

W 대역 영상라디오미터 시스템 개발

Development of an Imaging Radiometer System at W-band

정민규*

Min-Kyoo Jung

Abstract

We have developed an imaging radiometer system at W-band. The system consists of lens, reflector, 30-ch receiver array, scanner, and signal processor. One receiver consists of a dielectric rod antenna, a balun, LNA(low noise amplifier) and a detector. The system configuration requirements are described. Finally, we represent radiometer images to obtain through clouds, smoke, dust, and other obstructions which render visible and IR systems ineffective.

Keywords : 밀리미터파, 영상라디오미터, 센서, W-band

1. 서론

밀리미터파는 가시광이나 적외선 영역에 비해 구름, 안개, 비, 먼지나 화염에 의한 감쇄가 현저히 적고, 마이크로파에 비해 높은 분해능을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 가시광에서는 구름이나 안개 등의 장애물을 통과하여 물체의 영상을 얻을 수 없지만, 밀리미터파 대역에서는 물체의 영상을 얻을 수 있다. 영상라디오미터 시스템은 군사기술로의 응용으로는 악천후상태에서의 무인로봇의 센서나 철책선 감시장비, 비행기의 착륙보조시스템, 헬기에서의 탱크탐지 또는 지면에 은폐된 군사시설 탐지등에 응용할 수 있다. 민수용으로는 공항이나 주요시설의 입출문 시의 의복안에 숨긴 무기나 폭발물 탐지, 화재 시의 사

람의 움직임 탐지, 유조선 오일의 유출탐지, 터널내부에서 사고에 의한 화재 시의 화염이나, 도로 상의 안개에 의한 장애물 형상관측 등 다양한 응용을 생각해 볼 수 있다^[1].

2. 시스템

영상 라디오미터의 영상 획득방법으로는 유전체 렌즈를 이용하여 렌즈의 결상면에 소형, 광대역, 저잡음인 W대역 수신기를 1차원으로 배열하여 기계적 스캔을 통해서 2차원 영상을 얻는 구조를 가진다. 이러한 영상 라디오미터의 성능에 영향을 미치는 것으로 중요한 항목으로서는 공간해상도, 온도감도와 영상획득률을 들 수 있다^[2]. 공간해상도의 경우 수차를 줄이기 위해 비구면 유전체 렌즈의 형태로 설계하였고, 대상목표물을 탐지하기위한 렌즈의 직경을 구하였다. 온도 감도는 수신기의 잡음지수와 대역폭에 밀접한

† 2010년 6월 25일 접수~2010년 10월 22일 게재승인

* 삼성탈레스(SamsungThales) 미래기술팀

책임저자 : 정민규(minkyoo.jung@samsung.com)

관련을 가진다. 잡음지수가 낮고 대역폭이 넓은 저잡음 증폭기를 초단에 선택하여 높은 온도감도를 얻을 수 있다. 수신기 급전안테나로는 유전체 로드 안테나(Dielectric Rod Antenna)를 적용하여 높은 이득과 낮은 부엽을 갖도록 하였으며, 수신기의 수신단은 도파관-마이크로스트립 전이(Transition), 저잡음 증폭기, 검파기를 하나의 기판 위에 실장하여 저손실 및 저잡음의 형태로 설계하였다. 초단 증폭기는 잡음지수가 4.1dB로 상대적으로 낮은 것을 선택하였고, 뒷단 증폭기의 경우 이득을 높이기 위해 증폭기를 다단으로 연결하였다. 검파기의 경우 무바이어스의 schottky barrier diode(SBD)를 사용하여 설계하였다. 자세한 시스템 설계 내용에 대해서는 참고문헌^[3]을 참조한다. 아래 표에 영상라디오미터 시스템의 주요 설정규격을 나타내었다.

Table 1. 영상라디오미터 시스템의 주요 설정규격

수신기 형태	Total Power type
중심주파수	94GHz
공간 해상도	10mrad
온도 감도	1.5K
영상획득률	1Hz

Fig. 1은 실제 제작된 W대역의 영상라디오미터 시스템을 나타낸 것으로, 수신부와 처리부로 구성된다. 수신부는 렌즈, 반사판, 30채널 수신기, 선형스캐너 및 구동부, CCD카메라로 구성되며, 처리부는 영상처리기, 전원공급기 및 출력기로 구성된다.

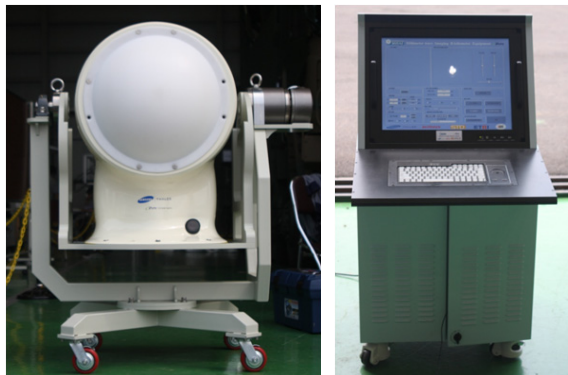


Fig. 1. 영상라디오미터 수신부(좌)와 처리부(우)

3. 부시스템

가. 렌즈

렌즈는 공간해상도 10mrad(0.57°)를 만족하기 위하여 고밀도 폴리에틸렌을 이용하여 직경 50cm 크기의 비구면 렌즈를 설계하였다. Fig. 2에 CODE V를 이용하여 설계한 준광학부 및 3dB Field Map을 나타내었다. RF대역폭은 12.1GHz를 만족하며, 3dB Spot diameter는 Min = 2.3mm, Max = 14.3mm를 얻었다. 가장자리로 갈수록 Spot이 점점 커지는 현상을 알 수 있다.

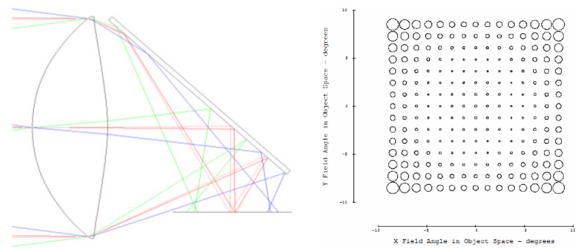


Fig. 2. 준광학계 설계(좌) 및 3dB Field Map(우)

Fig. 3은 실제 제작된 밀리미터파 렌즈이며 이를 이용하여 천문연구원의 측정설비를 통해 밀리미터파 렌즈의 빔패턴을 측정하였다.



Fig. 3. 실제 제작된 밀리미터파 렌즈

Fig. 4는 측정된 렌즈의 E-plane과 H-plane의 빔패턴을 나타낸다. 94GHz대역에서 3dB Spot size는 4.1mm, 4.3mm의 측정치를 얻었다. 이는 요구되는 공간해상도 5mm이하 보다 작은 값을 가진다. 렌즈의 빔패턴이 좌우 대칭인 빔패턴을 얻은 것을 통해 렌즈의 설계/제작이 잘 수행되었음을 알 수 있다.

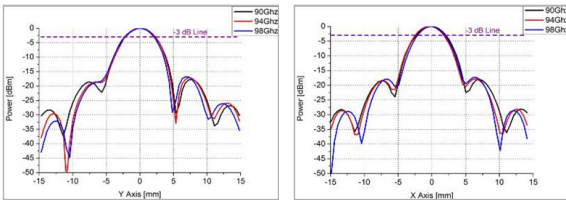


Fig. 4. 측정된 렌즈의 E-plane(좌) H-plane(우) 빔패턴

나. 30채널 수신기

Fig. 5는 제작된 30채널 수신기를 나타내며, 좌우측 D-sub형태의 인터페이스를 통해 신호, 옵셋값 및 전원이 입·출력된다. Fig. 6의 수신전단부를 살펴보면, 뿔족한 부분이 급전안테나이며, 도파관-마이크로스트립 전이(Transition), 다단증폭기, 검파기 및 DC증폭기로 구성되며, 전원은 기관하부에서 Feed Thru를 통해 급전되는 구조를 가진다⁴⁾.

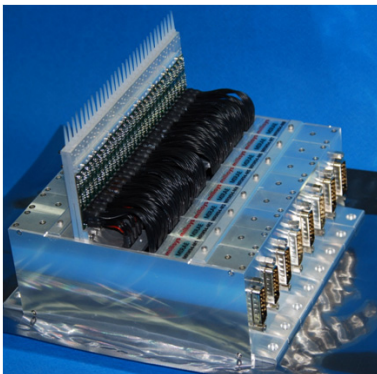


Fig. 5. 30채널 수신기

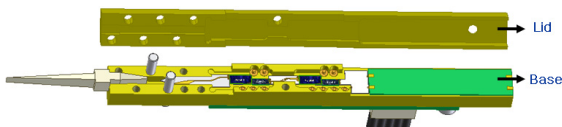


Fig. 6. 수신기 전단부

1) 급전 안테나

영상라디오미터의 급전안테나는 광대역이면서 높은 이득과 낮은 부엽레벨을 갖는 유전체 로드(Rod)안테나 형태로 설계/제작하였다. 급전 안테나의 설계시 고려사항은 렌즈와 급전 안테나간의 신호의 손실이 없도록 전달효율을 최대화하는 것이다. 따라서 안테나의 스피로버(Spillover)를 최소화하기 위해 안테나 이득은

15dB 이상 10dB 빔폭은 55°이하가 되도록 설계 제작하였다. Fig. 7에 실제 제작된 유전체 rod 안테나를 나타내었으며 안테나 반사손실은 대역폭내에서 -26dB 이하로 측정되었다.

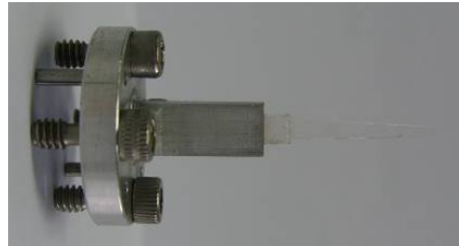


Fig. 7. 제작된 유전체 Rod 안테나

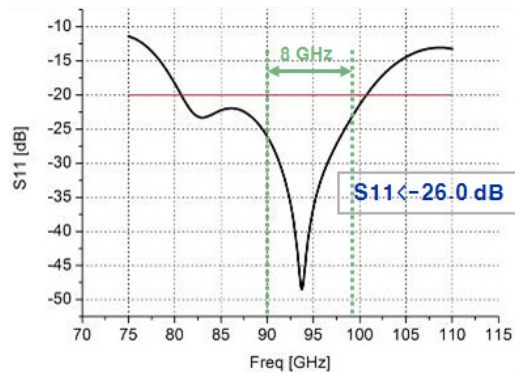


Fig. 8. 유전체 Rod 안테나의 반사손실

Fig. 9는 유전체 rod 안테나의 E-plane 방사패턴을 나타낸다. 측정결과 안테나 이득은 15.3dB이며, 10dB 빔폭은 E-plane이 53.2°이며 H-plane이 48.6°의 값을 가진다.

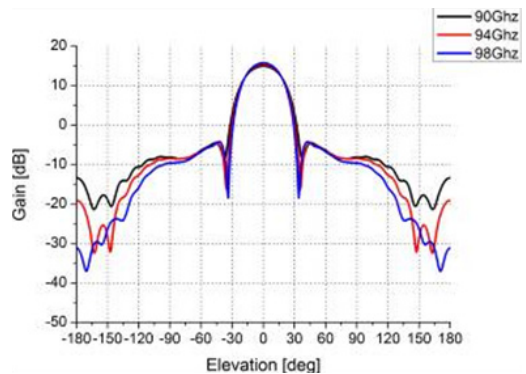


Fig. 9. 유전체 Rod 안테나의 방사패턴(E-plane)

2) 다단 증폭기

다단 증폭기는 광대역, 저잡음, 고안정의 증폭기가 요구되어지며, 검파기를 제공 영역(Square Law Region)에서 동작하게 하기 위하여 충분한 RF 이득을 가져야 한다. 충분한 이득을 가지기 위해서 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) 저잡음 증폭기 4개를 사용하여 RF 증폭기를 구성하였다. 4단 저잡음 증폭기를 설계시 크기를 최소화하는 문제와 발진문제를 해결하기 위해 MMIC를 2개씩 한 쌍으로 묶고 2쌍의 MMIC 사이에 대역 통과여파기를 두어 공간적으로 이격을 시키면서 대역폭 외부에서 발생할 수 있는 발진 및 고조파 성분을 제거하도록 설계하였다(Fig. 10). Fig. 11은 다단 증폭기의 이득을 나타낸 것으로 이득의 경우 초기 예상치와 측정치가 거의 일치하였고 대역폭도 충분히 확보할 수 있는 결과값을 얻었다

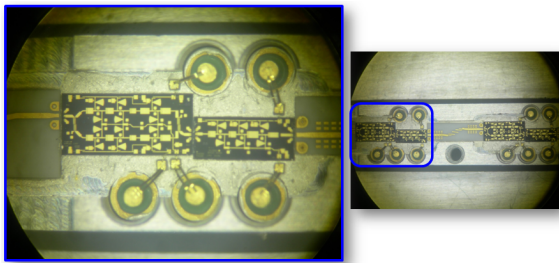


Fig. 10. 4단 MMIC 증폭기

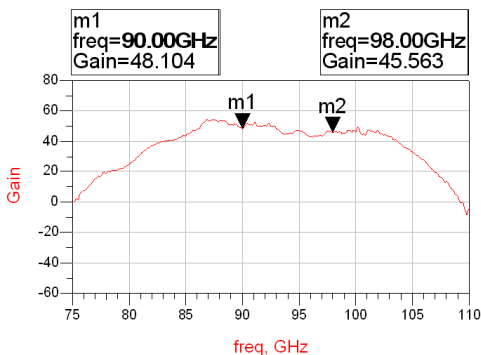


Fig. 11. 측정된 4단 증폭기 이득

3) 검파기

검파기는 입력단에서 RF신호가 최대한 다이오드의 입력으로 전달이 되도록 파워 매칭을 하고 다이오드의 출력부분의 직류신호가 검파기의 출력단으로 전달될 수 있도록 구성하였다. Fig. 12는 제작된 검파기를

나타내며, Fig. 13은 S11, S33를 나타내며, 입력파워 -13dB기준으로 하여 약 5dB의 반사손실을 가짐을 알 수 있다. 이는 시뮬레이션과의 차이를 보이는데 다이오드의 정확한 모델링의 부재와 기생성분 값으로 인한 영향으로 해석된다.

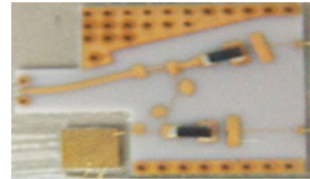


Fig. 12. 검파기

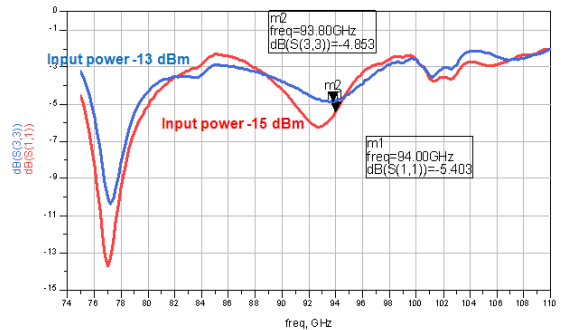


Fig. 13. 측정된 검파기 S11, S33

Table 2는 측정된 검파기의 Sensitivity로서 각 입력 Power를 -22dB에 대해 출력전압이 선형적으로 상승하는 것을 확인하였고, 측정된 Sensitivity는 약 0.37mV/uW임을 알 수 있다.

Table 2. 검파기 Sensitivity

입력 Power[dBm]	출력 전압[mV]	Sensitivity [mV/uW]
-22	6.38	0.37
-20	10.12	0.38
-18	16.03	0.37

4. 시험결과

제작된 영상라디오미터 시스템을 통하여 성능시험 및 응용시험으로 구분하여 진행하였다. 아래에 응용시

험 결과를 나타내었다. Fig. 14는 가시광 카메라, 적외선 카메라, 영상라디오미터와 비교한 시험으로 장애물(천막) 뒤의 물체를 영상화한 그림이다. 22m거리에 자동차를 두고 측정한 영상으로 가시광, 적외선으로는 장애물을 통과하여 영상을 얻을 수 없지만, 영상라디오미터는 차량의 영상을 확연히 얻을 수 있다.

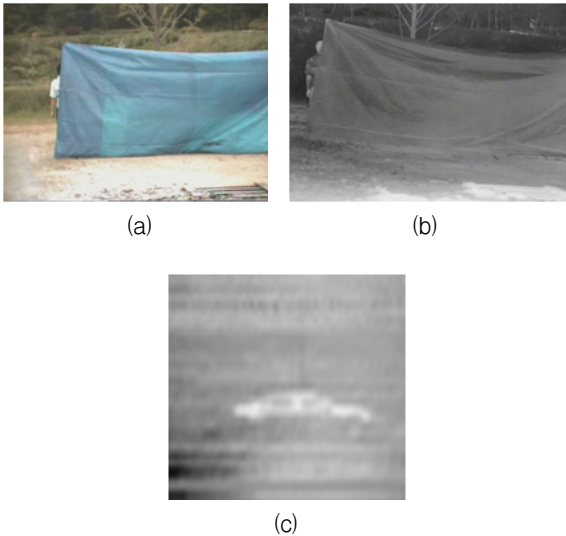


Fig. 14. 장애물 지역에서의 (a)가시광(위/좌), (b)적외선(위/우) 및 (c)영상라디오미터(아래) 비교

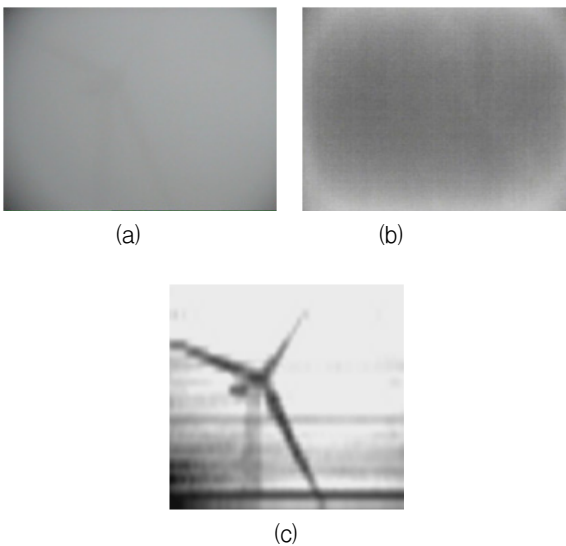


Fig. 15. 안개지역에서의 (a)가시광(위/좌), (b)적외선(위/우) 및 (c)영상라디오미터(아래) 비교

Fig. 15는 안개지역에서의 200m거리의 풍력발전기의 형상을 영상화 한 것으로 가시광, 적외선에서는 안개에 의해 영상을 얻을 수 없지만, 영상라디오미터는 풍력발전기의 형상을 확연히 구분할 수 있다. Fig. 16은 화염지역에서의 적외선과 영상라디오미터를 비교 실험한 것으로 적외선에서는 화염을 통과하여 영상을 얻을 수 없지만, 영상라디오미터는 물체를 영상화 하는 것이 가능하다.

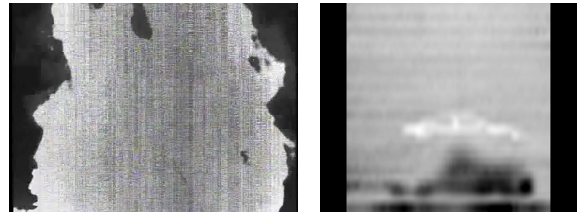


Fig. 16. 화염지역에서의 적외선(좌)과 영상라디오미터(우) 비교

5. 결론

W대역에서 동작하는 영상라디오미터 시스템을 개발하였으며 시스템 성능 및 응용시험 결과를 나타내었다. 장애물, 안개, 화염 등 악천후 상황에서 기존의 센서(CCD, IR) 등이 영상을 얻을 수 없는 환경에서 라디오미터 시스템은 영상을 얻을 수 있어 무인로봇의 센서나 철책선감시장비등의 응용으로 유용하리라 생각된다.

후 기

본 연구는 2006년부터 시작한 “민·군겸용기술사업(Dual Use Technology Program)”의 지원으로 수행되었습니다.

Reference

- [1] J. D. Kraus, “Radio Astronomy”, Chap. 3, McGraw-Hill Book Company, New York, 1966.
- [2] 정민규, 채연식, 김순구, 윤진섭, 미즈노코지, 이진구, “밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구 III”, 전

자공학회 논문지, 제44권 TC편 제3호, pp. 111 ~ 116, 2007.

- [3] 정민규, 장유신, 강윤식, “W대역 영상 라디오미터 시스템 설계”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, pp. 449~452, 2007. 8.

- [4] Minkyoo Jung, Yushin Chang, Sanghyung Kim, WonGyum Kim and YongHoon Kim, “Development of Passive Millimeter Wave Imaging System at W-band”, IRMMW-THz 2009, BUSAN, Korea.