

논문 2008-45SC-2-1

# 밀리미터파 수동 이미징 센서 연구

(Studies on the Millimeter-wave Passive Imaging Sensor)

정 경 권\*, 채 연 식\*\*, 이 진 구\*\*\*

(Kyung Kwon Jung, Yeon Sik Chae, and Jin Koo Rhee)

## 요 약

본 논문에서는 원격 센싱이나 보안에 사용할 수 있는 밀리미터파 수동 이미징 센서를 제작하였다. 영상의 밝기 온도는 3°의 분해능으로 안테나에서 측정된다. 제작한 센서는 PC에서 제어되며 pan/tilter 장치를 통해 빠른 성능을 얻는다. Pan/tilter 장치는 래스터 스캔을 통해서 2-D 영상을 스캔할 수 있다. 상하좌우로 기계적인 스캔에 의해서 20×20 픽셀의 영상은 400초 이내로 얻어진다. 영상은 측정 후 바로 표시되며 후처리를 위해 저장된다.

## Abstract

In this paper, we have designed a millimeter-wave passive imaging sensor that is able to use remote sensing and security applications. The brightness temperature distribution of a scene is measured with a antenna at an angular resolution of 3°. The sensor is controlled by a PC, achieving a fast performance by using a pan/tilter. The pan/tilter should be able to scan a 2-D image of the scene, with a linear raster scan pattern. The mechanical scans in azimuth and elevation whereby an image of 20×20 pixels is acquired within less than 400s. Raw images are immediately displayed and stored for postprocessing.

**Keywords :** millimeter-wave, passive imaging, lens antenna, thermal brightness

## I. 서 론

밀리미터파를 이용한 수동 이미징 시스템은 물체가 가지는 온도에 비례하여 방사하는 열잡음 중에서 밀리미터파 영역의 신호를 수신하여 영상으로 만드는 방법이다. 밀리미터파는 가시광선이나 적외선에 비해 구름, 안개, 비, 먼지, 화염에 의한 감쇄가 적고, 마이크로파보다 높은 분해능을 얻을 수 있는 장점이 있다. 가시광선은 구름이나 안개 등의 물질을 통과하여 영상을 얻을 수 없지만, 밀리미터파 대역의 특정 주파수 신호는 투

과성이 있어서 물체의 영상을 얻을 수 있다.

밀리미터파 수동 이미징 시스템은 발전기가 필요없고, 비 간섭성의 전파를 수신하기 때문에 간섭의 영향이 없어서 신호처리가 매우 용이한 장점이 있으나, 수신 신호가 매우 미약한 열 잡음이기 때문에 저잡음·고감도의 수신기가 요구된다.

수동형 영상 시스템은 악천후 상태에서의 비행기 착륙 보조 장치나 화재시 사람의 움직임 탐지, 분화에 의한 화산의 관측, 은닉 무기나 폭발물 탐지 등에 응용되고 있으며, 헬기에서의 탱크 탐지, 지면에 은폐된 군사 시설 탐지 등의 군사 분야와 도로 상의 안개에 의한 추돌 사고 방지나 감지 등 다양한 분야에 응용되고 있다. 최근에는 피부암이나 유방암 진단 등의 의료용에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다<sup>[1-6]</sup>.

본 연구에서는 이와 같이 다양한 응용 분야에 활용할 수 있는 94GHz 대역의 밀리미터파 수동 이미징 센서를 설계한다. 밀리미터파 수동 이미징 센서는 빔폭이 좁은

정희원, 한림대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Engineering, Hallym University)

\*\* 정희원, \*\*\* 평생회원, 동국대학교 밀리미터파신기술 연구센터

(MINT, Dongguk University)

\* 본 연구는 동국대학교 연구기반강화사업의 지원으로 수행되었음 (2006-2002-0)

접수일자: 2007년5월22일, 수정완료일: 2008년3월6일

렌즈 안테나와 이득이 높은 저잡음증폭기(LNA: Low Noise Amplifier), 다이오드 검출기로 구성되며, 영상을 얻기 위해 Pan/Tilt 구동 장치를 장착하여 스캔하는 방식으로 설계한다.

## II. 밀리미터파의 특성

밀리미터파의 특성은 주파수 대역에 따라 대기 성분에 대한 감쇄가 다르다는 것이다. 그림 1은 전자기파의 파장에 따라 전파되는 곡선으로 맑은 날에는 IR이나 가시광선이 멀리까지 전파되지만 수증기에 대한 흡수나 산란이 크기 때문에 안개나 구름, 비가 오는 경우는 멀리까지 전파되지 못한다.

밀리미터파 대역 중에서 35GHz, 94GHz, 140GHz, 220GHz의 신호는 맑은 날이나 안개 낀 날에도 거리에 따른 감쇄가 완만한 경사를 나타낸다.

그림 2에서 보면 밀리미터파 대역의 신호는 IR이나 가시광선에 비해 안개 낀 날에 신호가 흑체보다도 신호

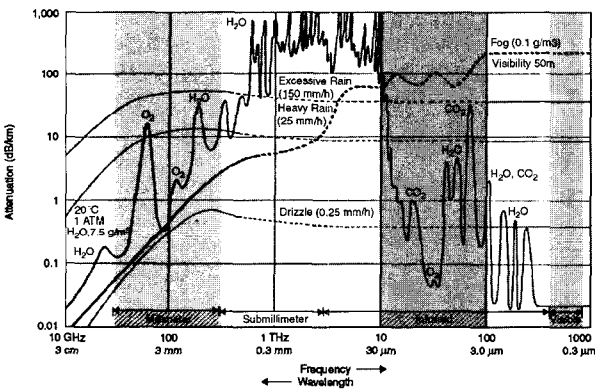


그림 1. 밀리미터파의 감쇄 특성  
Fig. 1. The attenuation characteristics of millimeter waves.

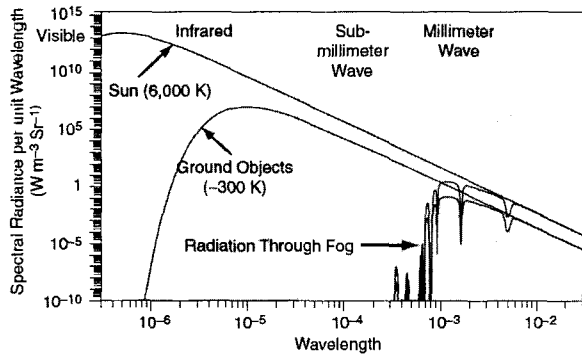


그림 2. 안개에서의 흑체복사 특성  
Fig. 2. The characteristics of fog on the blackbody radiation.

의 세기가 강하다.

이러한 것이 밀리미터파 수동 이미징 시스템의 특징이다. 또한 밀리미터파 수동 이미징 시스템은 태양이나 조명의 영향을 적게 받기 때문에 맑은 날, 시야가 좋지 않은 날, 밤, 낮 등의 조건에서 동일한 영상을 얻을 수 있다<sup>[5]</sup>.

흑체가 온도  $T$ 로 유지되고 있으면, 열평형 상태에서는 물체에 입사하는 열에너지와 물체로부터 방사되는 열에너지는 동일하게 된다. 그 방사에너지는 이산적인 파장 분포를 가진 전자파 에너지이다. 따라서 모든 물체는 절대온도  $0K$  이상에서 에너지를 방사한다. 그림 3은 물체로부터 방사되는 방사전력 개념도로, 원점  $O$ 에 위치한 실효 방사 면적  $A_s$ 의 방사체에 의해 거리  $r$ 만큼 떨어진 점  $Q$ 에 입체각  $\Omega_s$ 를 통해 전달되는 단위 입체각당 방사 전력을  $F_s [Wsr^{-1}m^{-2}]$ 로 하면 방사체의 단위 면적으로부터 전하져 가는 단위 입체각당 방사 전력은 식(1)과 같이 주어진다.

$$B = \frac{F_s}{A_s} [Wsr^{-1}m^{-2}] \quad (1)$$

단위면적의 방사체로부터 단위 입체각당 방사되는 단위 전력을 휘도(Brightness)라 정의한다. 휘도  $B$ 는 주파수 특성을 갖고 있어서 단위 주파수당 휘도  $B_f [Wsr^{-1}m^{-2}Hz^{-1}]$ 를 스펙트럴 휘도(spectral brightness)라고 정의한다.

$$B_f = \frac{2hf^3}{c^2} \left( \frac{1}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1} \right) \quad (2)$$

여기서  $h$ 는 플랑크상수( $6.63 \times 10^{-27} J \cdot K^{-1}$ )이다. 밀리미터파 대역에서는  $hf/kT \ll 1$ 이기 때문에 Rayleigh-Jeans 법칙에 의해 근사적으로 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

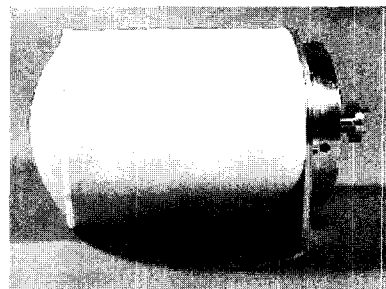


그림 3. 렌즈 안테나  
Fig. 3. Lens antennas.

표 1. 방사율  
Table 1. Emmissivity.

Surface	Effective Emmissivity		
	44 GHz	94 GHz	140 GHz
Bare metal	0.01	0.04	0.06
Painted metal	0.03	0.10	0.12
Painted metal under canvas	0.18	0.24	0.30
Painted metal under camouflage	0.22	0.39	0.46
Dry gravel	0.88	0.92	0.96
Dry asphalt	0.89	0.91	0.94
Dry concrete	0.86	0.91	0.95
Smooth water	0.47	0.59	0.66
Rough or hard-packed dirt	1.00	1.00	1.00

$$B_f = \frac{2f^2 k T}{c^2} = \frac{2}{\lambda^2} k T \quad (3)$$

즉 밀리미터파 대역에서는  $B_f$ 는 온도  $T$ 에 비례하는 관계가 얻어진다. 실제 지구 상의 물체는 완전 흑체가 아니므로 온도가  $T$ 인 물체의 스펙트럴 휘도  $B_f^*$ 는 완전 흑체의 스펙트럴 휘도와 다음과 같은 관계가 있다.

$$B_f^* = \epsilon B_f \quad (4)$$

여기서  $\epsilon$ 는 방사율로  $0 \leq \epsilon \leq 1$ 이다. 식(4)에 식(3)을 대입하면  $B_f^*$ 는 다음과 같다.

$$B_f^* = \frac{2}{\lambda^2} \epsilon k T = \frac{2}{\lambda^2} k T_B \quad (5)$$

여기서  $T_B$ 는 휘도 온도라고 하며, 관측 물체의 관측 온도를 나타낸다<sup>[5~8]</sup>.

방사율  $\epsilon$ 는 주파수, 편파면, 입사각 등의 관측 조건과 물체의 유전률 등 전기적 특성 및 표면의 거칠기 등에 의존한다. 따라서 휘도 온도를 측정하는 것에 의해 관측 물체의 온도 및 물체에 대한 다양한 정보를 얻어서 영상화 할 수 있다.

### III. 밀리미터파 수동 이미징 센서

밀리미터파 수동 이미징 센서에 입사되는 신호의 크기가 매우 작기 때문에 안테나의 특성과 저잡음증폭기의 선택이 매우 중요하다.

#### 1. 렌즈 안테나

본 연구에서 사용한 안테나는 그림 3과 같은 94GHz

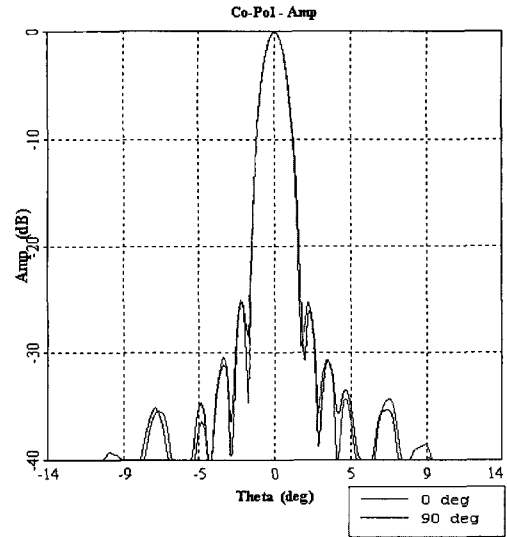


그림 4. 렌즈 안테나 빔 패턴  
Fig. 4. Beam pattern of lens antenna.

렌즈형 안테나로 지름은 3인치, 이득은 약 35dBi, 빔폭은 약 3°로 그림 4와 같다.

#### 2. 저잡음증폭기

밀리미터파 수동 이미징 센서의 수신 신호는 미약한 열잡음이기 때문에, 고이득·저잡음인 소자가 요구된다. 본 연구에서는 초대 이득 50dB 이상의 성능을 얻기 위해 잡음지수(noise figure)가 6dB인 이득 28dB의 LNA를 사용하여 2단으로 구성하였다.

#### 3. 다이오드 검출기

검출기는 저잡음증폭기에서 증폭된 94GHz 대역의 신호를 정류하여 직류전압을 얻는다. 검출기는 광대역·고감도의 성능이 요구되어 감도가 500mV/mW인 75-110GHz의 광대역 다이오드 검출기를 사용하여 구성하였다. 직류출력은 SMA 단자로 구성되며, 바이어스 없이 동작한다.

#### 4. 밀리미터파 수동 이미징 센서

본 연구에서 설계한 밀리미터파 수동 이미징 센서는 그림 5와 같다. 렌즈 안테나와 저잡음증폭기, 다이오드 검출기를 연결하여 Pan/Tilt 장치위에 설치하였다. Pan/Tilt 장치는 영상을 얻기위해 공간을 스캔하는 기능을 담당하며, RS-232 통신을 통해 좌우 320°, 상하 50° 범위에서 2.5° 간격으로 움직인다.

그림 6(a)와 같이 기계적인 스캔 방식을 통해 대상에서 방출되는 밀리미터파를 감지하게 된다. 이미징 시스

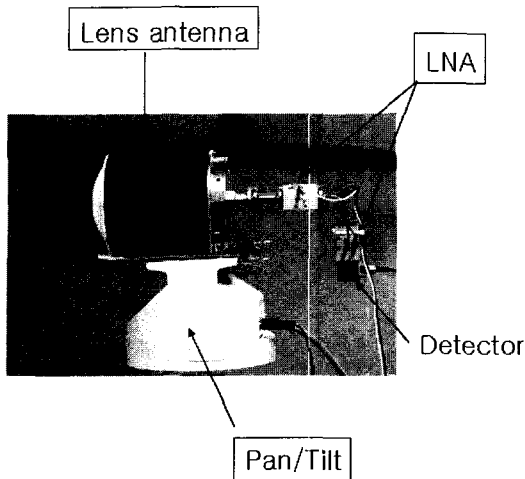


그림 5. 밀리미터파 수동 이미징 센서와 제어장치  
Fig. 5. Millimeter-wave passive imaging sensor and control unit.

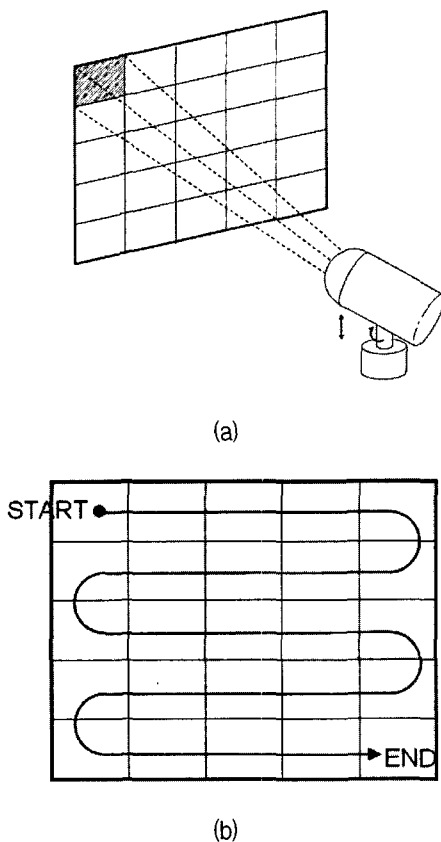


그림 6. 래스터 스캔  
Fig. 6. Raster scan.

탐이 움직이는 경로는 그림 6(b)와 같이 래스터(raster) 스캔을 한다.

다이오드 검출기에서 출력되는 직류전압은 DAQ 장비를 이용하여 16비트로 ADC하여 영상으로 구성한다. ADC로 측정된 신호는 3차로 구성된 디지털 IIR 필터를 통해서 20Hz 이하의 신호로 변환하여 50개의 샘플을

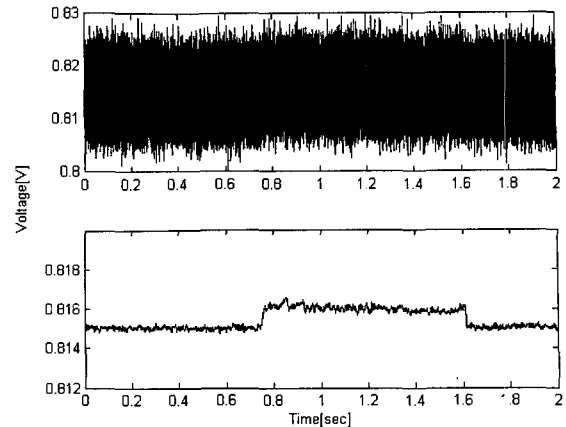


그림 7. 측정 신호와 필터링 신호  
Fig. 7. Measured signal and filtered signal.

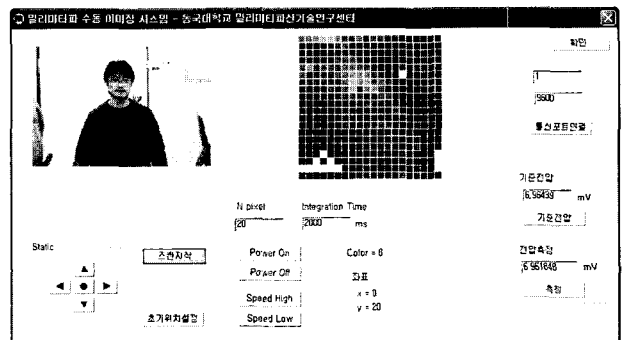


그림 8. 밀리미터파 수동 이미지 프로그램  
Fig. 8. Millimeter-wave passive imaging program.

평균값을 취한다. 그림 7은 ADC를 통해 측정된 신호와 디지털 필터를 사용하여 얻은 신호를 비교한 것이다.

그림 8은 측정 프로그램으로 Pan/Tilt 제어와 전압측정을 수행하며, 화상카메라를 연결하여 측정 상황을 살펴볼 수 있다.

#### IV. 실험

밀리미터파 수동 이미징 센서와 측정 프로그램을 이용하여 측정한 영상은 그림 9와 같다. 측정 영상의 크기는 20x20 픽셀이고, 영상구성은 측정된 직류전압값을 최소값-최대값 범위를 이용하여 gray 레벨로 변환한다.

영상 측정 시간은 1초마다 각 픽셀을 측정하여 400초가 소요된다.

그림 10(a)는 몸에 별다른 것을 지니지 않은 상태이고, 그림 10(b)는 몸에 heatgun(드라이기)을 숨기고 측정한 영상이다. 몸통 부분 영상의 하단에 검게 나타나는 영역이 은닉 물체가 감지된 부분이다.

그러나 영상 크기가 매우 작기 때문에 단순한 픽셀

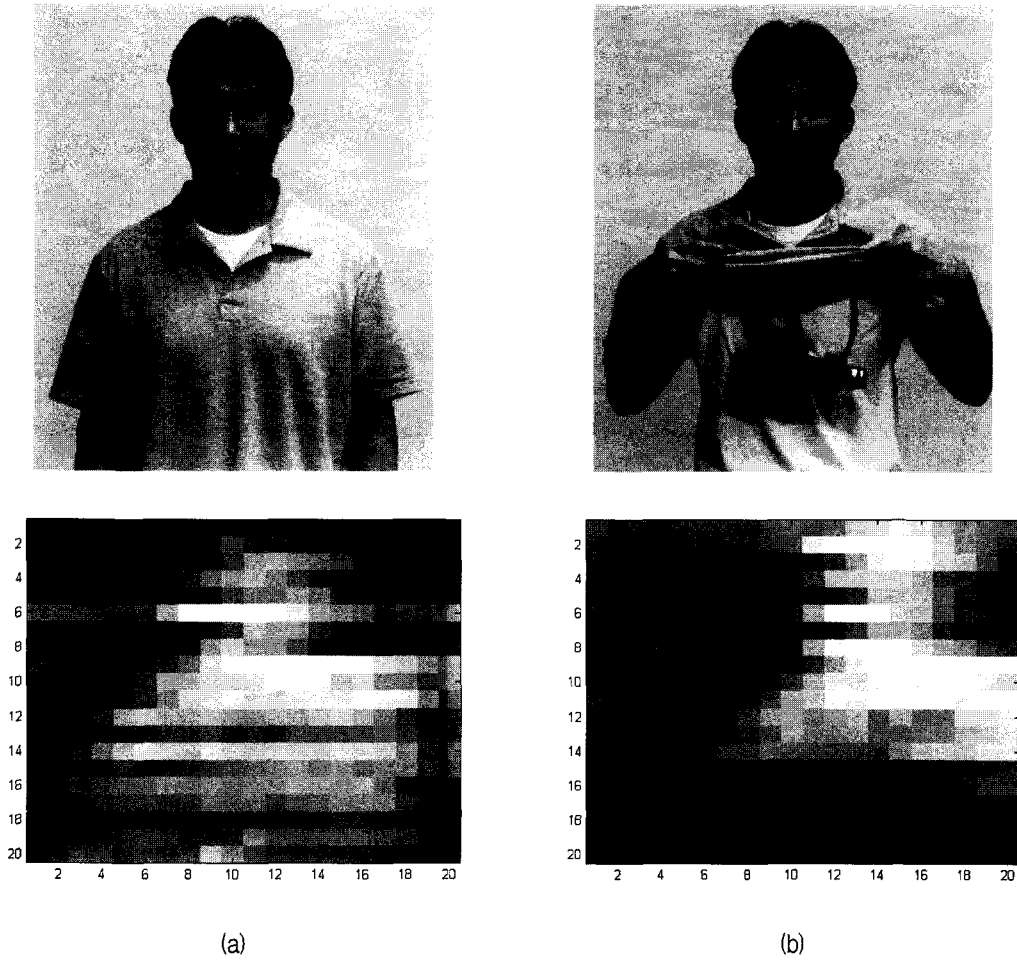


그림 10. 측정 영상

Fig. 10. Measurement images.

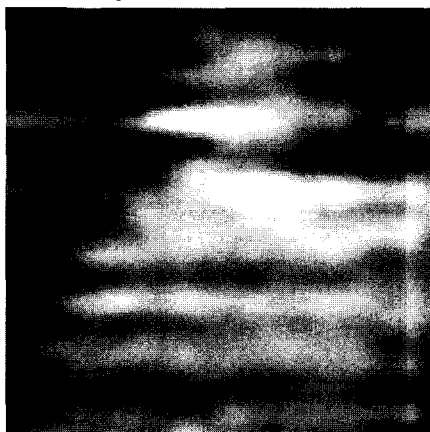


그림 11. Bicubic 확대 방법

Fig. 11. Bicubic resizing method.

비교로 은닉 물체를 판단하기가 어려워 bicubic, bilinear 방식으로 영상의 크기를 400x400 픽셀로 확대하여 검토하였다.

또한 은닉한 물체를 확실하게 표시하기 위해 반전영상으로 구성하여 비교하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 Pan/Tilt 장치를 이용하여 기계적으로 스캔하여 영상을 획득하는 94GHz 대역의 밀리미터파 수동 이미징 센서를 제작하였다. 제작된 밀리미터파 수

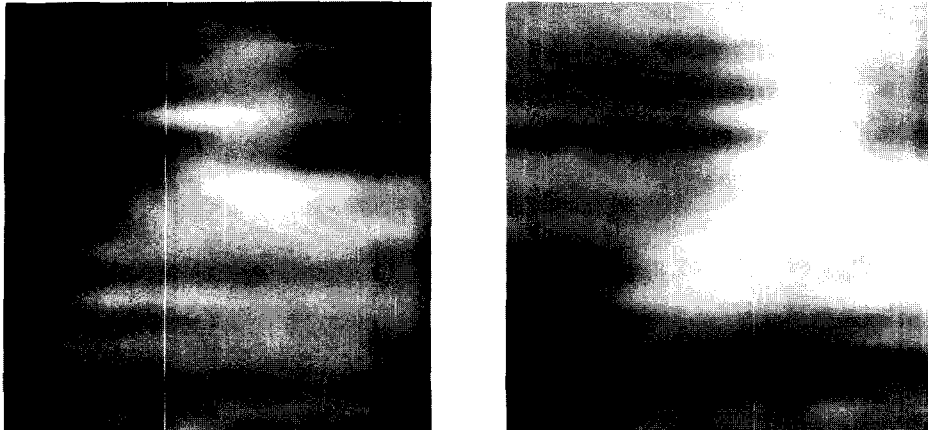


그림 12. Bilinear 확대 방법  
 Fig. 12. Bilinear resizing method.

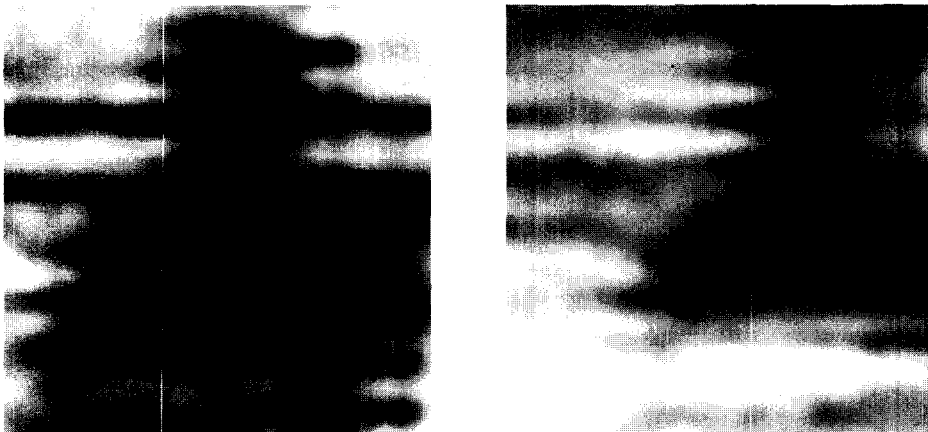


그림 13. 반전 영상: Bicubic 확대 영상  
 Fig. 13. Negative image: Bicubic resizing image.

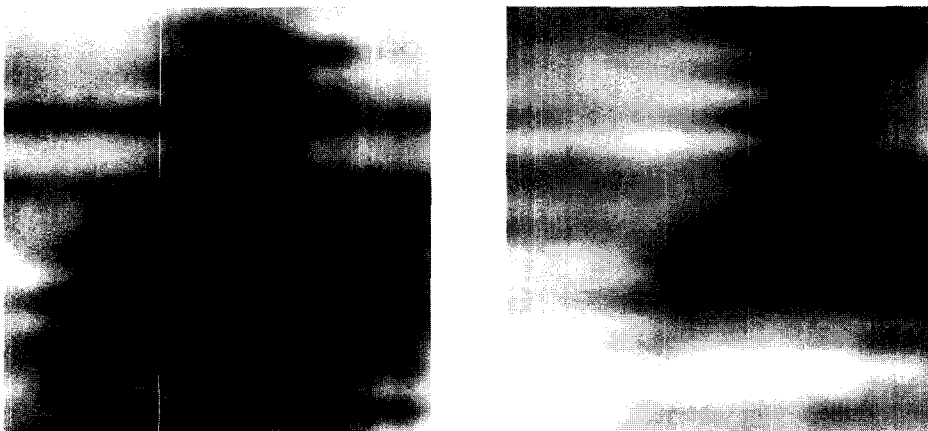


그림 14. 반전 영상: Bilinear 확대 영상  
 Fig. 14. Negative image: Bilinear resizing image.

동 이미징 센서는 렌즈 안테나를 통해 집속된 밀리미터 파 신호를 저잡음증폭기로 증폭하여 광대역 다이오드 검출기로 직류 전압으로 출력하는 장치로 16비트 ADC로 전압을 측정하여 영상을 구성하였다. 영상의 크기를

확대하고 반전 영상을 얻는 단순한 조작으로도 충분히 은닉 물체를 감지할 수 있는 밀리미터파 수동 이미징 센서를 설계하였다.

본 연구에서 제작된 밀리미터파 수동 이미징 센서를

바탕으로 밀리미터파 실시간 영상을 획득할 수 있는 밀리미터파 수동 이미징 시스템의 실현을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 정민규, 채연식, 김순구, 미즈노 코지, 이진구, "밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구," 전자공학회논문지 제43권 TC편 제5호, 182-188쪽, 2006년 5월
- [2] 정민규, 채연식, 김순구, 윤진섭, 미즈노 코지, 이진구, "밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구 II," 전자공학회논문지, TC편, 제3호, 105-110쪽, 2007년 3월
- [3] 정민규, 채연식, 김순구, 윤진섭, 미즈노 코지, 이진구, "밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구 III," 전자공학회논문지, TC편, 제3호, 111-116쪽, 2007년 3월
- [4] M. Shoucri, R. Davidheiser, B. Hauss, P. Lec, M. Mussetto, S. Young, L. Yujiri, "A passive millimeter wave camera for aircraft landing in low visibility conditions," IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Volume 10, Issue 5, pp.37-42, May 1995.
- [5] L. Yujiri, M. Shoucri, P. Moffa, "Passive millimeter wave imaging," IEEE Microwave Magazine, Volume 4, Issue 3, pp.39-50, Sep 2003.
- [6] P. F. Goldsmith, C. T. Hsieh, G. R. Huguenin, J. Kapitzky, E. L. Moore, "Focal plane imaging systems for millimeter wavelengths," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Volume 41, Issue 10, pp.1664-1675, Oct. 1993.
- [7] Graeme L. Stephens, Remote Sensing of the Lower Atmosphere: An Introduction, Oxford, 1994.
- [8] Morton J. Canty, Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing, CRC, 2006.

### 저 자 소 개



정 경 권(정회원)

1998년 2월 동국대학교  
전자공학과 공학사  
2000년 2월 동국대학교  
전자공학과 공학석사  
2003년 8월 동국대학교  
전자공학과 공학박사

2007년 3월~2008년 2월 동국대학교 밀리미터파  
신기술연구센터 연구교수

2008년 3월~현재 한림대학교 전자공학과  
전임강사

<주관심분야 : 임베디드 시스템, 밀리미터파 수동  
이미징 시스템, 인공지능>

채 연 식(정회원)

대한전자공학회 논문지  
제43권 TC편 제5호 참조

이 진 구(평생회원)

대한전자공학회 논문지  
제44권 SD편 제9호 참조