

미계측 소수력의 발전량 추정방법의 비교

심 명 필*, 권 오 익**

1. 서론

소수력발전은 다른 발전방식에 비하여 환경에 대한 영향이 거의 없고 재사용이 가능하여 개발이 유망한 에너지이며, 발전지점의 특성, 개발형식 및 설비용량 등에 따라 경제성에 커다란 영향을 받기 때문에 이에 대한 정확한 분석이 수행되어야 한다.

소수력 개발을 위한 타당성조사에서 포함하는 조사단계에서의 주된 작업은 도상검토를 통해 선정된 개발후보지의 발전량을 추정하여 이에 따른 수익과 개발시의 비용을 비교 검토하는 경제성 분석을 실시하여 개발후보지의 개발유무를 결정하는 것이다(3). 이를 위해 개발후보지의 유량특성을 파악하고, 유량지속곡선등을 이용하여 설계유량을 결정한후, 지형정보를 통해 발전에 이용되는 낙차를 결정하여 발전량을 추정하여야 한다(4). 유량특성을 파악하기 위해서는 실측된 유량자료를 필요로 하며 이때 실측된 유량자료가 있다면 자료의 신뢰성을 보완한후 직접 이용하는 것이 가장 이상적인 방법일 것이다. 그러나 개발후보지에 과거의 유량자료가 없다면 일련의 과정을 통해 필요로 하는 유량자료를 추정해야만 한다.

본 연구에서는 미계측 하천에서의 소수력개발을 위해 강우등의 기상자료나 유역특성으로 부터 유출량을 추정하고 유량지속곡선을 이용하여 발전량을 추정하는 방법을 검토하고자 한다.

2. 장기유출 추정방법

장기유출이란 하나의 호우에 대한 유출이 아니라 순(旬), 월 또는 연간 강수량에 의한 유출로 미계측된 개발후보지의 유량추정을 위해서는 인근유역의 실측정보나 개발후보지의 기상 및 지형정보등을 이용할 수 있다. 인근유역에 비교적 정확히 실측된 유량자료가 있다면

* 인하대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 인하대학교 대학원 토목공학과 박사과정

동질성과 상관관계등을 이용하거나 지점의 지역변수를 이용하여 개발후보지의 유량을 추정하거나 직접 유량지속곡선을 합성할 수 있을 것이다. 그러나 개발후보지와 인근유역에도 가용한 유량자료가 없다면 필요에 의해 단기간 동안 개발후보지의 유량을 계측하여 얻은 단기간의 자료를 이용하여 확장하는 방법도 있겠으나 이는 시간과 경비에 있어 많은 제한이 따른다. 따라서 개발후보지에 실측된 유량자료가 없고 설사 있다해도 계측기간이 짧고 신뢰할 수 없다면 인근유역의 정보와 개발후보지의 기상 및 지형 정보등을 이용하는 방법을 강구해야 할 것이다. 우리나라의 경우 소수력 개발을 위해 월유량 추정시 관련된 계측자료 이용의 곤란함과 시간 및 경비의 제한이 따르는 현지조사의 특성을 고려할때 수문학적인 근거에 바탕을 둔 비교적 간편한 인근유역과 개발후보지의 기상 및 지형정보와 경험적인 가정치만을 요구하는 방법을 이용하는 것이 바람직할 것이다. 본 연구에서는 이러한 방법들중 수문학적인 근거를 가지고 있는 방법들의 이용을 검토하고자 한다.

2.1 Weibull 분포의 특성화

하천의 유량은 하천이 소속되어 있는 해당유역면적내의 강수량과 밀접한 관계가 있고 유출계수 k 가 계절별, 월별로 변하지 않고 연중 일정한 값으로 유지된다고 가정하면, 하천의 월 평균유량을 산정할 수 있다. 강수량관측소에서 측정된 월 강수량자료를 Weibull분포의 누적밀도함수를 이용하여 단위유역면적당의 월 평균유량으로 환산하여 소수력발전소를 통과하는 유량(Q)을 추정할 수 있다⁽⁵⁾.

2.2 NRECA 모델

NRECA(National Rural Electric Cooperative Association)에서는 1980년 효율적인 소수력 개발을 위한 일련의 SDH(Small Decentralized Hydropower) 프로그램을 개발하였다. 그중 유량자료를 이용할 수 없는 미계측 유역에서 강우자료와 가능 중발량자료로 부터 월별 유하량을 추정하는 프로그램을 개발하였다⁽⁸⁾. 이 방법은 수문학적 원리를 근거로 미계측 유역의 소수력 개발을 위한 예비조사단계에서 적용이 가능하나 강설의 영향이나 세부적인 수리학적 계산과정을 포함하지 않기에 상류에 큰 저수지나 호수를 가지고 있는 곳이나 강설의 영향을 받는 지역에서는 사용될 수 없는 제약을 갖고 있다.

2.3 가지야마 공식

이 공식은 1929년 당시 조선총독부의 토목기사였던 가지야마(梶山)가 만든 경험식으로 1916년에서 1927년까지 약 10년간의 73개지점의 강우량과 유출량 측정자료를 정리한 후, 그중 정확하다고 생각되는 25개 지점의 수문자료에 대해 그래프를 이용 분석하였다. 그 동안 여러 보고서를 통해 이 공식의 계수값에 대한 비판이 끊임없이 제기되었고 수정

가지야마공식도 소개되어 그 결과에 대한 비교우위도 보고된 바 있으나 새로운 대안이 제시 되지 못한 상태에서 수문학적인 근거와 강우량 자료만을 요구하는 간편성 때문에 계측자료가 빈약한 우리나라의 월별 유출량 계산공식으로 많이 이용되어 왔다(2).

2.4 KRIHS 모델

1987년 국토개발연구원(2)에서는 계측자료가 부족한 우리나라 중소유역의 월별 유출량을 추정하기 위해 그간 논란이 많았던 가지야마공식의 대안으로 기상학적, 지형학적인 자료만을 요구하는 모델을 개발하였다. 그간의 발간된 각종 보고서들을 조사하여 모델개발에 이용할 중소유역으로 14개의 수계를 선정하여 총 1,230개월의 관측치중 1,083개의 관측치를 가지고 월별로 강우량(P)과 유출량(RO)간의 회귀분석을 시도하여 건기와 우기의 수문반응은 서로 다르다고 가정하고 최종적인 계절별 회귀분석식을 발표하였다.

2.5 추정방법의 비교

이밖에도 많은 장기유출모형들이 있으며 각기 상대적인 복잡성과 특성을 지녔다. 이렇게 많은 모형 중에서 어떤 모형을 선택해야 하는가에 대한 근거는 수행하고자 하는 수공학 문제의 성격에 달려있다. 소수력 발전소의 설계나 최적운용을 위한 경우에는 강우나 유량이 미계측된 경우가 많아 수문자료가 충분하지 못하므로, 기상학적 및 유역특성인자로 부터 유출을 구할 수 있는 비교적 단순한 구조로 이루어지는 것이 편리할 수 있을 것이다. 각각의 방법들의 필요로 하는 자료와 특징을 비교한 것이 표 1 이다.

표 1. 장기유출 추정방법의 입력자료와 특징

방 법	입 력 자 료	특 징
면적비법	인근 유출량	인근 두 유역의 수문학적 반응조건이 동일하다는 단순한 가정
유역평균유출고법	강우량 인근 유출량	큰 유역내의 모든 소유역의 유출특성은 동일하다는 단순한 가정
Weibull분포의 특성화	강우량	유역의 물리적인 특성이 생략
NRECA 모델	강우량 총발량	유역특성인자의 정확한 추정이 필요
가지야마 공식	강우량	수문학적인 근거는 있으나 공식에 포함된 계수의 적용 문제
KRIHS 모델	강우량, 평균위도 총발량, 해발고도 상대습도, 일조율	유역을 대표할 수 있는 기상자료 필요
기타 [탱크 모델 [확장론적 모델 [회귀분석 모델 [추계학적 모델	강우량 유출량 기상자료 지형자료	계측유역에서의 유량추정방법

3. 유량지속곡선의 작성

소수력발전소를 개발하기 위한 타당성조사를 시행하는 경우에는 해당구역의 유량지속곡선(Flow duration curve)으로 부터 설비용량 및 연간 발전량을 추정하게 된다. 유황곡선으로 불리기도 하는 유량지속곡선은 해당기간에 대해 임의의 유량보다 같거나 큰 값의 유량이 발생하는 초과확률을 나타낸다. 유량지속곡선을 구하기 위해서는 장기간에 걸쳐 일유량 또는 월유량 자료가 필요하다. 개발 예상지점에서 이미 측정한 유량 자료가 있다면 유량 추정방법에 의하지 않고 직접측정한 자료를 이용해도 되나 실제 현장에서의 유량 측정이 어려울 뿐만 아니라 대부분의 수문분석에 요구되는 유량자료는 적어도 30년 이상의 자료를 필요로 한다. 따라서 실측자료가 없거나 측정기간이 짧고 부정확할 경우가 많다면 오히려 기상자료로부터의 추정값이 더 유용할 경우도 있다.

그림 1은 강원도 평창군 평창읍 뇌운리에 위치한 유역면적이 640.6 km²인 평창강 수력지점에 대해 동일 수계내의 실측 유출량 자료(1963 - 1979)가 있고 유역특성이 비슷한 후포수위표 지점의 비유량을 적용하여 계산한 실측치와 앞서 언급한 장기유출추정방법에 의해 구한 유량지속곡선을 비교한 것이다. 유출량 추정을 위해 창촌, 진부, 봉평, 대화, 방림, 평창등 6개로 분할된 건설부(1)와 수자원공사 및 기상청등의 강우량자료(1973 - 1992)와 기상청 소속의 인근에 있는 원주, 홍천, 대관령 측후소의 일조율, 기온, 상대습도, 증발량등의 기상자료(1973-1992) 및 지형자료등을 이용하였다. 실측치와 추정치의 자료기간이 서로 다르나 각각의 기간에 대한 초과확률을 나타내는 유량지속곡선에서는 상호 비교가 가능하다.

그림 1에서 Weibull분포 특성화와 NRECA방법이 비교적 실측치와 잘 맞으며, 초과확률 25.8%에 해당되는 유량은 실측치, Weibull분포 특성화, NRECA, 가지야마, KRIHS의 경우 각각 16.2, 16.5, 15.0, 10.7, 6.2 m³/sec이다. 그림 1에 나타난 결과만으로 Weibull분포 특성화 방법과 NRECA 모델의 상호 비교를 통한 적용방법을 언급할 수 있겠으나 한 지점의 결과만으로는 성급한 판단이며 보다 많은 여러지점에 대한 적용결과를 토대로 판단하여야 할 것이다. 또한 유역특성을 대표할 수 있는 보다 신뢰성 있는 기상 및 지형자료를 사용한다면 여타의 방법도 보다 실측치에 접근하리라 생각 된다.

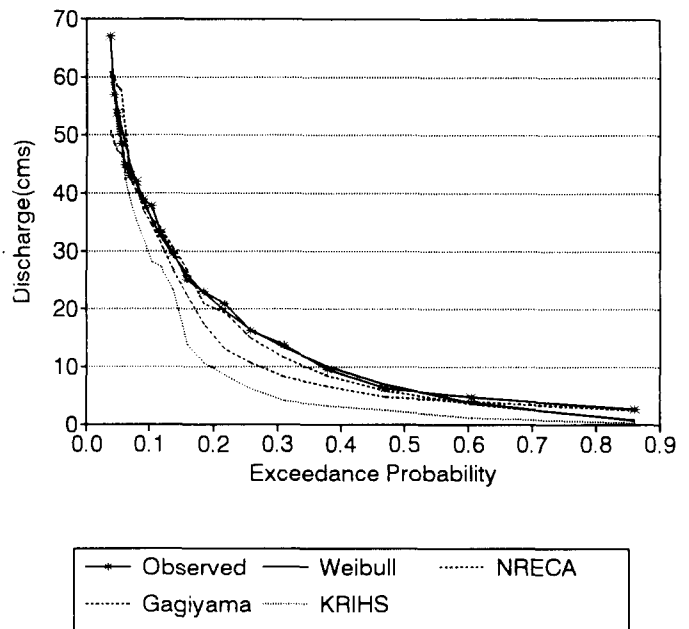


그림 1. 평창강 수력지점의 유량지속곡선

4. 연간발전량의 추정

그림 2는 유량지속곡선으로 부터 설계유량 Q_r 의 결정절차를 보여준다. 소수력발전소의 설비용량 $C(kW)$ 는 예비조사 단계에서는 일반적으로 초과확률 25%에 해당하는 유량을 설계 유량으로 하여 결정하며 다음과 같다.

$$C = 9.8 Q_r H_e \eta_s \quad (1)$$

여기서 H_e 는 유효수두(m) 이고 η_s 는 시스템의 효율이다. Turbine의 최소허용유량은 Turbine의 특성과 운영범위에 관계 되나 설계유량의 30%에 해당하는 값을 가정하면 그림 5에서 면적 B는 연간 발전량에 상당하며 연간 전기 생산량 $E(kWh)$ 는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$E = 8,760 \times 9.8 Q_{av} H_e \eta_s \quad (2)$$

여기서 $Q_{av}(m^3/s)$ 는 면적 B로 부터 구하며 전기간에 걸친 평균유량을 나타낸다. 면적 C는 취수댐(Diversion Dam)의 규모에 따라서 면적 B에 추가 될수 있으며, 면적 A는 설계유량을 넘어서 월류되는 양을 나타내나 상당부분은 저수댐(Storage Dam)의 유무와 크기에 따라서 면적 B로 추가될수 있다. 최종적으로 합산된 면적 B로 부터 수정된 Q_{av} 를 구하여야 한다.

유효수두가 H_e , 시스템의 효율이 η_s 로 큰 변화가 없다고 가정하고, 단일기로 구성된 소수력발전소에서 설계유량이하의 유량을 발전에 모두 이용한다고 가정하면 그림 2에서 면적 B에 면적 C의 부분이 포함되며, 생산되는 단위시간당 평균발전량 $P_e(kWh)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_e &= 9.8 H_e \int_0^{Q_r} \eta_s P(Q) Q dQ + 9.8 H_e \eta_s Q_r \int_{Q_r}^{\infty} P(Q) dQ \\ &= 9.8 H_e \eta_s \left(\int_0^{Q_r} P(Q) Q dQ + Q_r \int_{Q_r}^{\infty} P(Q) dQ \right) \\ &= 9.8 H_e \eta_s (S_1 + S_2) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $P(Q)$ 는 유량에 관한 확률밀도함수이다. 따라서 소수력발전소의 설비용량 $C(kW)$, 연 평균가동율 L_f 그리고 연간 발전량 $E(kWh)$ 는 다음과 같이 산정된다.

$$C = 9.8 H_e Q_r \eta_s \quad (4)$$

$$L_f = (S_1 + S_2) / Q_r \quad (5)$$

$$E = 8,760 C L_f \quad (6)$$

그림 3은 안홍소수력발전소의 경우, 설계유량의 변화에 따른 연 평균가동율, 설비용량 및 연간 발전량⁽⁷⁾의 변화를 나타내는 그림이다. 이 때 발전소의 효율 η_s 는 0.7로 가정하였고, 유효낙차 H_e 는 12m를 적용하였다. 안홍소수력발전소의 설계유량⁽⁶⁾은 $5.1m^3/sec$ 이고, 이때 발전소의 연평균가동율은 57.2%이며, 연간발전량은 2,254.8MWh로 산정됨을 알 수 있다.

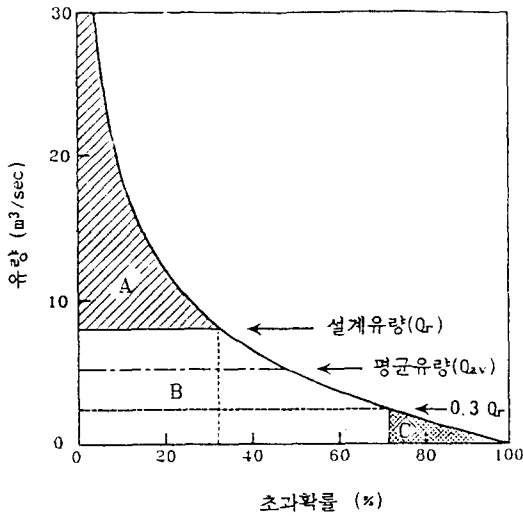


그림 2. 유량지속곡선

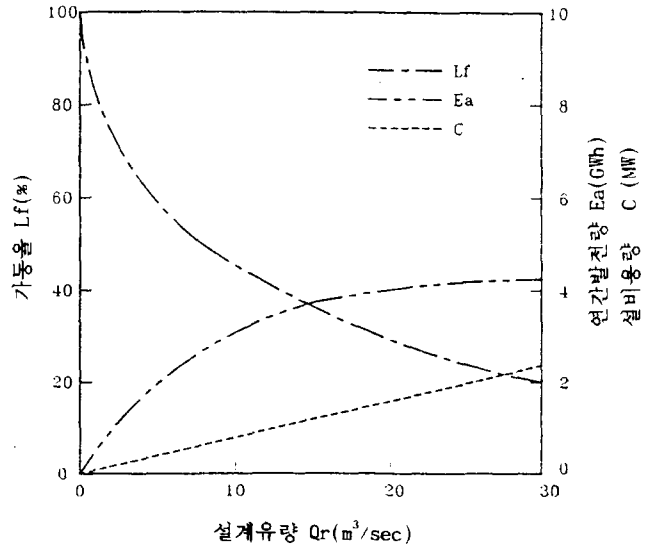


그림 3. 설계유량에 따른 설비용량, 연 평균 가동률 및 연간 발전량의 변화

5. 결론

수문자료가 부족한 미계측 소수력발전소의 경우, 기상 및 지형자료를 이용하여 유량지속곡선을 작성하는 방법을 검토함으로써 수문자료가 부족한 국내 소수력개발에 적용할 수 있을 것이다. 이와 같이 작성된 유량지속곡선을 이용하여 발전소의 타당성조사시 설계유량변화에 따른 연 평균가동률, 설비용량 및 연간 발전량 등에 대한 성능예측에 효과적으로 사용함으로써 소수력 개발후보지의 초기설계시 성능예측 및 설계에 관한 신뢰성을 향상시킬 수 있으며 또한 소수력발전소의 성능분석모델을 개발하여 현재 가동중인 소수력발전소의 성능특성 및 초기설계제원에 대한 비교분석도 가능할 것이다.

참고문헌

1. 건설부, 한국수문조사년보, 1972-1988.
2. 이상훈, 김광묵, 최지용, 김선희, 중소수계의 하천유출량 추정모델개발, 국토개발연구원, 1987.
3. 이철형외, "국내 소수력 자원의 정밀조사 및 최적 개발분석 연구(I)", 한국동력자원 연구소 연구보고서, KE-89-19, 1989.
4. 이철형, 박완순, 유승원, 최창준, 심명필, "소수력발전소의 최적운용기법 적용 연구(I)", KE-93033G, 한국에너지기술 연구소, 1993.
5. 이철형, 박완순, 심명필, "소수력 발전소의 성능특성분석", 대한토목학회 논문집, 제 14권, 제 9호, 1994(계재예정)
6. 한국전력공사, 안홍수력발전소, 안내책자, 1976.
7. 한국전력공사, 안홍수력발전소의 발전실적, 1989년-1992년.
8. Crawford, H.N. and Thurin, M.S., Hydrologic estimates for small hydroelectric projects, NRECA, Washington, 1981.