

# K대역 마이크로파 움직임 감지 센서를 이용한 에너지 절감형 LED 모듈 개발

## Development of a Energy-saving LED module Using K-band Microwave Motion Detecting Sensor

김 호 운\*, 우 동 식\*

Howoon Kim\*, Dong Sik Woo\*

### Abstract

In this paper, we propose a energy-saving LED module using K-band microwave motion detecting sensor. To oscillate K-band microwave signal, An oscillator using a hairpin-type microstrip resonator was designed to increase stability and make fabrication easier. To radiate the microwave signal, a two-channel(TX/RX) patch antenna arrays was developed. Wilkinson power divider and ring hybrid mixer were developed and applied to obtain Doppler shift from the received signal. Shield cans were installed to protect the stability of the signals and unwanted external noise. The proposed motion detection sensor was mounted on a demonstration LED module and the energy saving performance through pre-test was verified.

### 요 약

본 논문에서는 실외용 움직임 감지에 적합한 K대역 마이크로파 움직임 감지 센서를 활용한 에너지 절감형 LED 모듈을 제안하였다. 헤어핀 형태의 마이크로스트립 공진기를 이용한 발진기를 설계하여 안정성을 높이고 제작이 쉽도록 하였다. 신호의 방사를 위해 송수신 2채널 패치 배열 안테나를 개발하여 적용하였다. 수신된 신호로부터 도플러 천이 값을 획득하기 위해 윌킨슨 전력분배기 및 링 하이브리드 혼합기를 개발하여 적용하였다. 신호의 안정성 및 원치 않는 외부잡음으로부터 보호하기 위해 쉴드 캔을 제작하여 장착하였다. 제안된 움직임 감지 센서를 실증용 LED 모듈에 장착하여 에너지 절감 성능을 모의실험을 통하여 검증하였다.

*Key words* : Motion detecting sensor, K-band, LED module, patch antenna array, microstrip resonator

### 1. 서론

기술적으로 고도화된 현대사회에서 센서의 필요성은 날이 증가하고 있다[1-3]. 물체를 감지한다

는 sense에서 기원한 센서(sensor)는 초기에는 인간의 오감(시각, 청각, 후각, 미각, 촉각)을 인간 대신 수행하는 소자였으나, 현재 인간이 감지할 수 없는 영역(적외선, 레이더, 라이다 등)을 포함한 다

\* Dept. of Aviation Information & Communications Engineering, Kyungwoon University

★ Corresponding author

E-mail : dswoo@ikw.ac.kr, Tel : +82-54-479-1315

Manuscript received May. 21, 2020; revised Jun. 14, 2020; accepted Jun. 16, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

양한 대상을 감지할 수 있는 센서가 개발되어 사용되고 있다[4-5]. 최근 스마트시티나 스마트공장의 수요가 높아짐에 따라 다양한 장소의 중거리 범위에서 발생하는 움직임을 감지하여 전력제어를 함으로써 에너지를 효율적으로 사용하는 지능형 에너지 절감 시스템의 필요성이 점차 증가하고 있다[6-7]. 이러한 시스템의 핵심 부품으로는 중거리까지 감지할 수 있는 중거리 감지용 마이크로파 센서이다. 기존의 움직임 감지 센서는 동작 원리와 사용 방법에 따라 다양한 종류로 분류된다. 국내에서 조명용으로 많이 사용되는 PIR(Passive Infrared Sensor)센서는 감지거리가 짧고, 장애물을 통과하지 못하며 오동작 또한 빈번히 발생하는 단점이 있다. 초음파 센서의 경우 측정 거리가 짧은 경우가 많으므로 중거리 움직임 감지에는 적합하지 않다. 더욱이 감도가 온도변화와 같은 외란(disturbance)에 민감한 경우가 많아 설치 장소가 실외거나 계절 변화의 영향을 많이 받아 많은 어려움이 있었다. 반면 기존 실외용 마이크로파 센서는 유전체 공진기(DR : dielectric resonator)를 사용하여 비교적 가격이 높고, 정확한 위치 장착과 주파수 설정의 단점이 있어 상용화에 많은 어려움이 있었고, 에너지 측면에서도 비용절감이 절실하였다[8-9].

본 논문에서는 기존에 사용되어오던 PIR 센서의 문제점을 개선하고, 안정적으로 동작하며 중거리 실외 LED 보안등에 적용하여 에너지 절감이 가능한 움직임 감지 시스템을 제안하였다. 연속파(CW : continuous wave)를 이용하는 레이더(RADAR) 방식의 마이크로파 움직임 감지 센서를 채택하고, 기존에 사용하던 DR을 마이크로스트립 공진기로 대체하여 크기 및 가격 경쟁력을 개선하였다. 또한 중거리(5~20m) 조명제어용 LED 모듈에 적용 가능성을 실증보드에 장착하여 확인하였다. 제안된 LED 모듈은 지하주차장 스마트 점등 시스템이나 스마트 가로등 시스템과 같은 중거리 에너지 절감형 시스템에 활용하기 위하여, 고안정성과 저가형 모듈을 구현하는데 주안점을 두고 설계하였다.

## II. 본론

### 1. K대역 움직임 감지 시스템 구조

일반적으로 움직임 감지 센서는 목표물의 거리변화를 반사파의 움직임에 의한 도플러 값을 통하여

물체의 근접 혹은 멀어짐을 감지한다. 본 논문에서 구현하고자 하는 움직임 감지 센서의 구조와 주요 사양은 그림 1과 표 1에 각각 나타내었다.

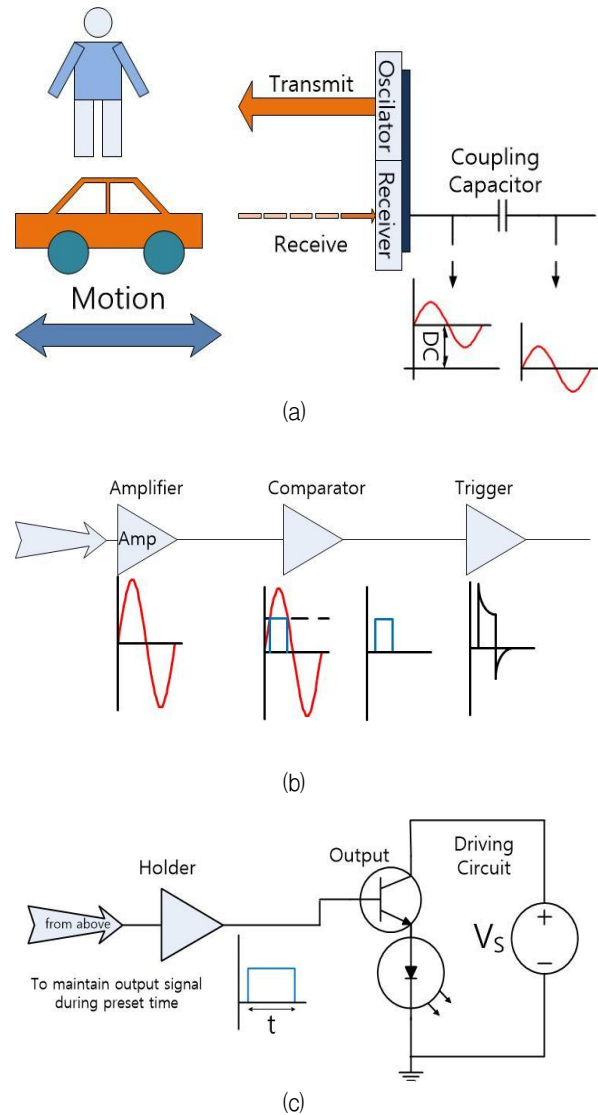


Fig. 1. The structure of K-band motion detecting sensor  
 (a) Microwave transmitting and receiving part  
 (b) IF amplifier and triggering part  
 (c) Signal holding and output part.

그림 1. K대역 움직임 감지 센서의 구조 (a) 마이크로파 송수신부 (b) IF 신호 증폭 및 트리거링부 (c) IF 홀드 및 출력부

제안된 시스템은 이러한 K대역의 마이크로파를 발진기로부터 생성하여 송신 안테나를 통하여 목표물에 방사시키고, 목표물에서 반사된 반사파를 수신 안테나를 통하여 수신하게 된다. K대역에서 송신하는 마이크로파는 정현파 형태의 연속파로서

단속적인 펄스파가 아니기 때문에 움직이는 물체에 반사될 경우 반사된 파동의 진동수가 변하는 도플러 현상이 발생하고 도플러 천이가 발생한 반사된 파동과 원래 파동을 혼합할 경우 움직임에 따른 맥놀이 현상이 나타나고 이를 이용하여 물체의 움직임을 감지회로를 통해 감지할 수 있다.

Table 1. The specification of the K-band motion detecting sensor.

표 1. K대역 움직임 감지 센서의 주요사항

항목	규격	비고
동작거리	10~20m	중거리
출력신호	200uVp-p	IF 출력
	3.3V	디지털 출력
주파수	24.0~24.25GHz	K-band
송신전력	100mW 이하	공중선 절대이득 포함
감지각	80°, 30°	
소비전류	5V, 100mA이하	Tx 기준

CW 발진기가 생성하는 주파수를  $f_0$ 라 할 때, 생성된 주파수는 식(1)과 같이 표현할 수 있다.

$$f_0(t) = V_0 \sin 2\pi f_0 t \quad (1)$$

도플러 현상은 파동을 발산하고 있는 물체가 접근시 주파수가 높아지고 멀어지고 있으면 낮아지는데 감지 대상 물체가 접근하고 있는 경우  $c$ 를 광속, 물체가 감지기에 접근하는 속도를  $v_a$ 라고 할 때 수신 신호는 식(2)와 같이 표현되며, 감지 대상 물체가 이탈하고 있는 경우 물체가 감지기에서 멀어지는 속도를  $v_b$ 로 둘 경우 식(3)과 같이 된다.

$$f_a(t) = V_a \sin 2\pi f_0 \frac{c}{c - v_a} t \quad (2)$$

$$f_b(t) = V_b \sin 2\pi f_0 \frac{c}{c + v_b} t \quad (3)$$

식 (2), (3)에서 알 수 있듯이 물체가 가까워지고 있을 경우는 주파수가 증가하고, 멀어지는 상황에선 주파수가 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 주파수의 변화를 이용하여 물체가 접근 또는 멀어지는 정도를 파악할 수 있으며 물체의 움직임을 감지할 수 있다. 수신된 신호에서 DC 성분은 커플링 회로를 통해 제거하고 증폭과 비교 회로를 통해 유효한 정보를 얻은 경우, 일정시간 동안 출력값을 유지시키는 Hold 회로를 거쳐서 IF출력을 얻는 방식이다.

## 2. K대역 발진기 설계

본 논문에서 제안한 센서의 사용 주파수대역은 24GHz 대역의 K-band 마이크로파 주파수이다. 해당 대역 주파수 발진을 위해 MIC(microwave integrated circuit) 환경에서 비교적 구현이 용이한 헤어핀(hair-pin) 형태의 마이크로스트립 공진기를 설계하였다. 이때 원하는 주파수에서 부정저항(negative resistance)을 얻기 위하여 병렬케환 방식으로 공진부를 설계하였다. K대역의 중거리에서 수신되는 미약한 신호를 통하여 움직임 감지를 정상적으로 하기 위해서는 발진기의 낮은 위상잡음이 중요하다. K대역에서 양호한 부정저항을 가지며 비교적 저렴한 제품으로 NEC의 초저잡음 이중접합 전계효과 트랜지스터(super low noise HJ FET) NE3210S01을 선택하여 설계하였다.

그림 2는 NE3210S01의 비선형 모델의 회로도이다. S01 패키지의 기생 커패시터( $\sim 0.04\text{pF}$  이하)와 소스 직렬저항( $0.06\Omega$ )은 매우 낮은 수준으로 손실을 최소화 하도록 패키징되어 있음을 알 수 있다. 발진기의 비선형 모델을 사용하여 비선형 해석을 통해 발진기의 출력 전력과 고조파 신호의 전력레벨 및 위상잡음 특성을 확인하였다.

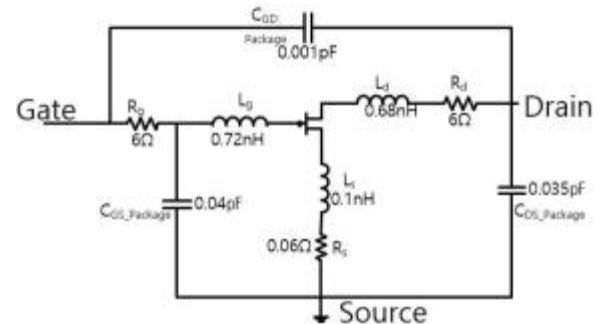


Fig. 2. The schematic diagram of NE3210S01 nonlinear model. 그림 2. NE3210S01의 비선형 모델 회로도

모의해석에 사용된 시뮬레이션 툴은 Keysight사의 ADS(advanced design system)이며, 비선형 해석을 위해 harmonic balance 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3는 발진기의 출력 스펙트럼과 위상잡음 특성을 나타내었다. 그림 3에서 알 수 있듯이 약 24GHz에서 +9dBm의 출력을 나타내었으며, 2차 하모닉 주파수의 전력은 대략 -30dBc 정도로 낮게 나타났다. 출력단에 저역통과 여파기 특성을 가지도록 개방 스테리브를 추가하여 2차 및 3차 하모닉

성분을 추가적으로 억압 하도록 하는 구조를 사용하였다. 모의해석된 위상잡음은 100kHz 오프셋 주파수에서  $-120\text{dBc}/\text{Hz}$  정도로 낮게 나왔다. 이는 비선형모델의 이상적인 조건에서 모의해석된 값으로 실제로는 전원잡음 등 기타 잡음과 공진기의 낮은 양호도(quality factor)로 인하여 열화될 것으로 판단된다.

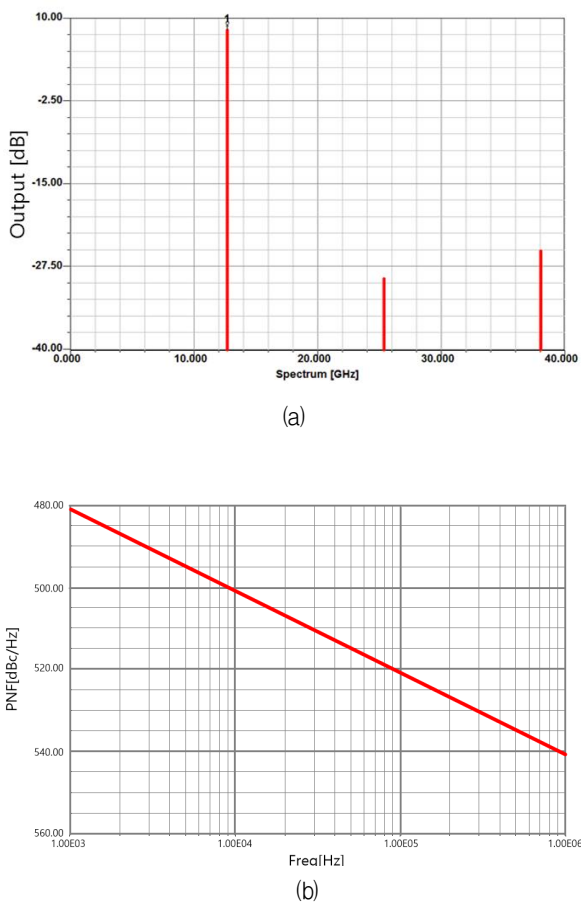


Fig. 3. The simulation result of microstrip oscillator.

(a) Output spectrum (b) Phase noise characteristics.

그림 3. 발진기의 출력 스펙트럼과 위상잡음 특성

(a) 출력 스펙트럼 (b) 위상 잡음 특성

### 3. 전력 분배기 및 혼합기 설계

발진기에서 출력된 신호는 전력을 분배하여 송수신 단으로 분리하여 도플러 주파수를 측정할 필요가 있다. 이를 위해 윌킨슨 전력 분배기(Wilkinson power divider)를 제작하였다. 윌킨슨 전력 분배기는 제작이 간단하고 각 포트가 정합되어 있어 격리도가 높은 특징이 있어 마이크로파 센서의 송수신 신호 비교를 위한 전력분배에 가장 많이 사용되고

있다. 포트 격리를 위해 사용된  $100\Omega$  저항은 IMS사의 0302 크기의 thick film 저항이다. 제작된 전력 분배기는 그림 4와 같으며 측정 결과 대역폭 3GHz 내에서 삽입 손실은 4.4dB, 격리도는 20dB 이상으로 측정되었다. 수신 안테나에서 수신된 신호는 혼합기에서 송신신호와 혼합되어 도플러 주파수 차이만큼의 IF신호를 발생시킨다. 이때 사용된 혼합기는 링 하이브리드와 쇼트키 다이오드를 이용하여 혼합기를 설계하였다. 이때 사용된 다이오드는 skyworks사의 SMS7621-060 low-barrier 실리콘 다이오드 이다. LO 전력이 대략 +2dBm 조건에서 측정된 변환손실은 약 9.2dB로 비교적 양호하였다.

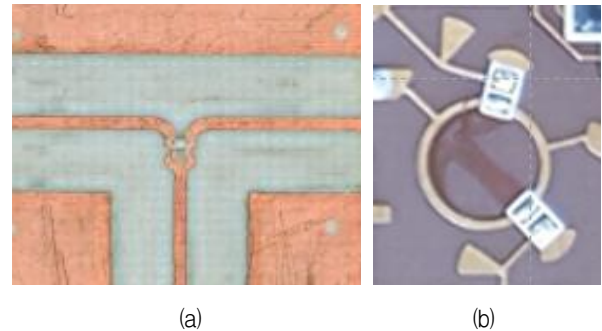


Fig. 4. fabricated circuits (a) power divider (b) ring mixer.

그림 4. 제작된 회로 (a) 전력분배기 (b) 링 믹서

제작된 움직임 감지 센서의 정확한 동작과 잡음의 영향을 막기 위해 두께 1mm의 AISnNi 합금된 쉴드캔을 제작하여 센서 위에 부착하였다.

### 4. 패치 배열 송수신 안테나 설계

신호의 공중으로의 송수신에 사용된 송신 및 수신 안테나는 inset 형태의 4개의 패치로 구성된  $1 \times 4$  배열 안테나를 각각 설계하여 제작하였다. 안테나 제작에 사용된 기판은 ROGERS사의 RO4003이며 기판의 두께는 0.3mm, 비유전율은 3.38, 1/2온스의 동박 두께를 가지며 손실 탄젠트는 0.0027이다. 그림5는  $1 \times 4$  패치 배열 안테나의 모의해석으로 얻은 3차원 방사패턴이다. 모의해석에 사용된 3D 시뮬레이션 툴은 CST사의 Microwave Studio이다. 모의해석 결과 24GHz 대역에서 반사손실이 10dB 이상이며, 안테나 이득은 10dBi, 3dB 반전력 빔폭은 수직(vertical) 방향으로  $35^\circ$ , 수평(horizontal)면  $80^\circ$ 이었으며, 부엽레벨(SLL)은  $-10\text{dB}$  이하이다. 전면

회로부와 안테나 기관간 신호 연결은 비아(Via)홀을 이용하여 안테나부와 RF부를 연결하였다.

다. 측정 결과 10m 거리에서 고속으로 접근하면서 접근 속도를 급격히 줄여 정지한 사람의 움직임을 성공적으로 감지하여 높은 주파수의 구형파에서

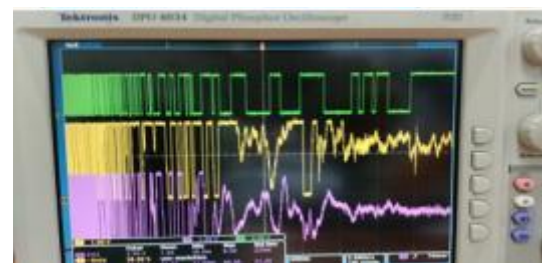
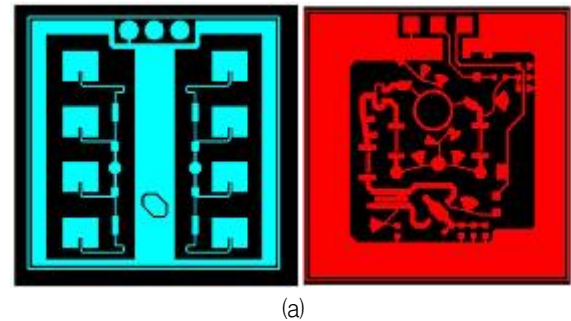
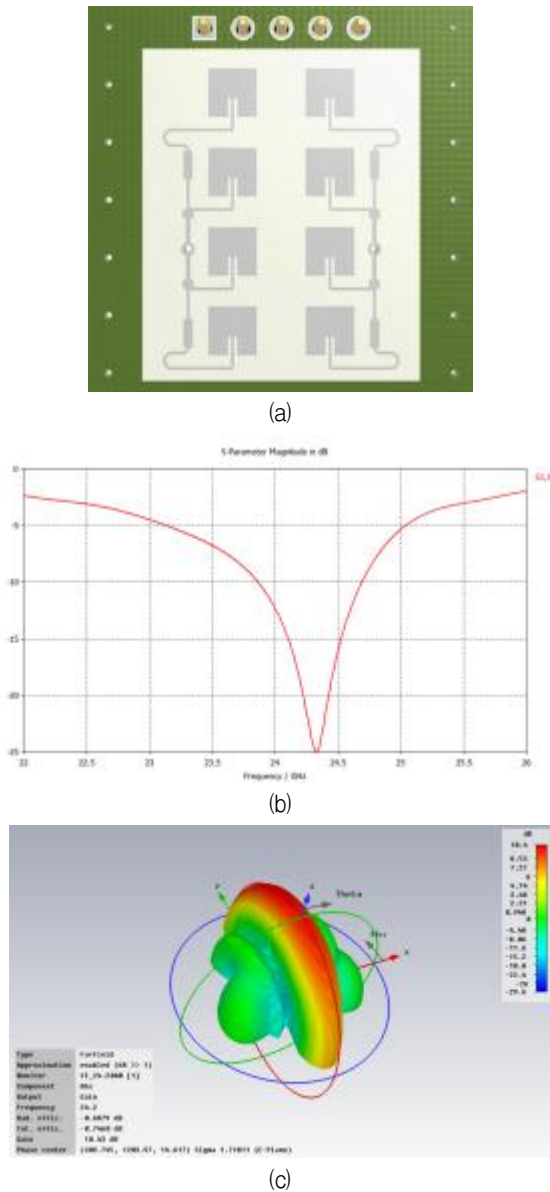


Fig. 5. Patch antenna arrays (a) layout (b) simulated S-parameter (c) simulated 3D radiation pattern.  
 그림 5. 패치 배열 안테나 (a) 레이아웃 (b) 모의해석된 산란계수 (c) 모의해석된 3차원 방사패턴

Fig. 6. Fabricated motion detecting sensor (a) layout (b) fabricated picture (c) mounted on LED module (d) output signal.

그림 6은 설계된 움직임 감지 센서의 전체 레이아웃과 제작된 센서의 실물 사진, 그리고 LED 실증보드에 장착된 센서의 사진이다. 제작된 움직임 감지 센서의 크기는  $20 \times 20 \text{ mm}^2$ 이며, LED 실증 보드는 대략  $200 \times 80 \text{ mm}^2$  정도이다. 물체의 움직임 감지에 따른 조명 밝기 제어를 위한 펌웨어를 수정하고, 측정을 위한 모의 환경을 구축하고 IF출력을 인터페이스용 프로세스 보드에 연결하여 측정하였

그림 6. 제작된 움직임 감지 센서 (a) 레이아웃 (b) 제작된 사진 (c) LED 모듈에 장착된 센서 (d) 출력파형



최종적으로 움직임이 없을 때 DC 파형까지의 움직임 오실로스코프로 그림 6(d)와 같이 측정할 수 있었다. 움직임이 있을 경우 90~100% 전력으로, 움직임이 없을 경우 20~30%의 전력으로 밝기가 조절되도록 설정 하였고, 모의실험 결과 움직임에 따른 설정된 밝기로 변화됨을 확인하였다. LED 조명의 밝기 제어를 통한 실질적 비용 절감은 실증 테스트 진행 중에 있으며, 약 30%의 에너지 절감효과가 기대된다.

### III. 결론

본 논문에서는 K대역에서 동작하는 마이크로파 움직임 감지 센서를 개발하고, 이를 LED 모듈에 적용한 에너지 절감형 지능형 조명시스템을 제안하였다. 제작된 움직임 감지 센서는 24GHz 대역의 주파수에서 송신전력이 100mW이하, 소모전류가 100mA 이하가 되도록 하였다. 송수신 안테나는 수직 및 수평 방향 빔폭이 각각 80°, 30° 정도의 감지 범위를 가졌다. 움직임의 감지는 최종 IF출력 파형에 따라 LED의 밝기를 제어하도록 하여 전체 소모 전력을 제어할 수 있음을 확인하였다. 제안된 모듈은 KC인증을 거쳐 기존의 PIR 센서를 대체하여 에너지 절감형 중거리 실외 보안등 및 스마트 움직임 감지 응용 시스템 등 활용 범위가 넓을 것으로 판단된다.

### References

[1] Großer, V., Heydenbluth, D., Moos, R., etc., "Sensor Trends 2014: Trends in future-oriented Sensor Technology," *Association for sensors and Measurement (AMA)*, 2014.

[2] Ho-Seek Choi, Woo-hyen Kwon, "Air Conditioner Energy Saving through Performance Index and Dynamic Power Distribution Control in Air Conditioner Network System using Wireless Sensor," *Journal of the Institute of Electronics and Information*

*Engineers*, Vol.56, No.2, pp.93-101, 2019.

DOI: 10.5573/ieie.2019.56.2.93

[3] Kang Wook Kim, "Implementation of A Dielectric-Resonator Oscillator for the Microwave Radar Sensor Applications," *The Korean sensors Society*, Vol.12, No.4, pp.185-190, 2003.

DOI: 10.5369/JSST.2003.12.4.185

[4] Kyung-Ae Cha, "A Development of SNS Application for Location based Information Sharing using Smartphone," *J Korea Industr Inf Syst Res*, Vol.18, No.6, 2013. DOI: 10.9723/jksis.2013.18.6.001

[5] Lee, J. "Frequency Response Analysis on PCB in Dual Resonant Cavity by Using Stochastic and Topological Modeling," *The Proceedings of the Korea Electromagnetic Engineering Society*, Vol.25, No.5, 2014.

DOI: 10.5515/KJKIEES.2014.25.9.919

[6] Sangjoon Jung, Younky Chung. "A Monitoring System for Working Environments Using Wireless Sensor Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.12, No.10, 2009.

[7] Se Hyun Park, Kyo Min Ku, and Kyeong-Ju Ha, "Mobile Information System using Zigbee Technology," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research* Vol.19, No.2, 2014.

DOI: 10.9723/jksis.2014.19.2.067

[8] Young Chul Lee, "Wide Band Microstrip line-to-Rectangular Waveguide Transition Using a Radial Probe for Millimeter-wave Applications," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research* Vol.20 No.1, 2015.

DOI: 10.9723/jksis.2015.20.1.043

[9] Yu Byeonggu, Kwon Sunwook, and Kim Jusung, "Development of Obstacle Recognition System Using Ultrasonic Sensor," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol.22 No.5, 2017.

---

**BIOGRAPHY**

---

**Howoon Kim** (Member)

1995 : BS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

1998 : MS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2004 : PhD degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2019~ : Professor, Dept. of Aviation Information & Communications Engineering, Kyungwoon University

**Dong Sik Woo** (Member)

2002 : BS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2004 : MS degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2013 : PhD degree in Electronics Engineering, Kyungpook National University.

2016~present : Professor, Dept. of Aviation Information & Communications Engineering, Kyungwoon University