

C-band Microwave Radiometer의 수신기 설계 및 제작

김 상 봉⁰ · 손 홍 민

호남대학교 전파이동통신공학과

TEL : 062)940-5574 / FAX : 062)940-5077

The Design and Implementation of a C-Band Microwave Radiometer Receiver

Sang-Bong Kim · Hong-Min Son

Dep. of Radio communication Eng., Honam Univ.

E-mail : edust@naver.com, hmson@honam.ac.kr

Abstract

A c-band microwave radiometer receiver for river mouth water temperature remote sensing was designed and implemented. The developed receiver operated at 5.1GHz frequency with 70MHz bandwidth. It had high gain of 50dB and low noise figure of 2dB. Also we executed efficiency evaluation about detection capability of the receiver with noise source similar input signal. The experiment results showed that the c-band receiver successfully detected the antenna temperature range from 193K to 300K.

I. 서론

물체로부터 방사되는 전자파에너지 중에서 전파대역의 열잡음 에너지를 안테나를 통해 광대역 고감도 수신기로 수신하여 관측대상물 및 주변 환경에 관한 정보를 수집하는 수동형 원격 탐사센서인 마이크로파 라디오미터는 해수면이나 하구수온의 온도, 염분농도 및 유류오염, 토양의 함수율, 대기의 수증기량, 강우량 등의 관측에 활용되고 있다^[1]. 선진국에서는 이미 기상관측, 해양연구, 환경감시 및 군사 분야 등에 폭넓게 사용되고 있으나 국내에서는 마이크로파 라디오미터의 설계, 제작 및 측정기술의 확보가 미흡하여 아직 실용화되지 못하고 있다. 본 연구팀에서는 수년 전부터 마이크로파 라디오미터의 구조와 시스템 설계, 제작 및 부품에 관한 연구 개발을 수행해 오고 있다^[2,3,4,6]. 최근 염분 관측용 L-Band

마이크로파 라디오미터를 개발, 광양만 및 섬진강 일대에서의 현장 실험에서 해수면 및 하천수의 염분 농도를 원격으로 성공리에 측정하였으며^[5,7], 해수면 온도 관측용으로 6GHz대의 마이크로파 라디오미터의 시제품을 설계, 제작하였다^[8].

본 논문에서는 하구수온의 온도 측정을 위해 현재 개발 중인 C-Band 마이크로파 라디오미터의 수신기 설계 및 제작에 관한 연구 결과를 소개하고자 한다.

II. 시스템 요구 성능 및 설계 사양

2.1 관측 주파수 대역의 선정

해수면에서의 방사전력의 변화는 수면온도, 해풍의 속도, 염분농도 등에 의존한다. 그림1과 같이 해수면 온도 변화에 의한 방사전력의 변화는 5GHz부터 8GHz의

C-Band 및 X-Band 부근에서 염분이나 해풍의 변화에 비해 상대적으로 높은 민감도를 나타내며, 특히 하구의 수온 관측에는 5GHz 대역이 효과적으로 알려져 있다^[9]. 상기의 주파수 대역 내에서 통신 사업자용 및 기상 레이더용 등 타 용도로 사용되는 전파로부터의 대역보호를 고려, 관측 주파수 대역을 그림2와 같이 5.05GHz ~ 5.15GHz로 선정하였다.

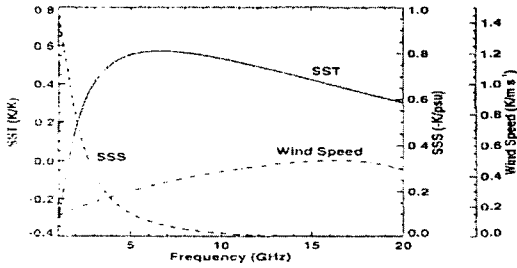


그림1. 해수면의 방사전력 특성

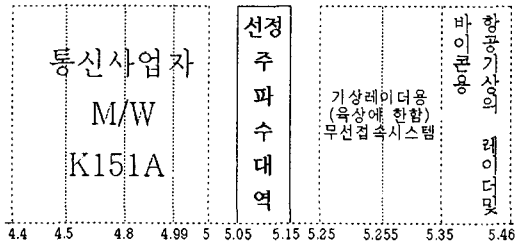


그림2. 주파수 분배표

2.2 요구 성능

마이크로파 라디오미터 수신기는 물체로부터의 열방사 전력을 안테나 잡음온도로 측정하며, 측정된 안테나 온도로 관측 대상의 방사 휘도온도(brightness temperature)를 추출한다. 따라서 수신대상이 매우 미약한 잡음신호로 높은 시스템 이득과 저 잡음, 광대역특성이 요구된다. 수면의 온도가 0℃에서 40℃까지 변화하는 동안 휘도 온도는 88K에서 114K까지 변화하며, 이에 따른 안테나온도는 90K~300K정도^[10] 수신기의 입력 전력범위를 식(1)을 이용해 산출 할 수 있다. 식(1)에서 k는 볼츠만 상수, B는 수신대역폭, T_A는 안테나온도로 입력전력 P_i는 안테나온도 T_A의 함수로 나타난다.

$$P_i = kT_A B \quad (1)$$

식(1)에 의해 산출된 입력 전력은 -99dBm부터 -92dBm으로, 이 범위에서 시스템의 선형적 동작이 요구된다.

마이크로파 라디오미터에서 수신감도는 출력전압으로부터 측정 할 수 있는 최소입력전력의 변화치, 즉 검출

가능한 최소 온도 변화치로 측정 정밀도를 나타내는 주요한 성능인자이다. 수신감도 ΔT는 식(2)와 같이 주어지며 해수면의 온도 1℃의 변화를 측정하기 위해서는 0.5K이하가 요구된다^[10].

$$\Delta T = \frac{T_A + T_R}{\sqrt{B\tau}} \quad (2)$$

식(2)에서 T_R은 시스템 내부 잡음온도, τ는 적분시간을 나타낸다. 식(2)에서 알 수 있듯이 높은 수신 감도의 달성을 위해서는 낮은 시스템의 잡음지수가 요구된다.

표1은 요구 성능을 만족시키기 위한 수신기의 시스템 설계 사양이다.

표 1. 수신기의 시스템 설계 사양

주 파 수	5.1GHz
대 역 폭	70MHz
시스템 NF	2dB이하
입력전력범위	-99dBm~-92dBm(88K~300K)
수신감도	0.5K이하

III. 수신기 설계

3.1 구조

하구수온 온도 측정용 C-Band 마이크로파 라디오미터는 입력 전력이 식(1)에 의해 -99dBm부터 -92dBm으로 미약한 신호이므로, 높은 주파수에서 안정적으로 높은 시스템 이득을 얻기 위해서 그림3처럼 Super hetero-dyne 방식을 사용하여 구현하였다.

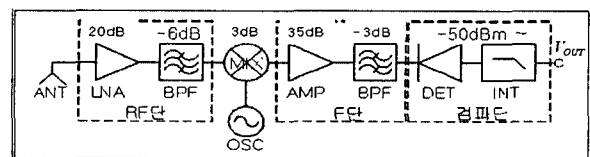


그림3. 수신기의 구조

3.2 RF Front-End 설계 및 제작

수신기의 검파단은 고주파 다이오드를 사용한 자승검파 방식으로 RF단은 -100dBm~-90dBm의 미약한 입력신호를 검파단 다이오드의 자승특성영역의 입력 수준인 -50dBm까지 충분히 증폭시켜야 하므로 최소 50dB 이상의 고 이득이 요구되며, 높은 선택도로 수신대역을 제한함과 동시에 저 잡음지수, 저 소비전력의 실현이 가능하도록 설계 되었다.

3.2.1 LNA 설계 및 제작

수신기의 시스템 이득, 잡음지수 및 소비전력은 LNA에 의해서 거의 결정된다. 하구수온 온도 측정용 마이크로파 라디오미터에 사용될 LNA는 5.1GHz로 Lumped 소자에 의한 구현이 곤란하여 Microstrip Line을 이용하여 구현을 하였다. 특히 저 소비 전력을 위해 낮은 바이어스 특성을 보이는 Agilent사의 ATF551M4를 사용하였으며, 이득을 높이기 위해 2단으로 구성을 하였다. 표 2 및 그림4에 LNA의 설계사양 및 회로도를 각각 나타내었다.

표 2. LNA 설계사양

이득	18dB
N F	1.5dB
bias조건	2.7V/14mA, Active Bias
방식	Cascade 2단

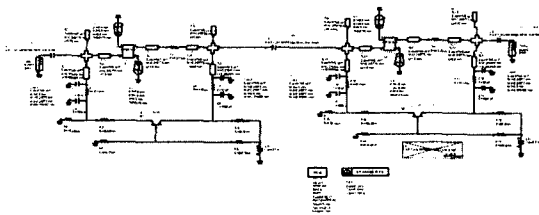
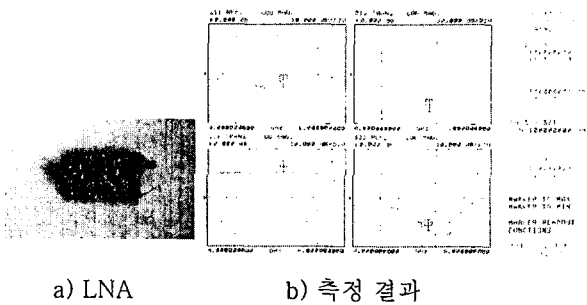


그림4. LNA 회로도

회로도를 바탕으로 테프론 0.8mm, 유전율 2.5를 이용하여 실제 제작을 하였으며 그림5에 제작된 LNA와 그 특성의 측정결과를 나타내었다.



a) LNA b) 측정 결과

그림5. LNA 및 측정결과

측정결과 동작주파수는 5.1GHz이며, 이득은 20dB, NF는 1.7dB로 나타났다.

3.2.2 대역 통과 여파기(BPF) 설계 및 제작

마이크로파 라디오미터에서는 인접채널 대역 간섭 및

고감도 추구를 위해 충분한 수신대역폭의 확보와 높은 선택도의 특성을 갖는 대역 통과 여파기가 요구된다. 높은 선택도를 위해서 5차의 Chebyshev방식을 사용했으며, 크기를 최소화하기 위해 Hairpin구조로 설계하였다. 표 3은 대역통과 여파기의 설계사양을 보여준다.

표 3. 대역 통과 여파기의 설계 사양

삽입손실	6dB
대역	100MHz
선택도	-35dB(5GHz, 5.2GHz)
방식	Chebyshev방식, Hairpin구조
사용기판	유전율:2.5, H:0.8 Tan D:0.0018

중심 주파수는 5.1GHz, 대역폭은 100MHz로, 4.8GHz의 통신 사업자용 대역 과 5.25GHz의 기상 레이더 대역으로부터 신호를 충분히 제거할 수 있도록 5GHz 및 5.2GHz에서 선택도를 -35dB이하가 되도록 설계하였다. 그림6에서 대역통과 여파기의 회로도를 나타내고 있다.

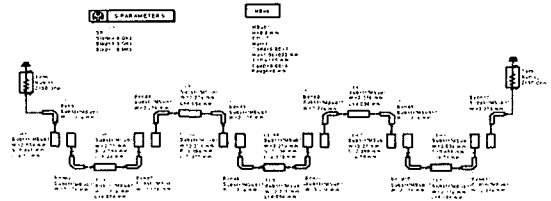
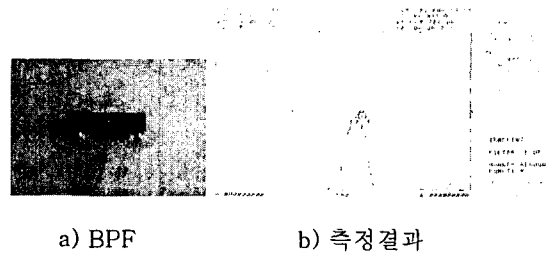


그림6. 대역 통과 여파기 회로도

회로도를 바탕으로 다음 그림7에서 제작된 BPF 및 측정결과를 나타내고 있다.



a) BPF b) 측정 결과

그림7. BPF 및 측정결과

측정결과 삽입손실은 6dB, 대역폭은 103MHz, 선택도는 5GHz 및 5.2GHz에서 약 30dB를 나타내고 있다.

3.3 Mixer 제작

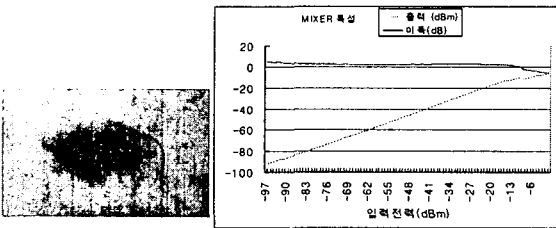
주파수 변환 손실에 의한 시스템 이득의 감소를 막기 위해서 down converter용 Mixer를 변환이득이 3dB인 Active 방식으로 설계하였다. down converter 의 요구

입력 파워는 안테나로 들어오는 -99dBm의 전력이 RF 단에서 16dB의 이득을 가지므로 -83dBm부터 -86dBm에서 선형적인 입력범위를 가져야 한다. 표 4에서 down converter의 설계 사양을 나타내고 있다.

표 4. MIXER의 설계사양

RF주파수	5.1GHz
LO주파수	6.49GHz
IF주파수	1.39GHz
변환이득	3dB이상

IF단을 염분관측용 L-Band 마이크로파 라디오미터에서 설계 및 제작된 부분의 사용을 고려하여 5.1GHz의 RF주파수를 1.39GHz의 IF주파수로 변환시키도록 제작을 하였다.

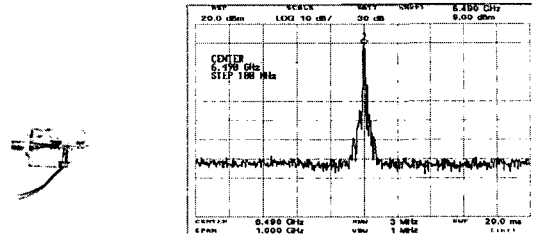


a) Mixer b) 측정결과
그림 8. Mixer 및 측정결과

제작된 down converter의 측정결과 변환이득은 3dB로써 -95dBm부터 -25dBm까지 선형적으로 동작하는 것을 볼 수 있다.

3.4 Local Oscillator 제작

down converter를 구동하기 위해서는 Local 오실레이터가 필요하다. Local Oscillator의 동작 주파수는 6.49GHz이며 9dBm이상의 높은 출력이 필요하다. 또한 우수한 Phase noise 특성이 요구됨에 따라 직접 설계하지 않고, MMIC형태로 구성된 VCO로써 Hittite사의 HMC358MS8G를 이용하였다. 동작전압은 3V이며, 제어전압에 따라 6GHz부터 6.6GHz의 동작범위에서 최고 12dBm까지 출력을 낼 수 있다. Phase noise는 100KHz offset에서 -110dBc/Hz 이하의 우수한 특성을 갖는다. 그림9에서 실제 제작된 Local Oscillator로 사용된 VCO와 측정결과를 보여준다.



a) VCO b) 측정결과
그림 9. VCO 및 측정결과

측정결과 제어전압 5.25V에서 6.49GHz로 동작하며, 출력전력은 9dBm으로 나타났다.

3.5 IF단 및 검파단 설계

IF단 및 검파단은 해수면 염분 측정용 L-Band 마이크로파 라디오미터의 개발 시 제작된 수신기의 일부를 개조하여 활용하였다. IF단은 35dB의 이득을 가진 저 잡음 증폭기와 70MHz의 대역통과여파기로 구성되며, 검파단은 자승검파 방식으로 검파용 다이오드 및 40ms의 적분 시간과 5dB의 이득을 가진 능동 LPF로 이루어진다.

IV. 수신기 모듈 제작 및 성능평가

4.1 모듈 제작

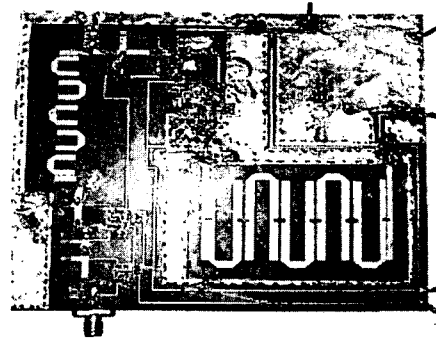


그림 10. 제작된 수신기 모듈

설계 제작된 각각 부품을 결합하여 그림10과 같이 크기가 약 120mm×120mm로 소형 경량화를 추구하고, 사용전압은 3.7V 580mW의 저 소비 전력으로 구현하였다.

4.2 제작된 수신기의 특성측정 및 성능 평가

다음 표 6에서는 제작된 수신기의 특성 측정 및 성능평

가를 나타내주고 있다.

주 파 수	5.1GHz
대 역 폭	70MHz
시스템이득	49B
시스템 NF	2.3dB

표 6. 제작된 수신기의 특성 측정

제작된 C-Band 마이크로파 라디오미터 수신기가 입력 전력의 범위에서 선형적으로 동작하는가를 측정하기 위해 수신기의 입력 단에 Signal Generator를 이용하여 입력 Power에 따른 출력전압 V_{out} 을 나타내고 있다.

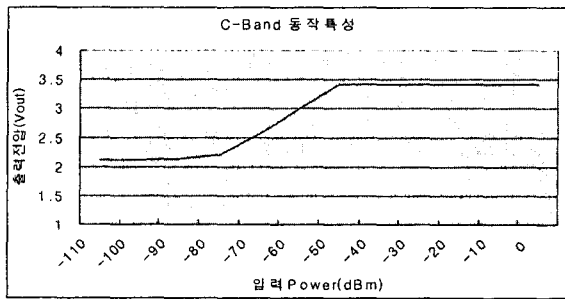


그림 11. 입력 Power에 대한 수신기의 출력전압 특성

최종 제작된 수신기의 동작범위는 측정결과 -70dBm 부터 -40dBm까지 선형적으로 동작특성을 나타내고 있다. 또한 -70dBm아래의 영역에서 출력이 나타나지 않는 이유는 Signal Generator에서 발생하는 내부적인 열 잡음에 의해서 더 낮은 신호까지의 출력을 볼 수가 없었다.

V. 결 론

본 논문에서는 하구수온 온도의 원격 탐사를 위한 C-Band 마이크로파 라디오미터 수신기의 설계, 제작 및 성능측정에 관한 연구 결과를 소개 하였다. 제작된 수신기는 super hetero-dyne 방식으로 중심주파수 5.1GHz, 대역폭은 70MHz, 이득 및 잡음지수는 각각 49dB 및 2dB로 설계 목표 사양을 만족시키는 광대역, 고 이득, 저 잡음 특성을 실현하였으며, 수신기를 하나의 모듈로 제작하여 소형 경량화 및 580mW이하의 저 소비전력으로 구현하였다. Signal Generator를 이용하여 입력파위에 대한 수신기의 출력전압 특성을 측정한 결과 수신기가

-70dBm부터 -40dBm까지 선형적으로 동작함을 볼 수 있었다. 향후 항온조 실험을 통하여 실제 수신기의 입력 범위인 -99dBm부터 -92dBm에 대한 시스템의 선형 동작여부를 확인 할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] E. G. Njoku, "passive microwave remote sensing of the Earth from space-a review" *proc. IEEE* vol.70, No.7, pp.728-750, July, 1982
- [2] 최준영, 손홍민, "상관형 마이크로파 라디오미터의 감도 분석". *Proc. 2003년도 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집*, pp. 675-678, 2003. 5
- [3] 신우철, 손홍민, "L-Band 마이크로파 라디오미터용 대역통과 여파기 설계 및 제작", 2003년도 전자파기술 하계학술대회 논문집, pp. 59-62, 2003. 6
- [4] 신성철, 손홍민, "L-Band Microwave Radiometer 용 저잡음 증폭기의 설계 및 제작", 2003년도 전자파기술 하계학술대회 논문집, pp. 7-10, 2003. 6
- [5] 김지훈, 손홍민, "L-Band Microwave Radiometer 의 수신기 설계 및 제작", 2004년도 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집, pp. 543-547, 2004. 5
- [6] 김지훈, 손홍민, "X-Band Microwave Radiometer 용 저잡음 증폭기의 설계 및 제작", 2004년도 전자파 기술 하계학술대회 논문집, pp. 161-164, 2004. 6
- [7] 김지훈, 손홍민, "염분 관측용 L-Band 마이크로파 라디오미터의 제작 및 성능분석", 2004년도 종합학술발표회 논문집, pp. 143-146, 2004. 11
- [8] 김지훈, 남부현, 손홍민, "해수면 온도 원격탐사용 X-Band Microwave Radiometer의 수신기 설계 및 제작", 2005년 춘계 마이크로파 및 전파전파 학술대회 논문집, pp.479-482, 2005.5
- [9] 加藤吉彦, 岩崎 俊, 鷹野致知, "次世代宇宙リモートセンシング 技術に関する研究", 電子技術総合研究所調査報告, 第220号, pp.63-78, 1988 12.
- [10] A. Camps, I. Corbella, et all, "The WISE2000 Camping : sea surface salinity and Wind Retrievals from L-Band Radiometry", *Proc. SPICE.*, vol 4172, pp. 65-72, 2000

M E M O