

# 소수력자원의 지리적 분포특성

## Geographical Distributuon Characteristics of Small Hydropower Resources

이철형\* / 박완순\*

Chul Hyung Lee / Wan Soon Park

### 요 지

수계별 소수력자원의 특성에 대한 연구가 수행되었다. 이를 분석하기 위하여 유량지속특성을 예측할 수 있는 모델이 개발되었고, 이를 기반으로 하여 소수력발전소의 수문학적 성능특성을 예측할 수 있는 모델이 개발되었다. 개발된 모델의 효용성을 확인하기 위하여 안동댐에서 측정된 월유입량자료를 분석하였다. 안동댐에서의 장기유입량을 분석한 결과, 본 연구에서 개발된 예측모델로부터 획득한 결과가 실측자료와 잘 일치하였다. 본 연구에서 개발된 모델은 소수력발전지점의 수력가용량과 연간출력량을 예측하는데 유용하게 사용될 수 있다는 것이 밝혀졌다. 개발된 모델을 이용하여 주요 수계에 위치한 소수력발전입지의 수문학적 성능특성을 분석한 결과 수계별로 차이를 나타냈다. 특히 북한강수계와 낙동강수계에 위치한 소수력발전입지는 다른 수계에 위치한 소수력발전입지에 비하여 비설계유량과 비출력 등에 대한 수문학적 성능에 많은 차이를 나타냈다.

**핵심용어** : 소수력자원, 비가용량, 비설계유량, 비출력량, 가동율

### 1. 서 론

에너지자원이 절대 부족한 우리나라의 입장에서는 에너지 해외의존도를 경감시키고 에너지를 안정시키기 위하여 부존에너지를 최대한 활용하는 것이 매우 중요하다. 소수력자원은 다른 신재생에너지원에 비하여 에너지밀도가 매우 크기 때문에 개발할 가치가 큰 부존자원으로 평가되고 있다 (김길호 등, 2007).

소수력자원의 개발을 위해서는 해당지점에서의 자원량의 산정이 매우 중요하며, 이의 산정은 장기간의 관측자료를 필요로 한다. 그러나 이러한 방법은 수행 인원 및 사용장비 등에 따른 경제적인 문제가 따른다. 이와 같은 제한점을 해결하기 위하여 수문학적인 계측자료가 부족한 우리나라의 소수력발전입지에 대한 수문학적 특성을 분석하기 위한 해석방법이 연구되어 왔다(Lee and Park, 1992; 박완순 등, 1997; Park et al., 2001).

본 연구에서는 수계별 소수력발전지점에 대하여 소수력가용잠재량과 기술적잠재량의 분포특성을 분석하였다. 수계별 가용잠재량의 분포특성을 분석한 결과, 남한강, 금강, 섬진강수계의 경우에는 비교적 좁은 범위에서 분포되어 있으나, 북한강수계와 낙동강수계는 지점에 따라 가용잠재량의 분포가 큰 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

### 2. 하천의 유량지속특성 분석

유출계수( $k$ )가 연중 일정한 값을 유지한다면 하천에서의 월평균유입량( $Q_m$ ,  $m^3/s$ )은 월평균강수량

\* 정희원 · 한국에너지기술연구원 · 책임연구원 · Email: lchg@kier.re.kr

\* 정희원 · 한국에너지기술연구원 · 책임연구원 · Email: pwsn@kier.re.kr

$(R_m, mm)$ 과 유역면적( $A, km^2$ )으로부터 다음과 같이 산정된다.

$$Q_m = \frac{R_m \times 10^{-3} \times A \times 10^6 \times k}{30.42 \times 24 \times 60 \times 60} \quad (1)$$

식(2)를 이용하여 관측소에서 측정된 월강수량 ( $R_m, mm$ )을 월평균유입량으로 환산할 수 있으며, 이를 이용하여 유량지속곡선을 작성할 수 있다. 유량지속곡선은 유입량을 크기별로 누적시킨 것으로 특정한 누가확률분포함수의 형태로 표시할 수 있다.

본 연구에서는 월강수량을 월평균유입량으로 환산하여 구해진 유량지속곡선을 Weibull분포의 누가확률분포함수를 이용하여 특성화하였다.

Weibull분포의 누가확률분포함수( $F(Q)$ )는 다음과 같이 표시된다.

$$F(Q) = \int_0^Q P(Q) dQ = 1 - \exp(-(Q/\beta)^\alpha) \quad (2)$$

여기서  $P(Q)$ 는 Weibull분포의 확률밀도함수를 나타내며, 다음과 같이 표시된다.

$$P(Q) = (\alpha/\beta)(Q/\beta)^{\alpha-1} \exp(-(Q/\beta)^\alpha) \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 Weibull분포의 형상모수와 척도모수( $m^3/s$ )를 나타낸다.

소수력발전소에서의 유량지속곡선을 나타내는 유량지속함수( $D(Q)$ )는 누가확률분포함수와와의 관계를 통하여 다음과 같이 구해진다.

$$D(Q) = 1 - F(Q) = \exp(-(Q/\beta)^\alpha) \quad (4)$$

### 3. 소수력발전소의 수문학적 성능특성 분석

Fig. 1은 낙차가 일정한 경우, 유입량변화에 따른 소수력발전소의 출력의 변화를 나타내는 그림이다.

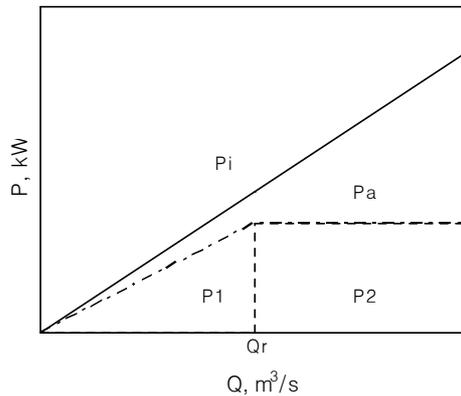


Fig. 1. Output of SHP Plant

하천의 유입량은 항상 변하기 때문에 단위시간당의 이상적인 수력에너지( $P_i, kWh$ )는 다음과 같이 산

정할 수 있다.

$$P_i = \rho g H \int_0^\infty Q P(Q) dQ \quad (5)$$

여기서  $\rho$ ,  $g$ ,  $Q$  그리고  $H$ 는 각각 물의 밀도( $kg/m^3$ ), 중력가속도( $m/s^2$ ), 유입량( $m^3/s$ ) 그리고 낙차(m)를 나타낸다.

소수력가용량( $P_{ia}$ ,  $kWh$ )은 이상적인 수력에너지의 연간 총량으로써 다음과 같이 산정된다.

$$P_{ia} = 8760 P_i \quad (6)$$

소수력발전소는 월류댐을 사용하기 때문에 설계유량 이하의 유입량은 모두 출력으로 변환할 수 있으나, 설계유량 이상의 유입량의 경우에는 설계유량에 해당되는 유입량만을 사용하고 초과되는 유입량은 월류댐 상단을 통하여 방류하게 된다.

소수력발전소에서 얻을 수 있는 단위시간당의 출력량( $P_a$ ,  $kWh$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_a = \rho g H \eta \int_0^{Q_r} P(Q) Q dQ + \rho g H Q_r \eta \int_{Q_r}^\infty P(Q) dQ = P_1 + P_2 \quad (7)$$

여기서  $\eta$ 와  $Q_r$ ( $m^3/s$ )은 소수력발전소의 효율과 설계유량을 나타낸다.

소수력발전입지에 소수력발전소를 건설할 경우, 시설용량( $C$ ,  $kW$ )과 연간가동율( $L_f$ , %)은 다음과 같다(박완순, 이철형, 2008).

$$C = \rho g H Q_r \eta \quad (8)$$

$$L_f = P_a / C \quad (9)$$

연간출력량( $E_a$ ,  $kWh$ )은 소수력발전소에서 얻을 수 있는 연간 총에너지양이며, 다음과 같이 산정된다.

$$E_a = 8,760 C L_f \quad (10)$$

#### 4. 결과 및 검토

수계별 소수력자원의 수문학적 성능특성을 분석하기 위하여 북한강수계 6개소, 남한강수계 7개소, 금강수계 9개소, 낙동강수계 12개소, 그리고 섬진강수계 6개소의 소수력발전입지를 선정하였다. 선정된 소수력발전입지의 유역면적은 북한강수계의 경우, 167~496 $km^2$ , 남한강수계는 215~2294 $km^2$ , 금강수계는 278~1804 $km^2$ , 낙동강수계는 148~1219 $km^2$  그리고 섬진강수계는 311~4209 $km^2$ 로 분포되어 있다.

Fig. 2는 단위유역면적당의 가용량, 즉 비가용량의 수계별 특성을 나타내는 그림이다. 비가용량의 분포영역은 낙동강수계의 경우 가장 크게 나타나고 있으며, 북한강수계도 다른 수계에 비하여 분포범위가 큰 것으로 나타났다.

소수력발전소의 설계유량은 해당지점의 수문학적 특성과 경제성을 검토하여 유량지속곡선상의 20%에서 30%사이에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한다. 본 연구에서는 일반적으로 설계유량으로 많이 선정되는 유량지속곡선상의 25%에 해당하는 유량을 설계유량으로 채택하였을 경우, 수계별 수문학

적 성능특성의 변화를 고찰하였다.

Fig. 3은 수계별 비설계유량의 특성을 나타낸 것으로 비설계유량은 비가용량의 분포와 유사하게 낙동강수계와 북한강수계가 넓게 분포되고, 남한강수계, 금강수계 및 섬진강수계는 비교적 작은 범위로 분포된다.

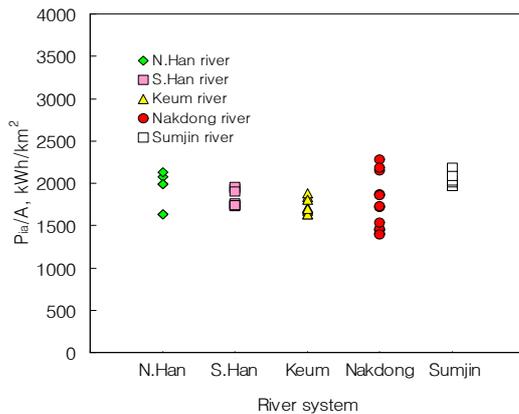


Fig. 2. Specific Potential for River Systems

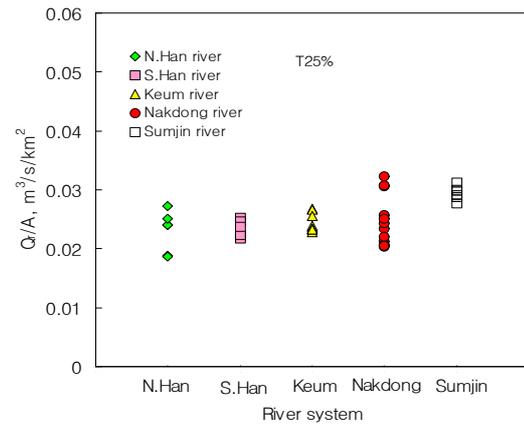


Fig. 3. Specific Design Flowrate for River Systems

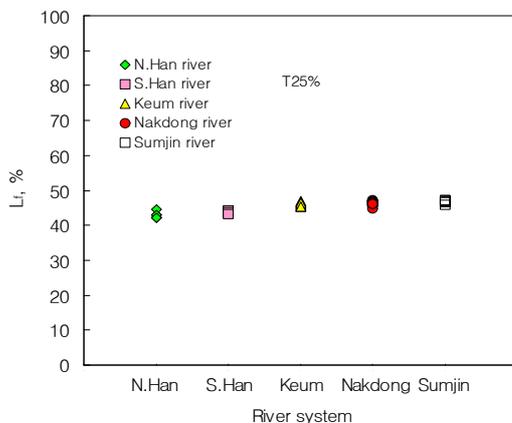


Fig. 4. Annual Load Factor for River Systems

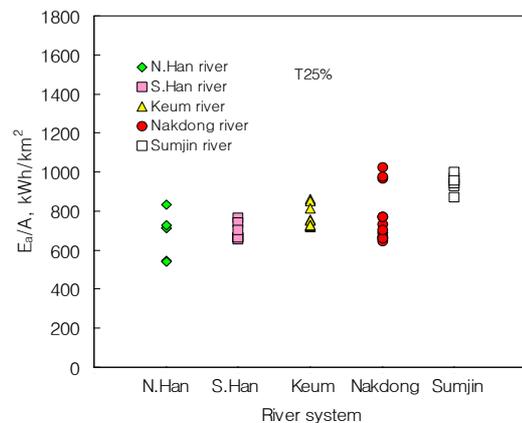


Fig. 5. Specific Output for River Systems

Fig. 4는 수계별 연간가동율의 특성을 나타낸 것으로, 연간가동율은 수계별로 비교적 작은 범위에서 분포되고 있으며, 북한강수계가 연간가동율이 낮고, 섬진강수계가 높은 것으로 분석되었다.

Fig. 5는 수계별 비출력량의 특성을 나타낸 것이다. 비출력량은 비설계유량과 연간가동율의 곱에 비례하는 것으로 비설계유량의 특성과 유사하다.

Fig. 6은 수계별 비설계유량에 따른 비출력량의 변화를 나타내는 것으로, 수계에 관계없이 비설계유량이 증가함에 따라 비출력량이 거의 선형적으로 변한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 수계별 비설계유량에 따른 연간가동율의 변화를 나타내는 그림이다. 그림을 통하여 소수력발전소의 설계유량을 유량지속곡선상에서 동일한 시간비의 유량으로 선정하는 경우, 소수력발전소의 연간가동율은 비설계유량에 관계없이 일정하다는 것을 알 수 있다.

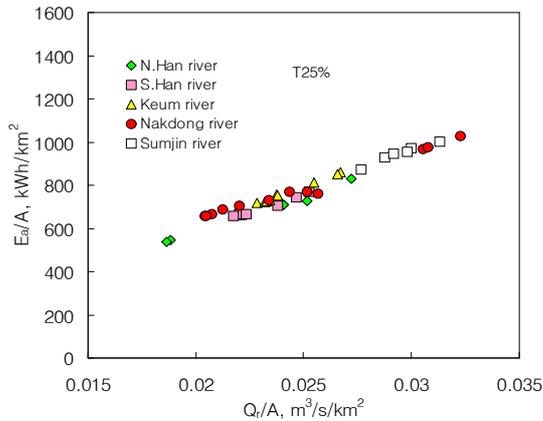


Fig. 6. Specific Output with Specific Flowrate for River Systems

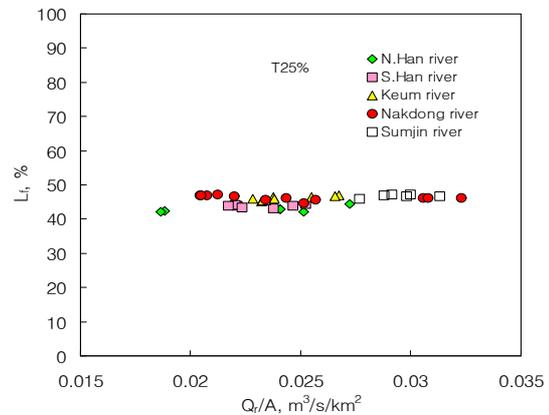


Fig. 7. Annual Load Factor with Specific Design Flowrate for River Systems

## 5. 결론

수계별 소수력발전입지의 소수력가용량과 출력량 등에 대한 수문학적 성능특성을 분석하였으며, 본 연구에서 개발한 유량지속특성 예측모델과 소수력발전소의 성능분석모델이 소수력발전소의 수문학적 특성을 분석하는데 효과적으로 사용될 수 있다는 것이 밝혀졌다. 수계별 소수력발전입지에 대한 분석결과, 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 소수력발전입지의 위치에 관계없이 비가용량의 변화가 크지 않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 소수력발전입지의 위치에 따라 비가용량의 변화가 크게 나타났다. 또한 비출력량의 경우에도 비가용량과 유사하게 소수력발전입지의 위치에 따라 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 비출력량의 변화가 크지 않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 비출력량의 변화가 크게 나타났다.

## 참고 문헌

1. 김길호, 이충성, 이진희, 심명필(2007), "경제성분석에 의한 소수력개발의 최적규모 결정 방안", 한국수자원학회논문집, 제40권, 제12호, pp. 995-1005.
2. 한국에너지기술연구소(1997). 소수력발전소 건설 타당성조사 기본계획 연구.
3. 박완순, 이철형, 심명필(1997), "국내 소수력발전입지의 개발타당성 분석", 대한토목학회논문집, 제17권, 제II-3호.
4. 차종희(1982), 소수력발전의 설계에 관한 연구, 대한전기협회지, 조사연구논문.
5. 박완순, 이철형(2008), "강우상태에 의한 소수력발전소 설계인자의 영향", 한국태양에너지학회논문집, 제28권, 제1호, pp. 43-49
6. Lee, C.H., Park, W.S.,(1992), "A Study on the Optimum Design Flowrate for Diversion Type Small Hydro Power Plant with Tunnels", *Hangzoh Regional Center for Small Hydro Power*, China, No.4, pp.20-30.
7. Park, W.S., Lee, C.H., and Jeong, S.M.(2001), "An Analysis of Performance Characteristics for Small Hydro Power Plants", *Korea Water Resources Association*, Vol.2, No1.