〈論 文〉

터널식 소수력 발전소의 최적 설계유량에 관한 연구

A Study on the Optimum Design Flowrate for Tunnel-Type Small Hydro-Power Plants

이 철 형*, 박 완 순**

Lee, Chul Hyung Park, Wan Soon

Abstract

This study represents the methodology for feasibility analysis of small hydro power plants. Cumulative density function of Weibull distribution and Thi-essen method were adopted to deside flow duration curve at candidate sites. The perfomance prediction model and construction cost estimation model for tunnel-type small hydro power plants were developed. Eight candidate sites existing on Han river selected and surveyed for actual sites reconnaissance. The performance characteristics and economical feasibility for these sites were analyzed by using developed models.

As a result, it was found that the optimum design flowrates with the lowest unit generation cost for tunnel-type small hydro power plants were the flowrate concerning with between 20 % and 30 % of time ratio on the flow duration curve. Additionally, primary design specifications such as design flowrate , effective head, capacity, annual average load factor, annual electricity production were estimated and discussed for surveyed sites.

요 지

본 연구는 터널식 소수력 발전소의 타당성 검토 기법에 관한 것으로 개발 후보지의 유량지속곡선을 작성하기 위해서 Weibull분포의 누적밀도함수와 Thiessen법을 채택하였고, 터널식 소수력 발전소의 성능예측 모델과 건설비 산정 모델이 개발되었다. 또한 한강 수계에 산재한 8개소의 개발후보지를 선정, 실측하여 이들을 대상으로 성능 특성 및 경제적 타당성을 분석하였다.

분석 결과, 터널식 소수력 발전소의 경우 발전단가를 가장 낮게 하여 주는 최적 설계유량은 유량지속곡선상의 시간비가 20%에서 30% 사이에 해당하는 유량이라는 것이 밝혀졌다. 또한 개발 후보지의 설계유량, 유효낙차, 설비용량, 년평균 가동율, 년간 전기 생산량 등과 같은 초기설계제원이 산정되었다.

*한국동력자원연구소 선임연구원 / **연구원

1. 서론

화석에너지가 빈곤한 우리나라는 제1차 석유파동 이후 석유에 대한 대체에너지로써의 소수력 개발을 위하여 1974년에 소수력 개발입지 및 자원조사를 수행하였고(박인용 등, 1974), 1975년도에는 시범 소수력 발전소의 설계를 수행한 바 있으며(박인용 등, 1975), 이를 기본으로 하여 강원도 안흥에 설비용량 450kW의 소수력 발전소를 건설하여 현재 가동 중에 있다.

소수력에 대한 관심은 제2차 석유파동 이후 더욱 고조되면서 1982년부터 1984년까지 국내에서 개발 가능한 유망후보지에 대한 자원실측을 통하여 소수력 개발을 위한 실제적인 소수력 자원조사가 수행되었으며(손병찬 등, 1982; 손병찬 등, 1983; 신동렬 등, 1984), 현재는 12개소의 소수력 발전소가 민간주도로 건설되어 운영되고 있다. 소수력 발전은 화력 및 원자력과 비교할 때 환경에 대한 영향이 거의 없는 청정한 에너지로써 개발이 유망한 에너지이지만, 단위 출력당 투자비용이 다른 에너지원에 비하여 높고 대수력 발전에 비해 더 많이 소요되는 것으로 알려져 있다. 그러나 소수력 발전은 발전지점의 특성, 개발형식 및 설비용량 등에 따라 경제성에 커다란 영향을 받기 때문에 이에 대한 정확한 분석이 수행된다면, 반드시 소수력 발전의 경제성이 낮다고할 수만은 없다.

특히 소수력 발전소의 설비용량은 발전소의 투자단가, 발전단가 및 가동율 등 경제성에 커다란 영향을 미치며, 이는 지형의 특성 및 유량지속 특성에 의해 결정된다. 따라서 본 연구에서는 소수력 발전소의 유량지속 특성을 분석하는 기법과 소수력 발전소의 성능예측 모델 및 타당성 분석 모델을 제시하였다. 또한 이의 응용으로 한강수계에 산재한 8개소의 터널식 소수력 개발 후보지의 현장 실측자료를 근거로 하여 발전단가를 가장 낮게 하여주는 최적설계유량, 즉 최적설비용량을 갖는 소수력 발전소의 기본 설계 제원을 제시하였다.

2. 강수자료 분석 및 유량지속곡선 작성

우리나라의 경우 대부분의 소수력 개발 후보지는 하천의 상류에 위치하기 때문에 유입량 등에 대한 수문학적인 실측자료가 부족하여 소수력 개발 후보지에서의 유량지속곡선을 작성하기가 매우 어려운 실정이다. 그러나 하천의 유량은 하천이 소속되어 있는 해당 유역면적내의 강수량에 의해 결정되기 때문에 해당 유역면적내에서의 강수량 자료를 분석함으로써 예측할 수 있다.

하천의 년 평균유량은 해당 유역의 년 평균 강수량과 지도상에서 구해지는 유역면적으로부터 다음과 같이 산정된다.

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

만일 유출계수 k가 계절별, 월별로 변하지 않고 년중 일정한 값을 유지한다고 하면 하천의 월 평균유량은 다음과 같이 산정된다.

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

여기서 분모의 30.42는 월간 총 일수를 나타낸다.

식(2)를 이용하여 관측소에서 측정된 월 총 강수량자료를 단위 유역면적당, 즉 유역면적 1km²당의 월 평균유량으로 환산할 수 있으며, 이를 이용하여 단위 유역면적당의 유량지속곡선을 작성할 수 있다. 유량지속곡선은 유량의 크기별로 누적시킨 것으로 확률분포의 누적밀도함수와 동일한 개념이기 때문에 유량지속곡선은 특정한 누적밀도함수의 형태로 표시할 수 있다.

본 연구에서는 월간 강수량자료를 단위 유역면적당의 월 평균유량 자료로 환산하여 구해진 단위 유역면적당의 유량지속곡선을 Weibull분포의 누적밀도함수를 이용하여 특성화 하였다.

Weibull분포의 확률분포함수와 누적밀도함수는 다음과 같이 표시된다.

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

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

ln 최소자승법을 이용하여 α와 β를 구하기 위해 식(4)를 정리하여 양변에 ln을 두번 취하면,

$$\ln(-\ln(1 - F(q))) = \alpha \ln q - \ln \beta \quad (5)$$

로 되어 $Y = aX + b$ 의 형태로 표시되며, 여기서

$$\begin{aligned} Y &= \ln(-\ln(1 - F(q))) \\ X &= \ln q \\ a &= \alpha \\ b &= -\alpha \ln \beta \end{aligned} \quad (6)$$

로 된다.

식(6)에서 n개의 (X, Y)자료, 즉 n개의 누적밀도와 월 평균유량 자료에 대해 a와 b를 구하면 다음과 같다.

$$\left.\begin{aligned} a &= \frac{\Sigma XY - \Sigma X \times \Sigma Y/n}{\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2/n} \\ b &= \Sigma Y/n - a\,\Sigma X/n \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

실제 소수력 개발 후보지에서의 유량은 해당 유역면적내에 여러개의 강수량 관측소가 존재하므로 각각의 관측소에서 측정된 강수량자료가 유기적으로 관계되어 유량지속곡선이 작성된다. 만일 그림 1. 에서와 같이 소수력 개발 후보지의 해당유역면적내에 i개의 강수량관측소가 존재한다면, 유역면적내에서의 평균 강수량은 Thiessen법(선우중호, 1989)에 의해 다음과 같이 표시된다.

여기서 A_i와 R_i는, i번째 관측소에 의해 분할된 유역면적과 강수량을 나타낸다.

소수력 개발 후보지를 통과하는 유량도 강수량과 마찬가지로 다음과 같이 표시된다.

$$R = \Sigma W_i R_i, \quad W_i = A_i / A \quad (8)$$

$$Q = A \Sigma W_i q_i \quad (9)$$

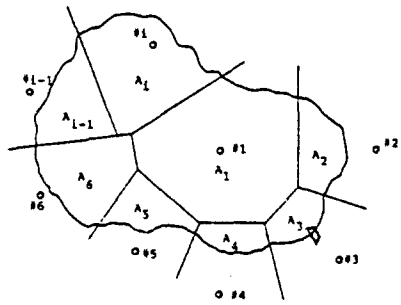

그림 1. 여러개의 강수량 관측소에 의해 분할된 유역면적

따라서 소수력 개발 후보지에서의 누적밀도함수와 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$F(Q) = A\Sigma W_i \left(1 - \exp(-(q_i/\beta_i)^{\alpha-1})\right) \quad (10)$$

$$P(Q) = A\Sigma W_i \left(\alpha_i/\beta_i\right)(q_i/\beta_i)^{\alpha-1} \exp(-(q_i/\beta_i)^{\alpha-1}) \quad (11)$$

또한 소수력 개발 후보지에서의 유량지속곡선을 나타내는 유량지속함수는 다음과 같이 구해진다(이철형, 1989).

$$D(Q) = A\Sigma W_i \exp(-(q_i/\beta_i)^{\alpha-1}) \quad (12)$$

3. 소수력 발전 시스템의 성능특성 해석 및 투자비 산정

소수력 발전 시스템은 유량과 낙차로부터 에너지를 추출하는 것으로 소수력 발전소에서 얻을 수 있는 순수한 소수력 에너지는 다음과 같다.

$$P_i = \rho g Q H \quad (13)$$

그림. 2. 는 단위 낙차, 단위 시간당, 단일기의 소수력 발전 시스템에 대해 유량 변화에 대한 출력의 변화를 나타내는 그림이다. 순수한 소수력 에너지 P_i는 유량변화에 따라 선형적으로 변하게 되지만 소수력 발전 시스템의 출력 P_s는 시스템의 설계유량 Qr이 존재하기 때문에 특성이 바뀌게 된다.

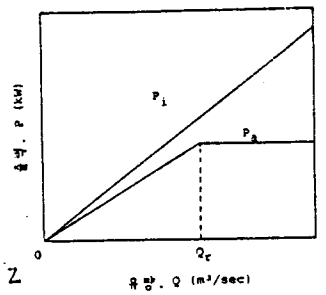

그림. 2. 소수력 발전 시스템의 출력 특성

소수력 발전 시스템의 출력은 설계유량 이하에서는 유량 변화에 따라 거의 선형적으로 변하게 되지만, 시스템의 효율로 인하여 순수한 소수력 에너지보다 항상 적은 값을 갖는다. 또한 설계유량 이상에서는 설계유량에 해당하는 유량만을 사용하고 이를 초과하는 유량은 월류시켜 방류하기 때문에 출력은 일정하게 유지된다.

따라서 소수력 발전 시스템에서 단위 시간당 생산되는 평균 전기에너지양 P_e를 구하면 다음과 같다.

$$P_e = \rho g H_e \eta \int_0 P(Q)\, dQ + \rho g H_e \eta Q_r \int_{Q_r} P(Q)\, dQ \quad (14)$$

식(14)의 첫항에서 η는 유량에 따라 변하는 값이지만 큰 변화가 없다고 가정하여 적분식 밖으로 빼내어 정리하면 다음과 같다.

$$P_e = \rho g H_e \eta \left(\int_0 P(Q)\, dQ + Q_r \int_{Q_r} P(Q)\, dQ \right)$$

$$= \rho g H_e \eta (S_1 + S_2) \quad (15)$$

소수력 발전소의 설비용량 C, 년 평균 가동율 L_f 그리고 년간 전기 생산량 E_a는 다음과 같다.

$$C = \rho g H_e Q_r \quad (16)$$

$$L_f = (S_1 + S_2) / Q_r \quad (17)$$

$$E_a = 8{,}760\ C\ L_f \quad (18)$$

소수력 발전소의 설비용량은 발전소의 물리적 특성인 낙차와 설계유량에 의해 결정된다. 낙차란 물이 수차발전기에 도달하기까지의 수직거리를 말하며, 수차발전기에 유용한 에너지를 주는 낙차를 유효낙차라 한다.

터널식 소수력 발전소의 경우는 일종의 보와 같은 역할을 하는 월류식 댐을 만들어 터널을 통해 물을 수차발전기에 보내는 형태가 되므로 최대 사용낙차를 방수면에서 댐의 상단까지의 높이차로 계산한다. 유효낙차는 최대 사용낙차에서 취수구, 밸브, 수압관, 방수로 및 수로에서의 손실을 제외한 것으로 표시된다. 일반적으로 수로에서의 손실을 제외한 제손실은 최대 사용낙차의 5%를 취하면 충분하므로 유효낙차는 다음과 같이 표시된다(최영박, 1977).

$$H_e = H \times 0.95 - H_l \quad (19)$$

수로손실 H_l은 다음과 같이 표시된다(A. J. Stepanoff, 1957).

$$H_l = f (L/D_h) (V/2g) \quad (20)$$

여기서 마찰계수 f는 다음과 같이 계산되며, R_e는 터널내에서의 레이놀즈수를 나타낸다(H. Schlichting, 1979).

$$f = 64/R_e, \quad R_e < 2{,}300 \quad (21)$$

$$f = 0.3164 / R_e^{0.25}, \quad R_e > 2{,}300$$

소수력 발전소를 건설하기 위해 소요되는 비용은 정확한 설계와 많은 자료가 요구되나 본 연구에서는 중요한 몇가지 요소로 구분하여 계산하였다. 소수력 발전에 소요되는 직접비로는 댐 공사비, 터널 공사비, 발전 설비비, 변전 설비비, 송배전 설비비 및 발전소 부속 건물비 등이 있다. 여기서 발전소 부속 건물비는 발전소의 크기에 비례하므로 이를 제외한 직접비의 10%로 가정하였고, 발전소의 설계비 등의 간접비는 직접비 총액의 20%로 가정하였으며, 각각의 내용은 다음과 같다(이철형 등, 1989).

$$C_d = (42,600\ H_d^2 + 111,560\ H_d + 111,560) \times W_d \times L_d \quad (22)$$

$$C_t = (54,320\ Q^{0.75} + 127,430\ Q^{0.375} + 28,630) \times L \quad (23)$$

$$C_m = 9,450,000\ C^{0.7} H_r^{-0.35} \quad (24)$$

$$C_{tr} = 0.36\ C^2 + 8,529\ C + 40,584,150 \quad (25)$$

$$C_l = 27,000,000 \times 1 \quad (26)$$

따라서 소수력 발전소를 건설하기 위한 초기투자비 C_i는 다음과 같이 산정된다.

$$C_i = ((C_d + C_t + C_m + C_{tr} + + C_l) \times 1.1) \times 1.2 \quad (27)$$

또한 소수력 발전소의 건설기간을 1년으로 가정하였을 경우 N년후의 총 투자비용 C_c, 총 수익 C_e, 발전단가 C_u및 발전소 운영기간 동안의 수익/비용 B/C는 다음과 같이 표시된다.

$$C_c = C_i (1 + i_r) + \sum_{N=1}^{N} \frac{O_m}{(1+i_r)^N} \quad (28)$$

$$C_e = \sum_{N=1}^{N} E_a\ C_e\ \frac{(1+i_u)^N}{(1+i_r)^N} \quad (29)$$

$$C_u = \left(\frac{i_r\ (1+i_r)^N}{(1+i_r)^N - 1} + O_m\right) \times \frac{C_c}{C \times 8,760 \times L_f} \quad (30)$$

$$B/C = C_e / C_c \quad (31)$$

여기서 발전소의 투자비 회수기간은 B/C비가 1이되는 기간으로 산정할 수 있다.

본 연구에서는 소수력 발전소의 경제성을 검토하기 위해 i_r=10%, O_m=5%, N=35년, i_u=0% 그리고 유지관리비의 증가율은 0%로 하였으며, 전력판매가격 C_e=38.45원/kWh로 가정하였다(동력자원부, 1982). 또한 소수력 발전소의 건설비는 순수한 자기자본의 투자로 가정하였다.

5. 결과 및 검토

본 연구의 결과를 분석하기에 앞서 Weibull분포의 누적밀도함수를 이용하여 단위 유역면적에 대한 유량지속곡선을 작성하는 방법에 대하여 타당성을 검토하였다. 또한 실제 하천에서의 유하량 자료에 의해 작성된 유량지속곡선과 본 연구에서 제시된 방법과의 비교를 통하여 본 연구에서 정립한 유량지속곡선의 작성방법이 소수력발전소에 적용 가능함을 밝혔다.

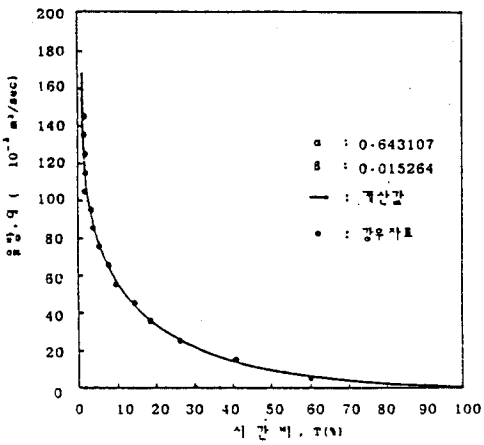

그림. 3. 진부 관측소에 의해 영향을 받는 단위 유역면적당의 유량지속곡선

그림. 3.은 강원도 진부관측소에서 1972년부터 1988년까지 측정된 강수량자료(건설부, 1972-1988)를 단위 유역면적당 월 평균유량으로 환산하여 구한 유량지속곡선과 Weibull분포의 누적분포함수로 특성화하여 구한 유량지속곡선을 상호 비교한 그림이다. 그림을 통하여 단위 유역면적당 유량지속곡선을 Weibull분포의 누적밀도함수가 매우 타당성있게 특성화시켜주고 있음을 알 수 있다.

그림. 4.는 강원도 평창수력지점에서의 유하량자료를 이용하여 획득한 유량지속곡선(한국전력공사, 1982)과 본연구에서 제시한 유량지속곡선을 비교한 그림으로 유하량자료를 이용한 유량지속곡선은 Robert Noyes(1980)가 사용한 방법을 채택하였으

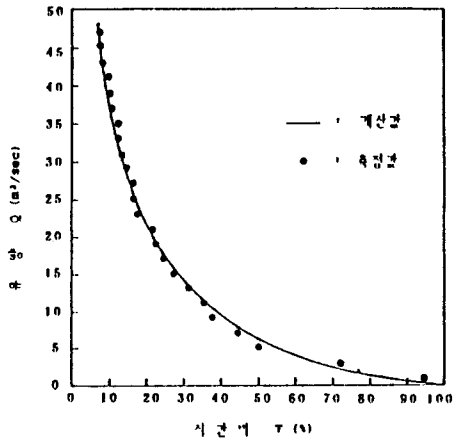

그림. 4. 평창수력지점의 유량지속곡선

며, 유출계수 k=0.7을 적용하였다(차종희 등, 1982).

그림. 4. 에서 보는 바와같이 본 연구에서 제시한 방법이 실제 하천에서 유하량 측정에 의해 작성된 유량지속곡선을 매우 타당성 있게 특성화 시켜주는 것을 알 수 있으며, 이 결과로부터 유하량 측정자료가 거의 전무한 소수력 개발 후보지에서의 유량 지속 곡선은 본 연구에서 제시한 방법으로 산정할 수 있다는 것이 입증된다.

본연구에서 분석하고자 하는 터널식 소수력 개발 후보지는 한강수계에 위치한 8개소로써 각 후보지의 특성은 표. 1. 과 같이 요약된다. 여기서 후보지의 자연낙차는 하천의 실측을 통하여 결정하였으며, 댐의 높이는 후보지 상류의 민가가 수몰되지 않을 정도로 제한하였다.

본 연구에서는 표. 1. 에 제시된 8개소의 후보지 가운데 도돈리를 택하여 소수력 발전소의 기본설계에 필요한 성능특성과 경제성을 분석하고 나머지 후보지에 대해서는 결과만을 요약하였다.

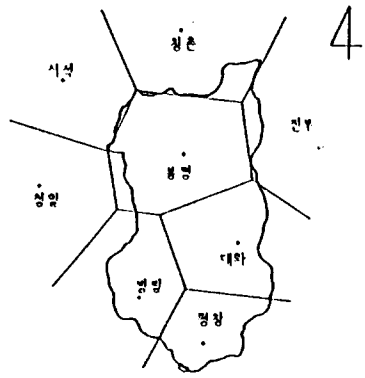

그림. 5. 도돈리 소수력 개발 후보지의 분할된 유역면적도

그림. 5. 는 강원도 평창군 평창읍 도돈리에 위치한 후보지의 유역면적도로써 Th-iessen망도에 의해 6개의 관측소로부터 영향을 받는 작은 유역면적으로 분할되는 것을 알 수 있다. 도돈리 후보지의 총 유역면적은 733km²이며, 분할된 유역면적의 제반 특성은 표. 2. 와 같다.

표. 2. 분할된 유역면적의 특성

특성 / 관측소	유역면적 (A_i, km²)	가중치 (W_i, %)	형상계수 (α)	첨도계수 (β, m³/sec)
평창	97	13.2	0.770748	0.019082
방림	127	17.3	0.686524	0.017048
대화	189	25.9	0.690516	0.01661
봉평	273	37.2	0.664584	0.016606
진부	16	2.2	0.643107	0.015264
창촌	31	4.2	0.631996	0.01541
계	733	100.0		

표. 1. 소수력 개발 후보지의 특성

후보지	수계	유역면적 (km²)	자연낙차 (m)	하폭 (m)	댐높이 (m)	터널길이 (m)	송전거리 (km)
대기리	송천	215	25.8	73	5	125	0.2
막동리	오대천	305	7.4	75	6	325	0.4
덕천리	동강	2,025	14.1	200	5	500	0.4
구절리	송천	233	21.6	80	6	375	0.2
도돈리	평창강	733	8.1	110	5	350	0.7
화의리	오대천	298	11.1	75	5	225	0.3
미산리	개방천	349	12.1	60	6	125	0.5
율전리	홍천강	299	19.6	110	5	675	0.4

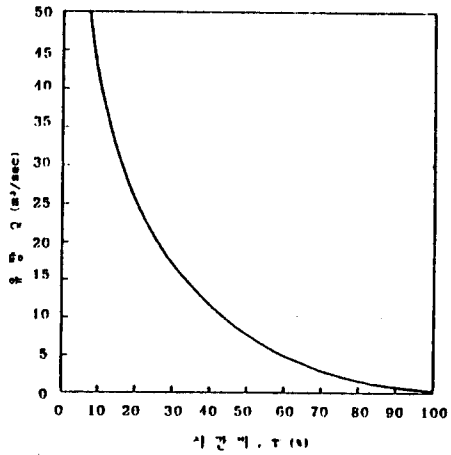

그림. 6. 도돈리 소수력 개발 후보지의 유량지속곡선

그림. 6. 은 표. 2. 에 보여진 분할된 유역면적의 특성이 조합되어 구해진 도돈리 후보지에서의 유량지속곡선을 나타낸다.

그림. 7. 은 설계유량 Qr의 변화에 따른 시스템의 년 평균 가동율 L_f, 시스템 설비용량 C 및 시스템에서 발전되는 년간 전기 생산량 E_a의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때 후보지의 특성을 분석하기 위해 시스템의 효율 η는 0. 8로 가정하였고, 유효낙차 He는 12. 3m로 산정되어 이 값을 적용하였다.

시스템의 설비용량은 설계유량 변화에 따라 거의

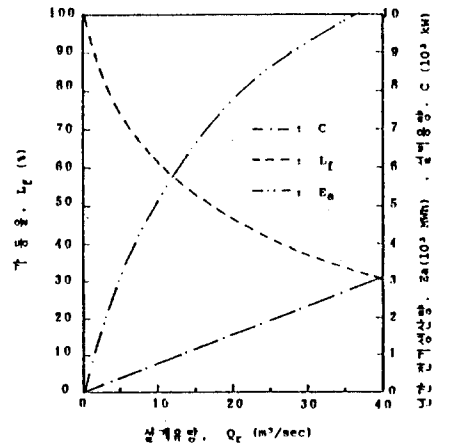

그림. 7. 설계유량에 따른 설비용량, 년 평균 가동율 및 년간 전기 생산량의 변화

선형적으로 변하게 된다. 그러나 시스템의 년 평균 가동율은 설계유량이 증가함에 따라 감소하게 되며, 또한 설계유량이 작은 영역에서는 급히, 큰 영역에서는 서서히 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 설계유량이 작을 경우가 큰 경우보다 단위 시간당 시스템에서 얻을 수 있는 평균 전기에너지양 P_e가 설비용량에 비해 상대적으로 크기 때문이다. 따라서 년 평균 가동율은 설계유량을 0으로한 극단적인 경우에는 100%가 된다.

시스템에서 발생되는 년간 전기 생산량은 설계유량 증가함에 따라 증가하게 되며, 설계유량이 점차 커지면 증가율이 서서히 둔화된다. 이러한 현상은 설계유량이 커짐에 따라 시스템의 년 평균 가동율이 점차 감소하기 때문에 나타나는 현상이다.

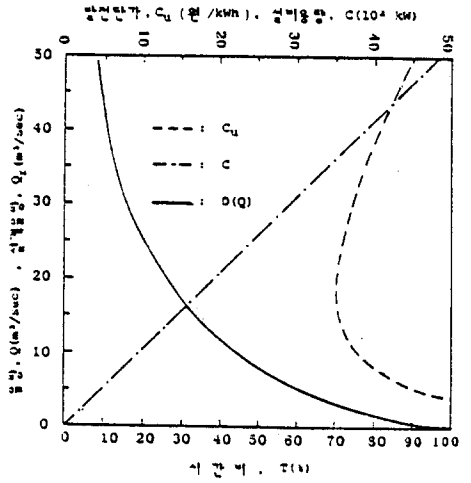

그림. 8. 유량지속곡선과 설비용량 및 발전단가와의 관계

그림. 8. 은 설계유량 Qr에 따른 시스템의 설비용량 C와 발전단가 C_u의 변화를 유량지속곡선상에 중첩하여 나타낸 그림이다. 그림. 8. 에서 발전단가가 최소로 되는 설계유량은 18. 0 m^3/sec로 유량지속곡선상의 시간비는 27. 5%이며, 이 때 시스템의 설비용량은 1, 740kW임을 알 수 있다. 그림을 통하여 터널식 소수력 발전소의 경우, 발전단가는 유량지속곡선상의 시간비가 20% 에서 35% 사이에 해당하는 유량을 설계유량으로 하였을 때 큰 변화가 없다는 것을 알 수 있으며, 설비용량은 이범위내에서 결정하는

것이 발전단가면에서 유리하다는 것을 보여준다.

시간비가 작은 경우, 즉 설계유량을 크게하여 설비용량을 결정하면 , 설비용량 증가로 인해 kW당 건설단가는 낮아지지만 시스템의 년 평균 가동율이 감소되어 발전단가가 상승하게 된다. 또한 시간비가 너무 큰 경우, 즉 설계유량을 작게 한 경우에는 시스템의 년 평균 가동율은 증가하지만 kW당 건설단가가 크게 증가하기 때문에 발전단가가 급격히 상승하게 된다.

표. 3. 소수력 개발 후보지의 특성 요약

후보지	시간비 (%)	설계유량 (m^3/sec)	유효낙차 (m)	설비용량 (kW)	가동율 (%)	발전단가 (원/kWh)
대기리	32.8	5.5	29.2	1,260	43.9	28.09
막동리	21.1	9.3	21.3	920	41.1	54.86
덕천리	30.4	38.0	17.9	5,340	50.6	21.71
구절리	22.4	6.3	26.1	1,290	42.7	37.32
도돈리	27.5	18.8	12.3	1,740	48.5	35.79
화의리	24.5	7.8	15.2	930	45.1	41.39
미산리	24.3	9.3	17.2	1,250	44.1	33.44
율전리	23.0	8.5	23.1	1,540	42.7	41.84

표. 3. 은 8개소의 소수력 개발 후보지를 대상으로 발전단가를 가장 낮아지게하는 설계유량을 구하여 이의 특성을 요약한 것이다. 표. 3. 에서 나타난 바와 같이 터널식 소수력 발전소의 경우 최적설계유량은 대부분 유량지속곡선상의 시간비가 25% 전후에서 결정되지만 후보지의 지형 및 수문학적 특성에 따라 최대 9. 3% 정도 다르게 나타나므로 터널식 소수력 발전소의 최적설비용량을 결정하기 위해서는 본 연구에서 제시된 방법에 의한 타당성 분석이 수행되어야 한다.

6. 결 론

본 연구는 원자료인 강수량 자료를 분석하여 소수력 발전소 설계에 필요한 성능 특성을 예측하는 방법과 한강수계에 산재한 터널식 소수력 개발 후보지의 타당성을 분석한 것으로 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 수문자료가 부족한 대부분의 소수력 개발 후보지에서의 유량지속곡선은 강수자료를 이용하여 구할 수 있으며, 이 때 강수자료는 Weibull분포의 누적밀도함수를 이용하여 특성화될 수 있음이 밝혀졌다. 또한 이의 응용으로 소수력 발전소의 제반 특성을 예측, 분석하는 방법이 제시되었다.

(2) 터널식 소수력 발전소 건설에 소요되는 건설비 모델을 통하여 타당성 분석이 수행되었으며, 이 결과 대부분의 터널식 소수력 발전소의 경우 유량지속곡선상의 시간비가 25% 부근의 유량을 설계유량으로 하였을 때 발전단가가 가장 낮아지는 최적설비용량으로 결정되는 것으로 나타났다. 그러나 후보지의 지형적인 특성에 따라 시간비가 9. 3% 정도 다르게 나타나므로 터널식 소수력 발전소의 최적설비용량을 결정하기 위해서는 본 연구에서 제시된 타당성 분석이 수행되어야 한다.

기 호 설 명

A : 유역면적 (km^2)
C : 소수력 발전소의 설비용량 (kW)
C_c : 소수력 발전소의 총 투자비 (원)
C_d : 댐 건설비 (원)
C_e : 전력판매가격 (원 / kWh)
C_g : 소수력 발전소의 총 수익 (원)
C_i : 소수력 발전소의 초기투자비 (원)
C_l : 송배전 설비비 (원)
C_m : 발전 설비비 (원)
C_t : 터널 공사비 (원) C_{tr} : 변전 설비비 (원)
C_u : 발전 단가 (원 / kWh)
D_h : 수력 직경 (m)
D(Q) : 유량지속곡선 함수
E_a : 년간 전기 생산량 (MWh)
F(q), F(Q) : Weibull 분포의 누적밀도함수
f : 마찰계수
g : 중력 가속도 (m / sec^2)
H : 낙차 (m), 최대 사용낙차 (m)
H_d : 댐의 높이 (m)
H_e : 유효 낙차 (m)
H_l : 수로 손실 (m)
H_r : 정격 낙차 (m)
i_r : 이자율 (%)
i_u : 전력 판매가격 상승율 (%)
k : 유출계수
L : 터널 길이 (m)
L_d : 댐 길이 (m)
L_f : 년 평균 가동율 (%)
N : 소수력 발전소의 수명 (년)
O_m : 유지관리비율 (%)
P_a : 소수력 발전 시스템의 출력 특성 (kWh)
P_i : 이상적인 수력 에너지 (kWh)
P_e : 단위 시간당 평균 전기 에너지양 (kWh)
P(q), P(Q) : Weibull 분포함수
Q : 유량 (m^3/sec)
Qa : 년 평균유량 (m^3/sec)
Qm : 월 평균유량 (m^3/sec)
Qr : 설계유량 (m^3/sec)
q : 단위 유역면적당의 월 평균유량 (m^3/sec)

R ; 강수량 (mm)
Re ; 레이놀즈수
Rm ; 월 강수량 (mm)
Rt ; 년 강수량 (mm)
T ; 시간비 (%)
V ; 유속 (m / sec)
W ; 유역면적의 가중치
Wd ; 댐 폭 (m)
α ; Weibull분포의 형상계수
β ; Weibull분포의 척도계수 (m^3/ sec)
ρ ; 물의 밀도 (kg /m^3)
η ; 소수력 발전 시스템의 효율
첨 자
i ; i번째 강수량 관측소의 영향

참 고 문 헌

1. 건설부(1972-1988). 수문조사년보
2. 동력자원부(1982). 소수력 발전 개발 방안
3. 박인용 외(1974). 소수력 발전 조사. 과학기술처. 연구보고서. R-74-53.
4. 박인용 외(1975). 시범 소계곡 발전소의 설계 연구. 과학기술처. 연구보고서. R-75-38.
5. 선우중호(1989). 수문학. 동명사. 서울. pp53-57.
6. 손병찬 외(1982). 국내 소수력 자원 조사 및 개발(1). 한국동력자원연구소. 연구보고서. KE-82T-12.
7. 손병찬 외(1983). 국내 소수력 자원 조사 및 개발(2). 한국동력자원연구소. 연구보고서. KE-83-5.
8. 신동렬 외(1984). 국내 소수력 자원 조사 및 개발(3). 한국동력자원연구소. 연구보고서. KE-84-5.
9. 이철형 외(1989). 강우자료 분석에 의한 소수력 발전소의 성능 예측. 태양에너지9권. 3호. pp81-91.
10. 이철형 외(1989). 소수력 자원의 정밀조사 및 최적개발 분석 연구(1) 한국동력자원연구소. 연구보고서. KE-89-19. pp85-101
11. 차종희 외(1982). 소수력 발전의 설계에 관한 연구. 대한전기협회. 조사연구논문. pp267-268.
12. 최영박(1977). 에너지 발전 공학. 문운당. 서울.
13. 한국전력공사(1982). 평창 수력지점 예비조사 보고서. pp49-75
14. Robert Noyes(1980). *Small and Micro Hydro-Electric Power Plants;Technol-ogy and Feasibility*, Energy Technology Review No. 60. Noyes Data Corpdration. U. S. A.. pp163-168.
15. H. Schlichting(1979). *Boundary Layer Theory*, McGraw-Hill Book Company. 7th Edition.
16. A. J. Stepanoff(1957). *Centrifugal and Axial Flow Pumps*, John Wiley and So-ns Inc.. pp3-4.