

하수처리장 방류수를 이용한 소수력발전 성능분석

이철형*, 박완순**

* 한국에너지기술연구원 책임연구원 (lchg@kier.re.kr)

** 한국에너지기술연구원 책임연구원 (pwsn@kier.re.kr)

Performance Analysis of Small Hydropower Plant Using Treated Effluent in Wastewater Treatment Plant

Lee, Chul-Hyung**, Park, Wan-Soon*

* Dept. of Renewable Energy Research, Ph.D., Korea Institute of Energy Research(lchg@kier.re.kr)

** Dept. of Renewable Energy Research, Ph.D., Korea Institute of Energy Research(pwsn@kier.re.kr)

Abstract

A methodology to predict the output performance of small hydro power using treated effluent in wastewater treatment plant has been studied. Existing plant located Kyunggi-Do were selected and the output performance characteristics for these plants were analyzed. As a result, it was found that the developed model in this study can be used to analyze the output characteristics for small hydro power in wastewater treatment plant. Additionally, primary design specifications such as design flowrate, capacity, operational rate and annual electricity production were estimated and discussed.

Keywords : 하수처리장(Wastewater treatment plant), 소수력발전소(Small hydropower plant), 성능분석(Performance analysis), 시설용량(Installed capacity), 연간가동율(Annual operational rate)

기 호 설 명

C	: 시설용량(kW)	L_f	: 소수력발전소의 가동율(%)
$D(Q)$: 유량지속함수	P_a	: 단위시간당 출력량(kWh)
E_a	: 연간발전량(kWh)	P_i	: 수력에너지(kWh)
$F(Q)$: 누적밀도함수	P_1	: 부분출력량(kWh)
g	: 중력가속도(m/s^2)	P_2	: 정격출력량(kWh)
H	: 낙차(m)	Q	: 유량(m^3/s)
H_e	: 유효낙차(m)	Q_r	: 설계유량(m^3/s)
		ρ	: 물의 밀도(kg/m^3)
		η	: 소수력발전소의 효율

1. 서론

문명의 발달과 인간의 생활이 윤택해짐에 따라 산업체와 개인별 사용하는 물의 양이 증가함에 따라 하수의 양도 증가하고 있다. 최근 하수처리량의 증가로 인해 하수처리장에서 사용하는 에너지의 중요성이 재인식되고 있다.

에너지 다소비원인 하수처리시설은 기후협약에 따른 온실가스 저감시설로서의 그 역할이 증대되고 있다. 환경부는 ‘하수처리시설 에너지 자립화 계획’을 통해 2015년까지 에너지 자립율 18%를 목표로 하고 있으며, 이를 위해서는 미활용 에너지를 이용한 능동적 에너지 생산이 필요하다. 그 중 소수력발전은 공급 안정성이 우수하고 장기적으로 보면 발전가격이 안정적이다. 특히 소수력발전은 일정한 처리수가 방류되는 하수처리장에 적용되었을 때 그 가동율은 하천에 설치되는 소수력발전소에 비하여 매우 높다고 알려져 있으며, 향후 하수처리장에 널리 보급될 수 있는 청정에너지원이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 경기도 용인시에 위치한 기흥레스피아 하수처리장을 대상으로 수행된 소수력 발전에 대해 분석하였다.

2. 하수처리장의 소수력발전 성능특성

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

하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전은 월류댐을 갖는 일반 소수력발전과 마찬가지로 유량과 낙차로부터 에너지를 추출하는 것으로 소수력발전소에서 얻을 수 있는

순수한 소수력에너지는 다음과 같다.

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

그림 1은 월류댐을 갖는 소수력발전소의 경우, 단위낙차, 단위시간당, 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.

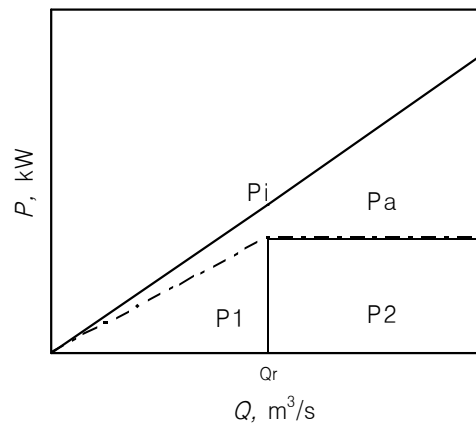


그림 1. 소수력발전소의 출력 특성

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 단위시간당 생산되는 평균발전량 P_e 를 구하면 다음과 같다.

$$P_a = P_1 + P_2 \quad (2)$$

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

$$C = \rho g H Q_r \eta \quad (3)$$

$$L_f = P_a / C_r \quad (4)$$

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

3. 결과 및 검토

본 연구에서 분석대상으로 선정된 기흥레스피아 하수처리장은 일처리량이 50,000m³/일로 설계되어 있다. 그림 2는 기흥레스피아 하수처리장의 연도별 일 하수처리량의 변화를 보여준다.

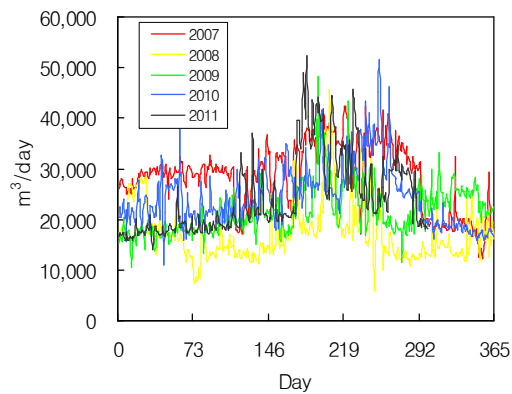


그림 2. 연도별 일 하수처리량의 변화

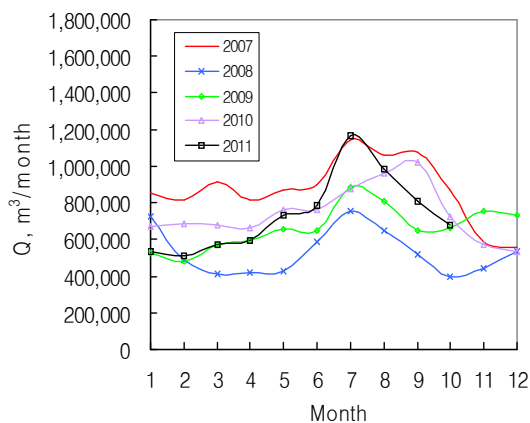


그림 3. 연도별 월 하수처리량의 변화

그림 3은 연도별 월 하수처리량의 변화를 보여준다.

그림 4는 하수처리량변화에 따른 누적밀도의 분포를 나타낸다.

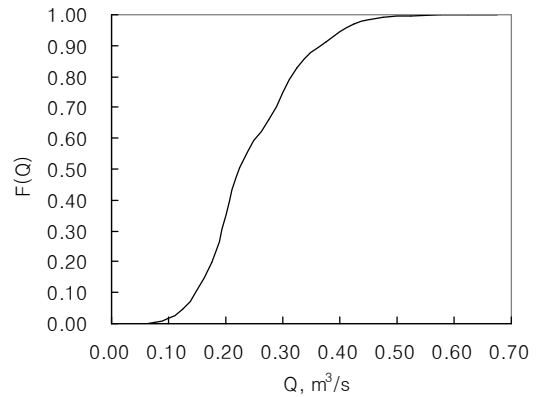


그림 4. 하수처리량의 누적밀도분포

하수처리장에서 방류되는 방류량자료를 이용하여 누적밀도함수 $F(Q)$ 를 얻을 수 있다.

하수처리장의 방류량특성을 나타내는 유량지속곡선 $D(Q)=1-F(Q)$ 의 관계를 가지므로 하수처리장의 유량지속특성을 산정할 수 있다.

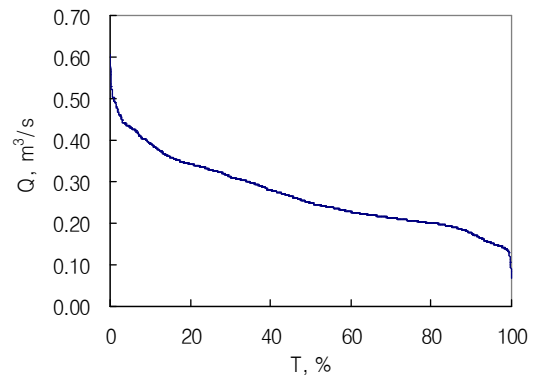


그림 5. 유량지속곡선

그림 5는 기흥레스피아 하수처리장의 유량지속곡선을 나타낸다.

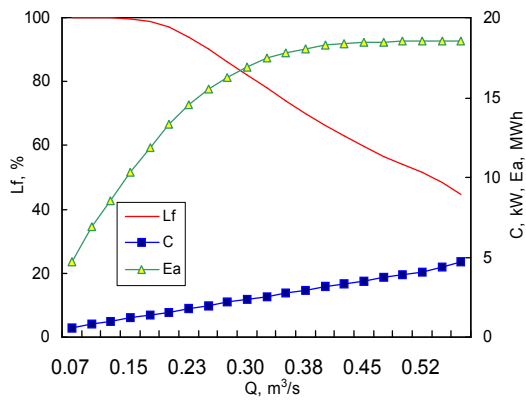


그림 6. 설계유량변화에 따른 설비용량, 가동율 및 연간발전량의 변화

그림 6은 설계유량의 변화에 따른 연평균 가동율, 설비용량 및 연간 발전량의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때 발전소의 총효율은 0.75로 가정하였고, 유효낙차는 단위 유효낙차를 적용하였다.

소수력발전소의 설비용량은 설계유량 변화에 따라 선형적으로 변하게 된다. 연 평균 가동율은 설계유량이 증가할 수록 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.

기흥레스피아 하수처리장의 경우, 설계유량을 $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ 으로 선정하면, 설비가동율은 74%이며, 연간발전량은 16.6 MWh로 산정된다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 하수처리장의 처리수를 이용한 소수력발전의 성능특성을 예측하는 방법이 제시되었다. 개발된 모델은 하수처리

장의 방류수를 이용한 소수력발전소의 성능 특성을 잘 표현하여 준다는 것이 밝혀졌다. 비교적 일정한 방류량을 가졌다고 알려진 하수처리장의 경우 시간별, 일별, 계절별 변화가 있어 유량지속곡선을 통한 설계유량 산정이 필요하였다. 하수처리장 방류수를 이용한 소수력발전소의 설계시 본 연구에서 제시된 모델을 이용하여 소수력발전시스템의 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 환경부 “글로벌탑 환경기술개발사업”으로 지원받은 과제임.(과제번호: GT-11-B-01-010-1)

참 고 문 헌

1. 이철형외, “하수종말처리장의 소수력발전 타당성조사 연구” 한국에너지기술연구소, 연구보고서, 충청북도, 2000.
2. 환경부, “하수처리시설 에너지 자립화 기본계획”, 환경부 생활하수과, 2010.
3. 에너지관리공단 신재생에너지센터, “신재생에너지 R&D 전략 2030 시리즈: 소수력”, 북스힐, 2008.