

강우상태에 의한 소수력발전소 설계인자의 영향

박완순*, 이철형*

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

The Effects of Design Parameters for Small Scale Hydro Power Plant with Rainfall Condition

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

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

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 Weibull distribution show that the capacity and load factor of SSHP site had large difference between the variation of shape and scale parameter. Especially, the hydrologic performance of SSHP site due to variation of shape parameter varied more sensitive than the case of variation of scale parameter. And also, the methodology represented in this study can be used to decide the primary design specifications of SSHP sites.

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

기 호 설 명

C	: 시설용량(kW)	P_a	: 단위시간당 출력량(kWh)
E_a	: 연간출력량(MWh)	P_i	: 이상적인 출력(kW)
g	: 중력가속도(m/sec ²)	P_{ia}	: 이상적인 출력량(kWh)
H	: 낙차(m)	P_1	: 부분출력량(kWh)
L_f	: 소수력발전소의 가동율(%)	P_2	: 정격출력량(kWh)
P	: 출력(kW)	$P(Q)$: 확률밀도함수
		Q	: 유량(m ³ /sec)

접수일자 : 2008년 1월 7일, 심사완료일자:2008년 2월 18일
교신저자 : 이철형(lchg@kier.re.kr)

- Q_r : 설계유량(m^3/sec)
- U_f : 소수력에너지 이용율(%)
- α : Weibull분포의 형상계수
- $\Delta\alpha$: 형상계수의 증감율
- α_R : 형상계수비($=1\pm\Delta\alpha$)
- β : Weibull분포의 척도계수(m^3/sec)
- $\Delta\beta$: 척도계수의 증감율
- β_R : 척도계수비($=1\pm\Delta\beta$)
- ρ : 물의 밀도(kg/m^3)
- η : 소수력발전소의 효율

1. 서 론

소수력자원은 신재생에너지 중에서도 온실가스 배출량이 가장 적고 에너지밀도가 매우 높기 때문에 개발할 가치가 큰 청정부존자원으로 평가되고 있다. 특히, 우리나라에서 소수력발전은 화석연료의 감축노력과 풍부한 부존량을 바탕으로 대체에너지로서 성장 잠재력이 클 것으로 전망된다. 소수력 개발의 성공은 사업시행을 판가름할 경제성분석에 의해 좌우되는데, 그 결과는 개발형식 및 설비용량과 같은 발전성능 특성에 의해 결정된다.⁽¹⁾⁽²⁾ 그런데 발전성능 특성은 지형조건, 수문조건 및 환경·생태조건 등에 의해 결정되므로 정확한 입지분석은 소수력 개발의 핵심적 과제라 할 수 있다.⁽³⁾⁽⁴⁾ 따라서 소수력발전소를 효과적으로 개발하기 위해서는 이들 영향인자들에 대한 정확한 분석이 수행되어야 한다.

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.⁽⁵⁾⁽⁶⁾

그러나 이러한 방법은 장기간에 걸친 작업을 요하므로 인원 및 장비에 따른 경제적인 문제가 따른다. 이와 같은 제한점을 해결하기 위하여 계측자료가 없는 우리나라의 소

수력발전입지에 대한 수문학적 특성을 분석하기 위한 해석방법이 연구되어 왔다.⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾

본 연구는 강우상태가 소수력발전입지의 수문학적 성능특성에 미치는 영향을 분석한 것으로, 성능특성은 수문자료가 없는 소수력발전입지의 성능특성을 예측할 수 있는 분석모델을 이용하였다.⁽¹⁰⁾ 분석 결과, 소수력발전입지의 수문학적 성능특성은 해당구역의 강우상태에 따라 변하는 것으로 밝혀졌다.

2. 소수력발전소의 성능예측기법

소수력발전소에서의 이상적인 출력은 다음과 같이 표시된다.

$$P_i = \rho g Q H \quad (1)$$

소수력발전소에서 얻을 수 있는 이상적인 출력량은 유량변화를 표현할 수 있는 Weibull 분포를 이용할 수 있다.

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

식(2)는 하천의 유량변화의 특징을 표현해 주는 Weibull분포를 나타내는 것으로, α 와 β 는 분포의 형상과 유량의 크기에 관련되는 계수들로 형상계수와 척도계수라 하며 해당구역의 강우형태와 강우량에 따라 결정된다.

Weibull분포를 이용하여 소수력발전소에서 얻을 수 있는 이상적인 출력량을 구하면 다음과 같다.⁽¹⁰⁾

$$P_{ia} = \rho g H \eta \int_0^\infty P(Q) Q dQ \quad (3)$$

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

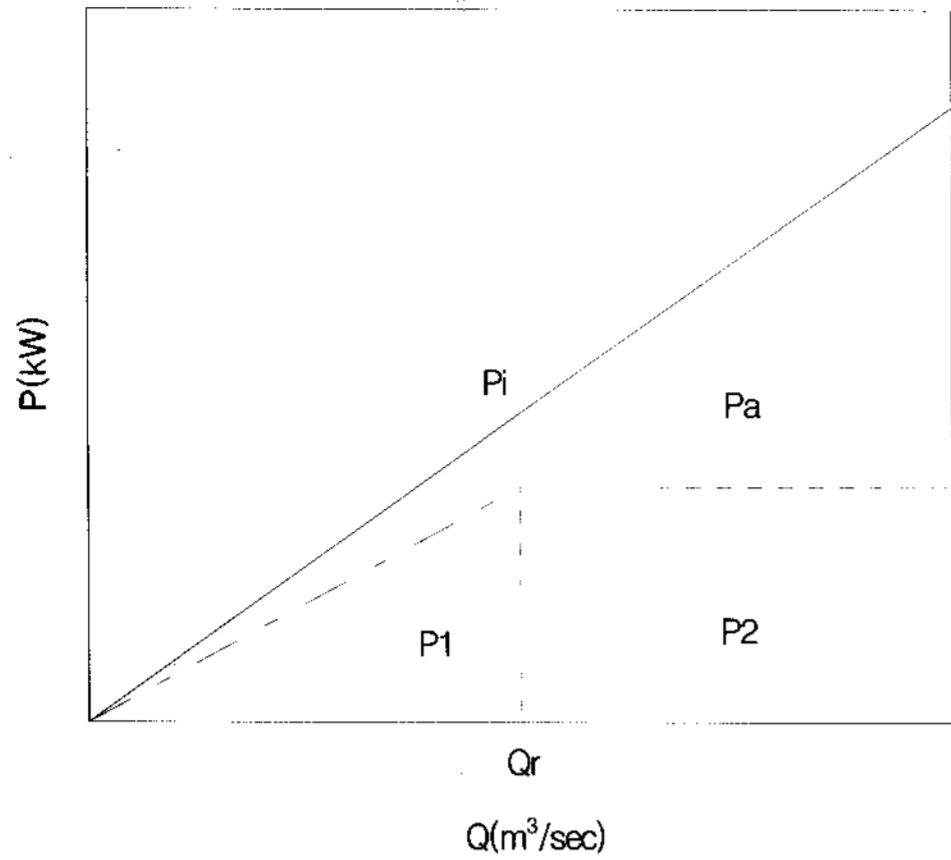


그림 1 소수력발전소의 출력특성

소수력발전소는 월류댐을 사용하기 때문에 설계유량이하의 유량이 유입될 경우에는 모두 에너지로 변환할 수 있으나, 설계유량 이상의 유량이 유입될 경우에는 설계유량에 해당되는 유량만을 사용하고 초과유량은 월류댐 상단을 통하여 방류하게 된다. 소수력발전소로 유입되는 유량은 항상 변하기 때문에 소수력발전소에서 생산되는 에너지는 쉽게 구할 수 없다. Weibull 분포를 이용하여 소수력발전소에서 얻을 수 있는 단위시간당 출력량을 구하면 다음과 같다.

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

소수력발전소의 시설용량, 가동율과 연간출력량은 다음과 같다.

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

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

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

또한 소수력발전소에서의 소수력에너지

이용율은 다음과 같다.

$$U_f = P_a / P_{ia} \quad (8)$$

3. 강우상태에 따른 성능특성변화

소수력발전소의 수문학적 성능에 영향을 주는 인자로는 해당구역의 강우상태에 의하여 결정되는 Weibull분포의 형상계수 및 척도계수 등을 들 수 있다. 이들 인자들의 영향을 검토하기 위하여 평창강에 위치한 소수력발전입지를 선정하여 소수력발전소로 건설할 경우, 수행되어야 하는 설계변수들의 특성을 분석하였다.

그림 2는 척도계수 변화에 따른 정격출력량의 변화를 보여준다. 정격출력량의 값은 척도계수가 증가할수록 증가한다. 척도계수는 하천의 연평균유량과 관계되는 값이기 때문에 형상계수의 변화가 없이 단지 척도계수만 증가한다는 것은 연평균강우량의 증가에 의한 연평균유량의 증가로 나타난다. 정격출력량이 최대가 되는 설계유량은 척도계수의 증감율이 $\Delta\beta = -0.2$ 일 경우 $15.6\text{m}^3/\text{sec}$, $\Delta\beta = 0$ 일 경우 $19.5\text{m}^3/\text{sec}$, $\Delta\beta = 0.2$ 일 경우 $23.4\text{m}^3/\text{sec}$ 로 척도계수가 증가할수록 증가한다.

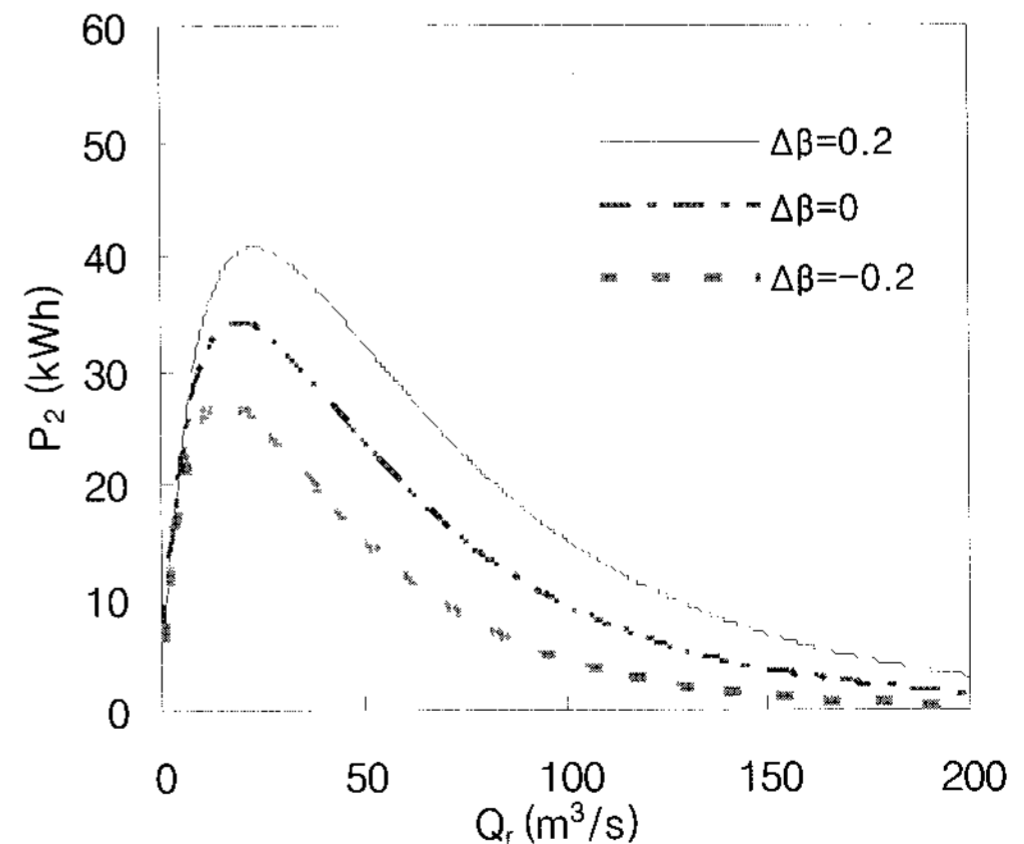


그림 2. 척도계수의 증감율에 따른 정격출력량의 변화

그림 3은 형상계수 변화에 따른 정격출력량의 변화를 보여주는 것으로, 형상계수가 증가할수록 정격출력량의 값이 감소하며, 이에 따른 설계유량의 값도 작아진다. 형상계수는 하천의 강우패턴과 관계되는 값이기 때문에 척도계수의 변화가 없이 단지 형상계수만 변화한다는 것은 연간강우량은 같지만 강우의 집중도가 변한다는 것을 의미한다. 형상계수가 클수록 강우의 집중도가 증가하며, 형상계수의 증가는 하천의 연평균유량 등의 장기적인 변화가 없이 특정한 범위의 유량이 나타나는 빈도가 크다는 것을 나타낸다. 정격출력량이 최대가 되는 설계유량은 형상계수의 증감율이 $\Delta\alpha=-0.2$ 일 경우 $34.5\text{m}^3/\text{sec}$, $\Delta\alpha=0$ 일 경우 $19.5\text{m}^3/\text{sec}$, $\Delta\alpha=0.2$ 일 경우 $14.0\text{m}^3/\text{sec}$ 으로 형상계수가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

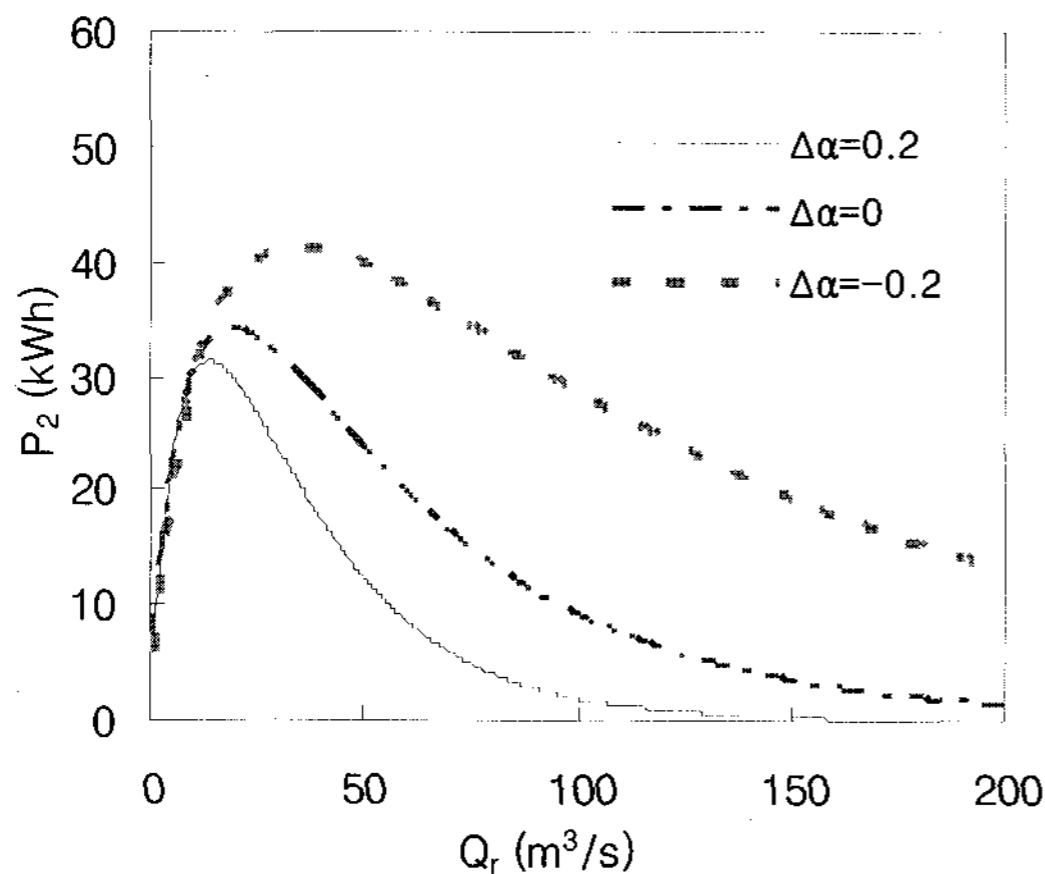


그림 3. 형상계수의 증감율에 따른 정격출력량의 변화

그림 4는 형상계수의 증감율과 척도계수의 증감율 변화에 따른 정격출력량의 변화를 나타내는 것으로 그림 2와 그림 3에서 정격출력량이 최대가 되는 값을 나타낸 것이다.

정격출력량은 형상계수의 증감율이 $\Delta\alpha=-0.2$ 일 경우 41.3kWh , $\Delta\alpha=0$ 일 경우 33.9kWh , $\Delta\alpha=0.2$ 일 경우 31.3kWh 로 형상계수가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 반면에 척도계수의 증감율이 $\Delta\beta=-0.2$ 일 경

우 27.1kWh , $\Delta\beta=0$ 일 경우 33.9kWh , $\Delta\beta=0.2$ 일 경우 40.7kWh 로 정격출력량은 척도계수가 증가할수록 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 강우형태는 동일하고 강우량만 비례적으로 증가하기 때문에 나타나는 현상이다. 형상계수의 변화는 연간강우량이 같아도 강우형태가 변하는 것을 표현하는 것으로, 이 값의 변화는 강우의 집중도에 관계가 있으므로 소수력발전소의 설계유량 선정에 많은 영향을 미친다.

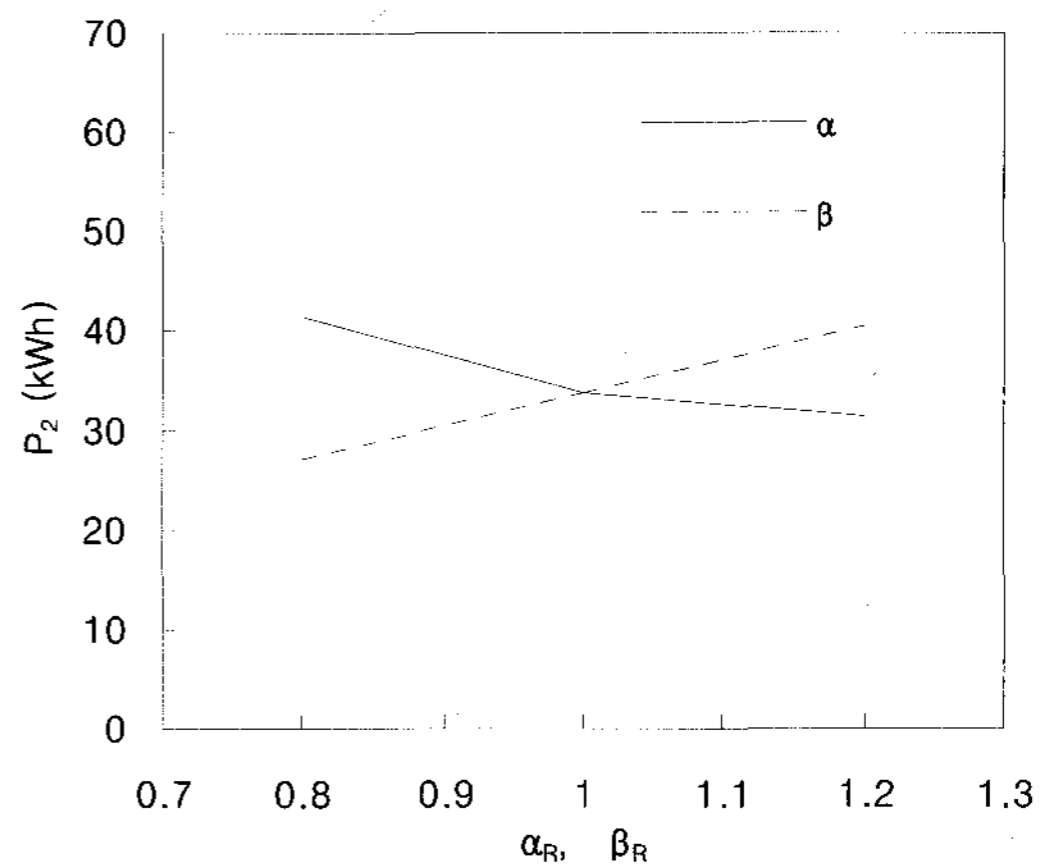


그림 4. 형상계수비와 척도계수비 변화에 따른 정격출력량의 변화

그림 5는 형상계수의 증감율과 척도계수의 증감율 변화에 따른 시설용량의 변화를 나타낸다. 시설용량은 그림 2와 그림 3에서 정격출력이 최대가 되는 유량을 설계유량으로 선정하여 산정한 것이다. 시설용량은 $\Delta\alpha=-0.2$ 일 경우 270.5kW , $\Delta\alpha=0$ 일 경우 152.9kW , $\Delta\alpha=0.2$ 일 경우 109.8kW 로 형상계수가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이는 형상계수가 -20% 에서 $+20\%$ 로 변하는 동안, 시설용량은 $+76.9\%$ 에서 -28.2% 의 변화를 가져오는 것으로 나타났다. 반면에 시설용량은 $\Delta\beta=-0.2$ 일 경우 121.5kW , $\Delta\beta=0$ 일 경우 152.9kW , $\Delta\beta=0.2$ 일 경우 184.2kW 로 척도계수가 증가할수록 증가한다. 척도계수가

-20%에서 +20%로 변하는 동안, 시설용량은 -20.0%에서 +20.0%로, 척도계수의 변화량에 따라 선형적으로 변하는 것으로 나타났다.

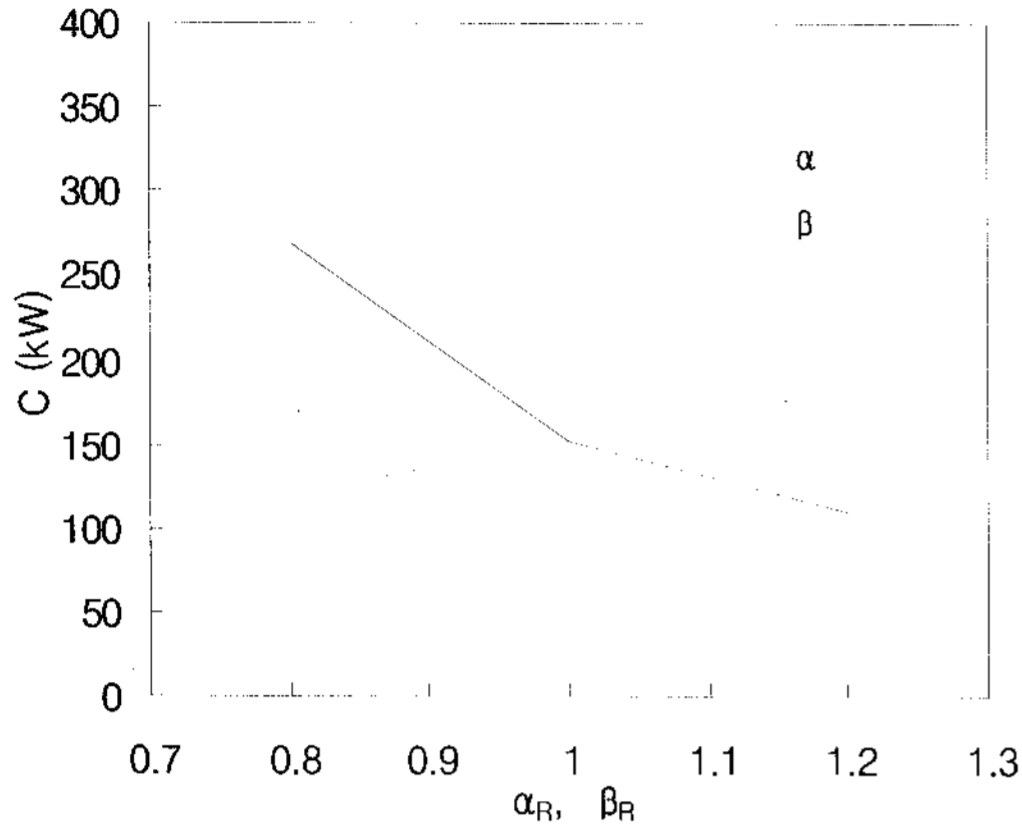


그림 5. 형상계수비와 척도계수비의 변화에 따른 시설용량의 변화

그림 6은 형상계수의 증감율과 척도계수의 증감율 변화에 따른 연간출력량의 변화를 나타낸다. 연간출력량은 $\Delta\alpha=-0.2$ 일 경우 775.4MWh, $\Delta\alpha=0$ 일 경우 587.3MWh, $\Delta\alpha=0.2$ 일 경우 508.3MWh로 형상계수가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이는 형상계수가 -20%에서 +20%로 변하는 동안, 연간출력량은 +32.0%에서 -13.5%의 변화를 가져오는 것으로 나타났다. 반면에 연간출력량은 $\Delta\beta=-0.2$ 일 경우 468.3MWh, $\Delta\beta=0$ 일 경우 587.3MWh, $\Delta\beta=0.2$ 일 경우 706.3MWh로 척도계수가 증가할수록 증가한다. 척도계수가 -20%에서 +20%로 변하는 동안, 연간출력량은 -20.0%에서 +20.0%로, 척도계수의 변화량에 따라 선형적으로 변하는 것으로 나타났다.

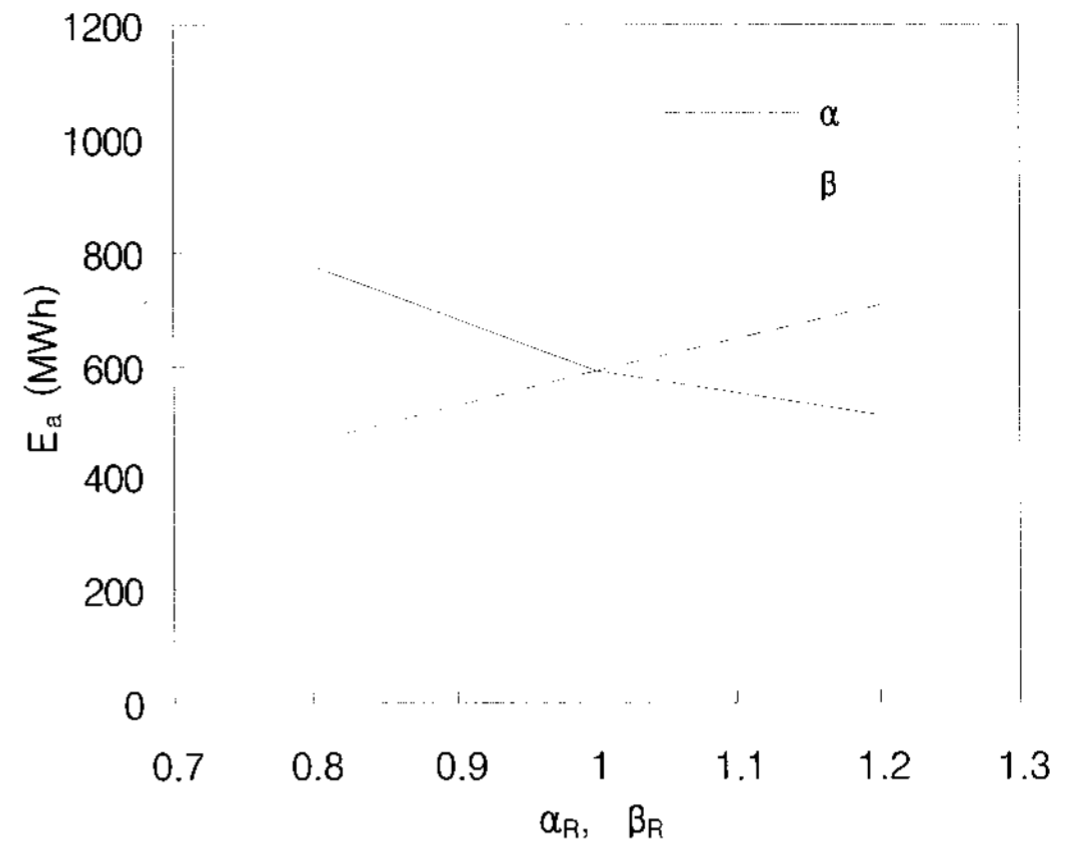


그림 6. 형상계수비와 척도계수비 변화에 따른 연간출력량의 변화

그림 7은 형상계수의 증감율과 척도계수의 증감율 변화에 따른 시설용량과 정격출력량비의 변화를 나타내는 것이다. 형상계수의 증감율이 $\Delta\alpha=-0.2$ 일 경우 0.153, $\Delta\alpha=0$ 일 경우 0.222, $\Delta\alpha=0.2$ 일 경우 0.285로 형상계수가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 이는 형상계수가 -20%에서 +20%로 변하는 동안, -31.1%에서 +28.4%의 변화를 가져오는 것으로 나타났다. 반면에 척도계수의 증감율이 변화할 경우, 이 값은 0.222로 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

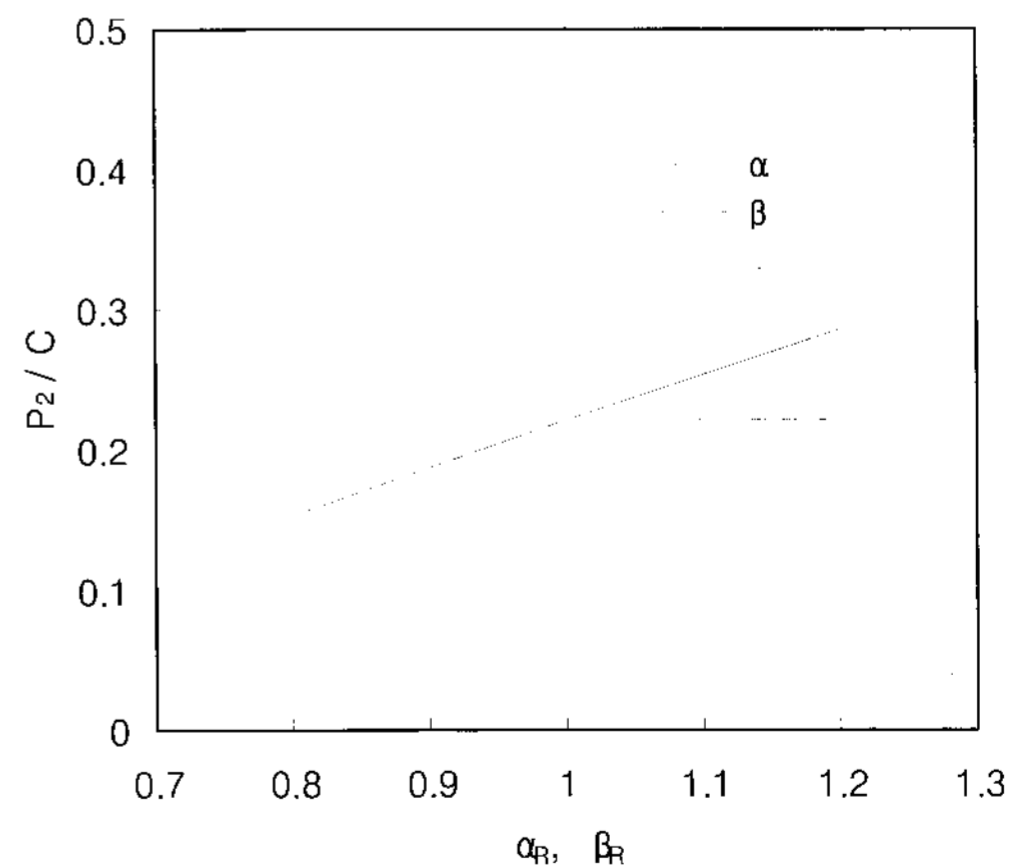


그림 7. 형상계수비와 척도계수비 변화에 따른 P_2/C 비의 변화

그림 8은 형상계수의 증감율과 척도계수의 증감율 변화에 따른 가동율의 변화를 나타내는 것이다. 정격출력량이 최대가 되는 설계유량에서는 $\Delta\alpha=-0.2$ 일 경우 32.7%, $\Delta\alpha=0$ 일 경우 43.8%, $\Delta\alpha=0.2$ 일 경우 52.9%로 형상계수가 증가할수록 가동율은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 형상계수가 -20%에서 +20%로 변하는 동안, 가동율은 -25.3%에서 +20.5%의 변화를 가져오는 것으로 나타났다. 반면에 척도계수의 증감율이 변화할 경우, 가동율은 43.8%의 일정한 값을 유지하는 것으로 나타났다.

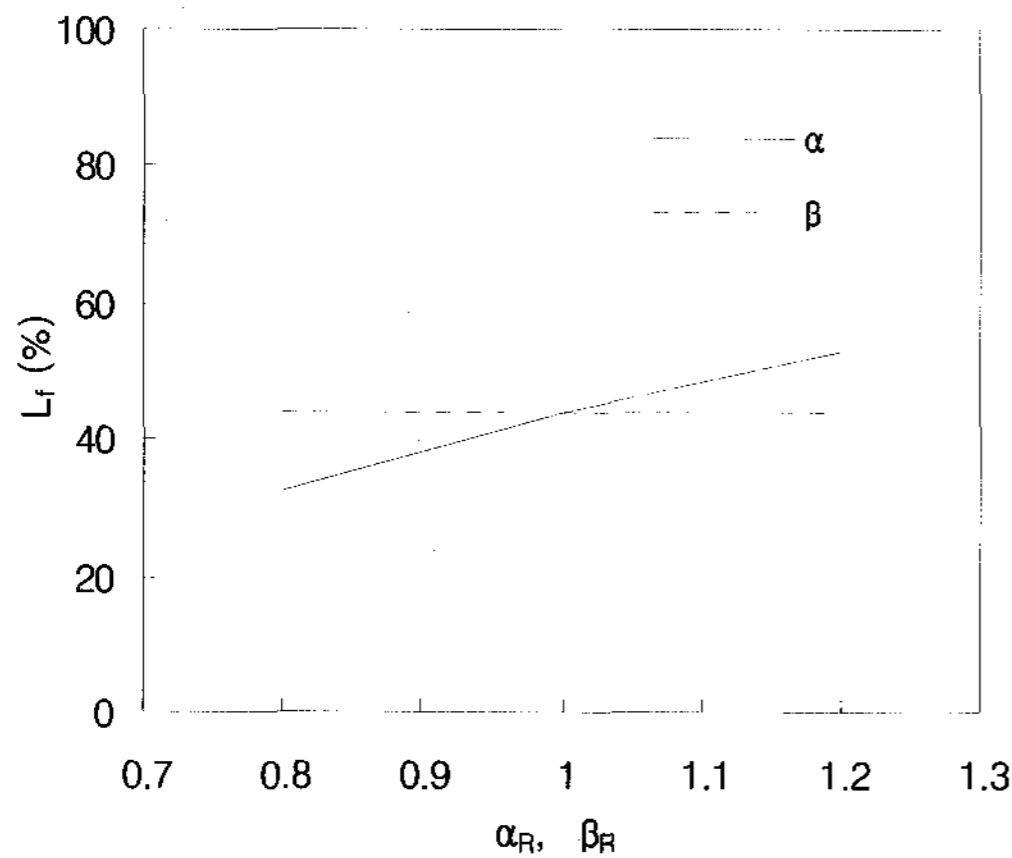


그림 8. 형상계수비와 척도계수비 변화에 따른 가동율의 변화

그림 9는 형상계수의 증감율과 척도계수의 증감율 변화에 따른 소수력에너지 이용율의 변화를 나타내는 것이다. 소수력에너지 이용율은 48.7%로 강우상태의 변화, 즉 형상계수와 척도계수의 증감율에 관계없이 소수력발전소의 정격출력량이 최대가 되는 유량을 설계유량으로 선정할 경우, 동일한 값으로 산정된다. 이는 정격출력량이 최대로 되는 유량을 소수력발전소의 설계유량으로 선정할 경우, 주어진 소수력에너지를 효과적으로 사용할 수 있다는 것을 의미하며, 수문학적으로는 최적의 설계상태임을 나타낸다.

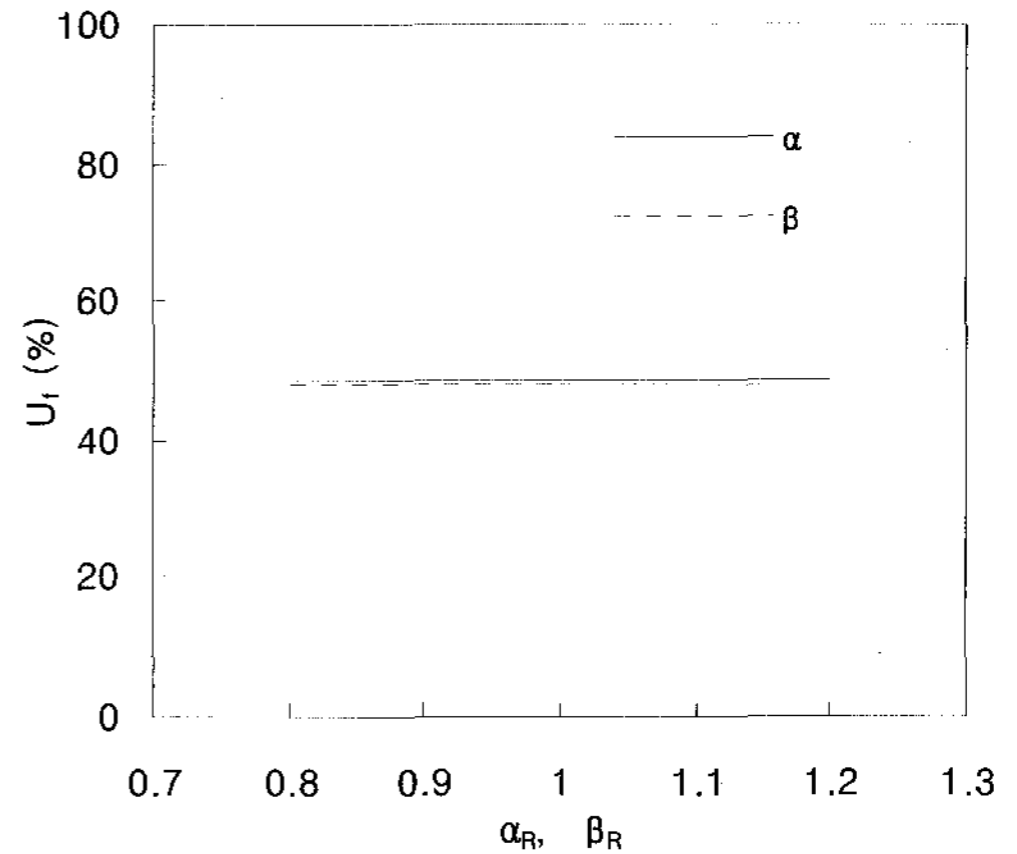


그림 9. 형상계수비와 척도계수비 변화에 따른 이용율의 변화

4. 결론

강우상태가 소수력발전입지의 수문학적 성능특성에 미치는 영향을 분석하였다.

강우의 형태를 나타내 주는 형상계수에 의한 영향을 고찰한 결과, 형상계수가 $\pm 20\%$ 변하는 동안, 시설용량은 +76.9%에서 -28.2%로, 연간출력량은 +32.0%에서 -13.5%로, 가동율은 -25.3%에서 +20.5%로 변화를 가져오는 것으로 나타났다. 반면에 강우량의 크기를 나타내 주는 척도계수가 $\pm 20\%$ 변하는 경우, 시설용량과 연간출력량이 $\pm 20\%$ 의 변화를 가져오고, 가동율은 변화가 없는 것으로 나타났다.

형상계수의 변화는 척도계수의 변화에 비하여 소수력발전소 설계변수들의 값을 보다 민감하게 변화시키는 것으로 나타났다. 척도계수의 변화는 여러 설계변수들의 값을 선형적으로 변화시키며, 가동율은 변화가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 강우의 형태에 관계되는 형상계수의 변화가 강우량에 관계되는 척도계수의 변화보다 세심하게 분석되어야 한다는 것을 의미한다.

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

참고문헌

1. 이철형 외, 소수력자원의 정밀조사 및 최적개발분석 연구, 한국에너지기술연구소, 연구보고서, 1992.
2. 이철형 외, 소수력발전소 건설 타당성조사 기본계획 연구, 한국에너지기술연구소, 연구보고서, 1997.
3. 김길호, 이충성, 이진희, 심명필, "경제성분석에 의한 소수력개발의 최적규모 결정 방안", 한국수자원학회논문집, 제40권, 제12호, 2007.
4. 이충성, 김길호, 이진희, 심명필, "지형공간정보체계를 활용한 소수력개발의 입지분석", 한국수자원학회논문집, 제40권, 제12호, 2007.
5. Robert Noyes, Small and Micro Hydro Electric Power Plants; Technology and Feasibility, Energy Technology Review No.60, Noyes Data Corporation, U.S.A., 1980.
6. 石崎彰, 古市正敏, 小水力發電 讀本, オ-ム社, 1981.
7. 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.
8. 박완순, 이철형, 심명필, "국내 소수력발전 입지의 개발타당성 분석", 대한토목학회논문집, 제17권, 제II-3호, 1997.
9. 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.
10. 박완순, 이철형, "소수력발전소의 성능예측기법에 관한 연구", 한국수자원학회, 춘계학술대회, 2003.