

# 태양전지 변환효율 보정계수 도입에 의한 태양광발전시스템 발전량 예측

論 文
54B-4-4

## Photovoltaic System Output Forecasting by Solar Cell Conversion Efficiency Revision Factors

李一龍\* · 裴引洙\*\* · 金鎮吾† · 沈憲\*\*\*  
(Il-Ryong Lee · In-Su Bae · Jin-O Kim · Hun Shim)

**Abstract** - There are many factors that affect on the system output of Photovoltaic(PV) power generation; the variation of solar radiation, temperature, energy conversion efficiency of solar cell etc. This paper suggests a methodology for calculation of PV generation output using the probability distribution function of irradiance, PV array efficiency and revision factors of solar cell conversion efficiency. Long-term irradiance data recorded every hour of the day for 11 years were used. For goodness-fit test, several distribution functions are tested by Kolmogorov-Smirnov(K-S) method. The calculated generation output with or without revision factors of conversion efficiency is compared with that of CMS (Centered Monitoring System), which can monitor PV generation output of each PV generation site.

**Key Words** : Photovoltaic System, Solar Cell, Radiation Distribution Function, Solar Cell Revision Factors, CMS

### 1. 서 론

세계 산업의 급속한 발전으로 인한 화석연료의 고갈로 인하여, 대체에너지원으로써 태양광 발전시스템(PV System)에 대한 관심이 수십 년간 대두되어 오고 있다. 태양광 에너지는 환경친화적이며 그 이용량이 무한하다는 장점을 가지고 있어 오래전부터 태양광 및 풍력과 같은 대체에너지원은 펌프, 조명, 원거리 통신 등에 이용되었다. 또한 기존의 전력계통에서 전력을 공급 받을 수 없는 섬 지역이나 인공 위성, 우주정거장 등에는 자체적으로 에너지를 생성하여 사용하는 태양광 발전을 이용하는 것이 효과적이라고 여겨져 왔다. 한편, 오늘날 태양광 발전시스템의 확대, 보급을 위해서는 태양전지의 가격과 에너지 변환효율을 개선하는 일이 우선시 되고 있으며 이를 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 최근 들어, 세계의 여러 곳에서 전력생산의 가장 확실한 대안으로, 태양광 발전시스템을 기존의 전력계통에 연계시키려는 움직임이 고조되고 있다.

그림 1은 최근 급속한 증가추세에 있는 계통연계형 태양광 발전시스템을 나타낸다. 태양광 발전시스템의 출력에 영향을 미치는 요소는 다음과 같이 크게 3가지로 볼 수 있다. 첫째, 태양광 발전시스템의 출력은 기상조건에 직접적인 연관을 가지고 있다. 랜덤한 특성을 지닌 태양전지의 출력은

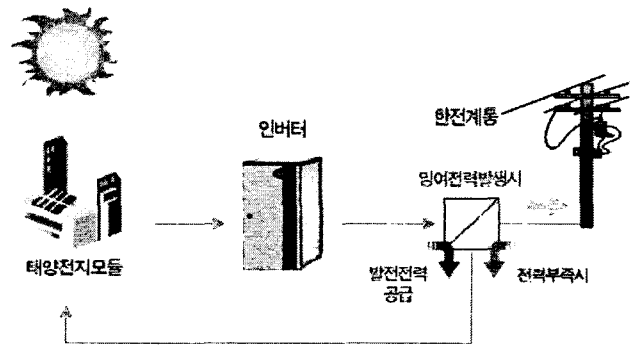


그림 1. 계통연계형 태양광 발전시스템

Fig 1. Grid-connected PV system

경사각과 방위각에 따른 일사량과 온도에 의해 결정된다. 둘째, 태양전지의 에너지 변환효율은 입사하는 태양에너지에 대한 최대 출력에 영향을 미친다. 마지막 요소는 태양전지 어레이의 효율을 최대한 하기 위해서 모듈표면의 오염정도와, 열화, 태양전지의 온도, 어레이회로의 불균형, 어레이회로와 부하사이의 균형정도 등의 시스템 설계 파라미터 등을 고려하여 태양전지 효율을 보정한 변환효율 보정계수이다.

본 논문에서는 위에서 언급한 3가지 요소, 즉, 장기간 매 시간별로 기록된 일사량 데이터를 이용한 일사량 분포함수, 일사량에 따른 태양전지 어레이 효율, 각각의 발전시스템으로부터 측정 및 계산을 통한 변환효율 보정계수를 이용한 발전량 계산 방법을 제안하였다. 또한 이 변환효율 보정계수가 발전량에 얼마만큼의 영향을 미치는지를 각각의 계산된 발전량을 각 발전시스템을 모니터링 할 수 있는 CMS(Centered Monitoring System)의 발전량과 비교, 분석하였다.

† 교신저자, 正會員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 正教授 · 工博,  
E-mail : jokim@hanyang.ac.kr

\* 正會員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 碩士課程

\*\* 正會員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 博士課程

\*\*\* 正會員 : (株)S-Energy 先任研究員

接受日字 : 2004年 12月 30日

最終完了 : 2004年 3月 6日

## 2. 태양전지 어레이 출력

### 2.1 태양전지 어레이의 평균 발전량

몇 개의 전형적인 확률분포함수들을 장기간에 걸쳐 측정된 실측 일사량 데이터의 분포와 적합도 평가를 통해 가장 근사한 함수를 찾을 수 있고, 태양전지 어레이 발전량 또한 일사량에 대한 함수로 표현할 수 있다. 따라서 태양전지 어레이의 평균 발전량은 일사량에 대한 출력 전력과 일사량 분포함수로 표현될 수 있고 식 (1)과 같이 된다[1].

$$P_{PV,ave} = \int P(\tau) f(\tau) d\tau \quad (1)$$

$P_{PV,ave}$  : 태양전지 어레이 평균 발전량

$P(\tau)$  : 태양전지 어레이 출력 전력

$f(\tau)$  : 일사량 분포함수

### 2.2 일사량과 태양전지 어레이 효율

화석연료를 사용하는 발전은 최대출력 한계 내에서 원하는 양의 전력을 생산할 수 있지만, 태양광에 의해 출력되는 발전은 태양광 발전 시스템의 주변 여건 즉, 태양전지 어레이 효율, 기상상태에 따른 일사강도, 태양전지의 온도 등에 의해 제약을 받는다. 여기서 태양전지 어레이의 효율은 단위 일사량에 대한 태양전지 어레이의 출력전력의 비를 말하고 항상 일정한 값을 갖는 것이 아니라 일사량과 온도에 따라 변하는 물리적인 특성을 갖는다. 일사량에 따른 태양전지 어레이의 변환효율을 실제 측정치를 사용하여 그래프로 표시하면 그림 2와 같은 형태를 나타낸다[2].

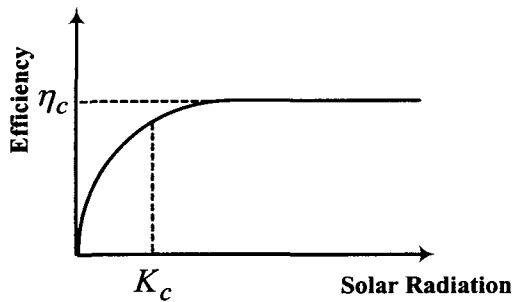


그림 2. 일사량에 따른 태양전지 어레이 변환효율

Fig 2. PV efficiency vs. Radiation

그림 2에서처럼 태양전지 어레이는 처음에는 적은양의 일사량으로도 어레이 효율을 급격히 변화시키는 상태를 보이지만 일사량이 증가하여 특정일사량 지점( $K_c$ )을 지나면서 효율이 포화되는 변환효율 특성을 지니고 있다. 그때의 효율을  $\eta_c$ 라고 하면 그림2의 곡선은 그림 3처럼 2개의 직선으로 근사화 할 수 있고 식 (2), (3)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$Eff_{PV}(\tau) = \frac{\eta_c}{K_c} G_t \quad (0 < G_t < K_c) \quad (2)$$

$$Eff_{PV}(\tau) = \eta_c \quad (G_t > K_c) \quad (3)$$

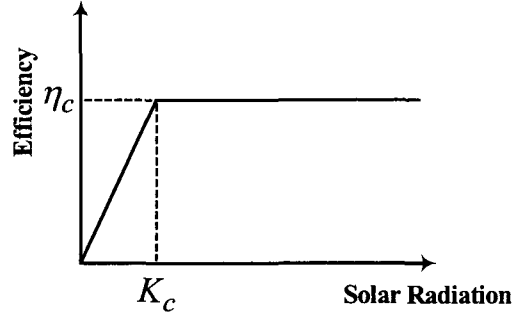


그림 3. 일사량에 따른 어레이 변환효율의 근사화

Fig 3. Approximation of PV efficiency vs. Radiation

효율을 근사화 할 경우 그림 3에서처럼 일사량이 0에서 변곡점  $K_c$ 까지 범위에서는  $\eta_c/K_c$ 의 기울기를 가지는 일차함수로 표현될 수 있고 일사량이  $K_c$  이상일 경우에는 상수  $\eta_c$ 로 표현될 수 있다.

또한, 태양전지 어레이의 출력전력( $P_{PV}$ )은 식 (4)와 같이 해당시간( $\tau$ )에서의 일사량( $G_t$ )에 비례하기 때문에 앞에서 근사화한 효율과 함께 표현하면 해당시간의 일사량에 대한 출력 전력은 식 (5), (6)과 같이 표현된다.

$$P_{PV}(\tau) = Eff_{PV} \cdot G_t \quad (4)$$

$$P_{PV}(\tau) = \frac{\eta_c}{K_c} G_t^2 \quad (0 < G_t < K_c) \quad (5)$$

$$P_{PV}(\tau) = \eta_c G_t \quad (G_t > K_c) \quad (6)$$

식 (5), (6)에서 알 수 있듯이 태양전지 어레이 효율과 일사량을 가지고 태양전지 어레이의 출력 전력을 계산 할 수 있다[2].

## 3. 일사량 확률분포함수의 결정

태양광 발전에 대한 평가는 일사량의 모델링으로 시작된다. 특정지역의 운량, 풍속, 기온, 일사강도와 같은 기상데이터들을 수집하고 이용하는 것이 절대적으로 필요하다. 따라서 이러한 장기간에 걸친 기상데이터들은 일반적으로 일사량 형태로 이용이 가능하다. 일사량을 모델링하기 위한 다양한 방법이 시도되고 있다 그러나 일사량은 보통 랜덤 변수로 여겨지므로 이를 표현하고자 할 때는 통계적 방법이 많이 이용된다.

본 연구를 수행하기 위해서, 최근 11년간(1992-2002)의 일사량 데이터를 중앙 기상관측소로부터 획득하였다. 그러면 한달이 30일인 달을 고려할 때, 330개의 일사량 레벨을 얻을 수 있다. 또한 일사량 분포함수를 결정하기 위해서 여

러 개의 전형적인 확률분포함수를 사용하였다. 실제의 일사량 분포를 가장 잘 묘사하는 확률분포함수를 선택하기 위해서 하루 중 매시간별로 K-S 평가 방법(Kolmogorov-Smirnov Test)을 이용하여 적합도 평가(Goodness-of-fit test)를 수행하였다. K-S 평가 방법은 기본적으로 연속적인 분포들을 비교하는데 적합하며, 가설함수의 누적도수와 관측된 누적상대도수 간의 절대 편차(D)를 비교하여 평가한다. 이 값은 정해진 유의수준(significance level)에 따른 K-S 임계표(K-S critical value table)와 비교하여 각 확률분포함수들의 절대편차가 임계값 보다 작으면 작을수록 가설함수는 실제 분포함수와의 적합도가 우수하다고 판단한다[3].

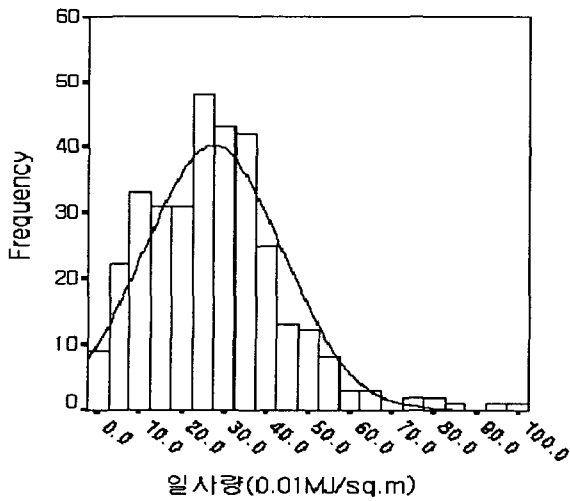


그림 4. 일사량분포 히스토그램과 정규곡선 (11월9시)  
Fig 4. Histogram and Normal curve of irradiance distribution function

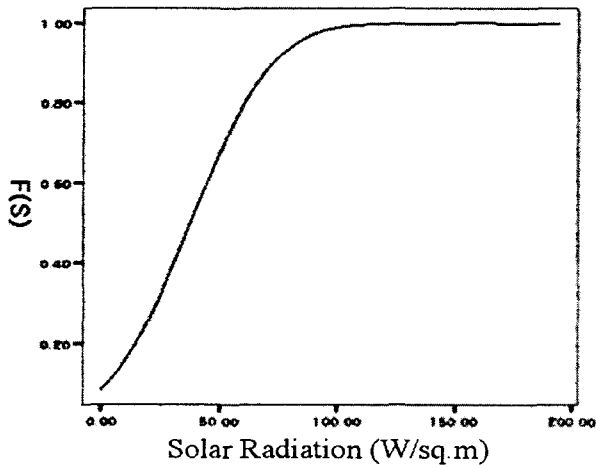


그림 5. 실제일사량의 누적분포곡선  
Fig 5. Cumulative curve of Solar radiation.

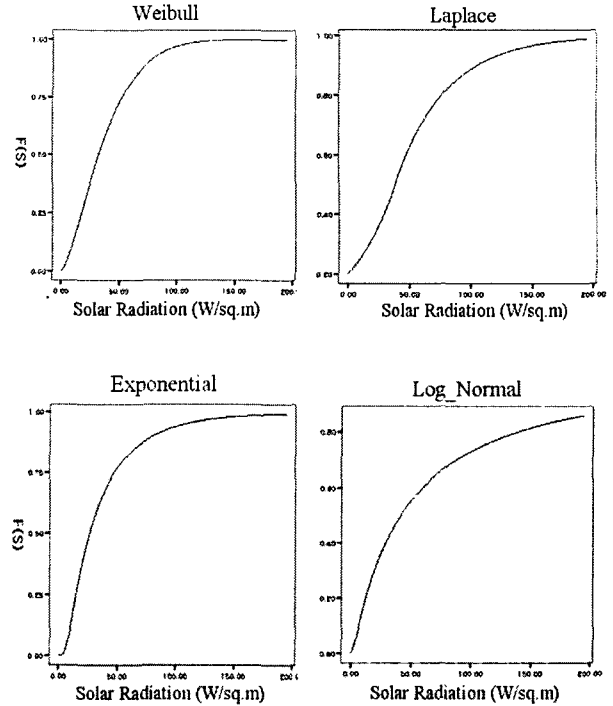


그림 6. 전형적인 확률분포함수에 대한 누적분포곡선  
Fig 6. Cumulative curves of typical probability distribution functions

그림 4는 2003년 11월의 전형적인 날 오전 9시에 기록된 실제 일사량 분포의 히스토그램을 나타내고 그림 5는 이에 대한 누적분포 함수를 나타낸다. 그림 6은 기록된 상대 누적분포함수와 비교하기 위한 여러 개의 가설함수들 중 실제 누적 분포와 근사한 절대편차를 보이고 있는 4개의 가설 함수들에 대한 누적분포함수를 보여주고 있다.

표 1. 각 확률분포함수들의 K-S Test를 이용한 절대편차

Table 1. Critical value through K-S test of each probability distribution function

	Weibull	Laplace	Exponential	Log-normal
7~8	-	-	-	-
8~9	0.082	<b>0.068</b>	0.150	0.119
9~10	<b>0.065</b>	0.086	0.127	0.139
10~11	0.079	<b>0.077</b>	0.211	0.239
11~12	0.081	<b>0.069</b>	0.191	0.200
12~13	<b>0.072</b>	0.096	0.181	0.185
13~14	<b>0.079</b>	0.095	0.182	0.195
14~15	0.077	<b>0.065</b>	0.129	0.133
15~16	0.073	<b>0.054</b>	0.122	0.125
16~17	<b>0.071</b>	0.077	0.114	0.134
17~18	-	-	-	-

표 1은 각 확률분포함수들의 K-S 평가를 이용한 절대편차를 나타낸 것이다. 유의수준은 1%로 하였으며, 샘플의 크기  $n=330$  이므로 그때의 임계값  $D = 1.63/\sqrt{n} = 0.089$ . 이 값을 이용하여 실제 일사량 분포와 가장 근사한 분포를

보이는 확률분포함수를 결정하게 되며 그 함수를 본 연구에 이용하였다. 적합도 평가방법의 정의에 의하면 각 함수들의 임계값  $D$ 을 만족시킬 수 있는 조건은 각 함수들의 값이 0.089보다 작아야 하고 작으면 작을수록 적합도는 우수하게 된다.

표 1에서 보는 바와 같이, 각 시간대별로 여러 개의 함수들 중 Weibull과 Laplace 분포함수가 1%의 유의수준에서 임계값보다 작은 결과를 보였고, 따라서 이 가설함수들은 실제 일사량분포함수를 대표할 수 있는 함수라고 결론지을 수 있다. 해당시간별로 가장 우수한 함수의 값을 굵게 표시하였다. Weibull과 Laplace 확률분포함수를 식 (7)과 식 (10)에 나타내었다.

가. Weibull 확률분포함수

$$f(r) = \frac{k}{c} \left(\frac{r}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{r}{c}\right)^k\right] \quad (7)$$

$$k = \left(\frac{\sigma}{r_{av}}\right)^{-1.086} \quad 1 \leq k \leq 10 \quad (8)$$

$$c = \frac{r_{av}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (9)$$

- $c$  : Weibull 분포함수의 scale 파라미터
- $k$  : Weibull 분포함수의 shape 파라미터
- $\sigma$  : 일사량 분포의 표준편차
- $r_{av}$  : 일사량 평균

나. Laplace 확률분포함수

$$f(r) = \frac{1}{2} \lambda \cdot \exp(-\lambda r) \quad 0 < r < \infty \quad (10)$$

$\lambda$  : Laplace 분포함수의 모수

#### 4. 태양전지 어레이 효율 보정계수

태양전지 어레이의 에너지 변환효율은 모듈표면의 오염정도, 태양전지의 열화 및 온도, 어레이 회로의 불균형, 부하와의 균형정도 등에 따라 큰 차이를 보인다. 그러므로 정상상태에서 측정된 태양전지 어레이의 출력을 보정해주는 요소가 필요하다. 대부분의 요소들은 태양전지 어레이의 변환효율을 저하시키지만 이는 태양광 발전시스템 설치장소의 영향을 많이 받는다. 태양전지 어레이의 변환효율에 영향을 미치는 요소를 고려하여 정확한 출력전력을 계산하기 위해 태양전지 어레이 효율 보정계수  $K_p$  라 하고 다음과 같이 정의하였다[4].

$$K_p = K_{PD} \cdot K_{PT} \cdot K_{PA} \cdot K_{PM} \quad (11)$$

#### 4.1 경시변화 보정계수 $K_{PD}$

경시변화 보정계수( $K_{PD}$ )는 모듈표면의 오염, 열화, 대기 중의 수분농도에 의해 어레이의 입사광이 감소하는 정도를 평가한 것이지만, 태양광 발전 지역에 따라 그 차이가 크다. 대부분의 지역은 깨끗한 주택지이므로 현저한 감소는 관측되지 않는다. 이러한 경우에는 일반적으로 비교적 높은 수치인 0.96~0.97 정도의 값을 이용한다.

#### 4.2 태양전지 온도보정계수 $K_{PT}$

태양전지 온도보정계수( $K_{PT}$ )는 식 (12)와 같이 표현된다.

$$K_{PT} = 1 - \alpha_{P_{MAX}} \cdot (T_{CR} - T_S) \quad (12)$$

$\alpha_{P_{MAX}}$  : 최대전력  $P_{MAX}$ 에서의 온도보정계수( $^{\circ}C$ )

$T_{CR}$  : 태양전지의 현재온도( $^{\circ}C$ )

$T_S$  : 표준상태에서의 태양전지 온도( $=25^{\circ}C$ )

#### 4.3 태양전지 어레이 회로 보정계수 $K_{PA}$

태양전지 어레이 회로 보정계수( $K_{PA}$ )는 어레이 회로 불균형 보정계수( $K_{PAU}$ )와 어레이 회로손실 보정계수( $K_{PAL}$ )로 구분된다.

$$K_{PA} = K_{PAU} \cdot K_{PAL} \quad (13)$$

$$K_{PAU} = 1 - 0.127 \times (\sigma/\sigma_{av}) \quad (14)$$

$$K_{PAL} = 1 - (0.6 \times L_L + 1.0 \times L_D) \quad (15)$$

$\sigma$  : 결선모듈 출력의 표준편차

$\sigma_{av}$  : 결선모듈 출력의 표준편차 평균

$L_L$  : 정격 시 배선 손실률

$L_D$  : 정격 시 다이오드 손실률

$K_{PAU}$ 는 모듈을 다수 직병렬로 결선하는 것에 의해 어레이의 출력이 개개 모듈 출력의 합보다 작게 되는 것을 평가한 계수이고,  $K_{PAL}$ 은 직류회로에서 발생하는 손실을 평가한 것이다.

#### 4.4 어레이 부하정합 보정계수 $K_{PM}$

어레이 부하정합 보정계수( $K_{PM}$ )는 부하와의 균형으로 결정되는 어레이 전력의 동작점이 태양전지 어레이의 최적 동작점에서 어느 정도 벗어나고 있는가를 평가한 보정계수이다. 이는 오차범위를 고려하여 시스템마다 구별하지 않고 일률적으로 0.89~0.91로 한다.

### 5. 태양전지 어레이 출력전력 계산

기본적으로 일사량과 태양전지 효율이 주어졌을 때 태양 전지에서 발생하는 전력을 계산할 수 있다. 여기에 태양전지 면적과 태양광 입사 시간, 마지막으로 위에서 언급한 태양전지 변환효율 보정계수를 고려한다면 태양광 발전시스템의 출력전력  $P(r)$ 은 식 (16)에 의해 계산될 수 있다.

$$P(r) = P_{PV}(r) \cdot A \cdot Y_F \cdot K_P \quad (kWh) \quad (16)$$

- $P_{PV}(r)$  : 일사량에 대한 출력전력(kW)
- $A$  : 총 태양전지(어레이) 면적( $m^2$ )
- $Y_F$  : 태양광이 입사된 시간(hour)
- $K_P$  : 태양전지 어레이 효율 보정계수

앞에서 매 시간에 대한 확률분포함수를 결정하였고, 이를 이용하여 태양광 발전시스템의 하루 동안 발전되는 전력을 계산하고자하면 식 (17)을 이용하면 된다.

$$P_{SYSTEM} = \sum P(r_i) f(r_i) dr_i \quad (17)$$

- $P(r_i)$ : 해당시간(t)의 태양광 발전시스템 출력전력
- $f(r_i)$  : 해당시간(t)의 확률분포함수

### 6. 사례 연구

우리나라는 현재 여러 지역에 태양광 발전시스템이 설치되어있고 최근 정부의 전폭적인 지원으로 많은 곳에 그 설치 사례가 급속히 증가하고 있다. 태양광 발전량을 예측하기 위해서는 전 지역에 널리 퍼져있는 모든 발전지역의 파라미터 추정이 요구되고, 이러한 파라미터들을 추정하기 위해서는 매분간격으로 수집하여 축적한 운전데이터들이 필요하다. 태양광 발전지역은 그들의 위치에 따라 각기 다른 기온, 습도, 일사량 등의 특성을 가지고 있어 이러한 기상특성에 따라 같은 용량의 발전시스템이라도 발전량이 제각기 다르게 나타난다.

그림 7은 현재 설치, 운영되고 있는 웹을 기반으로 한 데이터 수집 시스템인 중앙 모니터링 시스템(Centered Monitoring System, CMS)을 보여준다. 중앙 모니터링 시스템에서는 각 지역에 설치된 태양광 발전시스템의 발전용량, 태양전지 종류, 어레이 배열구조 뿐만 아니라 기상 상태와 태양전지 어레이에서 발생하는 전압, 전류와의 상관관계를 실시간으로 모니터링 할 수 있다.

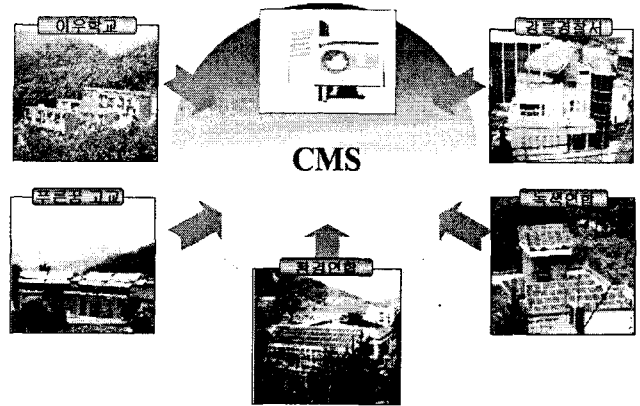


그림 7. 태양광발전 중앙모니터링 시스템  
Fig 7. PV Generation Centered Monitoring System

그림 8은 여러 지역 중 서울시의 실제 일사량 데이터를 이용한 전형적인 태양전지 어레이 효율 특성을 나타낸다. 그림 8의 모든 점들은 하루 동안 매분의 일사량에 따른 태양전지 효율을 표시한다. 이러한 각 지역의 일사량에 따른 태양전지 효율 곡선으로부터 최소사승법을 사용하여 효율  $\eta_c$ 와 특정 일사량 지점  $K_C$ 을 결정하였다.

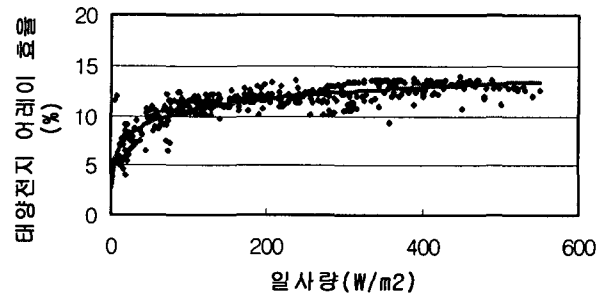


그림 8. 일사량에 따른 태양전지 어레이 효율  
Fig 8. Empirical solar radiation vs. array efficiency

표 2. 각 태양광 발전시스템의 측정 파라미터  
Table 2. Measured parameters of each PV generation site

발전지역	$kW_P$	$\eta_c$	$K_C$	$A$	$K_P$
이우학교	30	0.118	111.9	258.6	0.81
환경연합	15	0.116	124.6	194.0	0.78
푸른꿈고교	12	0.119	122.5	155.2	0.83
강릉경찰서	10	0.121	120.4	129.4	0.82
녹색연합	3	0.116	119.9	38.8	0.76

표 2는 발전용량( $kW_P$ ), 어레이 효율( $\eta_c$ ), 특정 일사량 지점( $K_C$ ), 총 어레이 면적( $A$ ), 그리고 어레이 효율 보정계수( $K_P$ ) 등의 각 발전시스템에서 직접 측정하거나 계산한 파라미터들을 나타낸다.

일사량 분포함수가 포함된 식 (16)에 의해서 계산된 각

지역의 태양광 발전시스템의 발전량과 중앙 모니터링 시스템에서 획득한 각 지역의 발전량 비교하여 그림 9와 그림 10에 나타내었다. 그림 9는 태양전지 변환효율 보정계수를 도입하지 않았을 때의 발전량을 비교한 것이고 그림 10은 보정계수를 도입했을 때의 발전량을 비교한 것이다. 측정기간은 중앙 모니터링 시스템을 설치하고 운영하기 시작한 2003년 11월부터 2004년 4월(6개월)까지였으며 측정 발전지역은 현재 중앙모니터링 시스템에서 모니터링이 가능한 5개 지역이다.

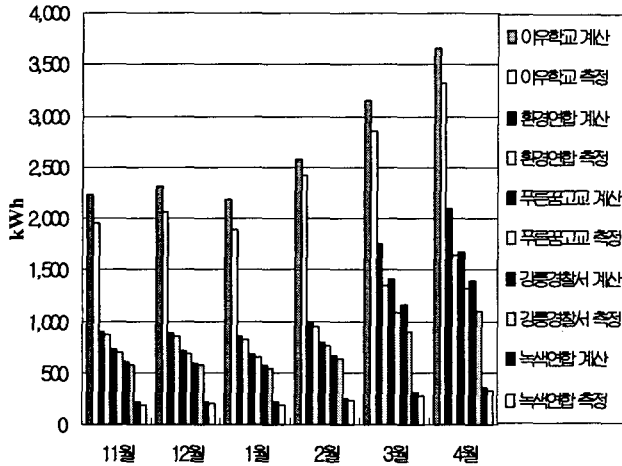


그림 9. 보정계수를 도입하지 않았을 때의 계산발전량과 계측 발전량 비교

Fig 9. Comparing measured and calculated PV power output without revision factors

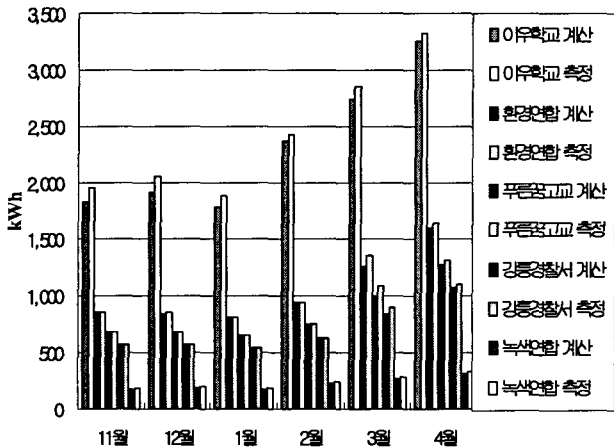


그림 10. 보정계수를 도입하였을 때의 계산발전량과 계측발전량 비교

Fig 10. Comparing measured and calculated PV power output with revision factors

비교결과 태양전지 보정계수를 도입하지 않았을 때는 실측발전량보다 훨씬 많은 발전량 계산되었으며 오차율도

5%~12%로 비교적 높은 수치를 보였다. 반면 보정계수 도입으로 매월 2%~7%의 근소한 오차율을 보였으며, 계산한 발전량이 측정된 발전량보다 다소 적게 나타나는데 그 이유는 발전량을 계산하는데 있어서 주위온도의 영향을 고려한 요소가 없었고, 확률분포함수의 적합도에서의 오차, 비교적 방대하지 않은 일사량 분포 데이터 등으로부터 기인한 것으로 분석된다.

### 7. 결 론

본 논문에서는 일사량 분포함수, 태양전지 효율 그리고 태양전지 변환효율 보정계수를 이용하여 태양광 발전시스템의 발전량을 예측 할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법은 일사량의 랜덤한 특성을 나타내기 위해 확률분포를 도입하였으며, 연구대상인 지역의 장기간에 걸친 기상 데이터를 근거로 하였다.

이 방법을 이용하면, 태양광 발전시스템의 단기간 또는 장기간에 걸쳐 얻을 수 있는 발전량을 예측할 수 있을 뿐만 아니라 발전지역의 위치 및 기상특성에 의존한 정확한 설계기준에 따른 설치비용 절감효과와 일사량 분포를 미리 조사하여 태양광 발전시스템을 설치하기에 적절한 지역을 결정하는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 기초전력연구원의 R-2004-B-220 사업의 연구비에 의하여 수행되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] Bogdan S. Borowy, Ziyad M. Salam, "Optimum Photovoltaic Array Size for a Hybrid Wind/PV System", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.9, No3, September 1994.
- [2] Shahidehpour, M. Marwali, "Maintenance scheduling in restructured power system", Kluwer academic publishers norwell, Massachusetts, pp.183-187, 2000.
- [3] Roy Billington, Ronald N.Allan, "Reliability evaluation of Engineering System", PLENUM PRESS, pp.205-208, 1992.
- [4] 黒川浩助 編: "太陽光發電システム 設計ガイドブック", 太陽光發電技術研究組合, pp.90-92, 1994.
- [5] Sheldon Ross, " A First Course in Probability", Prenticehall.Inc, pp.248-250. 1998.
- [6] Luis castaner, Santiago silvestre, "Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice", John Wiley & sons, ltd, pp.210-218. 2002.
- [7] Tomas Markvart, "Solar Electricity", john Wiley & sons, ltd, pp.88-92. 2000.
- [8] Athanasios Papoulis, "Probability & Statistics",

Prentice-Hall International, Inc, pp.155-160. 1990.

[9] Paul E. Pfeiffer, "Basic Probability Topics using MATLAB", PWS publishing company, pp.73-98. 1995.

[10] S.H.Karaki, R.B. Chedid, R.Ramadan, "Probabilistic Performance Assessment of Autonomous Solar-Wind Energy Conversion Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.14, No.3, September 1999.

## 저 자 소 개



### 이 일 룡(李 一 龍)

1976년 2월 6일생. 2001년 2월 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2003년 2월 한양대학교 전기공학과 공학석사.

E-mail : derik21@ihanyang.ac.kr



### 김진오(金眞吾)

1956년 1월 17일생. 1980년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 공학석사. 1990년 Texas A&M University 전기공학과 공학박사. 1987년~현재 한양대 전자전기컴퓨터공학부 정교수.

E-mail : jokim@hanyang.ac.kr



### 배인수(裵引洙)

1975년 2월 14일생. 1998년 2월 한양대학교 전기공학과 졸업. 2003년 2월 동대학원 전기공학과 공학석사. 2003년~현재 동대 학원 전기공학과 박사과정.

E-mail : bis@ihanyang.ac.kr



### 심헌(沈憲)

1973년 8월 26일생. 1996년 한국기술교육대학교 기공학과 졸업. 2001년 동대학원 전기공학과 공학석사. 2003년~현재 한양대학교 전기공학과 박사과정. 2001년~현재 (주)에스에너지 기술연구소 선임연구원.

E-mail : hshim@s-energy.co.kr