

Development of Energy Saving System Using the Microwave Sensor

鄭 焯元* · 李 載 珍** · 丘 庚 完†
 (Soon-Won Jung · Jae-Jin Lee · Kyung-Wan Koo)

Abstract - Because of directly receiving the thing in which a microwave is reflected and comparing the frequency, the microwave sensor with doppler effect completely overcomes the problem of the passive infrared sensor. The microwave sensor with doppler effect well operates about a temperature, the dust, and the peripheral noise because of being dull in the most of ambient conditions. The system developed in this research is the electricity saving detection sensor which it senses the real time action of a man as the microwave sensor and automatically turns on the electric lamp and turns off, minimizes the electrical energy consumption. Since the microwave sensor is not influenced in the light, the dust, and the natural element like the ambient temperature, the effectiveness is considered to be superior to the passive infrared sensor being used currently. There was the energy reduction effect more than about 60 % in the performed example which established this system. When this was compared with the construction cost, the cost of establishing payback period was about 1-1.5 year. The microwave sensor with doppler effect developed from this research result is convinced in the future to do enough for the electric energy saving.

Key Words : Doppler Effect, Energy Saving System, Microwave, Passive Infrared Sensor

1. 서 론

WTO 체계에서는 CO₂ 배출권 등 기후변화에너지 대책에 대한 필요성이 강하게 대두되고 있다. 마이크로웨이브 센서 기술을 이용한 에너지 절약 기술의 개발은 IT 기술의 산업화와 에너지 절감이라는 목적을 달성할 수 있으므로 국가차원에서의 유도가 요구된다. 그러나 우리나라의 실상은 아파트 및 빌딩의 지하주차장, 지하체 공중화장실, 밀폐된 비상계단, 빌딩 화장실, 대학 강의실 등 조명이 이용자의 사용여부와 관계없이 24 시간 가동되는 경우가 많다. 이러한 조명의 이용은 절약하는 주체의 에너지 절감 의식수준에 따라 이루어지게 됨으로 전기에너지의 절약은 미미한 실정이다. 따라서, 전기를 절약할 수 있는 새로운 시스템의 개발은 절실하다.

본 논문에서는 기존의 무인경비시스템의 감지 센서에 널리 사용되고 있는 PIR(passive infrared sensor)센서의 단점을 보완할 수 있는 새로운 형태의 센서를 개발하여 에너지 절감에 이용하고자 한다. PIR 센서는 열감지 센서로서 현재 자동문, 아파트 현관입구 등에 많이 사용되고 있다. PIR 센서의 원리는 주위

와 온도 차이가 생기면 그 차이에 비례하는 전압 신호를 출력으로 하여 감지하는 방법이다. PIR 센서의 문제점은 그 원리에 있다. 주변 온도와 차이를 감지하므로 주변 온도와 온도 차이가 있는 물체가 움직여서 센서에 가까워질 때 가장 감도가 좋아지는 데, 일단 물체가 가까워져서 주변온도를 충분히 데워주면 감도가 급격히 떨어진다. 예를 들어 아파트 현관 등의 경우 처음에는 켜지나 현관에서 작업을 하고 있으면 나중에는 켜지지 않는 경우를 볼 수 있는데, 감도가 떨어져서 생기는 경우이다. 따라서 여름 같은 경우는 주변 온도가 인체와 비슷해지므로 겨울에 비하여 오동작이 많아진다. 또한 천천히 움직이거나 열을 막는 차폐물을 사용하면 감도가 많이 저하된다. 우산을 사용하여 PIR 센서를 사용한 방법시스템을 무기력화 시키는 사건을 들 수가 있다.

본 연구를 통해 개발된 마이크로파웨이브 센서는 원리적으로 자신이 발송한 마이크로파가 반사되는 것을 직접 수신하여 주파수를 비교하기 때문에 PIR 센서의 문제점을 완전히 극복하였다. 마이크로웨이브 센서는 대부분의 주위 환경에 둔감하여 주변 온도, 먼지의 적층 여부, 때나 주변 잡음에 대하여 잘 동작한다. 중/대규모 시스템의 전력 절감에서는 마이크로웨이브 센서가 유일한 해결책으로 생각된다. 만약 국가차원에서 인체를 감지하는 마이크로웨이브 센서에 의한 에너지절감 가이드라인을 규정하게 되면 전국적으로 화력발전소 1 개를 대체할 정도의 전기에너지를 절감 할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 부수적으로 온난화방지에 기여하여 CO₂ 배출권을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 세계적인 IT강국의 이미지를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 도플러 효과[1-3]를 이용하여 개발된 마이크로웨이브 센서를 이용한 에너지 절약시스템의 개발과 실제 운용 사례에 대하여 보고한다.

* 正 會 員 : ETRI 융합부품·소재연구부 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 16日
 最終完了 : 2008年 8月 29日

2. 마이크로웨이브 도플러 센서 원리

마이크로웨이브 센서[4-6]는 도플러 원리를 이용한 움직임 감지 센서로 사용할 수 있다. 도플러 효과는 오스트리아의 물리학자 크리스티안 요한 도플러에 의하여 처음으로 연구되었다. 1842년 관련 논문을 발표하고 그 속에서 파동의 근원과 관측자의 상대운동이 가져오는 효과(도플러효과)의 존재를 지적하였다. 이는 파원에 대하여 상대 속도를 가진 관측자가 파의 진동수를 측정할 때 파원에서 본 값과 달라지는 현상이다. 즉 파원이 관측자로부터 멀어질 때는 그 파의 파장은 길게 측정되고, 가까워질 때는 파장이 짧게 측정되는 현상이다. 출력주파수는 송신파를 반사하는 움직이는 물체의 속도에 비례하며, 출력 전압의 크기는 움직이는 물체의 반사율 및 크기에 비례한다. 높은 유전상수를 가진 절연체나 금속의 반사율이 높다. 수식적으로는 도플러 효과에 의하여 반사되어 수신되는 주파수 $f_{Doppler}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$f_{Doppler} = 2 \times V_{Target} \times \cos \theta \times \frac{f_{Transmitted}}{c}$$

여기서 c 는 빛의 속도, V_{Target} 은 목표물의 속도, θ 는 센서와 움직이는 물체와의 각도, $f_{Transmitted}$ 는 센서의 출력주파수이다. RF 방사전력은 규정에 의하여 10 dBm을 넘지 못하도록 되어 있어서 센서의 최대 감도를 제한한다. 출력 전압의 크기는 일반적으로 근접 상태에서 수십 mV 정도여서 오실로스코프 등으로 직접 출력 전압 파형을 관찰할 수 있으나 수 미터 이상 떨어진 곳에서는 신호가 약하여 직접 관찰하기 어렵다. 따라서 저주파 증폭기를 이용하여 대역 통과 증폭기를 만들면 된다. 대역통과 주파수 특성은 위의 계산식을 이용하여 결정한다. 보통 1-100 Hz이면 충분하다.

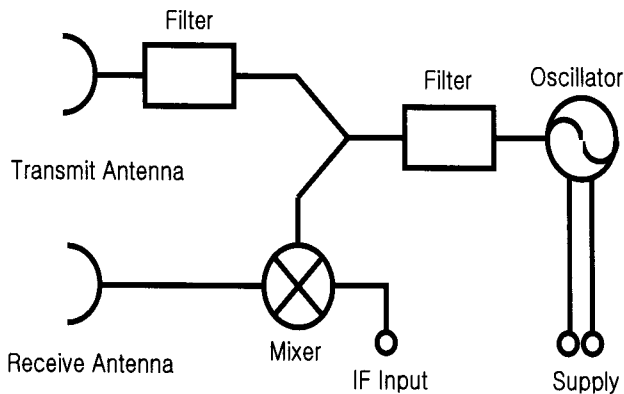


그림 1 마이크로웨이브 센서 블록 다이어그램.
Fig. 1 Microwave sensor block diagram.

일반적으로 마이크로웨이브 센서는 그림 1과 같다. 오실레이터에서 발진된 전파가 안테나를 통하여 방사되고, 방사된 전파의 산란된 전파 및 반사전파가 수신안테나로 입력되면 믹서가 출력전파와 수신 전파를 비교하여 IF ($=f_{Doppler} - f_{transmitted}$)신호를 발생한다.

회로도는 그림 1과 같이 전원공급을 통하여 발진된 발진

소자(Oscillator)의 주파수의 종류 및 형태에 따라서 정확히 filter된 신호를 요구되는 사용목적에 따라 송신안테나에 신호를 보내게 되면 안테나를 통해 송신된 신호가 움직이는 사물 또는 생물체의 data값의 정보를 수집하여 수신안테나를 통하여 수신부에 feedback 된다. 이때 Mixer단에서는 송신된 주파수와 수신된 주파수를 비교 및 분석한 후 IF Input에 다양한 형태의 분석 알고리즘(Algorithm)을 통해 가공되고 표현되어지고 있는 원리이다.

3. 센서 시스템 기능 및 규격

표 1 시스템 기능.

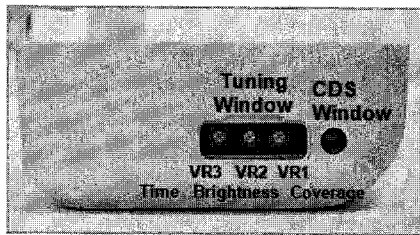
Table 1 System function.

항목	기능
사용전압	단상 110-220 VAC, 50-60 Hz
사용 등기구	AC 전원으로 동작하는 모든 등 기구
사용 전력	최대 1500 W
감지거리	3-25 M
동작밝기	1-1500 Lux
점등시간	1초-10분까지 선형적 조절 가능
각도 조절	상/하 : 수평에서 수직까지 변화 좌/우 : 360도

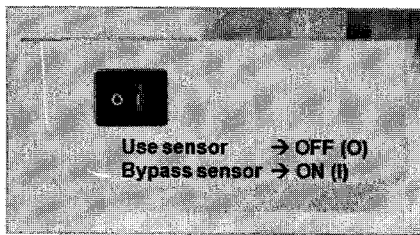
표 1은 개발된 센서 시스템의 기능을 요약하여 나타낸 것이다. 각각을 간단히 살펴보면 시스템은 자체 고장 및 조작 전원이 차단되었을 때 조명등이 자동 점등되도록 되어 있다. 컨트롤러의 조작 전원은 AC 110-220 V 이고, 센서간 전원은 DC 12 V이다. 전면에 Working Time(8 시간 점등용) 기능을 구비하여 설정 가능토록 하고 있으며, 최종 퇴실자가 확인하여 컨트롤러에서 0-30 초의 Delay Time을 부여할 수 있고 조명 소등이 가능하다. 출입자 감지 센서 박스는 출입문의 잠금과 열림 상태에 관계없이 감지토록하고, 비접촉식 센서를 구비하여 출입자의 움직임을 감지한다. 최종 퇴실자 확인이 가능토록 기능을 구비하고 최종 퇴실 확인 후에는 점멸된다. 재실 작업자 감지 센서는 전기실의 크기, 내부의 판넬 배치상태 및 위치에 따라 감지되는 유형이 상이함으로 현장 여건에 따라 열감지센서 검출방식이 변경가능하다. 전기실 출입문이 다수일 때 출입문 감지센서 박스를 추가로 서로간의 연결을 통해 출입 상태를 판단할 수 있다.

그림 2는 표 1에서 설명한 개발된 센서가 내장된 제품의 조절단자를 보이는 실제 사진이다. (a)의 좌측에 보이는 그림은 가변 저항 조절용 창과 CdS 채광창을 보인 것이고, (a)의 우측 사진은 센서 사용 On/Off 스위치 사진이다. (a)의 좌측 사진에서 가변 저항 조절용 창을 확대하여 (b)에 나타내었다. 사진에 보이는 것과 마찬가지로 3 개의 가변 저항이 포함되어 있고, 각각의 기능은 다음과 같다. 먼저 VR3은 점등 시간 조절용 가변 저항으로, 1 초-10 분까지 설정 가능하다. VR2는 동작밝기 조절용 가변저항으로 1-1500 Lux 까지 조절 가능하다. VR1은 감지거리 조절용 가변저항이다. 감지거리는 설치 높이와 설치 각도에 따라

차이가 생길 수 있으므로, 설치 환경에 따라 그 범위가 달라진다. 천장에 65 도 기울임 설치 시 최대 감지 거리는 약 20 미터이다.



(a)



(b)

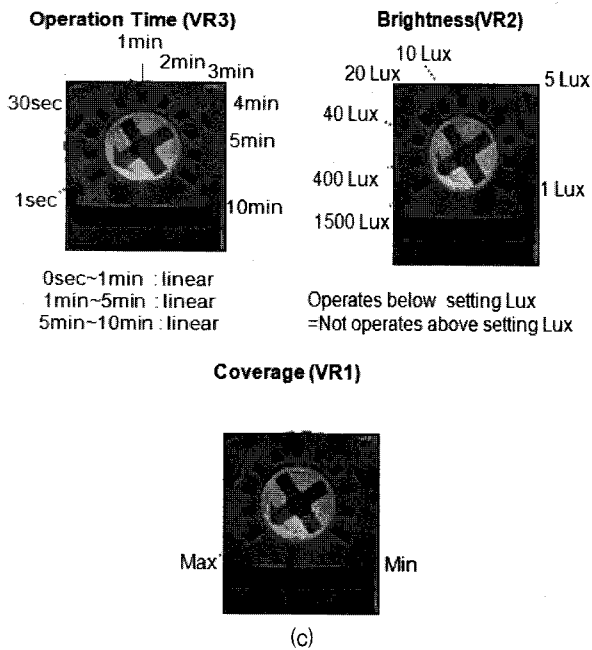


그림 2 개발된 센서가 내장된 제품 사진의 조절단자.

(a) 가변 저항 조절용 창 및 CdS 채광창, (b) 센서사용 선택스위치. (c)가변 저항 조절 기능의 확대 사진.

Fig. 2 The control terminal of the product photography.

(a) Tuning window and CDS window. (b) Sensor selection switch: To use sensor, press OFF(O) button. Not to use sensor, press ON(I) button. (c) Tuning functions.

4. 설치 사례

4.1 지하주차장 조명 제어 적용예

표 2는 본 연구에서 개발된 에너지 절약 시스템 설치 전/후의

에너지 소비량을 비교 정리한 표이다. 본 실험은 용인 소재 ○○ 아파트에서 실시했으며, 실험 조건은 다음과 같다. 지하 2층 주차장에 주차된 차량의 수는 124 대였으며, 설치된 형광등의 총수는 204 개, 점등된 형광등의 총수는 63 개였다.(지하주차장법에는 70 lux를 유지하도록 되어 있지만, 전기에너지 절감을 위해 63 개만 점등 운영되고 있었음), 시험 비교기간은 1 개월이었다. 실험 결과 상기 표에서와 같이 약 64 %의 절감효과가 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 공사비 대비 경제성을 계산해 봤을 때, 설치비 회수 기간은 약 1.6 년이었다. 시의 안전성 등의 조건에 적합한 불량애자 검출방법을 실험적 근거를 토대로 좀더 정확히 도출할 수 있을 것으로 생각된다.

표 2 시스템 구축 전/후의 비교.

Table 2 The comparison of the system construction either before or after.

	시스템 구축전	시스템 구축후	절감효과
설치 개수	63 개	63 개	-
하루 소비전력	56.6 kWh	20.4 kWh	36.2 kWh
한달 소비전력	1,700 kWh	612 kWh	1,088 kWh
월간 전기요금	153,000 원	55,080 원	97,920 원
연간 전기 요금 (90원/kWh)	1,836,000 원	660,960 원	1,175,040 원

4.2 사무실, 빌딩 공동 전기 적용예

여러 개의 사무실로 사용되고 있는 빌딩에서의 전기에너지 절약 정도를 확인하기 위하여 대전광역시 유성구 장동 소재 빌딩에서 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 건물은 면적이 4,118 m²로 5 층으로 구성되어 있으며, 각 층에 2 개 업체씩 총 10 개의 업체가 입주하여 사용 중이었다. 각 사무실별로 전기계량기가 있었고, 월별로 전기료의 지급은 사무실별로 각자 지급하고 있었다. 현관, 계단, 화장실 및 엘리베이터는 공공요금으로 총 공공 전기요금을 10 개 업체가 월별로 나누어 지불하고 있었다.

본 실험에서는 공동으로 사용되고 있는 화장실, 계단, 복도 및 현관에서의 에너지 절약 정도를 확인하기 위하여 각 층의 화장실과 계단, 복도 및 현관에 개발된 전기에너지 절약 장치를 설치하였다. 각 층별 남/여 화장실에 각각 1 개씩 설치하고, 지하 및 3-5 층 계단에도 한 개씩 설치하였다. 지하에서 2 층까지는 PIR 센서등이 설치되어 있어 따로 센서를 설치하지 않았다. 또한 복도 및 현관에도 각 층별로 설치하여 총 20 개의 절감 장치를 설치하고 설치 전/후의 절감 정도를 확인하였다. 설치에 소요된 공사기간은 3 일이었으며, 비용은 제품, 인건비, 자재를 포함하여 190 만원이었다. 센서를 설치 후 평균 전기 요금을 확인한 결과, 설치 전 과거 1년 평균 전기요금이 265,595원이었으나, 설치 후 2 개월 평균 전기요금은 81,181원이었다. 본 실험을 통한 에너지 절약으로 얻어진 전기요금의 증감을 확인한 결과 설치 전에 비해 약 69 % 감소한 것으로 확인되었다. 이는 공사비 대비 경제성을 계산해 봤을 때, 설치비 회수 기간은 약 11 개월이었다.

표 3은 PIR 센서를 이용한 제품과 마이크로웨이브 센서를 이용한 에너지 절약 시스템과의 차이점을 정리한 표이다. 기존 조명 센서는 PIR을 이용한 제품이 대부분이었다. PIR 센서에 비해 가격은 다소 비싸지만 대기환경에 영향을 받지 않고 미세한 움직임까지 감지가 가능한 마이크로웨이브 센서는 앞서 설명한 실험

예에서와 같이 약 60 % 이상의 에너지 절감효과가 있는 것으로 확인되었다.

표 3 마이크로웨이브센서와 PIR 센서의 장·단점.

Table 3 Merits and demerits of the microwave sensor and passive infrared sensor.

	PIR 센서	마이크로웨이브 센서
장점	가격이 저렴하고, 다양한 제품이 있어 기호에 따른 제품선택이 가능하다.	비금속제품 투과가 가능하고, 대기환경(온도, 습도, 빛, 먼지)에 영향을 받지 않는다. 미세한 움직임 감지 능력이 탁월하다.
단점	비금속제품 투과가 불가능하며, 대기환경(온도, 습도, 빛, 먼지)에 영향을 받는다. 미세한 움직임 감지 능력이 떨어진다.	PIR 센서보다 가격이 다소 비싸다. 다양한 제품군이 부족하다.

5. 결 론

본 연구에서 개발된 전기절약 시스템은 마이크로웨이브 센서로 사람 및 사물의 미세한 움직임을 실시간으로 감지하여 AC 전원으로 구동되는 전등을 자동으로 On/Off 함으로써 전력소비를 최소한으로 줄여주는 전기절약형 감지센서이다. 마이크로웨이브 센서는 빛, 먼지, 대기 온도와 같은 자연적인 요소에 영향을 거의 받지 않으므로 현재 고려중인 PIR 센서보다는 오작동이 크게 낮아 좀 더 효율성이 있을 것이다. 본 시스템을 설치하고 실시한 예에서와 같이 약 60 % 이상의 에너지 절감 효과가 나타났으며, 이는 공사비 대비 경제성을 계산해 봤을 때, 설치비 회수 기간은 약 1-1.5 년이었다. 본 연구 결과로 개발된 마이크로파 도플러 센서는 향후 전기에너지 절감에 충분한 기여를 할 것으로 확신한다.

참 고 문 헌

[1] W. Wang, X. Huang, L. Zhou, C. T. Chan, "Doppler effects of a light source on a metamaterial slab: A rigorous Green's function approach", *Optics Letters*, Vol. 33, p. 369, 2008

[2] K. Watanabe, S. Biwa, "Elastodynamic Doppler effects", *Acta Mechanica*, Vol. 195, p. 27, 2008

[3] J. Rafa, C. Ziolkowski, "Influence of transmitter motion on received signal parameters - Analysis of the Doppler effect", *Wave Motion*, Vol. 45, p.178, 2008

[4] M. Pieraccini, F. Parrini, M. Fratini, C. Atzeni, P. Spinelli, "In-service testing of wind turbine towers using a microwave sensor", *Renewable Energy*, Vol. 33, p. 13, 2008

[5] C.-C. Huang, Q.-A. Huang, X.-P. Liao, "A novel double-end heating type MEMS microwave power sensor", *ICSICT-2006: 2006 8th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology*, Proceedings, p. 581, 2007

[6] L. Han, Q. Huang, X. Liao, "Novel inline type microwave power sensor", *Pan Tao Ti Hsueh Pao/Chinese Journal of Semiconductors*, Vol. 28, p. 1144,

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·소재연구부 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 고체물리학과(이학석사). 1986년 2월 동국대학교 고체물리학과(이학박사). 1986년 8월-2000년 1월:한국전자통신연구원 공정개발연구실장, 무선통신회로팀장, 책임연구원. 1991년 6월-1992년 7월:미국 MIT RLE연구소 객원연구원. 2000년 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 충청전문대학 전자과 조교수. 1994년 3월-2005년 2월 영동대학교 전자·정보공학부 부교수. 2005년 3월-현재 호서대학교 국방과학기술학과 부교수
Tel : 041-540-9541
E-mail : alarmkoo@hoseo.edu