

# 소형 태양광 발전시스템 상용화를 위한 프로그램 방식의 태양위치추적기 개발

李洋揆<sup>\*</sup>, 姜信永<sup>\*\*</sup>, 金堯憲<sup>\*\*\*</sup>

## A Development of the Solar Position Tracker on the Program Method for the Small Typed Stand-alone PV System Commercialization

Yang-Gyu Lee, Sin-young Kang, and Kwang-Heon Kim

### 요 약

태양의 고도와 방위각에 따라 태양광 발전 시스템의 에너지량이 차이가 많이 난다. 본 연구는 소규모 독립형 시스템인 가로등에 맞는 경제적인 추적장치 개발에 관한 것이다. 위치추적시스템은 프로그램을 사용한 방식으로서 시스템을 기존 유사 시스템에 비해 저가화를 실현하였다. 개발된 태양 위치 추적 시스템을 가로등에 적용하여 고정식과 추적식의 에너지량을 일정 기간 동안 실측 비교한 결과 평균 86%의 효율개선 효과를 보였다.

### ABSTRACT

The energy of PV system is different as the elevation and aximuth of the sun. This paper deals with the economical position tracking system development for the stand alone PV system. We have made more economical solar position tracking system which is used a tracking program than other similar systems. It is applied to the solar lighting lamp. We have made a comparative study of the energy amount between the fixed type and the tracking type during some period. The improved efficiency of the system is about 86 %.

**Key Words** : photovoltaic, tracker, solar, photovoltaic

### 1. 서 론

태양광 발전 시스템은 무소음, 무한정, 무공해인 청정에너지를 발생하므로 쾌적하고 안정된 전원을 공급할 수 있으며, 연료의 공급없이 20년 이상 사용 가능

하여 대체 에너지원으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 하지만 에너지원이 태양광이므로 야간이나 우천시 에 사용이 불가능하며, 출력이 일사량에만 의존하므로 자연환경에 따른 변동이 일어나 불안정하며, 직/교류 전력변환장치가 필요하고, 또한 에너지원이 저밀도이므로 대전력을 얻기 위해서는 큰 면적이 필요한 단점이 있다.

현재 국내에서는 연구관련 또는 도서지역 등에 설치되고 있다. 따라서 기존의 전기 설비에 비해 발전단가가 높아 경제성을 갖추기 위해서는 태양전지 재료의 성능향상, 주변 장치의 효율 증대 및 관련분야 기술에 대한 많은 연구가 필요한 실정이며<sup>[1]</sup>, 태양전지의 변환

\* 정회원, 전남대학교 전기공학과 석사과정 수료

E-mail : didrb74@hanmail.net

\*\* 정회원, 전남대학교 전기공학과 박사과정 수료

\*\*\* 정회원, 전남대학교 전기공학과 부교수

접수일자 : 2002.10.11

1차심사 : 2002.11.28

3차심사 : 2003. 3.26

2차심사 : 2003. 2.10

심사완료 : 2003. 5.12

효율이 상용제품의 경우 14% 정도로 낮고, 1W당 가격이 약 4\$ 내외로서 초기 시설 투자비가 많이 소요되고 있다<sup>[2]</sup>. 이러한 태양광 발전 설비는 계절에 따라 달라지는 태양의 고도와 방위각에 많은 영향을 받으므로, PV모듈을 태양과 법선 방향이 되도록 위치시켜 발전 효율을 효과적으로 개선할 수 있다<sup>[2-6]</sup>.

태양광 추적장치에 대한 지금까지의 연구를 살펴보면 대용량이고 고가이며 장치의 규모가 커서 추적장치는 연구분야에 주로 적용되고있다<sup>[7-12]</sup>.

본 연구에서는 생산단가를 낮추고, 소규모 독립형 시스템인 가로등에 맞는 경제적인 추적장치를 상품화를 목적으로 연구를 하였다. 본 연구에서는 대형 시스템에 주로 적용된 기존 제품에 비해 소형의 저가형 태양위치추적기를 개발하여, 실제 가로등에 적용한 결과 고정식 태양광 가로등에 비해 효율이 높아 동일용량의 가로등에서 원가 절감이 가능한 것으로 판단되었다.

## 2. 태양전지의 특성

태양전지는 광기전력 효과를 이용하여 빛에너지를 직접 전기로 변환한다. 그림 1은 광기전력 효과를 수학적으로 모델링한 것으로 태양전지의 특성을 해석하는데 일반적으로 사용하는 one-diode 모델의 등가회로도이다. 식 (1)~(4)는 관련 식으로서 각각의 기호는 다음과 같다.

- |                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| $I_{ph}$ : 광기전류[A] | $I_{sat}$ : 역포화전류[A]         |
| $I_r$ : 누설전류[A]    | $q$ : 전하량[C]                 |
| $A$ : Diode 성능 지수  | $K$ : 볼츠만 상수                 |
| $T$ : 절대온도[K]      | $T_{ref}$ : 기준온도[K]          |
| $J_0$ : 온도계수       | $R_{sh}$ : 병렬저항[Ω]           |
| $R_s$ : 직렬저항[Ω]    | $I$ : 부하전류[A]                |
| $V$ : 부하전압[V]      | $s$ : 일사량[w/m <sup>2</sup> ] |

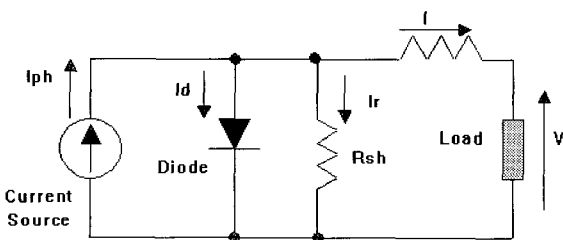


그림 1 원다이오드 태양전지 모델  
Fig. 1 One-Diode Solar Cell Model

$$I = I_{ph} - I_d - I_r \tag{1}$$

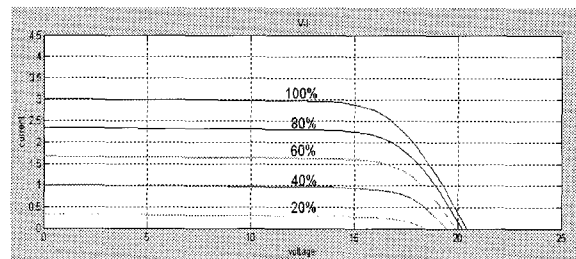
$$I_{ph} = I_{sc} \left( \frac{s}{1000} \right) + J_0 (T - T_{ref}) \tag{2}$$

$$I_d = I_{sat} \left[ \exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{nkT} \right\} - 1 \right] \tag{3}$$

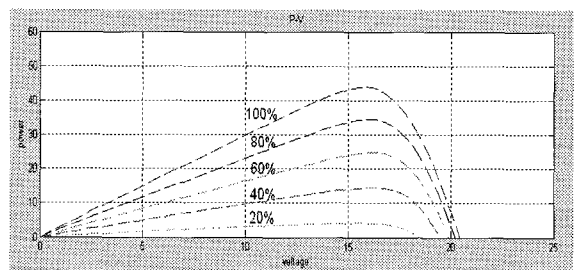
$$I = I_{ph} - I_{sat} \left\{ \exp \left[ \frac{q(V + IR_s)}{AKT} \right] - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \tag{4}$$

태양전지의 모델링 방법으로는 소수의 실측 데이터로부터 모델을 구할 수 있는 SQHRKS법과 광기전력 효과를 수학적으로 모델링하는 매개 변수법이 있다. 본 연구에서는 매개 변수법을 이용하였고, 원다이오드 모델을 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 시에 온도는 25°C이며 광량변화에 의한 태양전지 모듈의 출력특성을 확인하고자 하였다. 광량 1000W/m<sup>2</sup>까지 5단계로 하여 실험하여, 태양전지의 출력 특성을 확인하였다. 본 시뮬레이션에서는 표 1에 태양전지의 사양을 나타내었으며, 온도 변화를 고려하지 않은 상태이다. 실험 결과 그림 2에서와 같이 I-V 곡선과 P-V 곡선이 광량에 비례하여 나타났다.



(a) I-V



(b) P-V

그림 2 태양전지 모듈의 특성 곡선  
Fig. 2 Characteristic curve of a solar cell

표 1 태양전지 파라미터  
Table 1 Solar cell parameter

모델명	GMG01530
발전량	53Wp±10%
개방전압	21.7V
단락전류	3.35A
최대동작전압	17.4V
최대동작전류	3.05A

### 3. 태양추적장치의 구성

#### 3.1 태양추적방법

2장의 시뮬레이션 실험에서 알 수 있듯이 태양전지의 발전량은 입사 광량에 비례하므로 같은 외부 환경에서도 태양전지가 태양과 법선방향으로 위치할 때 발전량이 최대가 된다. 따라서 태양전지를 태양과 항상 법선방향이 되도록 조정하면 태양전지의 누적 발전 효율을 증가시킬 수 있다.

태양을 추적하는 방법으로는 그림 3에서와 같이 광 센서를 이용하는 방법과 태양의 위치를 계산하여 추적하는 프로그램식, 센서와 프로그램을 병행하는 방법 등 크게 3가지 방법이 있다. 프로그램과 센서를 조합하는 방식은 좋은 결과를 얻을 수 있으나 소형 시스템에서는 프로그램만을 사용한 것에 비해 큰 효과를 나타내지 않았고, 센서방식은 외부환경 문제를 완전히 해결하지 못하고 오동작이 자주 발생하는 문제가 있었다. 날씨 변화가 심하고 사계절이 뚜렷한 국내 기상 조건에서 상용화를 위해서는 이물질에 의한 오동작 우려가 없는 프로그램 방식이 가장 적합한 것으로 나타났다.

그림 4와 같이 천구에서 태양위치를 나타내는 방법은 관측자가 서있는 지평면에서 머리의 수직 상방인 천정을 중심으로, 태양의 고도각(Elevation) E는 태양과 태양전지 모듈이 설치되어 있는 지점(좌표원점으로

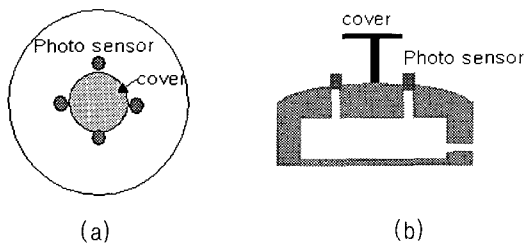
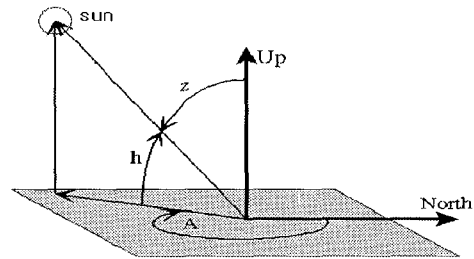


그림 3 태양위치 센서 구조  
Fig. 3 Solar position sensor



z : 천정각      h : 고도  
A : 방위각      North : 정북

그림 4 고도각과 방위각  
Fig. 4 Elevation and azimuth

정의)을 연결하는 선분이 지구 지표면과의 이루는 각으로 표시되는 값이다. 방위각(Azimuth) A는 북쪽을 0°, 동쪽을 90°, 남쪽을 180°, 서쪽을 270°로 정의하고 현재 태양의 위치를 지표면에 투영시켰을 때 투영된 태양과 좌표의 원점이 이루는 직선이 좌표상의 정북을 가르키는 직선과 이루는 각으로 정의된다. 고도 E는 천정과 태양과의 거리 Z와  $E=90-Z$ 인 관계가 있다. 본 논문에서는 태양의 위치는 그림 4에서와 같이 태양의 고도각 및 방위각을 사용하여 정의한다.

태양추적의 정확도를 높이고 전체시스템을 효율적으로 관리하기 위해 마이크로 프로세서를 사용하였다. 이 방법은 프로세서를 이용하여 태양위치를 계산해내고 계산된 값으로 태양을 추적하는 방법이다. 또 일출 일몰 시각도 계산하여 태양을 추적하다가 일몰시간이 되면 자동적으로 정오지점으로 추적장치를 돌려놓고 전원을 차단하며, 다음날 일출시간이 되면 자동적으로 전체시스템을 작동시킨다.

#### 3.2 시스템 구성

그림 5와 같이 태양위치 추적장치의 구조는 상부에 태양전지판을 고정시키기 위한 지지대가 있고 몸체를 구동하기 위한 구동장치 가로등 등주에 연결하기 위한 고정판 및 움직인 각도를 측정하기 위한 센서부로 구성되어 있다.

태양위치 추적장치는 소형의 저가형으로 구동장치 및 기계적인 부분을 고려하여 제작 실험하였다. 구동장치에 사용되는 모터는 소형 DC 모터를 사용하였으며, 구동토크를 크기 하기 위해 400:1의 감속기어와 36:1의 웜기어를 중복하여 사용하므로 14400:1의 감속비를 갖는다. 모터가 부하상태에서 약 6000/rpm 정도

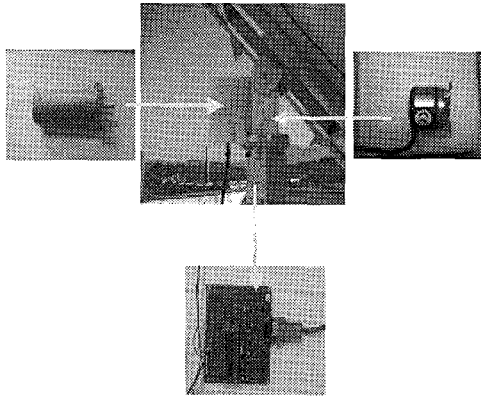


그림 5 태양 위치 추적기와 내부 구성  
Fig. 5 Solar position tracker and inner structure

이므로 실제 추적장치는 약 0.42/rpm 의 회전 속도를 갖는다. 그리고 태양추적장치에서는 태양전지판이 풍압의해 움직이지 못하도록 모터의 회전방향을 90도 전환시켜 몸체의 구동 축에 전달하는 웜기어를 사용한다. 웜기어를 사용할 경우 모터의 회전 운동은 몸체에 그대로 전달되지만 외부에서 가해지는 힘은 웜기어 직각방향으로 전달되므로 모터에 전달되지 못하는 구조로 되어있다. 따라서 외부의 힘에 의해 구동장치에 역토크가 가해지는 것을 예방할 수 있도록 설계되었다.

#### 4. 실험 및 검토

본 시스템은 데이터를 분석하기 위해, 태양에너지의 특성상 같은 조건을 두 번 만들 수 없으므로, 동시에 두 가지 모드로 데이터를 저장할 수 있도록 구성하였다. 수집데이터는 전압, 전류, 광량, 온도 등이다. 데이터 수집을 위해 16bit급 8채널 A/D카드를 이용하여 하루동안의 변화량을 측정하였으며, 태양의 입사각도 변화에 의한 태양의 위치를 추적하는 방식과 일반적인 고정방식의 가로등 시스템을 비교하기 위해, 실시간으로 데이터 수집장치인 Labview를 이용, 프로그램을 작성하여 모니터링할 수 있도록 하였다. 그림 6은 시스템 구성도이다.

그림 7의 (a)-(c)는 추종식과 비추종식에 각각 조도계를 설치하고 태양광 발전실험과 광량실험을 한 결과 발전광량과 광량에 대한 그래프를 나타낸 것으로서 6월 7일부터 일주일동안 실험하였다.

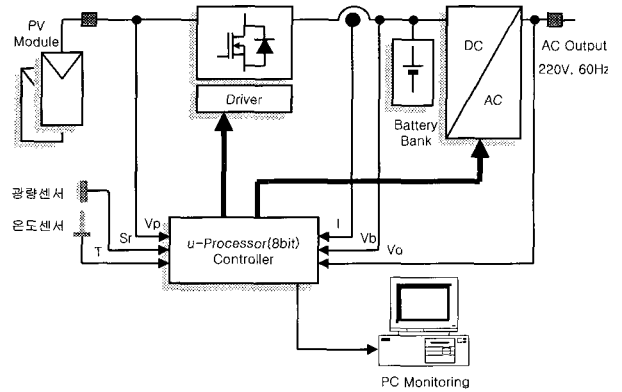
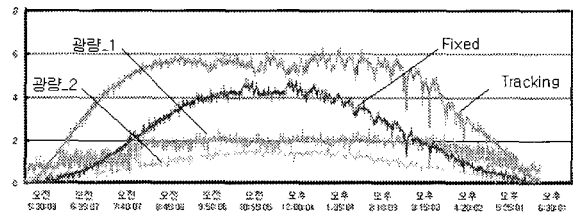
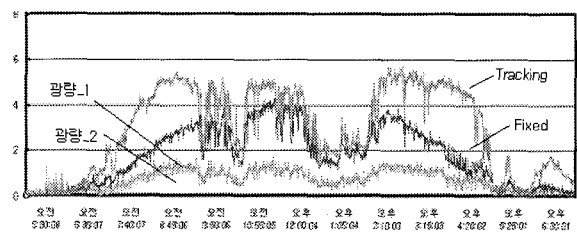


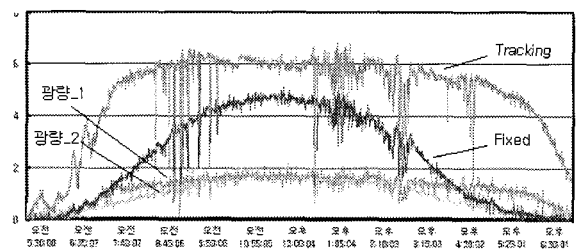
그림 6 시스템 구성도  
Fig. 6 System block diagram



(a)



(b)



(c)

그림 7 태양광 비교 실험 곡선  
Fig. 7 The solar light comparison experimental curve

봄철에 실험하였으나 고정식의 태양각도를 잉여 태양에너지가 가장 작은 겨울철의 입사각도인 60° 기준으로 하였으므로 정오에도 추종식과 고정식에 어느 정도의 차이를 보이고 있다. 그렇지만 일중 태양의 고도가 가장 높은 정오부근에서 두 방식의 태양에너지의 차이가 제일 작았으며, 태양의 고도가 낮은 늦은 오후부터 일몰에 다가갈수록 비교적 큰 차이를 나타내었다. 그리고 날씨가 흐린 날보다 맑은 날에 추적방식의 발전량의 상승이 현저함을 나타내었다.

고정방식과 추적방식에서 태양과 태양전지 모듈의 법선면 각도범위의 차이에 의해서 에너지 양이 하강함을 보였고, 흐린 날에는 법선면 각도차이가 많은 영향을 주지 않음을 알 수 있었다

표 2는 실험이 년중 일사 조건이 우수한 봄철(6월)에 실험한 결과이며 실험 기간이 1주일 정도로 비교적 짧았고, 고정방식의 경우 가로등 설치시 겨울철에 적합한 고도각인 52° 정도로 설치되어 봄철에는 효율이 약간 감소하는 경향이 있다. 따라서 년중 평균효율 개선치는 본 실험 결과에 비해 상당히 감소할 것으로 예상된다. 겨울철이 봄철에 비해 전반적으로 발전량이 감소하고 또한 기상 변화를 고려할 경우 년중 평균치는 실험치에 비해 30~40% 정도 낮은 50% 내외의 개선 효과가 있을 것으로 보인다.

본 연구에서는 태양추적장치를 소형 저가형으로 개발하고자 연구하였다. 원가분석 결과 50W 태양전지

모듈 1개 가격 이하 정도로 생산이 가능한 것으로 나타났다. 그리고 태양광 가로등의 경우 주간의 발전량으로 야간에 점등하기 위해 일반적으로 50W 가로등의 경우 6장의 태양전지가 필요로 하지만 본 시스템의 경우는 일사량 획득의 향상으로 50W 태양광 가로등에서 태양전지판의 소요를 30%~40% 정도를 절감할 수 있을 판단된다. 따라서 태양추적장치를 적용할 경우 태양전지 비용의 15% 정도를 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 추적장치를 부착한 경우와 고정방식의 태양전지에 대한 비교 실험을 하여 효율개선효과에 대해 실험한 결과 추적장치를 이용한 시스템은 고정방식에 비해 흐린 날은 67%이고, 맑은 날은 105%의 일사량의 향상으로 거의 60~100%에 가까운 발전량의 향상을 가져왔다. 따라서 5일 동안 비교 실험한 결과 발전 효율을 평균 86% 정도 개선할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 태양열 온수 시스템이나 기상관측 및 연구 목적으로 주로 사용되었던 고가의 대형 태양추적장치를 소규모 독립형 태양광 발전시스템에 경제적으로 적용할 수 있도록 하기 위해 소형의 저가형 태양광 추적장치를 연구 실험하였다.

앞서 선행되었던 실험결과 태양광 추적을 위해 사용된 센서를 사용한 태양 추적 방식은 날씨 변화 및 먼지나 낙엽 같은 이물질에 의한 오동작이 자주 발생하여 제품화에 문제가 있는 것으로 나타났다. 특히 한국과 같이 날씨 변화가 심하고 사계절의 변화가 뚜렷한 경우에는 적용이 부적합한 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 프로그램에 의한 태양추적방식을 선택하여 소형 저가형 태양광 추적장치를 연구 하여 그 특성 및 경제성 등을 실험하고 검토하였다.

본 연구 결과 소규모 독립형 태양광 발전 시스템에 태양추적장치를 적용함으로써 원가절감이 가능하여 태양광 가로등 및 유사 관련 제품에 응용이 가능하여 소규모 독립형 태양광 발전시스템 보급에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사 전력연구원, "자가발전도서 최적발전방식 선정 연구", 01 전력연-단638, 2001.
- [2] M. Abouzeid, "Use of a reluctance stepper motor for solar tracking based on a programmable logic array(PLA) controller", Renewable Energy 23, pp. 551

표 2 태양광 비교 실험 데이터  
Table 2 The solar light comparison experimental data

Type	평균온도	평균전압	평균전류	총전량	비교효율	
1	25.6	고정	12.51	2.21	32.3	179%
		추적	12.69	3.94	57.7	
2	24.0	고정	12.09	1.75	23.0	167%
		추적	12.56	2.93	38.5	
3	24.3	고정	12.42	2.40	35.0	202%
		추적	12.55	4.88	70.9	
4	23.7	고정	12.34	2.36	32.5	205%
		추적	12.61	4.85	66.9	
5	25.1	고정	12.30	2.07	28.7	170%
		추적	12.46	3.50	48.7	
평균	24.5	고정	12.33	2.15	30.3	185%
		추적	12.57	4.02	56.5	

~560, 2001.

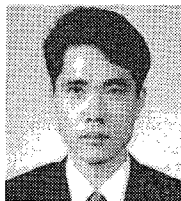
- [3] Mummadi Veerachary, Narri Yadaiah, "ANN Based Peak Power Tracking for PV Supplied DC motors", Solar Energy, Vol. 69, No. 4, pp. 343~350, 2000.
- [4] D.M Mosher, R.E. Boese and R.J. Soukupt, "The advantage of suntracking for planar silicon solar cells", Solar Energy, Vol. 19, pp. 91~97, 1977.
- [5] Klucher, T.M, "Evaluation of Models to Predict Insolation on Tilted Surface", Solar Energy, Vol. 23, pp. 111~114, 1992.
- [6] 박영철 외 2인, "PTC용 태양 추적 장치의 개발" Solar Energy, Vol. 8, No. 3, pp. 25~30, 1988.
- [7] 윤환기, 오병주, "적응제어 알고리즘을 이용한 태양 추적장치의 설계", Solar Energy, Vol 14, No 1,1994.
- [8] Soteris A. Kalogirou, "Design and Construction of a One-Axis Sun-Tracking System", Solar Energy, Vol. 57, No. 6, pp. 465~469, 1996.
- [9] J.J. Michalsky, "The astronomical almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050)", Solar Energy, Vol. 40, No. 3, pp. 227~235, 1988.
- [10] R. Walraven, "Calculating the position of the sun", Solar Energy, Vol. 20, pp. 393~397, 1978.
- [11] 신현덕, "태양추적시스템을 위한 Single Stepping Mode의 특성에 관한 연구", 서울대학교 대학원 박사논문, 1983.
- [12] 소정훈 외 5인, "파라메타 조건에 따른 PV시스템의 최적설계", 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 576~579, 2002.
- [13] 유권중 외 3인, "MPPT 제어 알고리즘 고찰 및 효율시험 평가법", 전력전자학회 논문집 제6권, 제2호, 2001. 4.

**저 자 소 개**



**이양규(李洋揆)**

1974년 9월 2일생. 2000년 조선대 전기공학과 졸업. 2003년 2월 전남대 대학원 전기공학과 졸업(석사).



**강신영(姜信永)**

1967년 2월 13일생. 1993년 전남대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료.



**김광헌(金坑憲)**

1960년 12월 27일생. 1983년 전남대 계측제어공학과 졸업. 1986년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 전남대 전기공학과 부교수.