

## 강우형태 변화에 의한 소수력발전소 성능특성분석

박 완순<sup>1)</sup>, 이 철형<sup>2)</sup>

### Analysis of Performance Characteristic for Small Scale Hydro Power Plant with Rainfall Condition Change

Wansoon Park, Chulhyung Lee

**Abstract** : The effects of design parameters for small scale hydro power(SSHP) plants due to rainfall condition have been studied. The model to predict hydrologic performance for SSHP plants is used in this study. The results from analysis for rainfall conditions based on KIER model show that the capacity and load factor of SSHP site had large difference between the period. Especially, the hydrologic performance of SSHP site such as design flowrate due to rainfall condition of recent period varied sensitively. And also, the methodology represented in this study can be used to decide the primary design specifications of SSHP sites.

**Key words** : Small scale hydro power(소수력), Diversion dam(월류댐), Design parameter(설계변수), Design flowrate(설계유량), Rainfall condition(강우상태)

#### Nomenclature

$A$  : basin area,  $\text{km}^2$   
 $C$  : capacity, kW  
 $D(Q)$ : flow duration function  
 $F(Q)$ : cumulative distribution function  
 $g$  : gravitational acceleration,  $\text{m/s}^2$   
 $He$  : effective head, m  
 $k$  : discharge coefficient  
 $L_f$  : load factor of small hydropower plants, %  
 $P$  : power, kW  
 $P_a$  : output of unit time, kWh  
 $P_{ia}$  : ideal hydropower, kWh  
 $P_1$  : partial output, kWh  
 $P_2$  : rated output, kWh  
 $P(Q)$ : probability density function  
 $Q$  : flowrate,  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $Q_a$  : annual mean flowrate,  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $Q_m$  : monthly mean flowrate,  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $Q_r$  : design flowrate,  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $R_t$  : annual rainfall amount, mm  
 $R_m$  : monthly rainfall amount, mm  
 $T$  : time ratio, %  
 $U_f$  : utility factor of small hydropower, %  
 $\alpha$  : shape parameter of Weibull distribution  
 $\beta$  : scale parameter of Weibull distribution,  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $\rho$  : density of water,  $\text{kg/m}^3$

$\eta$  : efficiency of small hydropower plant

#### 1. 서론

지난 10년간 한반도의 기후는 과거 30년간에 비하여 많이 달라졌다. 소수력자원과 관련이 있는 강우량의 경우, 최근 10년간 연평균강수량은 1485.5mm로 과거 30년보다 11% 증가하였으며, 여름 강수량 증가비율은 18%로 여름철 집중호우(하루 강수량 80mm이상)가 특히 많이 늘고 있는 것으로 분석되었다. 집중호우일수는 연평균 36.7일로 50년전에 비하여 1.7배 증가한 것으로 나타났다.

대부분의 소수력발전소는 하천의 상류에 위치하고 있으며, 유량에 관한 실측자료가 부족하다. 이와 같은 제한점을 해결하기 위하여 계측자료가 없는 우리나라의 소수력발전소에 대한 수문학적 특성을 분석하기 위한 해석방법이 연구되어 왔다.

본 연구는 기후변화에 의한 강우형태의 변화가 소수력발전소의 수문학적 성능특성에 미치는 영향을 분석한 것으로, 성능특성은 수문자료가 없는 소수력발전소의 성능특성을 예측할 수 있는 분석 모델을 이용하였다. 본 연구를 위하여 안동댐으로

- 
- 1) 한국에너지기술연구원  
E-mail : pwsn@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3432 Fax : (042)860-3739
  - 2) 한국에너지기술연구원  
E-mail : lchg@kier.re.kr  
Tel : (042)860-3437 Fax : (042)860-3739

유입되는 32년간의 장기유입량자료를 이용하였으며, 강우형태변화에 따른 소수력발전소의 수문학적 성능특성의 변화가 도출되었다.

## 2. 하천의 유량지속특성 분석모델

하천의 유량은 하천이 소속되어 있는 해당 유역 면적내의 강수량에 의해 결정되기 때문에 이를 분석함으로써 예측할 수 있다.

하천의 연평균유량은 해당유역의 연평균강수량과 유역면적으로부터 다음과 같이 산정된다.

$$Q_a = \frac{R_t \times 10^{-3} \times A \times 10^6 \times k}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \quad (1)$$

유출계수 k가 연중 일정한 값을 유지한다면 하천의 월평균유량은 다음과 같이 산정된다.

$$Q_m = \frac{R_m \times 10^{-3} \times A \times 10^6 \times k}{30.42 \times 24 \times 60 \times 60} \quad (2)$$

식(2)를 이용하여 관측소에서 측정된 월강수량 자료를 단위유역면적(1km<sup>2</sup>)당의 월평균유량 q로 환산할 수 있으며, 이를 이용하여 단위유역면적당의 유량지속곡선을 작성할 수 있다. 유량지속곡선은 유량의 크기별로 누적시킨 것으로 특정한 누가확률분포함수의 형태로 표시할 수 있다.

Weibull분포의 확률밀도함수와 누가확률분포함수는 다음과 같이 표시된다.

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

$$F(q) = \int_0^q P(q) dq = 1 - \exp(-(q/\beta)^\alpha) \quad (4)$$

소수력발전소를 통과하는 유량은 다음과 같이 표시된다.

$$Q = A q \quad (5)$$

따라서 소수력발전소에서의 누가확률분포함수와 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$F(Q) = A(1 - \exp(-(q/\beta)^\alpha)) \quad (6)$$

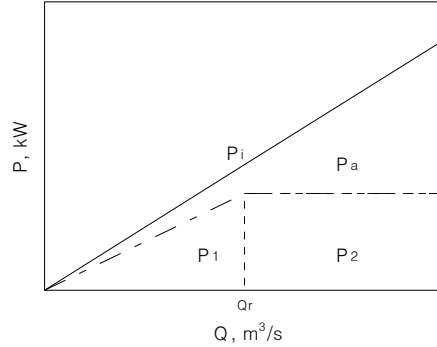
$$P(Q) = A((\alpha/\beta) (q/\beta)^{\alpha-1} \exp(-(q/\beta)^\alpha)) \quad (7)$$

소수력발전소에서의 유량지속곡선을 나타내는 유량지속함수는 다음과 같이 구해진다.

$$D(Q) = 1 - F(Q) = A \exp(-(q/\beta)^\alpha) \quad (8)$$

## 3. 소수력발전소의 성능예측모델

[그림 1]은 낙차가 일정한 경우, 월류댐을 갖는 소수력발전소의 유량변화에 따른 출력성능특성을 나타내는 그림이다.



[그림 1] 소수력발전소의 출력특성

소수력발전소에서의 이상적인 출력은 다음과 같이 표시된다.

$$P_i = \rho g Q H \quad (9)$$

Weibull분포를 이용하여 소수력발전소에서 얻을 수 있는 이상적인 출력량을 구하면 다음과 같다.

$$P_{ia} = \rho g H \eta \int_0^\infty P(Q) Q dQ \quad (10)$$

소수력발전소는 월류댐을 사용하기 때문에 설계 유량이하의 유량이 유입될 경우에는 모두 에너지로 변환할 수 있으나, 설계유량이상의 유량이 유입될 경우에는 설계유량에 해당되는 유량만을 사용하고 초과유량은 월류댐 상단을 통하여 방류하게 된다. 소수력발전소에서의 얻을 수 있는 단위시간당 출력량을 구하면 다음과 같다.

$$P_a = \rho g H \eta \int_0^{Q_r} P(Q) Q dQ + \rho g H Q_r \eta \int_{Q_r}^\infty P(Q) dQ = P_1 + P_2 \quad (11)$$

소수력발전소의 시설용량, 가동율과 연간출력량은 다음과 같다.

$$C = \rho g H Q_r \eta \quad (12)$$

$$L_f = P_a / C \quad (13)$$

$$E_a = 8,760 C L_f \quad (14)$$

또한 소수력발전소에서의 소수력에너지 이용율은 다음과 같다.

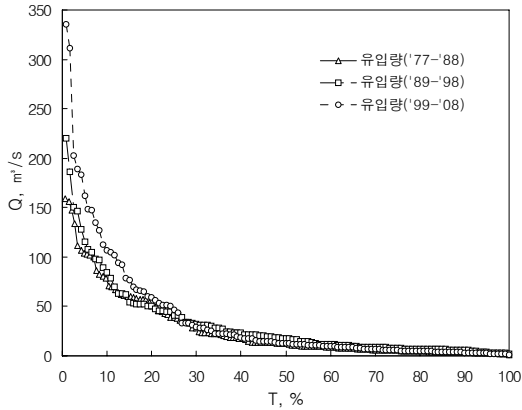
$$U_f = P_a / P_{ia} \quad (15)$$

## 4. 안동댐의 장기유입량 분석

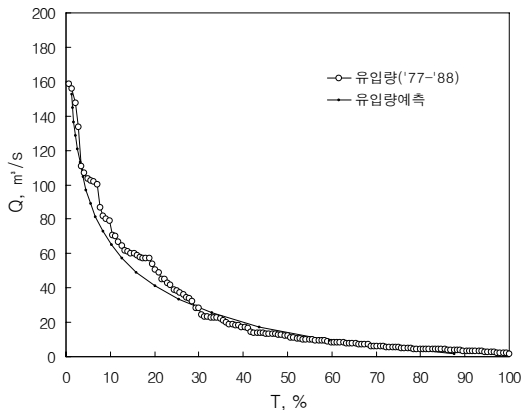
본 연구에서는 유역면적이 1,584km<sup>2</sup>인 낙동강 수계의 안동댐을 대상으로 32년간('77~'08)실측된 유입량자료를 분석하였다.

[그림 2]는 안동댐 유입량자료를 10년단위로 구분하여 표시한 것으로, 유입량은 20~30년전에 비해 최근 10년간의 유입량이 크게 증가되었으며, 폭우에 대한 빈도가 증가하였음을 알 수 있다.

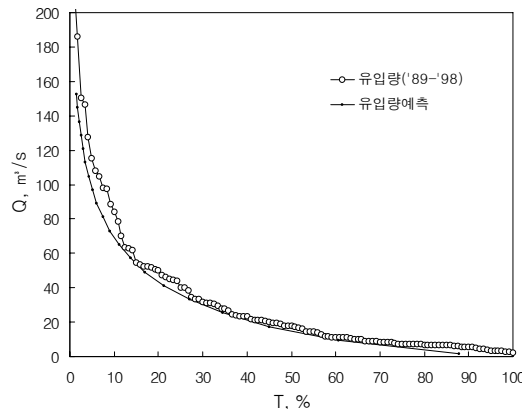
[그림 3]에서 [그림 5]까지는 유량지속특성에 관한 모델을 이용하여 기간별 유입량을 예측한 것으로, 본 연구에서 사용한 유량지속함수가 강우형태 변화에 의한 영향을 효과적으로 표현해 주고 있다는 것을 알 수 있다.



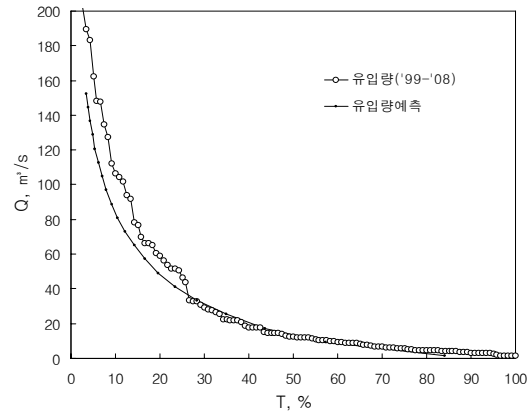
[그림 2] 안동댐 기간별 유입량



[그림 3] 안동댐 유입량 예측('77-'88)



[그림 4] 안동댐 유입량 예측('89-'98)



[그림 5] 안동댐 유입량 예측('99-'08)

## 5. 소수력발전소의 성능특성변화

기후변화에 의한 강우형태의 변화가 소수력발전소에 미치는 영향을 분석하기 위하여 안동댐상류에 위치한 소천소수력발전소를 대상으로 성능특성을 분석하였다. 소천소수력발전소의 설계제원은 <표 1>과 같다.

<표 1> 소천소수력발전소 설계제원

$Q_r$ , $m^3/s$	$H_e$ , m	P, kW	A, $km^2$
12.5	22.5	2,400	533

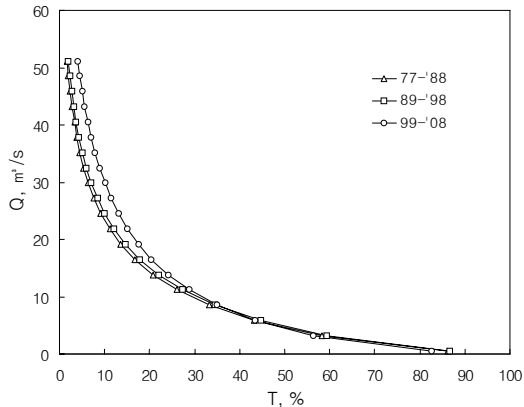
[그림 6]은 소천소수력발전소에서의 기간별 유량지속특성을 나타내는 것으로 최근 10년간의 강우형태는 강우량의 증가와 더불어 폭우에 대한 빈도가 커졌다는 것을 알 수 있다.

[그림 7]은 기간별 연간가동율의 변화를 나타내는 것으로, 소천소수력발전소의 설계유량이  $12.5m^3/s$ 이므로 '89~'98까지의 연간가동율은 47.7%, '99~'08까지의 연간가동율은 46.6%로 예측되어 가동율이 증가하지 않는다는 것을 보여준다. [그림 8]은 기간별 연간에너지 생산량의 변화를 나타내는 것으로 연간 가동율의 변화와 같이 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

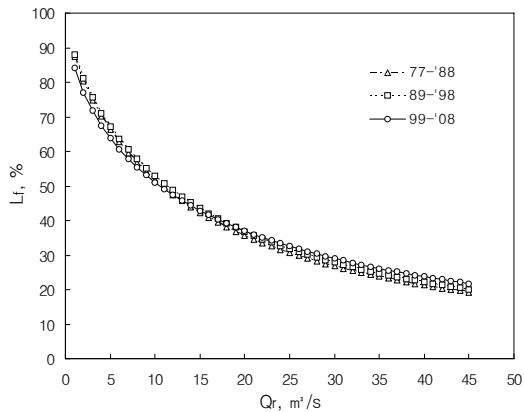
[그림 9]는 기간별 정격출력량의 변화를 나타내는 것으로 최근 10년간의 강우형태 변화가 정격출력량이 나타나는 설계유량을 많이 변화시킨다는 것을 알 수 있다. '89~'98기간의 경우, 설계유량이  $12m^3/s$ 에서 정격출력량이 최대가 되며, '99~'08기간의 경우에는 설계유량이  $17m^3/s$ 에서 정격출력량이 최대가 되는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 강우형태의 변화로 인하여 신규로 소수력발전소를 건설할 경우에는 설계유량을 크게 선정하여야 한다는 것을 나타낸다.

[그림 10]은 기간별 소수력에너지 이용율의 변화를 나타내는 것으로, '89~'98기간의 설계유량  $12m^3/s$ 에서의 이용율과 '99~'08기간의 설계유량  $17m^3/s$ 에서의 이용율이 48%로 동일하다는 것을 보여준다.

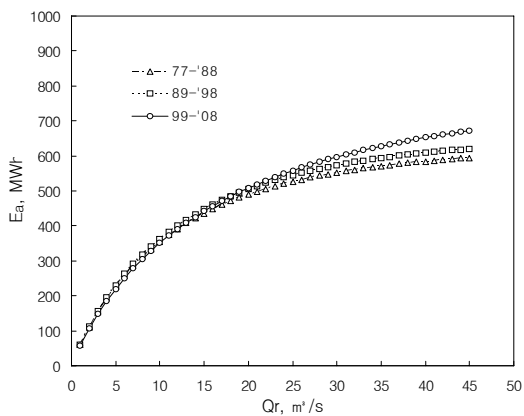
[그림 11]은 20년간 소천소수력발전소의 연간가동율의 변화를 나타내는 것으로 '89~'98까지의 평균가동율은 42.98%, '99~'08까지의 평균가동율은 42.95로 나타나 [그림 7]에서와 같이 최근 10년간의 강우량의 증가가 실제 기존의 소수력발전소의 가동율을 증가시키지는 않는다는 것을 보여준다.



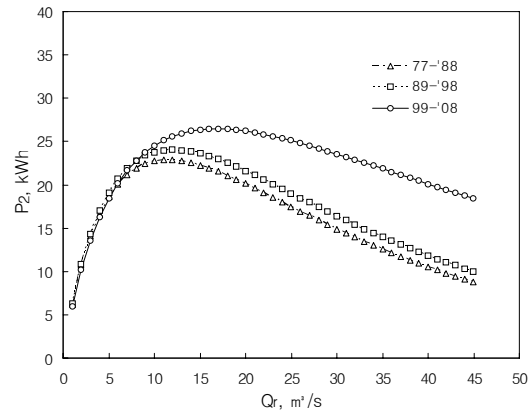
[그림 6] 기간별 유량지속곡선의 변화 예측



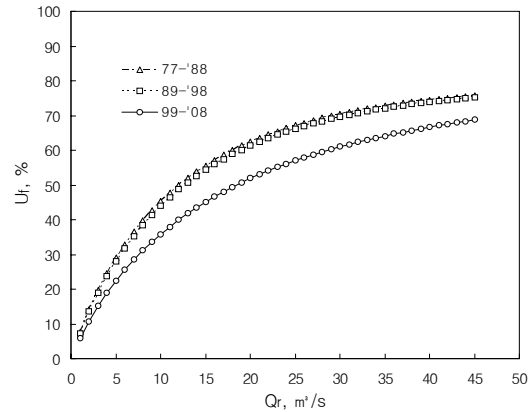
[그림 7] 기간별 연간가동율의 변화 예측



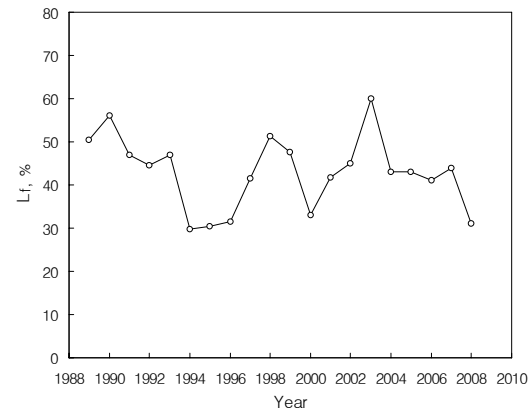
[그림 8] 기간별 연간에너지생산량의 변화 예측



[그림 9] 기간별 정격출력량의 변화 예측



[그림 10] 기간별 이용율의 변화 예측



[그림 11] 연도별 연간가동율의 변화

## 6. 결론

기후변화에 따른 강우형태의 변화가 소수력발전소의 수문학적 성능특성에 미치는 영향을 분석하였다.

본 연구에서 사용한 장기유입량예측모델이 소수력발전소의 수문학적 특성을 분석하는데 효과적으로 사용될 수 있다는 것이 밝혀졌다.

분석 결과, 최근의 10년간의 강우량 증가는 수

력에너지 가용량을 증가시키지만, 소수력발전소는 월류댐을 채택하기 때문에 기존의 소수력발전소의 가동을 향상에는 기여하지 못하는 것으로 밝혀졌다.

또한 강우형태의 변화로 인하여 폭우에 대한 빈도가 많아져 신규로 설계하는 소수력발전소의 경우에는, 기존의 소수력발전소와는 달리 설계유량을 크게 선정하여야할 것으로 분석되었다.

정격출력량이 최대가 되는 유량을 설계유량으로 선정할 경우, 주어진 소수력에너지를 효과적으로 사용할 수 있으며, 수문학적으로 최적의 설계상태임을 나타낸다.

### References

(1) 김길호, 이충성, 이진희, 심명필, "경제성분

- 석에 의한 소수력개발의 최적규모 결정 방안", 한국수자원학회논문집, 제40권, 제12호, 2007.
- (2) 이충성, 김길호, 이진희, 심명필, "지형공간정보체계를 활용한 소수력개발의 입지분석", 한국수자원학회논문집, 제40권, 제12호, 2007.
- (3) 박완순, 이철형, 심명필, "국내 소수력발전입지의 개발타당성 분석", 대한토목학회논문집, 제17권, 제II-3호, 1997.
- (4) 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.
- (5) 박완순, 이철형, "소수력발전소의 성능예측기법에 관한 연구", 한국수자원학회, 춘계학술대회, 2003.