

소수력발전입지의 수계별 설계변수 특성(I)

박완순*, 이철형*

*한국에너지기술연구원(pwsn@kier.re.kr, lchg@kier.re.kr)

Design Parameters of Small Hydro Power Sites for River Systems(I)

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

*Korea Institute of Energy Research(pwsn@kier.re.kr, lchg@kier.re.kr)

Abstract

The characteristics of hydrologic design parameters for small hydro power(SHP) sites located in four major river systems have been studied. The model, which can predict flow duration characteristic of stream, was developed to analyze the variation of inflow. And another model to predict hydrologic performance for SHP plants is established. The results from hydrologic performance analysis for SHP sites located on five major river systems based on the models developed in this study show that the specific design flowrate and specific output of SHP site have large difference between the river systems. The load factor, however, have small difference compared with specific design flowrate and specific output for all river systems. Also, it was found that the models developed in this study can be used to predict the primary design specifications of SSHP plants effectively.

Keywords : 소수력(Small hydro power), 설계변수(Design parameter), 비설계유량(Specific design flowrate), 비출력량(Specific output), 가동율(Load factor)

기 호 설 명

A	: 유역면적(km^2)	P_a	: 단위시간당 출력량(kWh)
E_a	: 연간출력량(kWh)	$P(Q)$: 확률밀도함수
E_a/A	: 비출력량(kWh/km^2)	P_1	: 부분출력량(kWh)
g	: 중력가속도(m/s^2)	P_2	: 정격출력량(kWh)
H	: 낙차(m)	Q	: 유량(m^3/s)
L_f	: 소수력발전소의 가동율(%)	Q_r	: 설계유량(m^3/s)
		Q_r/A	: 비설계유량($m^3/s/km^2$)

- T : 유량지속곡선상의 시간비(%)
- α : Weibull분포의 형상모수
- β : Weibull분포의 척도모수(m^3/s)
- ρ : 물의 밀도(kg/m^3)
- η : 소수력발전소의 효율

소수력발전소에서 얻을 수 있는 단위시간당의 출력량은 다음과 같이 구할 수 있다.⁷⁾

$$P_a = \rho g H \eta \int_0^{Q_r} P(Q) Q dQ + \rho g H Q_r \eta \int_{Q_r}^{\infty} P(Q) dQ = P_1 + P_2 \quad (1)$$

1. 서 론

소수력자원은 다른 신재생에너지원에 비하여 에너지밀도가 매우 크기 때문에 개발할 가치가 큰 부존자원으로 평가되고 있다.¹⁾

소수력자원의 개발을 위해서는 소수력발전입지에 대한 설계변수의 분석이 매우 중요하다. 설계변수는 해당구역의 강우사상과 밀접한 관계가 있어 수계별로 차이가 있으므로 이에 대한 정량적인 분석이 요구된다.²⁾ 수문학적인 측정자료가 부족한 우리나라의 소수력발전입지에 대한 수문학적 특성을 분석하기 위한 해석방법이 연구되어 왔다.^{3),4),5),6)}

본 연구에서는 수계별 소수력발전입지에 대하여 설계변수의 특성을 분석하였다. 수계별 설계변수의 분석한 결과, 남한강, 금강, 섬진강수계의 경우에는 비교적 좁은 범위에서 설계변수의 값이 분포되어 있으나, 북한강수계와 낙동강수계는 지점에 따라 설계변수의 값이 큰 분포를 보이는 것으로 나타났다.

2. 소수력발전소 성능예측모델

그림 1은 낙차가 일정한 경우, 유입량변화에 따른 소수력발전소의 출력의 변화를 나타내는 것으로, 월류댐을 갖는 소수력발전소의 특성을 나타내는 그림이다.

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.

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

$$P(Q) = (\alpha/\beta)(Q/\beta)^{\alpha-1} \exp(-(Q/\beta)^\alpha) \quad (2)$$

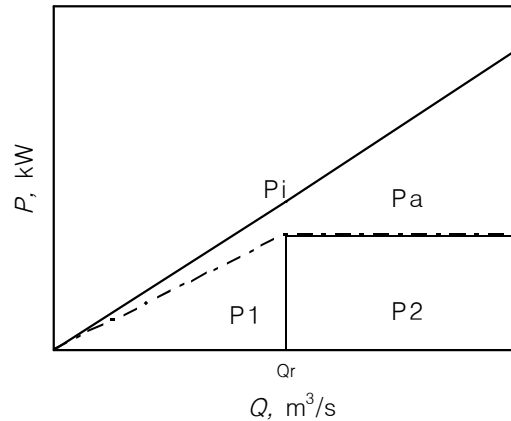


그림 1. 소수력발전소의 출력특성

소수력발전입지에 소수력발전소를 건설할 경우, 시설용량과 연간가동율은 다음과 같다.

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

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

연간출력량은 소수력발전입지에 소수력발전소를 건설할 경우, 얻을 수 있는 연간 총에너지량을 의미하며, 다음과 같이 산정된다.

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

3. 수계별 소수력자원 특성 분석

수계별 소수력발전입지의 수문학적 성능 특성을 분석하기 위하여 북한강수계에 6개소, 남한강수계에 7개소, 금강수계에 9개소, 낙동강수계에 12개소, 그리고 섬진강수계에 6개소의 소수력발전입지를 선정하였다. 선정된 소수력발전입지의 유역면적은 북한강수계의 경우, 167~496km², 남한강수계는 215~2294km², 금강수계는 278~1804km², 낙동강수계는 148~1219km² 그리고 섬진강수계는 311~4209km²로 분포되어 있다.⁸⁾

소수력발전소의 설계유량은 일반적으로 해당 지점의 수문학적 특성과 경제성을 검토하여 유량지속곡선상의 20%에서 30%사이 에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한다. 본 연구에서는 유량지속곡선상의 20%에서 30% 사이에 해당하는 유량을 설계유량으로 채택하였을 경우, 수계별 수문학적 성능특성의 변화를 고찰하였다.

그림 2에서 그림 4까지는 수계별 비설계유량의 특성을 나타낸 것이다. 그림 2는 시간비가 20%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우로써, 북한강수계는 0.02532~0.03496m³/s/km², 남한강수계는 0.02855~0.03247m³/s/km², 금강수계는 0.02964~0.03350m³/s/km², 낙동강수계는 0.02532~0.04068m³/s/km² 그리고 섬진강수계는 0.03473~0.03893m³/s/km²의 분포를 나타냈다.

그림 3은 시간비가 25%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우로써, 북한강수계는 0.01883~0.02722m³/s/km², 남한강수계는 0.02173~0.02524m³/s/km², 금강수계는 0.02283~0.02673m³/s/km², 낙동강수계는 0.02042~0.03228m³/s/km² 그리고 섬진강수계는 0.02765~0.03130m³/s/km²의 분포를 나타냈다.

그림 4는 시간비가 30%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우로써, 북한강수

계는 0.01704~0.01978m³/s/km², 남한강수계는 0.01704~0.01978m³/s/km², 금강수계는 0.01855~0.02164m³/s/km², 낙동강수계는 0.01656~0.02677m³/s/km² 그리고 섬진강수계는 0.02219~0.02519m³/s/km²의 분포를 나타낸다. 비설계 유량은 낙동강수계와 북한강수계가 넓게 분포되고, 남한강수계, 금강수계 및 섬진강수계는 비교적 작은 범위로 분포된다. 모든 수계에 대하여 비설계유량은 시간비가 증가할수록 감소하는 것으로 분석되었다.

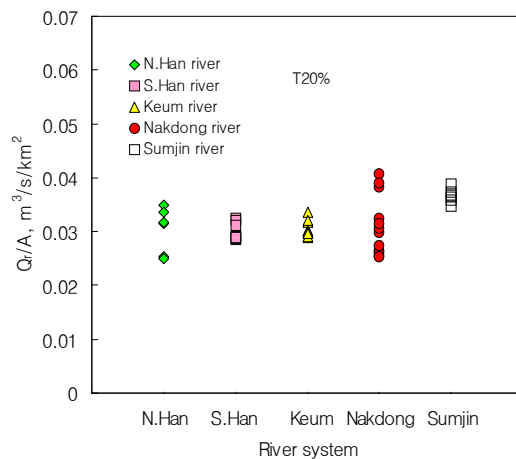


그림 2. 수계별 비설계유량의 특성(T=20%)

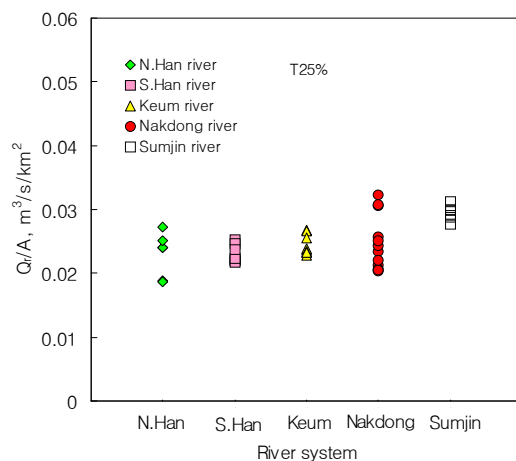


그림 3. 수계별 비설계유량의 특성(T=25%)

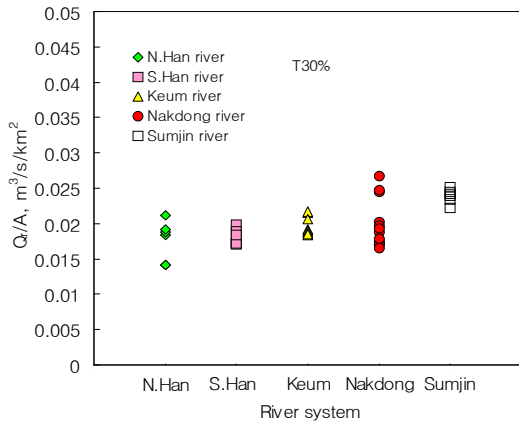


그림 4. 수계별 비설계유량의 특성(T=30%)

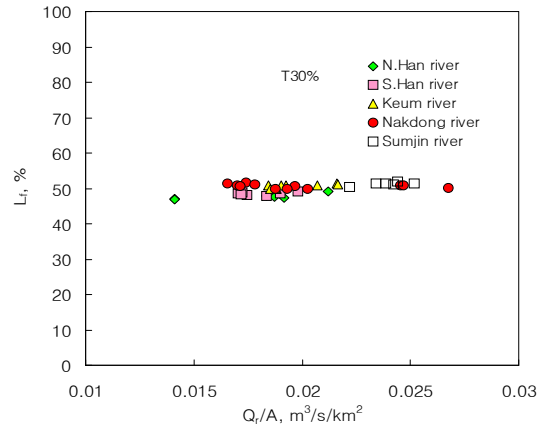


그림 7. 비설계유량에 따른 연간가동율의 변화(T=30%)

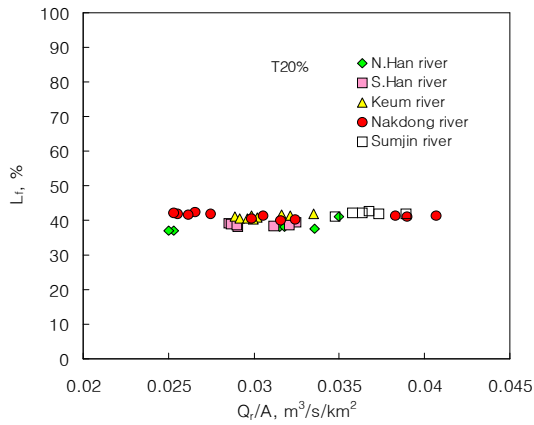


그림 5. 비설계유량에 따른 연간가동율의 변화(T=20%)

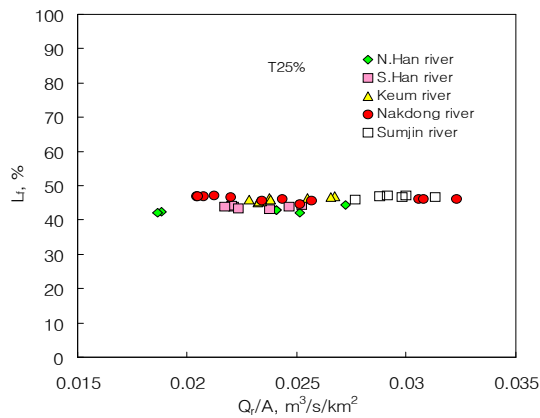


그림 6. 비설계유량에 따른 연간가동율의 변화(T=25%)

그림 5에서 그림 7까지는 수계별 비설계유량에 따른 연간가동율의 변화를 나타낸 것이다. 그림 5는 시간비가 20%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우로써, 북한강수계는 37.0~41.2%, 남한강수계는 38.0~39.5%, 금강수계는 40.4~41.9%, 낙동강수계는 40.0~42.4% 그리고 섬진강수계는 41.1~42.7%의 분포를 나타냈다.

그림 6은 시간비가 25%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우로써, 북한강수계는 42.0~44.5%, 남한강수계는 43.2~44.3%, 금강수계는 45.4~46.9%, 낙동강수계는 44.7~47.3% 그리고 섬진강수계는 45.9~47.2%의 분포를 나타냈다.

그림 7은 시간비가 30%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우로써, 북한강수계는 46.8~49.2%, 남한강수계는 47.9~49.0%, 금강수계는 49.9~51.5%, 낙동강수계는 49.9~51.6% 그리고 섬진강수계는 50.3~51.5%의 분포를 나타낸다. 전반적으로 모든 수계에 대하여 연간가동율은 비설계유량의 변화에 관계없이 일정한 값을 갖고, 수계별로 비교적 작은 범위에서 분포되었다. 또한 북한강수계가 다른 수계에 비하여 연간가동율이 낮고, 섬진강수계가 높은 것으로 분석되었다.

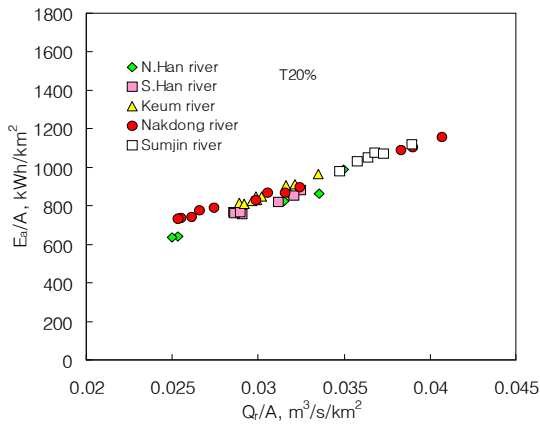


그림 8. 비설계유량에 따른 비출력량의 변화(T=20%)

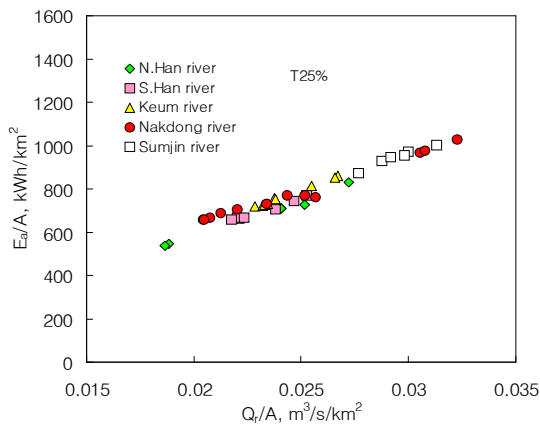


그림 9. 비설계유량에 따른 비출력량의 변화(T=25%)

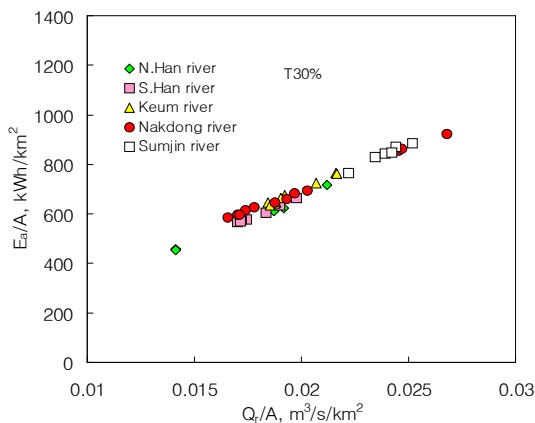


그림 10. 비설계유량에 따른 비출력량의 변화(T=30%)

그림 8에서 그림 10까지는 수계별 비설계 유량에 따른 비출력량의 변화를 나타내는 것이다. 그림 8은 시간비가 20%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우로써, 북한강수계는 비설계유량 $0.02532 \sim 0.03496 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 비출력량은 $637 \sim 989 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로 변하며, 남한강수계는 $0.02855 \sim 0.03247 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $759 \sim 881 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 금강수계는 $0.02964 \sim 0.03350 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $824 \sim 964 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 낙동강수계는 $0.02532 \sim 0.04068 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $734 \sim 1157 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 섬진강수계는 $0.03473 \sim 0.03893 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $981 \sim 1120 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로 변하였다.

그림 9는 시간비가 25%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우로써, 북한강수계는 비설계유량 $0.01883 \sim 0.02722 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 비출력량은 $539 \sim 832 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로 변하며, 남한강수계는 $0.02327 \sim 0.02524 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $657 \sim 768 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 금강수계는 $0.02964 \sim 0.02673 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $726 \sim 861 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 낙동강수계는 $0.02532 \sim 0.04068 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $648 \sim 1026 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 섬진강수계는 $0.02042 \sim 0.03228 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $872 \sim 1002 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로 변하였다.

그림 10은 시간비가 30%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정한 경우로써, 북한강수계는 비설계유량 $0.01704 \sim 0.01978 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 비출력량은 $454 \sim 716 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로 변하며, 남한강수계는 $0.01704 \sim 0.01978 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $568 \sim 666 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 금강수계는 $0.01855 \sim 0.02164 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $636 \sim 765 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 낙동강수계는 $0.01656 \sim 0.02677 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $586 \sim 923 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로, 섬진강수계는 $0.02219 \sim 0.02519 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 에서 $767 \sim 887 \text{ kWh}/\text{km}^2$ 로 변한다. 수계에 관계없이 비출력량은 비설계유량이 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하였다.

4. 결 론

수계별 소수력발전입지의 설계변수의 특성을 분석한 결과, 비설계유량은 낙동강수계와 북한강수계가 넓게 분포되고, 남한강수계, 금강수계 및 섬진강수계는 비교적 작은 범위로 분포된다. 연간가동율은 비설계유량의 변화에 관계없이 일정한 값을 갖고, 수계별로 비교적 작은 범위에서 분포되었다. 또한 북한강수계가 다른 수계에 비하여 연간가동율이 낮고, 섬진강수계가 높은 것으로 분석되었다. 비출력량은 모든 수계에 대하여 비설계유량이 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가하였다.

참 고 문 헌

1. 김길호, 이충성, 이진희, 심명필, "경제성분석에 의한 소수력개발의 최적규모 결정 방안", 한국수자원학회논문집, 제40권, 제12호, 2007.
2. 박완순, 이철형, "유입량변화에 의한 소수력발전소의 수문학적 성능특성 변화", 한국수자원학회, 제43권, 제4호, 2010.
3. Lee, C. H., Park, W. S., "A Study on the Optimum Design Flowrate for Diversion Type Small Hydro Power Plant with Tunnels", SHP News, No.4, pp.20-30, Hangzhou Regional Center for Small Hydro Power, China, 1992.
4. 박완순, 이철형, 심명필, "국내 소수력발전입지의 개발타당성 분석", 대한토목학회논문집, 제17권, 제II-3호, 1997.
5. Park, W. S., Lee, C. H., and Jeong, S. M., "An Analysis of Performance Characteristics for Small Hydro Power Plants", KWRA, Vol.2, No1, 2001.
6. 박완순, 이철형, "소수력발전소의 성능예측기법에 관한 연구", 한국수자원학회, 춘계학술대회, 2003.
7. 박완순, 이철형, "장기유입량 변화에 의한 소수력발전소 성능특성 분석", 한국신재생에너지학회, Vol. 5, NO. 4, 2009.
8. 박완순, 이철형, "수계별 소수력자원의 수문학적 성능특성", 한국태양에너지학회, Vol. 30, NO. 2, 2010.