

광소자에 의한 일사량 측정

Measurement of Radiation using Photo Diodes

이 남 호* · 백 성 호** · 김 기 복***
Lee, Nam Ho · Paik, Sung Ho · Kim, Ki Bok

Abstract

The purpose of this study is to develop an economic and practical radiation sensor using photo diodes which is useful for estimating ET in greenhouse environment. An electronic circuit was then designed. Output signal of photo diode is amplified with a LM318 transistor and is displayed in a LCD with value from zero to 255. The output signal was compared with that of a ready-made pyranometer. The behavior of the photo diode radiation sensor was evaluated by increasing number of photo diodes. The sensor became more reliable with increased number of photo diodes. Developed radiometer was tested with calibrated relation between pyranometer radiation and photo diode output. It was showed that the photo diodes radiometer would be applicable for the greenhouse environment.

I. 서 론

일사량은 작물의 생육에 영향을 미치는 중요한 기상 인자인 관계로 최근에 들어서는 일사량을 이용하여 작물의 증발산량을 추정하거나 일사량을 이용하여, 작물의 관개시기와 관개량을 결정하는 방법들(김과 김, 1998; 남 등, 1990; 남 등, 1999)이 사용되고 있다. 시설 재배의 중요성에 대한 인식이 고조되면서 시설재배면적이 증가되고 있고, 시설재배 작물의 생산비를 절감하고 작물의 수확량을 증가시킬 수 있는 물관리 자동화 시스템이 요구되고 있다. 특히 양액재배의 자동화를 위해 일사량을 이용한 각종 기술들이 연구·개발되고

있으나, 이와 같은 자동화 시스템의 확대 보급을 제한하는 중요한 요인들 중의 하나는 일사량을 측정할 수 있는 센서가 거의 대부분 수입되고 그 가격도 매우 높다는 점이다.

일사계의 종류에는 광도전 효과형, 광기전력형, 광전자 방출형, 열전 효과형 등이 있다. 기존에 사용되고 있는 일사계는 태양빛의 강도로서 얼마만큼의 전력을 얻을 수 있는지를 측정할 수 있도록 만들어졌다. 그에 반해 광소자(photo diode)는 빛의 강도에 비례하는 전류를 발생시킨다. 광소자에 의한 일사량 측정 회로는 이미 신 등(1995)에 의해 제시된 바 있지만, 암전류와 불안정한 출력결과를 보완하여 신뢰도 높고 실제 현장에 사용 가

*한경대학교 농촌공학과

**한경대학교 대학원

***한국표준과학연구원 비파괴계측그룹

키워드 : 광소자, 일사량, 일사계, 관개시기, 관개량

능한 회로의 구성이 요구되고 있다.

광소자는 개발된 이후 다방면에 활용되고 있다. 지(1988)는 광센서와 퍼스널 컴퓨터를 이용한 기어전달오차의 측정과 분석에 관한 실험적 연구에서 광소자의 응용 및 광센서로서의 활용에 대해 연구했으며, 김(1996)은 PPV 유도체의 발광소자 기능 및 광센서 효과 연구에서 광소자의 재료와 광화학적 특성, 광센서에 사용함에 있어서 그 적용성을 연구하였다. 장 등(1996)은 레이저 절단에서 광소자를 이용한 가공공정 모니터링에서 광소자를 응용한 사용에 대해 논했고, 김 등(1997)은 광간섭법을 이용한 변위/길이 측정시스템의 설계 및 해석에서 첨단 반도체 제조공정에 광소자를 적용하였다. 본 연구는 시설내의 양액재배 자동화 및 관개자동화에 사용하기 위해서 비교적 가격이 저렴한 광소자를 이용하여 일사량을 측정할 수 있는 회로를 구성·제작하고 적용성을 검토하는데 그 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. 광소자를 이용한 일사량 측정기의 개발

광소자는 수광소자 또는 광센서라고도 하며, 빛을 받으면 수 mA의 전류를 빛의 세기에 비례하여 발생시킨다. 이 미세한 전류를 transistor(모

델 LM318)을 이용한 증폭회로에 연결함으로써 빛의 강도에 따라 0 ~ 255 까지의 숫자로 출력할 수 있는 회로를 구성했다.

가. 광소자(모델 EE-D33)

일사량 계측은 광 에너지를 저장, 전류 등의 전기 신호로 변환하는 광센서를 사용하는데, Cds(황화카드뮴소자)와 같은 광도전 효과, PM tube 등의 광전자 방출효과 그리고 광소자나 태양전지와 같이 광기전력 효과 등을 이용하는 것이 있다.

본 연구에서는 입사광량에 대한 출력전류의 직선성이 뛰어나고 고속의 응답 특성을 갖고 있으며, 암전류, 소자간 출력분산, 온도 계수 등이 작고, 비교적 높은 신뢰성을 보유하고 있는 광소자를 일사량 계측을 위한 센서로 선정하였다.

광소자는 광기전력 효과를 이용한 검출 소자로서, 광기전력 효과란 적절한 파장의 빛이 입사될 때 반도체가 그 에너지를 흡수하여 PN 접합부 부근에 전하 캐리어를 생성시킴으로써 PN 접합부에 존재하는 전계의 작용에 의해 기전력이 발생하는 현상을 말한다. 이 방식의 센서에서 출력되는 파장 영역은 입사광이 접합면에 도달하는 경로의 재질에 의하여 흡수되는 400nm 부근의 단파장에서 제한되고, 장파장 방향으로는 반도체 재료의 에너지 gap(E_g)에 의한 1100nm 정도로 결정되므로 비교적 가시광선에서의 파장특성이 우수하다. 광

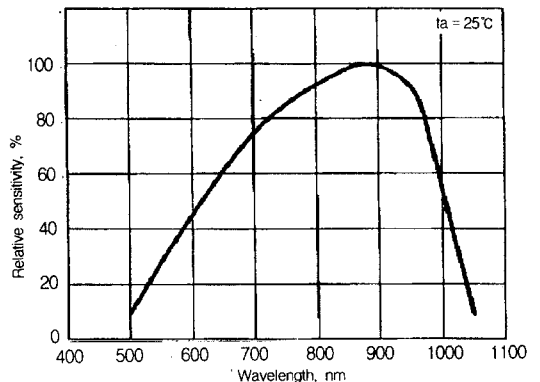
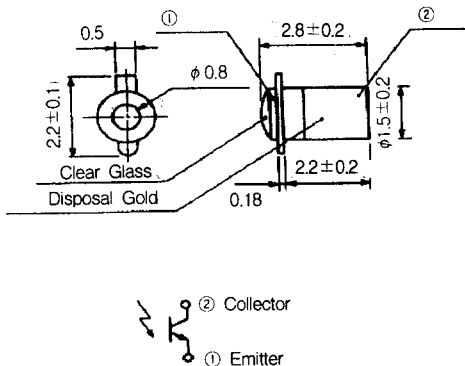


Fig. 1 Schematic diagram of photo diode and sensitivity curve

소자의 암전류는 빛이 조사되지 않는 어두운 상태에서 역바이어스를 걸었을 때 소자에 흐르는 전류로서, 이 값이 크면 저조도(낮은 광강도)로서 출력 전류의 직선성이 없어져 미소 광량의 검출이 곤란하게 된다. 포토 다이오드의 직선성은 대단히 양호하며 출력전류는 수광면에 빛이 조사될 때 그 수광면적에 비례한다.

광소자의 응답 속도는 캐리어가 전극간을 주행하는 시간과 집합용량에 비례한다. 보통 Si(실리콘) 광소자는 수광 면적이 크고, 집합 용량도 크기 때문에 응답 속도는 약 $10\mu s$ 정도가 된다. 또한 집합 용량을 작게 하기 위해 역바이어스 전압을 크게 하는 것이 고려되고 있는데, 이때는 암전류도 증가하므로 주의가 필요하다. 일반적으로 포토 다이오드의 검출회로는 transistor나 Op-Amp를 사용하여 전류를 검출하며 광소자에 전압을 인가하지 않는 무바이어스 방법과 전압을 인가하는 바이어스 인가 방법이 사용된다.

나. 회로의 구성

본 연구에서 사용된 일사량 계측용 광소자는 500~1050nm의 파장 범위를 가지는 모델명 ST-1KLA-ST-1KLB(Kodenshi, 일본)로서 분광감도 특성과 사양은 Fig. 1과 같으며 가격이 매우 저렴할 뿐만 아니라 시중에서 손쉽게 구할 수 있다는 장점이 있다.

일사량의 계측을 위해 Op-Amp가 포함된 전류 증폭회로를 다음 Fig. 2와 같이 구성하였다. 일반적으로 빛이 조사될 때 광소자에 흐르는 전류는 매우 미소하기 때문에 범용의 Op-Amp를 이용할 경우 증폭회로의 구성이 어렵다. 이에 따라 보통 광소자 제조회사에서 전용의 증폭회로를 제공하는 경우가 많은데 이 경우 증폭회로의 가격이 매우 비싸지게 된다. 본 연구에서는 광소자의 미소 전류를 증폭하기 위하여 광센서부에 4개의 광소자를 병렬로 조합하여 각 광소자를 흐르는 미소 전류의 합한 전류를 Op-Amp로 증폭하여 검출하고자 하였으며, 바이어스 전압을 인가하지 않은 무바이어스 회로로 구성하였다. 이 경우 광소자의 동작점

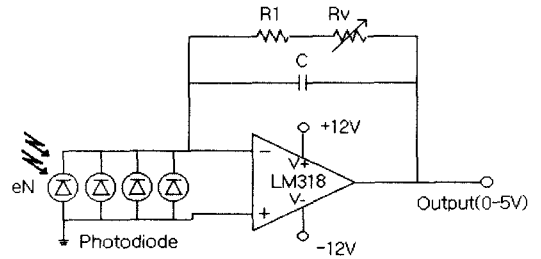


Fig. 2 The circuit of module

은 광소자의 전압-전류특성 곡선과 부하직선의 교차점이 되며, 부하저항이 작은 경우 동작점은 전류축에 근접하게 되어 출력은 광의 강도(조명도)에 비례하게 된다. 그러나 부하저항이 큰 경우, 동작점은 전압축에 근접하게 되어 출력은 광의 강도(조명도)의 대수값에 비례하게 된다.

본 연구의 증폭회로에 사용된 증폭기는 범용으로 사용되는 LM318이며 귀환회로 부분에 가변저항을 연결하여 증폭전압을 조정할 수 있도록 하였다. 증폭전압의 조정은 일반적으로 정오의 밝은 날을 기준으로 할 경우 조도가 약 150,000 Lux 정도이며 형광등 광원을 기준으로 한 실내의 조도가 300~500 Lux 정도이므로 이들 값들을 기준으로 하여 가변저항을 조정함으로써 적절한 증폭비를 결정하였다.

한편, Op-Amp의 출력전압은 8bit A/D변환과 digital I/O 기능이 내장된 컴파일 테크놀로지사의 PIC(PICBASIC-1S)를 이용하여 일사량에 따른 증폭기의 출력전압을 8비트로 변환하여 LCD에 출력하도록 하였다.

2. 현장실험 및 분석

개발된 일사량 측정장치로부터 측정된 신호를 일사량으로 변환시키기 위해 기준 일사계를 이용하여 일사량을 측정하였다. 측정은 한경대학교 농촌공학과 온실에서 실시되었다.

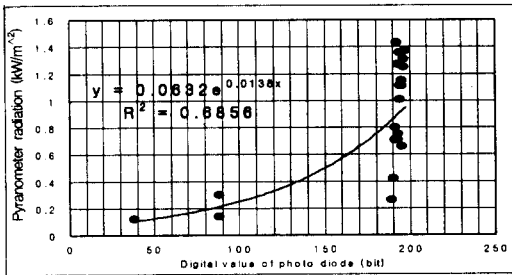
본 연구를 위한 기준 일사량은 광소자에 의한 광도전형 일사계를 사용하여 측정하였다. 모델번호는 센서 No. 7980-s-48(佐藤전자, 일본)이다.



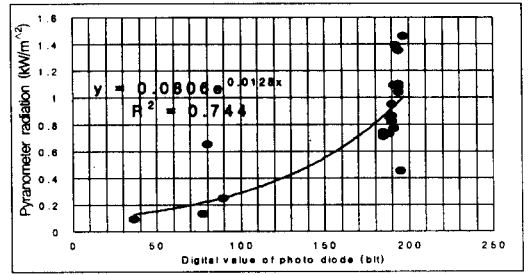
Fig. 3 Pyranometer



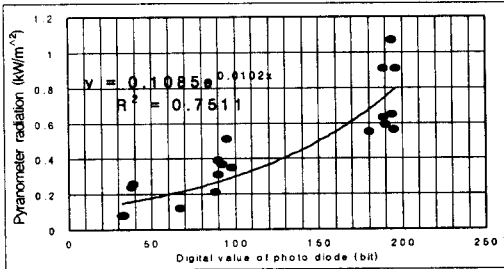
Fig. 4 Photo diode radiometer



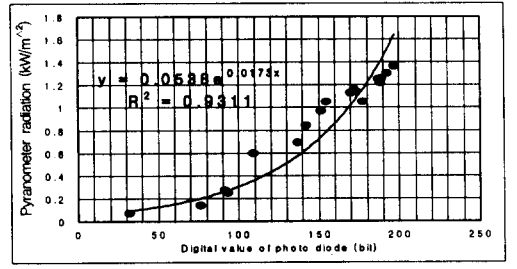
(1) $n = 1$ ea



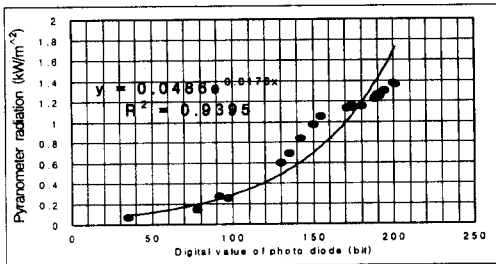
(2) $n = 2$ ea



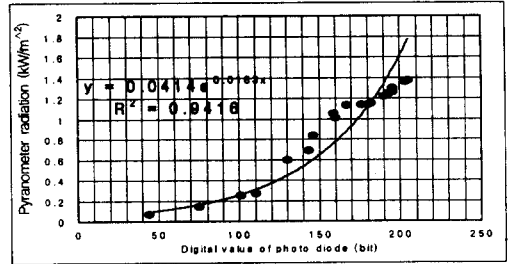
(3) $n = 3$ ea



(4) $n = 4$ ea



(5) $n = 5$ ea



(6) $n = 6$ ea

Fig. 5 Variation of radiation by the number of photo diode(n)

다음의 Fig. 3은 기존 일사계의 모습이며, Fig. 4는 본 연구에서 개발된 광소자 회로에 의한 일사계를 보여주고 있다.

III. 결과 및 고찰

1. 광소자의 개수에 따른 측정값의 변화

적정 광소자의 개수를 산정하기 위해 광소자의 개수를 1개부터 6개까지 1개씩 증가 시키면서 측정을 하였으며 동시에 기존일사계를 이용하여 일사량을 측정하였다. 광소자는 병렬로 되었으며, 개발된 일사계의 측정은 1개의 광소자를 사용한 회로를 사용해서 시작한 후 1개씩 증가시키면서 거동을 살펴보았다. 실험은 2000년 9월 4일~9월 18일 기간에 수행되었다.

Fig. 5는 광소자의 출력값(bit)과 기존 일사계의 일사량(kW/m^2)과의 관계를 도시하고 있다. 두 일사계의 측정값을 분산형 그래프에 도시하고, 상관분석을 통해 관계식과 결정계수를 구하였다. 그 결과 광소자의 개수를 증가시킬수록 일사량의 변화를 잘 보여주었고, 광소자 6개를 병렬로 연결한 회로가 가장 적합한 것(결정계수 : $R^2 = 0.9416$)으로 나타났다. 관계식은 결정계수가 가장 높을 값을 선정하였다.

2. 광소자 일사계의 적용성 검토

6개의 광소자를 연결한 회로로 구성된 일사계의 적용성을 검토하기 위하여 2000년 11월 25일~2000년 12월 5일까지 11일 동안 검측을 실시하였다. Fig. 6과 같이 실험 반복을 위하여 온실 내부에 5개 지점을 선정하여 각 지점에서 기존 일사계와 광소자 일사계를 이용하여 동시에 측정이 실시되었다. 각 지점별로 광소자 일사계의 출력값을 앞에서 구한 상관식 $y=0.0414e^{0.0183x}$ 을 이용하여 일사량으로 변환하고 그 값을 기존 일사계의 측정값과 비교한 결과는 Fig. 7에 도시되어 있다. RMS오차를 계산한 결과는 $0.023\sim 0.057\text{kW/m}^2$ 으로서 광소자 일사계의 출력값과 기존 일사계의 출

력값이 대체로 일치 되는 것으로 나타났다. 따라서 개발된 광소자 일사계는 온실내에 설치하여 온실내의 관개량 또는 관개시기를 결정하는데 충분히 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

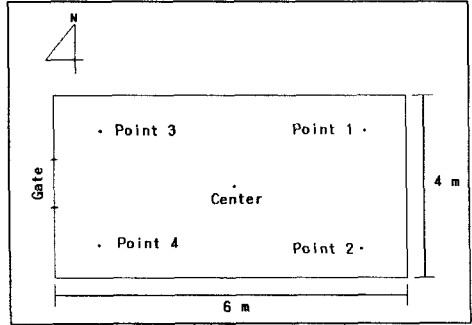
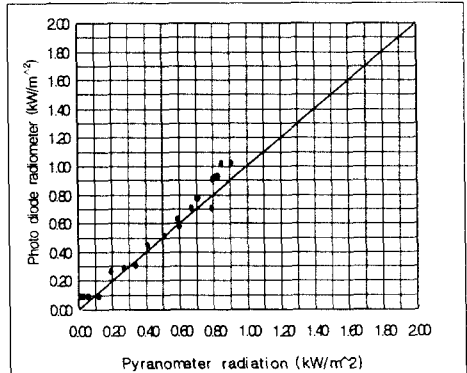
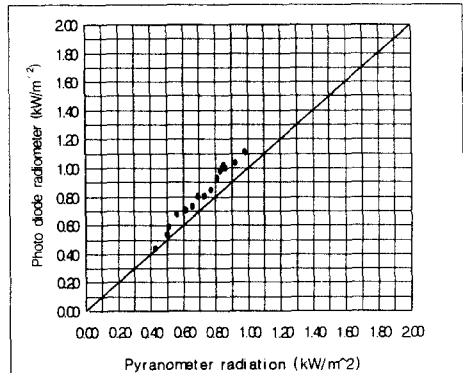


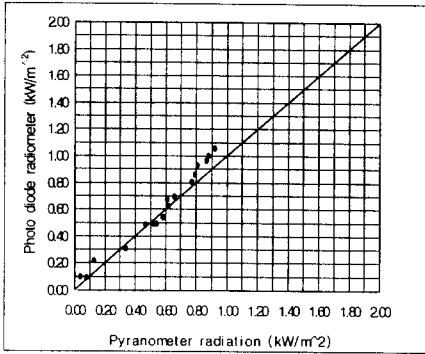
Fig. 6 Layout of measurement points in the green house



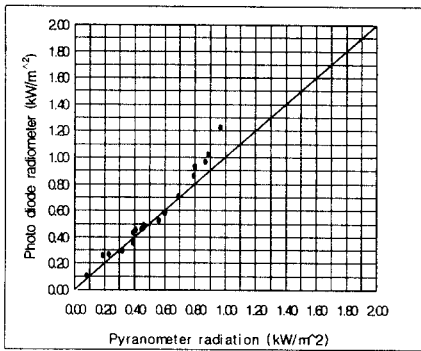
(1) Point 1 (RMSE = 0.055 kW/m^2)



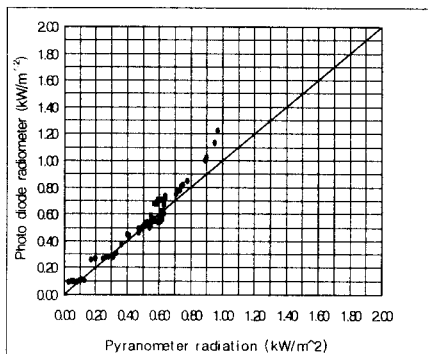
(2) Point 2 (RMSE = 0.023 kW/m^2)



(3) Point 3 (RMSE = 0.051 kW/m²)



(4) Point 4 (RMSE = 0.049 kW/m²)



(5) Center (RMSE = 0.057 kW/m²)

Fig. 7 Comparison between photo diode radiation and pyranometer radiation at each point

IV. 요약 및 결론

본 연구에서 값이 저렴한 광소자를 이용하여 일사량을 측정할 수 있는 회로를 구성하고, 시설내의 양액배배 자동화 및 관개자동화에 사용하기 위한 적용성을 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 광소자의 개수를 증가시킬수록 일사량의 변화를 잘 나타내었고, 광소자 6개를 병렬로 연결했을 때 가장 적합한 것으로 나타났다.

2. 개발된 광소자 일사계의 적용성을 검토한 결과, 기존 일사계 일사량과 광소자 일사계의 일사량 간의 RMS 오차가 0.023~0.057 kW/m²으로써, 극히 정밀한 일사량 변화를 요구하지 않는 경우에는 적용 가능한 것으로 판단되었다. 즉, 시설내 관개 자동화 시스템에 활용하여 작물을 재배하는 것이 가능하다.

3. 본 연구는 광소자를 이용한 일사량 측정 가능성에 대하여 기초적인 판단을 목적으로 실시되었고, 추후에는 보다 정밀한 일사량 측정에 사용할 수 있는 광소자 선정 및 측정회로의 설계에 관한 연구를 실시할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 김규태, 1996, PPV 유도체의 발광소자 기능 및 광센서 효과 연구, 서울대 석사학위 논문.
2. 김문기, 손정익, 1993, 농학·생물학 분야의 전기전자계측, 한국원예기술정보센터, pp. 254-274.
3. 김진상, 김승철, 정성중, 1997, 광간섭법을 이용한 변위/길이 측정시스템의 설계 및 해석, 한국정밀공학회지 14(10): 151-155.
4. 김혜진, 김영식, 1998, 방울토마토 고품 배지경에서의 적산일사량에 따른 관수와 당도와의 관계, 생물생산시설환경 7(2): 144-150.
5. 남상운, 김문기, 고학균, 김용현, 1990, 하우스 환경요인이 수경재배 상추의 증산속도에 미치는 영향, 서울대농학연구지 15(1): 13-18.
6. 남상운, 이남호, 전우정, 황한철, 홍성구, 허연

- 정, 1999, 양액재배 급액제어모델개발에 관한 연구, 한국농공학회지 41(2): 37-43.
7. 대영사, 전기·전자 공학개론 pp. 80-91.
8. 복두, 기초 전기전자공학 pp. 127-132.
9. 성락서, 1988, 센서입문, 대림, pp. 193-209.
10. 신재훈, 김경만, 고광현, 한원식, 1995, 온실 환경의 자동 계측 및 제어시스템에 관한 연구, 농업논문집 37(2): 681-686.
11. 장옥진, 김봉채, 김재도, 1996, 레이저 절단에서 광소자를 이용한 가공공정 모니터링, 한국정밀공학회지 13(12): 30-37.
12. 지해성, 1988, 광센서와 퍼스널 컴퓨터를 이용한 기어전달오차의 측정과 분석에 관한 실험적 연구, 서울대 석사학위 논문.
13. Gary M. Miller, 대응, 현대 전기전자공학의 기초, pp 261-299.