

## 수도사업장 에너지 자립화를 위한 신·재생에너지 구축 설계

최영관\*, 김영국\*, 김희곤\*, 김종겸\*\*  
한국수자원공사\*, 강릉원주대학교\*\*

### Design of New-Renewable System for Energy Independence of Water Treatment Plant

Young-Kwan Choi\*, Yong-Kuk Kim\*, Hee-Gon Kim\*, Jong-Gyeum Kim\*\*  
K-water\*, Gangneung-Wonju National University\*\*

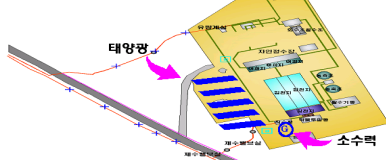
**Abstract** - 본 논문은 oo댐에서 원수를 공급받는 oo정수장(이하 정수장) 유입관로의 잉여압력을 이용하여 소수력 발전기를 설치하고, 정수장 여유부지에 태양광발전설비를 계획하여 총163.4kW (Peak 사용전력 128.16kW)의 시설용량으로 연간전력사용량(451 MWh) 대비 110% 정도의 발전생산(약500MWh)이 가능한 에너지자립형 개념의 정수장을 설계한 사례이다.

#### 1. 서 론

기후변화에 대응과 정부의 신·재생에너지 정책이 부응하기 위해 다양한 신·재생에너지원이 산업현장에 도입되고 있다. 그러나 단일사업장에서 하나의 신·재생에너지원의 개발은 활발하지만, 하이브리드 신·재생에너지 개발은 사례가 많지 않은 상태에서, K-water에서는 용수공급을 위해 운영중인 정수장을 대상으로 태양광발전과 소수력발전의 조합인 하이브리드 신·재생에너지 발전설비를 아래와 같이 계획 하였다.

#### 2. 분산형 전원의 구성

사업예정지인 정수장내 동일지역에서 각각의 분산형전원 용량은 100 kW 미만(태양광 98.4kW, 소수력 65kW)이나 연계 종합 용량은 100kW 이상 (163.4kW)인 조건으로 각각의 단위 분산형전원을 저압 한전계통에 연계할 수도 있고, 대표 분산형 전원 발전용 주변압기 설비를 공용하여 특고압 한전계통에 연계할 수도 있다[1]. 따라서 <표 1>의 비교를 통해 각각의 단위 분산형 전원을 각각 저압 한전계통에 연계하도록 계획하였다.



<그림 1> 분산형 전원 구성도

<표 1> 계통연계방안

구 분	제 1 안	제 2 안
송전시설	특고압설비(22.9kV)	저압설비(380V)
설비구성	<p>안전선로 22.9kV</p>	<p>안전 주상변압기 2차측 380V</p>
계통연계 시 공 성	특·고압 일반선로(1회선) 공간 확보 및 시공의 어려움	저압 전용선로(2회선) 안전 및 시공의 용이
유지관리	안전관리 선입 및 점검 등 복잡	용이
공사비 및 발전단가	공사비가 과다하고 발전단가가 다르므로 동일적용 곤란	공사비가 저렴하고 개별 발전단가로 수익 발생
선 정	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 제1안의 경우, 정수장구내 특·고압설비를 구축하여 계통연계를 일원화할 수 있으나 시공 및 유지관리가 어렵고 공사비가 많이 소요되는 반면,</li> <li>- 제2안의 경우, 저압 전용선로 구축으로 시공성·유지관리성·공사비 측면에서 제1안보다 매우 우수함에 따라 제2안 선정이 적절함</li> </ul>	

#### 3. 태양광발전

##### 3.1 어레이 설치 방식

정수장은 방위각이 동쪽 18°로 치우치나, 설치공간이 충분하여 다양한 형태의 발전장치를 적용하기에 적합하다. 따라서 각 형식별 장·단점, 연간 발전량, 발전 효율 및 경제성을 종합적으로 고려하여 어레이 설치방식은 <표 2>와 같이 계절별로 각도 조정이 가능한 경사 가변형(반고정)으로 선정하였다. 경사 가변형은 경사 고정형(33°)보다 5~6% 증가한 일사량을 얻을 수 있다[2].

<표 2> 어레이 구성도

설치방식	각도조절

##### 3.2 어레이 설치 이격거리

태양전지 어레이가 2열 이상 설치되는 경우에는 전열의 어레이가 후열의 어레이에 그림자의 영향을 주지 않도록 설치하여야 한다. 따라서 연중 태양의 남중고도가 가장 낮은 동지일 때 그림자가 가장 길어지므로 동지날을 기준으로 그림자의 영향을 주지 않도록 어레이 이격거리를 선정해야 한다. 본 설계에서는 이론 계산식에 의한 방법과 실제 디자인을 통한 CAD 시뮬레이션을 각각 비교하여 <표 3>과 같이 연간발전량을 최대 할 수 있는 이격거리를 선정하였다.

<표 3> 이격거리 선정

계산식	$X_1 = L[\cos(\text{tilt}) + \sin(\text{tilt}) \times \tan(\text{lat} + 23.5^\circ)] \approx 6.2[\text{m}]$ <p> <math>X_1</math> : 어레이의 최소 이격거리                      L : 어레이 길이(3,240mm)                      tilt : 어레이의 경사각(57°)                      lat : 설치지역의 위도 (경북 경산시 : 35°)                 </p>
CAD 시뮬레이션	<p>                     - 이격거리 : 6.2m                      - 동지의 남중고도(12시) 기준                      - 사용부지는 축소되나, 겨울철 음영발생 장시간 발생                 </p> <p>                     - 이격거리 : 8.85m                      - 동지의 10시, 15시 고도 기준                      - 음영발생 없으나, 이격거리 증가                 </p>
선정	<p>                     - 연중 음영발생이 없어 발전효율이 극대화되고                      - 이격거리는 증가하지만 사택 철거 부지를 최대한 활용할 수 있는 <b>시뮬레이션결과</b>로 선정                 </p>

### 3.3 설비구성

정수장의 태양광발전 설비구성은 <표 4>와 같다.

<표 4> 설비의 구성

구 분	주요내용
■ 발전전력 공급방식	계통 연계형(저압)
■ 설비용량	98.4kW
- 모듈용량	단결정형, 240Wp
- 모듈수량	410EA
- 인버터용량	50kW, 2대
■ 어레이 구조형태	반고정식(경사 가변형)

### 3.4 연간발전량

정수장의 태양광설비 일사량은 기상청, 한국에너지기술연구원, 에너지관리공단의 자료 중에서 최근 2007년부터 2009년까지 3년간 대구지역의 일사량을 실측한 한국에너지기술연구원의 자료를 이용하여 3.8125kWh/m<sup>2</sup>-day 적용하였다[3].

- \* REC : 상업개시 후 12년간 320원/kWh, 그 후 8년간 40원/kWh 적용
- \* SMP : 상업개시 후 20년간 117.77원/kWh(10년 평균)×2.5%/년(상승율) 적용
  - 태양광 시스템 종합 설계계수 : 75.2%(각종 손실을 고려)
  - 경사면(30도 각도) 일사량 : 수평면의 약 121%[4]
  - 경사 가변형 적용시 일사량 개선효과 : 104.55%
- 이용률 :  $\frac{3.8125\text{kWh/m}^2}{24 \times \text{kWh/m}^2} \times 0.752 \times 1.21 \times 1.046 \times 100\% = 15.119\%$
- 연간발전량 = 98.4kW × 15.119% × 24h × 365일 = 130.3MWh

## 4. 소수력발전

### 4.1 용량결정

최근 8년간 oo댐 평균수위 EL.142.2m를 고려하여 정격낙차를 결정하였고, 정수장 시설용량 40,000m<sup>3</sup>/day(0.46m<sup>3</sup>/s)을 발전사용수량으로 결정하였다. 또한, 시설용량은 최대유량 0.5m<sup>3</sup>/s, 최대낙차 19.2m로 최대출력 65kW로 정하였다.

<표 5> 낙차 및 사용수량

구 분	최 소	정 격	최 대
낙 차	14.2m (정격낙차의 85%)	16.7m (EL.142.2m 8년간 평균)	19.2m (정격낙차의 115%)
사용 수량	0.25m <sup>3</sup> /sec (최근 2년간 최소)	0.46m <sup>3</sup> /sec (시설용량 40,000m <sup>3</sup> /day)	0.5m <sup>3</sup> /sec (유황곡선상 3.3%수준)

\*정격낙차 = EL.142.2m(평균수위) - EL.115.24m(수차중심) - 10.29m(손실수두)=16.7m

### 4.2 수차 형식 선정

사용수량과 낙차의 변동 폭이 큰 것을 감안하여 적절한 수차를 <표 6>과 같은 비교를 통해 검토한 결과 Cross-flow 수차를 선정하였다.

<표 6> 수차 형식의 선정

구분	1안	2안
형식	Cross-flow	Francis
설치 예상도		
특 징	기존 By-pass 배관사용 착수정 유 수차발전기 설치	유입측 By-pass 배관신설 지하구조물 신설 및 유랑계이설
장점	기존 초음파유랑계 이설 없음 지하구조물 불필요(공사비절감) 유량변동시에도 효율변동 적음	정격점 효율 우수(90%이상) 유효낙차를 최대로 활용 가능
단점	정수장 스크 발생여부 검토필요 수면위 설치로 유효낙차 감소	지하구조물 신설로 공사비 상승 기존 초음파유랑계 이설 필요
선정 사유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유량변동이 심한 정수장 특성에 따라 효율을 고려하여 Cross-flow로 선정</li> <li>• Cross-flow수차의 정수장 설치·운영사례 조사결과 스크 발생에 미치는 영향 없음</li> </ul>	

### 4.3 설비구성

정수장의 소수력발전 설비구성은 <표 7>과 같다.

<표 7> 설비의 구성

No.	설 비 명	규 격	배치도
1	수 차	Cross-flow	
2	증속기	-	
3	유도발전기	65 kW	
4	유입밸브	800A	
5	By-pass 밸브	800A	
6	수압철관	800A	
7	수차발전기지지대	H beam	

### 4.4 연간 발전량

<표 8>과 같이 수차발전기 운영범위와 정수장 유황곡선(2009~2010년 평균)을 기준으로 산출된 연간발전량은 369.9MWh이다.

<표 8> 유랑별 연간 발전량

유랑 (m/s)	총낙차 (m)	손실낙차 (m)	유효낙차 (m)	이용률 (%)	발전일수 (일)	유효발전 (kW)	연간발전량 (kWh)
0.25	26.96	8.19	18.77	99.86%	0.5	30.66	368
0.26	26.96	8.24	18.72	99.59%	1.0	31.86	765
0.27	26.96	8.33	18.63	98.36%	4.5	32.97	3,561
0.28	26.96	8.29	18.67	95.48%	10.5	34.32	8,649
0.29	26.96	8.49	18.47	92.05%	12.5	35.22	10,567
0.3	26.96	8.66	18.30	88.36%	13.5	36.16	11,715
0.31	26.96	8.75	18.21	83.29%	18.5	37.24	16,534
0.32	26.96	8.76	18.20	78.36%	18.0	38.48	16,623
0.33	26.96	8.88	18.08	73.70%	17.0	39.48	16,108
0.34	26.96	8.89	18.07	70.00%	13.5	40.72	13,193
0.35	26.96	9.05	17.91	63.70%	23.0	41.61	22,968
0.36	26.96	9.16	17.80	57.40%	23.0	42.60	23,516
0.37	26.96	9.2	17.76	50.00%	27.0	43.75	28,353
0.38	26.96	9.36	17.60	44.25%	21.0	44.60	22,479
0.39	26.96	9.5	17.46	36.71%	27.5	45.48	30,017
0.4	26.96	9.54	17.42	30.27%	23.5	46.61	26,289
0.41	26.96	9.69	17.27	24.79%	20.0	47.44	22,770
0.42	26.96	9.84	17.12	21.23%	13.0	48.25	15,053
0.43	26.96	9.96	17.00	17.40%	14.0	49.13	16,506
0.44	26.96	10.02	16.94	13.70%	13.5	50.17	16,254
0.45	26.96	10.17	16.79	10.55%	11.5	50.93	14,057
0.46	26.96	10.29	16.67	8.36%	8.0	51.77	9,940
0.47	26.96	10.42	16.54	6.85%	5.5	52.42	6,919
0.48	26.96	10.55	16.41	5.21%	6.0	53.04	7,638
0.49	26.96	10.68	16.28	4.25%	3.5	53.58	4,501
0.5	26.96	10.82	16.14	3.29%	3.5	54.13	4,547
누계					353일		369,889

## 5. 결 론

본 논문에서는 oo댐으로부터 원수를 공급받는 금호강계통 광역상수도 정수장 유입관로 잉여압력을 이용 65kW의 소수력 발전소를 설치하고, 정수장 여유부지에 98.4kW의 태양광발전설비를 설치하여 총 163.4kW의 시설용량으로 약500MWh의 연간발전량을 생산하는 에너지 자립형 사업장 개발을 설계하였다. 동일구역 내에서 복수개의 분산형 전원을 개발시 경제적인 계통구성방안을 제시하였고, 태양광발전과 소수력발전의 주요 설계인자에 대한 선정방안을 제시한 사례이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "분산형 전원 배전계통 연계 기술기준", 2010.10
- [2] 지식경제부, "주택용 PV시스템 최적화를 위한 성능향상 기술개발", 2009
- [3] 한국에너지기술연구원, 신재생에너지 자원지도 데이터센터
- [4] 조덕기, 윤창열, 김광득, 강용혁, "실측에 의한 국내 방위별 경사면일사량계의 제평가, 한국태양에너지학회 춘계학술대회 논문집, 2010.4