

소수력발전입지의 수계별 설계변수 특성(II)

박완순*, 이철형*

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

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

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

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

Abstract

Small hydropower resources for five major river systems have been studied. The model, which can predict flow duration characteristic of stream, was developed to analyze the variation of inflow caused from rainfall condition. And another model to predict hydrologic performance for small hydropower(SHP) plants is established. Monthly inflow data measured at Andong dam were analyzed. The predicted results from the developed models in this study show that the data were in good agreement with measured results of long term inflow at Andong dam. It was found that the models developed in this study can be used to predict the available potential and technical potential of SHP sites effectively. Based on the models developed in this study, the hydrologic performance for small hydropower sites located in river systems have been analyzed. The results show that the hydrologic performance characteristics of SHP sites had some difference between the river systems. Especially, the specific design flow and specific output of SHP sites located on North Han river and Nakdong river systems had large difference compared with other river systems.

Keywords : 소수력(Small hydropower), 설계변수(Design parameter), 비설계유량(Specific design flow), 비출력량(Specific output), 가동율(Operating factor)

기 호 설 명

| | | | |
|---------|----------------------|--------|----------------------|
| A | : 유역면적(km^2) | H | : 낙차(m) |
| E_a | : 연간출력량(kWh) | L_f | : 소수력발전소의 가동율(%) |
| E_a/A | : 비출력량(kWh/km^2) | P_a | : 단위시간당 출력량(kWh) |
| g | : 중력가속도(m/s^2) | P_1 | : 부분부하출력량(kWh) |
| | | P_2 | : 정격부하출력량(kWh) |
| | | $P(Q)$ | : 확률밀도함수 |

투고일자 : 2011년 4월 11일, 심사일자 : 2011년 4월 18일, 게재확정일자 : 2011년 5월 30일
교신저자 : 이철형(lchg@kier.re.kr)

- Q : 유량(m^3/s)
- 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

1. 서 론

에너지자원이 절대 부족한 우리나라의 입장에서 에너지 해외의존도를 경감시키고 에너지를 안정시키기 위하여 부존에너지를 최대한 활용하는 것이 매우 중요하다. 소수력 자원은 다른 신재생에너지원에 비하여 에너지밀도가 매우 크기 때문에 개발할 가치가 큰 부존자원으로 평가되고 있다.¹⁾

소수력자원의 개발을 위해서는 해당지점에서의 자원량의 산정이 매우 중요하다. 소수력 자원산정에 기본이 되는 유입량에 대한 수문학적 추정자료가 부족한 우리나라의 소수력발전입지에 대한 특성을 분석하기 연구가 진행되어 왔다.^{2),3),4)}

소수력자원의 개발을 위해서는 소수력발전입지에 대한 설계변수의 분석이 매우 중요하다. 설계변수는 해당구역의 강우와 밀접한 관계가 있으므로 이에 대한 정량적인 분석이 요구된다.^{5),6)}

본 연구에서는 수계별로 소수력발전입지에 대하여 수문학적인 설계변수의 특성을 분석하였으며, 소수력발전소 설계시 기본자료로 활용할 수 있는 연간가동율과 비설계유량 및 비출력량의 특징을 분석하였다. 소수력자원에 대한 분석 결과, 비출력량 및 비설계유량 등은 남한강, 금강, 섬진강수계의 경우에는 비교적 좁은 범위에서 분포되어 있으나, 북한강수계와 낙동강수계는 소수력발전입지의 위치에 따라 비출력량이 큰 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

2. 소수력발전소 성능예측모델

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

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

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

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

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

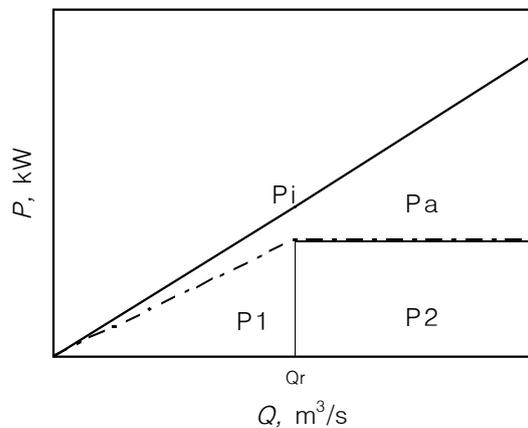


그림 1. 소수력발전소의 출력특성

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 소수력발전입지의 설계변수 특성 분석

소수력발전소는 앞서 언급한 바와 같이 설계유량이 존재하기 때문에 비가용량을 모두 유용한 에너지로 변환시키지 못한다. 소수력 발전을 통하여 변환되는 에너지는 설계유량 이하의 유입량의 경우와 설계유량 이상의 유입량으로 구분할 수 있다. 설계유량 이하의 유입량은 모두 출력으로 변환할 수 있으며, 이를 부분부하출력량(P_1)이라 한다. 또한 설계유량 이상의 유입량의 경우에는 설계유량에 해당되는 유입량만을 출력으로 변환하게 되며, 이를 정격부하출력량(P_2)이라 한다. 부분출력량은 설계유량의 값이 증가할수록 증가하지만, 정격출력량은 특정한 설계유량의 값에서 최대값을 나타내며, 이 경우가 소수력발전소가 수문학적으로 최적인 상태이다.³⁾

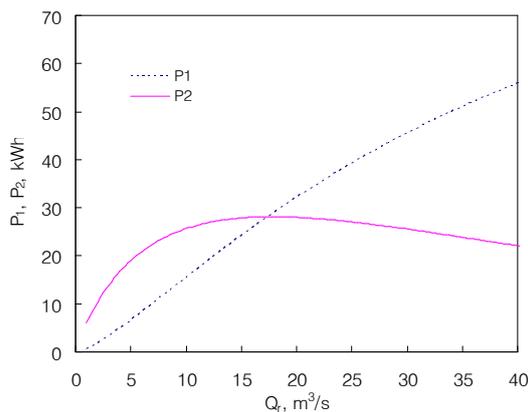


그림 2. 설계유량에 따른 부분부하출력량과 정격부하출력량의 변화

그림 2는 본 연구에서 채택한 낙동강수계에 위치한 용혈리 소수력발전입지에 대하여 설계유량변화에 따른 부분부하출력량(P_1)과 정격부하출력량(P_2)의 변화를 나타낸 것이다. 정격부하출력량은 설계유량이 $17.8\text{m}^3/\text{s}$ 에서 28.11kWh 로 최대가 되며, 이 때의 설계유량은 유량지속곡선상에서 시간비가 20.1%에 해당하는 유입량이다.

본 연구에서는 정격부하출력량의 값이 최대로 되는 유량을 설계유량으로 채택하여, 수계별 설계변수의 특성을 고찰하였다.

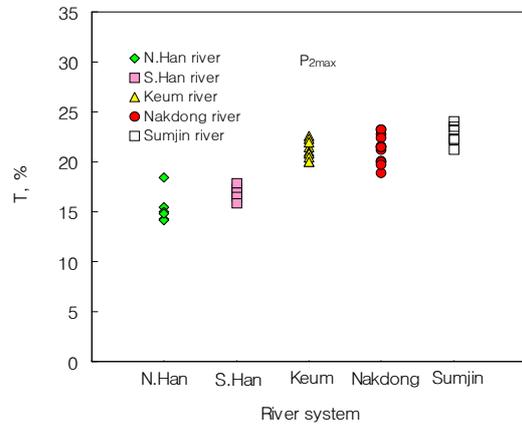


그림 3. 정격부하출력량이 최대가 되는 설계유량에 대한 시간비의 수계별 분포

그림 3은 수계별 정격출력량이 최대값을 갖는 설계유량이 유량지속곡선상에서 나타내는 시간비의 분포를 나타내는 것으로, 시간비는 북한강수계의 경우, 14.2~18.4%, 남한강수계는 15.8~17.9%, 금강수계는 20.0~22.6%, 낙동강수계는 18.9~23.2% 그리고 섬진강수계는 21.2~23.2%의 분포를 나타낸다. 시간비는 북한강수계가 가장 작게 나타나고 섬진강수계가 가장 크게 나타난다.

그림 4는 수계별 비설계유량의 특성을 나타낸 것으로, 북한강수계의 경우, $0.03653 \sim 0.04641 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, 남한강수계는 $0.03291 \sim 0.03934 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$, 금강수계는 $0.02770 \sim$

0.02994 $m^3/s/km^2$, 낙동강수계는 0.02175~0.03753 $m^3/s/km^2$ 그리고 섬진강수계는 0.03065~0.03511 $m^3/s/km^2$ 의 분포를 나타낸다. 비설계유량은 북한강수계가 가장 크게 나타나고 섬진강수계가 가장 작게 나타난다.

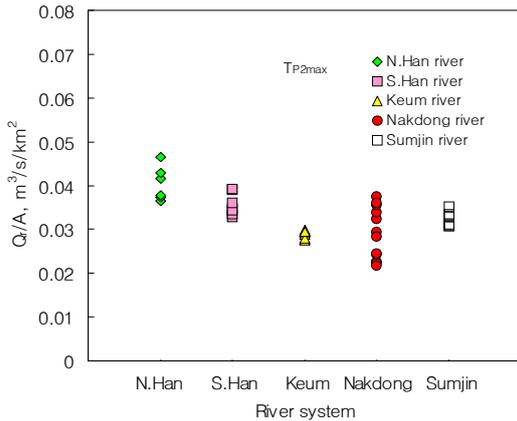


그림 4. 수계별 비설계유량의 분포

그림 5는 유역면적에 따른 비설계유량의 변화를 나타낸 것이다. 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이 증가하여도 비설계유량의 변화가 크지 않았으나, 낙동강수계와 북한강수계는 유역면적이 동일한 경우에도 비설계유량의 변화가 크게 나타났다.

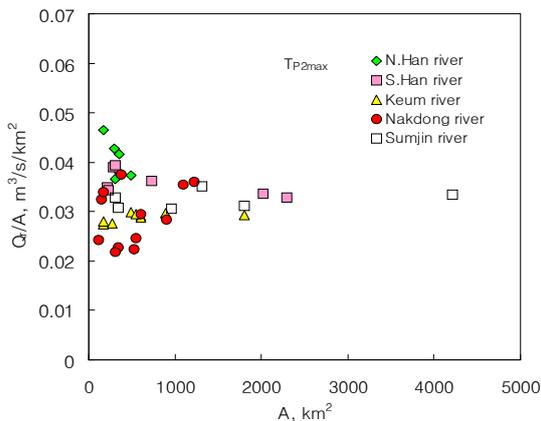


그림 5. 수계별 비설계유량과 유역면적의 관계

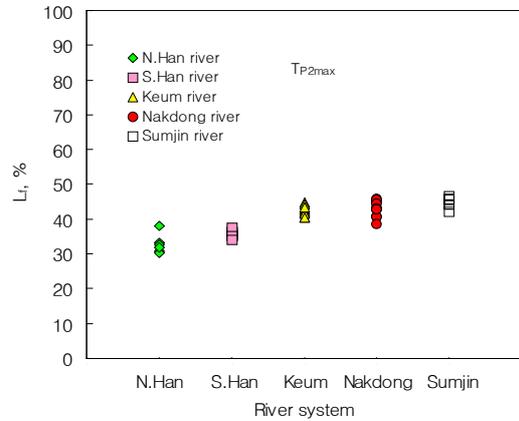


그림 6. 수계별 연간가동율의 분포

그림 6은 수계별 연간가동율의 특성을 나타낸 것으로, 북한강수계의 경우, 30.3~38.0%, 남한강수계는 34.0~36.5%, 금강수계는 40.4~44.8%, 낙동강수계는 38.7~45.8%, 그리고 섬진강수계는 42.2~45.8%의 분포를 나타낸다. 연간가동율은 북한강수계가 가장 작게 나타나고 섬진강수계가 가장 크게 나타났다.

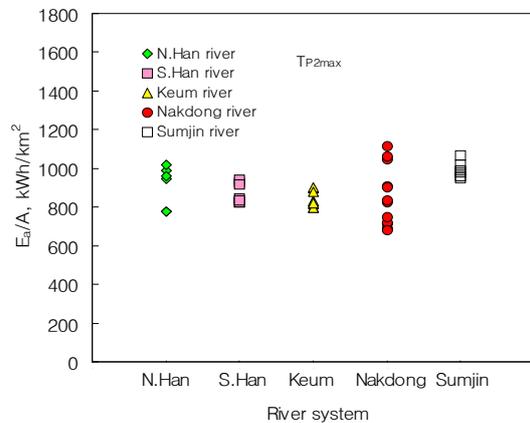


그림 7. 수계별 비출력량의 분포

그림 7은 수계별 비출력량의 특성을 나타낸 것으로, 북한강수계의 경우, 775~1027 kWh/km^2 , 남한강수계는 825~928 kWh/km^2 , 금강수계는 816~904 kWh/km^2 , 낙동강수계는 680~1113 kWh/km^2 , 그리고 섬진강수계는 950

~1066kWh/km²의 분포를 나타낸다. 비출력량은 낙동강수계와 북한강수계의 경우, 다른 수계에 비하여 넓은 범위의 분포를 나타냈다.

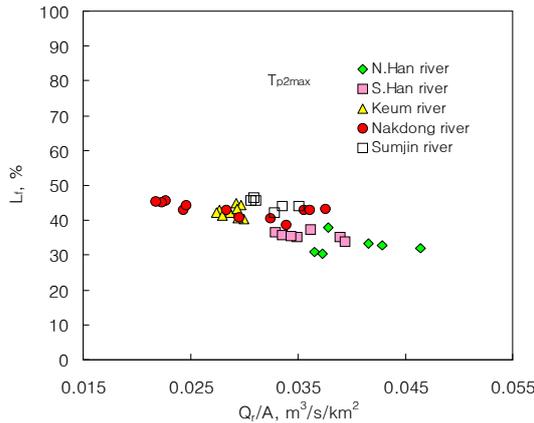


그림 8. 수계별 비설계유량에 따른 연간가동율의 변화

그림 8은 수계별 비설계유량에 따른 연간가동율의 변화를 나타내는 것으로, 수계에 관계없이 비설계유량이 증가함에 따라 연간가동율은 감소한다는 것을 알 수 있다. 북한강수계의 경우, 비설계유량 0.03653~0.04641 m³/s/km²에서 연간가동율은 30.3~38.0%로 변하며, 남한강수계는 0.03291~0.03934 m³/s/km²에서 34.0~36.5%로, 금강수계는 0.02770~0.02994 m³/s/km²에서 40.4~44.8%로, 낙동강수계는 0.02175~0.03753 m³/s/km²에서 38.7~45.8%로, 그리고 섬진강수계는 0.03065~0.03511 m³/s/km²에서 42.2~45.8%로 거의 선형적으로 변한다. 전반적으로, 북한강수계의 경우 비설계유량이 큰 영역에 분포되어 있으며, 낙동강수계의 경우에는 작은 영역에 분포되어 있다. 연간가동율은 이와 반대로 북한강수계의 경우 작은 영역에, 낙동강수계의 경우 큰 영역에 분포되어 있다. 남한강수계, 금강수계 및 섬진강수계의 경우에는 비설계유량과 연간가동율이 좁은 범위로 분포되어 있다.

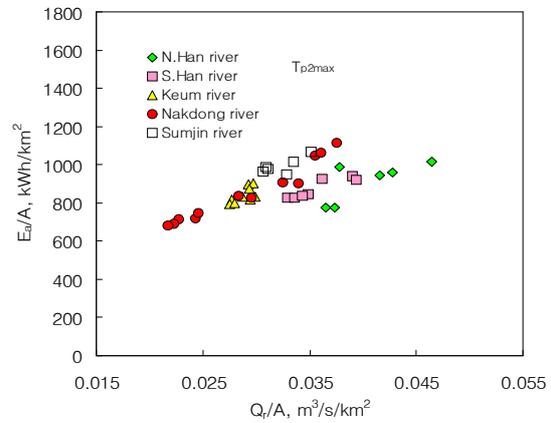


그림 9. 수계별 비설계유량에 따른 비출력량의 변화

그림 9는 수계별 비설계유량에 따른 비출력량의 변화를 나타내는 것으로, 수계에 관계없이 비설계유량이 증가함에 따라 비출력량이 증가한다는 것을 알 수 있다. 북한강수계의 경우, 비설계유량 0.03653~0.04641 m³/s/km²에서 비출력량은 539~832 kWh/km²로 변하며, 남한강수계는 0.03291~0.03934 m³/s/km²에서 825~928 kWh/km²로, 금강수계는 0.02770~0.02994 m³/s/km²에서 816~904 kWh/km²로, 낙동강수계는 0.02175~0.03753 m³/s/km²에서 680~1113 kWh/km²로, 섬진강수계는 0.03065~0.03511 m³/s/km²에서 950~1066 kWh/km²로 거의 선형적으로 변한다. 전반적으로, 북한강수계의 경우 비설계유량이 큰 영역에 분포되어 있으며, 낙동강수계의 경우에는 작은 영역에 분포되어 있다. 비출력은 북한강수계와 낙동강수계의 경우 넓은 범위로 분포되어 있으며, 남한강수계, 금강수계 및 섬진강수계의 경우에는 비설계유량과 비출력량이 좁은 범위로 분포되어 있다.

4. 결 론

수계별 소수력발전입지의 비가용량과 비출력량의 특징을 분석하였다. 분석결과, 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이

증가하여도 비가용량의 변화가 크지않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 유역면적의 크기에 관계없이 비가용량의 변화가 크게 나타났다. 또한 비출력량의 경우에도 비가용량과 유사하게 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이 증가하여도 비출력량의 변화가 크지않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 유역면적의 크기에 관계없이 비출력량의 변화가 크게 나타났다. 이러한 현상은 우리나라의 연강수량이 남부지방이 중부지방에 비하여 많기 때문으로 판단된다. 낙동강수계는 하도가 남북으로 길기 때문에 소수력발전지점의 위치에 따라 비가용량의 크기의 변화가 크고, 북한강수계도 이와 비슷한 경향을 갖는다. 반면에 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 하도가 동서방향으로 길기 때문이다. 또한 연간가동율의 경우에는 모든 수계에 대하여 변화가 크지 않았고, 유역면적의 변화에 대해서도 큰 변화가 없었다.

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. 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.
4. 박완순, 이철형, "소수력발전소의 성능예측기법에 관한 연구", 한국수자원학회, 춘계 학술대회, 2003.
5. 박완순, 이철형, "장기유입량 변화에 의한 소수력발전소 성능특성 분석", 한국신재생에너지학회, Vol. 5, NO. 4, 2009.
6. 박완순, 이철형, "수계별 소수력자원의 수문학적 성능특성", 한국태양에너지학회, Vol. 30, NO. 2, 2010.
7. 박완순, 이철형, "소수력발전입지의 수계별 설계변수 특성(I)", 한국태양에너지학회, Vol. 30, NO. 4, 2010.