

논문 2006-43TC-4-9

# 단일 안테나를 사용하는 FMCW 레이더와 동시 운용이 가능한 W-대역 레디오미터 설계

(Design of a W-band Radiometer Simultaneously Operating with a Single-Antenna Configured FMCW Radar)

정 명 숙\*, 김 완 주\*

(Myung-Suk Jung and Wan-Joo Kim)

## 요 약

본 논문에서는 단일 안테나를 사용하는 FMCW 레이더와 송수신 장치를 공유하면서 동시 운용이 가능한 W-대역 레디오미터의 설계에 관한 내용을 다룬다. 레디오미터 방식은 소형시스템에 적합한 TPR 방식을 적용하였으며, 안테나 및 송수신 전단부를 레이더와 공유하고, IF 대역에서 diplexer를 사용하여 레이더와 레디오미터의 신호를 분리하는 방식을 채택하였다. 일반적인 레디오미터는 송신부가 없지만 본 연구에서와 같이 불가피하게 송신부가 존재해야 하는 경우에는 이로 인해 발생하는 부가 잡음이 레디오미터로 유입되어 시스템의 감도를 떨어뜨리는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 매칭회로와 전압채배기 구조의 다이오드를 적용한 고감도 square-law detector를 설계하여 감소된 감도를 보상하였다. 설계된 레디오미터는 실험을 통해 수백 m 거리의 지면위에 있는 금속 표적을 레이더와 동시에 감지 가능함을 확인하였다.

## Abstract

We present the design of a radiometer in W-band which operates simultaneously with a single antenna configured FMCW radar. We choose a total power radiometer(TPR) which shares an antenna and a front-end with the radar for miniaturizing the system. We separate the radiometer signal from the radar signal using a diplexer in IF band. Because the radiometer has an unwanted transmitter section due to the common use of the MMW front-end with the radar, some additional noise signals caused by the transmitter degrade the sensitivity of the radiometer system. To compensate the degradation of sensitivity, we use matching circuits and a diode detector configured as the voltage doubler. Through some experiments, we have verified that the designed radiometer system has good performances in detecting metal targets lying at several hundred meters.

**Keywords :** Radiometer, FMCW radar

## I. 서 론

최근 전파를 이용한 원격 감지(remote sensing) 센서는 광대역성과 집적화 용이성 및 시스템의 소형화 등의 장점 때문에 점차 밀리미터파 대역에서 설계되는 경우가 많아지고 있다. 또한, 시스템을 하나의 센서로 구현하기 보다는 다중센서를 사용하여 각 센서의 결과를 융합함으로써 감지 확률을 높이는 방향으로 발전되

고 있다.

FMCW(Frequency Modulation Continuous Wave) 레이더는 연속파형 신호를 주파수 변조하여 안테나를 통해 표적에 방사한 후, 표적에서 반사된 신호를 수신하여 전파의 시간지연에 따른 송신신호와 수신 신호의 주파수 차이를 이용함으로써 표적과의 거리를 측정하고, 수신되는 전력을 비교하여 표적의 유무를 감지하는 센서이다. TPR(Total Power Radiometer) 레디오미터는 안테나 빔이 조사하는 영역에 존재하는 각기 다른 방사(emission) 특성을 가지는 표적들의 복사에너지에 비례하는 수신 전력을 측정하고, 측정된 전력량의 크기

\* 정회원, 국방과학연구소 기술연구본부 3부 4팀  
(Agency for Defense Development)  
접수일자: 2005년12월8일, 수정완료일: 2006년4월12일

로 표적을 구분하는 센서이다. 본 논문에서는 소형화된 W-대역의 FMCW 레이더와 송수신 장치를 공유하면서 동시에 운용되는 TPR 레디오미터를 분석하고 설계한다.

레이더와 레디오미터를 동시에 운용하는 시스템은 하나의 안테나를 공유하면서 RF 전단부에서 duplexer 혹은 diplexer를 사용하여 주파수분할하는 경우<sup>[1][2]</sup>와 스위칭을 하여 시분할하는 경우<sup>[3]</sup>가 대부분이다. 그러나 본 논문에서는 좀 더 소형화된 시스템에 적합하도록 안테나와 MMW (Millimeter Wave) 송수신 전단부는 레이더와 공유하고 중간주파수 (IF, Intermediate Frequency)부에서 주파수 분할을 하여 FMCW 레이더와 동시에 운용이 가능한 TPR방식의 레디오미터 시스템을 구현하였다. 또한 레이더와 동시에 운용함으로써 레디오미터에 불필요하게 유입되는 부가 잡음을 분석하였고, 이로 인해 레디오미터의 감도가 저하되는 문제를 개선하기 위한 방안을 제시하였으며, 설계/제작된 레디오미터를 레이더와 동시에 운용하여 표적 감지 성능을 확인하였다.

II. 레디오미터의 원리

일반적으로 수신단 만 존재하는 레디오미터의 입력 신호는 안테나 빔이 조사하고 있는 영역에 존재하는 다양한 복사체(표적)들의 복사에너지(P)로서 수식 (1)과 같이 잡음신호의 형태로 표현된다.

$$P = kT_A B \tag{1}$$

여기서, k는 Boltzmann 상수, B는 시스템 대역폭을 말한다. 이때 안테나에 나타나는 등가 잡음온도 T<sub>A</sub>는 수식 (2)와 같이 표적의 T<sub>AP</sub>(apparent brightness temperature)와 안테나 효율(η<sub>l</sub>)로 나타난다<sup>[4][5][6]</sup>.

$$T_A = \eta_l T_{AP} + (1 - \eta_l) T_{A0} \tag{2}$$

여기서, T<sub>A0</sub>는 안테나의 물리적 온도이며, T<sub>AP</sub>는 수백 m 이내의 영역을 감지하는 레디오미터 시스템에서 식 (3)과 같이 간략히 나타낼 수 있다<sup>[7]</sup>.

$$T_{AP} \approx \frac{1}{L_a} (T_B + T_{SC}) \tag{3}$$

여기서, L<sub>a</sub>는 대기 감쇠량으로서 그림 1 및 표 1과 같으며<sup>[7]</sup> T<sub>SC</sub>는 scattered radiation으로

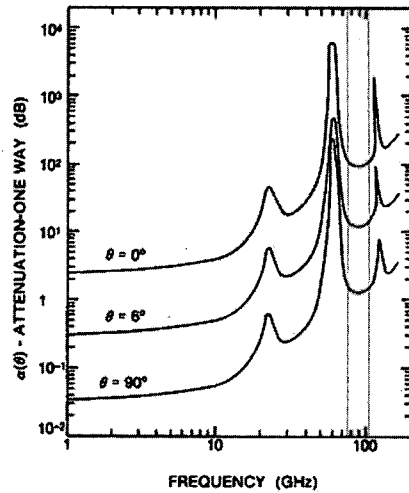


그림 1. 대기 감쇠량  
Fig. 1. Atmospheric attenuation.

$$T_{SC} = \Gamma_i T_{SKY} \tag{4}$$

와 같이 표적의 반사계수인 Γ<sub>i</sub>와 하늘 온도 T<sub>SKY</sub>의 곱으로 나타나고, T<sub>B</sub>는 표적의 brightness temperature로서

$$T_B = e T_{T0} \tag{5}$$

와 같이 표적의 방사율(emissivity) e와 표적의 물리적 온도 T<sub>T0</sub>의 곱으로 나타난다.

따라서 수식 (1)은 수식 (2),(3),(4),(5)를 이용하여 수식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = k \left( \eta_l \frac{e T_{T0} + \Gamma_i T_{SKY}}{L_a} + (1 - \eta_l) T_{A0} \right) B \tag{6}$$

W-대역에서 천정각(zenith angle)에 따른 T<sub>SKY</sub>는

표 1. 기상상태에 따른 대기 감쇠량 @ W-대역

Table 1. Atmospheric attenuation in some weather conditions @ W-band.

기상상태		대기감쇠 [ dB/km ]
맑음		0.40
비 [mm/hr]	0.25	0.57
	1.0	1.00
	4.0	3.40
	16.0	8.40
안개 [g/M <sup>3</sup> ]	0.01	0.435
	0.1	0.75
	1.0	3.9

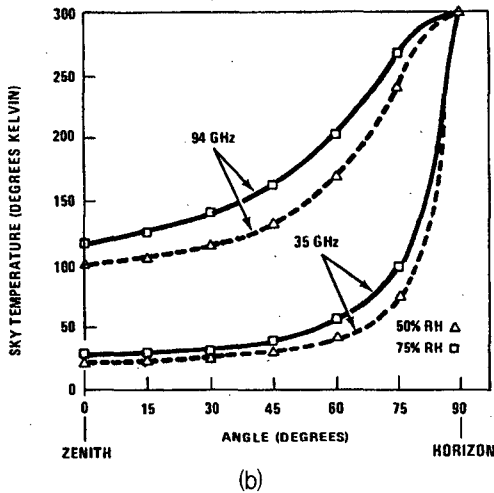
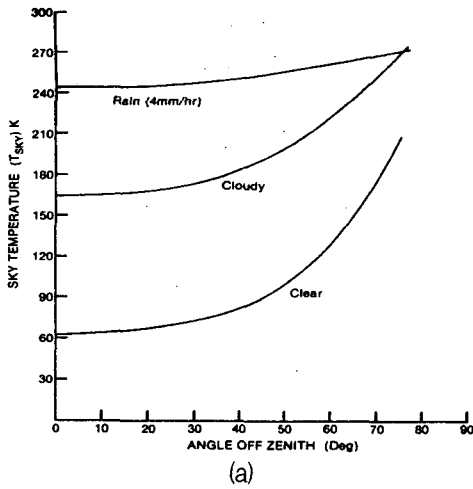


그림 2. 천정각에 따른  $T_{SKY}$  @ W-대역; (a) 대기상태에 따라 (b) 상대습도에 따라

Fig. 2.  $T_{SKY}$  versus zenith angle @ W-band; (a) by weather condition (b) by relative humidity.

표 2. 대표적인 방사율과 대기상태별  $T_{AP}$  ( $T_{T0}=290K, \theta_{zenith} = 0^\circ$  기준) @ W-대역

Table 2. Typical emissivity and  $T_{AP}$  in some weather conditions ( $T_{T0}=290K, \theta_{zenith} = 0^\circ$ ) @ W-band.

지상표적	e	$T_{AP}$ [K]		
		맑음	구름낀	비
모래	0.9	267.0	277.5	285.5
아스팔트	0.83	250.9	268.75	282.35
거친 자갈	0.84	253.2	270.0	282.8
매끈한 바위	0.75	232.5	258.75	278.75
콘크리트	0.76	234.8	260.0	279.2
우거진 초목	0.93	273.9	281.25	286.85
잔디밭	0.92	271.6	280.0	286.4
금속	0.1	83	177.5	249.5

그림 2<sup>[7][8]</sup>와 같으며 대표적인 지상표적들의 방사율 및 이로부터 계산된  $T_{AP}$  값은 표 2와 같다. 특히 금속과 같이 방사율이 낮고 반사율이 큰 물체에서는  $T_{SKY}$ 에 의한 영향이 커지므로 표적감지 시 대기상태에 따른  $T_{AP}$  값의 변화를 잘 고려하여야 한다.

### III. FMCW 레이더와 동시 운용 가능한 TPR(Total Power Radiometer) 분석

#### 1. TPR의 구성

일반적인 TPR은 다음 그림 3과 같이 구성된다. 안테나(ANT, Antenna)는 표적의  $T_{AP}$ 에 비례하는 복사 에너지를 잡음신호의 형태로 수신하고, 주파수 혼합기(Mixer)는 수신된 잡음신호를 국부발진기(LO, Local Oscillator) 신호와 혼합하여 중간주파수(IF) 대역으로 변환한다. 중간주파수 대역으로 변환된 잡음신호는 PreAmp에 의해 검파기의 동적 입력범위 내의 신호로 증폭되고, 증폭된 잡음신호는 Detector에 의해 입력 잡음 전력에 비례하는 전압신호로 바뀌며, 저주파 증폭기(Low Freq. Amp)와 저역통과필터(LPF, Low Pass Filter)에 의해 측정가능한 전압신호로 증폭되고 필터링된다.

그림 3에서 최종 출력  $V_{out}$ 은 수식 (7)과 같다.

$$V_{out} = G_{LF} \times S \times G_R \times P_{IN} \quad (7)$$

여기서,  $G_{LF}$ 는 저주파 증폭기의 이득,  $S$ 는 Detector의 감도,  $G_R$ 은 수신단 총 이득이며,  $P_{IN}$ 은 레디오미터의 등가 입력 잡음 전력으로 식 (8)과 같이 표현된다.

$$P_{IN} = k T_{SYS} B \quad (8)$$

여기서,  $k$ 는 Boltzmann 상수로서  $1.38e-23 J/K$ 이고,  $B$ 는 수신단 대역폭,  $T_{SYS}$ 은 레디오미터 시스템 온도이다. 이때,  $T_{SYS}$ 은

$$T_{SYS} = T_A + (NF_R - 1) T_{S0} \quad (9)$$

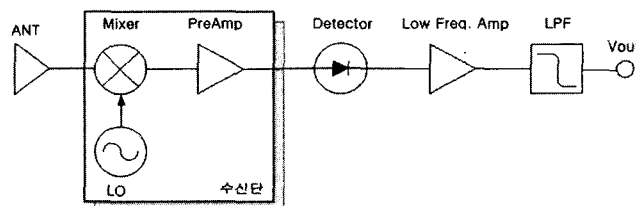


그림 3. 일반적인 TPR 시스템의 구성  
Fig. 3. Configuration of the typical TPR system.

와 같이 표현되며, 여기서  $NF_R$ 은 시스템 잡음지수,  $T_{50}$ 는 시스템의 물리적 온도이다.

그리고 TPR의 성능지수 중 하나인 최소 감지 가능 온도(MDT, Minimum Detectable Temperature) 혹은 온도분해능은 식 (10)과 같다<sup>[4]</sup>.

$$MDT = \frac{T_{sys}}{\sqrt{B\tau}} \quad (10)$$

이때,  $\tau$ 는 그림 3의 저역통과필터(LPF)에 의해 결정되는 적분시간이다.

### 2. FMCW 레이더와 동시에 운용될 때 TPR에 발생하는 부가 잡음

FMCW 레이더와 동시에 운용이 가능한 레디오미터를 설계하기 위해서는 그림 3의 구조에서 LO가 FM 신호원으로 사용되는 VCO(Voltage Controlled Oscillator)와 변조신호(Modulation signal) 발생기로 변경되어야 하며, Coupler와 Circulator를 포함한 송신부가 추가되어야 한다. 이때 Coupler는 VCO의 송신 출력 중 일부를 Mixer의 LO신호로 사용할 수 있게 하며, Circulator는 송신과 수신 신호를 분리하는 역할을 한다. 또한, IF부에서 레이더 신호와 레디오미터 신호를 분리하기 위해 Diplexer를 추가하였다. 이렇게 구성된 TPR 시스템은 그림 4와 같다.

그림에서 보듯이 레이더와 레디오미터는 안테나와 송수신 전단부의 수신단을 공유하고 IF 대역에서

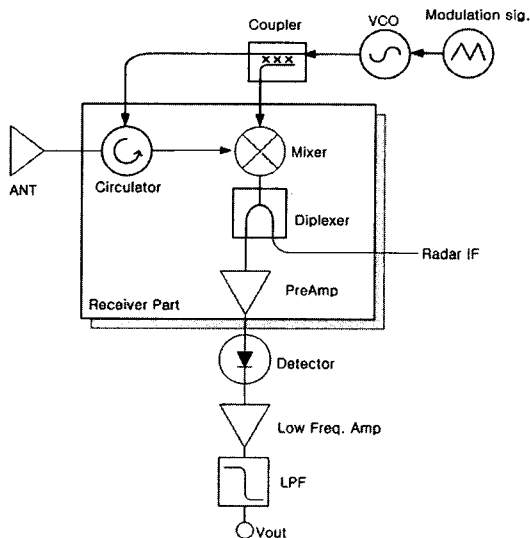


그림 4. FMCW 레이더와 동시에 운용이 가능한 TPR 구성

Fig. 4. Configuration of the TPR simultaneously operating with an FMCW radar.

Diplexer를 사용하여 각각의 신호를 분리한다.

그러나 이 경우 송신부가 부가적인 잡음을 발생시켜서 레디오미터의 시스템 잡음을 높이는 문제가 발생하게 된다. 송신 누설 경로를 통해 유입된 VCO의 위상잡음(phase noise)이 Mixer에서 LO 신호와 상관(correlation)을 일으켜 Mixer 출력에 부가적인 잡음이 발생하는 것이다<sup>[9][10]</sup> 이때의 상관계수(correlation factor),  $K^2$ 은

$$K^2 = 2(1 - \cos(2\pi f T)) \quad (11)$$

와 같이 주어지고, 여기서,  $f$ 는 송신 캐리어(carrier) 신호에서부터의 오프셋(offset) 주파수,  $T$ 는 Mixer의 LO 경로와 송신 누설 경로 간의 시간지연차를 의미한다. 그림 5는  $T$ 에 따른  $K^2$ 의 변화를 나타낸 그래프로  $T$ 가 짧아지면,  $K^2$ 도 감소함을 알 수 있다.

레이더와 동시 운용이 가능한 TPR 구조에서 VCO의 위상잡음에 의한 영향은 그림 6에 나타낸 것과 같이 대표적으로 두 가지의 송신 누설 경로에 의해 발생된다. 하나는 (1)의 경로로 안테나에 의해 반사되어 Mixer의 RF단으로 유입되는 경우이고, 나머지 하나는 (2)의 경로로 Circulator의 유한한 격리도(isolation)에 의해 Mixer의 RF단으로 유입되는 경우이다.

임의의  $f$ 에서 VCO의 위상잡음을  $PN(f)$ 라 할 때, 각 누설경로로 인한 부가잡음을 포함한 Mixer 출력에서의 등가잡음은 식 (12)와 같다.

$$P_{mixer} = P_{IN}/L_r + P_{N(1)} + P_{N(2)} \quad (12)$$

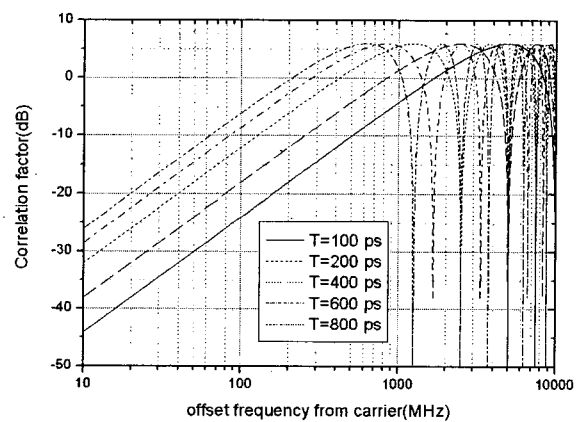


그림 5. LO경로와 송신누설경로의 시간지연차에 따른 위상잡음의 상관계수

Fig. 5. Correlation factor of the phase noise according to the difference of time delay between the LO path and the Tx leakage path.

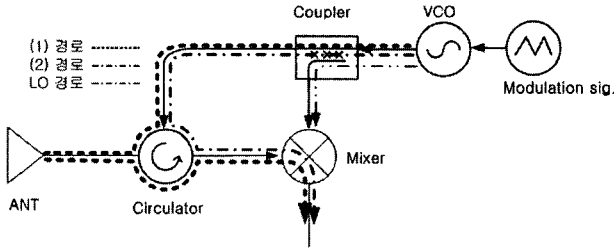


그림 6. 송신 누설 경로  
Fig. 6. Tx leakage path.

여기서,  $L_r$ 은 Mixer까지의 수신단 손실이다.  $P_{N(n)}$ 은 각 누설경로에 의한 부가잡음으로서

$$P_{N(n)} = PN(f) + K_{(n)}^2 + P_{(n)}, (n=1,2) \quad (13)$$

와 같다. 이때,  $K_{(n)}^2$ 는 각 누설경로와 LO 경로에 의한 상관계수이며, 각 누설경로로 인해 Mixer의 RF 포트에 나타나는 누설전력  $P_{(n)}$ 은 다음과 같다.

$$P_{(1)} = P_t - IL_c - IL_{cir\_tx} - \Gamma_A - IL_{cir\_rx} \quad (14)$$

$$P_{(2)} = P_t - IL_c - ISO_{cir} \quad (15)$$

여기서,  $P_t$ 는 VCO의 송신출력,  $IL_c$ 은 Coupler의 삽입 손실,  $IL_{cir\_tx}$ 은 Circulator의 송신 경로 손실,  $\Gamma_A$ 는 안테나의 반사계수,  $IL_{cir\_rx}$ 은 Circulator의 수신 경로 손실,  $ISO_{cir}$ 는 Circulator의 격리도를 말한다.

식 (12)로부터 안테나 입력 단에서의 등가 시스템 잡음 온도  $T'_{SYS}$ 를 역으로 계산하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$T'_{SYS} = T_{SYS} + T_{e(1)} + T_{e(2)} \quad (16)$$

$$T_{e(n)} = P_{N(n)} / (kB), (n=1,2) \quad (17)$$

여기서,  $T_{e(n)}$ 은 각 누설경로에 의한 부가잡음에 대한 등가 잡음온도이다. 식 (10)과 (16)으로부터 MDT를 계산하면 증가한  $T_{e(1)}$ 과  $T_{e(2)}$ 만큼 감도가 떨어지게 됨을 알 수 있다.

#### IV. FMCW 레이더와 동시에 운용 가능한 W-대역 TPR의 설계/제작 및 특성 실험

##### 1. 설계

W-대역 FMCW 레이더와 동시에 사용할 수 있는 송

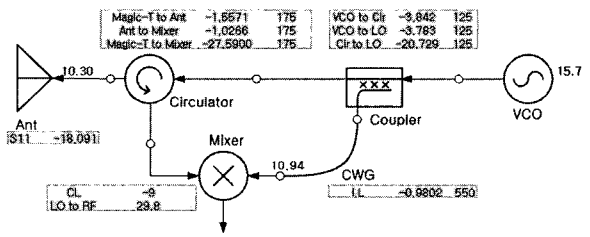


그림 7. 설계된 송수신 장치  
Fig. 7. The designed Tx and Rx parts.

표 3. 송수신 전단부 부품의 특성값  
Table 3. Characteristics of components of the front-end.

특성	수치	특성	수치
$P_T$	15.7	$IL_{cir-tx}$	1.56
$NF_R$	15.4	$IL_{cir-rx}$	1.03
$\Gamma_A$	18	$ISO_{cir}$	27.59
$G_R$	39.9	$IL_c$	3.8

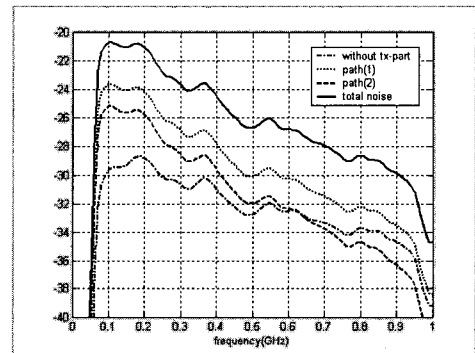


그림 8. 송신부에 의해 부가되는 잡음  
Fig. 8. Noise signals due to the Tx parts.

수신 장치를 설계하면 그림 7과 같다.

그림 7에서와 같이 안테나의 반사계수가 -18 dB이고, Circulator의 격리도가 -27.6 dB로 결정이 되면  $P_{N(n)}$ 은 고정된 값을 가지게 되므로, 송신부에 의한 부가잡음을 줄이기 위해서는 VCO의 누설경로와 LO경로 간의 시간지연차에 의한  $K_{(n)}^2$ 을 줄여야 한다. 이를 위해 LO경로의 지연 시간을 결정하는 도파관(CWG, Customized Waveguide)의 물리적 길이를 조정하여 경로 (1)과 LO경로 간의 시간지연차는 200 ps로, 경로 (2)와 LO 경로 간의 시간지연차는 375 ps까지 줄일 수 있었다. 그 결과 송신부에 의한 부가 잡음은 적용한 VCO의 위상잡음 특성과 각 부품의 특성 값(표 3)을 사용하여 계산하면 그림 8과 같다.

식 (9)와 (16)으로부터 송신부가 없을 때 시스템 잡음 온도  $T_{SYS} = 12,750$  K이고, 송신부가 존재하는 경우의 등가 시스템 잡음 온도  $T'_{SYS} = 79,620$  K이다.

이 경우 레디오미터 성능지수인 MDT = 4.5K에서 송신부가 존재함으로 인해 MDT = 28.15 K로 저하된다. 따라서 송신부로 인하여 시스템 잡음이 증가되어 감도가 떨어지는 문제를 해결하기 위해 고감도 Detector를 설계 한다.

그림 8에서 300 MHz 이하의 대역에서 부가잡음이 더 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 300 MHz 이상의 대역을 Detector의 수신 대역으로 설정하고, 800 MHz 이상은 각종 무선 통신에 의한 영향이 많기 때문에 이를 고려하여 대역에서 제외시킨다. 그림 9에 수신대역에 대한 매칭회로와 전압채배기(voltage doubler) 구조로 설계한 Detector를 나타내었다.

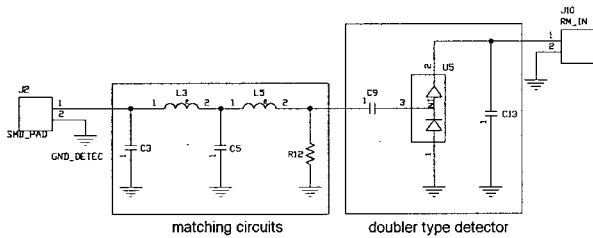
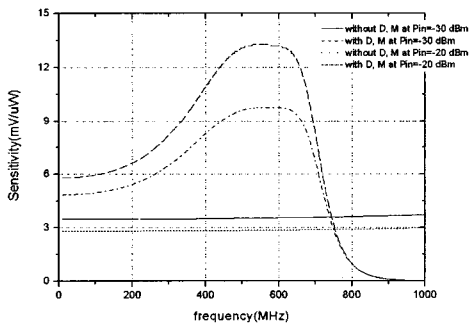
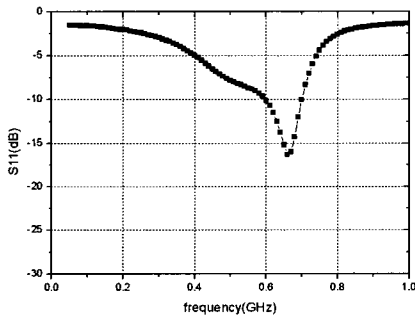


그림 9. 매칭회로와 전압채배기를 사용한 Detector  
Fig. 9. Detector using a voltage doubler and matching circuits.



(a)



(b)

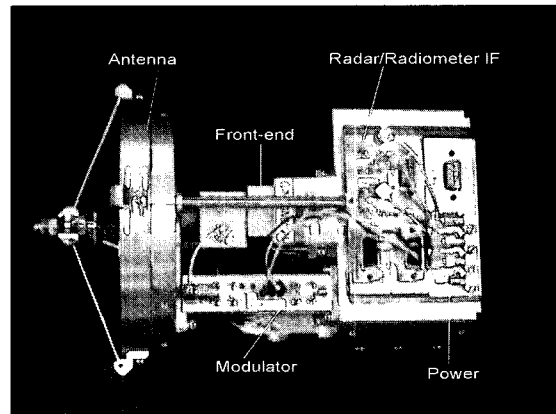
그림 10. 검파기의 시뮬레이션 결과:(a) 감도 특성 (b)반사계수 특성

Fig. 10. Simulation results of the Detector:  
(a) Sensitivity (b) Reflection coefficient.

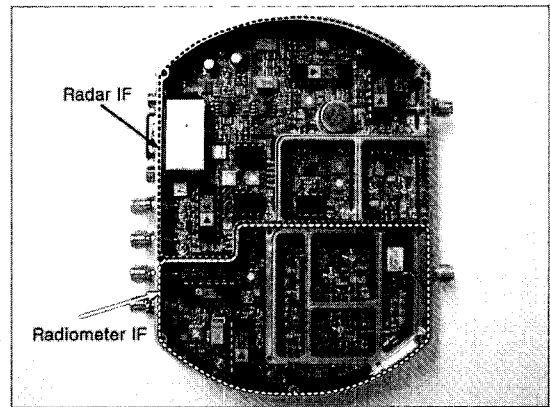
설계된 Detector의 감도 및 반사계수에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 10-(a)에서 입력 전력이 약 -20 dBm 이고 주파수가 약 600 MHz 일 때, 매칭회로와 전압채배기 구조를 사용하지 않은 경우에는 감도가 약 2.87 mV/√W이고, 매칭회로와 전압채배기 구조를 사용한 경우에는 감도가 9.77 mV/√W로 약 3.4 배 개선되는 것을 확인할 수 있고, 그림 10-(b)에서 -4 dB 대역이 약 360~755 MHz임을 알 수 있다.

2. 제작

FMCW 레이더와 TPR 레디오미터가 송수신 장치를 공유하면서 동시에 운용되는 W-대역 밀리미터파 센서의 제작 외형은 그림 11-(a)와 같으며, 안테나는 카세그



(a)



(b)

그림 11. FMCW 레이더와 동시에 운용되는 W-대역 TPR 레디오미터의 제작; (a) FMCW 레이더와 TPR 레디오미터의 외형 (b) FMCW 레이더 IF부와 TPR 레디오미터 IF부

Fig. 11. The fabricated W-band TPR radiometer simultaneously operating with an FMCW radar; (a) The outward shape of the FMCW radar and TPR radiometer (b) IF parts of FMCW radar and TPR radiometer.

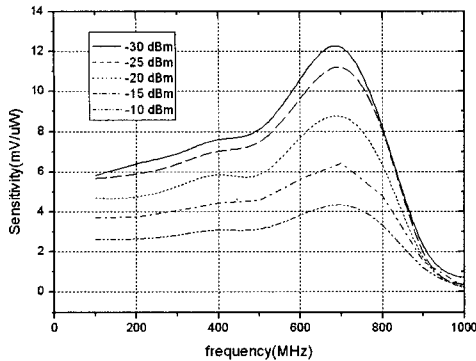


그림 12. Detector의 감도 특성  
Fig. 12. Sensitivity of the detector.

레인 안테나를 사용하고 MMW 송수신 전단부는 도파관 형태의 소자들을 사용하였다. 제작된 레디오미터 IF부는 그림 11-(b)의 선으로 표시된 영역이고, 나머지 부분은 레이더의 IF부이다. 제작된 레디오미터 IF부의 Detector 감도 특성은 그림 12와 같으며 공진점에서 Detector 입력전력이 -20 dBm 일 때 감도가 약 9.8 mV/μW로 설계와 유사하다.

3. 특성 실험 및 결과

FMCW 레이더와 레디오미터가 동시에 운용이 가능함을 확인하기 위해 그림 13과 같이 높이 5.6m의 건물 창문에 제작된 TPR을 설치하고, 건물 앞 운동장에 차량 표적을 거리 200m가 되도록 위치시킨 후 수동으로 스캔하면서 차량 표적을 감지하는 실험을 하였다.

이때의 FMCW 레이더<sup>[11]</sup>와 레디오미터 신호를 동시에 검출한 결과 그림 14와 같다. 그림에서 보듯이 레이더 신호와 레디오미터 신호를 동시에 감지하였으며, 레디오미터의 변화량은 지면과 차량에 대해 약 2.5 V 정도임을 알 수 있다.



그림 13. 실험 장면  
Fig. 13. Test view.

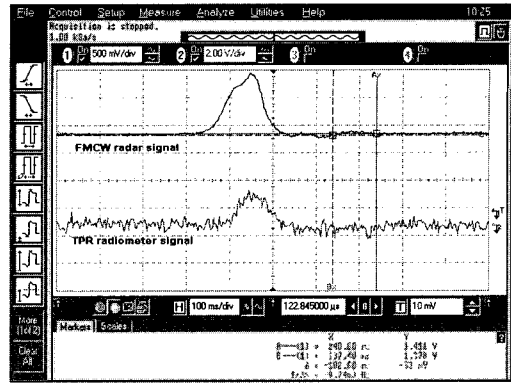


그림 14. 실험 결과  
Fig. 14. Results of the test.

V. 결 론

본 논문에서는 단일 안테나를 사용하는 FMCW 레이더와 송수신 장치를 공유하면서 동시에 운용이 가능한 TPR 레디오미터의 설계에 관한 내용을 다루었다. 일반적인 레디오미터와 달리 송신부가 존재하는 MMW 송수신 전단부를 사용하기 때문에 VCO 누설 경로와 LO 경로 간의 시간지연차 등에 의해 발생하는 부가잡음이 시스템 잡음 온도를 높이고, 이로 인해 레디오미터 성능지수인 최소 감지 가능 온도(MDT)가 송신부가 없을 때 4.5 K에서 송신부가 존재함으로 인해 28.15 K로 저하됨을 확인하였다. 이를 해결하기 위해 약 10 mV/μW의 고감도를 가지는 Detector를 설계하여 감소된 감도를 보상하였다. 제작된 레디오미터는 실험을 통해 거리 200m에 위치한 차량 표적을 레이더와 동시에 감지 가능하고 지면에 대해서 약 2.5 V의 변화량을 가짐을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Darryl Huddleston, James Savage, Bryce Sundston, Byron Belcher, and Doc Ewen, "Radarometer Sensor Simultaneous Active and Passive Imaging Using a Common Antenna", *Proceedings of SPIE; Passive Millimeter-Wave Imaging Technology III*, vol.3703, pp.33-44, April. 1999.

[2] Doc Ewen, Darryl Huddleston, Roger Smith, Byron Belcher, "Flight Test of a MMW Imaging Radarometer", *Proceedings of SPIE; Passive Millimeter-Wave Imaging Technology V*, vol.4373, pp. 22~34. 2001.

- [3] A. K. Arakelyan, "Microwave Doppler-Radar and Radiometer System for Spatial-Time Combined Observation of Targets", *Proceedings of SPIE; In Subsurface Sensing Technologies and Applications II*, vol.4129, pp.535~542, 2000.
- [4] F. T. Ulaby et. al., *Microwave Remote Sensing*, vol. 1, Addison-Wesley, 1981.
- [5] Neils Skou, *Microwave Radiometer Systems: Design & Analysis*, Artech House, 1989.
- [6] G. Evans, C. W. McLeish, *RF Radiometer Handbook*, Artech House, 1977.
- [7] C. R. Seashore, "Millimeter Wave Guidance Application : An Overview", *Proceedings of SPIE; Millimeter Wave Technology II*, vol. 423, pp.66-73.
- [8] Bartia, Bahl, *Millimeter Wave Engineering and Applications*, Wiley & Sons, Inc., 1994.
- [9] James A, Scheer and James L. Kurtz, *Coherent Radar Performance Estimation*, chapter 12, Artech House, Boston, 1993.
- [10] Stan Goldman, "Oscillator Phase Noise Proves Important to Pulse-Doppler Radar Systems", *MSN*, pp.88-100, Feb. 1984.
- [11] 박정동, "지면 클러터 환경에서 금속표적감지를 위한 W-대역 FMCW 레이더의 설계 및 제작", *군사과학기술학회 논문지*, 제 7권, 제 3호, pp. 93-100, 9. 2004.

---

 저 자 소 개
 

---



정 명 숙(정희원)  
 1999년 경북대학교 전자·전기공학부 학사 졸업.  
 2001년 포항공과대학교 전자전기공학과 석사졸업.  
 2001년 ~현재 국방과학연구소 연구원

<주관심분야 : 안테나 및 RF 회로 설계/제작, 레디오미터 시스템>



김 완 주(정희원)  
 1984년 서울대학교 전기공학과(학사)  
 1987년 한국과학기술원 전기및전자공학과(석사)  
 1994년 한국과학기술원 전기및전자공학과(박사)

1987년~현재 국방과학연구소 책임연구원  
 <주관심분야 : 레이더, 레디오미터, 신호처리, 센서융합>