

# 태양광발전시스템 성능 시뮬레이션을 통한 하수처리장 에너지자립율 산정

안영섭\*, 김성태\*, 채규정\*\*, 강지훈\*\*, 양희정\*\*\*

\*코오롱건설 기술연구센터 친환경건축연구소(ysan@kolon.com),  
\*\*코오롱건설 기술연구센터 환경기술연구소(kangji98@kolon.com),  
\*\*\*코오롱건설 기술연구센터 미래기획팀(hjyang@kolon.com)

## Estimation of energy self-sufficiency in municipal wastewater treatment plant using simulated solar photovoltaic performance

An, Young-Sub\*, Kim, Sung-Tae\*, Chae, Kyu-Jung\*\*, Kang, Ji-hoon\*\*, Yang, Hee-Jung\*\*\*

\*Green Building Research Lab, R&BD Center, Kolon Engineering and Construction(ysan@kolon.com),  
\*\*Environment Technology Research Lab, R&BD Center, Kolon Engineering and Construction(kangji98@kolon.com),  
\*\*\*Future Planning Team, R&BD Center, Kolon Engineering and Construction(hjyang@kolon.com)

### Abstract

This paper presents energy self-sufficiency simulated in municipal wastewater treatment plants (WWTPs) by adopting solar energy production systems that vary with installation conditions. Relative to the national average energy consumption in WWTPs, the employment of 100 kW photovoltaics (PVs) was simulated to achieve 2.75% of energy self-sufficiency. The simulated results suggested that the installation of PVs toward South or Southwest would produce the highest energy self-sufficiency in WWTPs. When super-hydrophilic coating was employed in the conventional PVs, 5% of additional solar energy production was achievable as compared to uncoated conventional PVs. When 100 kW of PVs were installed in a future test-bed site, Kihyeung Respida located in Yougin, South Korea, the energy self-sufficiency by solar energy was simulated to be 1.77 % (2010). The simulated energy self-sufficiency by azimuth(direction) will be useful reference for practitioners in designing the solar PV systems in the WWTPs.

Keywords : 하수처리장 (Municipal Wastewater Treatment Plant), 태양광발전 (Photovoltaic), 에너지자립율 (Energy self-Sufficiency), 초친수코팅 (Super Hydrophilic Coating)

### 1. 서 론

에너지 다소비원인 공공하수처리시설은 기 후협약에 따른 온실가스 저감시설로서의 그

역할이 증대되고 있으며, 그 방안으로 신재생에너지를 이용해 화석연료 사용을 대체하는 에너지 자립화 필요성이 제기되고 있다. 환경부 (환경부, 2010)에 따르면 국내 하수처

리시설에서 사용되는 전력은 연간 국내 총 전력 사용량의 0.5%를 차지하고 있지만, 공공 하수처리시설의 에너지 자립율<sup>1)</sup>은 0.8%에 불과하다. 2007년 말 기준으로 전국 357개 하수처리장 중에서 16개 처리시설에서 신재생에너지 설비를 운영하고 있으며, 그 전력 생산량은 14,998MWh로 보고되었다. 대부분은 소화가스 발전 (13,065MWh)에 의해 생산되었으며, 그 뒤를 이어 태양광발전이 1,120MWh의 전기를 생산하는 것으로 조사되었다. 그간 하수처리시설은 시설확충과 처리효율을 높이기 위한 신기술 도입에 집중하였으나 에너지 효율성에 대한 고려가 미흡하다는 지적이 있어왔다. 이에 환경부에서는 2030년까지 하수처리시설의 에너지 자립율을 50%까지 달성한다는 단계별 추진목표를 밝혔다. 이 중 태양광발전의 기여율 예상목표가 23%로 그 영향력이 가장 클 것으로 전망하고 있으며, 잠재력은 하수처리시설 총 면적의 15%를 설치면적으로 하여 총 344개 하수처리장에 도입한다고 가정할 경우 연간 410GWh 전력생산이 가능할 것으로 내다보고 있다. 기존에 설치된 국내 주요 하수 및 정수처리장의 태양광 발전시스템의 적용사례를 살펴보면 공통된 특징으로 발전시스템 대부분의 설치각도가 30도로 경사지게 설치되었고, 방위는 남향 혹은 남서향을 향하고 있으며, 처리장내 건물 옥상이나 여유부지에 설치되었다. 따라서 이와 유사한 방식으로 환경부 정책에 따라 많은 하수처리장에 태양광발전 시스템이 설치될 것으로 추측된다. 특히 최근 태양전지 표면의 온도를 저감시키는 기술과 오염을 방지하는 기술이 보급되면서 발전효율을 극대화 하고 있다.

본 고에서는 태양광발전시스템 설치 방위와 태양전지 표면의 초친수코팅 여부에 따른 전력생산량을 시뮬레이션하고, 공공하수처리시설 평균 전력 사용량 및 신재생에너지 발전설비 도입이 예정되어 있는 테스트베드 사이트의 전력 사용량 대비 태양광발전을 통해 예상되는 에너지 자립율을 산정해 보고자 한다.

## 2. 연구방법

본 연구에서는 환경부에서 발표한 선행연구 및 사례조사를 바탕으로 방위각과 초친수코팅 유무를 하수처리장 내 태양광발전 시스템을 위한 최적화 요소로 가정하였다.

공공 하수처리장을 대상으로 태양광발전시스템을 적용할 경우 에너지자립율의 지표를 도출하는 것이다. 국내의 선행연구 및 사례 분석을 통해서 시스템의 최적화 요소를 도출하였고, 도출한 요소를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하여 설치 조건별 발전성능을 분석하였다. 또한 태양전지 표면의 초친수 코팅 유무에 따른 발전성능을 분석하였다. 분석한 발전성능 지표는 실제 국내 하수처리시설(기흥레스피아)에 적용되었으며, 태양광발전시스템에 의한 하수처리장의 에너지 자립율을 분석 및 도출하였다.

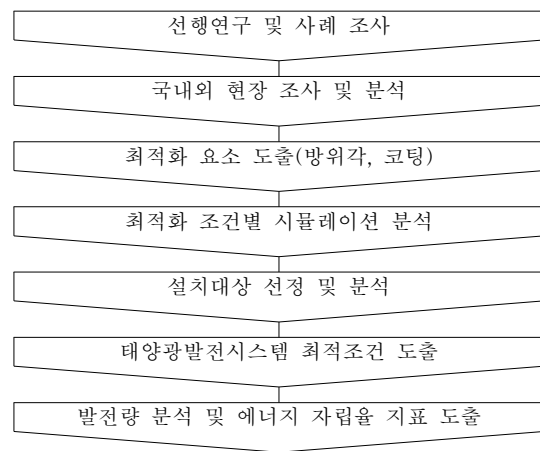


그림 1. 연구진행 흐름도

## 3 태양광발전시스템의 전력생산량 분석

### 3.1 개요

태양광발전시스템의 전력생산량 분석은 시뮬레이션 프로그램 (ESP-r, Environmental Systems Performance - research)을 통해서

수행하였다. 해석된 태양광발전 시스템의 용량은 100kW급 기준으로 하였다. 설정 변수로는 방위각 (정남향-south, 정동향-east, 정서향-west, 남서향-sw45, 남동향-se45)과 태양전지 표면의 초친수 코팅 유무로 한정하였다. 경사각은 일사수열 조건이 가장 양호한 30도 각도로 설정하여 수행하였다. 발전량 산정에 사용된 태양전지는 국내기업 S사에서 생산되어 인증을 획득한 제품을 사용하였다. 아래 표 1은 사용한 태양전지의 전기적 특성을 나타낸 것이다. 그림 2는 모듈의 사양을 나타낸 것으로 1,985mm × 999mm × 50mm의 크기를 갖는다.

표 1. 시뮬레이션에 이용된 태양전지의 전기적 특성

Electrical parameters	Manufacture's specification
Maximum Power(W)	240
Open-circuit voltage(V)	37.3
Short-circuit current(A)	8.58
Voltage at Pmax(V)	30.0
Current at Pmax(A)	8.02
Efficiency(%)	15.11

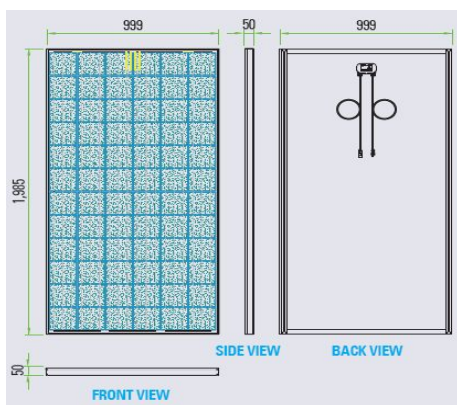


그림 2. 시뮬레이션에 이용된 태양전지의 Size

또한 태양전지 표면의 초친수 코팅유무에 따른 발전량을 분석하였다. 실험방법은 그림 3에서 보는 것과 같이 Mock-up 챔버를 2Sets

제작하고 실시간으로 발전량을 모니터링 하였다. 코팅전 태양전지 초기의 발전량을 분석하기 위해서 1개월 (8월)간 예비실험을 실시하였고, 본 실험은 A챔버의 태양전지 표면에 코팅을 하지 않고, B 챔버의 태양전지 표면에는 코팅을 한 후에 2개월 (9월~10월) 동안 발전량을 비교하였다. 초친수 코팅은 물과 친화력을 높인 것으로 태양전지 표면에 쌓이는 미세 먼지 등과 같은 오염물질이 빗물에 의해서 자연적으로 세정되는 것을 말한다.

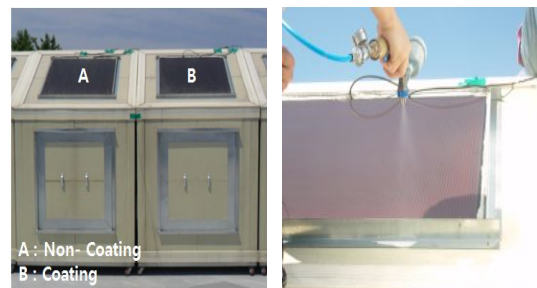


그림 3. 초친수 코팅 평가 실험을 위한 Mock-up 챔버 및 실제 코팅 전경

### 3.2 해석프로그램의 개요

태양광발전시스템의 발전성능을 예측하기 시뮬레이션 프로그램 (ESP-r)은 영국의 스트라스클라이드 대학의 ESRU (Energy Systems Research Unit)에서 개발한 것으로 건물 열 에너지 및 해석대상물에 대해 영향을 미치는 모든 요소를 동시에 고려할 수 있도록 되어 있어 설계자에게 해석대상물의 형상, 외피, 설비와 제어방법 등의 결합에 의해 발생하는 복잡한 관계를 사전에 파악할 수 있도록 하는 프로그램이다. 태양전지의 발전성능 해석을 위해 사용된 기상데이터는 서울지역의 30년 표준기상데이터 (TMY1)<sup>1)</sup>이며 그림 4와 5는 일사량과 기온 분포를 나타낸 것이다.

1) TMY(Typical Meteorological Year) 30년간의 각각 대표월을 찾아 12개월 조합하여 산정하는 방식

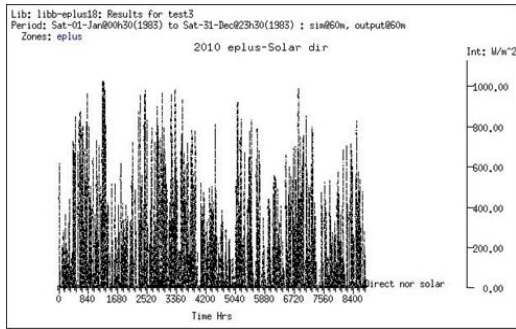


그림 4. 연간 직달일사량 분포(서울지역)

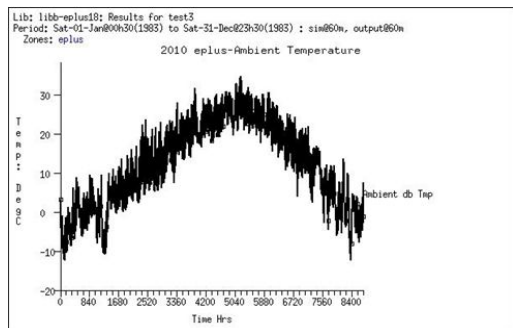


그림 5. 연간 외기온도 분포(서울지역)

그림 6은 해석대상 어레이를 모델링한 이미지를 도식한 것으로 30도 경사각을 이루고 있다. 총 설치면적은 약 1650m<sup>2</sup>로 100kW급 태양전지가 설치될 수 있는 면적을 갖도록 하였으며 그 외의 것들은 간소화하여 모델화 하였다.

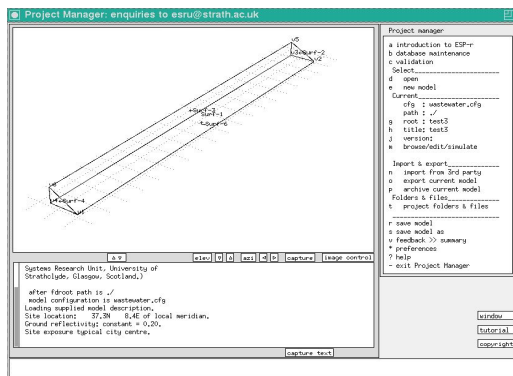


그림 6. 태양광발전시스템의 시뮬레이션 모델(ESP-r)

### 3.3 방위에 따른 전력생산량

방위별 연간 전력 생산량을 그림 7에 도식하였다. 남서향 (sw45)이 134MWh로 발전성능이 가장 우수하였고, 정남향 (South)이 133MWh로 남서향과 비슷한 수준으로 나타났다. 반면 정동향 (east)은 100MWh로 가장 낮은 발전성능을 보였다.

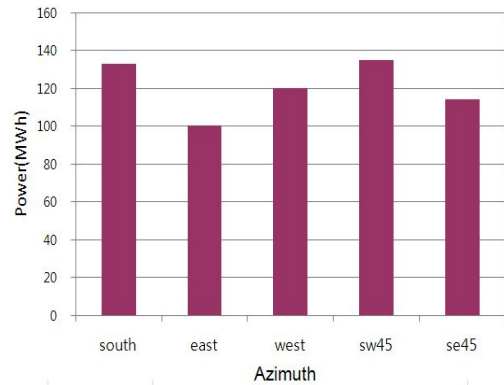


그림 7. 방위에 따른 연간 전력 생산량(MWh)

월별 평균 발전성능 분석결과에서도 남향과 남서향이 우수한 발전성능을 보였으며, 5월달에 537kWh로 발전성능이 가장 좋은 것으로 분석되었고 그림 8에 나타내었다.

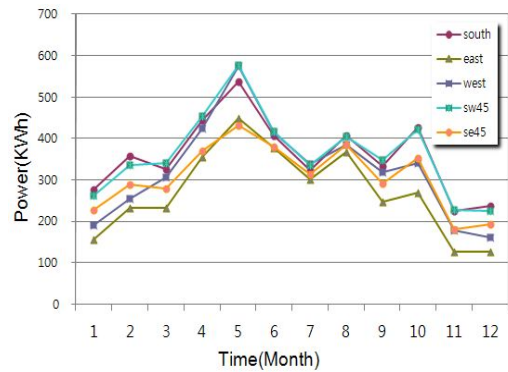


그림 8. 설치조건에 따른 월별 전력생산량(kWh)

이와 같은 현상은 간절기때 태양고도에 의해 태양전지면에 수열되는 일조량이 가장 많기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

### 3.4 초친수 코팅 유무에 따른 전력생산량

그림 9는 태양광발전 시스템의 발전효율을 높이기 위해서 실험한 것으로 태양전지 표면의 초친수 코팅 전·후의 발전량 값을 비교한 것이다. 분석결과 코팅한 태양전지의 발전량이 코팅전 보다 평균 5% 향상되는 것으로 나타났다.

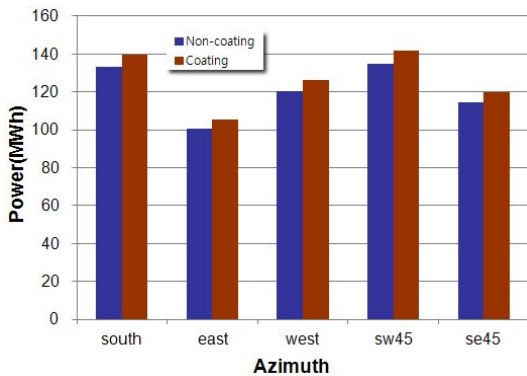


그림 9. 초친수 코팅 유무에 따른 전력 생산량(MWh)

## 4. 실제 사이트의 에너지 자립율 분석 결과

### 4.1 사이트 개요

본 장에서는 실제 국내 하수처리시설의 사이트를 대상으로 태양광발전시스템의 설치조건에 따른 에너지 자립율을 분석하였다.



그림 10. 기흥레스피아 하수처리장 조감도

대상 사이트는 경기도 용인에 위치한 기흥레스피아로 일평균 약 30,000m<sup>3</sup>의 하수와 분뇨를 처리하며, 2010년을 기준으로 연간 전력 소비량은 7,512MWh 정도이다. 그림 10은

기흥레스피아의 하수처리장 조감도를 도식한 것이다.

### 4.2 에너지 자립율 분석 결과

에너지 자립율은 기흥레스피아의 연간 전력소비량 대비 태양광발전시스템에서 생산된 연간 전력 생산량의 비율로 분석하였다. 특히 전력 소비량은 2010년에 실제로 소비된 것을 바탕으로 하였고, 전력 생산량은 3장에서 분석한 100kW급의 태양광발전시스템에서 생산된 전력량을 대상으로 조건별 분석을 수행하였다. 본 연구에서의 에너지 자립율 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{에너지자립율(\%)} = \frac{\text{연간 전력 생산량}}{\text{연간 전력 소비량}} \times 100\%$$

기흥레스피아 하수처리시설의 경우 2010년을 기준으로 연간 7,512,176kWh의 전력을 소비하였으며 태양광발전시스템을 도입할 경우 표 2와 같이 일반적으로 설치되는 남향을 기준으로 133,189kWh의 전력을 생산하여 에너지 자립율이 1.77%로 나타났다.

표 2. 설치조건에 따른 에너지 자립율 분석결과(기흥레스피아 & 국내처리장 전체 평균)

방위	전력 생산량 (kWh)③	기흥레스피아	국내처리장 전체 평균
		기여율(%) ③/②×100	기여율(%) ③/①×100
정남향	133,189	1.77	2.74
정동향	100,449	1.34	2.06
정서향	120,288	1.60	2.47
남동향 45도	114,383	1.52	2.35
남서향 45도	134,815	1.79	2.77

- 국내 하수처리장 전체 연평균 전력 소비량 4,866,660kWh-①
- 기흥레스피아 전력 소비량(2010년) 7,512,176kWh-②

그 외 다른 설치조건에 따른 태양광발전시스템에 의한 에너지 자립율은 2%이하 수준이었다. 반면 국내 하수처리장의 전체 연평균

전력 소비량 (4,866,660kWh) 기준으로 100kW급의 태양광발전 시스템을 설치할 경우 조건에 따라서 최대 2.91%의 자립율을 나타내는 것으로 예측되었다.

표 3. 초친수 코팅 유무에 따른 에너지 자립율 분석결과(기흥레스피아)

코팅 유무	방위각			
	정남향	비율(%)	남서향 45	비율(%)
코팅 無	133,189	100	134,815	100
코팅 有	139,848	105	141,555	105

특히 표 3과 같이 에너지 자립율이 가장 높았던 남서향을 기준으로 초친수 코팅을 했을 때 에너지자립율이 코팅을 하지 않은 조건보다 약 5% 정도 향상되는 것으로 분석되었다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 국내 하수처리장을 대상으로 태양광발전시스템의 설치조건에 따른 에너지 자립율을 분석하였다.

- (1) 국내 하수처리장 연평균 전력소비량을 기준으로 100kW급의 태양광발전시스템을 설치할 경우 에너지 자립율은 약 2.74%로 나타났고 에너지자립율의 기여도가 높은 설치조건은 남서향 및 남향으로 분석되었다.
- (2) 태양전지 표면에 초친수 코팅을 한 경우에는 코팅을 하지 않은 것보다 약 5%의 추가 발전효율이 증가하였다.
- (3) 특히, 본 연구에서 분석한 기흥레스피아의 경우 태양광발전시스템에 의한 에너지 자립율은 남향을 기준으로 약 1.77%로 분석되었다.
- (4) 본 연구에서 분석한 방위별 에너지 자립율은 건축가들이 하수처리장내 태양광발전 시스템을 설계시 참고할 만한 지표가 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 해석프로그램을 이용하여 하수처리장에서 태양광발전시스템만을 대상으

로 설치조건에 따른 에너지자립율을 산정한 것이며, 향후 소수력 및 하수열과 같은 다양한 신재생에너지에 의한 전력생산량과 기타 에너지 절감량 등을 반영하여 분야별 에너지 자립율을 분석할 계획이다.

## 사 사

- (1) 본 연구는 환경부 “글로벌탑 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임.
- (2) 본 연구는 지식경제부의 '2010신재생에너지기술개발사업'의 연구비 지원으로 수행되었음 (과제번호 : 20103040010100)

## 참 고 문 헌

1. Jong-Hwa Song, "Power output analysis of transparent thin-film module in building integrated photovoltaic system (BIPV), Energy and Buildings 40 (2008) 2067-2075.
2. 안영섭 외 "5kW급 투광형 박막 BIPV시스템의 실증평가 연구", 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 30, No. 4, 2010
3. 박경은 외 "12kW급 건물일체형 태양광 발전시스템 사례분석", 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 29, No. 1, 2009
4. 박세준 외 "건물통합형 30kW태양광발전시스템의 설계 및 효율적 운전관리에 관한 연구", 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 28, No. 3, 2009
5. 이강록 외 "주택지붕용 2kWp BIPV시스템의 성능실험 및 전기 부하 감당에 관한 연구", Vol. 26, No. 1, 2006
6. 환경부. 하수처리시설 에너지 자립화 기본 계획, 환경부 생활하수과. 2010