

강우형태변화에 의한 소수력발전소 수문학적 성능의 변화

박완순*, 이철형*

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

Hydrologic Performance Change of Small Scale Hydro Power Plant with Rainfall Condition Change

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 climate change 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 due to rainfall condition of recent period varied in design flowrate sensitively. However climate change gave small effect in load factor of existing SSHP plant. 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_{in}	: 이상적인 소수력 가용량(kWh)
E_a	: 연간에너지생산량(MWh)	P_1	: 부분출력량(kWh)
$F(Q)$: 누적밀도함수	P_2	: 정격출력량(kWh)
g	: 중력가속도(m/s^2)	$P(Q)$: 확률밀도함수
He	: 유효낙차(m)	Q	: 유량(m^3/sec)
L_f	: 소수력발전소의 가동율(%)	Q_r	: 설계유량(m^3/s)
P_a	: 단위시간당 출력량(kWh)	α	: Weibull분포의 형상계수

투고일자 : 2009년 10월 12일, 심사일자 : 2009년 10월 18일, 게재확정일자 : 2009년 12월 18일
교신저자 : 이철형(lchg@kier.re.kr)

β : Weibull분포의 척도계수(m^3/s)
 ρ : 물의 밀도(kg/m^3)
 η : 소수력발전소의 효율

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

유출계수 k 가 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 월강수량자료를 단위유역면적($1km^2$)당의 월평균 유량 q 로 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.

1. 서 론

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 80mm 이상)가 특히 많이 늘고 있는 것으로 분석되었다. 집중호우일수는 연평균 36.7일로 50년 전에 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 분석모델을 이용하였다. 본 연구를 위하여 안동댐으로 유입되는 32년간의 장기유입량자료를 이용하였으며, 강우형태변화에 따른 소수력발전소의 수문학적 성능특성의 변화가 분석되었다.

2. 하천의 유량지속특성 분석모델

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

하천의 연평균유량은 해당유역의 연평균 강수량과 유역면적으로부터 다음과 같이 산정된다.

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

3. 소수력발전소의 성능예측모델

그림 1은 낙차가 일정한 경우, 월류댐을 갖는 소수력발전소의 유량변화에 따른 출력 성능특성을 나타내는 그림이다.

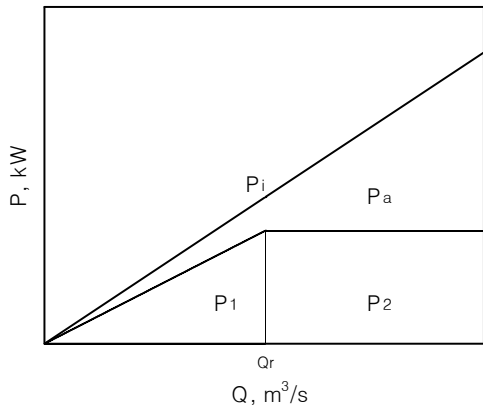


그림 1. 소수력발전소의 출력특성

소수력발전소에서 얻을 수 있는 이상적인 소수력 가용량을 구하면 다음과 같다.

$$P_{ia} = \rho g H \eta \int_0^\infty P(Q) Q dQ \quad (9)$$

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. 소수력발전소에서 얻을 수 있는 단위시간당 출력량을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_a &= \rho g H \eta \int_0^{Q_r} P(Q) Q dQ + \rho g H Q_r \eta \int_{Q_r}^\infty P(Q) dQ \\ &= P_1 + P_2 \end{aligned} \quad (10)$$

소수력발전소의 시설용량, 가동율과 연간 출력량은 다음과 같다.

$$C = \rho g H Q_r \eta \quad (11)$$

$$L_f = P_a / C \quad (12)$$

$$E_a = 8,760 C L_f \quad (13)$$

4. 안동댐의 장기유입량 분석

본 연구에서는 유역면적이 1,584km²인 낙동강 수계의 안동댐을 대상으로 32년간('77~'08) 실측된 유입량자료를 분석하였다.

그림 2는 안동댐의 장기유입량을 보여주며, 그림 3은 안동댐의 10년 단위의 유입량으로 구분하여 표시한 것으로, 최근 10년간의 유입량이 20~30년 전에 비하여 증가되었음을 알 수 있다. 그림 4와 그림 5는 장기유입량과 최근 10년간의 유입량을 예측한 것으로, 본 연구에서 사용한 유입량 예측모델이 강우형태 변화에 의한 유량지속특성을 효과적으로 표현해 준다는 것을 알 수 있다.

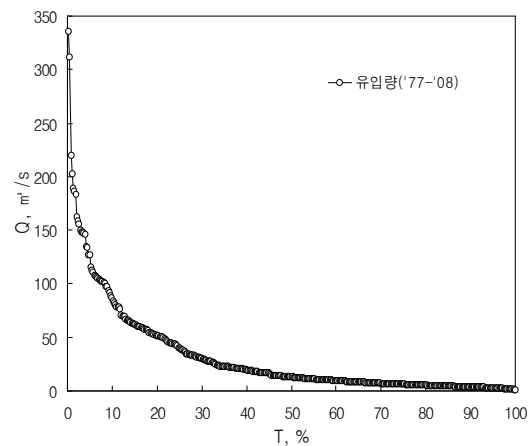


그림 2. 안동댐의 장기유입량 실측자료

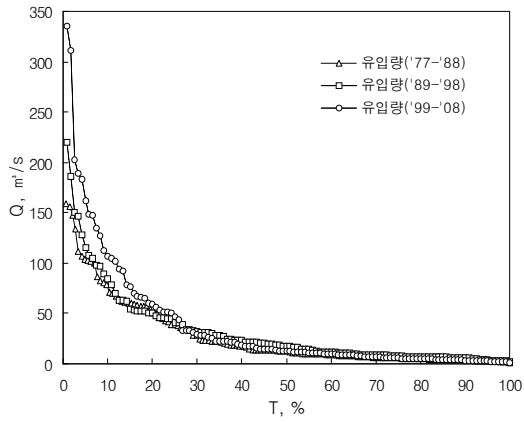


그림 3. 안동댐의 기간별 유입량 실측자료

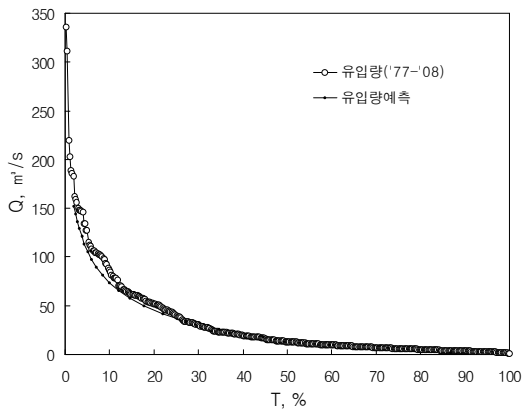


그림 4. 안동댐의 장기유입량 예측

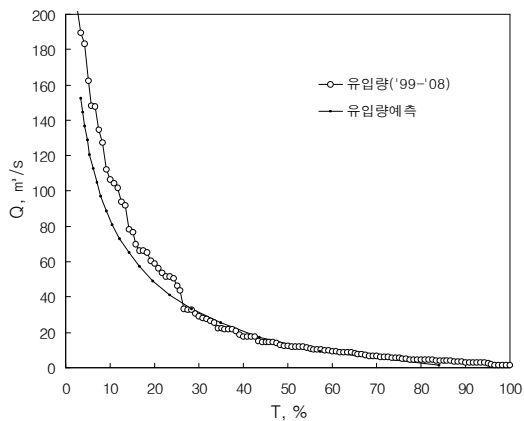


그림 5. 안동댐의 최근유입량 예측('99-'08)

5. 소수력발전소의 성능특성변화

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

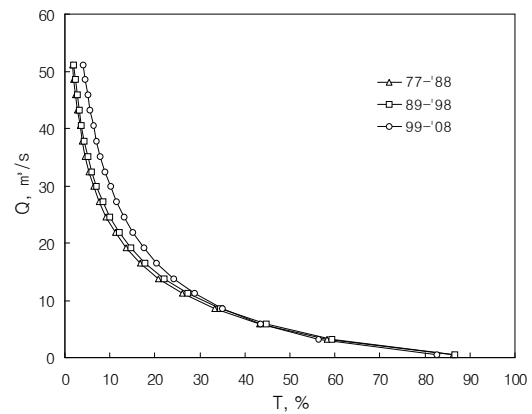


그림 6. 기간별 유량지속곡선의 변화 예측

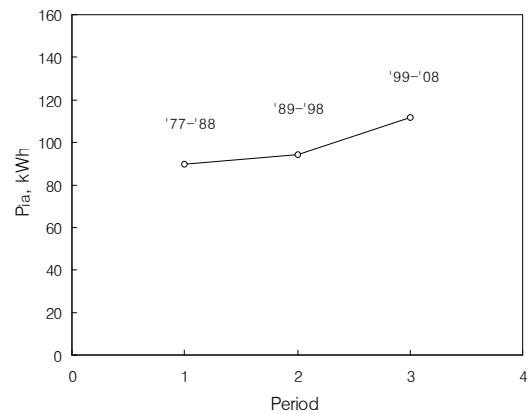


그림 7. 기간별 소수력 가용량의 변화 예측

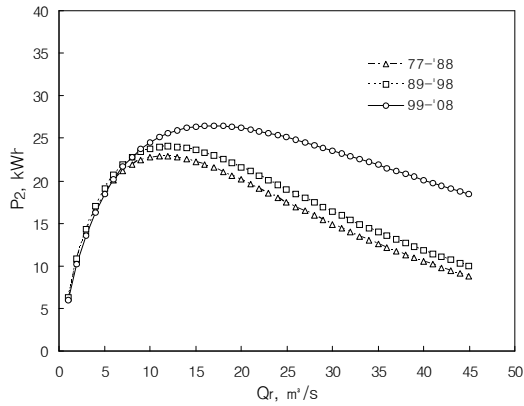


그림 8. 기간별 정격출력량의 변화 예측

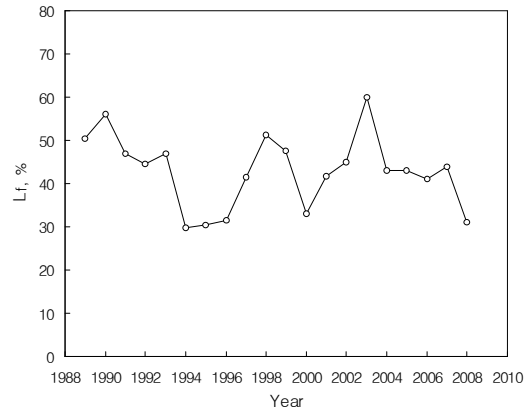


그림 11. 연도별 실측 연간가동율의 변화

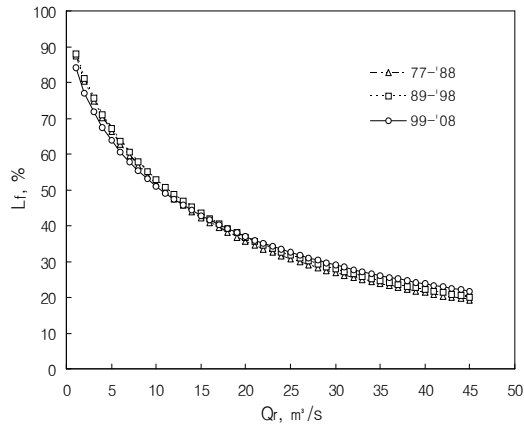


그림 9. 기간별 연간가동율의 변화 예측

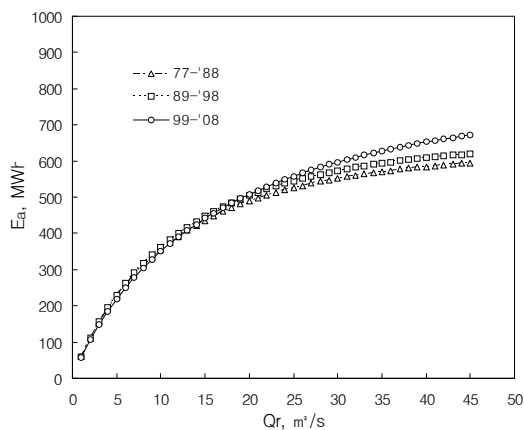


그림 10. 기간별 연간에너지생산량의 변화 예측

그림 6은 기간별 유량지속특성을 나타내는 것으로, 최근 10년간('99~'08기간)의 강우형태는 강우량의 증가와 더불어 폭우에 대한 빈도가 높아졌다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 소천소수력발전소에서의 기간별 소수력가용량의 변화를 나타내는 것으로, '77~'88기간에는 89.6kWh, '89~'98기간에는 94.0kWh, '99~'08기간에는 111.8kWh로 예측되어, 강우량 증가로 인하여 '99~'08기간의 소수력가용량이 '77~'88기간에 비하여 25%, '89~'98기간에 비하여 19% 증가하였다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 기간별 정격출력량의 변화를 나타내는 것으로 정격출력량이 최대값을 나타내는 설계유량을 많이 변화시킨다는 것을 알 수 있다. 정격출력량은 '77~'88기간에는 설계유량 11.5m³/s에서 22.9kWh, '89~'98기간에는 설계유량 12.0m³/s에서 24.1kWh, '99~'08기간에는 설계유량 17m³/s에서 26.5kWh로 최대가 되는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 강우형태의 변화로 인하여 신규로 소수력발전소를 건설할 경우에는 설계유량을 크게 선정하여야 한다는 것을 나타낸다.

그림 9는 기간별 연간가동율의 변화를 나타내는 것으로, 정격출력량이 최대가 되는 유량을 설계유량으로 선정하였을 경우, 연간

가동율은 '77~'88기간에는 설계유량 11.5 m³/s에서 48.5%, '89~'98기간에는 설계유량 12.0m³/s에서 48.7%, '99~'08기간에는 설계유량 17m³/s에서 40.3%로 산정되었다. 기존의 운영중인 소천소수력발전소는 설계유량이 12.5m³/s이므로 이 경우의 연간가동율의 변화를 살펴보면, '77~'88기간에는 46.6%, '89~'98기간에는 47.7%, '99~'08기간에는 46.6%로 예측되어 소수력가용량이 증가하여도 기존의 소수력발전소의 경우에는 연간가동율이 증가하지 않는다는 것을 나타낸다.

그림 10은 기간별 연간에너지 생산량의 변화를 나타내는 것으로, 정격출력량이 최대가 되는 유량을 설계유량으로 선정하였을 경우, '77~'88기간에는 설계유량 11.5m³/s에서 382.9MWh, '89~'98기간에는 설계유량 12.0 m³/s에서 401.0MWh, '99~'08기간에는 설계유량 17m³/s에서 470.6MWh로 산정되었다. 소천소수력발전소의 설계유량이 12.5m³/s이므로 연간에너지 생산량은 '77~'88기간에는 399.7MWh, '89~'98기간에는 409.4MWh, '99~'08기간에는 400MWh로 예측되어, 기존의 소수력발전소의 경우에는 소수력가용량이 증가하여도 연간에너지 생산량이 증가하지 않는다는 것을 나타낸다.

그림 11은 소천소수력발전소의 연간가동율의 변화를 나타내는 것으로 '89~'98까지의 평균가동율은 42.98%, '99~'08까지의 평균가동율은 42.95%로 나타나 강우량의 증가가 기존의 소수력발전소의 경우, 가동율을 증가시키지 못한다는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

기후변화에 따른 강우형태의 변화가 소수력발전소의 수문학적 성능특성에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구에서 사용한 장기유입량예측모델이 소수력발전소의 수문학적 특성을 분석하는데 효과적으로 사용될 수 있

다는 것이 밝혀졌다.

분석 결과, 최근 10년간의 강우량 증가는 수력에너지 가용량을 증가시키지만, 소수력발전소는 월류댐을 채택하기 때문에 기존의 소수력발전소의 가동율 향상에는 기여하지 못하는 것으로 밝혀졌다. 또한 강우형태의 변화로 인하여 폭우에 대한 빈도가 높아져 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 설계 상태임을 나타낸다.

참 고 문 헌

1. 김길호, 이충성, 이진희, 심명필, "경제성분석에 의한 소수력개발의 최적규모 결정방안", 한국수자원학회논문집, 제40권, 제12호, 2007.
2. 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.
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.