

**광역상수도의 유희에너지를 이용한 소수력발전 설계**

오민환 · 최교남 · 김용환  
한국수자원공사 부안댐관리소

**Small Hydro Power design using extra water resources of the Multi-regional water works system**

Oh Min Hwan · Choi Kyo Nam · Kim Yong Hwan  
Korea Water Resources Corporation / PUAN-DAM site office

**Abstract** - 소수력 발전은 국토의 효율적 이용과 함께 녹색의 재생에너지로 정부차원에서 건설자금과 기술을 지원하고 있다. 1984년부터 한국에너지기술연구소에서 소수력입지 조사분석, 한국형 소수력발전시스템 개발연구가 활발하게 수행되었다. 소수력발전소의 중요한 과제는 경제성 있는 지점의 선정과 운영기술의 확립으로 나타났다. 본 연구에서는 저수지에서 취수하는 광역상수도에서 소수력발전소에 대한 설계와 운영 방안을 제시하고자 한다.

댐 저수지에서 취수하는 광역상수도의 취수 설비는 취수탑과 도수로 및 착수정으로 구성되어 있다. 수력발전의 낙차는 저수지 수위와 착수정의 수위 차에 의해 설계되고 있다. 사용수량은 광역상수도의 1일 최대 용수공급량으로 설계된다.

**2.2 수차 비속도**

수차 비속도 설계는 수차-발전기의 크기를 결정하는 것으로 최적의 발전시스템 사양 결정과 발전소건물의 기본 설계를 도출할 수 있는 요소가 된다. 수차의 비속도, 수차출력 및 수차직경은 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$N_s = \frac{N \cdot (Wb \cdot \epsilon t)^{0.5}}{H^{1.25}} \dots \dots \dots (2)$$

- 단,  $N_s$  : 비속도 (m<sup>3</sup>-kg)
- $N$  : 수차 회전속도(rpm)
- $Wb$  : 수력출력 =  $Q \cdot H \cdot 13.33$ (Hp)
- $\epsilon t$  : 유효낙차에서 수차효율

**1. 서 론**

최근 지구환경 보호의식 확산에 따라 녹색의 재생에너지인 소수력 발전이 각광을 받고 있고, 또한 소수력의 기술발전은 경제성을 향상시켰고 소수력 적용지점을 확대시켜 광역상수도에서도 취수관로 내에 수차를 설치 유희에너지를 이용한 소수력발전소가 설계되고 있다. 우리나라에서는 1982년 "소수력개발 활성화 방안"이 공표되어 국토의 효율적 이용과 대체에너지로서 정부에서 건설자금과 기술개발을 지원하고 있다. 1984년 한국에너지기술연구소에서 국내하천지점을 중심으로 소수력입지를 분석하여 48개 지점의 경제성 있는 소수력지점을 연구 발표하였고, 1986년 한국형 소수력발전시스템을 개발하여 운영기술을 지원하고 있다.

지금까지 소수력개발은 소 하천지점을 대상으로 하는 국토의 효율적 이용측면에 주안점을 두고 있으나, 최근 다목적 댐과 광역상수도를 함께 수행하고 있는 광역상수도의 취수관로 내에 터빈을 설치 유희에너지를 이용한 소수력 발전소가 설계되고 있다. 다목적댐과 광역상수도가 포함된 보령댐, 운문댐, 부안댐, 동화댐, 용담댐, 횡성댐에 소수력이 건설되고 있으며 앞으로 지속적으로 확대될 전망이다.

본 연구에서는 댐 취수 광역상수도의 유희에너지를 이용한 관로 내에 터빈을 설치한 소수력발전소의 설계와 자동 운영방안을 제시하고 부안댐에 실 적용한 사례를 제시 하고자 한다. 광역상수도에서의 소수력발전소는 연속가동으로 년간가동율이 매우 높다. 가동율에 비해 고장이 없으며 구조가 간단하여 유지보수비가 저렴하여 매우 경제성이 높음을 확인할 수 있었다.

**2. 수력설계**

**2.1 수력발전**

수력에 의한 전력은 물의 높은 위치에너지를 수차에서 기계적 에너지로 변환하고 이를 발전기로 운전하여 다음식과 같이 발전전력을 계산할 수 있다.

$$P = 9.8QH\eta_{c.T} \text{ (kW)} \dots \dots \dots (1)$$

여기서,  $Q$  : 유량(m<sup>3</sup>/s)     $H$  : 유효낙차(m)  
 $\eta_{c.T}$  : 수차-발전기 종합효율

**3. 적용사례**

**3.1 부안댐 및 정수장 개요**

부안댐은 부안군, 고창군 및 새만금지역에 연건 38.7백만m<sup>3</sup>의 생·공·농업용수 공급을 주목적으로 건설된 시설로서 댐직하부에 광역상수도의 정수장이 위치하고 정수처리된 물을 시간당 최대 3,625m<sup>3</sup>을 24시간 연속 공급하도록 설계되었다.

부안댐저수지는 상시만수위 EL.41.20m, 저수위 EL.23.00m와 정수장의 착수정 상시수위 EL.14.50m로 설계되었다.



그림 1 부안댐 및 정수장 개요

**3.2 용수관로 상의 소수력설계**

소수력발전소 설치 위치는 부안댐 저수지 내의 취수탑 EL.47.50m에서 방류되는 주관로 Ø1500에서 T분기하여 정수장의 착수정으로 일정하게 유입되는 Ø1100관로내에 수차를 횡축형식으로 배치하도록 설계하였다. 정수장 유입 용수관로를 수압관으로 설계하고 착수정은 방수로의 역할을 할 수 있도록 설계하였다. 부안댐 저수지 상시만수위 EL41.20m와 저수위 EL23.00m사이의 저수량을 이용할 수 있도록 하였으며, 저수지 수위와 정수장의 착수정 수위 EL14.50m와의 수두차에 의한 유효낙차를 확보하도록 설계하였다. 발전된 전력의 송전은 부안정수장 22.9kV 수전선로에 연결 배전선로를 이용하여 설계하였다. 부안댐 소수력 발전소 구성도는 그림2와 같다.

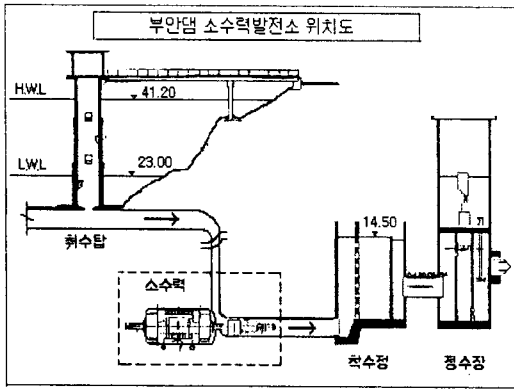


그림 2. 부안댐 소수력발전소 구성도

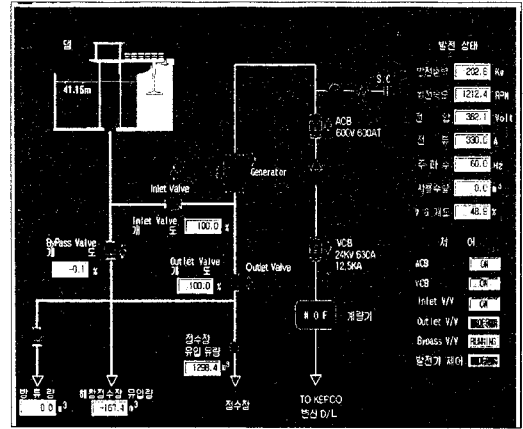


그림 3 감시제어시스템 구성도

소수력의 감시제어 시스템은 광역상수도의 중앙조정실에 설치하여 기존의 감시 인력을 활용하여 발전기를 그림4와 같이 자동으로 기동·정지 함으로 추가인력이 소요되지 않아 연간 경비를 줄일 수 있도록 설계하였다.

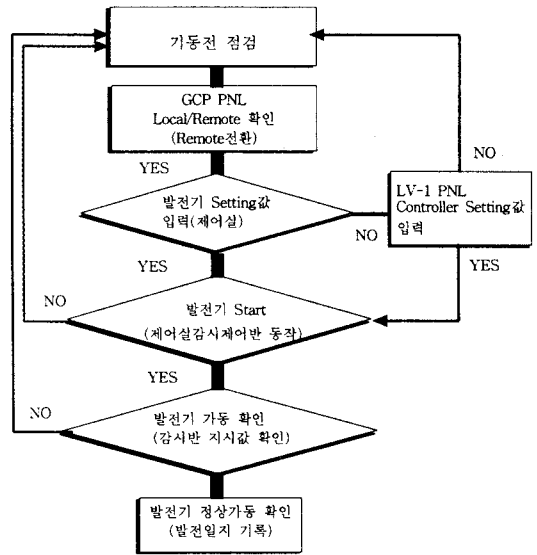


그림4. 소수력 발전기 기동정지 흐름도

**3.3 발전소 사양**

소수력발전소의 발전계획은 부안정수장에서 용수를 24시간 연속공급하고 있어 정수장 입구에 설치되는 발전소도 24시간 상시발전하는 것으로 설계규모는 표1과 같다. 발전규모는 정수장 일 최대공급량을 발전하는 것으로 설계하였다.

표1. 발전소 규모

수 차		발 전 기	
형 식	횡축형프로펠러 튜브형	형 식	유도발전기
정격낙차	19.6m	용 량	193kW
사용수량	1.09m³/s 1일최대 87000m³	효 율	90%
비속도	550	회전수	1200rpm
용 량	205kW	극 수	6극
수차효율	88%	런너직경	500mm
최저낙차	7.5m	역 률	0.8

**3.5 발전 감시제어시스템**

소수력 발전소의 제어시스템은 다음 설정기준과 같이 가능한 간략화하여야 하며 적절한 운영방식을 설정하여 그림3과 같이 감시제어 시스템을 구성하고 그림4와 같이 발전기 기동·정지를 자동화 하였다.

- 1) 운영방식은 연간 발전량을 최대로 얻을 것을 목적으로 하여 계통과 상시 병렬 운전
- 2) 설비기능면으로는 구조의 간소화에 중점을 둔다.
- 3) 운전은 계통의 원활한 운전을 방해하지 않을 것을 최우선으로 하며 계통이나 발전소의 사고에 대해 소수력 발전소를 즉시계통과 분리하여 사고확대를 방지한다.

**4. 타당성 및 운영분석**

**4.1 발전원가 계산**

발전원가계산은 에너지합리화기금(연리5%, 5년거치 10년 분할상환)을 기준으로하여 산정하였다.

$$\text{발전원가} = \frac{\text{년간경비}}{\text{년간발전량}} \text{ (원/kWh)} \dots (3)$$

여기서, 년간경비: 년간투자자본회수비 + 년간 운전유지비  
 년간 투자회수비 : 총 자본회수비 x CRF

$$\text{자본회수계수(CRF)} = \frac{i(1+i)^n}{1+i^n - 1}$$

[이자율(i)=10% 적용, 내용년수(n)=30년 적용]

#### 4.2 연간발전량 계산

$$\text{년간 발전량} = 9.8 \times \text{평균사용수량(CMS)} \times \text{유효 낙차} \times \text{수차발전기효율} \times 8760(\text{h}) \times (1 - \text{사고율} - \text{보수율}) \dots (4)$$

여기서 사고율과 보수율은 각각 0.5%, 1.5%를 적용하였다.

#### 4.3 타당성 분석

경제성 검토 개략 공사비의 산출, 자금조달계획, 발전원가 계산을 통한 투자비대 이득관계를 검토 설계한 결과와 '99년도 운영실적을 표2에 나타내었다.

표2. 타당성 및 운영실적

구 분	수력발전소 건설	'99 운영실적
1. 총공사비(원)	462,700,000	475,082,500
2.년간경비(원/년)	60,248,752	61,859,000
3.년간수익(원/년)	75,472,800	91,057,900
4.년간발전량(kWh)	1,560,000	1,494,468
5.전력판매단가 (원/kWh)	48.38	60.93
6. B - C	15,224,048	29,198,900
7. B / C	1.25	1.47
8. 발전원가	38.62	41.39

타당성 검토시 연간사업이익의 소수력단가가 48.38원/kWh로 산정하였으나 '99년 소수력단가는 60.93원/kWh로서 40%의 증가율을 나타내고 있으며, 연간발전 및 송전손실계수를 6.0%로 설계하였으나 실제운영에서 1999.8.3-6일까지 한전측 정전으로 인한 발전기 미가동의 사례가 있었을 뿐 발전기의 고장이나 유지보수 사례가 없어 실제운영에서는 손실계수를 2.5%로 산정하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

#### 4.4 운영분석

유도발전기에서 발생한 전압, 주파수는 병렬로 연계된 계통선과 일치하게 되며 조절기능은 없으나, 여자장치, 동기 투입 장치 등이 필요한 동기발전기보다 구조가 간단하여 유지보수비가 경제적이다.

소내소비율이 당초 1.0%로 설계되었으나 그림5의 출력 곡선에서 약 8.3%로서 소내소비율은 설계시보다 크게 나타나 일반적 소수력의 소내소비율 3%보다 크게 나타나고 있다. 이는 유도전동기에서 무효전력에 대한 소비 전력으로 추정하고 있다. 그림5와 같이 저수지 수위변화에 따라 사용수량이 변화하는 것을 알 수 있다.

수위가 전반기 6월까지의 낮아지고 하반기 7월부터 상승하는 것은 우리나라 몬순기후의 영향으로 타댐과 동일하게 나타나고 있으며, 사용수량에 대한 전력생산비인 전수비는 수위와 역행하는 곡선을 나타내고 있어 수위가 높을수록 사용수량이 적게 나타남을 알 수 있다.

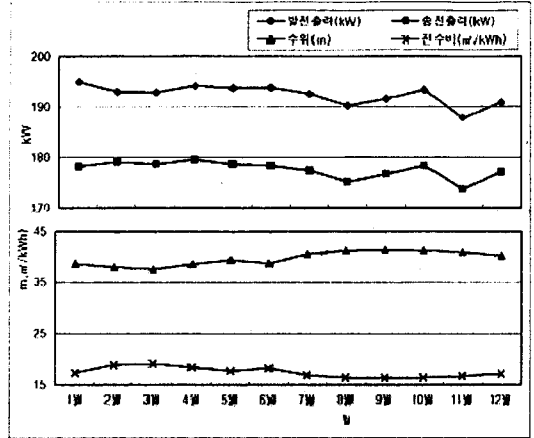


그림5. 운영수위 및 전수비 곡선

### 5. 결 론

저수지 취수 광역상수도에도 유티에너지를 이용한 소수력발전이 가능하고 경제성이 우수함을 알 수 있었다. 소수력발전기로 유도전동기를 채용함으로써 기동정지가 간단하고 유지관리가 용이함을 실증적으로 알 수 있었다.

다목적댐 저수지 취수 광역상수도가 계속 증가하고 있어 광역상수도 유입관로의 유티에너지를 이용한 소수력 개발은 지속적으로 추진되어야 할 것으로 판단되었다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] "한국형소수력발전시스템개발", 한국동력자원연구소, 1986
- [2] "부안다목적댐 소수력건설사업", 한국수자원공사, 1997
- [3] "부안소수력발전소 수차/발전기 운전 및 유지보수지침서", 한국수자원공사, 1998.