

소수력발전소의 수문학적 성능특성 분석

Hydrologic Analysis Methods for Performance Characteristics of Small Hydro Power Plant

박완순* · 이철형* · 심명필**

Park, Wan Soon · Lee, Chul Hyung · Shim, Myung Pil

Abstract

This study presents the methodology for the performance analysis and prediction of small hydro power plants(SHP). Rainfall data are characterized to estimate the flow duration curve of SHP, using the cumulative density function of Weibull distribution. The model for the performance analysis of SHP is developed. Also, the performance characteristics of the existing Anheung Plant located in Han River basin are analyzed by using the developed model. As a result, it was found that the model is suitable to analyze the performance characteristics of existing SHP and to predict the primary design performance such as the design flowrate, capacity, rate of operation and annual electricity production of SHP.

요 지

본 연구는 소수력발전소의 성능분석 및 예측기법에 관한 것으로 소수력발전소에서의 유량지속곡선을 작성하기 위해서 Weibull 분포의 누가밀도함수를 사용하여 강수자료를 특성화하였고, 특성화된 유량지속함수를 이용한 성능분석모형을 개발하였다. 또한 한강수계에 위치한 안흥소수력발전소를 대상으로 개발된 성능분석모형을 이용하여 발전소의 성능특성을 분석하였다. 분석결과, 수문자료가 부족한 소수력발전소의 경우, 개발된 성능분석모형을 이용하여 기존 소수력발전소에 대한 성능분석 뿐만 아니라 발전소의 초기 설계시 설계유량, 설비용량, 연 평균가동율 및 연간 발전량 등의 성능 예측에도 효과적으로 이용할 수 있음을 확인하였다.

1. 서 론

화석에너지가 매우 빈곤한 우리 나라는 제1차 석유파동 이후에 석유를 대신할 수 있는 대체에너지개발의 일환으로 소수력을 개발하고자 1975년에

시범 소수력발전소의 설계를 수행하여⁽¹⁾ 이를 기본으로 강원도 횡성군 안흥에 설비용량 450 kW의 소수력발전소를 건설하여 현재 가동 중이다.⁽²⁾

소수력발전은 다른 발전방식에 비해 환경에 대한 영향이 거의 없어 깨끗하고 재생이 가능한 에너지로 그 경제성은 발전지점의 특성, 개발형식, 설비용량 등에 따라 큰 영향을 받는다. 따라서 소수력발전의

* 한국에너지기술연구소 유체기연구팀

** 정희원 · 인하대학교 공과대학 토목공학과 교수

효과적인 개발을 위해서는 이들 영향 인자들에 대한 정확한 분석이 수행되어야만 한다. 소수력발전소의 투자 및 발전단가, 연 평균가동율 등 그 경제성에 커다란 영향을 미치는^(3,4) 발전소의 설비용량은 지형 및 유량지속특성에 의하여 결정된다. 소수력발전소의 경제성 향상을 위해서는 발전소 건설에 앞서 초기 설계 단계에서 개발지점의 유량지속특성과 성능을 예측하고 분석하는 세심한 검토를 필요로 한다. 개발지점의 유량특성을 파악하기 위해서는 계측된 유량 자료를 필요로 하며 이때 가용한 자료가 있다면 자료의 신뢰성을 보완한 후 직접 이용하는 것이 가장 이상적인 방법이다. 그러나 개발후보지에 가용한 유량 자료가 없다면 일련의 과정을 통해 필요한 유량자료를 추정해야만 한다.⁽⁵⁾

미계측된 개발후보지의 유량 추정을 위해서는 인근 유역의 계측 정보나 개발 후보지의 기상 및 지형정보 등을 이용할 수 있다. 인근 유역에 비교적 정확히 계측된 유량자료가 있다면 동질성과 상관관계 등을 이용하거나 지점의 지역변수를 이용하여 개발후보지의 유량을 추정하거나 직접 유량지속곡선을 합성할 수 있을 것이다. 그러나 개발후보지와 인근 유역에도 가용한 유량자료가 없다면 단기간 동안 개발 후보지의 유량을 계측하여 얻은 단기간의 자료를 이용하여 확장하는 방법도 있겠으나 이는 시간과 경비에 있어 많은 제한이 따른다. 따라서 개발 후보지에 가용한 유량 자료가 없고 설사 있다해도 계측기간이 짧고 신뢰할수 없다면 인근 유역의 정보와 개발 후보지의 기상 및 지형 정보 등을 이용하는 방법을 강구해야만 할 것이다.

지금까지 우리 나라의 월유출량을 추정하기 위해 이용 또는 소개된 방법으로는 면적비법, 유역평균 유출고법, 가지야마 공식, KRIHS 모델, 단위도법, 탱크 모델, 확정론적 모델, 확률론적 통계기법 모델, 추계학적 모델등이 있다. 이중 면적비법과 유역평균유출고법, KRIHS 모델 등은 비교적 정확한 인근 유역의 계측된 유량자료를 필요로 하며, 탱크·확정론적·확률론적·추계학적인 모델들은 각 모델의 매개변수를 추정하기 위해 개발 후보지의 계측된 유량자료들을 필요로 한다.

유량의 실측자료가 매우 부족하여 개발 후보지의 계측자료를 이용할 수 없는 우리 나라의 경우 소수력 개발을 위해 유량을 추정하고자 할 때에 인근 유역의

정보와 개발후보지의 기상 및 지형정보를 이용하는 것이 일반적일 것이다. 이러한 방법으로는 이미 국내에 적용사례가 있는 가지야마 공식과 KRISH 모델,⁽⁶⁾ 국외에서 개발된 NRECA 모델⁽⁷⁾ 등이 있다. 가지야마 공식은 1929년 가지야마(梶山)가 만든 경험식으로 수문학적인 근거와 강우량 자료만을 요구하는 간편성으로 인해 그 적용에 있어 끊임없는 비판이 제기되었으나 계측자료가 빈약한 국내의 월 유출량 추정공식으로 많이 이용되었다. KRIHS 모델은 1987년 국토개발연구원에서 가지야마 공식의 대안으로서 제시한 회귀분석모형으로 강우량·습도·온도·일조율 등의 기상학적인 자료와 유역의 평균 고도·위도등의 지형학적인 자료등을 요구한다.⁽⁶⁾ NRECA모델은 1980년 NRECA(National Rural Electric Cooperative Association)에서 효율적인 소수력 개발을 위해 개발된 일련의 SDH(Small Decentralized Hydropower)프로그램중의 하나로 유량자료를 이용할 수 없는 미계측 유역인 경우 강우자료와 잠재증발량자료로부터 월별 유출량을 추정하도록 되어 있다.⁽⁷⁾

Robert Noyes⁽⁸⁾는 하천에서 측정된 유량자료를 구간별로 정리하여 유량지속곡선을 작성하였으나 구간간의 값의 차이가 균등하지 않고 또한 유량지속곡선이 특정한 함수로 표시되지 않으며, 하천에서 실측한 자료를 사용하여야 하는 어려움이 있다. 石崎彰과 古市正敏⁽⁹⁾은 구해진 유량지속곡선을 이용하여 소수력발전소의 연 평균가동율을 결정하는 방법을 제시하였으나, 이 역시 유량이 측정되지 않은 미계측하천에서의 적용이 어려울 뿐만 아니라 소수력발전소의 전반적인 특성을 분석하는데 있어서도 많은 제한이 따른다. 일반적으로 소수력발전소가 하천의 상류에 위치해서 관련 수문학적 계측자료의 이용이 곤란한 국내 소수력 개발의 경우 Robert Noyes와 石崎彰 등이 제시한 방법을 이용하여 유량지속곡선의 작성과 발전소의 성능특성을 분석하는데 한계가 있다. 따라서 국내 소수력개발의 경우 시간과 경비등 여러 가지 제한을 고려할때 수문학적인 근거에 바탕을 둔 비교적 간편한 기상 및 지형정보와 경험적인 가정치만을 요구하는 방법들을 이용하는 것이 바람직할 것이다.

본 연구에서는 미계측하천에서의 유량지속특성을 고찰하기 위해서 누가밀도함수를 사용하여 강수량

료를 특성화하였고, 특성화된 유량지속함수를 이용하여 소수력발전소의 성능특성을 분석하고 예측할 수 있는 성능분석모델을 개발하였다. 또한 한강수계에 위치한 안흥 소수력발전소를 대상으로 성능특성을 분석함으로써, 개발된 성능분석모델은 기존 소수력발전소의 성능특성분석 뿐 아니라 소수력발전소의 초기설계시 성능예측에도 효과적으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

2. 소수력발전소의 성능특성 분석기법

하천의 유량은 하천이 소속되어 있는 해당유역면적내의 강수량과 밀접한 관계가 있다. 하천의 연평균유량 Q_a 는 해당유역의 연 강수량 R 와 유역면적 A 로부터 다음과 같이 산정된다.⁽¹⁰⁾

$$Q_a = 3.171 \times 10^{-5} k R A \quad (1)$$

여기서, 유출계수 k 가 계절별, 월별로 변하지 않고 연중 일정한 값으로 유지된다고 가정하면, 하천의 월 평균유량 Q_m 은 다음과 같이 산정된다.

$$Q_m = 3.805 \times 10^{-4} k R_m A \quad (2)$$

여기서, R_m 은 월 강수량을 나타낸다.

식 (2)를 이용하면 강수량관측소에서 측정된 월 강수량자료를 단위유역면적당, 즉 유역면적 1 km^2 당의 월 평균유량으로 환산하여 단위유역면적당 유량지속곡선을 작성할 수 있다. 유량지속곡선은 가용유량의 규모와 변동성을 평가하기 위하여 초과 확률별로 해당유량을 구하는 것으로서, 특정한 누가밀도함수의 형태로 표시할 수 있다. 본 연구에서는 Type-III 극치분포로 알려진 Weibull분포의 누가밀도함수를 이용하여 단위유역면적당 유량지속곡선을 특성화하였다.

Weibull분포의 확률분포함수 $P(q)$ 와 누가밀도함수 $F(q)$ 및 단위 유역면적당 유량지속함수 $D(q)$ 는 다음과 같이 표시된다.^(11,12)

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

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

$$D(q) = 1 - F(q) = \exp(-(q/\beta)^\alpha) \quad (5)$$

최소자승법으로 α 와 β 를 구하기 위하여 식 (4)를

정리하면,

$$\ln(-\ln(1-F(q))) = \alpha(\ln q - \ln \beta) \quad (6)$$

로 되어 $Y = aX + b$ 의 형태로 표시되며 여기서,

$$Y = \ln(-\ln(1-F(q))) \quad (7)$$

$$X = \ln q \quad (8)$$

$$a = \alpha \quad (9)$$

$$b = -\alpha \ln \beta \quad (10)$$

로 된다. 식 (7)~(10)에서 n 개의 (X, Y) 자료, 즉 n 개의 누가밀도와 월 평균 유량자료에 대하여 α 와 β 를 구하면 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$\beta = \exp\left(\frac{\sum X}{n} - \frac{1}{\alpha} \frac{\sum Y}{n}\right) \quad (12)$$

소수력발전소에서의 유량은 유역면적내에 여러개의 강수량관측소가 존재하므로 각각의 관측소에서 측정된 강수량자료가 유기적으로 관계되어 유량지속곡선이 작성된다. 만일 소수력발전소의 유역면적내에 i 개의 강수량관측소가 존재한다면, 유역면적내에서의 평균강수량은 Thiessen법에 의해 구할 수 있으며, 소수력발전소를 통과하는 유량 Q 도 강수량과 마찬가지로 다음과 같이 표시된다.

$$Q = \sum A_i q_i \quad (12)$$

여기서 A_i 와 q_i 는 i 번째 관측소에 의해 분할된 유역면적과 유량을 나타낸다.

따라서 i 개의 강수량관측소의 영향을 받는 작은 유역면적으로 구성된 유역면적을 갖는 소수력발전소에서의 누가밀도함수 $F(Q)$ 와 확률밀도함수 $P(Q)$ 및 유량지속함수 $D(Q)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$F(Q) = \sum A_i (1 - \exp(-(q_i/\beta_i)^{\alpha_i})) \quad (13)$$

$$P(Q) = \sum A_i (\alpha_i/\beta_i)(q_i/\beta_i)^{\alpha_i-1} \exp(-(q_i/\beta_i)^{\alpha_i}) \quad (14)$$

$$D(Q) = \sum A_i \exp(-(q_i/\beta_i)^{\alpha_i}) \quad (15)$$

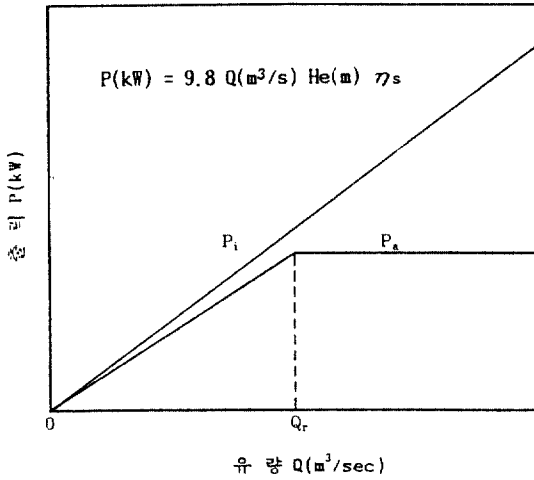


그림 1. 소수력발전시스템의 출력특성

그림 1은 단위유효낙차를 갖는 단일기로 구성된 소수력발전소에 대하여 유량변화에 따른 단위시간 당의 출력변화를 나타내는 그림이다. 소수력발전소는 유량과 낙차로부터 에너지를 추출하는 것으로 소수력발전소에서 얻을 수 있는 순수한 소수력에너지 P_i 는 유량변화에 따라 선형적으로 변하게 되지만, 소수력발전소에서의 실제출력 P_e 는 설계유량 Q_r 이 존재하기 때문에 출력특성이 바뀌게 된다.

소수력발전시스템의 출력은 설계유량이하에서는 유량변화에 따라 거의 선형적으로 변하게 되지만, 시스템의 효율로 인하여 순수한 소수력에너지보다 항상 적은 값을 갖는다. 또한 설계유량 이상에서는 설계유량에 해당하는 유량만을 사용하고 이를 초과하는 유량은 월류시켜 방류하기 때문에 출력은 일정하게 유지된다.

유효수두가 H_e 이고 효율이 η_s 인 단일기로 구성된 소수력발전소에서 생산되는 단위시간당 평균발전량 P_e 를 구하면 다음과 같다.

$$P_e = \rho g \int_0^{Q_r} H_e \eta_s P(Q) Q dQ + \rho g H_e \eta_s Q_r \int_{Q_r}^{\infty} P(Q) dQ \quad (16)$$

식 (16)의 첫항에서 H_e 와 η_s 는 유량에 따라 변하는 값이지만 일반적으로 소수력 발전소의 가동은 일정한 수위가 유지되었을 때 가동하므로 큰 변화가 없다고 가정하여 적분식 밖으로 빼내어 정리하면 다음과 같다.

표 1. 안홍 소수력발전소의 설계제원

구 분	내 용
발전소 형식	터널식
유역면적	287.5 km ²
설계유량	5.1 m ³ /sec
유효낙차	12 m
발전소 용량	450 kW
수차 발전기	150 kW × 3기
연간 발전량	2,380 MWh
연 평균가동율	60.4%

$$P_e = \rho g H_e \eta_s \left(\int_0^{Q_r} P(Q) Q dQ + Q_r \int_{Q_r}^{\infty} P(Q) dQ \right) = \rho g H_e \eta_s (S_1 + S_2) \quad (17)$$

따라서 소수력발전소의 설비용량 C , 연 평균가동율 L_r 그리고 연간 발전량 E 는 다음과 같이 산정된다.

$$C = \rho g H_e Q_r \eta_s \quad (18)$$

$$L_r = (S_1 + S_2) / Q_r \quad (19)$$

$$E = 8,760 C L_r \quad (20)$$

3. 결과 및 검토

본 연구에서 분석대상으로 선정한 안홍 소수력발전소는 강원도 횡성군 안홍읍으로부터 서남방 10 km 지점, 남한강 수계의 주천강 상류에 위치하고 있다. 발전소의 유로연장은 38 km이며, 유역면적은 287.5 km²이다. 안홍 소수력발전소의 수원은 강원도 평창군 진부면 척천리에 위치한 1,100 m 고지에서 발원하여 안홍을 통과하는 동안 남류하면서 발전소를 통과하여 우측에서 흐르는 평창강 분류와 합류된다. 유로의 형상은 대체로 나무가지 모양이며, 유역의 형상은 그림 2에서와 같이 타원형에 가깝다. 안홍 소수력발전소의 설계제원은 표 1과 같이 요약된다.⁽²⁾

그림 2는 안홍 소수력발전소의 유역면적으로써 유역면적은 Thiessen망도에 의해 6개의 강수량 관측소로부터 영향을 받는 작은 유역면적으로 분할되는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 각 관측소에서 측정된 17년간의 강수량자료를 특성화하였으며,⁽¹³⁾



그림 2. 안홍 소수력발전소의 분할된 유역면적도

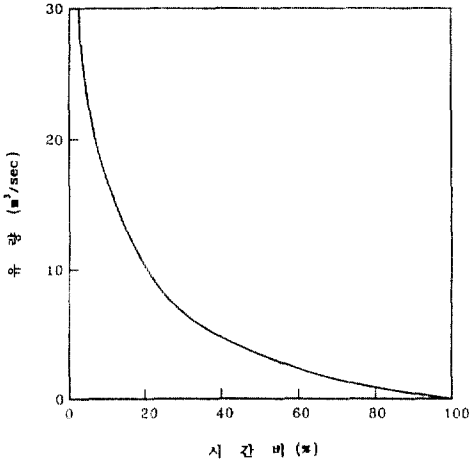


그림 3. 안홍 소수력발전소의 유량지속곡선

표 2. 안홍 소수력발전소의 분할된 유역면적의 특성

관측소	유역면적 $A_i(\text{km}^2)$	형상계수 (α_i)	최도계수 $\beta_i, \text{m}^3/\text{sec}$
청 일	55.8	0.691863	0.019255
봉 평	9.0	0.664584	0.016606
횡 성	3.1	0.696550	0.017423
방 림	147.5	0.686524	0.017048
원 주	66.5	0.698291	0.017542
수 주	5.6	0.717543	0.017426
계	287.5		

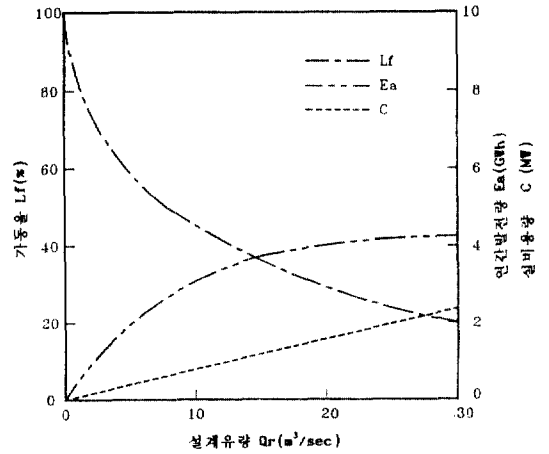


그림 4. 설계유량에 따른 설비용량, 연 평균가동률 및 연간 발전량의 변화

분할된 유역면적의 제반특성은 표 2와 같다.

그림 3은 표 2에 보여진 분할된 유역면적의 특성이 조합되어 구해진 안홍 소수력발전소에서의 유량지속곡선을 나타낸다. 안홍 소수력발전소의 설계유량은 표 1에서와 같이 $5.1 \text{ m}^3/\text{sec}$ 로써 유량지속곡선상의 시간비가 37.6%에 해당하는 유량을 설계유량으로 선정하여 발전소를 설계하였음을 알 수 있다.

그림 4는 안홍 소수력발전소의 경우, 설계유량의 변화에 따른 연 평균가동률, 설비용량 및 연간 발전량의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때 발전소의 효율 η_s 는 0.7로 가정하였고, 표 1에서와 같이 유효낙차 H_e 는 12 m를 적용하였다.

소수력발전소의 설비용량은 설계유량 변화에 따라 거의 선형적으로 변하게 된다. 그러나 연 평균 가동률은 설계유량이 증가함에 따라 감소하게 되며, 또한 설계유량이 작은 영역에서는 급히, 큰 영역에서는 서서히 감소한다. 이러한 현상은 설계유량이 작을 경우가 큰 경우보다 소수력발전소에서 얻을 수 있는 단위시간당의 평균발전량이 설비용량에 비해 상대적으로 크기 때문이다. 연간 발전량은 설계유량이 증가함에 따라 증가하게 되며, 설계유량이 점차 커지면 증가율이 서서히 둔화된다. 이러한 현상은 설계유량이 커짐에 따라 연 평균 가동률이 점차 감소하기 때문이다.

그림 4에서 안홍 소수력발전소의 설계유량은 5.1

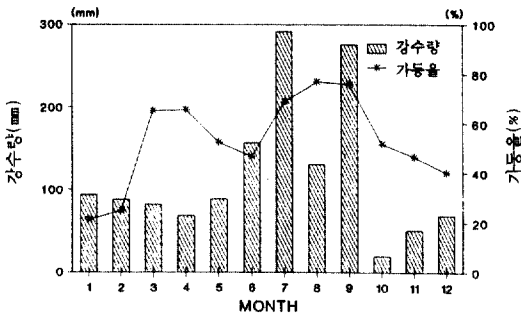


그림 5. 월 강수량 및 월 평균가동율의 변화

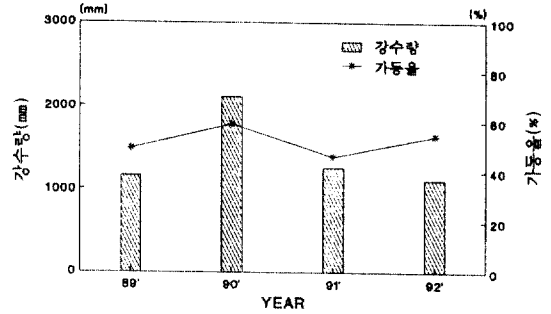


그림 6. 연 강수량 및 연 평균가동율의 변화

m³/sec이므로, 이 때 발전소의 연 평균가동율은 57.2%이며, 연간 발전량은 2,254.8 MWh로 산정됨을 알 수 있다.

그림 5는 안홍 소수력발전소의 4년간(1989~1992)의 월 평균 가동율과 동일기간에 방림 강수량 관측소에서 측정된 월 평균 강수량을 나타낸 것이다.⁽¹⁴⁾ 발전소를 통과하는 유량에 가장 커다란 영향을 미치는 강수자료는 표 2에서와 같이 안홍 소수력발전소의 경우, 방림 관측소에 의하여 영향을 받는 유역면적이 전체 유역면적의 51.4%를 차지하기 때문에 방림 관측소에서 측정된 자료를 대표적으로 사용하였다.⁽¹³⁾

월 강수량은 1월부터 4월까지의 점차 감소하고 5월부터 증가하여 7월과 9월에 최대가 되며, 이후 점차 감소한다. 월 평균 가동율도 월 강수량의 변화에 따라 변하고 있으나, 1월과 2월에 월 강수량에 비하여 월 평균 가동율이 낮은 것은 강수량의 대부분이 결빙 상태이기 때문이며, 3월과 4월의 경우 월 강수량에 비하여 월 평균 가동율이 높은 것은 상류에서 해빙에 의해 유량이 증가하기 때문이다. 7월과 9월에 월 강수량에 비하여 월 평균 가동율이 낮은 것은 단기간의 폭우로 인하여 유량은 크게 증가하지만, 소수력발전소와 같이 저장능력이 적은 월류댐을 채택하는 경우에는 설계유량 이상의 유량을 충분히 활용하지 못하고 월류시키기 때문이다. 10월의 경우 9월에 비하여 강수량이 크게 적음에도 불구하고 월 평균 가동율이 높은 것은 9월의 강수량에 대한 유역면적내에서의 장기간의 응답으로 인하여 지속적으로 유량이 증가하고 이때의 유량은 비교적 안정적으로 발전소로 유입되므로 효과적으로 발전에 이용할 수 있기 때문이다.

그림 6은 안홍 소수력발전소의 4년간 연 평균 가동율과 방림 관측소에서 동일기간중 측정된 연 강수량의 변화를 나타낸 것이다. '89년도와 '92년도의 연 강수량은 각각 1,155 mm 및 1,100 mm이나 연 평균 가동율은 각각 49.4%, 54.3%로 연 강수량이 적은 '92년도의 연 평균 가동율이 '89년도에 비하여 4.9%정도 높게 나타났다. 이러한 현상은 저장능력이 작은 월류댐을 채택하는 소수력발전소의 전형적인 출력특성으로 설계유량 이상의 유량은 월류되어 발전에 도움을 주지 못하기 때문이며, 그림 6에서와 같이 소수력발전소의 연 평균 가동율이 반드시 연 강수량에 비례하지 않은 않고 월별 강수상태에도 영향을 받는다는 것을 나타낸다.

표 3는 안홍 소수력발전소에 대한 초기 설계제원, 성능분석 결과 및 발전소에서 4년간 운영한 결과를 상호비교한 것이다. 표 3에서와 같이 성능분석 결과로부터 산정된 연 평균 가동율이 초기 설계제원에 비하여 3.2% 낮은 값으로 산정되었고, 실제 운영자료는 성능분석 결과에 비하여 5.0% 낮게 산정되었다. 초기 설계시 예측한 성능특성과 본 연구를 통하여 산정된 성능특성과의 차이는 발전소의 초기 설계시 사용한 유량특성자료의 부족과 분석방법의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 또한 발전소의 실제 연 평균 가동율은 수문조작과 수차발전기의 운영방법을 개선하는 등, 강수상태에 능동적으로 대처함으로써 성능분석 결과로부터 산정된 연 평균 가동율에 근접할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3의 결과로부터 수문자료가 부족한 소수력발전소의 경우, 특성화된 유량지속함수를 이용한 성능분석모형을 사용하여 효과적으로 성능특성을 분석할 수 있으며, 개발된 성능분석모형은 기존의 소

표 3. 안흥 소수력발전소의 성능특성 분석결과

구 분	초기설계	성능분석	실제운영*
연간 발전량(MWh)	2,380.0	2,254.8	2,070.8
연 평균가동율(%)	60.4	57.2	52.2

*실제운영자료는 1989~1992년 4년간의 평균치를 나타냄.⁽¹⁴⁾

수력발전소에 대한 성능분석 뿐 아니라 발전소의 초기 설계시 설계 유량변화에 따른 연 평균 가동율, 설비용량 및 연간 발전량 등에 대한 성능예측에 효과적으로 사용할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

수문자료가 부족한 대부분의 소수력발전소에서의 유량지속곡선은 강수량자료를 이용하여 구할 수 있으며, 이 때 강수량자료는 누가밀도함수를 이용하여 특성화될 수 있음이 밝혀졌다. 또한 특성화된 유량지속함수를 이용하여 소수력발전소의 성능특성을 분석할 수 있는 성능분석모형이 개발되었다. 현재 운영중인 소수력발전소를 대상으로 성능특성 및 초기 설계제원을 비교분석한 결과, 개발된 모델은 기존의 소수력발전소에 대한 성능분석뿐 아니라 건설 예정인 소수력발전소의 초기 설계시 성능예측에도 효과적으로 사용될 수 있으며, 이 결과를 적용함으로써 설계에 관한 신뢰성을 향상시킬 수 있음이 밝혀졌다.

기호설명

- A : 유역면적(km²)
- C : 소수력발전소의 설비용량(kW)
- D(Q) : 유량지속함수
- E : 연간 발전량(MWh)
- F(q), F(Q) : Weibull분포의 누가밀도함수
- g : 중력가속도(m/sec²)
- H_e : 유효낙차(m)
- k : 유출계수
- L_t : 연 평균가동율(%)
- P_i : 이론적인 수력에너지(kWh)
- P_e : 단위시간당 평균발전량(kWh)
- P(q), P(Q) : Weibull분포함수

- Q : 유량(m³/sec)
- Q_a : 연 평균유량(m³/sec)
- Q_m : 월 평균유량(m³/sec)
- Q_r : 소수력발전소의 설계유량(m³/sec)
- q : 단위유역면적당의 월 평균유량(m³/sec)
- R_m : 월 강수량(mm)
- R_t : 연 강수량(mm)
- α : Weibull분포의 형상계수
- β : Weibull분포의 척도계수(m³/sec)
- ρ : 물의 밀도(kg/m³)
- η_s : 소수력발전 시스템의 효율

첨자

- i : i번째 우량관측소

참고문헌

1. 박인용, 차종희, 시범 소계곡발전소의 설계연구, 연구보고서, 과학기술처, R-75-38, 1975.
2. 한국전력공사, 안흥수력발전소, 안내책자, 1976.
3. Brown, H.M., *Simplified Methodology for Economic Screening of Potential Low-Head Small Hydro-Electric Sites*, EPRI-EM 1971, 1981.
4. 심명필, "소규모 수력발전 개발을 위한 스크린 방법", *대한토목학회 논문집*, Vol. 5, No. 4, 1985, pp. 129-139.
5. Fritz, J.J., *Small and Mini Hydropower System*, McGraw-Hill Book Co., 1984, pp. 3.17-3.27.
6. 이상훈, 김광목, 최지용, 김선희, 중소수계의 하천 유출량 추정모델개발, 국토개발연구원, 1987.
7. Crawford, H.N. and Thurin, M.S., *Hydrologic estimates for small hydroelectric projects*, NRECA, Washington, 1981.
8. Robert Noyes, *Small and Micro Hydro-Electric Power Plants; Technology and Feasibility*, Energy Technology Review No. 60, Noyes Data Corporation, U.S.A., 1980, pp. 163-168.
9. 石崎彰, 古市正敏, *小水力 發電 讀本*, オ-ム社, 1981, pp. 29-35.
10. 차종희, 박인용, "소수력발전의 설계에 관한 연구", 조사연구논문, 대한전기협회, 1982, pp. 267-268.
11. 이철형, 박완순, 최창준, 유승원, 심명필, 소수력자원의 정밀조사 및 최적개발분석연구(4), KE-92029 G, 연구보고서, 한국에너지기술연구소, 1992, pp. 5-10.

12. 박완순, 이철형, 심명필, “소수력 발전소의 설계 성능 특성 비교”, 1993년도 대한토목학회 학술발표회 개요집(II), 대한토목학회, 1993, pp. 243-246.
13. 건설부, 수문조사년보, 1972-1988.

14. 한국전력공사, 안흥수력발전소의 발전실적, 1989년~1992년.

(接受 : 1994. 4. 7)