

## 포토센서를 이용한 태양위치 추적기의 성능분석에 관한 연구

(Performance Evaluation of a Solar Tracking PV System with Photo Sensors)

정병호\* · 조금배 · 이강연\*\*

(Byeong-Ho Jeong · Geum-Bae Cho · Kang-Yeon Lee)

### Abstract

The conversion of solar radiation into electrical energy by Photo-Voltaic (PV) effect is a very promising technology, being clean, silent and reliable, with very small maintenance costs and small ecological impact. The output power produced by the PV panels depends strongly on the incident light radiation. The continuous modification of the sun-earth relative position determines a continuously changing of incident radiation on a fixed PV panel. The point of maximum received energy is reached when the direction of solar radiation is perpendicular on the panel surface. Thus an increase of the output energy of a given PV panel can be obtained by mounting the panel on a solar tracking device that follows the sun trajectory. Tracking systems that have two axes and follow the sun closely at all times during the day are currently the most popular.

This paper presents research conducted into the performance of Solar tracking system with photosensors. The results show that an optimized dual-axis tracking system with photosensor performance and analysis. From the obtained results, it is seen that the sun tracking system improves the energy and energy efficiency of the PV panel. ti-junction CPV module promises to accelerate growth in photovoltaic power generation.

Key Words : PV Module, Solar Tacking System, Performance Evaluation, Photo Sensors

---

\* 주저자 : 남부대학교 의료공학과 조교수  
\*\* 교신저자 : 조선대학교 전기공학과 시간강사  
\* Main author : Nambu University, Department of Biomedical Engineering, Assistant Professor  
\*\* Corresponding author : Chosun University, School of Electrical Engineering, Adjunct Professor  
Tel : 062-230-7020, Fax : 062-230-7020  
E-mail : space122@chosun.ac.kr  
접수일자 : 2013년 2월 4일  
1차심사 : 2013년 2월 7일, 2차심사 : 2013년 3월 18일  
심사완료 : 2013년 4월 24일

### 1. 서 론

태양위치추적 방식에는 광학적 센서를 이용하는 방식과 천문학적 계산에 의한 방식, 그리고 두 가지 방식을 혼용하는 복합형 방식이 있다[1]. 광학적 센서를 이용하는 방식의 태양위치추적 장치는 추적장치에 광센서, 또는 이와 유사한 형태의 센서를 이용하여 검출된 광량의 차이를 이용하여 태양위치 추적장치가 동작하도록 엑추에이터를 구성하는 방식이다. 천문학적 계

산에 의한 태양위치 추적방식은 추적기시스템 설치 지역의 위도와 경도의 정보를 이용하여 시간에 따라 계산 또는 연산을 수행함으로써 태양과 최적의 각, 법선 방향을 항상 이루도록 하는 방법이다[2-3].

광학적 센서를 이용하는 방식의 태양위치 추적기는 센서의 응답특성에 의해 동작하므로 흐린 날이나 태양이 구름에 가려진 경우와 같이 산란이 많이 발생하는 환경에서 정확한 태양추적이 되지 않는 단점이 있지만 시스템이 단순하여 오류에 대한 대응에 유리하며 고장원인이 적어 신뢰성이 높은 장점이 있다. 그에 비해 천문학적 계산에 의한 태양위치 추적기는 산란 일사량이 크더라도 지속적인 계산 프로세서를 통해 태양위치를 추적하므로 매우 정확한 위치 추적이 가능하지만 바람이나 적설에 의한 백래쉬(backlash)가 발생할 수 있고 GPS의 오류나 시스템의 초기위치 정확한 인식을 유도하기 위해 시스템 RESET 기능과 같은 보정기능이 포함되어야 하는 등의 시스템의 복잡성이 증가하여 안정성의 측면에서 불안정한 요소를 초래할 수 있는 단점이 존재한다[4-5].

기존의 연구에서는 일반적으로 추적형과 고정형의 발전량의 비교분석이 주류를 이루는데 반해 본 논문에서는 고정형 태양광발전시스템과 추적형 태양광발전시스템의 발전성능을 고정형 태양광발전시스템과 센서에 의한 추적형 시스템에 대해 각각의 1일 발전량을 획득함에 있어 일사량, 온도, 풍향 및 풍속에 따른 외부과라미터의 영향에 따른 발전량을 획득함으로써 태양위치 추적기의 성능분석과 1일 발전데이터의 시험검증을 통해 성능을 분석하고자 한다.

## 2. 성능분석을 위한 시스템구성

### 2.1 태양전지와 일사량특성

일사량 강도의 차이에 따라 태양전지에 미치는 태양전지의 단락전류는 식 (1)과 같다.

$$I_{sc} = I_{sc0} \times [1 + \alpha(T_1 - T_0)] \times \left(\frac{G_1}{G_0}\right) \quad (1)$$

여기서  $I_{sc0}$ 는 표준 일사량  $G_0$ 에서 PV 모듈의 단락전류이고  $G_1$ 은 일사량 변동에 따른 값,  $\alpha$ 는 PV 모듈의 전기적인 특성값으로  $A/^\circ C$ 이다. 개방전압은 식 (2)와 같다.

$$V_{oc} = V_{oc0} \times [1 + \beta(T_1 - T_0)] \quad (2)$$

여기서  $V_{oc}$ 는 STC에서 개방전압이다. 최대출력전력은 식 (3)과 같다.

$$P_{max} = FF \times V_{oc} \times I_{sc} \quad (3)$$

태양전지의 발전량은 입사되는 태양광의 일사강도에 비례하므로 외부환경에도 태양전지가 태양광 법선 방향으로 위치할 때, 최대발전량을 획득할 수 있다. 따라서 태양전지를 태양광 법선방향이 되도록 조정하면 태양전지의 누적발전효율을 증대시킬 수 있다.

그림 1은 일사량의 변동에 따른 태양전지모듈의 V-I 특성곡선을 나타내며 일사량에 따라 발전 전류의 크기가 변동함을 확인할 수 있다.

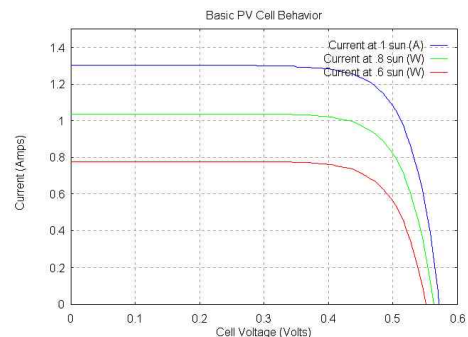
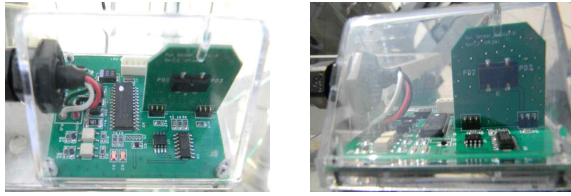


그림 1. 일사량변동에 따른 태양전지모듈의 특성곡선  
Fig. 1. The behavior of a solar cell at particular intensities of solar radiation

### 2.2 시스템의 구성

실험에 적용된 태양위치 추적기는 포토센서를 이용한 방식이다. 두 개의 센서모듈이 수평축과 수직축에 위치하여 4분면의 위치에서 태양의 위치를 검출하여 위치변화가 발생하면 즉시 추적을 실행한다. 그림 2는 센서모듈의 형상이다.



(a) 수평축센서 (a) Horizontal axis sensor (b) 수직축센서 (b) Vertical axis sensor

그림 2. 포토센서  
Fig. 2. photo sensor

그림 3은 센서모듈에서 획득된 데이터를 이용하여 태양위치를 판단하여 브러쉬모터를 구동시키기 위한 제어기모듈이다. 현재 태양의 위치를 검출한 방향과 시간을 표시하여 나타내는 LCD를 통한 디스플레이 기능을 갖추고 있어 현재 시간의 태양위치 검출 상황을 실시간 관찰할 수 있도록 하였다.



그림 3. 모터드라이브와 센서제어기  
Fig. 3. Sensor controller and motor driver

그림 4는 태양위치 추적기 시스템의 형태이다. 60W 단결정 실리콘 태양전지모듈이 부착되어 있으며 현장 적용형 모델로 제작되어 성능시험을 수행하였다.



그림 4. 태양광 추적시스템  
Fig. 4. Solar tracking system

## 2.3 태양광발전시스템의 성능시험방법

성능시험은 1일 동안의 추적식태양광발전시스템과 고정식태양광발전시스템에 의해 생성된 각각의 데이터를 비교분석하여 그 성능비를 확인하는 방식을 취한다. 그림 5는 시험을 위한 시스템의 개요도를 나타낸다. 검출된 일사량, 전압, 전류는 데이터 로거를 통해 PC에 저장되어 데이터베이스를 이룬다. 외기환경은 온도와 습도 그리고 풍속의 영향을 분석하도록 한다.

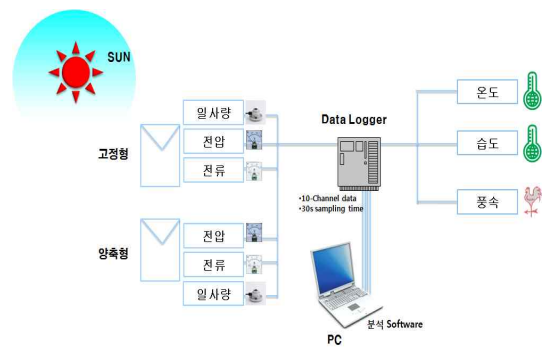


그림 5. 측정시스템 개요도  
Fig. 5. General overview of the measurement system

## 3. 성능분석 시험

### 3.1 일사량센서

성능 분석을 위하여 추적형과 고정형에 각각 동일한 특성의 일사량 센서를 부착하였다. 일사량 센서를 이용하여 샘플링 타임을 30s로 설정하여 측정하였다. 검출된 데이터는 데이터로거를 통해서 PC에 저장하여 실제값과 보정하여 이용한다. 적용된 센서는 self cleaning 타입의 돛형으로 센서에 대한 기본사양은 표 1과 같다.

측정면, 수광면의 일사량은 빛의 Cosine에 비례하기 때문에 일사량계의 수광부는 경사입사광에 대한 응답이 Cosine에 비례해야 한다. 그림 6은 시험에 적용된 일사량 센서의 스펙트럼 응답특성이다. 실리콘전지의 감응영역인 380~780nm의 영역에서는 매우 비선형적으로 나타난다.

표 1. 일사량센서 사양

Table 1. Physical characteristics of irradiation sensor

MODEL	SP-110
COSINE 응답특성	± 4% at 75° Zenith Angle ± 1% at 45° Zenith Angle
정 도	±5%
재현성	±1%
출력특성	0.20mV per Wm <sup>2</sup>
감 도	exactly 5.00 Wm <sup>2</sup> per mV
입력전원	None ,self-Powered
동작환경	-40 ~ 55 °C , 100%Rh

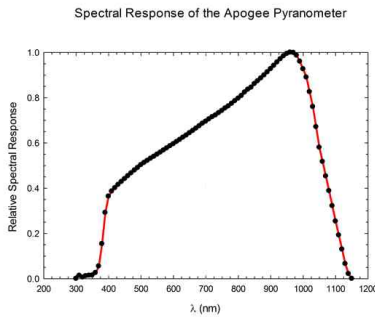


그림 6. 일사량센서 스펙트럼 응답특성

Fig. 6. Spectrum response characteristics of irradiation sensors

### 3.2 태양전지모듈

표 2. 적용된 태양광모듈 사양

Table 2. PV module electrical characteristics applied test

	고정형 모듈	추적형 모듈	비교성능
Output peak power	60Wp	60Wp	-
Open circuit voltage	21.8V	21.6	1% 이내
Short circuit current	3.75A	3.74	1% 이내
Number of cells	36	36	-
Power allowance range	±5%	±5%	-
Max. power voltage	17.7V	17.6V	1% 이내
Max. Power current	3.41A	3.40A	1% 이내
Max. system voltage	1,000Vdc	1,000Vdc	-
Size of module (length*width*depth)	950mm*510mm *35mm	950mm*510mm *35mm	-

시험에 적용된 태양전지모듈은 고정형과 추적형의 규격을 동일하게 적용하였다. 두 모듈간의 상대 비율은 1%이내 이다. 단결정실리콘 태양전지는 빛을 흡수할 수 있는 대역이 존재하므로 이 스펙트럼 내에 조사되는 빛에너지를 전기에너지로 변환할 수 있는 특성을 갖는다.

### 3.3 시험의 방법

태양전지의 변환효율은 태양전지에 입사되는 에너지(W/m<sup>2</sup>)와 태양전지에서 발전되는 전기적인 출력에너지의 비율을 백분율로 표시한 수치로 %로 나타낸다. 본 시험의 고정형 시스템에 적용된 태양전지모듈의 경우에는 최대전류가 3.40A이고 최대전압이 17.6V이며 출력은 60W, 모듈의 면적은 0.95m\*0.51m=0.4845m<sup>2</sup>이므로 1m<sup>2</sup> 당 입사에너지(W/m<sup>2</sup>)는 484.5W가 된다. 따라서 태양전지변환효율은 식 (4)와 같고 식에 의해 효율은 12.38%임을 알 수 있다.

$$Conversion\ Efficiency = \frac{PV\ Output\ Power}{Energy\ per\ 1m^2} \times 100\% \quad (4)$$

그림 7은 시험에 적용된 측정회로이다. 시험회로를 통해 전압과 전류를 검출하고 이를 보정한 후에 전력을 구할 수 있다.

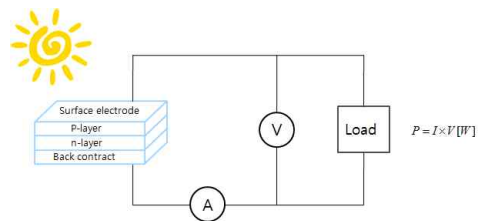


그림 7. 측정회로도

Fig. 7. Test circuit

그림 8은 검출된 측정값의 변환과정을 나타낸다. 센서의 경우는 제조사에서 제공해주는 값을 보정값으로 선정하였고 전압, 전류값은 raw data를 보정하여 산출하였다. 또한 전력값은 직류전력인 점을 감안하여 계산된다.

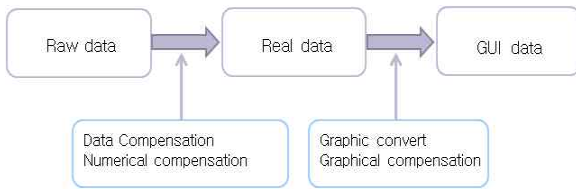


그림 8. 데이터 변환과정  
Fig. 8. Data conversion process

#### 4. 실험결과

발전성능시험은 동일한 위치에 고정형 시스템과 독립형 시스템을 동시에 실시간 측정을 수행함으로써 1일, 24시간 동안의 발전량을 획득하여 이를 분석하였다. 측정위치에 따른 정보는 북위 35°12'30.55, 동경 126°50'29.18이다. 실험지역의 기상데이터는 표 3과 같다. 측정일 기준으로 한 30년 평균값을 비교함으로써 측정일의 기상상태를 확인할 수 있다.

표 3. 광주지역 기상자료  
Table 3. Climate data of Gwang-Ju region

데이터종류	측정일 (10/1/2013)	평균값 (1981-2010)
평균풍속(m/s)	2.3	2.1
평균습도(%)	41.3	69.5
평균증기압(hPa)	-	13.0
일조합(hr)	4.3	2136.3
전운량(할)	0.5	-
평균일사량(MJ/m <sup>2</sup> )	9.74	4864

그림 9는 시험측정이 진행되고 있는 사진이다. 우측이 추적기에 부착된 태양전지 모듈이 있고 좌측이 고정형 태양전지모듈로 30° 각도로 이루어진 정남향을 향해 위치해 있다. 중앙에 데이터 획득을 위한 데이터 로거와 PC가 위치해 있다.



그림 9. 실측시험 사진  
Fig. 9. Field test picture

성능분석 시험에 적용된 태양전지모듈의 기본적인 V-I 특성곡선을 측정한 결과는 그림 10과 같다. FF는 0.741이다.

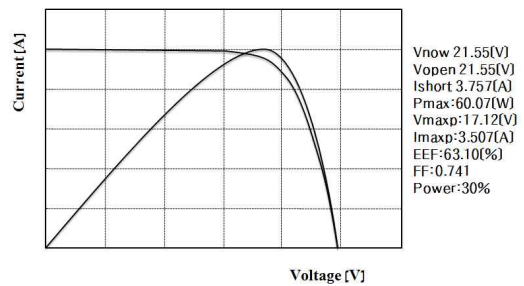


그림 10. 시험에 적용된 PV모듈의 V-I 특성  
Fig. 10. PV module V-I characteristics applied test

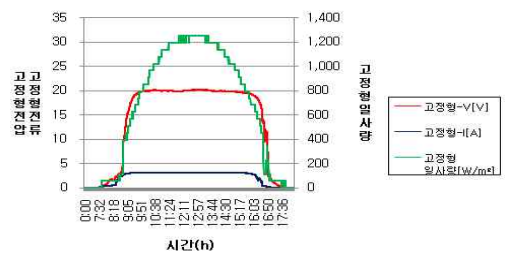


그림 11. 고정형 태양광시스템의 일사량 전압 전류특성  
Fig. 11. Measurement data recorded; fixed system irradiation, voltage and current

그림 11은 고정형태양광발전시스템의 일사량과 태양전지모듈의 전압, 전류의 출력특성을 나타낸다. 측정을 통해 획득된 데이터의 샘플링시간은 30초로 설정



정하였으며 획득된 데이터의 수는 각각의 파라미터마다 1,286개씩이며 8개의 파라미터에 대해서 검출하였으므로 전체 데이터 개수는 10,228개의 데이터를 획득하였다.

그림 12는 추적형태양광발전시스템의 일사량과 태양전지모듈의 전압, 전류의 출력특성을 나타낸다. 시험일에 오전부터 정오까지는 청명한 날씨였으나 정오부터 오후까지는 햇빛이 얇게 산란되는 형태를 관찰할 수 있었다. 이는 육안상으로는 청명한 날씨였으나 외기검출센서를 통해 미세한 산란광을 확인할 수 있었다.

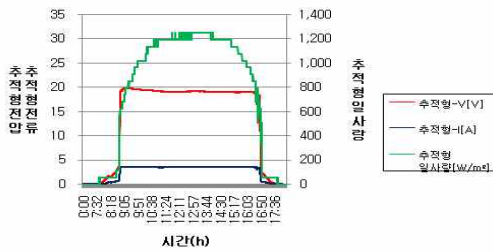


그림 12. 추적형 태양광시스템의 일사량 전압 전류특성  
Fig. 12. Measurement data recorded; tracking system irradiation, voltage and current

그림 13은 고정형 태양광발전시스템의 전력과 추적형 태양광발전시스템의 전력, 그리고 외기조건인 온도와 습도에 따른 출력특성을 나타낸 그래프이다.

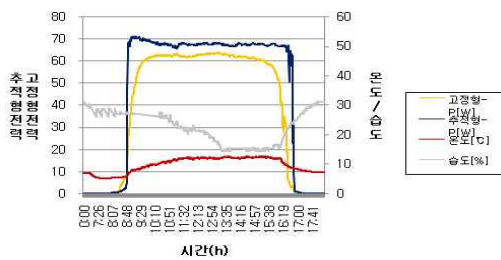


그림 13. 외기조건(온도-습도)에 따른 고정형과 추적형 태양광시스템의 전력특성  
Fig. 13. Measurement data recorded; fixed system power and tracking system power, temperature and %RH

그림 14는 고정형 태양광발전시스템의 발전전력, 일사량 및 추적형 태양광발전시스템의 발전전력, 일사량

출력특성을 나타낸다. 일일동안의 누적일사량은 추적형시스템의 경우가 5,320W/m²이고 고정형의 경우는 4,505W/m²이다. 추적형시스템의 경우가 고정형시스템의 경우보다 18.2% 이상 높은 누적 일사량을 획득하였으며 이는 누적전력량의 경우도 동일하게 나타났다.

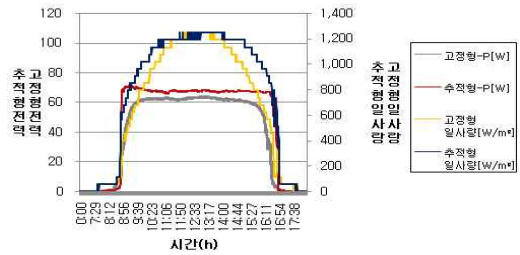


그림 14. 일사량에따른 고정형과 추적형 태양광시스템의 전력특성  
Fig. 14. Measurement data recorded; fixed system irradiation and power, tracking system irradiation and power

고정형 시스템의 일일 총생산전력은 454.8Wh이고 추적형 시스템의 일일 총생산전력은 540.7Wh의 발전량을 기록하였으며 고정형에 비해 추적형 시스템이 18.8%이상의 높은 발전성능을 나타냈다. 또한 일사량과 발전량의 차이가 선형적인 변화를 가짐을 확인할 수 있는 데이터이다.

## 5. 결 론

일사량, 풍향등 지역을 기반으로한 성능시험의 결과 양측 추적형 시스템은 고정식에 비해 18.8% 더 큰 발전량을 보였다. 일사량과 발전량에서 발생하는 0.6%의 오차분은 검출회로에 기인하거나 또는 일사강도의 차이로 인해 발생하는 태양전지의 특성에 기인하는 것으로 판단되며 이러한 결과는 연간 발전량 데이터가 더 큰 신뢰성이 있으나 본 성능실험에서는 시간상의 한계로 인해 쾌청한 날을 선택해 데이터를 획득한 결과로 발전특성은 고정형에 비해 추적형 발전량이 더욱 큰 발전량을 보이며 이러한 차이는 차액보장 손익분기 단기화를 위한 발전량의 증대에 큰 도움이 될 것으로 생각된다. 또한 안전모드를 통한 국지적 기후

변동에 대한 대책과 유휴면적의 활용도가 큰 장점이 있다. 반면에 태양위치 추적방식은 초기 설비비나 유지보수비용등에 대한 고려가 더불어 이루어져야 한다.

향후 시간과 조건이 허락한다면 단기간의 측정데이터 뿐만 아니라 년간데이터를 확보함으로써 신뢰성 있는 성능분석이 가능할 것으로 생각된다.

**감사의 글**

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력 양성사업으로 수행된 연구결과임.

**References**

[1] Solar Electric Power Association (SEPA). 2001. PV Performance Data Report: Results Determined from the Performance Monitoring of Over 100 TEAM-UP PV Installations. Washington, D.C.: Solar Electric Power Association.

[2] So jung-hun, Choi ju-yeop, Yu Gwon-jong, Jung young-seok, Choi jae-ho, "A Study on Performance Analysis of 3kW Grid-Connected PV Systems", Journal of the solar energy society, v.24 n.2(2004-06) pp. 9-16.

[3] C. Yousif, J.M. Franco Esteban\*, D. Salvador Lopez\* and L. Santana Zurita\*, "UPRIGHT, OPTIMALLY-INCLINED AND TRACKING GRID-CONNECTED PV SYSTEMS PERFORMANCE IN MALTA", 22nd EU PVSEC, Milan 3-7 Sep, 2007.

[4] Jeong, Byeong-Ho, Park, Jeong-min, Cho, Geum-Bae, Baek Hyung-Lae, Chung Soo-Bok, "Implementation of the 50kW Utility Interconnected Photovoltaic System Simulator", Journal of the solar energy society, Vol. 25, No. 4, 2005, pp. 21-27.

[5] NREL, "Solar position algorithm for solar radiation application," 2008.

[6] S. G. An, K. S. Shin, K. H. Youn, The Performance Test and Certification of Solar Cell, Polymer Science and Technology Vol. 22, No. 6, December 2011.

[7] Martin A. Green, Keith Emery, David L. King, Yoshihiro Hishikawa, and Wilhelm Warta, "Solar Cell Efficiency Tables(version 29)," Prog. Photovolt. Res. Appl., Vol.15, 2007, pp.35-40.

[8] Lawrence L. Kazmerski, "Solar Photovoltaics R&D at the Tipping Point: A2005 Technology Overview," J. Elec. Spectroscopy and Related Phenomena 2006, Vol.150, pp.105-135.

[9] Grunow, P., Preiss, A., Koch, S. and S. Krauter. Koch: "Yield and Spectral Effects of a-Si Modules." Proceedings of the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg (Germany), September, 21 - 25 2009, pp. 2846-2849.

◇ 저자소개 ◇



**정병호 (鄭炳湖)**

1971년 5월 28일생. 2006년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006~2009년 (주)기영미다스 선임연구원. 2009년~현재 남부대학교 의료공학과 조교수.



**조금배 (曹錦培)**

1954년 1월 18일생. 1995년 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1998~1999년 미국 Oregon State University 교환 방문교수. 2010년 대한전기학회 광주 전남지회장. 2013년 대한전기학회 부회장. 현재 조선대 전기공학과 교수.



**이강연 (李康淵)**

1970년 3월 2일생. 2005년 조선대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2006년~현재 조선대학교 전기공학과 시간강사.