

# 소수력발전소의 출력특성 분석

박완순\*, 이철형

## Output Characteristic Analysis of Small Hydropower Plant

Wansoon Park, Chulhyung Lee

**Abstract** The output performance characteristics for surveyed sites were analyzed, using developed model. It consists of two main parts, the deciding flow duration characteristic of river and performance prediction model to estimate the output characteristics of small hydropower plants. As a result, It was found that the flowrate concerning with 25% of time ratio on flow duration curve can be selected to design flowrate of small hydropower plants, and the output characteristics of small hydropower plants having overflow dam are different from large scale hydropower plants.

**Key words** Small hydropower plant(소수력발전소), Flow duration curve(유량지속곡선), Design flowrate(설계유량), Output characteristic(출력특성), Time ratio(시간비)

\* 한국에너지기술연구원  
 ■ E-mail : pwsn@kier.re.kr ■ Tel : (042)860-3432 ■ Fax : (042)860-3739

### Nomenclature

$D(Q)$  : function of flow duration  
 $L_f$  : operational rate(%)  
 $P_i$  : hydro energy(kW)  
 $P_a$  : electricity production(kWh)

### 1. 서론

소수력발전소의 초기설계 제원중 중요한 요소로는 개발입지의 지형에 영향을 받는 유효낙차와 해당구역의 수문특성에 영향을 받는 설계유량을 들 수 있다. 특히 설계유량은 해당하천의 수문특성을 충분히 고려하여 산정하여야 주어진 조건하에서 유량을 최대로 활용할 수 있으며, 수차발전기의 선정과 및

수를 결정할 수 있게 된다. 또한 소수력발전소의 수명은 약 30년 정도로 설계수명이 확정되어 건설되면 소수력발전소의 가동율, 연간발전량 등이 시스템의 수명까지 영향을 주게되어, 잘못 산정된 설계유량은 귀한 수자원의 비효율적 사용과 더불어 소수력발전소의 경제성에 막대한 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 소수력발전소의 출력특성분석 및 설계유량 산정을 위하여, 미계측하천의 유량지속특성을 표현할 수 있는 모델과 특성화된 유량지속함수를 이용하여 소수력발전입지의 성능특성을 분석하고 예측할 수 있는 성능분석모델을 개발하였으며, 이를 이용하여 소수력발전소에서 부분출력과 정격출력을 구하는 방법과, 소수력발전소가 최대한 정격으로 가동될 수 있는 유량과 시간비를 산출하였다.

## 2. 소수력발전소의 출력특성

우리나라의 경우 대부분의 소수력발전소는 하천의 상류에 위치하기 때문에 유입량에 대한 실측자료가 부족하여 유량지속곡선을 작성하기가 매우 어려운 실정이다. 그러나 하천의 유량은 하천이 소속되어 있는 해당유역면적내의 강수량에 의하여 결정되기 때문에 해당 유역면적내에서의 강수량자료를 분석함으로써 예측할 수 있다.

소수력발전소에서의 유량지속곡선을 나타내는 유량지속함수는 다음과 같이 구해진다.

$$D(Q) = A \Sigma W_i \exp\{-(q_i/\beta_i)^m\} \quad (1)$$

소수력발전은 유량과 낙차로부터 에너지를 추출하는 것으로 소수력발전소에서 얻을 수 있는 순수한 수력에너지는 다음과 같다.

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

Fig. 1은 단위 낙차, 단위시간당 단일기의 소수력발전소에 대한 유량변화에 따른 출력의 변화를 나타내는 그림이다.

소수력발전소를 통과하는 유량은 계절별, 월별로 다르기 때문에 순수한 수력에너지와 소수력발전소에서 발생하는 에너지는 쉽게 구할 수 없다. 이 값들을 해석적으로 구하기 위해서는 확률밀도함수를 이용하여야 한다. Weibull 확률밀도함수를 이용하여 소수력발전소에서 단위시간당 생산되는 발전량  $P_a$ 를 구하면 다음과 같다.

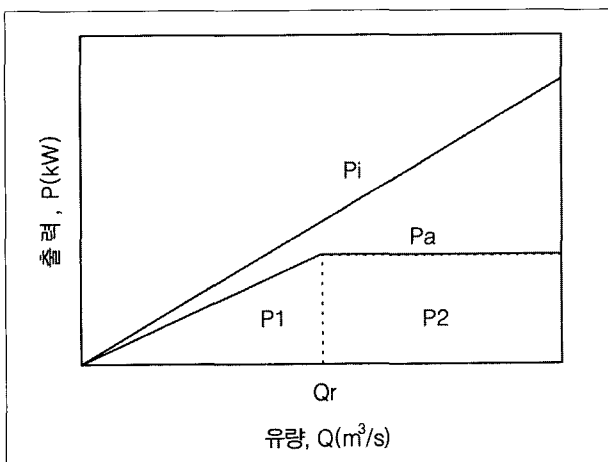


Fig. 1 소수력발전소의 출력특성

$$P_a = \rho g H \eta \left\{ \int_0^{Q_r} P(Q) Q dQ + Q_r \int_{Q_r}^{\infty} P(Q) dQ \right\}$$

$$= \rho g H \eta (S_1 + S_2)$$

$$= P_1 + P_2 \quad (3)$$

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

식(3)을 이용하여 소수력발전소의 설비용량, 연평균기동률 그리고 연간발전량을 산정하면 다음과 같다.

$$C = \rho g H Q_r \eta \quad (4)$$

$$L_f = (S_1 + S_2) / Q_r \quad (5)$$

$$E_a = 8760 C L_f \quad (6)$$

## 3. 결과 및 검토

본 연구에서는 하문리 소수력발전입지를 대상으로하여 성능특성과 경제성을 분석하였다. 하문리 소수력발전입지는 충북 괴산군 불정면, 달천에 위치하고 있다.

Fig. 2는 하문리에 위치한 소수력발전입지의 유역면적으로서 Thiessen망도에 의해 13개의 관측소로부터 영향을 받는 작은 유역면적으로 분할되는 것을 알 수 있다. 하문리 소수력발전입지의 총유역면적은 1,247.1km<sup>2</sup>이며, 분할된 유역면적의 특성은 Table. 1과 같다

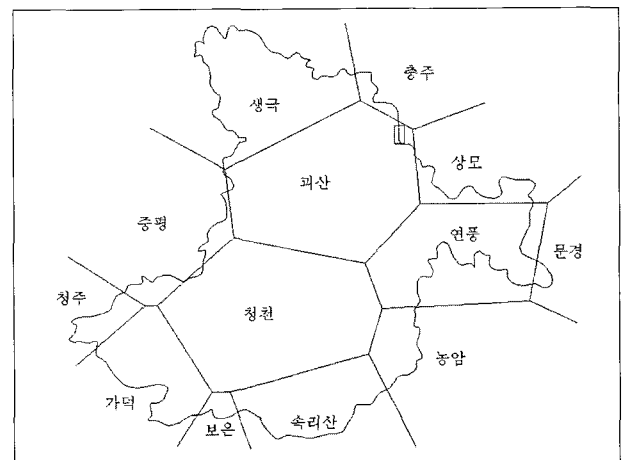


Fig. 2. 하문리 소수력발전입지의 분할된 유역면적도

Table 1. 분할된 유역면적의 특성

관측소	유역면적 ( $A_i, km^2$ )	가중치 ( $W_i, \%$ )	최도계수 ( $\beta, m^3/sec$ )	형상계수 ( $\omega$ )
충주	3.2	1.1	0.012063	0.670838
생곡	141.1	11.3	0.012445	0.663536
증평	23.6	1.9	0.009327	0.661817
청주	16.3	1.3	0.010960	0.723058
가덕	110.6	8.9	0.008984	0.657410
보은	7.5	0.6	0.010828	0.681863
속리산	132.7	10.6	0.013212	0.696928
농암	46.0	3.7	0.012854	0.728544
문경	7.9	0.6	0.010846	0.686818
상모	34.6	2.8	0.011110	0.661292
괴산	260.7	20.9	0.011599	0.675108
청천	308.1	24.7	0.012030	0.692483
연풍	144.8	11.6	0.012174	0.692003
계	1,247.1	100.0		

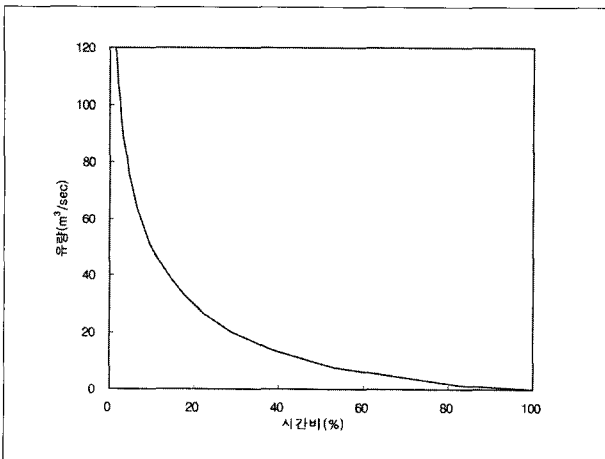


Fig. 3 하문리 소수력발전입지의 유량지속곡선

Fig. 3은 Table. 1에 보여진 분할된 유역면적의 특성이 조합되어 구해진 하문리 소수력발전입지에서의 유량지속곡선을 나타낸다. 이 때  $k=0.57$ 을 적용하였다.

Fig. 4는 하문리 소수력발전입지의 설계유량의 변화에 따른 소수력발전소의 가동율, 설비용량 및 연간전기생산량의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때 소수력발전입지의 특성을 분석하기 위하여 개발될 소수력발전소의 효율은 0.85로 가정하였고, 유효낙차는 7.5m로 산정되어 이 값을 적용하였다.

Fig. 4는 하문리 소수력발전입지의 경우, 설계유량의 변화에 따른 소수력발전소의 가동율, 설비용량 및 연간전기생산량의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때 소수력발전입지의 특성을 분석하기 위하여 개발될 소수력발전소의 효율은 0.85로 가정하였고, 유효낙차는 7.5m로 산정되어 이 값을 적용하였다.

Fig. 5는 하문리지점의 설계유량  $Q_r$ 에 대한 평균발전량  $P_a$ ,

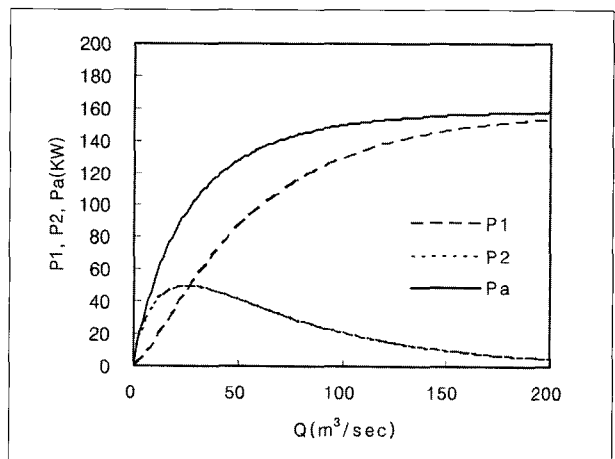


Fig. 5 설계유량변화에 따른 부분 및 정격출력(하문리)

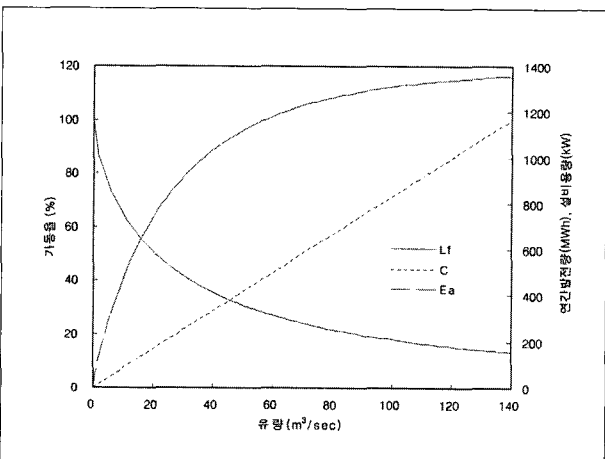


Fig. 4 설계유량변화에 따른 설비용량, 가동율 및 연간전기생산량의 변화

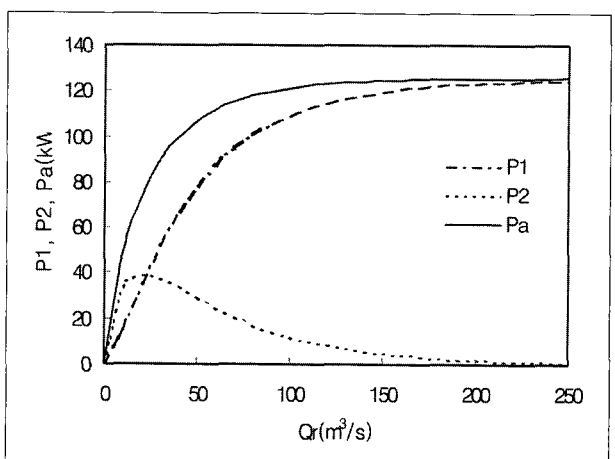


Fig. 6 설계유량변화에 따른 부분 및 정격출력(대소리)

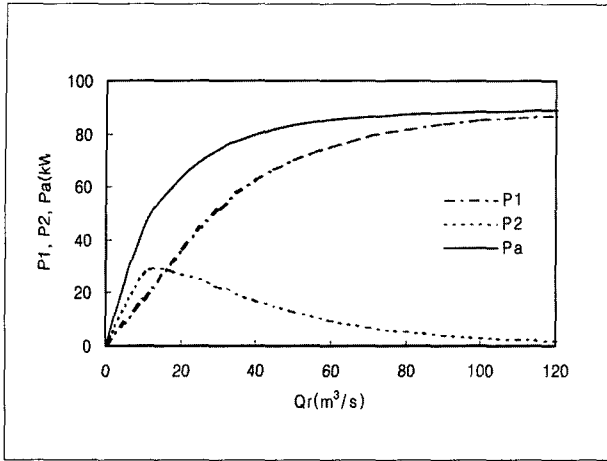


Fig. 7 설계유량변화에 따른 부분 및 정격출력(소천)

Table. 2 소수력발전 지점별 시간비

지점명	시간비*(%)	유량*(m³/sec)	수 계
하문리	22.4	26.5	한 강
대기리	23.0	6.0	"
도둔리	23.4	21.5	"
대소리	26.3	25.0	금 강
성산리	26.3	4.0	"
장수리	25.1	12.5	"
소 천	25.2	14.5	낙동강
대야리	23.2	5.0	"
양촌리	27.2	33.5	"

\* 유량지속곡선상의 시간비  
 \*\* 정격출력 P<sub>2</sub>가 최대로 되는 유량

소수력발전소의 부분출력 P<sub>1</sub> 및 정격출력 P<sub>2</sub>를 나타낸다. 정격출력 P<sub>2</sub>가 설계유량 26.5m<sup>3</sup>/sec에서 49.38kW로 최대가 되며 이때 유량지속곡선상에서의 시간비는 22.43%를 나타낸다. 이러한 사실은 시스템이 연간 82일 이상을 정격상태로 가동한다는 것을 의미한다. 이 지점의 평균에너지량은 단위유효낙차당 220.74kW가 되고, 이때 가동율은 44.46%가 된다. Fig. 6은 하문리지점과 비교를 위하여 전북 진안군 용담면 대소리에 위치한 유역면적이 892.3km<sup>2</sup>인 중규모 유역에 대하여 분석하였다. 대소리 지점에서는 P<sub>2</sub>가 설계유량 25m<sup>3</sup>/sec에서 51.16kW로 최대가 되고 이때 유량지속곡선상에서의 시간비는 26.3%를 나타낸다. 이러한 사실은 시스템이 연간 96일 이상을 정격상태로 가동한다는 것을 의미한다. 이 지점의 평균에너지량은 단위유효낙차당 99.01kW가 되고, 이때 가동율은 50.52%가 된다.

Fig. 7은 소천 소수력발전소의 설계유량 Q<sub>r</sub>에 대한 평균발전량 Pa, 소수력발전시스템의 부분출력 P<sub>1</sub>, 및 정격출력 P<sub>2</sub>를 나타낸다. 정격출력 P<sub>2</sub>가 설계유량 14.5m<sup>3</sup>/sec에서 28.53kWh로 최대가 되며 이때 유량지속곡선상에서의 시간비는 25.2%를 나타낸다. 이러한 사실은 시스템이 연간 92일 이상을 정격상태로 가동한다는 것을 의미한다. 이 지점의 평균발전량은 단위유효낙차당 113.68kWh가 되고, 이때 가동율은 48.22%이며, 연간 발전량은 10,805MWh로 산정됨을 알 수 있다.

상기의 분석결과에서 알 수 있는 바와같이 중·소유역인 하문리, 대소리 및 소천지점에서 정격출력 P<sub>2</sub>가 최대인 유량에서의 시간비는 각각 22.4%, 26.3% 및 25.2%로 나타났다. 시간비는 유역의 수문특성에 따라서 달라지나 일반적으로 월류식을 채택하는 소수력발전소의 경우는 Table. 2에 나타난 바와같이 약 25%전후가 된다. 따라서 소수력발전소를 효율적으로 설계 운영하기 위해서는 설비 자체가 정격으로 가동되는 시간비에 해당하는 유량과 이 때 발생하는 P<sub>2</sub>의 값을 예상하는 것이 매우 중요하다.

#### 4. 결론

소수력발전은 다른 발전방식에 비하여 환경에 대한 영향이 거의 없는 개발 유망한 청정 에너지로서 효과적인 개발을 위해서는 유효낙차, 설계유량 및 설비용량 등 제반 영향인자들에 대한 정확한 분석이 수행되어야만 한다.

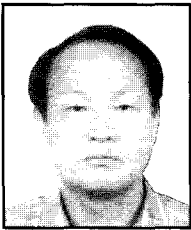
소수력발전의 출력특성은 설계유량을 중심으로 부분출력과 정격출력으로 구분되며, 설계유량 이하에서는 서서히 증대하나 설계유량 이상에서는 일정한 출력을 유지하게 된다. 따라서 개발입지의 유역에서 정격출력이 최대가 되는 설계유량의 산정은 매우 중요하며, 이에 따라 시스템의 성능과 경제성이 좌우된다.

본 연구에서는 소수력발전의 출력특성 분석을 위하여 소수력발전소의 유역에서 부분출력과 정격출력을 구하는 방법과, 정격출력의 Peak 점을 이용하여 설계유량과 시스템이 정격으로 가동될 수 있는 시간비를 산출하였다. 이의 결과로 소수력발전소에서 정격출력의 값을 예측하는 것이 설계유량 산정, 최적설계 및 운용에 매우 중요함이 밝혀졌다.

## References

1. 차종희 외., 1982, 소수력발전의 설계에 관한 연구, 대한전기협회, 조사연구논문.
2. 이철형 외., 1997, 소수력발전소 건설 타당성조사 기본계획 연구, 한국에너지기술연구소, 연구보고서.
3. Robert Noyes., 1980, Small and Micro Hydro-Electric Power Plants : Technology and Feasibility, Energy Technology Review No.60, Noyes Data Corporation, U.S.A.
4. 이철형, 박완순, 심명필., 1997, "국내 소수력발전입지의 개발타당성 분석", 대한토목학회논문집, 제17권, 제 II -3호.
5. 이철형, 박완순, 정상만, 1998, "소수력발전소의 건설 타당성분석 기법", 한국태양에너지학회논문집, Vol. 18, No. 3.
6. 박완순 외., 2006, 소수력발전 건설타당성 조사 기본계획연구, 한국에너지기술연구원, 연구보고서.

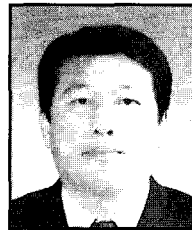
### 박완순



1981년 고려대학교 토목공학과 공학사  
 1999년 공주대학교 토목공학과 공학석사  
 2003년 공주대학교 토목공학과 공학박사

현재 한국에너지기술연구원 책임연구원  
 (E-mail ; pwsn@kier.re.kr)

### 이철형



1976년 인하대학교 항공공학과 공학사  
 1981년 인하대학교 항공공학과 공학석사  
 1993년 인하대학교 항공공학과 공학박사

현재 한국에너지기술연구원 책임연구원  
 (E-mail ; lchg@kier.re.kr)