

## 하수(下水)를 이용한 소수력발전의 성능예측

○박 완 순, 이 철 형

### 1. 서 론

물은 인간의 생명을 유지하기 위한 필수 불가결한 물질이며, 인류문명의 발달에 고귀한 자원이다. 지구 전체적으로 보면 물은 다량으로 존재하나 이용하기 용이한 형태의 자원으로 보면 지역과 계절에 따라 국부적으로 존재하며, 이용 가능한 상태로 만드는 데에는 비용이 뒤따르게 된다. 현재 까지 우리나라의 지역, 장소 및 용도에 따라서는 귀중한 자원으로 인식하지 않아도 비교적 용이하게 물을 이용하는 것이 가능하였으나 머지않아 물부족 국가로 진입하게 될 입장에 처해있는 현실이다.

문명의 발달과 인간의 생활이 윤핵해짐에 따라 산업체와 개인별 사용하는 물의 양이 증가하고 따라서 하수의 양도 비례하여 증가하고 있다. 최근 환경오염 및 문화생활의 향상으로 인한 하수처리량의 증가로 인해 하수처리장의 중요성이 재인식되고 있다. 2000년 말을 기준으로 우리나라에서 운영되고 있는 하수처리장의 수는 150개소이며, 연간 처리되어 방류되는 하수의 양은 약 60억 m<sup>3</sup>으로서 금강수계 수자원부존량의 약 1/2이나 되는 많은 양이다. 또한 2005년까지 157개소를 신설할 계획으로 있으므로 지방자치단체를 중심으로 하수를 이용한 소수력개발의 확산으로 전기에너지 생산을 통한 지방재정의 기여, 에너지절약 등으로 귀중한 수자원의 활용도를 증대시켜야 할 것이다. 본 고에서는 하수의 재이용 방법 중 하수를 이용한 에너지생산 가능성을 고찰하였다.

하수를 이용하여 소수력발전소를 건설할 경우, 하수처리장의 기존 토목구조물을 이용하므로 일반 하천에 건설되는 소수력발전소와는 달리 땅건설 등에 소요되는 토목공사비가 거의 없어 초기투자비가 저감되며, 안정적인 유량확보로 시스템의 고효율 발전이 가능하고, 유지관리비가 적게 소요되는 장점이 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 하수를 이용한 소수력발전 성능특성에 대하여 논의하고 전주하수처리장을 대상으로 소수력발전 가능성을 분석하였다. 분석결과, 제시된 방법이 하수를 이용한 소수력발전의 성능예측에 유용하게 사용될 수 있으며, 연구를 통하여 도출된 기본성능자료들은 하수를 이용한 소수력발전소 건설시 활용될 수 있다는 것이 확인되었다.

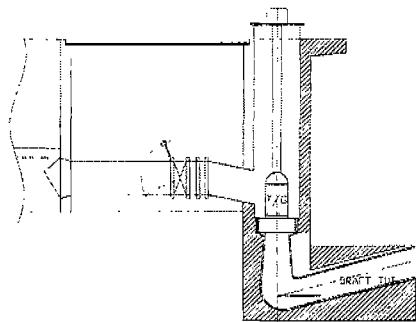
### 2. 하수를 이용한 소수력발전의 성능특성

하수를 이용한 소수력발전의 가능성을 검토하기 위해서는 하수처리장의 본래의 목적인 하수처리공정에 지장을 초래하지 않고 계획된 하수처리량을 원활히 방류시키면서 소수력발전이 가능할 수 있도록 기술적인 특성분석이 필요하며, 이를 통하여 해당 하수처리장에 적합한 발전규모, 발전소의 연평균가동률 및 연간발전량 등을 예측하여야 한다.

소수력발전소의 개발계획에 있어서 발전규모 및 연간발전량 등은 투자비의 규모, 손익분기점 등 편익분석에 가장 중요한 요소가 된다. [그림 1]은 하수를 이용한 소수력발전의 기본도를 나타낸다.

하수를 이용한 소수력발전은 일반 소수력발전과 마찬가지로 유량과 낙차로부터 에너지를 추출하는 것으로 소수력발전소에서 얻을 수 있는 순수한 소수력에너지는 다음과 같다.

$$P_i = \rho g Q H \quad (1)$$



[그림 1] 하수를 이용한 소수력발전의 기본도 [그림 2] 소수력발전소의 출력 특성

[그림 2]는 단위낙차, 단위시간당, 단일기로 구성된 소수력발전소에 대해 유량변화에 대한 출력의 변화를 나타내는 그림이다. 순수한 소수력에너지  $P_i$ 는 유량변화에 따라 선형적으로 변하게 되지만 소수력발전소의 출력  $P_a$ 는 발전소의 설계유량  $Q_r$ 이 존재하기 때문에 특성이 바뀌게 된다.

소수력발전소의 출력은 설계유량 이하에서는 유량변화에 따라 거의 선형적으로 변하게 되지만, 발전설비의 효율로 인하여 순수한 소수력에너지보다 항상 적은 값을 갖는다. 또한 설계유량 이상에서는 설계유량에 해당하는 유량만을 사용하고 이를 초과하는 유량은 월류시켜 방류하기 때문에 출력은 일정하게 유지된다.

소수력발전소에서의 유량변화에 대한 확률밀도함수  $P(Q)$ 를 이용하여 단위시간당 생산되는 평균발전량  $P_e$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_e &= \rho g H_e \eta_s \left( \int_0^{Q_r} P(Q)dQ + \frac{Q_r}{Q_r} \int_{Q_r}^{\infty} P(Q)dQ \right) \\ &= \rho g H_e \eta_s (S_1 + S_2) \end{aligned} \quad (2)$$

소수력발전소의 설비용량  $C$ , 연평균가동률  $L_f$  그리고 연간발전량  $E_a$ 는 다음과 같다.

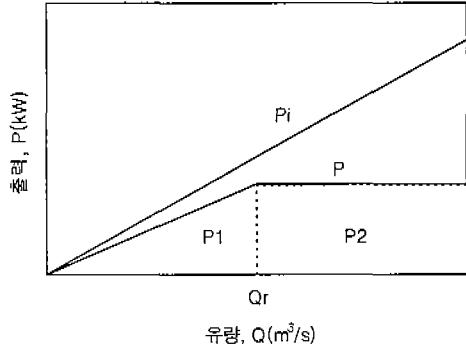
$$C = \rho g H_e Q_r \quad (3)$$

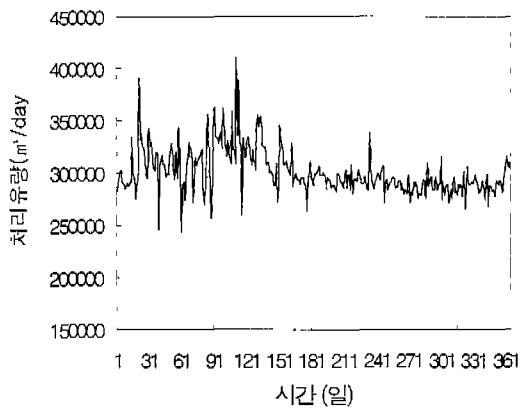
$$L_f = (S_1 + S_2)/Q_r \quad (4)$$

$$E_a = 8,760 C L_f \quad (5)$$

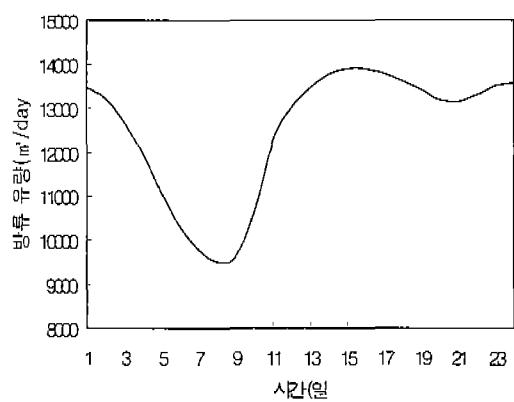
### 3. 결과 및 검토

본 연구에서 분석대상으로 선정한 전주하수처리장의 일처리량은 303,000m<sup>3</sup>/day로 설계되어 있다. [그림 3]과 [그림 4]는 전주하수처리장의 일별 및 시간별 방류량을 나타낸다.



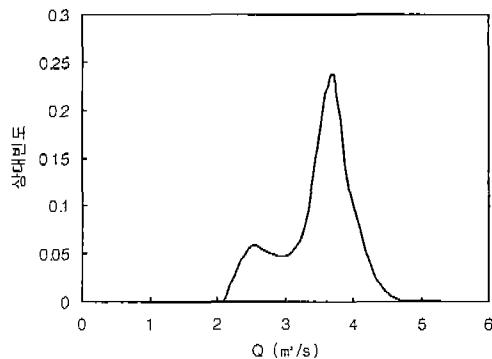


[그림 3] 일별 하수처리량의 변화

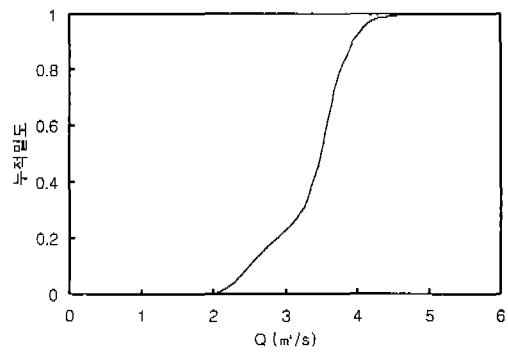


[그림 4] 시간별 하수처리량의 변화

[그림 5]와 [그림 6]은 전주하수처리장의 유량변화에 따른 확률밀도의 분포와 누적밀도의 변화를 나타낸다.



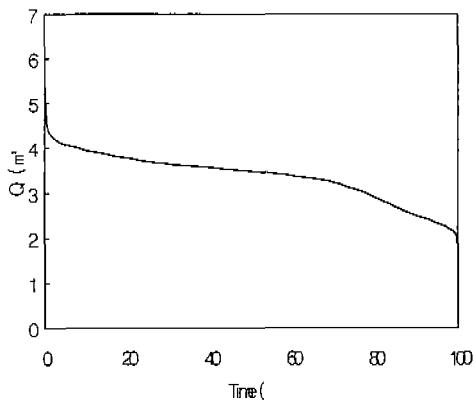
[그림 5] 유량에 따른 확률밀도의 변화



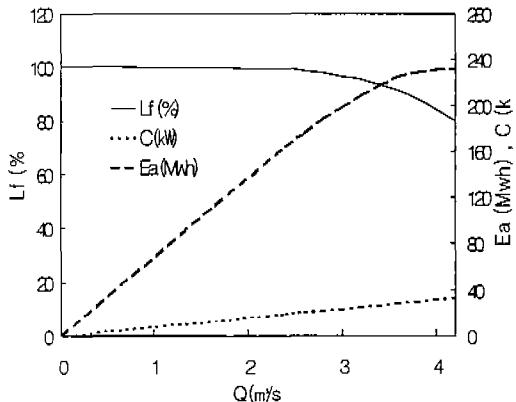
[그림 6] 유량에 따른 누적밀도의 변화

하수처리장의 방류량 자료를 이용하여 확률밀도함수  $P(Q)$ 를 산정하면, 누적밀도함수  $F(Q)$ 를 얻을 수 있다. 하수처리장의 방류량특성을 나타내는 유량지속곡선  $D(Q)=1-F(Q)$ 의 관계를 가지고 하수처리장의 유량지속특성을 산정할 수 있다.

[그림 7]과 [그림 8]은 전주하수처리장의 유량지속곡선과 설계유량의 변화에 따른 연평균가동율, 설비용량 및 연간 발전량의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때 발전소의 총효율은 0.8로 가정하였고 유효낙차는 단위 유효낙차를 적용하였다.



[그림 7] 유량지속곡선



[그림 8] 설계유량변화에 따른 가동율, 설비용량 및 연간발전량의 변화

하수를 이용한 소수력발전소의 설비용량은 설계유량 변화에 따라 선형적으로 변하게 된다. 연 평균 가동율은 설계유량이 증가할수록 감소하며, 설계유량이 작은 영역에서는 서서히, 큰 영역에서는 급히 감소하게 된다. 이러한 현상은 일반하천에 건설되는 소수력발전소의 성능특성과는 전혀 다른 현상으로, 유량지속특성이 크게 다르기 때문에 나타나는 현상이다. 연간발전량은 설계유량이 증가함에 따라 증가하게 되며, 설계유량이 점차 커지면 증가율이 서서히 둔화된다. 이러한 현상은 설계유량이 커짐에 따라 연평균가동율이 점차 감소하기 때문이다.

<표 2>는 하수처리장의 일처리용량을 소수력발전의 설계유량으로 채택하고, 기존설비에서의 유효낙차를 측정하여 소수력발전의 성능특성을 예상한 결과를 보여준다.

<표 1> 소수력발전 설비규모

구 분	유효낙차 (m)	설계유량 (m <sup>3</sup> /s)	설비용량 (kW)	가동율 (%)	발전량 (MWh/년)
전주	3.2	3.50	90	92	725.3

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 하수를 이용한 소수력발전의 성능특성을 예측하는 방법이 제시되었다. 개발된 모델은 하수를 이용한 소수력발전소의 성능특성을 잘 표현하여 준다는 것이 밝혀졌으며, 초기설계 시 본 모델을 이용함으로써 하수를 이용한 소수력발전소의 설계에 관한 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 지역에너지사업의 일환으로 전라북도의 지원으로 수행한 “하수처리장의 미활용 에너지이용 타당성조사 연구”의 일부임을 밝히며 관계자에 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

1. Robert Noyes : "Small and Micro Hydroelectric Power Plants; Technology and Feasibility", Energy Technology Review No.60, Noyes Data Corporation, U.S.A, 1980.
2. 이철형외, "소수력발전소 건설타당성조사 기본계획 연구" 한국에너지기술연구소, 연구보고서, 1997. 충청북도 단양군.
3. 박완순외, "소수력발전소의 출력특성 분석", 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, 1999.
4. 박완순외, "하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전" 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 2000.
5. 이철형외, "하수종말처리장의 소수력발전 타당성조사 연구" 한국에너지기술연구소, 연구보고서, 1999. 충청남도.
6. 이철형외, "하수종말처리장의 소수력발전 타당성조사 연구" 한국에너지기술연구소, 연구보고서, 2000. 충청북도.
7. 이철형외, "하수처리장 미활용에너지 이용 타당성조사 연구" 한국에너지기술연구원, 연구보고서, 2001. 전북경제사회연구원.
8. 박완순외, "An Analysis of Performance Characteristics for Small Hydro Power Plants". KWRA. Vol.2, No1 January 2001.