

수상태양광 발전 시스템의 환경에 따른 모듈의 전기적 특성

황수현¹, 이동영¹, 권오극², 이재형^{1,a}

¹ 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

² K-water 융합연구원

The Electrical Characteristics of The Modules According to The Environment of The Floating Photovoltaic System

Soo Hyun Hwang¹, Dong Yeong Lee¹, O geuk Kwon², and Jae Hyeong Lee^{1,a}

¹ Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

² K-water Convergence Institute (KWCI), Daejeon 34350, Korea

(Received April 13, 2018; Accepted April 30, 2018)

Abstract: In our study, we collected data from a 100 kW floating photovoltaic (PV) system installed in Gyeongnam Hapcheon Dam and observed correlations between the power generation of the floating PV system and the irradiance, water temperature, humidity, ambient temperature, wind speed, and module temperature. Firstly, there was little correlation between the water temperature and power generation. Secondly, the ambient temperature, wind speed, and humidity all showed greater correlations with power generation. Finally, the power generation was very highly correlated with the irradiance and module temperature. In conclusion, the power generation of the floating PV system is related individually to environmental factors.

Keywords: Floating photovoltaic system, Electricity generation, Environmental sources

1. 서 론

석유자원을 에너지원으로 사용하면서 발생하는 환경 오염 문제와 석유자원의 고갈 문제로 세계는 지속 가능하고 무한한 에너지원을 찾으며 신재생에너지에 관심을 갖게 되었다 [1]. 신재생에너지란 바이오매스, 풍력, 수력, 태양열, 지열 등의 지속 가능하고 자연적인 요소를 이용해 에너지를 생산하는 분야로 그 잠재력이

매우 크다 [1,2]. 신재생에너지에 대한 세계적인 관심은 각국의 정책적인 발전과 함께 R&D 분야로의 투자가 시작되면서 점차 영향력이 커졌다 [3]. 최근 해외뿐 아니라 국내에서도 신재생에너지의 비중을 점차 확대하는 방안을 모색하고 있다 [4]. 2016년 기준 신재생에너지의 전력 설비용량은 13.3 GW로 전체 전력 설비용량의 7%의 비중을 차지한다. 이에 정부는 2030년 신재생에너지의 설비용량을 63.8 GW로 확대해 신재생에너지 발전량의 비중을 전체 발전량 대비 20%를 목표로 한다 [5].

이러한 신재생에너지의 분야 중 태양광 발전의 설비용량은 36.5 GW로 2030년 전체 설비용량의 57.2%의 비중을 차지한다 [5]. 태양광 발전의 발전량은 일사량, 습도, 대기 먼지 농도 등 기상요소와 밀접한 관련이 있다. 태양광 시스템은 일사량이 커지고 일조시간이 길

a. Corresponding author; jaehyeong@skku.edu

Soo Hyun Hwang and Dong Yeong Lee equally contributed to this work.

Copyright ©2018 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

어지면 발전량이 증가한다 [6-9]. 때문에 설치 면적을 넓히면 발전량은 증가하지만 넓은 대지를 필요로 하는 단점이 있다. 대한민국은 국토가 좁고 산악지역이 많아 넓은 평야를 확보하기 어렵다. 또한 태양광 시스템을 설치하기 위해 산림을 훼손하고 자연을 파괴하는 행위는 지양해야 한다. 따라서 태양광 시스템의 효율을 높이고 국토를 효과적으로 활용할 수 있는 방안을 마련해야 한다.

육상의 태양광 시스템과는 다르게 수상태양광 시스템은 댐, 저수지, 호수 등 다습한 지역에 설치하는 태양광 시스템이다 [10]. 수상에 태양광 시스템을 설치함으로써 환경적인 문제의 해결이 가능하다. 첫째로 시스템이 설치되면서 수중으로 투과하는 일사량을 줄여 녹조현상을 예방해 일정 수역의 생태계를 보전할 수 있다. 두 번째로 수면의 증발량을 감소시켜 수자원의 손실을 줄인다 [11]. 마지막으로 수면 위로 태양광 발전 시스템을 옮겨와 유희수면을 활용하고 산림파괴를 줄인다 [10,11]. 육상의 태양광 시스템은 태양 복사열과 발전 시 발생하는 열로 모듈의 온도가 상승하면서 그 효율이 감소한다 [6,7]. 하지만 수상태양광 시스템은 상대적으로 온도가 낮은 수면에 의한 모듈의 냉각 효과로 지상 대비 높은 발전효율을 기대할 수 있다 [12].

위와 같은 이점에도 불구하고 수상태양광에 대한 연구는 부족하다. 특히 수상태양광 발전량에 영향을 미치는 환경적인 요소에 대한 연구가 빈약하다. 따라서 본 논문에서는 지난 6년간 경남 합천지역의 100 kW 수상태양광 데이터를 기반으로 수상태양광의 발전량과 일사량, 외기온도, 수온, 풍속, 습도 그리고 모듈 온도와의 상관관계를 분석했다.

2. 실험 방법

2.1 합천 100 kW 태양광 시스템

합천댐에 설치된 수상태양광 시스템은 태양광 모듈 1장을 부유체에 고정하여 연결한 후 수상에 띄워져 있다. 이를 구조체 부유체 일체형 시스템이라 한다. 고정된 수상태양광 시스템은 조류에 흘러내려 가지 않도록 수중에 앵커를 설치하고 수상태양광 시스템을 연결하여 수면 위에 고정시킨다.

표 1은 합천 수상태양광 시스템의 사양서이다. 합천 수상태양광 시스템은 240 W 모듈 414개로 이루어져 있으며 총 설비용량은 99.3 kW이다. 어레이의 경사면

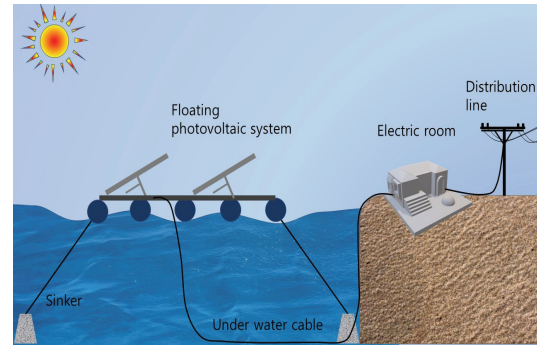


Fig. 1. Image of floating photovoltaic system outline.

Table 1. Components of hapchon-dam floating photovoltaic system.

Component	Contents
Facility capacity	99.3 kW
Module specifications	240 W × 414
Angle of module	33° south fixed type
Array construction	19 series, 10 parallel / 2 array 17 series, 2 parallel / 1 array
Capacity of inverter	45 kW × 2, 10 kW × 1

Table 2. Solar cell module specifications.

Factor	Solar cell module specifications
Capacity (W)	240
Size (mm)	1,648 × 981
Maximum voltage (V)	29.8
Open circuit voltage (V)	37.9
Maximum current (A)	8.18
Efficiency (%)	14.89

Table 3. Inverter specifications.

Factor	Inverter specifications
Capacity (kW)	45
Input voltage (V)	200~800
Output voltage (V)	380
Current (A)	120
Efficiency (%)	96

각도는 합천댐의 위도와 계절별 고정식 시스템의 최적 경사각을 고려해 33°로 선정했고 어레이 간의 이격 거리는 서로 음영이 생기는 것을 방지하기 위해 3 m로

선정했다. 어레이는 19직렬, 10병렬 / 2어레이와 17직렬, 2병렬 / 1어레이로 구성된다. 인버터의 경우 용량은 전체 설비용량을 고려해 철 구조물 45 kW, FRP 구조물(fiber reinforced plastics) 45 kW, 알루미늄 구조물 10 kW로 총 100 kW의 인버터 용량을 선정했다. 수상태양광의 접속반은 총 3대의 접속반으로 구성되어 있고 각 접속반의 채널 수는 10개로 전체 전압 및 전류가 실시간으로 모니터링 가능하다.

전력의 손실을 최소화하기 위해선 전체 발전 시스템의 전류량을 줄여야 한다. 때문에 인버터의 전압 범위를 높여 태양광 모듈의 직렬회로 수를 늘림으로써 상대적으로 병렬회로의 수를 적게 설계했다. 표 2와 표 3은 각각 모듈과 인버터의 사양을 나타낸다.

2.2 데이터 집계 및 분석 방법

본 논문은 수상태양광의 발전량과 기상요소(일사량, 외기온도, 수온, 습도, 풍속)와 모듈 온도의 상관관계를 분석했다. 수상태양광의 발전량은 접속반전력을 기준으로 했다. 모든 데이터는 1분을 주기로 하며 기상요소와 모듈 온도는 데이터의 평균값, 전력량은 발전량을 데이터 값으로 한다.

모든 데이터는 2012년 2월부터 2017년 6월까지 경남 함천 댐 100 kW 수상태양광 시스템에서 집계된 데이터이다. 전체 데이터와 각 계절별 데이터를 하나의 그래프 안에 표현했으며 각 계절별 기간은 봄 3~5월, 여름 6~8월, 가을 9~11월, 겨울 12~2월로 구분했고 전 기간 1~12월도 함께 관찰했다.

분석 시 사용된 데이터는 센서의 고장으로 인한 수리, 교체기간을 제외했고 또 태풍, 장마와 같은 기상요소 데이터가 불규칙하게 측정되는 날짜의 데이터도 분석 시 제외했다.

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \times (x - x_0), \quad (1)$$

$$(x < x_0)$$

$$y = y_{n-1} + \frac{y_{n-1} - y_{n-2}}{x_{n-1} - x_{n-2}} \times (x - x_{n-1}), \quad (2)$$

$$(x > x_{n-1})$$

$$y = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \times (x - x_i), \quad (3)$$

$$(x_i < x < x_{i+1})$$

데이터 분석 기법은 기존의 인접한 두 데이터 포인트 사이에 선을 구성하여 새로운 데이터 포인트를 예측하는 선형 보간법(Linear interpolation)을 사용했다. 선형 보간법은 인접한 두 데이터의 산술평균을 계산하는 과정을 반복하여 계산된 데이터 포인트를 선으로 연결해 데이터의 추세를 관찰할 수 있는 방법이다 [13,14].

선형 보간법은 xy 평면상에서 독립변수에 해당하는 x 축을 $n+1$ 개의 구간으로 나눈 후 구간에 따라 다른 식을 적용하여 계산한다. xy 평면상의 점 (x_i, y_i) , $(i = 0, 1, 2, \dots, n-1)$ 에서 $x < x_0$ 일 때 식 (1)을 이용하여 데이터 값을 계산한다. $x_i < x < x_{i+1}$ 의 구간에서는 식 (3)을 이용하여 $0 < i < n-1$ 구간의 모든 i 에 대해서 식 (3)을 반복해 데이터 값을 계산한다. $x > x_{n-1}$ 의 구간에서는 식 (2)를 사용하여 데이터 값을 계산한다. 마지막으로 모든 데이터의 값을 계산하고 결과로 나온 데이터 포인트를 선으로 연결하여 데이터의 추세 그래프를 그렸다 [13].

추가적으로, 데이터의 원형을 최대한 유지하면서 측정 시 발생한 노이즈(noise)를 제거하기 위해 Savitzky-Golay 필터를 적용하여 스무스(smooth)한 그래프를 그렸다 [15].

데이터의 분석은 먼저 전체 발전량과 기상요소 데이터의 산포도(scatter plot)를 그린다. 그리고 위 두 가지 기법을 적용하여 수상태양광의 발전량과 각각의 요소(일사량, 외기온도, 수온, 모듈 온도, 풍속, 습도)와의 상관관계를 전 기간과 계절별로 나누어 분석했다.

3. 결과 및 고찰

3.1 일사량에 따른 수상태양광 발전량

그림 2는 일사량과 수상태양광 발전량의 상관관계를 나타내었다. 그래프의 일사량 820 W/m^2 이상 950 W/m^2 이하 구간은 다른 구간에 비해 노이즈가 심한 것을 관찰할 수 있다. 이는 다른 구간에 비해 상대적으로 측정된 데이터의 수가 적어 발생한 현상으로 추정된다.

먼저 전 기간 데이터(검정색)를 관찰해 보면, 발전량은 일사량이 증가함에 따라 선형적 증가 추세를 보인다. 수상태양광의 전류와 전력량은 일사량에 비례하여 증가한다 [16]. 그리고 전 기간데이터와 각 계절 데이

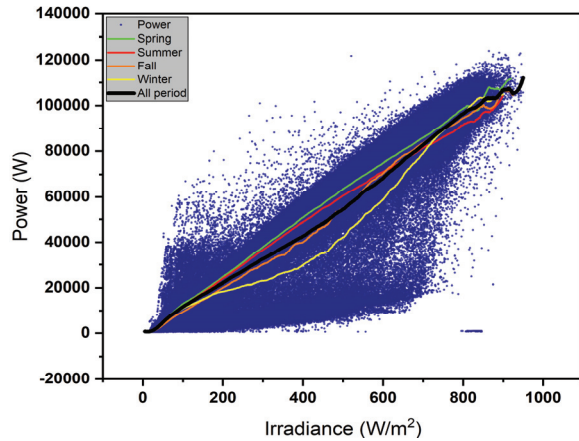


Fig. 2. Floating PV system power-irradiance.

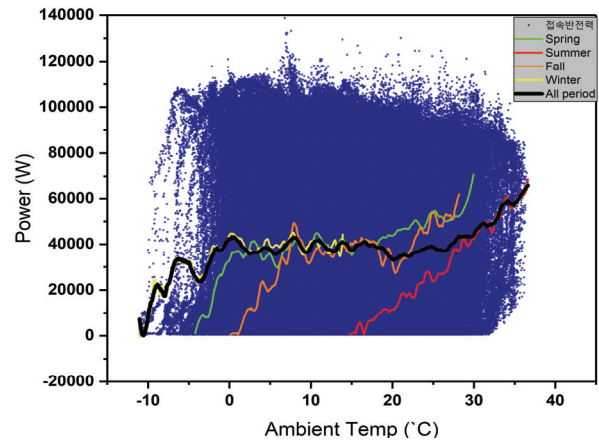


Fig. 3. Floating PV system power-ambient temperature.

터들을 비교했을 때는 가을과 가장 유사한 것으로 나타난다.

계절별 데이터를 관찰해 보면 봄과 여름의 경우 일사량이 증가하면 발전량은 선형적 증가 추세를 보인다. 그러나 가을과 겨울은 일사량 $200\sim700\text{ W/m}^2$ 의 구간에서 비선형 구간이 발생한다. 이는 그림 2의 일사량 $200\sim700\text{ W/m}^2$, 발전량 $0\text{ W} \sim 20\text{ kW}$ 영역 데이터의 영향을 받았기 때문이며 주로 11~2월에 측정된 데이터이다. 이는 모듈 위 적설에 의해 발생하는 빛 투과량 감소로 인해 발전량이 감소한 것으로 추정한다. 따라서 적설 등의 빛의 투과를 차단하는 경우를 제외한 환경에서 일사량이 증가하면 수상태양광의 발전량은 선형적 증가추세를 보인다.

3.2 외기온도에 따른 수상 태양광 발전량

그림 3은 외기온도와 수상태양광 발전량의 상관관계를 나타내었다. 그림 3에서 각 계절의 양 끝단을 보면 다른 구간에 비해 노이즈가 큰 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 측정된 데이터의 개수가 다른 구간에 비해 상대적으로 부족해 생기는 현상이라고 추정된다.

전 기간의 데이터를 보면 외기온도 $-10\sim0^\circ\text{C}$ 구간에서 외기온도가 증가하면 발전량도 증가하는 모습을 보인다. 하지만 $0\sim25^\circ\text{C}$ 구간에서는 외기온도의 변화와 상관없이 수상태양광 발전량은 수평적이다. 그리고 25°C 이상인 경우 수상태양광 발전량은 다시 상승한다.

계절별 데이터에서는 각 계절별로 외기온도를 구간별로 관찰했다. 봄(초록색)은 외기온도 $-5\sim4^\circ\text{C}$ 구간에서 외기온도가 증가함에 따라 발전량은 가파르게 증가

한다. $4\sim20^\circ\text{C}$ 구간에서는 외기온도의 변화에 상관없이 발전량은 수평적인 모습이다. 20°C 이상 구간에서는 약간의 상승추세를 보인다. 여름(빨간색)은 외기온도 $15\sim35^\circ\text{C}$ 구간에서 발전량은 외기온도에 비례하여 상승한다. 가을(주황색)은 봄과 유사한 모습을 보인다. 외기온도 $0\sim8^\circ\text{C}$ 구간에서 외기온도가 증가함에 따라 발전량은 가파르게 증가한다. 하지만 $8\sim22^\circ\text{C}$ 구간에서는 외기온도의 변화에 상관없이 수평적인 모습을 보인다. 이후 22°C 이상에서 발전량은 다시 증가한다. 겨울(노란색)은 $-10\sim0^\circ\text{C}$ 구간에서 외기온도에 비례하여 상승하고 $0\sim14^\circ\text{C}$ 구간에서는 외기온도에 상관없이 수평적인 모습을 보인다.

외기온도는 일사량의 영향을 받으므로 외기온도가 높을 때 일사량도 높다고 볼 수 있다 [18,19]. 따라서 위 그림 2의 일사량 그래프와 같이 발전량은 일사량의 영향을 받은 외기온도에 비례하여 증가한다고 추정할 수 있다. 또한 수상태양광 발전량과 외기온도의 상관관계는 각 계절별로 평균기온이 다르기 때문에 전 기간 데이터를 관찰하기보다 각 계절 데이터에 초점을 맞추어 관찰하는 것이 신뢰도가 높다고 판단한다.

3.3 수온에 따른 수상태양광 발전량

그림 4는 수온과 수상태양광 발전량의 상관관계를 나타내었다. 전 기간 데이터는 수온이 변화함에 따라 증가와 감소를 반복하며 전체적으로 수평적인 모습을 보인다.

각 계절별 데이터 또한 수온의 변화에 상관없이 수평적인 모습을 보인다. 각 계절별 수온과 발전량의 평

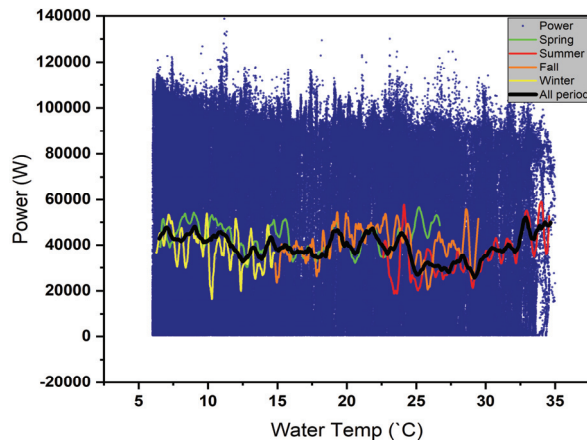


Fig. 4. Floating PV system power-water temperature.

균을 차례로 나타내면, 봄 16.5°C, 43127.55 W; 여름 28.75°C, 35,498.63 W; 가을 22.43°C, 41,562.78 W; 겨울 11.05°C, 37,154.65 W이다. 평균 수온은 겨울, 봄, 가을, 여름 순서대로 높아지지만 발전량의 평균은 여름, 겨울, 가을, 봄 순으로 높아진다. 따라서 수온의 변화와 발전량 사이의 상관관계는 보이지 않으며 수온은 수상태양광의 발전량에 직접적인 영향을 주지 않는다고 판단한다.

3.4 모듈 온도에 따른 수상태양광 발전량

그림 5는 모듈 온도와 수상태양광 발전량의 상관관계를 나타내었다. 전 기간 데이터를 보면 모듈 온도가 상승하면서 발전량도 상승한다. 하지만 모듈 온도가 증가할수록 점차 증가량은 작아지고 완만한 곡선을 이룬다.

계절별 데이터 역시 모듈 온도에 비례하여 상승한다. 하지만 전 기간 데이터와 마찬가지로 모듈 온도가 증가하면서 그 증가량은 점차 작아져 완만한 곡선을 이룬다. 이러한 현상의 원인은 모듈 온도 상승에 따른 발전효율의 감소로 추정된다. 모듈 온도가 오르면 그 효율은 감소한다 [17]. 따라서 모듈의 온도가 증가함에 따라 발전량 증가율은 감소하여 점차 완만한 곡선을 이룬다고 추정한다.

계절별로 그래프를 비교해 보면 같은 온도에서 계절에 따라 발전량에 차이가 발생하는 것을 볼 수 있다. 예를 들면 여름과 겨울 데이터에서 모듈 온도가 20°C 일 때 발전량은 여름에 10 kW 이하, 겨울에 약 50 kW 이상임을 관찰할 수 있다. 이러한 현상이 발생하는 이

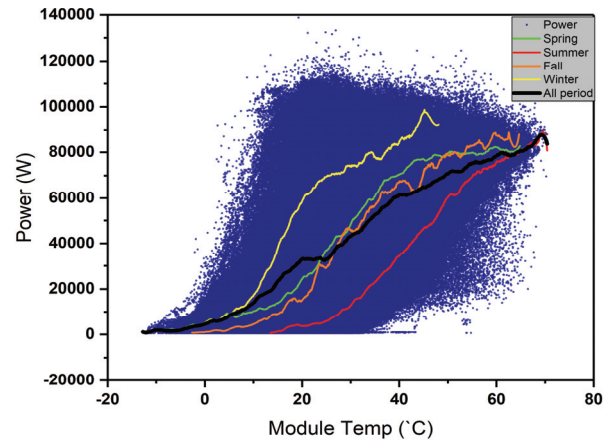


Fig. 5. Floating PV system power-module temperature.

유는 계절별 평균기온과 일사량이 다르기 때문이다. 계절별 평균기온이 달라 일사량에 의해 모듈 온도가 변화하는 정도가 다르며 결과적으로 발전량에 차이가 발생한다. 모듈 온도는 계절별 외기온도와 일사량에 영향을 받는 요소이다. 하지만 모듈 온도가 증가하면서 모듈의 효율이 감소하여 증가율은 적어진다. 따라서 수상태양광의 발전량은 모듈 온도에 비례하여 증가하지만 점차 포화(saturation)되는 모습을 보인다.

3.5 풍속에 따른 수상태양광 발전량

그림 6은 풍속과 수상태양광 발전량의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 전체 그래프를 보면 풍속이 빨라지면 발전량은 완만하게 증가한다. 증가하다가 풍속

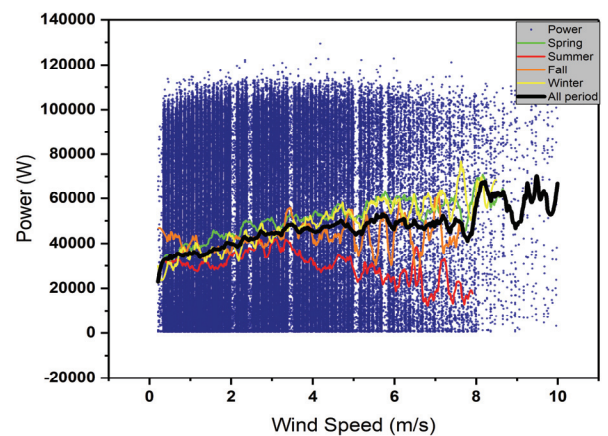


Fig. 6. Floating PV system power-wind speed.

8~10 m/s인 구간에서 노이즈가 커지는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 비교적 데이터의 개수가 부족해서 발생한 것으로 추정된다.

각 계절별로는 여름을 제외하고 풍속이 증가하면 발전량도 증가한다. 여름의 그래프를 보면 풍속 0~3 m/s 구간에서는 다른 계절의 그래프와 같이 풍속에 비례하여 증가한다. 하지만 3 m/s 이후에는 다른 그래프들과는 다르게 점차 발전량이 감소한다. 이 현상은 여름에만 관찰되기 때문에 장마와 태풍과 같이 여름에 주로 발생하는 기상현상을 주원인으로 추정한다. 데이터 분석에 앞서 장마와 태풍 등의 기상요소가 불규칙하게 측정되는 날짜의 데이터를 제외했지만 모든 데이터를 선별하지 못했을 가능성이 존재하기 때문이다.

풍속이 빠르면 태양광시스템의 모듈은 냉각효과로 인해 효율이 증대되고, 바람이 대기의 먼지를 씻어 주어 모듈로 입사되는 빛의 투과량이 증가한다 [7,8,20]. 또한 풍속이 증가하면 대기의 수증기 입자가 작아지고 구름의 양 또한 감소한다 [20]. 따라서 위 두 가지 원인에 의해 수상태양광의 발전량은 풍속에 비례하여 증가한다고 판단한다.

3.6 습도에 따른 수상태양광 발전량

그림 7은 습도와 수상태양광 발전량의 상관관계를 나타낸 그래프이다. 먼저 전 기간 데이터를 살펴보면, 습도가 증가함에 따라 발전량은 감소한다. 각 계절별 데이터 역시 공통적으로 습도가 증가하면 발전량은 점차 감소한다. 습도가 오르면 공기 중의 수분 입자가 증가해 안개나 구름의 양이 많아진다. 이에 따라 공기

중 수분 입자로 인해 빛의 굴절, 반사, 회절이 증가하고 결과적으로 모듈로 입사되는 빛의 투과량이 감소하여 발전량이 감소한다 [21]. 따라서 그림 7에서와 같이 습도가 증가하면 발전량은 감소한다.

4. 결 론

본 논문은 수상태양광의 발전량에 직접적인 영향을 주는 기상요소를 분석했다. 기상요소는 일사량, 습도, 수온, 외기온도, 풍속이며 추가적으로 모듈 온도와의 관계도 분석하였다.

수상태양광 시스템의 발전량과 각 기상요소별 상관관계를 보면, 일사량이 증가함에 따라 발전량은 선형적으로 증가하며 모듈 온도는 증가할수록 발전량도 증가한다. 하지만 모듈 온도의 경우 증가함에 따라 발전량이 증가하는 비율은 점차 감소한다. 외기온도와 풍속은 증가하면 발전량은 점차 증가하지만 위의 두 요소와 비교해 보면 증가량은 작다. 수온은 수상태양광의 발전량에 직접적으로 영향을 미친다고 볼 수 없고 습도는 높아질수록 발전량은 점차 감소한다.

수상태양광의 발전량과 가장 큰 상관관계를 갖는 요소는 일사량과 모듈 온도이다. 그 다음으로는 외기온도, 풍속 그리고 습도이며 이 요소들이 발전량에 미치는 영향은 위 두 요소에 비해 작다. 마지막으로 수온은 발전량에 영향을 미치지 않는다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No.20153010012060).

REFERENCES

- [1] H. K. Bang, A. E. Ellinger, J. Hadjimarcou, and P. A. Traichal, *Psychol. Marketing*, **17**, 449 (2000). [DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6793\(200006\)17:6%3C449::AID-MAR2%3E3.0.CO;2-8](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6793(200006)17:6%3C449::AID-MAR2%3E3.0.CO;2-8)]
- [2] A. V. Herzog, T. E. Lipman, and D. M. Kammen, *Renewable Energy Sources*, **63**, 34 (2001).
- [3] N. Johnstone, I. Haščič, and D. Popp, *Environ. Resour. Econ.*,

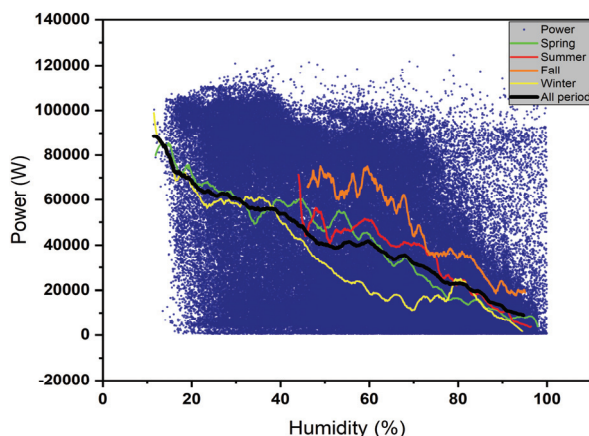


Fig. 7. Floating PV system power-humidity.

- 45, 133 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9309-1>]
- [4] S. J. Ku and S. H. Yoo, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, **14**, 2196 (2010). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.013>]
- [5] Ministry of Trade, Industry and Energy, *Renewable Energy 3020Plan*, <https://www.gov.kr/portal/ntnadmNews/1279625> (2017).
- [6] E. Skoplaki and J. A. Palyvos, *Sol. Energy*, **83**, 614 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>]
- [7] J. K. Kaldellis, M. Kapsali, and K. A. Kavadias, *Renewable Energy*, **66**, 612 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.12.041>]
- [8] C. Schwingshackl, M. Petitta, J. E. Wagner, G. Belluardo, D. Moser, M. Castelli, M. Zebisch, and A. Tetzlaff, *Energy Procedia*, **40**, 77 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.08.010>]
- [9] E. Skoplaki and J. A. Palyvos, *Renewable Energy*, **34**, 23 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.009>]
- [10] S. H. Lee, N. H. Lee, H. C. Choi, and J. O. Kim, *J. Korean Inst. Illum. Electr. Install. Eng.*, **26**, 30 (2012). [DOI: <http://doi.org/10.5207/JIEIE.2012.26.7.030>]
- [11] C. S. Won, *New cost effective and standardized Floating PV system for water reservoirs and highly humid wetlands application* (LSIS Co., Ltd.) p. 74.
- [12] Y. K. Choi, *Int. J. Software Eng. Its Appl.*, **8**, 75 (2014). [DOI: <https://doi.org/10.14257/ijseia.2014.8.1.07>]
- [13] M. Schatzman and J. Taylor, *Numerical Analysis: A Mathematical Introduction* (Clarendon Press, Oxford, 2002) p. 51.
- [14] R. Franke, *Math. Comp.*, **38**, 181 (1982). [DOI: <https://doi.org/10.1090/S0025-5718-1982-0637296-4>]
- [15] A. Savitzky and M.J.E. Golay, *Anal. Chem.*, **36**, 1627 (1964). [DOI: <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>]
- [16] E. G. Kim, H. C. Choi, J. S. Lee, and G. W. Shin, *Proc. KIEE Summer Conference 2011* (KIEE, Pyeongchang, 2011) p. 1402.
- [17] V. J. Fesharaki, M. Dehghani, and J. J. Fesharaki, *Proc. of the 1st international conference on emerging trends in energy conservation - ETEC Tehran* (Tehran, Iran, 2011) p. 5.
- [18] S. Dubey, J. N. Sarvaiya, and B. Seshadri, *Energy Procedia*, **33**, 311 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.05.072>]
- [19] E. Skoplaki and J. A. Palyvos, *Renewable Energy*, **34**, 23 (2009). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.009>]
- [20] C.J.G. Morris, I. Simmonds, and N. Plummer, *J. Appl. Meteorol.*, **40**, 169 (2001). [DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0169:qotiw>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0169:qotiw>2.0.co;2)]
- [21] S. Mekhilef, R. Saidur, and M. Kamalisarvestani, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, **16**, 2920 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.012>]