

# GPS 태양추적장치를 이용한 집광형 태양광발전시스템에 관한 연구

## A Study on Concentrating Photovoltaic System by GPS Solar Tracker

정 용 환\*, 임 중 열\*\*  
Yong-Hwan Jeong\*, Jung-Yeol Lim\*\*

### Abstract

The energy of CPV system is different as the altitude and azimuth of solar. In order to The maximum of solar energy density, the tracking system which does there to make be the module and the solar will be able to maintain a normal line is necessary. This paper proposed for GPS solar tracker of stand-alone 60[W] concentrating photovoltaic system. The position algorithm of solar tracker is through the coordinates transformation calculating the altitude and azimuth of the solar.

### 요 약

집광형태양광발전시스템은 태양의 고도와 방위각에 따라 에너지량 차이가 크게 나타난다. 집광형 태양광발전시스템의 태양에너지 밀도를 최대화 하기 위해서는 모듈과 태양이 법선을 유지할 수 있게 하는 추적시스템이 필요하다. 본 논문은 독립형 60[W]급 집광형태양광 발전시스템을 위하여 GPS 태양광추적시스템을 설계하였고 태양추적 장치의 위치 알고리즘은 GPS를 통해 태양의 고도와 위도 좌표값 산출 하도록 하였으며, 실제 운전을 통하여 타당성을 검토하였다.

Key words : Concentrating Photovoltaic System, Solar Tracker, GPS

### 1. 서론

세계적으로 산업화가 가속되고 산업·사회생활의 고도화됨에 따라 전력수요는 기하급수적으로 늘어나고 있으며, 특히 국내의 경우 에너지 다 소비형 산업구조와 소비구조로 향후 에너지 대란이 예상되고 있다. 그 대응의 일환이 1997년 교토의정서로 선진국은 전력, 생산, 제품 등 다양한 분야에 그린에너지를 도입하고 있는 등 세계 경제는 탄소경제에 돌입하였으며 이에 따른 대응 산업과 시장이 형성되어 있다.

태양광응용 제품과 같은 온실가스 저감효과가 있는 응용제품의 개발에 따른 시장 확대가 필요하고, 향후 제품에 대한 이산화탄소 배출량 규제(자동차, 제품 등)의 강화에 대한 대응이 시급하다. 태양광발전시스템에서 50%이상을 비용을 차지하고 있는 태양전지는 가격이 고가이기 때문에 면적대비 에너지 밀도를 최대화할 수 있는 방안이 필요하며 이에 대한 해결방안으로 집광형 태양광발전 시스템이 대두되고 있다.

에너지 밀도를 최대화하기 위해서는 태양광선과 태양광모듈이 법선을 유지할 수 있는 추적시스템이 필요하며 기존의 태양광발전시스템에서 사용되고 있는 추적장치의 추적각은 3°~5°이지만 보다 높은 집광효율을 확보하기 위해서는 추적각이 1°이하가 되어야 한다. 본 논문에서는 추적각이 1°가 되도록 GPS를 이용하여 집광형태양광발전시스템 구성하였으며 모니터링을 통하여 운전 특성을 분석하였다.

\* 南部大學校 디지털經營情報學科  
(Department of Digital Management Information, Nambu University)

★ 교신저자 (Corresponding author)  
接受日:2011年 07月 19日, 修正完了日: 2011年 08月 29日  
掲載確定日: 2011年 09月 06日

## II. 시스템 설계

### 1. 시스템 개요

본 논문에서 제안된 집광형 태양광발전시스템은 그림1과 같으며, 집광형 태양광발전 모듈부, 추적시스템부, 전력변환부로 구성되며 부하는 LED램프를 채택하였다. CPV Module은 Primary Fresnel Lens, Secondary Lens, III-V계 화합물반도체 태양전지로 구성되어 있고 최대출력은 60W, 개방전압 71Vdc, 단락전류 1A이다. 추적시스템부는 GPS센서, 상하기어부, 제어부 등으로 구성되어 있고 GPS를 통해 태양의 위치를 계산하고 집광형태양광모듈의 경사각과 방위각을 제어하도록 하였다. 전력변환부는 입력전압 범위 12~71Vdc, 출력전압 12~14.4Vdc를 유지하여 온도보상 충전을 하도록 하였으며 과충전과 과방전 기능을 통해 배터리를 보호하도록 하였다. 부하로 사용된 LED Lamp는 10W 고효율 LED Lamp 3개로 구성되어 총 부하는 30W이다.

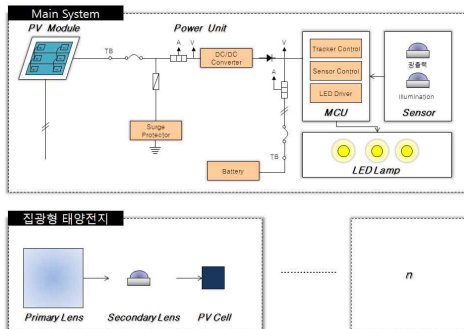


Fig. 1. System block diagram of concentrating photovoltaic system

그림 1. 집광형태양광발전시스템의 시스템 구성도

### 2. 태양추적시스템

태양 추적 장치 (solar tracking system) 는 태양 전지 모듈로 입사되는 태양 광선의 방향을 태양 전지 모듈 집광면 법선 방향과 일치시키기 위하여 태양 전지 모듈에 부착하는 자동 제어 장치를 의미한다.

태양의 위치를 추적하기 위하여 계절과 시간에 따른 태양의 좌표를 토대로 태양의 위치를 계산하는 알고리즘에 구성하고 이를 이용하여 태양 추적 장치를 구성해야 한다. 태양 위치를 정확하게 알수록 다른 오차의 원인들에 의한 오차 허용 범위 (margin of

tolerance)를 조절할 수 있다.

그림 2는 태양의 고도와 위도를 나타내고 있다. 태양의 위치는 항상 황도를 통해 움직이고 그 궤도가 작기 때문에 단순화 할 수 있으며, 지구의 궤도에 태양이 있다고 가정하고 계산할 수 있다.

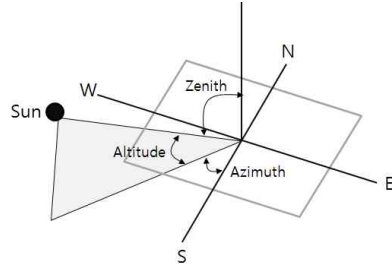


Fig. 2. Altitudes and Azimuths of solar

그림 2. 태양의 고도와 위도

- 적위(declination,  $\delta$ ) : 적도 평면과 지구-태양을 연결하는 직선이 이루는 각도로 장소와는 무관하고 날짜에 따라 다르다. 적위는 하지 때 23.45도로 최대가 되고 춘분과 추분에는 0이 된다.

$$\delta = 23.45 \times \sin[(n + 284) \times 360 / 365] \quad (1)$$

$n$  : day of the year

- 시각 (hour angle,  $ha$ ) : 하루 중 지구의 회전각으로 현재 위치에서 태양사로 정오에서부터 측정된 시각이다. 지구가 하루에 360도 자전한다는 사실에서 기인하는 것으로 정남을 0으로 오전에는 +, 오후에는 - 으로 나타낸다.

$$ha = 15 \times (12 - \text{hour}) \quad (2)$$

- 태양 고도 (solar altitude,  $h$ ) : 태양을 연결하는 직선과 지평 사이의 수직 각도로 일출/일몰 시에는 0도이고 천정(zenith)에 있을 때는 90도가 된다.

태양고도는 현재 위치의 위도, 적위 및 시각과 관계가 있다.

$$\sin(h) = \cos(Lat)\cos(\delta)\cos(ha) + \sin(Lat)\sin(\delta) \quad (3)$$

고도의 sine 값이 음수가 되더라도 고도를 계산할 수 있도록 다음과 같은 방법을 사용한다.

$$\sin(h) = \cos(Lat)\cos(\delta)\cos(ha) + \sin(Lat)\sin(\delta) \quad (4)$$

$$\sin 2h = \sin(h) \times \sin(h) \quad (5)$$

$$\cos(h) = \sqrt{1 - \sin 2h} \quad (6)$$

$$h = \arctan[\sin(h) / \cos(h)] \quad (7)$$

- 태양 방위각 (solar azimuth, A) : 지평면 안에서 정남이나 정북으로 측정한 각도이다. 천문학적으로 방위각은 정북이 기준이 되나 태양 방위각의 경우 정남을 기준으로 한다. 이를 bearing(상대방위각)이라고 하고 정남에서 동쪽에 있을 때는 +, 서쪽은 -로 한다.

$$\sin(A) = \cos(\delta) \sin(ha) / \cos(h) \quad (8)$$

이 식은 고도가 90도이면 성립하지 않기 때문에

$$\cos(A) = [\cos(Lat) \sin(\delta) - \cos(\delta) \sin(Lat) \cos(ha)] / \cos(h) \quad (9)$$

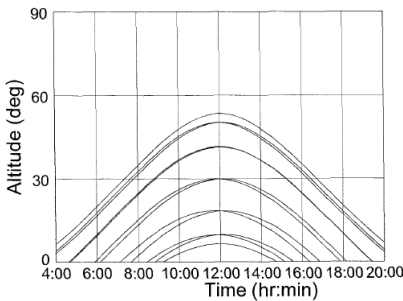
를 사용하기도 하나 비슷한 문제가 있어서 방위각을 x 성분과 y 성분으로 나누어 계산 한다.

$$Ax = \sin(ha) \cos(\delta) \quad (10)$$

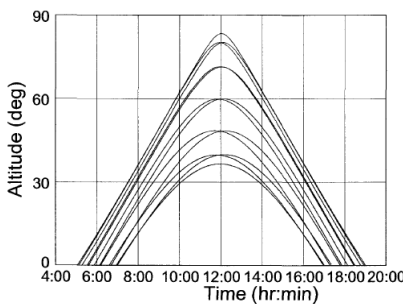
$$Ay = -\cos(ha) \cos(\delta) \sin(Lat) + \cos(Lat) \sin(\delta) \quad (11)$$

$$A = \arctan(Ax / Ay) \quad (12)$$

그림 3과 4는 위에서 제시된 식을 Matlab을 활용해서 시뮬레이션한 것이다. 그림 3은 시간에 따른 태양의 고도 변화를 나타낸 것으로 위도가 낮을수록 태양의 고도가 직선적으로 급격하게 변하고 12시를 정점으로 해서 태양의 고도가 최대가 됨을 알 수 있다.



(a) 위도 60°

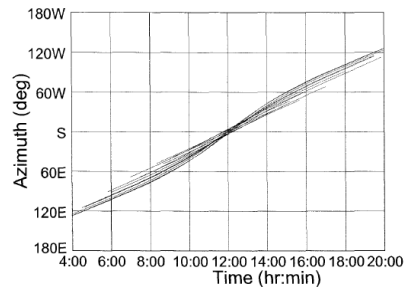


(b) 위도 30°

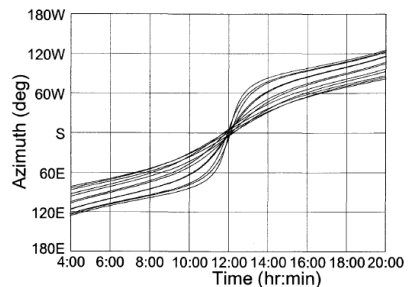
Fig. 3. Solar altitude variations by times

그림 3. 시간에 따른 태양의 고도 변화

그림 4는 시간에 따른 태양의 방위각 변화를 위도가 낮을수록 방위각의 변화가 심하고 정오에 가까울수록 급격하게 변화함을 알 수 있다. 집광형 태양광 모듈이 태양과 법선을 유지하기 위한 수평면 경사각은 일출과 일몰시에는 최대가 되고 정오에는 최소가 되도록 해야 하고, 태양광선과 법선을 항상 유지하여 집광 손실을 최소화 할 수 있는 방안이 필요하다.



(a) 위도 60°

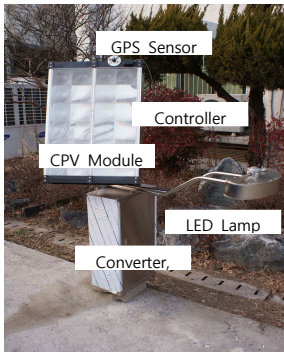


(b)위도 30°

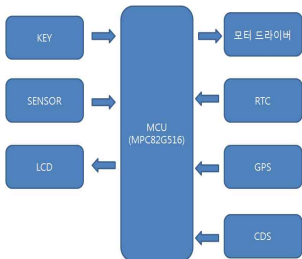
Fig. 4. Solar azimuth variations by times

그림 4. 시간에 따른 태양의 방위각 변화

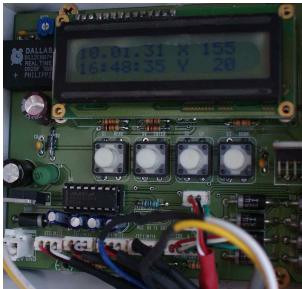
본 논문에서는 GPS 데이터를 바탕으로 태양 벡터의 방향을 계산하는 open-loop 국지 컨트롤러를 사용함으로써 중앙 제어 장치와 많은 양의 정보를 주고받을 필요가 없도록 그림 5와 같이 시스템을 설계하였다. MCU는 MPC82G516를 사용하여 센서부와 디스플레이부, 모터 드라이버를 제어하도록 하였고 인터페이스는 사용자가 RTC 와 GPS 중 하나를 선택하여 제어 할 수 있도록 하였다.



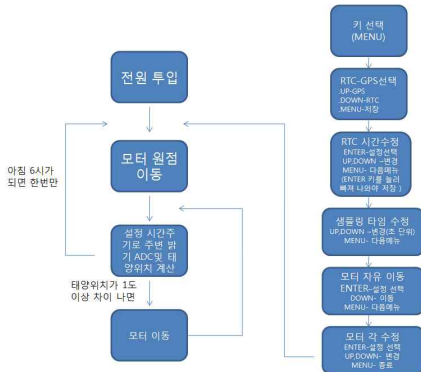
(a) 시스템 구성



(b) 하드웨어 구성



(c) 제어기



(d) 제어 루프

그림 6은 모터의 회전각 산출을 위한 프로그램과 회로도를 나타내고 있다. 먼저 GPS 시간값과 날짜값을 계산을 통해서 태양의 위도값과 경도값을 산출하게 된다. 이러한 위도값과 경도값을 바탕으로 집광형 태양광모듈이 태양과 범선이 되는 고도와 방위각의 계산을 통해 모터의 X축-Y축 회전각이 결정된다.

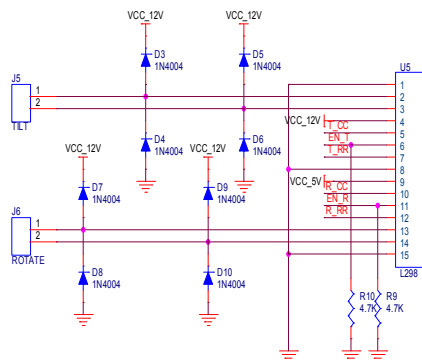
X축과 Y축 구동부는 CPV Module의 무게를 감안하여 1:1300 DC Motor에 웜기어를 적용하였다.

모터를 제어하는 방법은 시간 제어로서 모터 원점에서 끝점까지의 거리가 A라면  $A=160-20=140$ 도 그리고 20도에서 160도까지 총 이동시간을 B라고 하면 1도당 이동시간은  $B/A$ 가 되게 된다.

```

void tracker_start()
{
    if(tracker_check_set==1 && moter_set==0 && MOTOR_RESET==0){
        ADCTL=0x80;
        ADCTL=0x88 | 0x01; // P1_1_ADC
        while((ADCTL & 0x10) == 0);
        cds_adc_data=ADCH;
        if(cds_adc_data>=210){
            moter_y=89.9;
        }else{
            tracker();
        }
    }
    if(moter_x<20){
        moter_x_first_set=0;
    }
    if(moter_x>20 && moter_x_first_set==0 && moter_x<160 ){
        moter_x_first_set=1;
        moving_time_x=(moter_x-moter_x_temp-20)*moter_total_time_x;
        moter_x_temp=moter_x;
    }else if(moter_x>20 && moter_x<160 && moter_x_first_set==1){
        if((moter_x-moter_x_temp)>=1 || (moter_x-moter_x_temp)<=-1){
            moving_time_x=(moter_x-moter_x_temp)*moter_total_time_x;
            moter_x_temp=moter_x;
        }
    }
}
    
```

(a) 회전각 계산



(b) 모터 제어 회로

Fig. 6. Motor control  
그림 6. 모터 제어

Fig. 5. System diagram  
그림 5. 시스템 구성

### III. 모니터링 분석

모니터링 시스템을 통해서 그림 5의 구동 성능 특성을 분석 하였다.

계측 하드웨어는 National Instruments Compact Field Point와 Analog Input Module, Thermocouple Input Module, I/O Port로 구성하였고, 소프트웨어는 Labview를 통하여 프로그래밍 하였다.

계측요소는 DC 전압, DC 전류, AC 전압, AC 전류, 일사량, 온도이며, 계측 값의 정확도를 위한 보정은 모니터링시스템의 센서를 통해서 소프트웨어적으로 수집되는 계측 값과 계측 장비의 계측 값을 비교하여 계측기의 계측 값에 수렴하도록 하였으며, 보정에 사용된 계측기는 Testo 545, WatchDog, CL250, Fluke 438, Tpi 383이다.

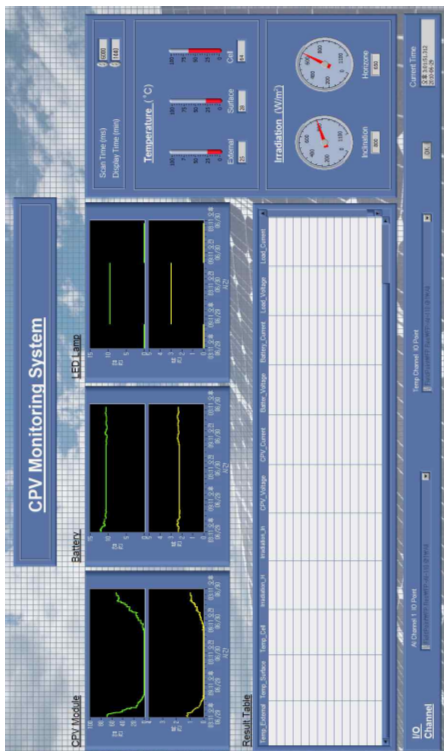


Fig. 7. Monitoring DB(2010. 06.29~30)

그림 7. 모니터링 데이터베이스(2010. 06.29~30)

그림 7은 2010년 6월의 모니터링 결과를 나타낸 것으로 DB Scanning Time은 6,000msec로 설정하였다.

2010년 6월29일~30일 모니터링 결과, CPV Module의 최대 출력은 72W가 산출되었고 모듈의 표면온도는 25~35℃, 태양전지 표면 온도는 >65℃를 유지하였다. 6월 29일 19시 15분에 일몰에 의해 발전

이 중단되고, LED Lamp가 가동됨을 알 수 있고, 다음날인 30일 6시 50분에 일출로 인하여 발전이 시작되며 부하인 LED Lamp가 중단됨을 알 수 있다.

그림 8은 2010년 11월 20일~21일 모니터링 결과를 나타내고 있으며 DB Scanning Time은 6,000msec로 설정하였다. CPV Module의 최대 출력은 58W가 산출되었고, 모듈의 표면온도는 15~20℃, 태양전지 표면 온도는 >50℃를 유지하였다. 11월 20일일 17시 45분에 일몰에 의해 발전이 중단되고 LED Lamp가 가동됨을 알 수 있고, 다음날인 30일 7시 50분에 일출로 인하여 발전이 시작되며 부하인 LED Lamp가 중단됨을 알 수 있다.

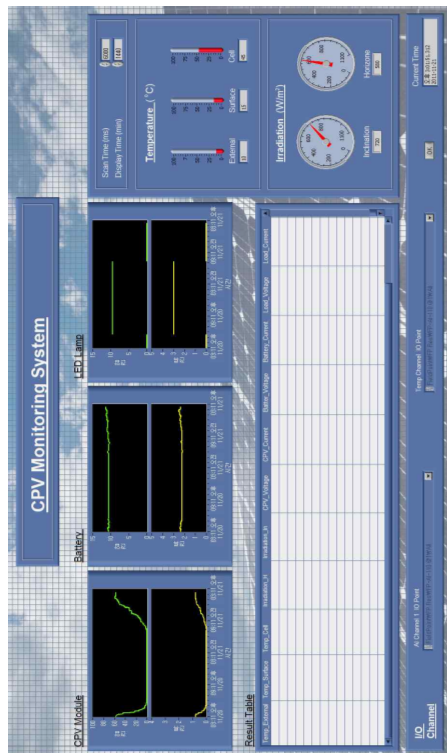


Fig. 8. Monitoring DB(2010. 11.20~21)

그림 8. 모니터링 데이터베이스(2010. 11.20~21)

그림 9는 2011년 01월 28일~29일의 모니터링 결과 나타내고 있으며 DB Scanning Time은 6,000msec로 설정하였다. CPV Module의 최대 출력은 60W가 산출되었고 모듈의 표면온도는 20~30℃, 태양전지 표면 온도는 >60℃를 유지하였다. 전력변환부는 출력전압 12~13V를 유지하고 과충방전제어를 통해 배터리의 상태를 유지 관리되고 있다.

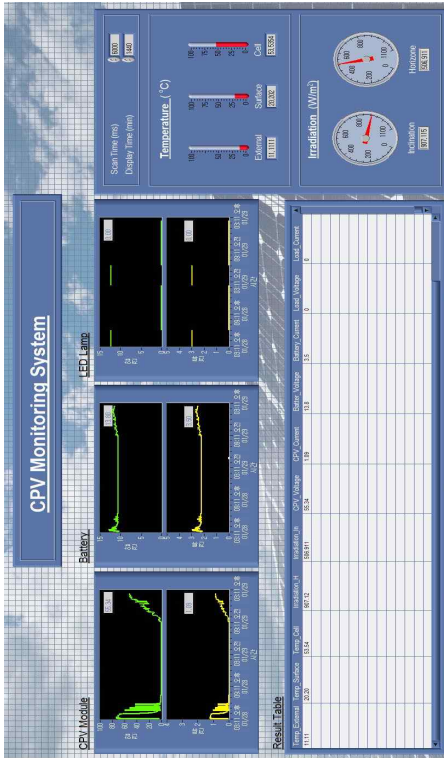


Fig. 9. Monitoring DB(2011. 01.28~29)  
 그림 9. 모니터링 데이터베이스(2011. 01.28~29)

IV. 결론

집광형 태양광발전시스템은 태양광을 집광해서 발전이 이루어지기 때문에 항상 태양광선과 집광형 태양광모듈이 범선을 유지할 수 있는 추적시스템이 필요하고 추적각이 1° 이상 벗어나게 되면 집광형태양광발전시스템의 출력은 60%이상 저하되기 때문에 1°이내의 추적각 제어가 가능해야만 한다.

기존의 벌크형 태양광모듈의 효율 향상을 위해서 사용되는 추적시스템은 추적각이 3°~5°로써 집광형 태양광발전시스템에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 집광손실을 최소화하기 위하여 추적각 1°을 확보하고 설치시 방위 설정에 대한 애로점을 해소할 수 있도록 GPS를 이용한 추적시스템을 설계하였으며, 2축 추적형 집광형태양광발전시스템을 구성하고 모니터링 시스템을 통해 타당성을 살펴보았다. 모니터링을 종합하여 분석한 결과, 태양의 위도와 고도의 변화에 따라 태양광선과 집광형모듈이 항상

범선이 되도록 태양추적시스템이 동작됨을 확인할 수 있었다. 운전 중 태양과의 범선 이탈 상황이 2시간에 1번 정도 발생하였다. 그 원인을 분석한 결과, 모터 구동시 관성에 의한 것으로 파악되었다. 문제 해결을 위해서는 하드웨어적으로 기어를 정밀 가공 처리하고, 회전각과 경사각 센서를 통한 피드백 제어가 필요할 것으로 판단된다. 향후 앞서 언급한 보상 제어를 통하여 보다 정밀한 제어 시스템을 구성하고, 다양한 집광형 모듈 및 태양전지에 본 시스템을 적용하여 전체 시스템의 최적화를 통해 단위면적당 고밀도 에너지를 확보할 수 있는 방안에 대하여 연구할 예정이다.

참고문헌

[1] P.Roth, A. Georgiev, h. Boudinow, "Design and construction of a system for sun-tracking", Renewable Energy, 29, 373-402, 2004  
 [2] Ahmed T Navee, "Performance Improvement justification of a concentrating photovoltaic system over a non-concentrating PV system", KSES, Vol.25, No.4, 2005  
 [3] 이만근, "소형 휴대용 추적식 태양광 충전 시스템의 상품화를 위한 실증 연구", 산업자원부, 2005  
 [4] IEA PVPS, Trends in Photovoltaic applications, IEA, Report IEA-PVPS, 2006  
 [5]R. Chenni, M. Makhoulouf, T. Kerbache and A. Bouzidura, "A detailed modeling method of photovoltaic cells, energy, Vol. 32, pp.1724-1730, 2007  
 [6] 유권중, "전문가 시스템을 이용한 태양전지 어레이의 최적설치 각도에 관한 연구" 한국태양에너지학회. Vol. 27. No. 3. 2007

저 자 소 개

정 용 환 (학생회원)



2008년 : 남부대학교 컴퓨터전자공학부 졸업(공학사)  
 2010년 : 호남대학교 대학원 복지행정학과 졸업(공학석사)  
 2011년 : 남부대학교 대학원 디지털경영정보학과 (박사과정)

<주관심분야> 특수통신, 군무선통신, GPS 신호처리, 태양광발전시스템

**임 중 열** (정회원)



1996년 : 동신대학교 전자공학과  
졸업 (공학사)

1998년 : 동신대학교 대학원 전기  
전자공학과 졸업(공학석사)

2002년 : 동신대학교 대학원 전기  
전자공학과 (공학박사)

2003년 3월~현재 : 남부대학교  
컴퓨터전자공학부 조교수

<주관심분야> 태양광발전시스템, 전력변환시스템,  
로보틱스, 모션제어