

Photo diode에 의한 일사량 측정

Measurement of radiation using photo diodes

이 남 호 · 김 기 복 · 백 성 호* (한경대)

Lee, Nam Ho · Kim, Ki Bok · Paik, Sung Ho

Abstract

The purpose of this study is to develop an economical radiation sensor using photo diodes. An electronic circuit was developed. The behavior of the radiation sensor was evaluated by increasing number of photo diodes.

The sensor became more reliable by the increase in number of photo diodes. It was showed that the photo diodes sensor would be applicable.

I. 서 론

일사량은 작물의 생육에 영향을 미치는 중요한 기상 인자인 관계로 최근에 들어서는 일사량을 이용하여 작물의 증발산량을 추정하고 이를 토대로 작물의 관개시기와 관개량을 결정하는 방법들이 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 양액 재배 자동화 시스템을 위한 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. 기존에 사용되고 있는 일사계는 태양빛의 강도로서 얼마만큼의 전력을 얻을 수 있는지를 측정할 수 있도록 만들어졌다. 그에 반해 photo diode는 빛의 강도에 비례하는 전류를 발생시킨다. Photo diodes에 의한 일사량 측정 회로는 이미 제시한바 있지만, 암전류와 불안정한 출력결과를 보완하여 신뢰도 높고 실제 현장에 사용 가능한 회로의 구성이 요구되고 있다. 본 연구는 비교적 가격이 저렴한 photo diode를 이용하여 일사량을 측정할 수 있는 회로를 구성·제작하고 그 적용성을 검토하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 방법

1. Photo diode를 이용한 일사량 측정기의 개발

Photo diode는 수광소자 또는 광센서 라고도 하며, 빛을 받으면 수 mA의 전류를 빛의 세기에 비례하여 발생시킨다. 이 미세한 전류를 transistor(LM318)을 이용한 증폭회로에 연결함으로써 빛의 강도에 따라 0 ~ 255 까지의 숫자로 출력할 수 있는 회로를 구성했다.

가. Photo diode (EE-D33)

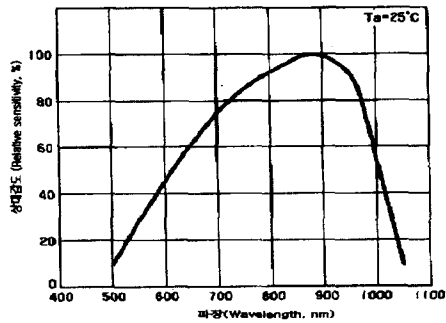
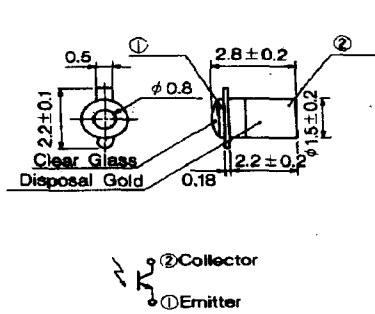
본 일사량 계측 system에 사용한 photo diode의 특성은 다음과 같다.

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

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

Photo diode는 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 방향으로서는 반도체 재료의 에너지 gap(E_g)에 의한 1100nm 정도로 결정되므로 비교적 가시광선에서의 파장특성이 우수하다. photo diode의 암전류는 빛이 조사되지 않는 어두운 상태에서 역바이어스를 걸었을 때에 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.

Photo diode의 응답 속도는 캐리어가 전극간을 주행하는 시간과 접합용량에 비례한다. 보통 Si(실리콘) photo diode는 수광 면적이 크고, 접합 용량도 크기 때문에 응답 속도는 약 $10\mu s$ 정도가 된다. 또한 접합 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 photo diode에 전압을 인가하지 않는 무바이어스 방법과 전압을 인가하는 바이어스 인가 방법이 사용된다.



<그림 1> photo diode와 빛에 대한 감도 곡선

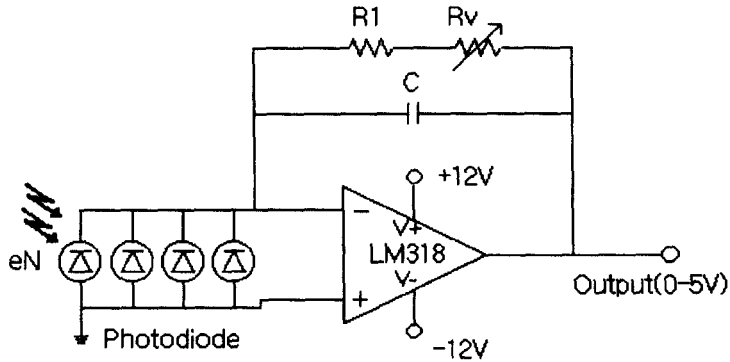
나. 회로의 구성

본 일사량 계측 system에 사용한 회로에 들어간 부품들과 회로도도 다음과 같다. 이번 연구에서 사용된 일사량 계측용 photo diode는 500~1050nm의 파장 범위를 가지는 모델명 ST-1KLA-ST-1KLB(Kodenshi, 일본)로서 분광감도 특성과 사양은 그림 1과 같으며 가격이 매우 저렴할 뿐만 아니라 시중에서 손쉽게 구할 수 있다는 장점이 있다.

일사량의 계측을 위해 Op-Amp가 포함된 전류 증폭회로를 다음 그림 2와 같이 구성하였다. 일반적으로 빛이 조사될 때 photo diode에 흐르는 전류는 매우 미소하기 때문에 범용의 Op-Amp를 이용할 경우 증폭회로의 구성이 어렵다. 이에 따라 보통 포토 다이오드 제조회사에서 전용의 증폭회로를 제공하는 경우가 많은데 이 경우 증폭회로의 가격이 매우 비싸지게 된다.

본 연구에서는 photo diode의 미소 전류를 증폭하기 위하여 광 sensor부에 4개의 photo diode를 병렬로 조합하여 각 포토 다이오드를 흐르는 미소 전류의 합한 전류를 Op-Amp로 증폭하여 검출하고자 하였으며 바이어스 전압을 인가하지 않은 무바이어스 회로로 구성하였다. 이 경우 photo diode의 동작점은 photo diode의 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 맑은 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.



<그림 2> 회로도

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

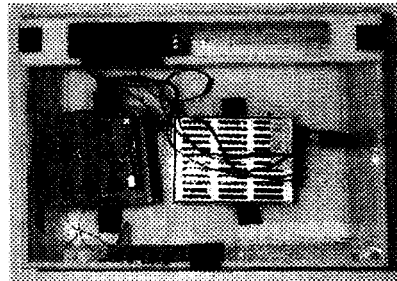
일사량 측정 방법은 다음과 같다.

개발된 일사측정장치로 부터의 신호를 일사량으로 변환시키기위해 기성제품에 의해 일사량이 측정되고 있는 한경대학교 농촌공학과 온실에서 일사량 측정 실험이 실시되었다.

본 연구를 위한 기준 일사량은 photo cell에 의한 광도전형 일사계를 사용하여 측정하였다. 모델번호는 sensor No. 7980-s-48(佐藤전자, 일본) 이다. 이에 반해 개발된 일사계는 photo diode에 의한 광기전력형 일사계이다.



<사진 1> 기존 일사계



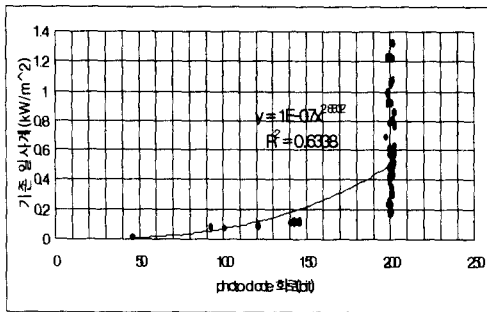
<사진2> Photo diode 일사계

위의 사진 1.은 기존 일사계의 모습이며, 사진 2.는 본 연구에서 개발된 photo diode 회로 일사계의 일사량 측정모습이다.

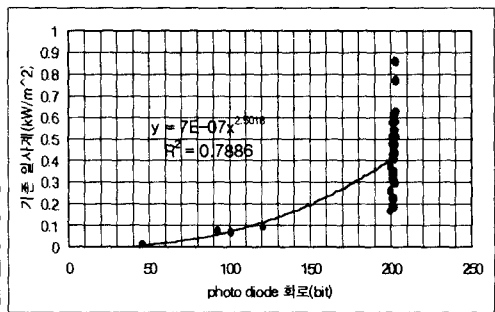
III. 결과 및 고찰

1. Photo diode의 개수에 따른 측정값의 변화

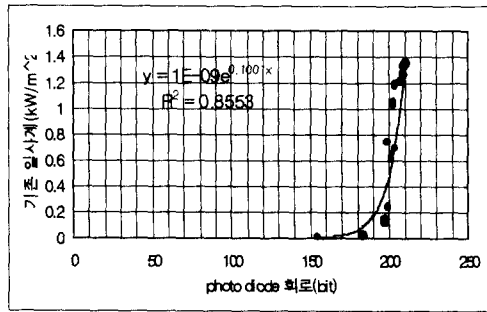
본 연구에서는 photo diode의 개수를 1개부터 4개까지 1개씩 증가시키면서 그 특성을 분석하였는데 그 결과는 그림 3.과 같다. Photo diode는 병렬로 되었으며, 개발된 일사계의 측정은 적정 photo diode의 개수를 선정하기 위해 1개의 photo diode를 사용한 회로를 사용해서 시작한후 1개씩 증가시키면서 거동을 살펴보았다. 실험은 1999년 9월 9일부터 10월 7일까지 수행되었다.



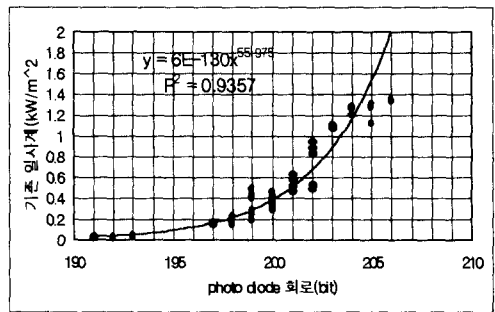
(1) photo diode 1개



(2) photo diode 2개



(3) photo diode 3개



(4) photo diode 4개

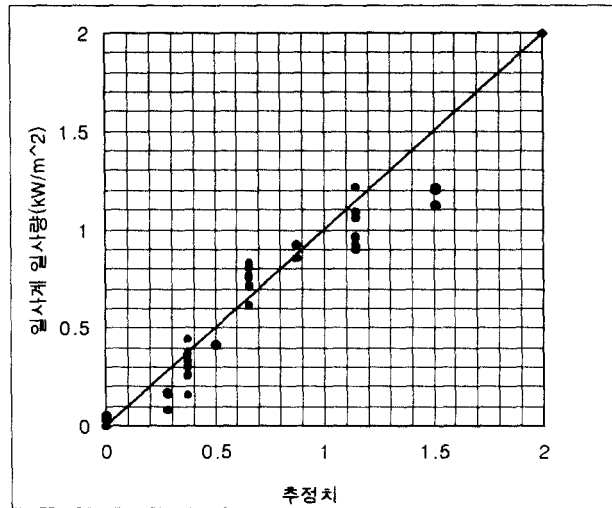
<그림 3> Photo diode 개수에 따른 변화

그림 3.은 photo diode의 출력값(bit)과 기준 일사계의 일사량(kW/m²)과의 관계를 도시하고 있다. 즉, 두 일사계의 측정값을 분산형 그래프에 도시하여, 추세선을 통해 관계식과 결정계수를 구하였다. 그결과 photo diode의 개수를 증가시킬수록 일사량의 변화를 잘 보여주었고, photo diode를 4개 병렬로 연결한 회로가 가장 적합한 것으로 나타났다.

2. 개발된 모형의 적용성 검토

4개의 photo diode를 연결한 회로의 일사량 추정 모형의 적용성을 검토하기 위하여 1999년 10월 15일부터 16일 이틀간 검측을 실시 하였다.

photo diode를 이용한 일사량과 기준 일사계의 일사량을 비교하였고, 그 결과는 그림 4와 같다. 그림 3.의 (4)에서 보는것과 같이 개발된 photo diode 일사계는 기준일사계와 비교해 볼 때, 결정계수가 0.9357, RMS 오차는 0.18로 계산되었다.



<그림 4> 기준일사계 일사량과 photo diode 일사량 비교

IV. 결론

본 연구에서 photo diode를 이용하여 일사량을 측정할 수 있는 회로를 구성하고 그 적용성을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. Photo diode의 개수를 증가시킬수록 일사량의 변화를 잘 나타내었고, photo diode 4개를 병렬로 연결했을 때 가장 적합한 것으로 나타났다.
2. 개발된 회로의 적용성을 검토한 결과, 기준 일사계 일사량과 photo diode 일사량을 비교한 RMS 오차가 0.18 로써, 극히 정밀한 일사량 변화를 요구하지 않는 경우에는 적용 가능한 것으로 판단된다.

V. 참고문헌

1. 김경만의 4명, 1995, 온실 환경의 자동 계측 및 제어시스템에 관한 연구, 농업논문집
2. 김문기의 2명, 1993, 농학·생물학 분야의 전기전자계측, 한국원예기술정보센터, pp254-274
3. 성락서, 1988, 센서입문, 대림, pp193-209