



# 10.525GHz 소형 장거리 도플러 센서 움직임 감지기의 구현

채 상 훈\*

## Implementation of 10.525GHz Small Size Long Distance Doppler Sensor Motion Detector

Sang-Hoon Chai\*

### 요 약

도플러 센서는 온도, 습도, 먼지, 빛 등의 외부환경 영향이 적으며 기존 적외선 제품과 비교하여 신뢰성 있는 감지 성능을 제공한다. 또한 적외선 센서는 칸막이 같은 장벽을 투과하지 못하기 때문에 설치 환경에 제약을 받지만, 도플러 센서는 비금속 제품은 투과함으로써 설치 환경 및 위치의 제약을 적게 받을 뿐만 아니라 안테나 이득을 최적화하면 기존제품보다 감지거리도 늘어난다. 본 연구에서는 10.525GHz의 마이크로웨이브 신호를 사용하는 움직임 감지를 위한 도플러레이더의 구성 요소인 송수신안테나 및 트랜시버 모듈을 소형화하고 최적화 설계를 하여 크기 및 부피를 기존의 제품에 비해 30% 가량 줄임으로써 좁은 공간에서의 장착을 용이하게 하였으며, 잡음 특성 개선을 통하여 도달거리를 30m 이상으로 확장함으로써 기존의 제품에 비해 성능을 개선하였다.

### Abstract

Doppler sensors are less sensitive to external environmental influences such as temperature, humidity, dust, and light, and provide reliable sensing performance compared to existing infrared products. In addition, since the infrared sensor can not penetrate a barrier such as a partition, it is limited by the installation environment. However, since the Doppler sensor transmits a non-metallic product, detection distance increases. In this study, we miniaturized and optimized the transmission / reception antenna and transceiver modules, which are components of the Doppler radar for motion detection using 10.525 GHz microwave signal. It reduced size and volume by 30% compared to conventional products, resulting easy installation in tight spaces. By improving the noise characteristics, the reaching distance is extended to more than 30m to improve the performance compared to the existing products.

### Keywords

doppler, sensors, motion, detector, 10.525GHz, DCO, mixer

\* 호서대학교 전자디스플레이공학부 교수  
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1189-8237>

· Received: Jul. 09, 2019, Revised: Sep. 17, 2019, Accepted: Sep. 20, 2019

· Corresponding Author: Sang-Hoon Chai

Division of Electronic and Display Engineering, Hoseo University  
20, Hoseo-ro 79 beon-gil, Baebang-eup, Asan-si, Chungnam-do, Korea,  
Tel.: +82-41-560-5665, Email: shchai@hoseo.edu

## 1. 서론

도플러(Doppler) 센서를 이용한 모션 감지기는 국내외적으로 개발되어 일부 사용되고 있지만 소형화와 넓은 영역에서의 감지 능력 면에서 아직도 많은 연구 개발이 필요하다. 국내에 출시되어 자동문의 개폐나 복도, 사무실, 주차장의 조명 점멸제어 등에 쓰이고 있는 기존 A사 제품의 크기는  $4 \times 4 \text{cm}^2$  이상이며, 15~20m 이내의 비교적 짧은 감지영역을 갖는다. 따라서 소형화 구조를 통하여 설치 편리성을 확보하고, 감지 거리 확장을 통하여 성능을 향상시킨 보안 경보 장치 및 조명 장치 등에 적용하기 위한 개선된 도플러 센서가 필요하다[1][2].

전파이용기술의 발달로 인해 10.525GHz의 X-대역 도플러 센서를 이용한 교통, 방범, 측정, 감지분야 등 다양하고 광범위한 응용 분야 확대되는 추세에 있다. 도플러 센서는 온도, 습도, 먼지, 빛 등의 환경에 대한 영향이 적으며 기존 적외선 제품과 비교하여 신뢰성 있는 감지 성능 제공한다. 또한 적외선 센서는 칸막이 같은 장벽을 투과하지 못함으로 인하여 설치 환경에 제약을 받지만, 도플러 센서는 비금속 제품은 투과함으로써 설치 환경 및 위치의 제약을 적게 받으며 감지거리도 기존 적외선 제품보다 넓은 지역을 커버한다[3][4].

본 연구에서는 움직임 감지를 위한 도플러레이더의 송수신안테나 및 트랜시버 모듈을 소형화 및 최적화 설계를 통하여 크기를 줄이고 성능을 개선함으로써 좁은 공간에서의 장착을 용이하게 하고 도달거리 등 성능을 개선하고자 하였다.

## II. 움직임 감시기의 구성

도플러 효과는 1842년 Christian Johann Doppler가 발견하였으며, 특정한 파동이 관찰자에 대한 상대 속도에 따라 진동수와 파장이 바뀌는 현상을 말한다. 즉, 송신된 신호가 물체에 의해 반사될 때 도플러 효과에 의하여 주파수가 변하며, 송신부를 기준으로 물체가 다가오면 더 높은 주파수로 변화되고, 멀어지면 더 낮은 주파수로 변화되어 수신된다. 도플러 이론의 식 (1)로 나타내어진다[3].

$$f' = \frac{f_0}{1 - \cos\theta \frac{v}{c}} \approx f_0 + \cos\theta \frac{v}{\lambda} \quad (1)$$

여기서  $f_0$ 는 입력신호의 주파수,  $v$ 는 움직이는 물체의 속도,  $c$ 는 광속도,  $f'$ 는 주파수 변화량,  $\lambda$ 는 입력 신호의 파장이다[2]. 수식을 이용하여 주파수 변화량인  $f'$ 을 계산해 보면, 3m/s의 속도로 걸어오는 사람의 움직임을 X-대역에 해당하는 10.525GHz의 송신 신호를 사용하여 감지해 보면 수신되는 주파수 변화량은 100Hz 부근으로 나타남을 예상할 수 있다. 중간 주파수가 크면 물체의 속도가 빠르고, 중간 주파수가 작으면 물체의 속도가 느리다고 판단된다. 또한 송신부로부터 물체가 다가오면 주파수 변화량은 양의 값을, 멀어져 가면 음의 값을 갖는다. 이를 이용하면 움직이는 물체의 유무뿐만 아니라 방향도 구분할 수 있다.

그림 1은 도플러레이더를 이용한 움직임 감지시스템의 개략도로서 송신신호를 만드는 RF 송신부와 송신신호를 전방으로 송출하는 송신안테나, 사람 또는 사물에 반사되어 돌아오는 신호를 수신하는 수신안테나와 수신신호를 처리하는 수신부로 구성된다.

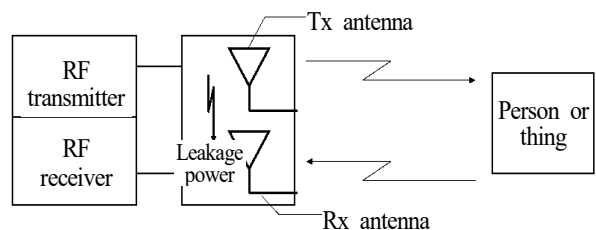


그림 1. 움직임 감지 시스템의 개략도  
Fig. 1. Motion detection system block diagram

## III. 동작감시 센서의 설계 및 제작

그림 2는 개발시스템의 구성도로서 발진기(Oscillator)로부터 발생된 10.525GHz의 마이크로웨이브 신호를 송신안테나(Tx antenna)를 통하여 송출한다. 또한 사람 또는 물체에 의해 반사된 10.525GHz 부근의 신호를 수신안테나(Rx antenna)로 수신한 다음 혼합기(Mixer)를 통하여 원래의 송신신호와 혼합하여 주파수 차이만큼의 중간주파수(IF, Intermediate Frequency)를 만들며, 증폭기를 통하여 증폭한 후 마이크로프로세서를 사용하여 분석함으로써 물체의

움직임을 감지한다. 일반적으로 움직임 감지기는 송수신 안테나를 합쳐서 하나의 안테나 보드를 만들고, 발진기와 혼합기, 앰프를 합친 다음 금속 캔을 씌워 트랜시버 모듈로 만들며, 마이크로프로세서와 주변회로를 모아서 메인 보드를 제작한 다음 세 가지를 합쳐서 하나의 시스템으로 구성한다.

### 3.1 안테나의 설계 및 제작

도플러 레이더를 이용한 움직임 감지기 센서를 제작하는 경우에 안테나의 크기가 전체 센서의 크기를 좌우한다. 본 연구에서는 기존의 안테나 사이즈를 줄이는 설계를 수행하였다. 먼저 양면 PCB 기판 사용 시 배치되는 전면의 접지 공간을 없애는 대신에 4층의 PCB를 사용하여 잡음방지를 위한 접지 면을 내부 2개 층에 배치하여 크기를 줄였으며, 10.525GHz에 매칭된 안테나의 유효길이를 제외한 나머지 패턴들도 가능한 크기를 줄여서 소형화 설계를 하였다.

그림 3은 기존 A사의 상용화된 안테나와 본 연구를 통하여 설계된 안테나를 비교한 것으로써 기존의 안테나는 면적이  $40 \times 46 \text{mm}^2$  인데 비해 본 연구를 통하여 설계된 안테나는  $24 \times 33 \text{mm}^2$ 로 면적을 67%나 줄였으며, 모듈도 안테나 크기로 줄임으로써 센서 전체의 면적과 부피 최소화를 달성하였다.

### 3.2 트랜시버 모듈의 설계 및 제작

트랜시버에서 도달거리를 좌우하는 낮은 잡음 특성을 얻기 위해서는 송신신호(LO frequency)를 발생시키는 발진기와, 송신신호 및 되돌아온 수신신호(RF frequency)를 혼합하여 그 차이를 만드는 혼합기가 최적화되어 제작되어야 한다[5]-[8]. 그림 4는 마이크로파 센서의 구성도이며 안테나를 제외한 나머지 부분을 금속으로 차폐된 모듈형태로 구성하였다.

마이크로파 센서용 발진기는 협대역이면서 X-대역의 출력이 용이한 발진기를 적용하는 것이 적합하다. DRO(Dielectric Resonator Oscillator)는 높은 Q 값을 갖기 때문에 10GHz 이상의 좁은 대역폭을 갖는 협대역 고주파 출력에 유리하다[5][6].

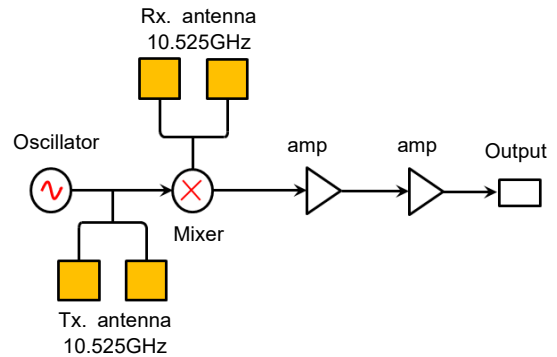


그림 2. 개발 시스템 구성도  
Fig. 2. Developing system block diagram

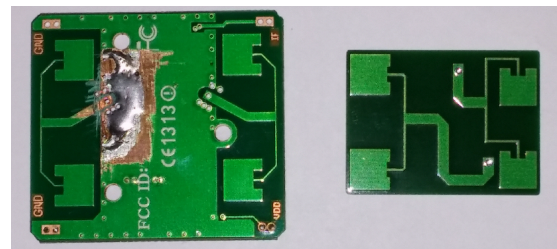


그림 3. 기존 및 제작된 안테나  
Fig. 3. Conventional and developed antenna

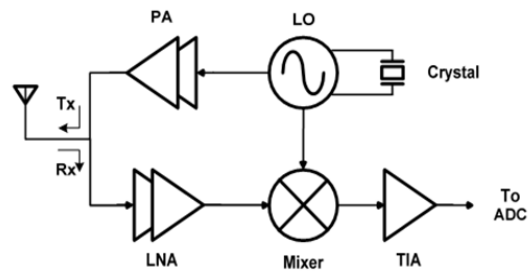


그림 4. 마이크로파 센서모듈의 구성도  
Fig. 4. Block diagram of microwave sensor module

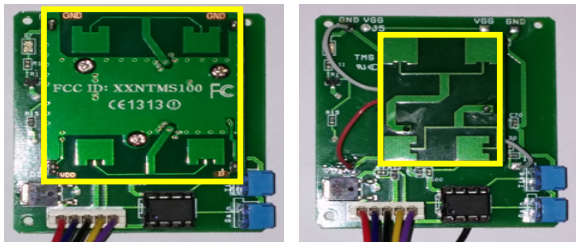
본 연구에서 X-밴드 10.525GHz 송신신호를 발생시키는 발진기는 위상잡음 특성이 우수한 Pulsed Power DRO 칩(I&T사의 IDRX45R10)을 사용하였다.

주파수 혼합기는 송신신호와 물체에 반사되어 되돌아오는 수신신호를 혼합하여 물체의 동작에 대한 정보를 생성하는 수신부의 역할을 수행한다[7][8].

본 연구에서는 동작 감지 센서가 넓은 감지 범위를 얻기 위하여 주파수 혼합기는 빠르고 잡음 특성이 우수한 Schottky Diode 방식의 칩(Skyworks 사의 SMS7621)을 사용하였다. 제작된 모듈은 윗면이  $24 \times 33 \text{mm}^2$ 로 설계된 안테나와 면적이 같으며, 부피를  $24 \times 33 \times 6 \text{mm}^3$ 로 제작함으로써 기존 모듈  $28 \times 40 \times 6 \text{mm}^3$ 에 비해 면적과 부피를 30% 이상 감소시켰다.

### 3.3 움직임 감지센서의 제작

그림 5(a)는 기존의 시스템, 5(b)는 본 연구에 의해 제작된 움직임 감지센서 시스템을 각각 나타낸 것으로 테두리 안쪽 부분이 안테나와 트랜시버 모듈을 포함한 부분이다. 실험의 편의 상 마이크로 프로세서를 포함한 메인 보드는 기존에 사용되고 있는 동일한 제품을 사용하였다. 향후에는 메인 보드도 안테나 크기로 줄일 예정이다.



(a) 기존 시스템 (b) 제작된 시스템

그림 5. 움직임 감지기

Fig. 5. Motion detection system, (a) Conventional system, (b) Implemented system

### IV. 측정 및 분석

제작된 움직임 감지기 센서에 대하여 각종 전기적 특성을 측정을 통하여 기존의 제품과 비교 분석하였다. 그림 6과 7은 송신기의 출력 특성을 각각 측정한 것으로서 출력전력은 8.60dBm과 8.42dBm으로 비슷하게 나타났으나, 잡음에 해당하는 스퍼(Spur) 특성은 본 연구에 의한 제품이 좀 더 양호하게 나타났다. 이는 IC 칩 보드를 포함한 트랜시버 모듈이 잘 제작되었음을 보여준다. 또한 출력 주파수도 기존 제품은 10.497GHz로 약간의 오차가 있었으나, 본 연구에 의한 제품은 DCO를 사용하였기 때문에 10.525GHz로 정확하게 동작하였다.

그림 8과 9는 10.525GHz에 대한 안테나의 리턴로스(return loss) 특성을 측정한 것으로서 기존 제품이 -17.68dBm인데 비해 본 연구에 의한 제품은 -32.18dBm으로 나타나 매우 우수한 특성을 나타내었다. 이는 본 연구에 의한 안테나가 기존 제품에 비해 더 잘 최적화 설계되었음을 보여준다.

전체 시스템의 동작을 확인하기 위한 실제 상황에서의 측정도 진행하였다. 전압 조절 발진기가 출력하는 10.525GHz LO 신호를 송출하여 인체가 움

직일 때 반사되어온 RF 신호를 수신하여 시스템에서 IF 신호가 생성되는지를 확인하였다.

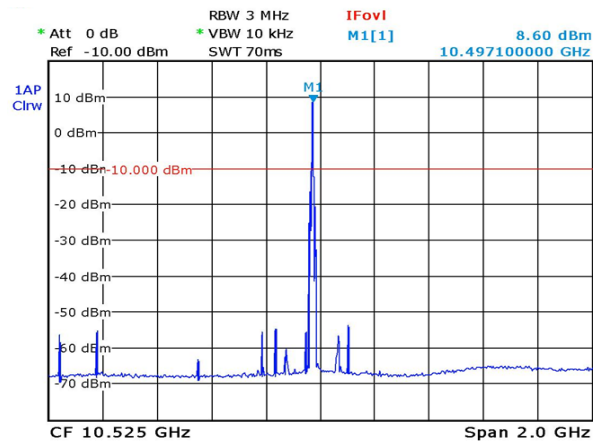


그림 6. 기존 발진 및 증폭기 모듈의 TX 출력 특성  
Fig. 6. TX output characteristics of conventional oscillation and amplification module

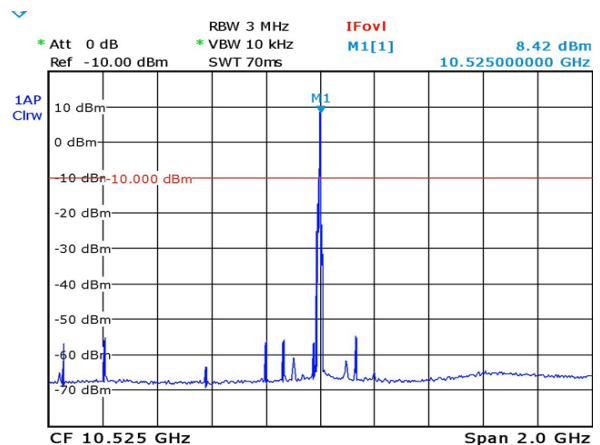


그림 7. 제작된 발진 및 증폭기 모듈의 TX 출력 특성  
Fig. 7. TX output characteristics of implemented oscillation and amplification module

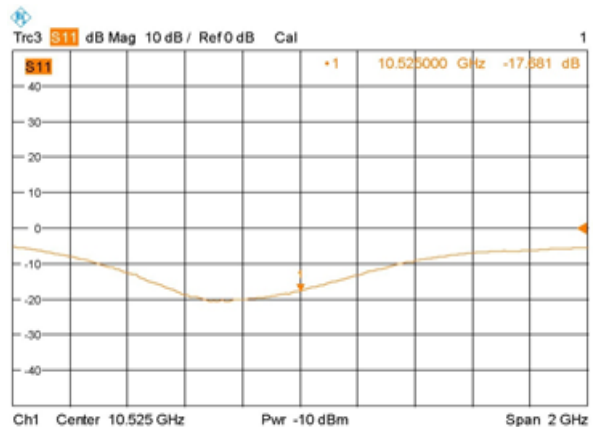


그림 8. 기존 시스템의 안테나 리턴 로스 특성  
Fig. 8. Return loss characteristics of conventional system

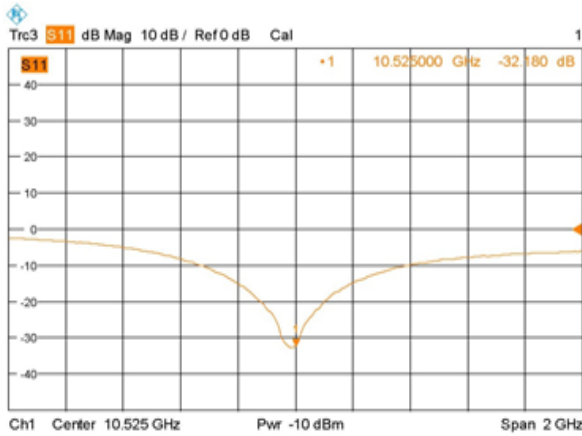


그림 9. 제작된 시스템의 안테나 리턴 로스 특성  
Fig. 9. Return loss characteristics of implemented system

그림 10과 11은 시스템 출력 신호인 IF 신호를 나타낸 것이다. 두 그림에서 왼쪽은 움직임이 없을 때 즉, 대기 시에 출력되는 IF 신호이며, 오른쪽은 움직임이 있을 때, 즉, 움직임 감지 시의 각 시스템

에서 출력되는 IF 신호이다.

특히 움직임 미 감지 시에 나타나는 순수 잡음 특성은 RF 무선시스템의 도달거리 및 움직임 감지 성능을 크게 좌우하므로 매우 중요한 특성에 해당한다. 두 제품의 IF 출력 파형은 움직임 감지 시는 비슷한 동작 특성을 보였으나, 움직임 미 감지 시의 잡음 특성은 본 연구에 의한 제품이 더 양호하게 나타났다. 이는 본 연구에 의한 안테나와 트랜시버 모듈이 기존 제품에 비해 잡음방지 특성 면에서 개선되었음을 보여준다.

그림 12는 제작된 움직임 감지기로 필드에서 보행자의 움직임을 감지하여 시스템의 입출력 특성, 감지거리, 잡음 특성들을 시험하는 사진이다. 페이딩(Fading) 현상에 의한 잡음 효과 등을 부여하기 위하여 길이 40m의 지하 주차장을 선정하여 시스템을 배치한 다음 1m 단위의 해상도로 보행자의 움직임을 감지하는 실험을 수행하였다.

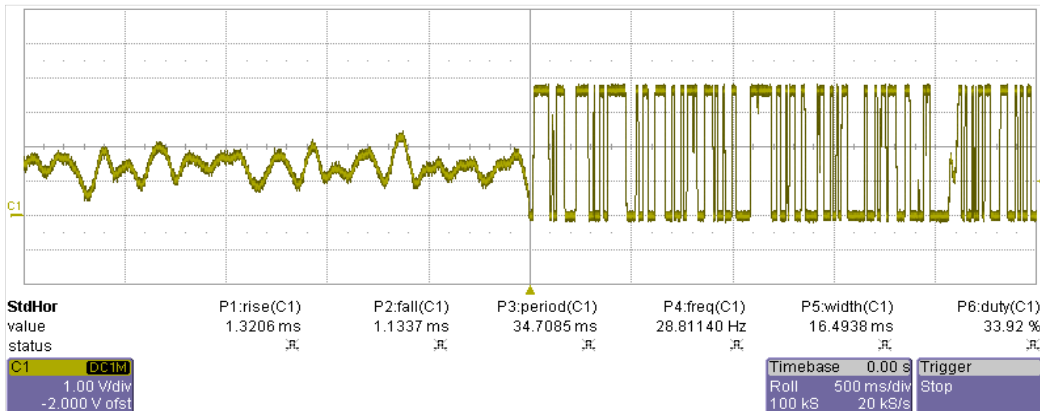


그림 10. 기존 시스템의 IF 출력 특성  
Fig. 10. IF output characteristics of conventional system

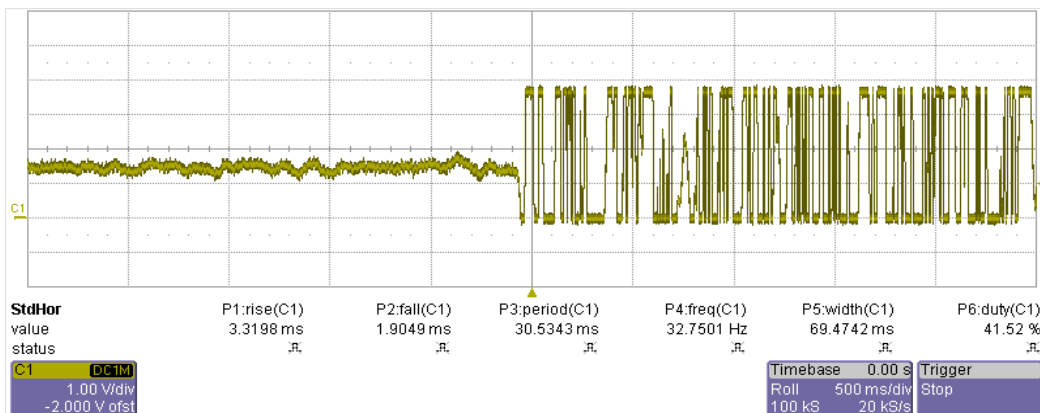


그림 11. 제작된 시스템의 IF 출력 특성  
Fig. 11. IF output characteristics of implemented system



그림 12. 제작된 시스템의 필드 테스트  
Fig. 12. Implemented system field test

테스트 결과 기존 제품은 시스템에서 보행자까지의 거리가 20m 전후까지 감지하는데 비해 본 연구에 의한 제품은 최대 29m 전후로 30m에 가까운 거리까지 감지함으로써 30% 가량 개선됨을 알 수 있었다.

표 1. 움직임 감지센서의 성능  
Table 1. Motion sensor performances

| Test Item        | Unit            | Conventional | This Study | Improvement |
|------------------|-----------------|--------------|------------|-------------|
| Using Frequency  | GHz             | 10.525       | 10.525     | -           |
| Output Power     | dBm             | 15.5         | 15.5       | -           |
| Antenna Size     | mm <sup>2</sup> | 40×46        | 24×33      | 67%         |
| Module Size      | mm <sup>3</sup> | 28×40×6      | 24×33×6    | 30%         |
| Return Loss      | dBm             | -17.68       | -32.18     | 14.5dB      |
| Detection Length | m               | 15~20        | 25~30      | < 30%       |

표 1은 제작한 움직임 감지기와 기존 제품을 비교 측정한 결과로써 주파수와 출력 전력은 법적인 규격이므로 그대로 사용하였으나, 안테나를 포함한 센서 크기를 획기적으로 줄이고 감지거리도 대폭 개선하였다.

## VI. 결 론

도플러 센서는 온도, 습도, 먼지, 빛 등의 외부환경 영향이 적으며 적외선 제품과 비교하여 신뢰성 있는 감지 성능 제공한다. 또한 비금속 제품을 투과함으로써 설치 환경 및 위치의 제약을 적게 받으며 더 넓은 지역을 커버할 수 있다.

본 연구에서는 움직임 감지를 위한 도플러레이더

의 송수신안테나 및 트랜시버 모듈을 소형화하고 최적화 설계를 함으로써 기존의 제품에 비해 전체 크기를 30% 이상 줄여서 좁은 공간에서의 장착을 용이하게 하였다. 또한 안테나와 트랜시버 모듈의 잡음 특성 개선을 통하여 도달거리도 30% 가량 개선하였다. 본 연구에 의한 도플러레이더를 움직임 감지기에 적용하면 크기는 줄고 도달거리는 확장된 우수한 성능의 움직임 감지센서를 구현할 수 있다.

## Acknowledgment

본 연구를 위하여 도움을 주신 (주)블루웨이브텔에 진심으로 감사드립니다.

## References

- [1] Han-Byul Choi, Jea-Joon Kim, Yound-Il Seo, Ill-Keun Rhee, and In-Sik Choi, "A study on the identification of the moving objects using Doppler effect", Proceedings of KIIT summer conference, pp. 183-188, Jun. 2009.
- [2] Tae-Jin Kim and Young-Chul Rhee, "Implementation of the Microwave Doppler Sensor", Proceedings of KICS summer conference, pp. 1999-2000, Jun. 2009.
- [3] Tae-Jin Kim, "Implementation of microwave sensor using Doppler effect", Journal of KIEC, Vol. 4, No. 2, pp. 75-81, Jun. 2009.
- [4] Jae-Hyuk Youn, Kwan-Soo Kim, Hoon-Gee Yang, Young-Seek Chung, Won-Woo Lee, and Kyung-Bin Bae, "Range-Doppler based Method to detect moving targets with unknown velocities", Proceedings of KICS summer conference, pp. 1238-1239, Jun. 2010.
- [5] Jong-Tae Kim, Sang-Bo Min, Young-Chul Rhee, and Sang-Gi Byun, "A design of high stability PL-DRO in Ku band", Proceedings of KICS summer conference, pp. 1277-1280, Jul. 1999.
- [6] Jae-Young Lee, Shrestha Bhanu, Jei-young Lee, Sun-Jin Kim, Nam-Young Kim, Sang-Hoon Jeon, and Sang-Dae Moon, "An extremely low phase

noise x-band DRO using InGaP/GaAs HBT technology", Proceedings of KICS autumn conference, pp. 1557-1560, Nov. 2004.

[7] Sung-Min Park and Sang-Hoon Chai, "Design of Self Oscillating Mixer for Motion Detection Sensor", Proceedings of IEIE autumn conference, pp. 32-33, Nov. 2014.

[8] Ju-Heun Lee and Sang-Hoon Chai, "Design of 10.525GHz self-oscillating mixer using p-core voltage controlled oscillator", Journal of KIIT. Vol. 16, No. 11, pp. 61-68, Nov. 2018.

## 저자소개

채 상 훈 (Sang-Hoon Chai)



1981년 2월 : 경북대학교  
전자공학과(공학사)

1983년 2월 : 부산대학교  
전자공학과(공학석사)

1992년 2월 : 부산대학교  
전자공학과(공학박사)

1983년 3월 ~ 1997년 8월 :

한국전자통신연구원 반도체 연구단 책임연구원  
2004년 9월 ~ 2006년 8월 : University of Florida  
연구교수

1997년 9월 ~ 현재 : 호서대학교 전자공학과 교수  
관심분야 : RF 아날로그 ASIC 설계, 5G 안테나 시스템,  
전력소자, 태양전지