서, MMIC Chip 을 모듈의 하우징에 Silver- Loaded Epoxy 를 사용하여 직접 부착하는 방식을 채택하였다. 그리고 MMIC Chip 에 DC Bias 를 공급하기 위해 DC 회로와 MMIC Chip 사이에 EMI FeedThru 를 삽입하여, DC 회로와 MMIC Chip 을 RF 에 대하여 격리되도록 하였다.

표 2 Budget Analysis 결과

Component	Gain (dB)	NF (dB)	IP3 (dBm)	Cum. Gain(dB)	Cum. NF(dB)	Signal (dBm)	IMD3 (dBc)
WG Isolator	-0.1	0.1	200.00	-0.10	0.10	-48.10	498.20
Transition	-0.4	0.4	200.00	-0.50	0.50	-48.50	490.57
BLNA 1	17	1.7	17.50	16.50	2.20	-31.50	98.00
WLNA	17.55	2.6	19.00	34.05	2.25	-13.95	67.63
Drop-in Isolator	-0.9	0.9	200.00	33.15	2.25	-14.85	67.63
Transition	-0.7	0.7	200.00	32.45	2.25	-15.55	67.63

MMIC Chip 이 부착되는 RF Side 는 가능한 공간을 축소하여 하우징 공간이 동작주파수인 30GHz 보다 높은 곳에서 발생하도록 설계하였다. 그리고 MMIC chip 등의 RF 부품이 조립되는 RF Side 를 모듈 전면에 배치하고, DC Bias Board 가 조립되는 DC Side 를 모듈의 뒷면에 배치하여 서로 간섭이 발생지 않도록 설계하였다. 그림 3 는 제작된 Ka 대역 통신위성 중계기용 저잡음 증폭기의 사진을 보이고 있다.

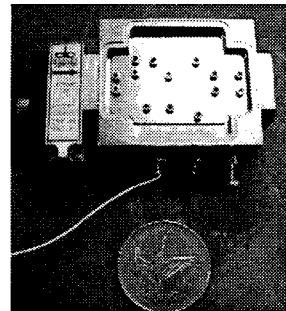


그림 3. 제작된 Ka 대역 LNA 모듈 사진

제작된 LNA 모듈은 개발 성능목표 달성을 확인하기 위해 측정되었으며, 측정과정에 앞서 입력측에 있는 Microstrip Line 에 Tuning 을 하여 잡음지수를 개선하였으며, 온도 변화에 대한 성능 변화에 대하여 측정되었다.

제작된 모듈에 대하여 동작주파수 대역에서 32dB 정도의 이득이 측정되었으며, 대역내 이득 변화량은 최대 0.2dB 정도로 아주 안정적이었다. 그리고 입출력 반사손실은 모두 25dB 이상으로서 뛰어난 성능을 나타내고 있다. 그림 4에 측정된 이득 및 반사손실 특성을 보였다. 이 측정은 Agilent사의 E8343B PNA 장비를 이용하여 수행되었다.

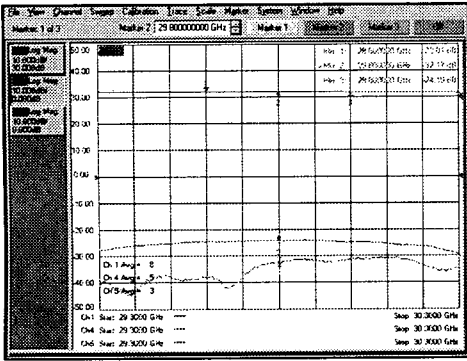


그림 4. 이득 및 반사손실 측정 결과

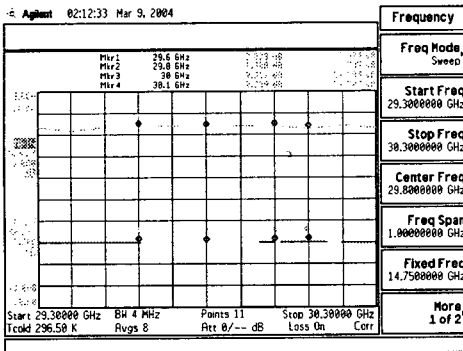


그림 5. 잡음지수 측정 결과

제작된 모듈의 잡음 지수 특성은 상온에서 2.0dB 그리고 최대 온도(71° C)에서 2.4dB로 측정되었으며, 최대온도에서의 잡음 지수는 성능 목표보다 0.1dB 높은 값으로 앞으로 개선이 필요한 성능으로 판단된다. 측정은 Agilent사의 N8975 Noise Figure Analyzer를 이용하여 수행되었다.

제작된 모듈은 67dBc의 IMD3 특성을 가지는 것으로

측정되었으며, In-band Spur 및 Out-of-band Spur 특성은 71dBc 이상으로 측정되었다.

측정결과 표 1의 성능 목표에 대하여 최대온도에서의 잡음 지수 특성을 제외하고 모든 항목에 대하여 만족하는 것으로 나타났다.

#### IV. 결론

본 논문은 Ka 대역 통신위성 증계기에 탑재를 목표로 하고 있는 저잡음 증폭기의 개발에 대하여 기술하였다. 개발된 증폭기는 현재 성능 검증 단계에서 제작 및 측정이 완료 되었으며, 약간의 수정을 가하여 우주인증모델로 제작 및 시험할 예정이다. 개발된 저잡음 증폭기의 잡음지수 특성은 71° C에 2.4dB의 잡음 지수 특성을 가지고 있어 본 연구의 목표 잡음 지수인 2.3dB를 0.1dB만큼 미달성 되었지만, 검토결과 개선 가능할 것으로 판단된다. 하지만 현재의 2.4dB의 잡음지수 특성도 현재까지 국내외적으로 알려진 Ka 대역 위성증계기용 증폭기 부품중에서 가장 우수한 특성을 가지고 있는 것으로 판단되고 있다. 개발된 저잡음 증폭기는 100g 이하의 무게를 가지고 있으며, 크기 또한 5cm 정도의 길이를 가지고 있어 위성증계기의 구성에 있어 위치의 선정에 있어 제한을 거의 받지 않을 것으로 판단되어 그 개발에 의미를 더하고 있다.

#### References

- [1] D.P.Chang, et. al., "Development of a receiver downconverter module for Ka-band satellite payload", *Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-S International*, Vol. 3, 8 June 2003 pp.1589 - 1592
- [2] Bill Oldfield, "Connector and Termination Construction above 50GHz", *Applied Microwave & Wireless*, pp.56-66, 2001년 4월