

# 소수력발전소의 성능예측 기법에 관한 연구

○ 박완순\*, 이철형\*, 정상만\*\*

## 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(차중희 외, 1982).

유량의 실측자료가 매우 부족하여 개발지점의 계측자료를 이용할 수 없는 소수력 개발의 경우 시간과 경비 등 여러 가지 제한을 고려할 때 수문학적 근거에 바탕을 둔 비교적 간편한 기상 및 지형정보와 경험적인 가정치만을 요구하는 방법 등을 개발하여 이용하는 것이 바람직할 것이다(이철형 외, 1997).

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 이철형(1997) 등에 의하면 누적분포함수  $F(q_i)$ 와 다음과 같은 관계를 갖는다.

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

### 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(박완순 외, 1997).

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

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

$$P_a = \rho g H \sum \int_0^{Q_r} \eta_s A_i q_i P(q_i) dq_i + \rho g H \eta_s Q_r \sum \int_{Q_r}^{\infty} P(q_i) dq_i \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} P_a &= \rho g H \eta_s \left[ \sum \int_0^{Q_r} A_i q_i P(q_i) dq_i + Q_r \sum \int_{Q_r}^{\infty} P(q_i) dq_i \right] \\ &= \rho g H \eta_s (S_1 + S_2) = P_1 + P_2 \end{aligned} \quad (4)$$

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

---

\* 한국에너지기술연구원, \*\* 공주대학교 토목환경공학과 교수

### 2.3 소수력 발전소의 출력 저하량 예측

낙차변화를 고려한 실제 가동율은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$L_R = L_A \times (1 - \Delta L_f) \quad (5)$$

여기서, 가동율 저하율  $\Delta L_f$ 는 실제 운영중인 소수력 발전소의 운전율을 참고하여 결정할 수 있다. 실제 운영중인 소수력 발전소의 운전율을 참고하여 선형 회기분석한 결과 가동율 저하율  $\Delta L_f$ 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(김 승, 2000), Weibull 분포의 형상계수 ( $\alpha$ ) 및 Weibull분포의 척도계수 ( $\beta$ ) 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 634.6km<sup>2</sup>인 평창강 유역을 선정하였으며, 형상계수  $\alpha$ 와 척도계수  $\beta$ 가 일정하고, 낙차  $H$ 와 시스템효율  $\eta_s$ 가 일정할 때 유출계수 변화에 따른 유량지속곡선(Noyes, 1980)의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에 나타난 바와같이 유출계수의 변화에 따라 유량지속특성이 크게 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 소수력개발 지점에서의 유출계수  $k$ 가 소수력발전소의 초기설계와 성능에 큰 영향을 주게된다.

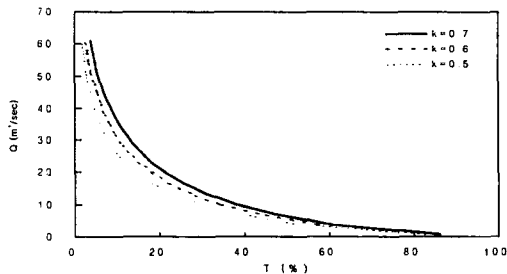


Fig. 1. Flow duration characteristic versus runoff coefficient.

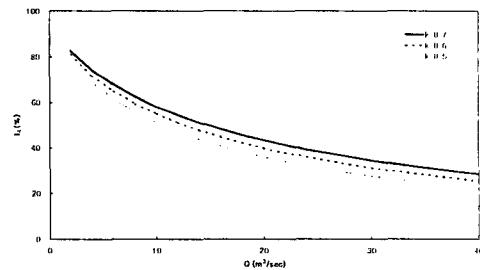


Fig. 2. Operational rate versus runoff coefficient.

평창강 유역의 형상계수  $\alpha$ 와 척도계수  $\beta$ 가 일정하고, 낙차  $H$ 와 시스템효율  $\eta_s$ 가 일정할 때 유출계수 변화에 따른 가동율의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에 표시된 바와같이 동일 유량 조건에서 유출계수  $k$ 가 클 수록 가동율이 증가됨을 알 수 있다.

#### 3.2 Weibull 분포의 형상계수 ( $\alpha$ )

##### 3.2.1 유량지속특성과의 관계

평창강 유역의 유출계수  $k$ 와 척도계수  $\beta$ 가 일정하고, 낙차  $H$ 와 시스템효율  $\eta_s$ 가 일정할 때 형상계수  $\alpha$  변화에 따른 유량지속곡선의 변화를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에 나타난 바와같이 평창강 유역의 설계유량 14.0 m<sup>3</sup>/sec 점을 기준으로 하여 강우특성을 나타내는 형상계수  $\alpha$  변화에 따른 유량지속특성은 형상계수  $\alpha$ 가 1.2  $\alpha$ , 1.0  $\alpha$ , 0.8  $\alpha$  일 때 유량지속특성인 시간비가 각각 21.8%, 24.2%, 26.6%로 형상계수의 값이 감소함에 따라 시간비가 증가함을 알 수 있다. 따라서 형상계수의 변화에 따라 유량지속특성이 변화됨을 알 수 있다.

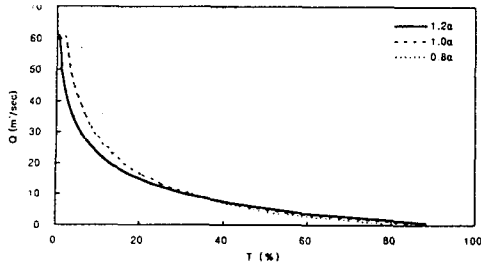


Fig. 3. Flow duration characteristic versus shape parameter.

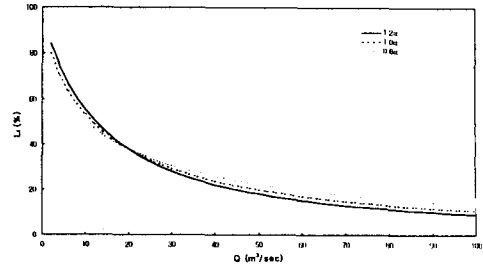


Fig. 4. Operational rate versus shape parameter.

### 3.2.2 시스템 가동율과의 관계

평창강 유역의 유출계수  $k$ 와 척도계수  $\beta$ 가 일정하고, 낙차  $H$ 와 시스템효율  $\eta_s$ 가 일정할 때 형상계수  $\alpha$ 변화에 따른 가동율의 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에 표시된 바와 같이 평창강 유역의 설계유량  $140 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에서 형상계수  $\alpha$ 가 각각  $0.8\alpha$ ,  $1.0\alpha$ ,  $1.2\alpha$  일때 가동율은 각각 47.0%, 45.9%, 44.6%가 된다. 이와같이 형상계수도 유출계수와 마찬가지로 시스템가동율 등 성능에 영향을 주는 요인임을 알 수 있다.

### 3.3 Weibull분포의 척도계수 ( $\beta$ )

#### 3.3.1 유량지속특성과의 관계

평창강 유역의 유출계수  $k$ 와 형상계수  $\alpha$ 가 일정하고, 낙차  $H$ 와 시스템효율  $\eta_s$ 가 일정할 때 척도계수  $\beta$ 변화에 따른 유량지속곡선의 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 평창강 유역의 설계유량인  $140 \text{ m}^3/\text{sec}$  점을 기준으로 하여 강우특성을 나타내는 척도계수 변화에 따른 유량지속특성은 척도계수  $\beta$ 가  $1.2\beta$ ,  $1.0\beta$ ,  $0.8\beta$ 일 때 시간비가 각각 28.5%, 24.2%, 19.2%로 척도계수값이 감소함에 따라 시간비도 감소함을 알 수 있다. 따라서 해당유역의 척도계수 변화에 따라 유량지속특성이 차이가 남을 알 수 있다.

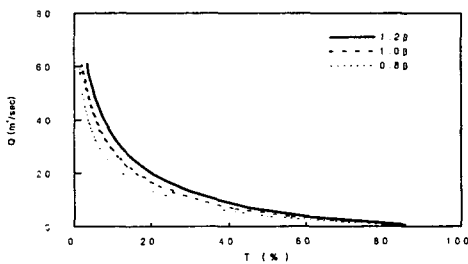


Fig. 5. Flow duration characteristic versus scale parameter.

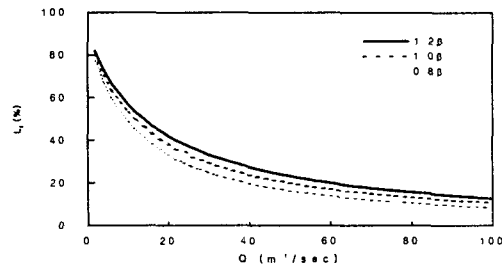


Fig. 6. Operational rate versus scale parameters.

### 3.3.2 시스템 가동율과의 관계

평창강 유역의 유출계수  $k$ 와 형상계수  $\alpha$ 가 일정하고, 낙차  $H$ 와 시스템효율  $\eta_s$ 가 일정할 때 척도계수  $\beta$ 변화에 따른 시스템 가동율의 변화를 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 평창강 유역의 설계유량  $140 \text{ m}^3/\text{sec}$ 에서 척도계수  $\beta$ 가 각각  $0.8\beta$ ,  $1.0\beta$ ,  $1.2\beta$  일때 가동율은 각각 41.0%, 45.9%, 49.9%가 된다. 척도계수 변화에 따른 가동율 감소율은 척도계수가  $1.2\beta$ 일 때를 기준으로 척도계수가  $1.0\beta$ 일 경우는 8.0%, 척도계수가  $0.8\beta$ 일 경우는 17.8% 정도가 된다. 이와같이 척도계수도 시스템 가동율 등 성능에 영향을 주는 요인임을 알 수 있다.

#### 4. 성능예측 기법의 검토 및 결과

##### 4.1 A 소수력 발전소의 연평균 가동률 및 발전량 분석

A 소수력 발전소는 낙동강 수계의 상류에 위치하며, 유역면적은 845.6km<sup>2</sup>이다. Fig. 7은 본 연구를 통하여 개발된 소수력 발전소의 성능예측 기법을 이용한 A 소수력 발전소의 성능예측 결과를 나타낸다. 여기서 낙차와 효율이 일정할 경우(Park, 2001)와 변화할 경우의 가동률, 연간 전기생산량 등 제반 성능을 알 수 있다. 또한 Fig. 8은 A 소수력 발전소의 1989년부터 2000년 까지 12년간의 실제 운영실적과 성능예측 결과를 비교한 것으로서 성능예측결과가 실제운영실적과 근사함을 나타내 주고 있다.

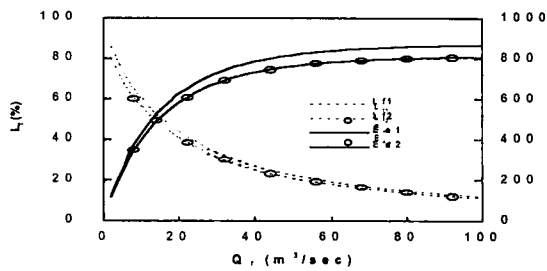


Fig. 7. Performance prediction at A SHP plant.

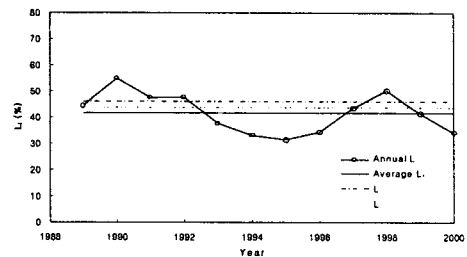


Fig. 8. Performance evaluation at A SHP plant.

#### 5. 결 론

미계측 하천에 위치하게 되어 수문자료가 부족한 소수력 개발 지점에 대한 유량지속곡선 작성, 성능 및 출력 저하량 예측 기법이 조합된 소수력 발전소의 성능예측 기법을 구축하였고, 이를 기존 운영중인 소수력 발전소에 적용한 결과 기법의 신뢰성이 확보되었다. 따라서 본 연구의 결과를 이용함으로써 신규 소수력 개발시에 정확한 초기 설계와 성능예측으로 해당유역의 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.