

# 구조가 간단한 마이크로파 센서 개발

## Development of Simple Structure Microwave Sensor

鄭 焯 元\* · 李 載 珍\*\* · 丘 庚 完†

(Soon-Won Jung · Jae-Jin Lee · Kyung-Wan Koo)

**Abstract** - The microwave sensor in which the sensitivity was excellent and a structure is simple was developed and it manufactured. And the sensing range that uses the developed product was confirmed. When the developed microwave sensor was set up in the ceiling of a building, we confirmed that the amplitude of the sensitive area increased as the tilting angle was enlarged. The sensitive area became a greatest in case the tilting angle was 65 degree. According to the height of a ceiling, because the sensing range is determined, in case of using in the building in which the height of a ceiling is enough secured it is determined to secure the more wide sensitive area. Moreover, the configuration of the circuit having the simple structure makes the miniaturization of a product, and the light weight possible. It is considered to have the price competitive power which it reduces the manufacturing cost, is sufficient.

**Key Words** : Microwave Sensor, Photon Detector, Thermal Detector, Doppler Effect, Passive Infrared Sensor

### 1. 서 론

물체의 움직임을 감지하는 이동물체 식별용 센서로는 적외선 센서, 초음파 센서, 마이크로파 센서 등이 많이 사용되고 있다<sup>[1-3]</sup>. 이러한 움직이는 물체를 식별하는 센서는 침입 경보기, 자동문, 남성용 소변기, 조명, 자동차 후방 물체 감지기 등 일상 생활에서 여러 가지 형태로 적용되어 사용되고 있다. 또한, 상기의 센서들은 그 작동 원리가 각각 구별되며 응용에 있어서도 차이가 있어 일부 보안시스템에서는 상기와 같이 다양한 이동물체 식별용 센서를 동시에 적용함으로써 오차율을 낮추기도 한다. 적외선 센서는 주변에서 방사되는 열을 감지하여 전기적인 신호로 변환시키는 센서이다. 따라서 일종의 변환기(transducer)라 할 수 있으며, 검출 원리에 따라 광 검출기(photon detector)<sup>[4-6]</sup>와 열 검출기(thermal detector)<sup>[7-8]</sup>로 나뉜다. 광 검출기는 반도체 재료로 제작되는데, 입사되는 적외선이 에너지 밴드 갭(energy band gap)보다 큰 에너지를 가질 경우 적외선 입사에 의해 가전자대(valence band)의 전자가 전도대(conduction band)로 여기되면서 EHP(electron-hole pair)가 형성되어 검출기의 전기적 특성이 변화하는 것을 이용한다. 열 검출기는 목표물로부터 입사되는 적외선에 의해 물질의 온도가 상승함으로써 유발되는 물성의 변화를 감지하는 원리를 이용한다. 초음파 센서는

인간의 귀로 들을 수 없는 40-250 kHz 대역을 갖는 단일 주파수 초음파 펄스를 송신한 후, 물체에 반사된 동일 주파수의 초음파 신호를 감지하여 물체의 존재 및 거리를 계산하는 센서이다. 더욱 상세하게는, 두께 2-3 μm의 진동막에 전압을 가하면 초음파가 발생하고 물체에 부딪혀 반사되어 되돌아오는 초음파를 다시 이 진동자에 의해 감지하면, 물체까지의 거리가 멀수록 반사되어 되돌아오는 기간이 길어지기 때문에 물체까지의 거리를 계산할 수 있는 것이다. 일 예로는 자동차 후방감지센서로 적용되고 있으며, 물속에서 해저 물체 식별장치에도 이용된다. 마이크로파 센서는 마이크로파를 송신한 후 해당 신호의 반사파를 감지하는 것으로서 도플러 효과에 의하면 마이크로파의 반사체가 송신원으로부터 가까워지거나 멀어지면 그 속도에 비례하여 반사파의 주파수가 변한다는 원리를 이용하여 주파수를 감지하는 것이다. 감도의 측면에서 보면 적외선 센서는 열을 발산하는 물체의 열을 감지하는 수동형이므로 감도는 센서의 수신부에서 결정되나, 초음파 및 마이크로파 센서는 수신부의 감도뿐 아니라 송신부의 송신전력이 커질수록 감도가 좋아지므로 감지수단의 성능을 향상시킬 경우에는 초음파 센서 및 마이크로파 센서를 적용함이 바람직하다. 구조적인 측면에서 보면 수신전용인 적외선 센서의 구조가 가장 간단하여 저가형으로 많이 채택되고 있다. 그러나, 주변의 온도와 이동체의 온도차를 감지하는 적외선 센서는 주위 환경에 따라 많은 오차가 발생할 수 있다는 문제점이 있었다. 좀 더 향상된 성능을 갖는 감지수단인 초음파 센서는 복잡한 구조로 저가의 소비자 시장에 응용하기에는 적합하지 않는 문제점이 있었다. 따라서, 본 논문에서는 상술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해 감도는 향상된 성능을 유지하면서도 간단한 구조로 가격을 최소화하여 제품의 경쟁력을 최대화한 마이크로파 센서를 개발하였으며, 그 결과에 대하여 기술한다.

\* 正 會 員 : ETRI 융합부품·소재연구부문 Post-Doc. · 工博

\*\* 正 會 員 : (주) 텔트론 代表理事 · 理博

† 교신저자, 正 會 員 : 湖 西 大 學 校 國 防 科 學 技 術 學 科 副 教 授 · 工 博

E-mail: alarmkoo@hoseo.edu

接受日字 : 2008年 6月 4日

最終完了 : 2008年 6月 24日

## 2. 마이크로파 센서

### 2.1 기존의 마이크로파 센서 기술

그림 1은 기존기술에 의한 마이크로파 센서의 기능부를 개략적으로 나타낸 블록도이다. 그림에서 나타낸 것과 같이, 기존기술에 의한 마이크로파 센서는 주파수범위에 따른 초고주파(극초단파)를 연속적으로 발진시키는 능동소자로 이루어진 국부신호발생부와, 국부신호발생부에서 생성된 주파수를 공간으로 송출하기 위한 수동소자인 안테나송신부, 안테나송신부로부터 송출된 신호를 수신하기 위한 수동소자인 안테나수신부, 대상물로 투여된 후 되돌아 온 주파수 출력신호와 송신주파수로부터 발진된 주파수가 서로 혼합되어 중심주파수의 변환이 일어날 수 있도록 하는 수단인 주파수혼합부, 주파수혼합부에서 고주파대역의 주파수가 저주파대역의 주파수로 변환될 때 바로 변환되지 않고 다른 형태의 주파수로 변환되게 하는 수단인 중간주파수출력단, 마이크로파 센서의 각 회로부에 동작전원을 인가하기 위한 전원공급부를 포함하여 구성된다.

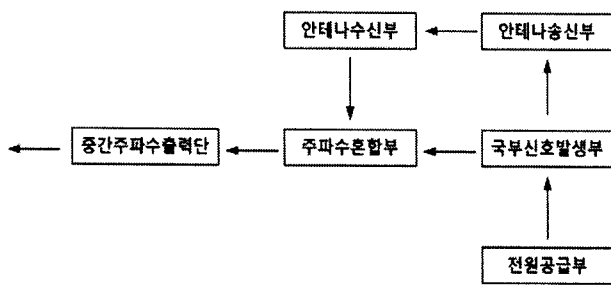


그림 1 기존 기술에 의한 마이크로파 센서의 구성.  
Fig. 1 The configuration of the microwave sensor by the existing technique.

이러한 마이크로파 센서의 동작은, 먼저 국부신호발생부에서 생성된 X-band 대역의 마이크로파는 수동소자인 안테나송신부를 통해 공간으로 송출되고, 송출된 전파는 공기중을 진행하다 특정 물체를 만나면 신호의 흡수, 통과, 반사가 일어나게 된다. 이때, 반사된 신호중 센서로 되돌아오는 신호를 수동소자인 안테나수신부에서 수신한 후 주파수혼합부를 통해 주파수 하향 변환하며, 주파수 하향 변환된 신호는 중간주파수출력단을 통해 베이스밴드 파트로 전달된다.

위에서 국부신호발생부는 X-band 발진기의 경우 Q(quality factor)를 일정 이상 확보해야 하므로 대부분 절연체 공진기(DR:dielectric resonator)를 이용한 발진기를 이용하며, 능동소자는 일반적으로 pHEMT이며, 절연체 공진기를 이용하여 주파수를 조절하기 위한 것으로 절연체 공진기와 간격을 조절할 수 있는 나사를 삽입할 수 있도록 보통 금속으로 제작된 캔 모양의 캐비티(cavity)로 회로를 덮는다. 주파수혼합부는 일반적으로 다이오드 혼합기를 사용하는데 감도면에서 보면 pHEMT 등의 능동소자를 적용한 혼합기의 성능이 뛰어나다. 그러나 전원쪽의 리플(ripple)에 의한 잡음의 경우에는 능동소자로 이루어진 혼합기가 취약하므로 전원이 필요없는 수동소자 혼합기인 다이오드 혼합기가 많이 사용되고 있다. 보통 다이오드 혼합기는 antiparalleled diode로 혼합기를 만드는데 이는 밸런스(balanced) 구조이므로 LO feed-thru를 최소화하

는 장점이 있다. 본 논문에서는 기존 기술에 의한 마이크로파 센서의 구조를 간략화하기 위하여 발진기와 혼합기가 결합된 형태로 구현하였다.

### 2.2 직렬 궤환 자가 발진 혼합기를 적용한 마이크로파 센서

그림 2는 직렬 궤환 자가 발진(self-oscillating) 혼합기를 적용한 마이크로파 센서의 감지부를 개략적으로 도시한 블록 회로도이다. 그림에서 나타낸 것과 같이, 하나의 트랜지스터 소자가 적용되며, 트랜지스터 소자의 소스(S:source)단에 직렬 궤환을 위한 보통 마이크로스트립라인으로 이루어진 제1수동소자와, 바이어스를 위한 사분의 일 람다선 및 저항, 바이패스 축전기 등으로 이루어진 소스단 바이어스회로부가 연결되고, 게이트(G:gate)단에는 공진주파수를 결정하기 위한 절연체 공진기와, 상기 절연체 공진기를 게이트단과 커플링하기 위한 수동소자로 보통 직렬 마이크로스트립라인으로 이루어진 제2수동소자가 연결되며, 드레인(D:drain)단에는 출력단 정합회로와, 드레인단 바이어스회로부가 연결되며, 각 회로부에 동작전원을 인가하는 전원공급단자를 형성하고 있다.

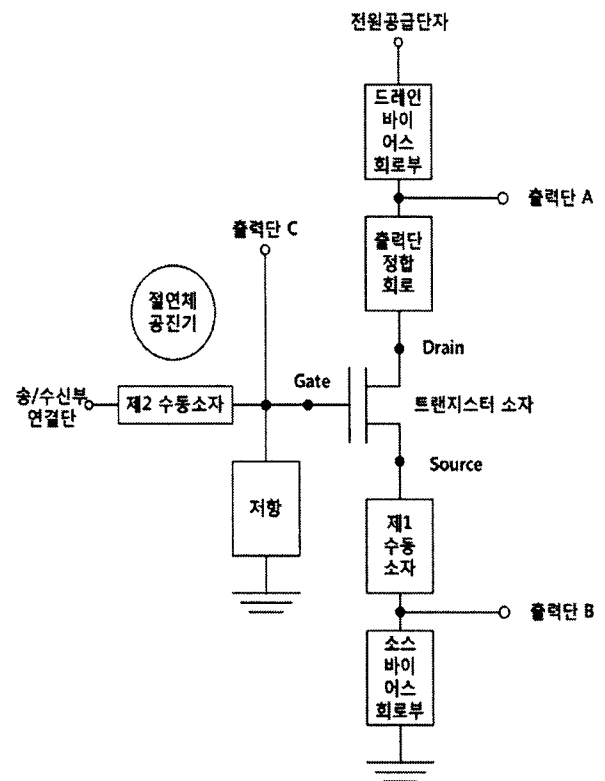


그림 2 직렬 궤환 자가 발진 혼합기를 적용한 마이크로파 센서의 블록도.  
Fig. 2 The block diagram of the microwave sensor applying the serial feedback self-oscillate mixer.

그림 2에서, 게이트단으로부터 연장된 소정의 위치에는 발진 신호의 송신과 수신이 가능하며 그 위치를 단일 송·수신부연결단으로 나타내었다. 상기의 단일 송·수신부연결단에는 마이크로파 발진 신호의 출력과 반송파의 수신기능을 겸하는 송·수신 안테나가 연결된다. 일반적으로 출력 전력이

최대가 되는 부분은 드레인단으로 출력 전력과 비례하는 센서의 감도는 해당 위치가 가장 좋다고 할 수 있으나, 드레인단에서는 케환이 일어나지 않으므로 해당 위치에서는 주파수 혼합이 일어나지 않아 센서로 동작할 수 없으며, 소스단은 50 Ω 정합이 용이하지 않으므로 발진 신호의 단일 송·수신부로 적합하지 않다. 이에 반해, 주파수 혼합이 일어나는 게이트단은 입력이 가능하므로 단일 송·수신부로 적용이 가능하다.

주파수 하향 변환된 신호의 출력단 역시 세 군데가 가능하다. 그림에서 나타낸 것과 같이, 그 위치는 각각 A, B, C로 표시할 수 있다. 상기에서 드레인단의 A 위치는 가장 일반적인 출력단으로 사용되나 전원에 의한 리플이 잡음으로 문제가 되는 경우에는 가장 취약한 부분이다. 따라서 소스단의 B 위치와, 게이트단의 C 위치가 더욱 좋은 감도를 형성한다. 상기에서 소스단의 B 위치를 주파수 하향 변환된 신호의 출력으로 하는 경우는 출력단의 전압이 발생하기 위해 소스단 바이어스 회로부에 저항이 필요하며 이 경우에는 자기-바이어스(self-bias) 효과로 전류가 줄어들어 출력 전력이 값이 작아져 감도가 나빠질 수 있다는 문제점이 작용한다. 또한, 게이트단의 C 위치를 주파수 하향 변환된 신호의 출력으로 사용시 출력단의 전압을 발생시키기 위해서는 그라운드로 연결된 저항이 필요하나 이 경우에는 출력 전력의 값에 변동은 없다.

2.3 병렬 케환 자가 발진 혼합기를 적용한 마이크로파 센서

그림 3은 발진 신호의 단일 송·수신이 가능한 위치는 게이트단과, 드레인단이 가능하다. 일반적으로 선호되는 부분은 센서의 감도와 비례하는 출력 전력이 가장 최대가 되는 드레인단이다. 그러나, 주파수 혼합이 일어나는 부분은 게이트가 입력이 되므로 게이트단을 단일 송·수신부로 사용하는 것도 바람직하다. 소스단은 50 Ω 정합이 용이하지 않으므로 단일 송·수신부로 적합하지 않다. 주파수 하향 변환된 신호의 출력단 역시 세 군데가 가능하다.

그림에서 나타낸 것과 같이, 그 위치는 각각 드레인단, 소스단, 게이트단으로 표시할 수 있다. 드레인단은 가장 일반적인 출력단으로 사용되나 전원에 의한 리플 잡음으로 문제시에는 가장 취약한 부분이다. 따라서, 이러한 경우에는 소스단과, 게이트단이 더욱 좋은 감도를 준다고 볼 수 있다. 소스단에서 주파수를 하향 변환된 신호의 출력으로 적용시 출력단의 전압이 발생하기 위해서는 소스단에 저항이 필요하며 이 경우에는 자기-바이어스(self-bias) 효과로 전류가 줄어들어 출력 전력이 값이 작아져 감도가 나빠질 수 있다. 또한, 게이트단을 주파수 하향 변환된 신호의 출력으로 사용시 출력단의 전압을 발생시키기 위해서는 그라운드로 연결된 저항이 필요하나 이 경우에는 출력 전력의 값에 변동은 없다.

3. 실험 결과

그림 4는 본 연구를 통해 개발된 크기가 작고 구조가 간단한 마이크로파 센서가 내장된 제품 사진을 보인 것이다. 마이크로파 센서로 사람 및 사물의 미세한 움직임을 실시간으로 감지하여 AC 전원으로 구동되는 전등을 자동으로 ON/OFF 함으로써 전력 소비를 최소한으로 줄여주는 전기절약형 감지 센서이다.

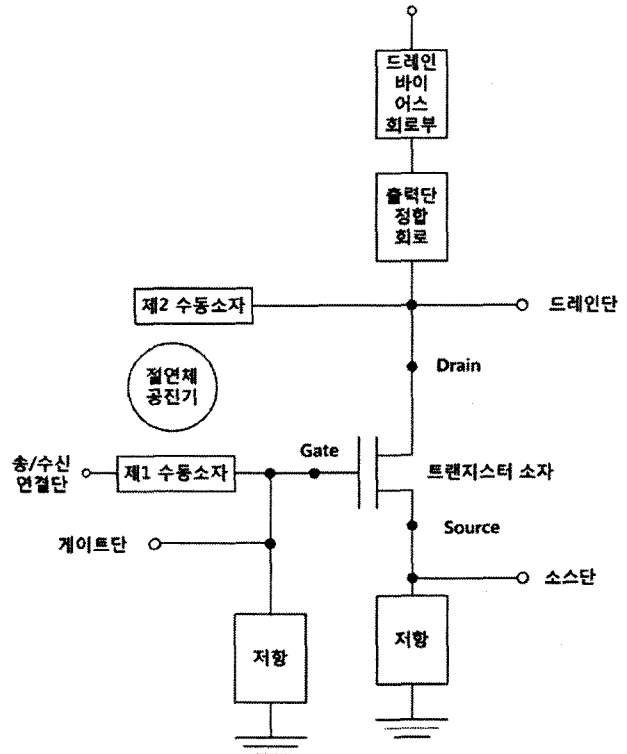


그림 3 병렬 케환 자가 발진 혼합기를 적용한 마이크로파 센서의 블록도.

Fig. 3 The block diagram of the microwave sensor applying the parallel feedback self-oscillate mixer.

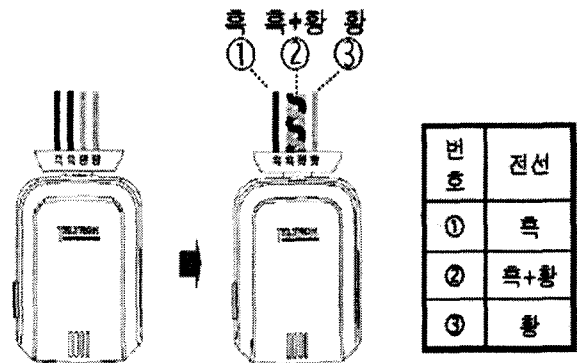


그림 4 개발된 마이크로파 센서가 내장된 제품 사진.  
Fig. 4 The product photography in which the developed microwave sensor is built in.

그림 5는 개발된 마이크로파 센서의 설치 방법의 예를 보인 것이다. (a)는 개발된 스위치가 내장된 제품 한 개를 기존의 벽면 스위치와 결합하여 설치한 예를 보인 것이다. 이 경우는 부하가 1 kW 이하일 경우 유용한 설치 방법이다. (b)는 부하가 1 kW 이상일 경우에 대비한 설치 방법으로서, 외부 고용량 스위치(SSR)를 추가적으로 사용하여 입력단에 전원을 공급하는 방식이다.

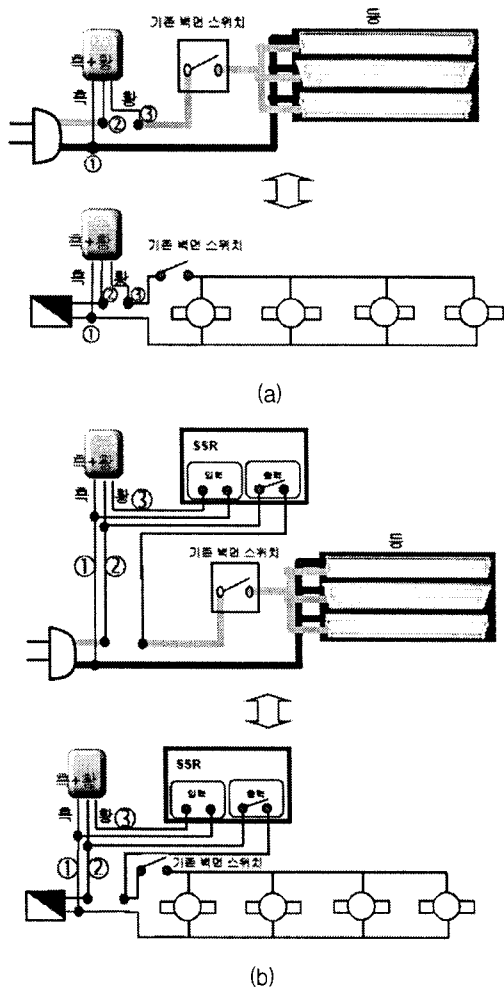
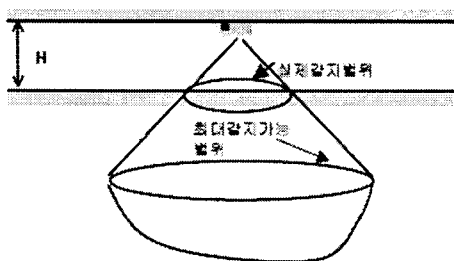


그림 5 개발된 마이크로파 센서의 설치 방법. (a) 벽면 스위치 사용 : 부하 1 kW 이하 (b) 외부 고용량 스위치 (SSR) 사용 : 부하 1 kW 이상

Fig. 5 The sticking method of the developed microwave sensor. (a)Wall switch use : less than the load 1 kW (b)Solid State Relay use : over the load 1 kW

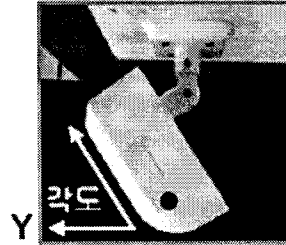


감지 영역	감지 범위
좌우 감지	$\pm 3 \text{ M} (\pm 51^\circ)$
앞뒤 감지	$\pm 0.9 \text{ M} (\pm 21^\circ)$

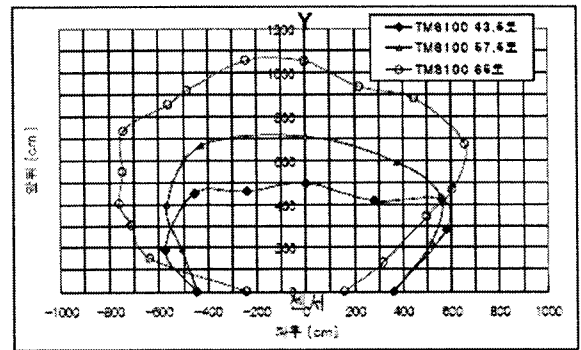
그림 6 센서를 수평 설치했을 경우의 감지 범위.

Fig. 6 The sensing range of the case of establishing horizontally a sensor.

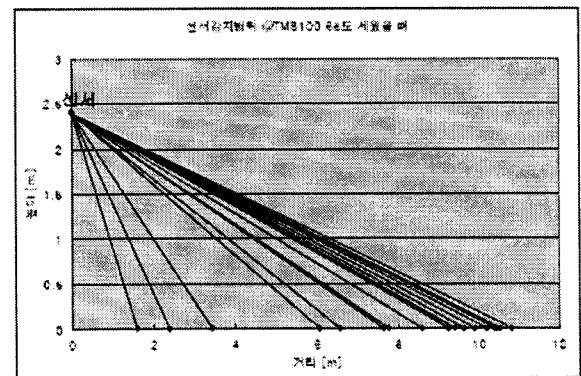
그림 6은 개발된 마이크로파 센서를 건물의 천장에 수평으로 설치했을 경우의 감지 범위를 측정한 실험 결과이다. 센서가 설치된 천장의 높이는 2.4 미터이고, 사람이 서 있는 상태에서 팔꿈치를 1 회 아래로 움직일 때 감지하는 거리를 측정한 것이다. 실험에서 확인된 감지 범위는 표에 정리한 것과 같이 좌우 3 미터, 앞뒤 0.9 미터였다. 그러나, 그림에서 확인 할 수 있듯이 천장의 높이에 따라 감지 범위가 결정되기 때문에 천장의 높이가 충분히 확보된 건물에서 사용할 경우 보다 넓은 감지 영역을 확보하게 될 것으로 판단된다.



(a)



(b)



(c)

그림 7 센서를 기울임 설치했을 경우의 감지 범위. (a) 설치된 센서의 모습 (b) 일정 각도를 갖고 설치된 센서의 감지 범위 (c) 65도 세워 설치된 센서의 거리별 감지 범위

Fig. 7 The sensing range of the case of slant establishing. (a) the adhered sensor (b) the sensing range of the adhered having the constant angle sensor (c) the sensing range according to the distance of the adhered sensor which tilts with 65 degree

그림 7은 개발된 마이크로파 센서를 건물의 천장에 수평으로 설치하고, (a)와 같이 각도를 기울여 설치한 경우에 측정된 감지 범위를 나타낸 그래프이다. 센서가 설치된 천장의 높이는 2.4 미터이고, 사람이 서 있는 상태에서 팔꿈치를 1 회 아래로 움직일 때 감지하는 거리를 측정할 것이다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 설치하는 각도에 따라 감지 범위가 수평 설치(그림 6)에 비해 많이 넓어졌음을 알 수 있다. 실험에서 확인된 감지 범위는 기울임 각도가 커질수록 감지할 수 있는 영역의 넓이가 증가함을 확인할 수 있었으며, 기울임 각도가 65 도일 경우 최대 감지 영역이 나타났다. 수평설치와 마찬가지로 설치 높이에 따라 감지 범위가 영향을 받기 때문에 천장의 높이가 충분히 확보된 건물에서 사용할 경우 보다 넓은 감지 영역을 확보하게 될 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 상술한 바와 같은 간단한 구조를 갖는 마이크로파 센서를 성공적으로 구현했으며, 실제 시제품으로 제작하여 그 특성을 확인한 결과 우수한 특성이 확인되었다. 110-220V AC 전원으로 동작하는 모든 등기구에 적용이 가능하며, 평균 감지 범위가 20 미터로서 일반 센서에 비해 감지 범위가 넓으며, 빛이라던지 대기 온도와 같은 자연적인 요인에 전혀 영향을 받지 않는다. 따라서 본 연구팀에서는 다음과 같은 두 가지 효과가 있는 것으로 판단하고 있다. 첫째, 제품의 성능은 유지하면서 간략한 구조를 갖는 회로의 구성은 제조 원가를 줄일 수 있으므로 충분한 제품 가격 경쟁력을 갖을 것으로 생각된다. 둘째, 간략한 구조를 갖는 회로의 구성은 제품의 소형화, 경량화를 가능케 하는 효과도 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] A. Wood, "High-performance infrared thermal imaging with monolithic silicon focal planes operating at room temperature", Proc. IEDM Tech. Digest, pp. 175-177, 1993.  
 [2] C. Hanson, "Uncooled thermal imaging at texas instruments", SPIE, Vol. 2020, pp. 330-339, 1993.  
 [3] T. Kanno and M. Saga, "Uncooled infrared focal plane array having 128x128 thermopile detector elements", SPIE, Vol. 2269, pp. 450-459, 1994.  
 [4] S. Friedrich, "Superconducting tunnel junction photon detectors: Theory and applications", Journal of Low Temperature Physics, Vol. 151, pp. 277-286, 2008.  
 [5] T. Haseyama, T. Arai, A. Fukuda, H. Funahashi, S. Ikeda, K. Imai, Y. Isozumi, T. Kato, Y. Kido, A. Matsubara, S. Matsuki, T. Mizusaki, T. Nishimura, D. Ohsawa, A. Sawada, Y. Takahashi, M. Tosaki, K. Yamamoto, "A high-sensitivity microwave-single-photon detector with Rydberg atoms at low temperature", Journal of Low Temperature Physics, Vol. 150, pp. 549-554, 2008.  
 [6] R. H. Hadfield, P. A. Dalgarno, J. A. O'Connor, E. Ramsay, R. J. Warburton, E. J. Gansen, B. Baek, M. J. Stevens, R. P. Mirin, S. W. Nam, "Submicrometer photoresponse mapping of nanowire superconducting single-photon detectors", Applied Physics Letters, Vol. 91, p. 241108, 2007.

[7] S. Almaguira, M. Marinelli, E. Milani, G. Prestopino, A. Tucciarone, C. Verona, G. Verona-Rinati, M. Angelone, D. Lattanzi, M. Pillon, R. M. Montereali, M. A. Vincenti, "Thermal and fast neutron detection in chemical vapor deposition single-crystal diamond detectors", Applied Physics Letters, Vol. 103, p. 054501, 2008.  
 [8] K. Ramadurai, L. Lewis, C. Cromer, R. L. Mahajan, K. E. Hurst, K.E. J. H. Lehman, "Carbon based coatings for thermal detectors: Laser damage and thermal efficiency", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Vol. 6403, p. 64031G, 2007.

저 자 소 개



**정 순 원 (鄭 焯 元)**  
 1998년 2월 영동대학교 정보·전자공학부(공학사). 2000년 2월 청주대학교 전자공학과(공학석사). 2004년 2월 청주대학교 전자공학과(공학박사). 2006년 3월-2007년 2월:영동대학교 컴퓨터공학과 전임강사. 2007년 3월-현재:한국전자통신연구원 융합부품·소재 연구부문 Post-Doc.  
 Tel : 042-860-6386  
 E-mail : jungsoonwon@etri.re.kr



**이 재 진 (李 載 珍)**  
 1975년 2월 공주사범대학 물리학과(이학사). 1980년 8월 동국대학교 고체물리학(이학석사). 1986년 2월 동국대학교 고체물리학(이학박사). 1986년 8월-2000년 1월:한국전자통신연구원 공정개발연구실장, 무선통신회로팀장, 책임연구원. 1991년 6월-1992년 7월:미국 MIT RLE연구소 객원연구원. 200년 2월-현재:(주)텔트론 대표이사  
 Tel : 042-360-2020  
 E-mail : teltron@teltron.com



**구 경 완 (丘 庚 完)**  
 1983년 2월 충남대학교 전자공학과(공학사). 1985년 2월 충남대학교 전자공학과(공학석사). 1992년 2월 충남대학교 전자공학과(공학박사). 1998년 2월-1999년 2월 일본 우츠노미야대학 박사후 연구. 1987년 6월-1989년 2월:현대전자 반도체연구소 선임연구원. 1989년 3월-1994년 2월 충청전 문대학 전자과 조교수. 1994년 3월-2005년 2월 영동대학교 전자·정보공학부 부교수. 2005년 3월-현재 호서대학교 국방과학기술학과 부교수  
 Tel : 041-540-5943  
 E-mail : alarmkoo@hoseo.edu