

태양광발전시스템의 안정성을 고려한 최적 각도 설정에 관한 연구

A Study on the Optimal Angle Setting Considering the Stability of Photovoltaic Systems

이 여 진* · 한 세 경** · 김 성 열*
(Yeo-Jin Lee · Se-Kyung Han · Sung-Yul Kim)

Abstract - The conventional photovoltaic(PV) systems are designed the installation angle for maximizing power output by considering a geographical characteristics, weather and climate conditions such as the solar radiation and atmosphere temperature. However, the PV generators must be designed to deal with the extreme situations like typhoons, earthquakes because PV systems are exposed to the ambient conditions and external shock due to condition of PV location. Especially, the wind has relatively higher influence on the design of PV systems, in this paper we proposed the method of determining the optimal nominal dimension of the facilities, which can withstand the maximum wind pressure. By using the proposed method, we determined the optimal installation angle for the aspect stability of PV facilities and amount of power output. Moreover, we analyzed the monthly amount of power for each installation angle of PV systems, and proposed the changing strategy of installation angle by determining the optimal angle to produce maximum power for each period.

Key Words : Solar power, Wind pressure, Stability

1. 서 론

최근 고도의 산업성장과 인구증가에 따라 에너지 소비가 급증하고 이로 인해 배출되는 이산화탄소와 같은 온실가스의 증가는 인류의 미래를 위협하는 존재가 되어가고 있다. 이에 대한 범지구적 차원의 대책이 논의되고 있으며, 대체에너지를 이용한 설비는 비교적 높은 초기투자의 장해요인에도 불구하고 화석에너지의 고갈문제와 환경문제에 대한 핵심 해결방안이라는 점에서 미국, 일본 및 유럽 등의 선진각국은 정부 주도하에 대체 에너지에 대한 과감한 보급정책과 연구개발이 활발히 진행되고 있다[1,2].

대체에너지의 연구 및 개발이 활발히 이루어지는 가운데 그 중 태양광발전시스템은 국내에서 2012년부터 신재생에너지공급의무화제도(RPS: Renewable Portfolio Standard)시행과 같은 제도적 기반과 함께 급속히 보급이 진행되고 있다[3].

태양광발전시스템은 실외에 설치되어 자연 환경에 그대로 노출된다. 따라서 태양광설비는 태풍과 같은 극단적인 풍하중이나 적설에 따른 외력을 충분히 견딜 수 있어야 한다. 그러므로 태양광설비구조 중 지지대의 역할이 중요하며 적절한 크기의 자재를 선정하여 시설해야한다[4].

또한, 태양광발전시스템은 일사량에 의해 전력생산량이 결정되

는 만큼 설치지역의 기후조건을 분석한 후 설치해야한다. 태양광은 에너지원이 청정, 무제한이며 필요한 장소에서 필요한 발전이 가능하며 20년이라는 긴 수명을 가졌지만 전력생산량의 일사량 의존에 의해 에너지밀도가 낮다. 태양광발전시스템의 발전 효율을 높이기 위해서는 일반적으로 높은 변환 효율을 갖는 태양전지를 사용하는 방법, 변환기의 변환 효율을 높이는 방법 및 최대 전력을 추종하는 방법, 태양이 항상 범선을 이루면서 태양전지 모듈에 입사되게 하는 방법 등이 있다. 그러나 태양전지 자체의 변환효율을 높이는 방법은 발전단가를 높이는 주된 요인이 되므로 효율성이 떨어지며 변환기 효율을 높이기란 매우 어려운 실정이다[5-7].

따라서 본 논문은 자연환경에 노출된 태양광발전시스템 지지대의 극단적인 풍압에 대해 견딜 수 있는 적정 설비 공칭치수를 선정하여 안정성을 확보하고 태양광발전의 출력에 가장 영향을 미치는 요인인 일사량을 최대한 얻을 수 있는 최적 경사각을 선정한다. 이를 기반으로 연간 최대발전량을 출력할 수 있는 태양광발전시스템의 최적 설치각도를 선정한다. 또한 월별 발전량 데이터를 기반으로 월별 구간을 나누어 설치각도를 변경하여 발전량의 증가를 분석한다.

2. 태양광설비 안정성

2.1 태양광설비 구조

태양광설비 구조는 지붕 설치형, 지붕 견재형, 톱라이트형, 벽 견재형, 난간형 등이 있으며 이와 같은 설치 구조의 경우 강풍에 의한 파손의 위험이 존재한다. 일반적으로 일반부지에 설치하는

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Energy Engineering, Keimyung University, Korea.
E-mail: energy@kmu.ac.kr

* MAIN ENERGIA Inc., Korea.

** Dept. of Electrical Engineering, Kyungpook National University, Korea.

Received : January 22, 2018; Accepted : March 27, 2018

태양광설비도 설치 후 가해지는 하중에 대한 분석이 필요하다[8]. 구조물의 자재는 H, 금형강, Al Bar 등으로 구성되며 일반적으로 태양광 설비 구조물 자재 중 H형강이 가장 많이 이용되며 그림 2는 표준치수 도면이다. H형강 표준치수 도면을 기반으로 표준치수에 대한 단면성능이 나타난다. 이에 따라 태양광 모듈에 가해지는 풍압을 분석하여 적정 H형강의 공칭치수 선정이 가능하다[9].

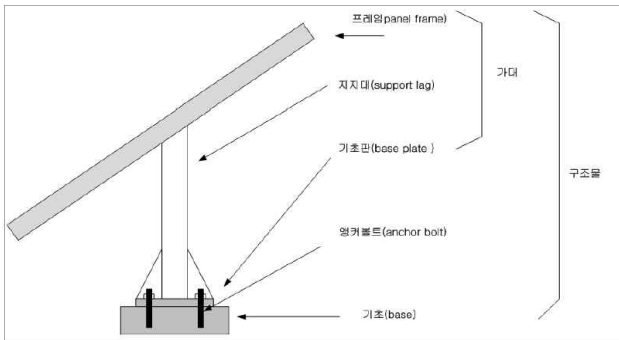


그림 1 태양광 설비 구조
Fig. 1 Solar facility structure

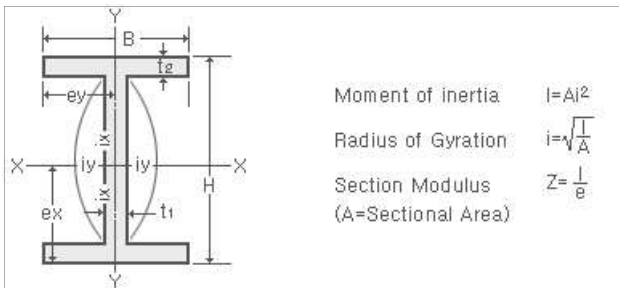


그림 2 H형강 표준치수 도면
Fig. 2 Standard drawing of standard H steel shapes

표 1은 H형강의 표준치수 및 단면성능이다. 태양광설비의 지지대가 받을 수 있는 풍압에 대한 횡력을 산출한 후 지지대 재료인 강구조에 따른 설계 안정도 분석을 위해 지지대의 높이에 따른 모멘트를 산출한다. 강구조의 설계를 위해서는 설계하중하에서 실제 응력이 허용응력을 초과하지 않는 허용응력설계, 구조물 한계상태를 고려한 하중저항계수설계, 극한 내 하력을 중심으로 한 소성설계 등이 있다. 설계 절차는 먼저 목적별 구조 기능 설정, 설계결과의 최적화 평가기준 결정 후 구조기능에 적합한 부재를 분류하고 적용하중 결정, 경제적 설계를 위한 부재 크기 결정, 구조해석, 강도 및 사용성 검증 및 최적설계 검토 후 기준치와 비교, 필요시 상과정을 재수행하고 최적설계 여부를 최종 결정하는 것으로 설계를 한다[9].

2.2 태양광설비 상정 하중

태양광설비 수직하중과 수평하중을 받으며 각각의 하중에 해당

표 1 H형강 표준치수 및 단면성능

Table 1 Standard and Section Capacity of H Section Steel Members

치수[mm]		소성단면계수[mm ³]	
공칭치수	H×B	Z _x	Z _y
100×50	100×50	4.41×104	9.52×103
100×100	100×100	8.76×104	4.12×104
125×60	125×60	7.76×104	1.57×104
125×125	125×125	1.54×105	7.19×104
150×75	150×75	1.02×105	2.08×104
150×100	150×100	1.57×105	4.67×104
150×150	150×150	2.46×105	1.15×105
175×90	175×90	1.57×105	3.37×104
175×175	175×175	3.69×105	1.71×105

표 2 태양광설비 상정 하중

Table 2 Factored load of solar system

구분	내용	
수직 하중	고정하중	어레이+프레임+서포트 하중
	적설하중	경사계수 및 눈의 단위 질량고려
	활하중	건축물 및 공작물을 점유시 발생하중
수평 하중	풍하중	어레이에 가한 풍압과 지지물에 가한 풍압 하중으로 풍력계수, 환경계수, 용도계수, 가스트계수 고려
	지진하중	지지층의 전단력 계수 고려

하는 하중은 표 2과 같다. 본 논문에서 고려되는 풍하중의 경우, 태양광설비 구조의 특성으로 인해 모듈의 면적에 대한 풍압을 분석하여 지지대가 받을 수 있는 최대의 압력을 산정한다. 이를 기반으로 적정 설치 구조 크기를 설정한다[8].

태양광설비는 실외에 설치되므로 자연 환경에 그대로 노출된다. 따라서 태풍과 같은 극단적인 풍사중이나 적설에 따른 외력에 대해 견딜 수 있도록 충분한 정적강성이 확보되어야한다[4].

그림 3은 태양광설비를 벡터해석 하여 풍압에 대한 횡력을 분석한 그림이다. 각각 정면풍과 배면풍에 대한 해석이며 횡력을 기반으로 높이에 따른 모멘트를 산출한다.

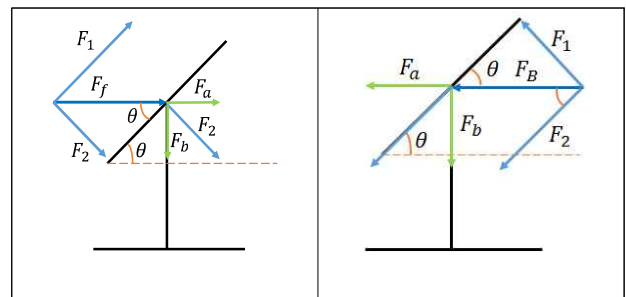


그림 3 태양광설비의 정면풍, 배면풍에 대한 벡터해석

Fig. 3 Frontal wind, backward wind speed of solar facility

식 (1-4)은 풍압에 대한 지지대의 횡력을 산출하기 위해 벡터 해석한 각각의 힘에 대한 식이다. 식 (1)은 바람에 의한 풍압을 나타내며 식 (2)는 태양광 모듈에 수직하는 방향으로 작용되는 힘이며 \vec{F}_2 을 식 (3)과 같이 분해하여 지지대가 받을 수 있는 축력과 횡력을 산출한다[6].

$$|\vec{F}_f| = |\vec{F}_1 + \vec{F}_2| = \frac{1}{2}\rho A V^3 \quad (1)$$

$$|\vec{F}_2| = |\vec{F}_f| \cos(90^\circ - \theta) \quad (2)$$

$$|\vec{F}_2| = |\vec{F}_a| + |\vec{F}_b| \quad (3)$$

$$|\vec{F}_a| = |\vec{F}_2| \cos(\theta) \quad (4)$$

여기서,

- ρ : 공기밀도
- A : 면적
- V : 풍속
- \vec{F}_f : 정면풍압
- \vec{F}_1 : 모듈과 평행한 힘
- \vec{F}_2 : 모듈과 수직한 힘
- \vec{F}_a : 지지대 횡력
- \vec{F}_b : 지지대 축력

이를 기반으로 지지대가 받을 수 있는 횡력을 식 (5)을 통해 계산한다.

$$\begin{aligned} |\vec{F}_a| &= \frac{1}{2}\rho A V^3 \cos(90^\circ - \theta) \cos(\theta) \\ &= \frac{1}{2}\rho A V^3 \times \frac{1}{2} \cos(90^\circ - \theta) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)을 통해 산출한 횡력을 기반으로 높이에 대한 모멘트를 산출하여 적정 공칭치수를 설정한다. 앞서 말한 강구조 설계법 중 하중계수를 고려한 휨모멘트(M_u)와 부재의 공칭저항성능을 고려한 휨모멘트(M_n)를 산출 한 후, M_u 보다 M_n 이 크도록 설정한 후 공칭치수를 선정한다[9].

$$M_u < \phi M_n \quad (6)$$

$$\phi M_n = F_y \times Z_y = M_p \quad (7)$$

여기서,

- F_y : 횡력(F_a :지지대의 횡력)
- Z_y : 소성단면계수
- M_p : 소성모멘트
- ϕ : 저항계수

본 논문에서 선정한 설계법은 하중-저항계수설계법으로 풍하중을 고려하기 위함이다. 하중-저항계수설계법은 안전성의 척도

를 구조물이 파손될 확률 또는 구조물이 파손되지 않은 확률(신뢰성)로 나타내야하며 하중작용이나 재료강도 등에 관한 통계자료가 충분히 있어야 가능하다. 그러나 현재의 단계에서는 그러한 자료가 충분하지 못하기 때문에 근사적이고 실용적인 구조신뢰방법에 바탕을 두고 바람직한 목표신뢰성수준/안전수준은 일관성 있게 확보할 수 있도록 하중작용과 재료강도에 대한 부분안전계수를 도입함으로써, 이러한 설계 법을 하중-저항계수설계법이라고 부른다[10].

3. 태양광발전시스템

태양광발전시스템은 태양광에너지를 전기에너지로 변환해 전기를 생산하는 발전시스템으로 청정하며 무한한 에너지를 가진다. 하지만 전력생산량이 지역별 일사량에 의존하며 에너지밀도가 낮아 큰 설치면적이 필요하다. 따라서 최적의 설치각도로 설정하여 최대의 전력을 생산하여 효율적인 설계가 필요하다[6,7].

3.1 태양광발전시스템 발전 특성

태양광발전시스템은 발전량에 영향을 미치는 요인 중 일사량이 가장 발전량과 직결된다. 이로 인한 발전특성 곡선은 그림 4와 같다. 여기서, I_{sc} 는 단락전류, V_{oc} 는 개방전압이다. 온도가 올라갈수록 전류의 값은 증가한다. 이러한 특성을 기반으로 태양광발전시스템의 발전량이 산출 가능하다[6].

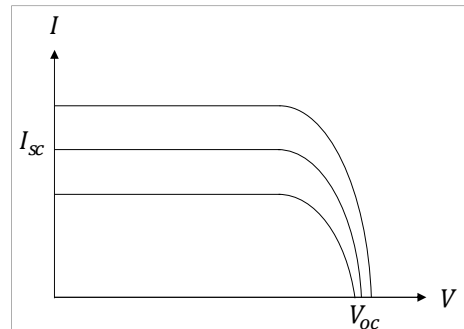


그림 4 태양전지 I-V 곡선

Fig. 4 Solar cell I-V curve

3.2 경사면 일사량에 따른 최적 설치각도 분석

태양광발전시스템을 설계할 때 태양광 어레이의 설치각도와 위치에 따라 성능이 크게 좌우되므로 수평면에 대한 경사면의 평균일사량의 값이 고려한 위치에 적정 설치각도로 설치해야한다. 평균일사량은 월별 1일 평균 직달일사량과 산란일사량, 그리고 지표면 반사일사량의 합으로부터 구할 수 있으며, 식 (8)과 같다 [11].

$$\overline{H_T} = \overline{H} \left[\left(1 - \frac{\overline{H_d}}{H}\right) \overline{R_b} + \frac{\overline{H_d}}{H} \left(\frac{1 + \cos\theta}{2} \right) + \rho \left(\frac{1 - \cos\theta}{2} \right) \right] \quad (8)$$

여기서,

\overline{H} : 수평면에서의 월별 평균 총일사량

\overline{H}_T : 월별 평균 경사면일사량

\overline{H}_d : 월별 평균 산란일사량

\overline{R}_b : 수평면에서의 경사면 직달일사량 비율

θ : 수평면에 대한 태양광 어레이의 경사각

ρ : 지면 반사율

이 때, $\overline{H}_d/\overline{H}$ 는 수평면에서의 월별 1일 평균 총일사량에 대한 산란일사량의 비율을 말하며, 이는 식 (9)로 나타낼 수 있다[11].

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 0.775 + 0.00606(\omega_s - 90) - [0.505 + 0.00455(\omega_s - 90)]\cos(115\frac{\overline{H}}{\overline{H}_0} - 103) \quad (9)$$

여기서,

ω_s : 수평면 일몰 시간각

\overline{H}_0 : 월평균 대기권 밖 일사량

식 (9)에서 수평면 일몰시간각 ω_s 는 다음의 식 (10)과 같다 [11].

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \quad (10)$$

여기서,

ϕ : 해당지방 위도

δ : 일적위

또한 식 (9)에서 해당지방의 월 평균 대기권 밖 일사량 \overline{H}_0 는 식 (11)으로 정의되어 있다[11].

$$\overline{H}_0 = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} [1 + 0.033\cos\frac{360n}{365}] \times [\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{2\pi\omega_s}{360}\sin\phi\sin\delta] \quad (11)$$

여기서,

G_{sc} : 태양상수(1,367Wh/m²)

n : 율리우스 일

식 (9)의 \overline{R}_b 값은 해당 달의 1일 월평균 일사량 값에 대하여 수평면에서의 월별 1일 평균 총일사량에 대한 경사면 직달일사량의 비율을 말한다. 식 (12)은 방위각이 정남을 향한 경우를 나타낸다[11].

$$\overline{R}_b = \frac{\cos(\phi - \theta)\cos\delta\sin\omega'_s + (\frac{\pi}{180})\omega'_s\sin(\phi - \theta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + (\frac{\pi}{180})\omega_s\sin\phi\sin\delta} \quad (12)$$

여기서,

ω'_s : 경사면 일몰시간각

식 (12)에서 경사면 일몰시간각인 ω'_s 는 월평균일의 대표 값인 일적위 등을 적용하여 북반구일 경우, 식 (13)에 의해 산출된다. 이 때, 'min'은 대괄호 안에 있는 두 항목 중 작은 것을 의미한다[12].

$$\omega'_s = \min \left[\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta), \cos^{-1}(-\tan(\phi - \theta)\tan\delta) \right] \quad (13)$$

태양광발전시스템의 일반적 입지조건은 지리적 위치, 지형 등에 따라 다르게 적용 될 수 있다. 신재생에너지 관련규정 "신에너지 및 재생에너지 개발 이용 보급 촉진 법률" 제4장 제15조에서는 방위각을 정남향으로 하고, 경사각은 연간발전량이 최대가 되는 값을 기준으로 하고 있다. 또한 주변에 일사량을 저해하는 장애물이 없어야 한다고 명시되어 있다[13].

식 (8-13)을 기반으로 경사각이 0°에서 90°로 1°씩 변경되면서 남향의 표면에서 매달 평균 총 일사량을 계산하는 데 사용된다. 경사면에 대한 최적의 각도는 평균 경사면 일사량이 특정 구간동안 최대를 갖는 값을 통해 산정한다. 이는 식 (14)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\max\overline{H}_T = \overline{RH} \quad (14)$$

여기서,

\overline{R} : 수평면에서의 평균 총 일사량에 대한 경사면일사량의 비율

이 때, \overline{R} 은 설계변수 θ 에 의존하는 함수이고 \overline{H} 는 평균총일사량으로 주어진 달에 대한 상수이다. 따라서 식 (13)은 단지 하나의 설계변수를 갖는다. 즉, 어레이의 경사각 θ 는 경사면의 일사량 \overline{H}_T 이 최대가 될 때 최적의 결과를 얻을 수 있다. 수평면 전일사량 데이터를 근거로 수평면에 입사되는 일사량에 대한 경사면에 입사되는 총일사량의 비를 산출하기 위하여 수평면에 대한 경사면에서의 직달일사량의 비율을 산출하여 구한 후, 수평면에 대한 경사면일사량 비율을 지표표상에 입사되는 총일사량에 곱하여 경사면상에 입사하는 총 일사량을 산출한다[11].

4. 사례연구

태양광발전시스템 모듈의 면적과 높이를 기반으로 풍압에 대한 지지대의 모멘트를 산출하고 적정 지지대 자재의 공칭치수를 선정한다. 그 후 태양광발전시스템의 경사면 일사량을 바탕으로

Solar Pro 툴을 사용하여 시뮬레이션한 연간발전량을 기반으로 최적 설치각도를 선정한다. 태양광발전시스템의 설비용량은 1000 kWp, AC효율은 98%, 지지대의 높이는 2m로 선정하였다. 극한의 풍압을 분석하기 위해 기상청에서 제공하는 태풍통과시 일최대순간풍속을 기반으로 각도에 따른 횡력 및 모멘트를 분석하였다. 그 중 가장 높은 일최대순간풍속을 기록한 태풍 '매미'의 데이터를 기반으로 횡력을 산출하였으며 해당 기상청 자료는 표 3과 같다[14].

표 3 태풍 통과 일최대순간풍속(1937-2016)

Table 3 Wind speed during typhoon crossing on the day (1937-2016)

순위	지명	태풍명	일최대순간풍속[m/s]
1	제주	매미	60.0
2	흑산도	쁘리빠룬	58.3
3	고산	루사	56.7
4	고산	차바	56.5
5	울릉도	나리	52.4
6	완도	볼라벤	51.8

태양광발전시스템은 대구지역에 가상 설치하였으며 0°~90°에 대해 모든 모멘트를 분석하여 적정 공칭치수를 선정하였다. 그림 5는 설치각도(경사각)에 따른 횡력 및 모멘트이며 가로축은 태양광 모듈의 설치각도(°), 세로축은 힘의 크기(F, M)를 나타낸다. 이를 기반으로 앞서 말한 풍하중을 고려한 하중-저항계수설계법을 적용한 H형강의 공칭치수를 선정한다.

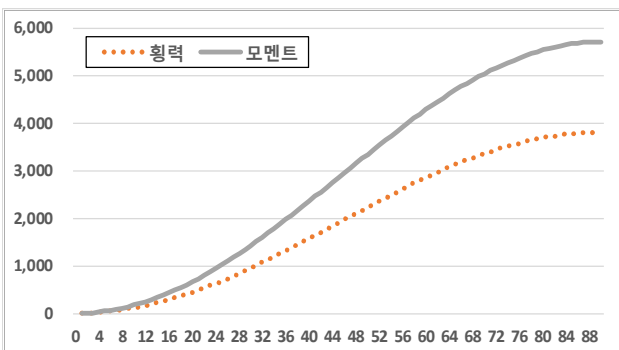


그림 5 풍압에 의한 지지대의 횡력 및 모멘트

Fig. 5 Lateral force and moment of bearing by wind pressure

하중계수는 AISC(American Institute of Steel Construction)에 의해 4.0로 산정한 후, 하중계수를 고려한 휨모멘트를 산출하여 식 (6-7)을 이용해 소성단면계수를 산출하고 적절한 소성단면계수를 선정한다. 설치각도에 따른 소성단면계수와 지지대의 공칭치수는 표 4와 같다.

그 후, 신재생에너지 데이터센터의 데이터를 기반으로 대구지

역의 모든 각도에 대한 일사량 데이터를 기반으로 최적 각도를 선정하였다. 그림 6은 일사량데이터 기반 최적 각도 선정을 나타낸다.

표 4 태양광발전시스템 지지대 공칭치수 선정

Table 4 Selection of nominal measurement system for solar power generation system

각도 [°]	소성단면계수 [mm ³]	공칭치수 [mm]
20	8.2080×10 ³	100×50
25	1.0143×10 ⁴	125×60
30	1.2000×10 ⁴	125×60
35	1.3765×10 ⁴	150×75

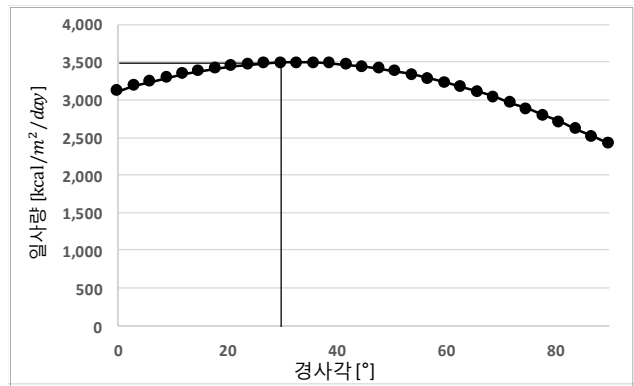


그림 6 설치각도에 따른 일사량 분포

Fig. 6 Solar Radiation Distribution According to the Angle of Installation

표 5 설치각도에 따른 연간발전량

Table 5 Annual generation based on the angle of installation

경사각 θ	연간발전량[kWh]
30°	1,218,606
31°	1,219,135
32°	1,219,408
33°	1,219,424
34°	1,219,183
35°	1,218,681
36°	1,217,921

대구 지역의 일사량에 대한 최적 각도는 33도이며 Solar Pro 툴을 사용한 연간발전량 산출 데이터는 표 4와 같다. 따라서 대구지역의 태양광발전시스템 설치 시 최대 발전량을 산출할 수 있

는 각도는 33도이다. 따라서 33도로 설정하여 설치한다면 최대의 발전율을 나타낼 수 있다.

또한 추가적으로 태양광발전시스템 중 더 높은 발전량이 출력 가능한 태양추적식시스템의 경우 센서의 노화나 이물질 등으로 인해 오동작 가능성이 있어, 일반적으로 직접 태양광 어레이의 각도를 계절별 또는 일사량 분포에 따라 주기적으로 변경하면 더 높은 발전량을 출력할 수 있다. 월별 발전량 데이터를 기반으로 분석한 결과 표 6와 같이 나타난다. 따라서 미비하지만 발전량에 대한 출력량을 높이고 싶다면 고정식으로 설치하는 것보다 효율 적일 수 있다.

표 6 설치각도 개수 최적 설정에 대한 발전량

Table 6 The generation of the installation angle for the optimum setting of the installation angle.

N	1-3 월	4-9 월	10-12 월	총 발전량 [kWh]	발전 시간
1	33			1,219,424	3.34
2	35	30	35	1,231,327	3.37
3	36	30	35	1,232,250	3.37

5. 결 론

본 논문은 자연환경에 노출된 태양광발전시스템 지지대의 적정 설비 공칭치수를 선정하여 안정성을 확보하고 태양광발전의 출력에 일사량을 최대한 얻을 수 있는 최적 경사각을 선정한다. 이를 기반으로 연간 최대발전량을 출력할 수 있는 태양광발전시스템의 최적 설치각도를 선정한다. 또한 월별 발전량 데이터를 기반으로 월별 구간을 나누어 설치각도를 변경하여 발전량의 증가를 분석하였다. 사례연구를 통해 대구지역의 태풍의 일순간 최대 풍속을 기반으로 적정 설비의 공칭치수를 설정하였으며 대구지역의 일사량이 가장 높은 경사각은 33도로 나타난다. 이를 기반으로 태양광발전시스템의 안정성이 확보되는 최적 설계가 가능하다. 또한 추가적인 설치각도 개수 설정을 통해 월별 3개의 구간으로 나누어 설치각도를 변경하면 총 발전량이 약 0.9%증가하는 것으로 나타난다. 추후 설치각도 개수에 대한 추가적인 연구를 통해 정확한 설치각도 설정에 대한 연구가 필요하며 최근 자주 발생하는 지진에 의한 안정성 또한 고려해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2015R1C1A1A02037544).

References

- [1] Energy Management Corporation, "Renewable Energy RD & D Strategy 2030", 2007.
- [2] J. S. Lee, K. H. Kim, "Solar cell engineering", Korea: Green, 2007.
- [3] Y. K. Choi, N. H. Lee, K. J. Kim, Y. Cho, "A Study on the Influence to Solar Radiation by Changing the Azimuth and Tilt of a Photovoltaic Array.", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 712-716, 2013.
- [4] Y. W. Kim, S. Y. Lee., "Stability Analysis on Solar Tracker Due to Wind", Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers 22(2), 216-222, 2013.
- [5] G. Wang, Y. S. Choi, H. K. Kim, K. S. Lee, J. C. Cho. "Electric Output Characteristics According to Irradiation for Photovoltaic Systems." Proceedings of KIEE Annual Conference, pp. 189-191, 2009.
- [6] Mukund R. Patel. Wind and Solar Power Systems Design, Analysis, and Operation. 2005.
- [7] New·Renewable Energy Center in the Korea Energy Management Corporation.
- [8] Design of Photovoltaic System, Korea Energy Management Corporation, 2006.
- [9] Steel Construction Engineering, Korean Society of Steel Construction, 2015.
- [10] H. N. Cho. Basic Concept of Load and Resistance Factor Design, 2002.
- [11] John A. Duffie, William A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Process", pp. 3-145, 1991.
- [12] H. P. Garg, "Treatise on Solar Energy", John Wiley & Sons, Inc., 1982.
- [13] J. Y. Lee, I. J. Kang, "A Study of PV System Facilities Using Geo-Spatial Information System." Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science, pp. 99-105, 2010.
- [14] Korea Meteorological Administration.

저 자 소 개



이 여 진 (Yeo-Jin Lee)

2016년 계명대학교 전기에너지공학과 졸업,
2018년 동 대학원 전기전자융합시스템공학과
졸업(석사). 현재 매인에너지(주) 근무.
E-mail : tyjkl06@gmail.com



한 세 경 (Se-Kyung Han)

2002년 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸
업. 2007년 서울대학교 전기공학과 졸업,
2012년 일본 도쿄대학교 정보이공학과 졸업
(공학박사), 2007년~2009년 SK에너지 근무,
2012년~2013년 일본산업기술종합연구소 근
무, 현재 경북대학교 전기공학과 조교수
Tel : 053-950-7230
E-mail : sekyung.han@gmail.com



김 성 열 (Sung-Yul Kim)

2007년 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸
업, 2012년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사).
2012년~2013년 미국 Georgia Institute of
Technology, PSCAL 연구원. 현재 계명대학
교 전기에너지공학과 조교수.
Tel : 053-580-5251
E-mail : energy@kmu.ac.kr