

## 강우상태에 따른 소수력발전입지의 설계변수 특성 분석

이철형\*, 박완순\*

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

### Analysis on Design Parameters of Small Hydropower Sites with Rainfall Conditions

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

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

#### Abstract

The correlation between hydrologic performance design parameters of small hydro power(SHP) sites and rainfall condition have been analyzed for major river systems. The model, which can predict flow duration characteristic of stream, was developed to estimate the inflow caused from rainfall. And another model to predict hydrologic performance for SHP plants is established. Based on the models developed in this study, the hydrologic performance characteristics for SHP sites have been analyzed. The results show that the hydrologic performance characteristics of SHP sites have some difference between the river systems. Especially, the specific design flowrate and specific output of SHP sites located on North Han river and Nakdong river systems have large difference compared with other river systems. It was found that the hydrologic performance design parameters such as specific design flowrate and specific output were affected by rainfall condition in basin area of SHP sites.

Keywords : Rainfall condition(강우상태), Small hydropower(소수력), Design parameter(설계변수), Specific design flowrate(비설계유량), Specific output(비출력)

#### 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( $m/s^2$ )	$P_i$	: 이상적인 수력에너지( $kWh$ )

submit date: 2012. 4. 23, judgment date: 2012. 5. 1, publication decide date : 2012. 7. 17  
communication author : Lee, Chul-Hyung(lchg@kier.re.kr)

- $P_{ia}$  : 수력가용량( $kWh$ )
- $P_{ia}/A$  : 비가용량( $kWh/km^2$ )
- $P_1$  : 부분출력량( $kWh$ )
- $P_2$  : 정격출력량( $kWh$ )
- $P(Q)$  : Weibull분포의 확률밀도함수
- $Q$  : 유량( $m^3/s$ )
- $Q_m$  : 월유입량( $m^3/s$ )
- $Q_r$  : 설계유량( $m^3/s$ )
- $Q_r/A$  : 비설계유량( $m^3/s/km^2$ )
- $R_m$  : 월강수량( $mm$ )
- $T$  : 시간비(%)
- $\alpha$  : Weibull분포의 형상모수
- $\beta$  : Weibull분포의 척도모수( $m^3/s$ )
- $\rho$  : 물의 밀도( $kg/m^3$ )
- $\eta$  : 소수력발전소의 효율

## 1. 서 론

소수력자원은 신재생에너지 중에서도 온실가스 배출량이 없고 에너지밀도가 매우 높기 때문에 개발할 가치가 큰 청정부존자원으로 평가되고 있다<sup>1)</sup>. 특히, 우리나라에서 소수력발전은 온실가스의 감축노력과 풍부한 부존량을 바탕으로 재생에너지로서 성장잠재력이 클 것으로 전망된다.

소수력 개발의 결과는 개발형식 및 설비용량과 같은 발전성능 특성에 의해 결정된다. 그런데 발전성능 특성은 지형조건, 수문조건 등에 의해 결정되므로 정확한 입지분석은 소수력 개발의 핵심적 과제라 할 수 있다. 따라서 소수력발전입지를 효과적으로 개발하기 위해서는 이들 영향인자들에 대한 정확한 분석이 수행되어야 한다<sup>2)</sup>.

대부분의 소수력발전입지는 하천의 상류에 위치하고 있으며, 유량에 관한 실측자료가 부족하다. 소수력발전입지에서의 사용유량을 결정하는 최선의 방법은 해당 지점에서 장기간에 걸친 유량을 측정, 분석하여 사용유량을

결정하는 것이다.

그러나 이러한 방법은 장기간에 걸친 작업을 요하므로 인위 및 장비에 따른 경제적인 문제가 따른다. 이와 같은 제한점을 해결하기 위하여 계측자료가 없는 우리나라의 소수력발전입지에 대한 수문학적 특성을 분석하기 위한 해석방법이 연구되어 왔다<sup>3)</sup>.

본 연구는 강우상태가 소수력발전입지의 수문학적 성능특성에 미치는 영향을 분석한 것으로, 성능특성은 수문자료가 없는 소수력발전입지의 성능특성을 예측할 수 있는 분석모델을 이용하였다. 수계별 소수력발전입지에 대하여 설계변수의 특성을 분석하였으며, 남한강, 금강, 섬진강수계의 경우에는 비교적 좁은 범위에서 설계변수의 값이 분포되어 있으나, 북한강수계와 낙동강수계는 지점에 따라 설계변수의 값이 크게 변하는 것으로 나타났다.

## 2. 소수력발전입지의 유량지속 및 성능 예측 모델

소수력발전입지에서의 유량지속곡선을 나타내는 유량지속함수는 Weibull분포의 누가분포함수와와의 관계를 통하여 다음과 같이 구해진다<sup>4)</sup>.

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

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

하천의 유입량은 항상 변하기 때문에 단위 시간당의 이상적인 소수력에너지는 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$P_i = \rho g H \int_0^\infty Q P(Q) dQ \quad (2)$$

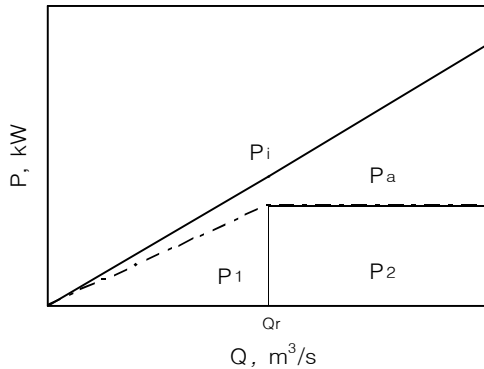


Fig. 1 Output of small hydropower plant

소수력가용량은 이상적인 소수력에너지의 연간 총량으로써 다음과 같이 산정된다.

$$P_{ia} = 8,760 P_i \quad (3)$$

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 출력량은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_a = \rho g H \eta \int_0^{Q_r} P(Q) Q dQ + \rho g H Q_r \eta \int_{Q_r}^{\infty} P(Q) dQ = P_1 + P_2 \quad (4)$$

소수력발전소의 시설용량, 연간가동율 그리고 연간출력량은 다음과 같다.

$$C = \rho g H Q_r \eta \quad (5)$$

$$L_f = P_a / C \quad (6)$$

$$E_a = 8,760 C L_f \quad (7)$$

### 3. 소수력발전입지의 수문학적 성능설계변수 특성 분석

강우상태가 소수력발전입지의 수문학적 성능특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS: Water Management Information System)에서 제공된 자료를 활용하였다. WAMIS에서는 각종 수문자료와 유역정보 수위·강우·기상관측 정보 및 하천 정보 등을 제공하고 있다<sup>9)</sup>. Fig. 2는 우리나라의 수계를 대권역으로 구분해 놓은 그림이다.



Fig. 2 River systems in Korea

Fig. 3은 전국 표준유역의 연평균 강수량 분포를 나타내며, WAMIS에서 840개로 분할된 표준유역에 위치한 강수관측소에서 20년 이상 관측된 연평균 강수량 자료를 이용하여 작성하였다<sup>8)</sup>.

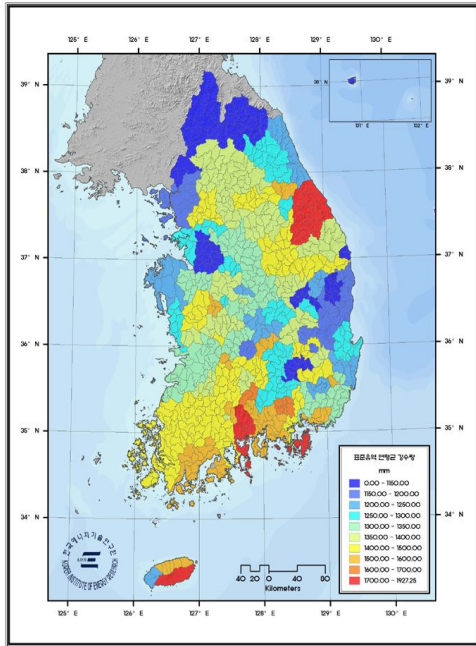


Fig. 3 Annual average rainfall distribution of index area

Fig. 3에서 표시된 강우상태와 소수력발전입지 설계변수와의 관계를 고찰하기 위하여 수계별 북한강수계 6개소, 남한강수계 7개소, 금강수계 9개소, 낙동강수계 12개소, 그리고 섬진강수계 6개소의 소수력발전입지를 선정하였다<sup>7)</sup>. 선정된 소수력발전입지의 유역면적은 북한강수계의 경우, 167~496km<sup>2</sup>, 남한강수계는 215~2,294km<sup>2</sup>, 금강수계는 278~1,804km<sup>2</sup>, 낙동강수계는 148~1,219km<sup>2</sup> 그리고 섬진강수계는 311~4,209km<sup>2</sup>로 분포되어 있다.

강우형태에 의한 영향을 정량화하기 위하여 가용량과 설계유량, 그리고 연간출력량 등은 유역면적에 대하여 정규화한 형태로 표시하였다.

Fig. 4는 유역면적에 따른 비가용량의 특성을 나타내는 그림이다. 북한강수계의 경우, 비가용량은 1,631~2,132kWh/km<sup>2</sup>로, 남한강수계는 1,733~1,934kWh/km<sup>2</sup>로, 금강수계는 1,681~1,879kWh/km<sup>2</sup>로, 낙동강수계는 1,399~2,281kWh/km<sup>2</sup>로, 그리고 섬진강수계는 1,969

~2,181kWh/km<sup>2</sup>로 분포되었다. 비가용량의 분포영역은 낙동강수계의 경우 가장 크게 나타났으며, 북한강수계도 다른 수계에 비하여 분포범위가 큰 것으로 나타났다. Fig. 4에서 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이 증가하여도 비가용량의 변화가 크지 않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 유역면적의 크기에 관계없이 비가용량의 변화가 크게 나타났다.

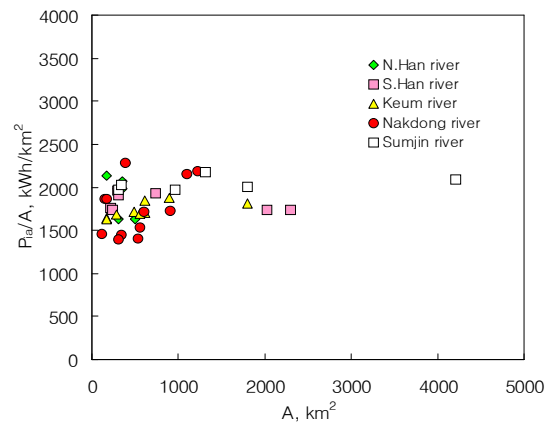


Fig. 4 Specific potential with basin area for river systems

일반적으로 소수력발전입지의 설계유량은 해당입지에서의 유량지속곡선상에서 시간비가 25%에 해당하는 유입량을 설계유량으로 선정한다. 본 연구에서는 이와 같이 설계유량을 선정하고 강우상태에 의한 설계변수의 변화를 고찰하였다.

Fig. 5는 유역면적에 따른 비설계유량의 변화를 나타내는 그림이다. 북한강수계는 비설계유량이 0.0188~0.0272m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>로 분포되었으며, 남한강수계는 0.0217~0.0252m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>, 금강수계는 0.0228~0.0267m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>, 낙동강수계는 0.0204~0.0322m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>, 그리고 섬진강수계는 0.0276~0.0313m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>의 분포되었다. 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이 변화하여도 비설계유량의 변화가 크지 않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 동일한 유역면적에서도 비설계유량의 변화가 크게 나타났다.

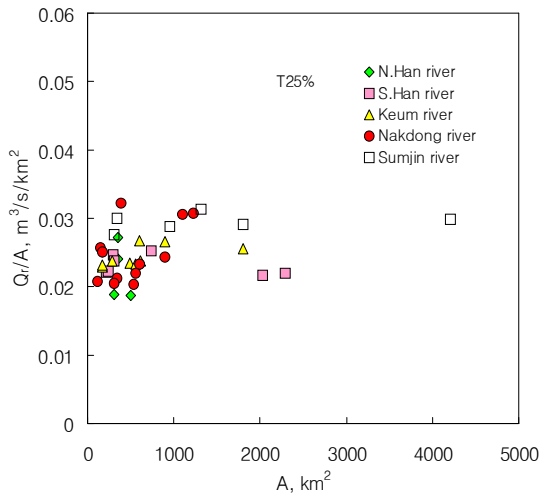


Fig. 5 Specific design flowrate with basin area for river systems

진강수계가 높은 것으로 나타났다.

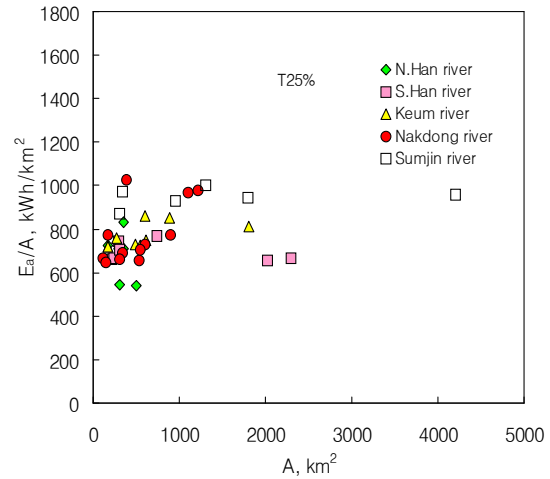


Fig. 7 Specific output with basin area for river systems

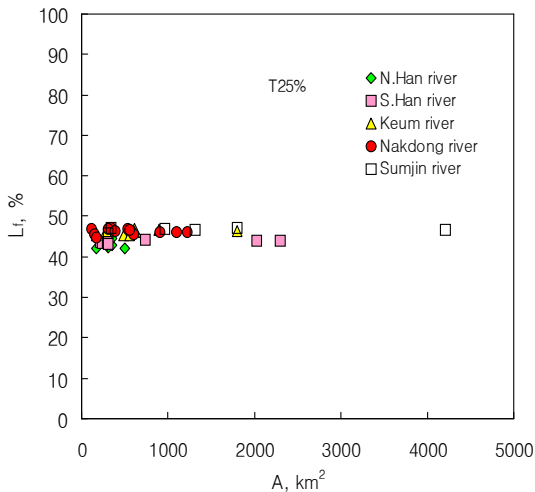


Fig. 6 Annual load factor with basin area for river systems

Fig. 6은 유역면적에 따른 연간가동율의 특성을 나타낸 것이다. 북한강수계는 연간가동율이 42.0~44.5%로 변하며, 남한강수계는 43.2~44.3%로, 금강수계는 45.4~46.9%로, 낙동강수계는 44.7~47.3%로 그리고 섬진강수계는 45.9~47.2%로 변화했다. 전반적으로 연간가동율은 수계별로 비교적 작은 범위에서 변화하였으며, 북한강수계가 연간가동율이 낮고, 섬

Fig. 7은 유역면적에 따른 비출력량의 변화를 나타내는 것이다. 북한강수계는 비출력량이 539~832kWh/km<sup>2</sup>로 분포되었으며, 남한강수계는 657~768kWh/km<sup>2</sup>로, 금강수계는 726~861kWh/km<sup>2</sup>로, 낙동강수계는 648~1,026kWh/km<sup>2</sup>로, 그리고 섬진강수계는 872~1,002kWh/km<sup>2</sup>로 분포되었다. 비출력량은 비설계유량과 연간가동율의 곱의 형태로 나타나는 것으로 비설계유량의 분포와 유사하게 낙동강수계와 북한강수계가 넓게 분포되고, 남한강수계, 금강수계 및 섬진강수계는 비교적 작은 범위로 분포되었다.

Fig. 8은 비설계유량에 따른 비출력량의 변화를 나타내는 것이다. 북한강수계는 비설계유량 0.0188~0.0272m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>에서 비출력량은 539~832kWh/km<sup>2</sup>로 분포되었으며, 남한강수계는 0.0232~0.0252m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>에서 657~768kWh/km<sup>2</sup>로, 금강수계는 0.0296~0.0267m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>에서 726~861kWh/km<sup>2</sup>로, 낙동강수계는 0.0253~0.0406m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>에서 648~1,026kWh/km<sup>2</sup>로, 섬진강수계는 0.0204~0.0322m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>에서 872~1,002kWh/km<sup>2</sup>로 분포되었다.

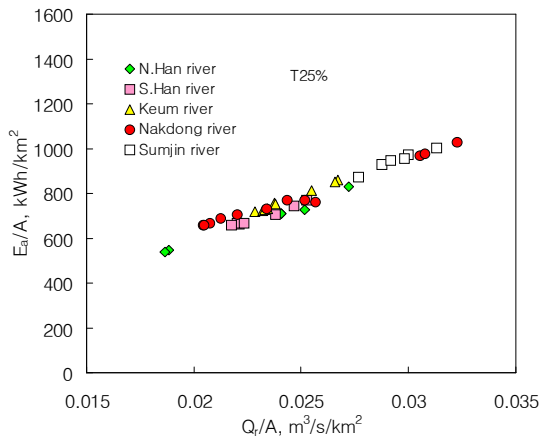


Fig. 8 Specific output with specific design flowrate for river systems

Fig. 8을 통하여 모든 수계에서 비출력량은 비설계유량이 증가함에 따라 증가한다는 것을 알 수 있다. 전반적으로, 섬진강수계의 경우 비설계유량이 큰 영역에 분포되어 있으며, 낙동강수계의 경우에는 넓은 영역에 분포되었다. 비출력량은 북한강수계와 낙동강수계의 경우 넓은 범위로 분포되어 있다. 남한강수계, 금강수계 및 섬진강수계의 경우에는 비설계유량과 비출력량이 좁은 범위로 분포되었다.

#### 4. 결 론

강우상태가 소수력발전입지의 설계변수에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 수계별로 산재한 입지에 대하여 설계변수의 특징을 분석하였다. 분석결과, 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이 변하여도 비설계유량의 변화가 크지 않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 동일한 유역면적에서도 비설계유량의 변화가 크게 나타났다. 전반적으로 연간가동율은 수계별로 비교적 작은 범위에서 변하고 있으며, 북한강수계가 연간가동율이 낮고, 섬진강수계가 높은 것으로 나타났다. 또한 비출력량의 경우에도 비가용량과 유사하게 금강수계, 남한강수계 및 섬진강수계는 유역면적이 증가하여도 비

출력량의 변화가 크지 않지만, 낙동강수계와 북한강수계는 유역면적의 크기에 관계없이 비출력량의 변화가 크게 나타났다. 이러한 현상은 우리나라의 연강수량이 남부지방이 중부지방에 비하여 많기 때문으로 판단된다.

#### References

1. Kim, K. H., et al., "Determination of the Optimal Installation Capacity of Small Hydro Power through the use of Economic Analysis", KWRA, Vol. 40, No. 12, 2007.
2. Park, W. S., Lee, C. H., and Shim, M. P., "Feasibility Assessment for Small Hydro Power Sites in Korea", KSCE, Vol. 17, No. II-3, 1997.
3. Park, W. S., Lee, C. H., and Jeong, S. M., "An Analysis of Performance Characteristics for Small Hydro Power Plants", KWRA, Vol.2, No.1, 2001.
4. Park, W. S., Lee, C. H., "The Study of Performance Prediction Methods for Small Hydro Power Sites", KWRA, 2003.
5. Park, W. S., Lee, C. H., "The Effects of Design Parameters for Small Scale Hydropower Plant with Rainfall Condition", KSES, Vol.28. No. 1, 2008.
6. Park, W. S., Lee, C. H., "Hydrologic Performance Characteristics Variation of Small Scale Hydro Power Plant with Variation of Inflow", KWRA, Vol.43, No.4, 2010.
7. Park, W. S., Lee, C. H., "Hydrologic Performance Characteristics of Small Hydro Power Resources for River Systems", KSES, Vol. 30, NO. 2, 2010.
8. Kang, Y. H. et al., "The Establishment of New and Renewable Energy Resource Map & Utilization System", KIER, 2011.
9. WAMIS: Water Management Information System