

그림자 효과를 고려한 태양전지 모듈의 발전량 예측 연구

김민수 · 지상민 · 오수영* · 정재학*

화학공학부, 영남대학교, 경산, 38541

Prediction Study of Solar Modules Considering the Shadow Effect

Minsu Kim · Sangmin Ji · Soo Young Oh* · Jae Hak Jung*

School of Chemical Engineering, Yeungnam University, 280 Daehak-Ro, Gyeongsan, Gyeongbuk 38541, Republic of Korea

ABSTRACT: Since the last five years it has become a lot of solar power plants installed. However, by installing the large-scale solar power station it is not easy to predict the actual generation years. Because there are a variety of factors, such as changes daily solar radiation, temperature and humidity. If the power output can be measured accurately it predicts profits also we can measure efficiency for solar power plants precisely. Therefore, Prediction of power generation is forecast to be a useful research field. In this study, out discovering the factors that can improve the accuracy of the prediction of the photovoltaic power generation presents the means to apply them to the power generation amount prediction.

Key words: Photovoltaic, Solar cell, Power generation

1. 서론

현재 지구온난화의 주범으로 과도한 탄소에너지 사용이 지목되고 있으며, 이로 인해 오존층의 파괴, 해수 온도의 상승 등의 변화는 현재 인류가 직면한 지상 최대의 해결과제 중 하나로 꼽히고 있다. 그리고 우리 주위의 에너지 대외환경 또한 고유가, 수입 의존형 에너지 수급 등 에너지 시장의 불확실성 증대 및 수급 불안, 세계 각국의 에너지 자원 확보경쟁 심화로 안정적 에너지 공급이 갈수록 어려워지고 있다¹⁾. 이러한 시점에서 가장 많이 이슈가 되고 있는 것이 신재생에너지 분야이다. 신재생에너지의 경우 풍력, 태양광 등 여러 가지가 있으나 발전소 설치를 위해서는 많은 제약들이 동반한다. 하지만 태양광의 경우는 이러한 어려운 상황에서도 태양광의 시장은 계속 성장을 하고 있다. 이와 같이 발전단가를 낮추기 위하여 내구성의 향상, 저가 고효율의 모듈 연구등도 같이 성장을 하고 있다. 태양광 발전에서 가장 큰 제약 중의 하나가 바로 태양빛이 없는 상황이다. 이것은 밤이 되어 태양빛이 사라지는 경우도 있지만 구름이 나타나거나 혹은 그림자에 의해 태양빛이 태양광 모듈 표면에 닿지 않아서 나타는 경우가 있다. 이 중 일교차와 날씨의 영향은 매일이 조금씩 차이가 나지만 1년을 기준으로 하였을 경우에는 비슷한 양의 태

양빛이 나타나게 된다. 한 예로 Table 1에서 보듯이 미국 albuquerque 지역에서 24년간의 일사량 일 평균값을 측정하였을 경우 24년 평균치에서 5%내외로 차이가 나는 것을 알 수가 있다.

물론 큰 기상이변의 경우 단가적으로 큰 차이를 보일 수는 있으나 1년 혹은 10년 단위로 본다면 많은 차이가 나지 않는다는 것이다. 이는 어느 정도 날씨에 따른 일사량의 예측이 가능하다는 것을 나타내고 있다. 남은 요소 중의 하나가 바로 그림자의 영향이다. 그림자의 경우는 크게 2가지로 구분된다. 우선은 설치시 주변의 건물에 의한 그림자 영향과 두 번째 태양광 모듈을 Multi-array로 설치를 하여 태양의 고도가 낮을 경우 모듈간의 영향을 주게 되는 것이다. 첫 번째의 경우는 태양광 발전을 설치하는 위치를 선정하는 과정에서 어느 정도 피할 수 있다. 하지만 두 번째의 경우를 피하기 위해서는 모듈간의 간격을 넓히는 방법 밖에는 없다. 이는 토지의 면적으로 나타나며 이는 설치비용에 큰 영향을 주게 된다.

본 연구에서는 설치시 모듈간의 간섭에 대한 발전량의 변화를 예측하여 실제 설치시 기대할 수 있는 발전의 양을 정확하게 나타내고자 하였다. 이를 위해 모듈단위의 발전을 예측할 수 있는 계산방법과 모듈간의 간격에 따른 그림자 간섭현상에 대한 식 찾아내고 연간 Data를 활용하여 실제 발전량에 대한 예측을 하였다.

*Corresponding author: jhjung@ynu.ac.kr
Received June 2, 2016; Revised June 2, 2016;
Accepted June 7, 2016

Table 1. 24year data for irradiance

YEAR	Global Nomal Irradiance	Direct Normal Irradiance	Latitude Tilt Irradiance	Peak Lat,Tilt (1-hravg)
	<i>kWh/m²/d</i>			<i>W/m²</i>
2012	9.17	7.41	6.65	1204
2011	9.06	7.29	6.59	1184
2010	9.02	7.33	6.4	1180
2009	8.88	7.1	6.49	1208
2008	9.01	7.31	6.54	1233
2007	8.73	6.93	6.32	1178
2006	8.8	6.88	6.43	1228
2005	8.6	6.82	6.23	1202
2004	8.82	7.06	6.31	1176
2003	8.8	7.05	6.29	1164
2002	8.96	7.15	6.5	1211
2001	8.75	7	6.31	1172
2000	8.73	7.01	6.29	1209
1999	9.03	7.37	6.53	1176
1998	8.81	7.04	6.23	1217
1997	8.39	6.76	6.05	1170
1996	8.76	7.19	6.39	1173
1995	8.49	6.91	6.26	1211
1994	8.53	6.71	6.19	1206
1993	8.57	6.48	6.2	1160
1992	7.92	5.48	5.8	1162
1991	8.52	6.52	-	
1990	8.38	6.63	-	
1989	9.17	7.32	-	

2. 본 론

태양광 발전의 원리는 기본적으로 태양빛이 대기층을 통과하여 모듈의 표면에 도달하게 되면 이 빛에너지를 Solar Cell이 전기에너지로 전환을 해주는 원리이다. 여기서 모듈의 기본적인 발전 효율에 따라 1차적으로 발전량이 정해지게 된다. 모듈의 발전효율이란 25°C, 1,000 W/m²일 때 나타나는 모듈의 출력을 계산한 것을 말한다.

그 다음으로 발전량에 미치는 요소들을 살펴보면 온도, 방위각, 고도각, AM (Air Mass), 설치각 등 다양한 요소들이 있다.

2.1 온도

온도의 영향은 결정질 실리콘의 경우 온도가 상승하면 모듈의 출력이 떨어진다. 특히 전압부분이 낮아지게 되는데 감소량은 모듈마다 차이를 보인다. 예전 Solar Cell이 거의 같은 공정으로 만들어졌기에 대체적으로 250 W모듈의 경우 1°C당 약 0.2 V 정도의 감소를 하였지만 현재에는 Solar Cell의 생산공정이 고 효율을 위해서 다양한 공정들이 개발이 되었다. 이로 인해 1°C

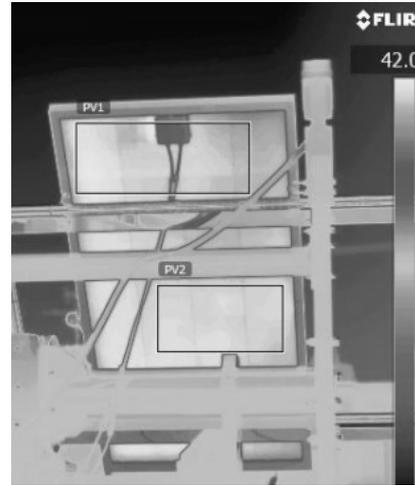


Fig. 1. Temperature of module (in air temperature is 19°C)

당 떨어지는 전압의 양이 조금씩이나마 차이가 나게 되었다.

위의 경우로 예를 든다면 가을과 같이 일사량이 잘나오고 온도가 25°C미만일 경우 제시하는 발전량보다 많이 나올 것으로 기대를 하나 실제 모듈이 발전을 시작하게 되면 모듈 자체의 온도가 상승하게 된다. 이는 1,000 W/m²의 일사량 중 약 20% 정도만 전기로 바뀌게 되고 나머지 에너지의 경우는 열에너지로 소비가 되게 된다. 이 열에너지가 대부분 대기 중으로 빠져나가지만 일부분이 모듈에 축적이 되면서 모듈의 온도가 상승을 하는 것이다. 모듈의 상승 온도는 상당히 높은 경우를 나타낸다. Fig. 1에서 봄철의 모듈의 뒷면 부의 열화사진이다. 모듈의 뒷면의 온도는 최대 42.0°C로 나타난다.

측정시 대기의 온도는 약 19°C였다. 하지만 모듈의 온도는 42°C를 유지하게 된다. 따라서 일반 모듈이 25°C기준의 측정을 하지만 모듈이 발전을 하게 되면 고온을 유지하기 때문에 25°C, 1,000 W/m²일 때의 발전량보다 감소한다. 모듈 자체 온도의 변화에 대한 연구는 차후 계속적으로 진행을 하게 될 것이다. 본 연구에서는 어느 정도 온도에 대한 영향을 반영하도록 하였다.

2.2 일사량

발전량의 가장 큰 영향을 미치는 일사량은 태양의 위치에 따라 달라진다. 우선 태양의 위치를 계산하기 위해서는 몇 가지의 식이 필요하다. 태양의 위치를 위해서는 위도, 고도각, 방위각이 필요하다. 이는 태양의 위치를 결정하는 요소들이 된다.

일반적으로 태양의 고도각과 방위각은 측정에 의해서 이루어질 수 있다. 그리고 다른 방법으로는 계산에 의해서 가능하다. 계산을 위해서는 우선 시간각과 지구 자전축의 기울기 값을 알아야한다. 아래의 식(1)과 식(2)는 각각의 값을 계산하기 위한 식이다³⁾.

$$w = \frac{12 - T}{24} \times 360^\circ = 15(12 - T)^\circ \tag{1}$$

w 는 시간각, T 는 시간이다. 관측시간이 오전일 경우 “-”값을, 오후일 경우 “+”값으로 나타낸다³⁾.

$$\delta = 23.5 \times \sin \left[\left(\frac{N-80}{365} \right) \times 360 \right] \quad (2)$$

δ 는 지구자전축의 기울기, N 는 일차수이다.

w 와 δ 값을 가지고 아래의 식을 통해 태양의 고도와 방위각을 구하게 된다. 식(3)과 식(4)는 각각 고도각과 방위각을 구하기 위한 식이다³⁾.

$$\sin(\alpha) = \cos(\Phi)\cos(\delta)\cos(w) + \sin(\Phi)\sin(\delta) \quad (3)$$

α 는 태양의 고도각 Φ 는 계산하고자 하는 지역의 위도를 나타낸다³⁾.

$$\cos(\Psi) = \frac{\sin(\alpha)\sin(\Phi) - \sin(\delta)}{\cos(\alpha)\cos(\Phi)} \quad (4)$$

Ψ 는 태양의 방위각이다. 고도각, 방위각은 Fig. 4에서와 같이 나타내어진다.

위 계산식을 이용하게 되면 지구상의 어느 위치에서든 시간별 고도각과 방위각을 구할 수 있다. 오차율은 5%도 나지 않을 정도의 정확도를 가지게 된다. 하지만 위 식은 요즘 연구되어지

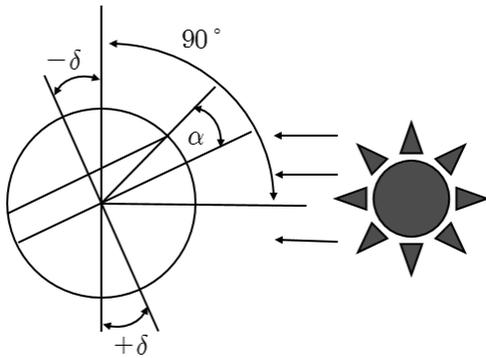


Fig. 2. Earth's axial tilt δ

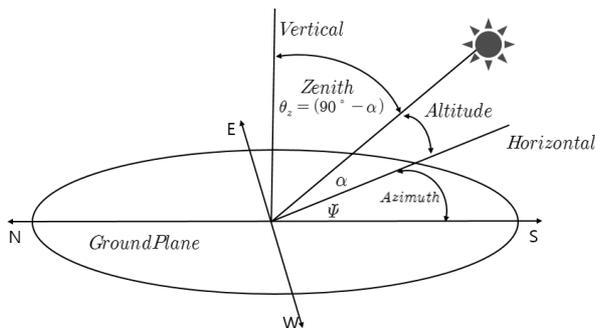


Fig. 3. Azimuth and Altitude for Northern latitudes

고 있는 CPV (Concentrating PhotoVoltaics)에서는 적용이 힘들다. CPV의 경우는 일사량 중에서는 DNI (Direct Normal Irradiation)을 위해 Tracking system을 사용하게 되는데 여기에 위 계산식을 통해서 Tracking system을 사용하게 될 경우 DNI 값에 큰 차이를 보이게 된다. CPV에서는 더욱 정밀한 Track system을 적용하여야 한다. 이는 계산식을 가지고 하는 것이 아닌 실제 태양의 위치를 이미지를 통해서 Tracking하는 방법을 택하고 있다.

2.3 AM (Air Mass)

방위각과 고도각을 이용하여 구할 수 있는 것이 일사량이다. 일사량은 AM (Air Mass)와 관련이 있는데 우선 AM이란 그대로 풀이를 하게 되면 공기의 층을 이야기하는데 태양광 산업에서는 AM을 값의 단위로 표기를 한다. 일사량은 대기권 밖에서는 약 $1,367 \text{ W/m}^2$ 의 값을 갖는다. 이 에너지가 대기층을 통과 하면서 대기층이 에너지를 흡수함에 따라 일사량이 감소되는 것이다. 이를 AM의 값으로 표기를 하는 것으로 AM0의 경우에 에너지 손실이 없는 상태인 지구 대기권 밖의 태양에너지 상태인 $1,367 \text{ W/m}^2$ 을 의미한다. 다음의 식은 AM값과 일사량과의 상관관계를 나타낸 식이다³⁾.

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta_z)} \quad (5)$$

$$I = 1367 \times (0.7)^{AM} \quad (6)$$

θ_z 는 천정각 즉 $(90 - \alpha)$ 이고 I는 일사량(w/m^2)이다.

2.4 발전량

발전량을 계산하는 방법에는 단순히 일사량 대비 발전효율을 가지고 계산을 하게 되는 가장 단순한 형태에서 매우 복잡한 계산식까지 매우 다양하다. 본 연구에서는 Sandia National lab의 식을 사용하고자 한다. 다음에 그 식들을 나타내었다²⁾.

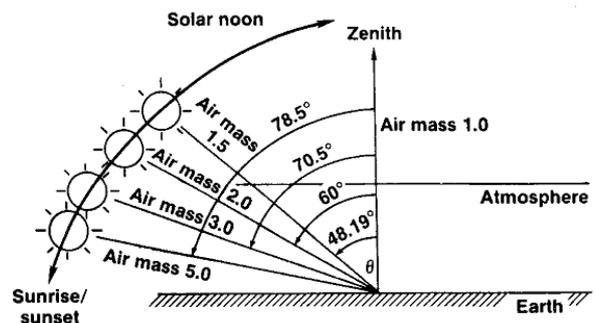


Fig. 4. AM (Air Mass)

$$I_{sc} = I_{sc0} \cdot f_1(AM_a) \times \{E_b \cdot f_2(AOI) + f_d \cdot E_{diff}\} / E_0 \times \{1 + \alpha_{Isc} \cdot (T_c - T_0)\} \quad (7)$$

$$I_{sc0} = I_{sc} / [E_e \cdot \{1 + \alpha_{Isc} \cdot (T_c - T_0)\}] \quad (8)$$

$$I_{mp} = I_{mp0} \cdot \{C_0 \cdot E_e + C_1 \cdot E_e^2\} \times \{1 + \alpha_{Imp} \cdot (T_c - T_0)\} \quad (9)$$

$$V_{oc} = V_{oc0} + N_s \cdot \delta(T_c) \cdot \ln(E_e) + \beta_{Voc}(E_e) \cdot (T_c - T_0) \quad (10)$$

$$V_{mp} = V_{mp0} + C_2 \cdot N_s \cdot \delta(T_c) \times (E_e) + C_3 \cdot N_s \cdot \{\delta(T_c) \cdot \ln(E_e)\}^2 + \beta_{Vmp}(E_e) \cdot (T_c - T_0) \quad (11)$$

$$\delta(T_c) = n \cdot k \cdot (T_c + 273.15) / q \quad (12)$$

$$E_e = I_{sc} / [I_{sc0} \cdot \{1 + \alpha_{Isc} \cdot (T_c - T_0)\}] \quad (13)$$

$$f_1(AM_a) = a_0 + a_1 \cdot AM_a + a_2 \cdot (AM_a)^2 + a_3 \cdot (AM_a)^3 + a_4 \cdot (AM_a)^4 \quad (14)$$

$$f_2(AOI) = b_0 + b_1 \cdot (AM_a) + b_2 \cdot (AM_a)^2 + b_3 \cdot (AM_a)^3 + b_4 \cdot (AM_a)^4 \quad (15)$$

I_{sc} = 단락 전류(A)

I_{mp} = 최대전력점의 전류(A)

V_{oc} = 개방 전압(V)

V_{mp} = 최대전력점의 전압(V)

E_e = 유효일사량

$\alpha_{Isc} = I_{sc}(1^\circ\text{C})$ 의 정규화된 온도계수. 이 매개변수는 측정된 일사량에 단락전류를 나눔으로써 정규화된다. 이들(1°C)단위를 사용하면 개별 모듈들과 모듈의 병렬 스트링에 대해 동일한 값을 적용할 수 있다.

$\alpha_{Imp} = I_{mp}$ 에 대한 정규화된 온도 계수. α_{Isc} 와 동일한 방식으로 정규화 된다.

$\beta_{Voc}(E_e) = \beta_{Voc0} + m_{\beta Voc} \cdot (1 - E_e)$, 효율적인 조사량의 함수로 개방전압의 온도계수. 일반적으로 일사량의 의존성을 무시할 수 있고 β_{Voc} 는 상수 값으로 간주된다.

$\beta_{Voc0} = 1000 \text{ W/m}^2$ 수준의 V_{oc} 에 대한 온도계수. 일사량에 대한 함수로서 개방전압의 온도계수. 일반적으로 일사량 의존

이 무시 될 수 있고, 상수로 간주된다($V^\circ\text{C}$).

$\beta_{Vmp}(E_e) = \beta_{Vmp0} + m_{\beta Vmp} \cdot (1 - E_e)$ ($V^\circ\text{C}$) 효율적인 조사량의 함수로 V_{mp} 의 온도계수. 일반적으로 일사량의 의존성을 무시할 수 있고 β_{Vmp} 는 상수값으로 간주된다.

$\beta_{Vmp0} = 1000 \text{ W/m}^2$ ($V^\circ\text{C}$) 수준의 V_{mp} 에 대한 온도계수.

E_{diff} = 모듈표면으로 확산되는 일사량 계수(W/m^2).

$C_0, C_1 = Imp$ 에 관한 실험적으로 결정된 계수 $C_0 + C_1 = 1$ (무차원).

$C_2, C_3 = V_{mp}$ 에 관한 실험적으로 결정된 계수(C_2 는 무차원, C_3 는 $1/V$ 의 단위를 가짐).

E_0 = 통상적 기준일사량, 1000 W/m^2

N_s = 모듈의 직렬 셀 개수

N_p = 모듈의 병렬 셀 개수

k = Boltzmann 상수, $1.38066 \text{ E}^{-23}(\text{J/K})$

q = 기본전하. 1.60218 E^{-19} (coulomb)

T_0 = 모듈의 기준온도, 보통 25°C

T_c = 모듈안의 셀 온도

$\delta(T_c)$ = 모듈안의 셀 온도에서 셀당 열전압, 25°C 에서 열전압은 셀당 약 26 mV 이다.

f_d = 모듈에 확산되는 일사량의 비율, 일반적으로 Flat-plate모듈은 1로 가정한다. Point-focus concentrator 모듈의 경우 0으로 가정한다. Low-concentration 모듈은 0 ~ 1 사이로 결정되어 진다.

AOI = 입사각(degrees).

Sandia National lab에서는 많은 모듈을 테스트를 통해서 위 식을 정의하였고 많은 상용화 PV module의 계수들을 측정하여 공지하고 있다. 새로운 모듈에 대해서도 Sandia national lab의 방법을 통해 각각의 요소들을 찾아내게 되면 발전량 예측에 위의 식(7)-(15)의 식들을 활용할 수가 있다.

2.5 그림자

태양광 발전을 설치하게 되면 최종적으로 모듈간의 간섭현상이 나타날 수가 있다. 이를 없애기 위해서는 Array에서 모듈과 모듈간의 거리를 충분히 떨어뜨리면 그림자의 간섭이 일어나지 않지만 그렇게 하기 위해서는 토지의 비용이 많이 필요하게 된다. 평균적으로 간섭이 일어나지 않기 위해서는 최소 설치된 모듈의 높이 이상의 거리를 모듈간의 간격으로 유지를 해야 한다. 그렇지 않으면 Fig. 5에서와 같이 모듈간섭을 피할 수가 없다.

위 그림을 바탕으로 모듈 간섭 값 A 를 계산할 수가 있다³⁾.

$$A(m) = \frac{d \sin(\gamma) - c \tan(\alpha)}{\sin(\gamma) + \cos(\gamma) \tan(\alpha)} \quad (16)$$

이 값을 이용하게 되면 설치간격에 대한 발전성능을 예측하는 것이 가능하게 된다.

식(16)을 통해서 모듈의 표면을 가리는 정도를 예측할 수가 있다. 하지만 대부분 모듈의 1%를 가릴 경우 단순하게 실제

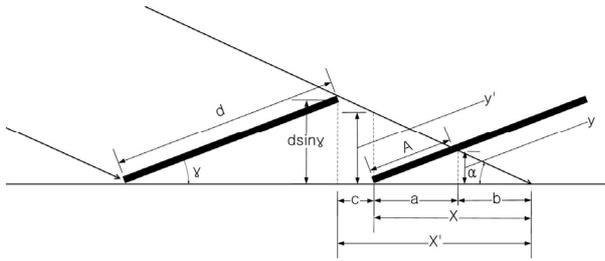


Fig. 5. PV multi array

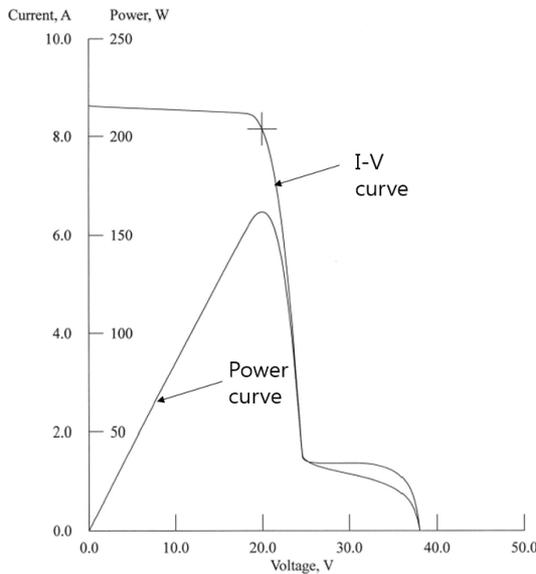


Fig. 6. Power of 1cell hidden

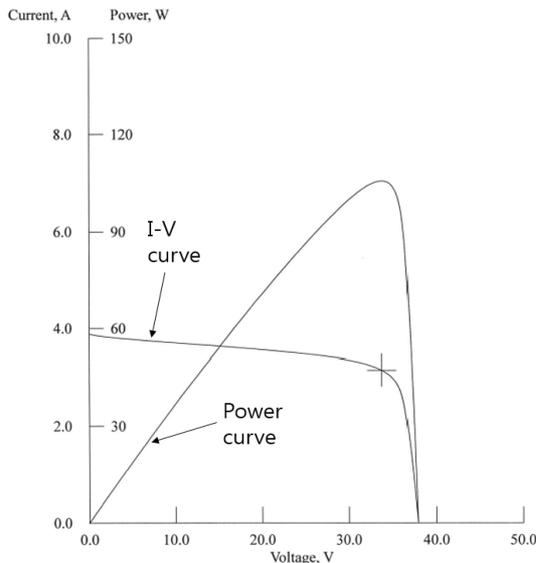


Fig. 7. Power of 6% hidden (1 cell line of module)

발전량에서 1%의 발전량의 하락을 가져오는 것이 아니다.

Fig. 6은 정상적인 상태에서 248 W의 출력을 나타내는 모듈에서 1cell을 가렸을 경우 나타나는 현상이다. 출력이 161 W로 30%이상 하락을 한다. 또한 Fig. 7에서는 최하단 Cell을 약 60% 정도 가릴 경우의 모듈 출력이다. 출력이 100 W 정도로 60%가 하락을 하게 된다.

식(16)을 통한 발전량 감소예측은 실제 모듈의 1%를 가리게 되면 10%의 모듈 하락이 나타나게 되는 것이다. 또한 1cell을 모두 가리는 10%이상의 그림자에 대해서는 모듈의 발전량은 이론적으로 0가 된다.

그림자의 효과가 이렇게 나타나는 것은 모듈의 셀이 각각 전류의 흐름 통로역할을 하게 된다. 여기서 통로 중 한군데라도 통로의 크기가 줄어들게 되면 모든 흐름이 동일하게 줄어드는 효과라고 표현 할 수 있다. 하지만 1 셀을 가려 통로를 줄어들더라도 모듈에는 Bypass diode에 의해 3 영역의 통로로 구분되어 Fig. 6과 같은 현상이 나타나는 것이다.

2.6 Example

예시에 적용된 모듈은 Sun Power사의 315 W모듈을 가지고 계산을 해보았다. 우선 모듈의 특성 값들을 파악하고 실제 모듈을 가지고 모듈시뮬레이터를 통한 측정, 모듈회사에서 제공하는 Data, 그리고 계산에 의한 값들을 비교해 보았다⁴⁾.

3가지의 경우를 비교한 결과 정확도가 매우 높은 것으로 판단이 되고 이를 이용하여 연간발전량을 예측해 보도록 하였다.

Data는 대구 지역의 시간별 온도와 일사량 data를 통하여 실제 발전 예측을 해보도록 하였다. data는 국가수자원 관리 종합정보시스템에서 제공하는 2013년 실제 온도와 일사량의 data를

Table 2. Comparative data (calculation, module simulator, module specification)

Category	Eq. result	Module simulator result
Irradiance(W/m^2)	1000	1000
Temperature($^{\circ}C$)	23.1	23.1
$I_{sc}(A)$	6.133	6.144
$I_{mp}(A)$	5.7641	5.758
$V_{oc}(V)$	64.936	65.692
$V_{mp}(V)$	55.0534	55.277
$P_{mp}(W)$	317.336	317.859

Category	Eq. result	Specification
Irradiance(W/m^2)	800	800
Temperature($^{\circ}C$)	25	25
$I_{sc}(A)$	4.912	4.97
$I_{mp}(A)$	4.614	4.62
$V_{oc}(V)$	63.916	60.5
$V_{mp}(V)$	54.462	50.1
$P_{mp}(W)$	251.324	231

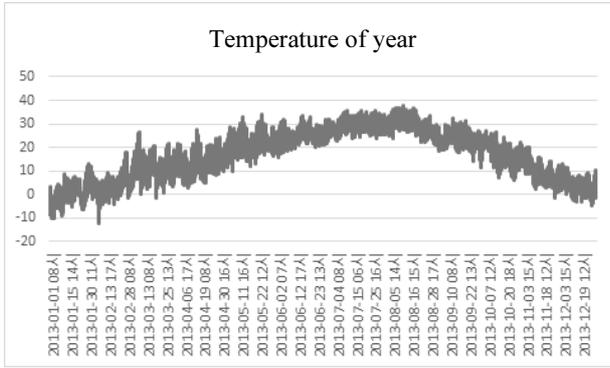


Fig. 8. Temperature of year

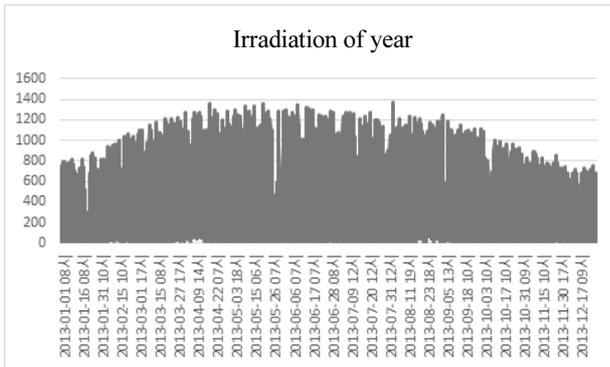


Fig. 9. Irradiation of year

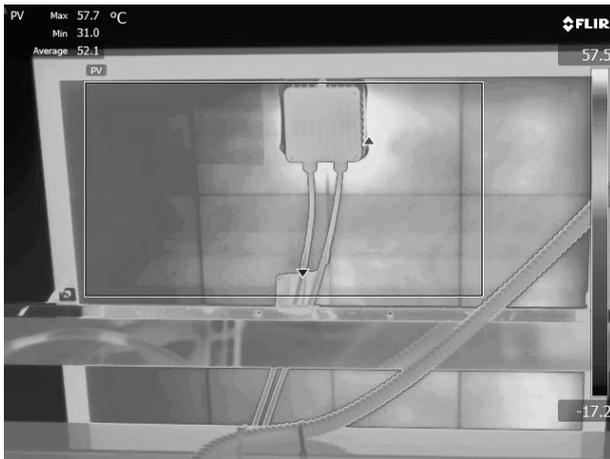


Fig. 10. Thermal imaging of module(57.7°C)

활용하였다. 이는 1년간의 시간단위의 data이다. 초기 data의 형태는 Fig. 8, Fig. 9와 같다.

발전량은 10kW발전소를 기준으로 계산 하였으며 315 W 모듈 32장을 설치한 것으로 가정하였다. 계산은 3단계로 진행을 해보았다. 우선 모듈의 발전 효율만을 가지고 발전량을 예측한 경우, 두 번째는 모듈의 간격을 1 m, 1.5 m, 2 m 간격으로 설치했을 경우 발전량 계산, 마지막으로 온도를 대기온도에서 20°C 높게 모듈 온도를 가정했을 경우 모듈간격 1 m, 1.5 m, 2 m 일 때의 발전량을 예측해 보았다. 대기온도를 20°C 높이는 이유는 현장

Table 3. Calculation data

	Power generation of year(W)	comparison
Using module efficiency values (Standard)	21,055,883	100%
Sandia's Eq. (Distance 1.0 m)	11,102,562	52.73%
Sandia's Eq. (Distance 1.5 m)	15,805,356	75.06%
Sandia's Eq. (Distance 2.0 m)	18,164,525	86.27%
Sandia's Eq. (Distance 1.0 m, Temp.+20)	10,264,468	48.75%
Sandia's Eq. (Distance 1.5 m, Temp.+20)	14,616,815	69.56%
Sandia's Eq. (Distance 2.0 m, Temp.+20)	16,799,497	79.79%

에서의 모듈의 발전은 평균적으로 모듈 표면의 온도가 발전에 의한 열이 발생하여 대기온도에서 15~20°C 정도 더 높게 나타난다. 오히려 60°C에 근접하는 경우도 여름기간에는 자주 나타나게 된다.

Fig. 10에서 보듯이 실제 Outdoor에서 대기온도가 30°C 부근에서 약 57.7°C까지 모듈의 온도가 오르는 것을 볼 수 있다.

시뮬레이션의 결과를 Table 3으로 나타내었다.

태양의 고도가 높고 떠있는 시점인 여름철에는 그림자간의 간섭이 줄어들지만 겨울의 경우에는 태양의 고도가 12시 최고점에서 30°C 근처를 나타낸다. 이는 한 여름의 경우 75°C 이상의 고도각을 나타내는 것에 비해서 많이 낮은 값이다. 이로 인해서 그림자의 간섭이 나타나고 발전량에 영향을 미치게 되는 것이다. 온도와 설치간격을 적용했을 경우 전체발전량의 약 80% 정도가 발전량으로 나타나는 것을 보

Table 3에서 나타나듯이 상황에 따라서 기준대비 50%까지 낮은 값을 발전량으로 얻게 될 수 있다는 것이다. 향후 일사량을 전기에너지로 생성을 하고 남은 열에 대한 열적평형을 통하여 모듈 온도를 정확히 예측할 수 있다면 보다 더 정확한 발전량에 대한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

3. 결론

단순히 모듈의 발전효율과 날씨 정보를 적용하여 발전시스템의 감가상각이나 발전비용 등을 계산하게 된다면 이는 많은 오차를 가져오게 될 것이다. 이러한 부분을 해결하기 위해서는 본 연구에서 보듯이 실제 온도와 일사량에 의한 영향을 현실성 있게 반영을 하여야하고 추가적으로 모듈의 간섭현상이나 건물 의 간섭현상 등을 추가적으로 적용을 하여야한다는 것이다. 실제로 이를 적용한 것과 하지 않은 것에 대한 발전량의 차이는 최

소 14%이상 크게 나타난다는 것을 수치적으로 나타내었다. 또한 생각하지 못한 부분에서의 발전량 감소가 있을 수 있다는 것이다. 우선은 정의가 가능한 부분을 찾아내고 추가적으로 감소되는 부분을 다시 연구를 통해서 찾고 이를 수식화하면 그 찾는 부분에 대해서 발전량 감소를 줄일 수 있는 연구가 진행이 될 것이다. 이렇게 계속적인 연구를 통해서 좀 더 정확한 발전예측이 가능해 질것으로 생각이 된다. 그리고 나아가 단순 발전량 예측과 함께 매년 감소되는 발전량을 정량적으로 계산을 할 수 있다면 20년 25년의 발전량 예측 또한 불가능한 부분이라고 생각하지 않는다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2013T100200126).

References

1. U. S. Department of Energy, "2010 Solar Technologies Market Report", November 2011.
2. Mark Mikofski, Mike Anderson, Sander Caldwell, Dave DeGraaff, Ernest Hasselbrink, David Kavulak, Ryan Lacerda, David Okawa, Yu-Chen Shen, Arya Tediaputra, Akira Terao, Zhiogang Xie, 26th *European photovoltaic soar energy conference and exhibition*, 105-112, 2011.
3. Min Su Kim, "Optimal design for Silicon based Photovoltaic system", Master's thesis, 2006.
4. Sangmin Ji, "Development of solar power generation prediction simulator for solar power plant optimal design", Master's thesis, 2016.