

도플러 효과를 이용한 전기절약시스템 개발

정순원<sup>1</sup>, 이재진<sup>2</sup>, 구경완<sup>3</sup>

한국전자통신연구원 융합부품소재연구부문<sup>1</sup>,(주)텔트론<sup>2</sup>, 호서대학교 국방과학기술학과<sup>3</sup>

Development of electricity saving system using the doppler effect

Soon-Won Jung<sup>1</sup>, Jae Jin Lee<sup>2</sup>, Kyung-Wan Koo<sup>3</sup>

Convergence Components & Materials Research Laboratory, ETRI<sup>1</sup>

Teltron Inc.<sup>2</sup>, Department of Defense Science & Technology, Hoseo University<sup>3</sup>

**Abstract** - 마이크로파 도플러 센서는 자신이 발송한 마이크로파가 반사되는 것을 직접 수신하여 주파수를 비교하기 때문에 PIR 센서의 문제점을 완전히 극복한다. 마이크로파 도플러 센서는 대부분의 주위 환경에 둔감하여 주변 온도, 먼지의 적층 여부, 때나 주변 잡음에 대하여 잘 동작한다. 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 1-1.5년이었다. 본 연구 결과로 개발된 마이크로파 도플러 센서는 향후 전기에너지 절감에 충분한 기여를 할 것으로 확신한다.

1. 서 론

WTO 체계에서는 CO<sub>2</sub> 배출권 등 기후변화에너지 대책에 대한 필요성이 강하게 대두되고 있다. 유비쿼터스 센서기술을 이용한 에너지 절약 기술의 개발은 IT기술의 산업화와 에너지 절감이라는 목적을 달성할 수 있으므로 국가차원에서의 유도가 요구된다. 그러나 우리나라의 실상은 아파트 및 빌딩의 지하주차장, 지자체 공중화장실, 밀폐된 비상계단, 빌딩 화장실, 대학 강의실 등 조명이 이용자의 사용여부와 관계없이 24시간 가동되고 있으며, 이용자가 없는 시간에도 조명을 전기를 사용하고 있다. 이러한 조명의 이용은 기관장, 빌딩주 및 일부 지자체의 조례 등에 맡겨져 부분별로 시행되고 있어, 절약하는 주체의 의식수준에 따라 이루어지게 됨으로 전기 에너지의 절약은 미미한 실정이다. 따라서, 전기를 절약할 수 있는 새로운 시스템의 개발은 매우 필요하다. 만약 국가차원에서 인체를 감지하는 유비쿼터스 센서에 한 에너지절감 가이드라인을 규정하게 되면 전국적으로 화력발전소 1 개를 대체할 정도의 전기에너지를 절감할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 부수적으로 온난화방지에 기여하여 CO<sub>2</sub> 배출권을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 세계적인 IT강국의 이미지를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 본 논문에서는 도플러 효과[1-3]를 이용한 전기절약시스템의 개발과 실제 운용 사례에 대하여 보고한다.

2. 마이크로웨이브 도플러 센서 원리

마이크로웨이브 센서[4-6]는 도플러 원리를 이용한 움직임 감지 센서로 사용할 수 있다. 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.

$$f_{Doppler} = 2 * V * T_a$$

여기서 c는 빛의 속도,  $V_{Target}$ =목표물의 속도,  $\theta$ =센서와 움직이는 물체와의 각도,  $f_{Transmitted}$ =센서의 출력주파수이다. 예를 들어  $V_{Target}$ =1 M/sec(저속보행 속도)이고 움직이는 물체의 감지를 위하여 허용된 주파수인 10.525 GHz를 사용한다면  $|f_{Doppler}-f_{Transmitted}|$ 는 약 15 Hz가 된다.

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.

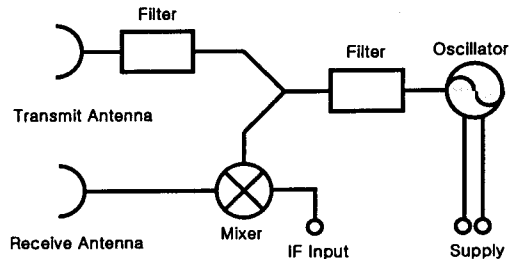


그림 1. 고주파 센서 회로 블록 다이어그램.

일반적으로 고주파 센서는 레이더 원리로 그림 1과 같다. 오실레이터에서 발진된 전파가 안테나를 통하여 방사되고, 방사된 전파의 산란된 전파 및 반사전파가 수신 안테나로 입력되면 믹서가 출력전파와 수신 전파를 비교하여 IF (=f<sub>Doppler</sub> - f<sub>transmitted</sub>)신호를 발생한다.

회로도 는 그림 1과 같이 전원공급을 통하여 발진된 발진소자(Oscillator)의 주파수의 종류 및 형태에 따라서 정확히 filter된 신호를 요구되는 사용목적에 따라 송신 안테나에 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 Output에 다양한 형태의 분석 알고리즘(Algorithm)을 통해 가공되고 표현되어지고 있는 원리이다.

### 3. 센서 시스템 기능 및 규격

표 1. 시스템 기능

항목	재원	출하 값	비고
사용전압	단상 110-220VAC, 50-60 Hz	-	
사용 등기구	AC전원으로 동작 하는 모든 등 기구	-	
사용 전력	최대 1500 W	-	·형광등 등의 유도성 부하는 최대 1000 W ·외부 스위치 사용으로 사용 전력 높일 수 있음
VR1	감지거리 ·증가감지거리감소 ·감소감지거리증가	최대감지거리	·감지거리: 3-25 M
VR2	동작 밝기 ·감소밝아도 자동조명 ·증가어두울 때 자동조명 (최소값)	외부 조도와 관계없이 자동조명 (최소값)	·최소값 무조건 자동조명 ·최대값 잘 안보일 때 동작 ·1 Lux-1500 Lux
VR3	점등 시간 ·증가시간증가 ·감소시간감소	1초(최소값)	·1초-10분(0-1분/1-5분 / 5-10분) ·3구간, 선형적 조절
전선	흑백 1쌍 노랑 1쌍	-	·오토은 동작 전용용 ·전열기구 동작용
각도 조절	상하 좌우	-	·수평에서 수직까지 변화 ·360도
스위치	ON-항상 켜짐 OFF-자동점멸	자동점멸 가능	
부착	천정 부착	-	

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. Controller의 조작 전원은 AC 110-220 V 이고, 센서간 전원은 DC 12 V이다. 전면에 Working Time(8 시간 점등용) 기능을 구비하여 설정가능토록 하고 있으며, 최종퇴실자가 확인하여 Controller에서 0-30초의 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 Panel 배치 상태 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.

표 2는 제작된 센서의 규격을 나타낸 것이다.

표 2. 센서 규격

Parameters	Min.	Typ.	Max.	Unit	Condition
Frequency	10,525 ± 12.5			MHz	Over Temp
Output Power (EIRP)		15.5		dBm	
Power Supply	4.75	5	5.25	V	
Current Consumption	30		60	mA	CW
Settling time			6	mS	
Noise			10	mV <sub>rms</sub>	3-80 Hz
Received Signal		100		mV <sub>p-p</sub>	
3dB Antenna Beam Width - Azimuth		81		o	
3dB Antenna Beam Width - Elevation		36		o	
Operating temp.	-20		55	oC	
Storage temp.	-30		70		
Size	45x40			mm <sup>2</sup>	
Pulse Width	5			mS	
Duty Cycle	1			%	
Average Current		2		mA	@5% duty

### 4. 설치 사례

#### 4.1 지하주차장 조명 제어 적용예

표 3. 시스템 구축 전/후의 비교

구분	시스템 구축전	시스템 구축후	절감효과
형광등(EA)	63	63	-
소비전력/시간(kwh)	2.36	0.85	1.51
일일(24시간)소비전력(kwh)	56.6	20.4	36.2
월간(30일)소비전력(kwh)	1,700	612	1,088
월간 전기 요금(원) 90원/kW	153,000	55,080	97,920
연간 전기 요금(원)	1,836,000	660,960	1,175,040

표 3은 본 연구에서 개발된 전기에너지 절약 시스템 설치 전/후의 에너지 소비량을 비교 정리한 표이다. 본 실험은 용인 소재 00아파트에서 실시했으며, 실험 조건은 다음과 같다. 지하 2층 주차장에 주차된 차량의 수는 124대였으며, 설치된 형광등의 총수는 204개, 점등된 형광등의 총수는 63개였다. (지하주차장범에는 70 lux를 유지하도록 되어 있지만, 전기에너지 절감을 위해 63개만 점등 운영되고 있었음), 시험 비교 기간은 1개월이었다. 실험 결과 상기 표에서와 같이 약 64%의 절감효과가 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 공사비 대비 경제성을 계산해 봤을 때, 설치비 회수 기간은 약 1.5년이었다.

#### 4.2 사무실, 빌딩 공동 전기 적용예

표 4. 각 층별 설치현황

	회장실(남/여)	계단	복도 및 현관
5층	2	1	1
4층	2	1	1
3층	2	1	1
2층	2		1
1층	2		1
지하	1		1
계	11	3	6

표 5. 설치 전/후 공동 전기요금 비교표

	설치 전	설치 후
적용기간	06' 11월 ~ 07' 10월 (12개월)	07' 11월~12월 (2개월)
평균요금	265,595	81,181
절감비율	69%	
예상비용회수기간	11개월	

※공동 전기요금: 화장실, 현관, 계단 등 공동사용 장소 전기 요금

표 4는 대전광역시 유성구 장동 소재 빌딩에서 실시한 실험 결과를 나타낸 것이다. 실험에 사용된 건물은 면적이 4,118 m<sup>2</sup>로 5 층으로 구성되어 있으며, 각 층에 2개 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 10개 업체가 월별로 나누어 지불하고 있었다. 과거 12 개월의 월별 평균전기료는 256,595 원이었다.

표 5는 본 연구에서 개발된 전기에너지 절약 시스템 설치 전/후의 공동전기요금 비교표이다. 실험 결과 상기 표에서와 같이 약 69 %의 절감효과가 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 공사비 대비 경제성을 계산해 봤을 때, 설치비 회수 기간은 약 11개월이었다.

표 6. 본 연구개발된 시스템과 기존 제품과의 비교

	연구 개발 시스템	기존 제품
감지원리	마이크로웨이브	PIR(열적외선)
응용분야	조명제어, 방범용, 자동문 등	조명제어, 방범용, 자동문 등
정격부하	1,000 W	150-1,000 W
특징	조도, 시간, 감도 조절가능	조도, 시간, 감도 조절가능
대기전력	0.5 W	0.1 W
장점	1.비금속제품 투과 감지 2.대기환경(온도, 습도, 빛, 먼지)에 영향을 받지 않음 3.미세한 움직임 감지특성	1.가격이 저렴 2.많이 보편화 되어 있는 만큼 다양한 제품이 있어 기호에 따른 제품 선택 가능
단점	1.PIR 센서보다 고가격 형성 2.다양한 제품군 부족	1.비금속제품 투과불가능 2.대기환경(온도, 습도, 빛, 먼지)에 영향을 받음 3.미세한 움직임 감지능력 다소 떨어짐
감지거리	20 M	13 M

표 6은 기존제품과의 차별성을 정리한 표이다. 기존 조명 센서는 PIR(passive infrared) 제품이 대부분이다. PIR 센서는 열감지 센서로서 현재 자동문, 아파트 현관입구 등, 무인경비 시스템의 감지 센서에 널리 사용되고 있다. PIR 센서의 원리는 주변 온도와 차이가 생기면 그 차이에 비례하는 전압 신호를 출력으로 하여 감지하는 방법이다. PIR 센서의 문제점은 그 원리에 있다. 주변 온도와의 차이를 감지하므로 주변 온도와 온도 차이가 있는 물체가 움직여서 센서에 가까워질 때 가장 감도가 좋아지는데, 일단 물체가 가까워져서 주변 온도를 충분히 데워주면 감도가 급격히 떨어진다. 일 예로 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. 일 예로 우산을 사용하여 PIR을 사용하는 방법시스템을 무기력화 시키는 사건을 들 수가 있다.

마이크로파 도플러 센서는 그러한 PIR 문제점을 완전히 극복한다. 그 이유는 도플러 센서는 자신이 발송한 마이크로파가 반사되는 것을 직접 수신하여 주파수를 비교하기 때문이다. 마이크로파 도플러 센서는 대부분의 주위 환경에 둔감하여 주변 온도, 먼지의 적층 여부, 때나 주변 잡음에 대하여 잘 동작한다. 중, 대규모 시스템의 전력 절감에서는 마이크로파 도플러 센서가 유일한 해결책이라 생각된다.

## 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 센서 보다는 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 1-1.5년이었다. 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 effect 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, 2007