

월류댐을 갖는 소수력발전소의 성능예측 기법

O박완순, 이철형

1. 서론

소수력발전은 다른 발전방식에 비하여 환경에 대한 영향이 거의 없는 청정에너지로서 효과적인 개발을 위해서는 소수력발전소의 성능에 영향을 미치는 제반 인자들에 대한 정확한 분석이 수행되어야 한다. 특히 소수력발전은 설계유량을 초과하는 유량이 발생할 경우, 댐의 상단으로 월류시켜 일정한 출력을 유지하는 월류댐을 이용하므로 대수력과는 전혀 다른 특성을 갖게 된다.

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 댓수를 결정할 수 있게 된다.

소수력발전소의 설비용량은 발전소의 투자단가, 발전단가 및 가동을 등 경제성에 커다란 영향을 미치며, 이는 지형의 특성과 유량지속특성 및 개발투자비 등에 의하여 결정된다. 또한 이를 예측하기 위해서는 소수력발전입지에서의 수문학적 특성 및 경제성을 예측할 수 있는 해석적인 모델의 개발이 요구된다.

유량의 실측자료가 부족하여 소수력발전입지의 유량자료를 획득하기 어려운 경우, 소수력개발을 위해 유량을 추정하고자할 때는 인근 유역의 정보와 소수력발전입지의 기상 및 지형정보를 이용하는 것이 일반적일 것이다. 이러한 방법으로는 가지야마공식과 KHRIS 모델, NRECA 모델 등이 있다.

본 연구에서는 미계측하천의 유량지속특성을 고찰하기 위해 강수량자료를 누가밀도함수로 특성화하여 개발한 방법과 앞에서 언급한 기개발된 모형들과의 비교를 통하여 유출량자료가 없는 소수력발전입지에서의 유량지속곡선을 표시하는데 본 연구에서 개발된 방법이 적합하다는 것을 확인하고, 특성화된 유량지속함수를 이용하여 소수력발전입지의 성능특성을 분석하고 예측할 수 있는 성능분석모형을 개발하였으며, 소수력발전소의 성능특성을 예측하였다.

한국에너지기술연구원

2. 유량지속곡선

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.

하천의 연평균유량은 해당유역의 연평균강수량과 유역면적으로부터 산정할 수 있다. 만일 유출계수가 연중 일정한 값을 유지한다고 하면 하천의 월평균유량은 다음과 같이 산정된다.

$$Q_m = 3.805 \times 10^{-4} k R_m A \quad (1)$$

소수력발전소에서의 유량은 유역면적내에 여러개의 강수량관측소가 존재하므로 각각의 관측소에서 측정된 강수량자료가 유기적으로 관계되어 유량지속곡선이 작성된다. 그림 1과 같이 소수력발전소의 해당유역면적내에 i 개의 강수량관측소가 존재한다면, 소수력발전소를 통과하는 유량은 다음과 같이 표시된다.

$$Q = A \sum W_i q_i \quad (2)$$

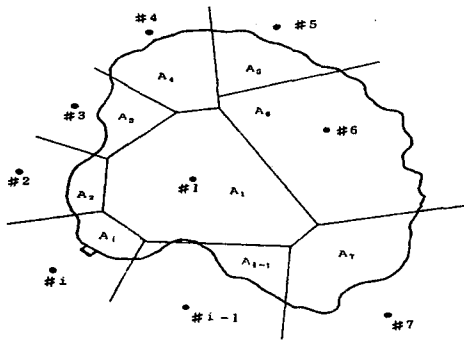


그림 1 분할된 유역면적

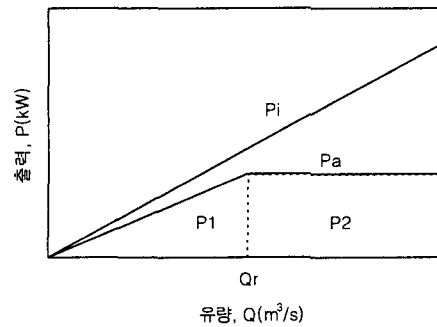


그림 2 소수력발전소의 출력특성

식(1)을 이용하여 관측소에서 측정된 월강수량자료를 단위유역면적당의 월평균유량으로 환산할 수 있으며, 이를 이용하여 단위유역면적당의 유량지속곡선을 작성할 수 있다. 유량지속곡선은 유량을 크기별로 누적시킨 것으로 누가밀도함수와 동일한 개념이다.

소수력발전소에서의 유량상태는 다음과 같이 Weibull분포의 누가밀도함수와 확률분포함수로 표시할 수 있다.

$$F(Q) = A \sum W_i [1 - \exp\{-(q_i/\beta_i)^{\alpha_i}\}] \quad (3)$$

$$P(Q) = A \sum W_i (\alpha_i/\beta_i)(q_i/\beta_i)^{\alpha_i-1} \exp\{-(q_i/\beta_i)^{\alpha_i}\} \quad (4)$$

또한 소수력발전소에서의 유량지속곡선을 나타내는 유량지속함수는 다음과 같이 구해진다.

$$D(Q) = A \sum W_i \exp\{-(q_i/\beta_i)^{\alpha_i}\} \quad (5)$$

하수처리장의 경우도 방류되는 방류량자료를 이용하여 확률밀도함수 P(Q)를 산정하면, 누적 밀도함수 F(Q)를 얻을 수 있다. 하수처리장의 방류량특성을 나타내는 유량지속곡선 D(Q)=1-F(Q)의 관계를 가지므로 하수처리장의 유량지속특성을 산정할 수 있다.

3. 소수력발전소의 출력특성

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

$$P_i = \rho g Q H \quad (6)$$

그림 2는 단위 낙차, 단위시간당 단일기의 소수력발전소에 대한 유량변화에 따른 출력의 변화를 나타내는 그림이다.

소수력발전소의 출력은 설계유량 이하에서는 유량변화에 따라 거의 선형적으로 변하게 되지만, 소수력발전소의 효율로 인하여 순수한 수력에너지보다 항상 적은 값을 갖게 된다. 또한 설계유량 이상에서는 설계유량에 해당하는 유량만을 사용하고 이를 초과하는 유량은 댐 상단으로 방류하기 때문에 출력은 일정하게 유지된다.

소수력발전소를 통과하는 유량은 계절별, 월별로 다르기 때문에 소수력발전소에서 발생하는 에너지는 쉽게 구할 수 없다. 이 값들을 해석적으로 구하기 위해서는 확률밀도함수를 이용하여야 한다. 식(4)의 확률밀도함수를 이용하여 소수력발전소에서 단위시간당 생산되는 발전량 P_a 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_e &= \rho g H \eta \left\{ \int_0^{Q_r} P(Q) Q dQ + Q_r \int_{Q_r}^{\infty} P(Q) dQ \right\} \\ &= \rho g H \eta (S_1 + S_2) \\ &= P_1 + P_2 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 P_1 , P_2 는 각각 소수력발전시스템의 부분 및 정격부하상태에서의 발전량을 나타낸다.

식(7)을 이용하여 소수력발전소의 설비용량, 연평균가동을 그리고 연간발전량을 산정하면 다음

과 같다.

$$C = \rho g H Q_r \eta \quad (8)$$

$$L_f = (S_1 + S_2) / Q_r \quad (9)$$

$$E_a = 8760 C L_f \quad (10)$$

4. 결과 및 검토

본 연구에서 성능분석대상으로 단양소수력발전소와 청주하수처리장을 선정하였다. 선정된 단양소수력발전소는 남한강의 본류에 위치하고 있으며, 유역면적은 약 4,885km², 유로연장은 약 217.3km로써, 한강 전체유역 면적의 약 14.7%를 점하고 있으며 형상은 수지형(樹枝形)에 가깝다.

그림 3은 단양소수력발전소에 대한 유량지속곡선이며, 그림 4는 단양소수력발전소에서의 유량의 변화에 따른 가동율, 설비용량 및 연간발전량의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때 발전소의 효율은 η 는 0.8로 가정하였다. 소수력발전소의 설비용량은 유량변화에 따라 거의 선형적으로 변하게 된다. 그러나 가동율은 유량이 증가함에 따라 감소하게 되며, 또한 유량이 작은 영역에서는 급히, 큰 영역에서는 서서히 감소한다. 이러한 현상은 유량이 작을 경우가 큰 경우보다 소수력발전소에서 얻을 수 있는 단위시간당의 평균발전량이 설비용량에 비해 상대적으로 크기 때문이다. 연간전기생산은 유량이 증가함에 따라 증가하게 되며, 유량이 점차 커지면 증가율이 서서히 둔화된다. 이러한 현상은 유량이 커짐에 따라 가동율이 점차 감소하기 때문이다. 단양소수력발전소의 경우, 설계유량을 72m³/s로 선정하여 설비용량을 결정하였기 때문에 연평균가동율은 59%로 예상된다.

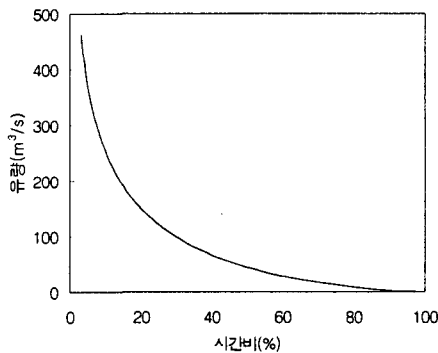


그림 3 단양소수력발전소의 유량지속곡선

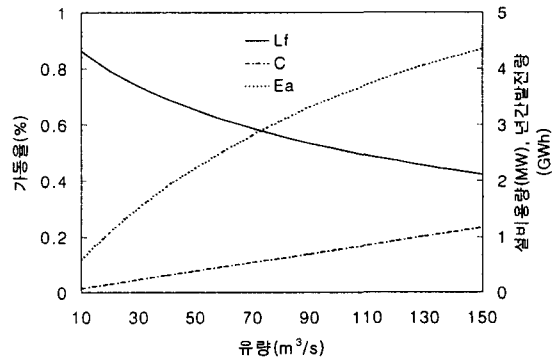


그림 4 유량변화에 따른 설비용량, 가동율 및 연간발전량의 변화(단양)

월류량의 특성을 갖는 청주하수처리장은 일처리량이 280,000m³/day로 설계되어 있다. 그림 5와

그림 6은 청주하수처리장의 일별방류량과 유량에 따른 확률밀도의 변화를 나타낸다.

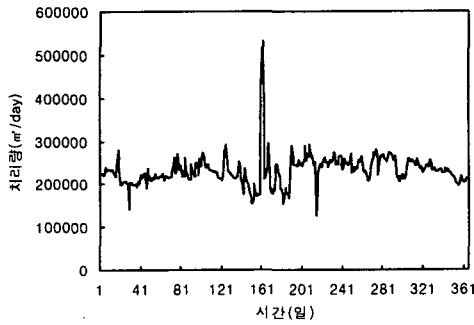


그림 5 청주하수처리장의 일별 방류량

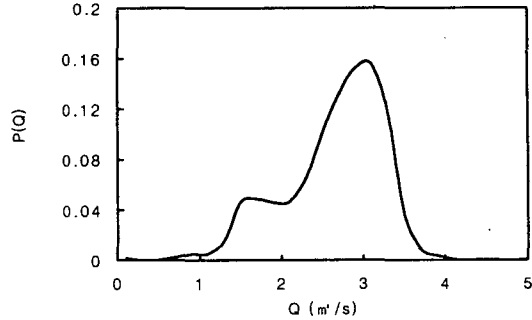


그림 6 유량에 따른 확률밀도의 변화(청주)

그림 7은 청주하수처리장에 대한 유량지속곡선이다. 하수처리장의 경우는 일반 하천을 이용할 경우와는 달리 시간비가 증가함에 따라 서서히 감소함을 볼 수 있다. 이와같은 현상은 유량이 거의 일정하여 설계유량값의 지속시간이 상대적으로 길기 때문으로 예측되며, 따라서 하천에 비해 가동율이 높게 나타나는 특징을 갖는다.

그림 8은 청주하수처리장에서의 유량의 변화에 따른 가동율, 설비용량 및 연간발전량의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때 발전소의 효율은 η 는 0.8로 가정하였다.

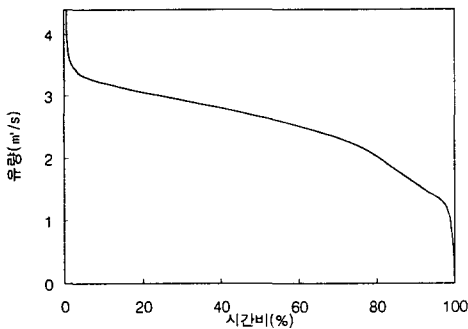


그림 7 청주하수처리장 소수력발전소의 유량지속곡선

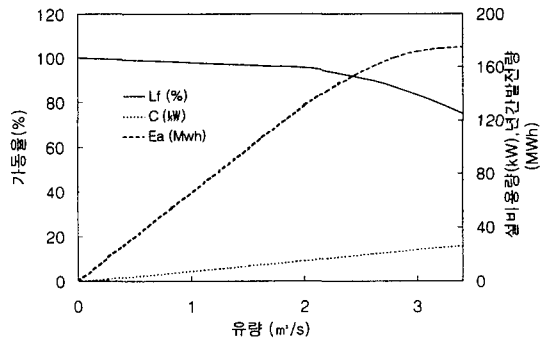


그림 8 유량변화에 따른 설비용량, 가동율 및 연간발전량의 변화(청주)

하수처리장의 경우 가동율은 유량이 증가함에 따라 감소하게 되며, 유량이 작은 영역에서는 서서히, 큰 영역에서는 급격히 감소한다. 이러한 현상은 일반하천에 건설되는 소수력발전소의 성능 특성과는 전혀 다른 현상으로, 유량지속특성이 크게 다르기 때문에 나타나는 현상이다. 청주하수처리장의 경우, 설계유량을 $3.24\text{m}^3/\text{s}$ 로 선정하여 설비용량을 결정하였고 연평균 가동율은 85%로 예

상된다. 표 1은 단양소수력발전소와 청주하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전의 성능특성을 예상한 결과를 보여준다.

표 1 소수력발전 설비규모

구분	유효낙차 (m)	설계유량 (m ³ /sec)	설비용량 (kW)	가동율 (%)	발전량 (MWh/년)
단양	3.6	72.0	2,100	59	10,853
청주	3.2	3.24	80	85	596

5. 결 론

본 연구를 통하여 개발된 유량지속함수는 유입량에 대한 실측자료가 부족하여 유량지속곡선을 작성하기가 매우 어려운 우리 나라의 월류댐을 갖는 소수력발전소의 경우, 매우 유용하게 사용할 수 있고, 또한 소수력발전소의 성능예측모델을 통하여 소수력발전소의 성능특성을 잘 표현할 수 있다는 것이 밝혀졌다. 월류댐을 갖는 소수력발전소의 성능예측모델은 일반 하천 뿐 아니라 동일 특성을 지닌 하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전소에도 적용이 가능한 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에 개발된 성능예측모델은 일반하천과 하수처리장의 방류수를 이용한 월류식 소수력발전소에 적용하여 성능을 예측함으로써 향후 월류식 소수력개발 초기 설계시 유용하게 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Robert Noyes, Small and Micro Hydro-Electric Power Plants; Technology and Feasibility, Energy Technology Review No.60, Noyes Data Corporation, U.S.A., 1980.
2. 石崎彰, 古市正敏, 小水力發電 讀本, オ-ム社, 1981.
3. 이상훈 외, 중소수계의 하천유출량 추정모델 개발, 국토개발연구원, 1987.
4. Crawford, H. N. and Thurin, M.S., Hydrologic Estimates for Small Hydroelectric Projects, NRECA, Washington, USA, 1981.
5. 차종희 외, 소수력발전의 설계에 관한 연구, 대한전기협회, 조사연구논문, 1982.
6. 이철형 외, 소수력발전소 건설 타당성조사 기본계획 연구, 한국에너지기술연구소, 연구보고서, 1997.
7. 이철형, 박완순, 심명필, 국내 소수력발전입지의 개발타당성 분석, 대한토목학회논문집, 제17권, 제II-3호, 1997.