

소수력발전소의 성능예측 기법에 관한 연구

A Study on the Performance Prediction Methodology of Small Hydropower Plant

박완순*, 이철형*, 정상만**
Wan Soon Park, Chul Hyung Lee, Sang Man Jeong

Abstract

A model, which can analyze the hydrological performance for small hydropower(SHP) plants having no flow duration characteristics has been studied and developed. System performance of existing SHP plant under operating was analyzed by using the developed model. The annual operational rate of SHP plant showed that the data were in good agreement with predicted results from the model. Based on these results, several SHP sites to be exploited were selected and the performance characteristics were analyzed by using the developed model. Also, primary design values such as design flow rate, plant capacity, and operational rate were suggested. As a result, it was found that the methodology used in this study is useful tool to predict the hydrological system performances of SHP sites.

Key words: SHP, Load factor, Design flowrate, Diversion dam

1. 서 론

소수력 발전은 다른 발전방식에 비해 환경에 대한 영향이 거의 없어 깨끗하고 재생이 가능한 에너지로 그 경제성은 발전 지점의 특성, 개발형식, 설비용량 등에 따라 큰 영향을 받는다. 따라서 효과적인 소수력 개발을 위해서는 영향인자들에 대한 정확한 분석이 수행되어야만 한다.

유량의 실측자료가 매우 부족하여 개발지점의 계측자료를 이용할 수 없는 소수력 개발의 경우 시간과 경비 등 여러 가지 제한을 고려할 때 수문학적인 근거에 바탕을 둔 비교적 간편한 기상 및 지형정보와 경험적인 가정치만을 요구하는 방법 등을 개발하여 이용하는 것이 바람직할 것이다.

따라서 본 연구는 소수력 발전소의 성능예측 기법을 구축하기 위한 것이며, 이와 같이 구축된 성능예측 기법을 기존 소수력 발전소 등에 적용하여 기법의 신뢰성을 확인하였다.

2. 소수력 발전소의 성능예측 기법 구축

2.1 소수력 발전소의 유량지속특성

소수력 개발 지점에서의 유량지속곡선을 나타내는 유량지속곡선함수 $D(q_i)$ 는 누적분포함수 $F(q_i)$ 와 다음과 같은 관계를 갖는다.

* 정회원 · 한국에너지기술연구원 · E-mail : pwsn@kier.re.kr

* 정회원 · 한국에너지기술연구원 · E-mail : lchg@kier.re.kr

** 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수 · E-mail : smjoeng@kongju.ac.kr

$$D(q_i) = W_i - F(q_i) = \sum W_i \exp - \left(\frac{q_i}{\beta_i} \right)^{\alpha_i} \quad (1)$$

2.2 소수력 발전소의 성능예측

소수력 발전시스템은 유량과 낙차로부터 에너지를 추출하는 것으로 소수력 발전소에서 얻을 수 있는 순수한 소수력 에너지 P_i 는 다음과 같다.

$$P_i = \rho g Q H \quad (2)$$

Weibull 확률밀도함수를 이용하여 소수력 발전소에서 얻을 수 있는 단위시간당 생산되는 평균 전기에너지양 P_a 를 구하면 다음과 같다.

$$P_a = \rho g H \sum_0^{Q_r} \eta_s A_i q_i P(q_i) dq_i + \rho g H \eta_s Q_r \sum_{Q_r}^{\infty} P(q_i) dq_i \quad (3)$$

식 (3)의 첫 항에서 η_s 는 유량에 따라 변하는 값이지만 큰 변화가 없다고 가정하여 적분식 밖으로 빼내어 정리하면,

$$\begin{aligned} P_a &= \rho g H \eta_s \left[\sum_0^{Q_r} A_i q_i P(q_i) dq_i + Q_r \sum_{Q_r}^{\infty} P(q_i) dq_i \right] \\ &= \rho g H \eta_s (S_1 + S_2) = P_1 + P_2 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 P_1 , P_2 는 각각 소수력 발전시스템의 부분 및 정격출력을 나타낸다.

2.3 소수력 발전소의 출력 저하량 예측

낙차변화를 고려한 실제 가동율은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$L_{R2} = L_{R1} \times (1 - \Delta L_f) \quad (5)$$

여기서, 가동율 저하율 ΔL_f 는 실제 운영중인 소수력 발전소의 운전율을 참고하여 결정할 수 있다. 실제 운영중인 소수력 발전소의 운전율을 참고하여 선형 회귀분석한 결과 가동율 저하율 ΔL_f 은 식(6)과 같이 유효낙차의 함수로 표시된다.

$$\Delta L_f = -0.1825 H_e + 7.3989 \quad (6)$$

3. 소수력발전소의 성능예측 영향인자 검토

소수력발전소의 성능에 영향을 주는 인자로는 유출계수, Weibull 분포의 형상계수 (α) 및 Weibull분포의 척도계수 (β) 등을 들 수 있으며, 이들 인자들이 각각 유량지속특성과 시스템의 가동율에 미치는 영향을 분석하였다.

3.1 유출계수

3.1.1 유량지속특성과의 관계

유출계수의 유량지속특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 한강수계에 위치한 유역면적이 634.6km²인 평창강 유역을 선정하였으며, 형상계수 α 와 척도계수 β 가 일정하고, 낙차 H 와 시스템효율 η_s 가 일정할 때 유출계수 변화에 따른 유량지속곡선의 변화를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에 나타난 바와같이 유출계수의 변화에 따라 유량지속특성이 크게 차이가 날 수 있다. 따라서 소수력개발 지점에서의 유출계수 k 가 소수력발전소의 초기설계와 성능에 큰 영향을 주게된다.

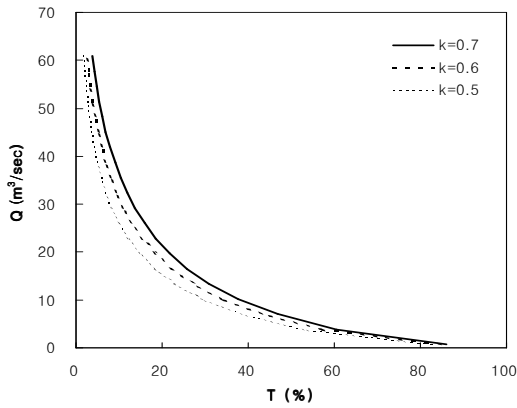


그림 1. 유출계수 변화에 따른 유량 지속특성

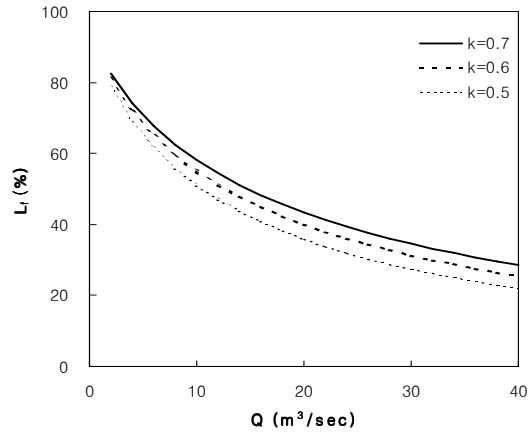


그림 2. 유출계수 변화에 따른 가동율

3.1.2 가동율과의 관계

평창강 유역의 형상계수 α 와 척도계수 β 가 일정하고, 낙차 H 와 시스템효율 η_s 가 일정할 때 유출계수 변화에 따른 가동율의 변화를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에 표시된 바와같이 동일 유량 조건에서 유출계수 k 가 클 수록 가동율이 증가됨을 알 수 있다.

3.1.3 설계유량 산정을 위한 정격출력과의 관계

그림 3은 평창강 유역에 대하여 유출계수 변화에 따른 설계유량 산정의 지표가 되는 정격출력 P_2 의 최대값 변화를 나타내고 있다.

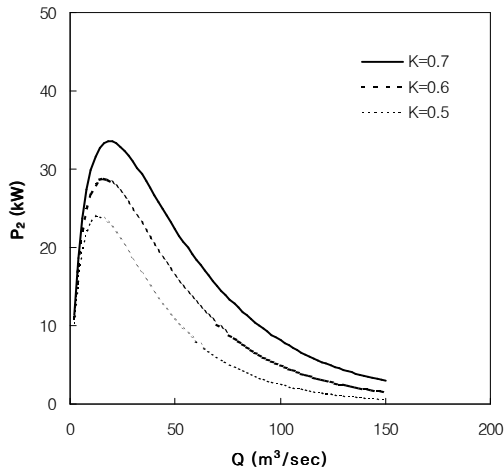


그림 3. 유출계수변화에 따른 정격출력

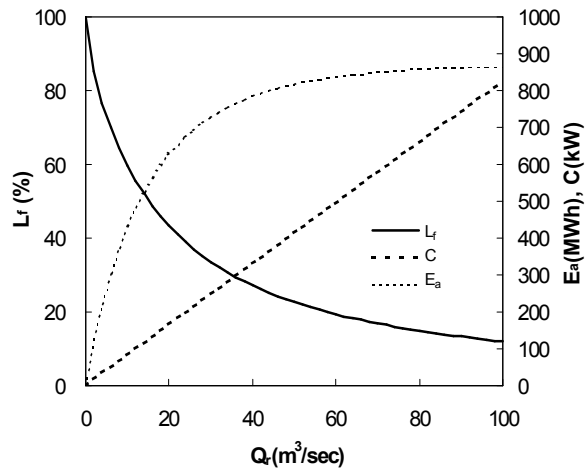


그림 4. A 소수력발전소의 성능특성

그림 1, 그림 2 및 그림 3에 나타난 바와같이 유출계수에 따라 유량지속특성, 가동율 및 정격출력 등이 크게 변화함을 알 수 있다. 또한 Weibull분포의 형상계수(α)와 척도계수(β) 등도 성능에 영향을 미치는 중요한 인자이다.

4. 성능예측 기법의 검토 및 결과

4.1 A 소수력 발전소

A 소수력 발전소는 낙동강 수계의 상류에 위치하며, 초기 설계 제원은 Table 1과 같이 요약된다.

그림 4는 A 소수력 발전소의 설계유량의 변화에 따른 연 평균가동율, 설비용량 및 연간 발전량의 변화를 나타내는 그림이다.

표 1. A 소수력발전소의 초기설계 제원

Parameters	Initial design values
$A(km^2)$	845.6
$Q_r(m^3/sec)$	17.8
$H_e(m)$	13.6
$P(kW)$	2,000.0

A 소수력 발전소의 초기 설계 제원으로 유효낙차는 13.6 m를 적용하였다. Table 1에서 설계유량은 $17.8 m^3/sec$ 이므로, 유량지속곡선상의 시간비는 21.8%이고, 그림 4로부터 연 평균 가동율은 44.0%, 연간 예상 발전량은 7,708.8MWh로 산정 됨을 알 수 있다.

4.2 A 소수력 발전소의 연평균 가동율 및 발전량 분석

그림 5는 본 연구를 통하여 개발된 소수력 발전소의 성능예측 기법을 이용한 A 소수력 발전소의 성능예측 결과를 나타낸다. 여기서 낙차와 효율이 일정할 경우와 변화할 경우의 가동율 및 연간 전기생산량 등 제반 성능을 알 수 있다. 또한 그림 6은 A 소수력 발전소의 1989년부터 2005년 까지 17년간의 실제 운영실적과 성능예측 결과를 비교한 것으로서 성능예측결과는 가동율이 44.00%, 실제운영실적은 연평균가동율이 41.85%로서 매우 근사함을 나타내주고 있다.

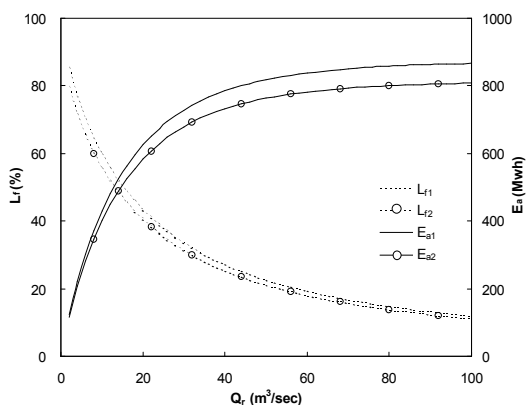


그림 5. A 소수력발전소의 성능예측결과

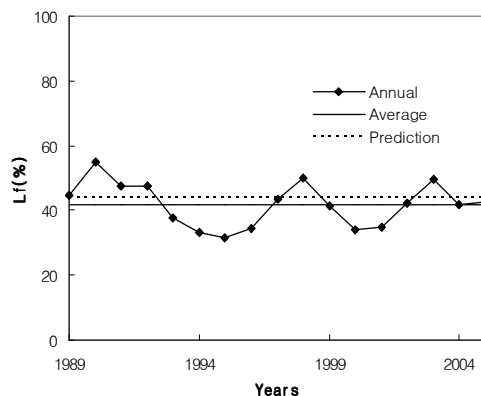


그림 6. A 소수력발전소의 성능예측과 운영실적 비교

5. 결론

우리나라에 산재되어 있는 대부분의 소수력개발 지점은 미계측 하천에 위치하고 있으며, 수문자료가 부족한 소수력 개발 지점에서의 수문특성분석 등 성능예측에 어려움이 많았다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 소수력 개발지점

에 대한 수문특성 및 성능특성분석이 가능한 소수력 발전소의 성능예측 기법을 구축하였다. 또한, 이를 기존 운영중인 소수력 발전소에 적용한 결과 기법의 신뢰성이 확보되었다. 따라서 본 연구의 결과를 이용함으로써 신규 소수력 개발시에 정확한 초기 설계와 성능예측으로 해당구역의 합리적인 수자원 이용이 가능하게 되었다.

참 고 문 헌

- 1) 차종희 외, 소수력발전의 설계에 관한 연구, 대한전기협회, 조사연구논문, 1982.
- 2) 이철형 외, 소수력발전소 건설 타당성조사 기본계획 연구, 한국에너지기술연구소, 연구보고서, 1997.
- 3) 박완순, 이철형, 심명필, “국내 소수력발전입지의 개발타당성 분석”, 대한토목학회논문집, Vol. 17, No. II-3, 1997, pp. 197-205.
- 4) 김 승, “우리나라 수자원 정책의 문제점과 대안”, 물위기 시대 우리나라 수자원 정책, 환경정책 시민연대, 2000, pp 187-201.
- 5) Robert Noyes, Small and Micro Hydro-Electric Power Plants “Technology and Feasibility”, Energy Technology Review, No.60, Noyes Data Corporation, U.S.A., 1980, pp 165-171.
- 6) Park, Wan-Soon, Lee, Chul-Hyung, and Jeong, Sang-Man(2001), "An Analysis of Performance Characteristics for Small Hydro Power Plants", KWRA, Vol. 2, No. 1, 2001, pp. 11-19.