

국내 갈수량 산정에 대한 재고

Reconsideration on the low flow estimation in Korea

조탁근*, 김영오**, 이길성***

Tak Guen Cho, Young-Oh Kim, Kil Seong Lee

요 지

갈수량(low flow)은 과거 자연상태 하천에서 갈수기에 흘렀던 유량으로서 자연과 사람이 공유할 수 있는 최소한의 유량이며, 이수측면에서 하천수의 공급능력을 평가하여 취수량을 설정하는 기준 유량이다. 일본과 국내에서는 지금까지 일유량의 유황곡선(flow duration curve)을 분석하여 평균갈수량, 기준갈수량 등을 결정하고 이를 갈수량의 지표로 이용하여 왔다. 그러나 미국과 영국 등에서는 7일 동안의 유량을 통계분석하여 만든 10년빈도 7일 최저유량(7Q₁₀)을 갈수량 지표로 사용하고 있다. 본 연구에서는 위의 두 지표를 실험을 통해 비교하여 서로의 장단점을 우선 고찰하여 보았다. 갈수량 산정을 위해서는 과거의 관측 유량자료가 필요하나 국내에는 수위 관측시설이 한정되어 있을 뿐 아니라 홍수기에 비해 갈수기 자료가 턱없이 부족하여 갈수량 산정에 많은 어려움을 겪고 있다. 국내에서는 대부분 유역면적을 이용한 비유량법으로 계측유역으로부터 미계측유역의 갈수량을 산정하고 있다. 본 연구에서는 미계측유역(ungauged basin)의 갈수량을 산정하기 위한 방법으로 지역회귀기법(regional regression method)을 국내에 적용하여 보았다. 이를 위해 9개 수위관측소 유역과 7개 댐 유역의 과거 유량자료를 이용하였으며, 교차검증(cross validation)을 통해 갈수량 산정결과와 정확도 검증을 실시하였다.

핵심용어: 평균갈수량, 10년빈도 7일 최저유량, 미계측유역, 지역회귀기법

1. 서 론

최근 들어 유역통합관리(integrated watershed management)에 대한 관심이 높아지고 이에 대한 연구가 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 유역통합관리란 주체의 측면에서 치수, 이수, 수질을 종합적으로 고려하여야 하는데, 이수 측면에서 하천수의 공급능력을 평가하여 취수량을 설정하는 기준이 갈수량(low flow)이며(한국수자원공사, 1995), 이는 장기간의 갈수기에 자연하천에서 흐르는 유량(WMO, 1974)으로써 자연과 사람이 공유할 수 있는 최소한의 유량이다.

국가별로 사용되는 갈수량 지표는 다양하다. 국내와 일본에서 주로 사용되는 갈수량 지표는 일유량의 유황곡선(flow duration curve)을 분석하여 얻어지는 평균갈수량과 기준갈수량이고, 미국과 영국 등에서는 7일 동안의 유량을 통계분석하여 만든 10년빈도 7일 최저유량(7Q₁₀)을 갈수량 지표로 사용하고 있다. 이와 같은 갈수량 지표들을 산정하기 위해서는 장기간의 과거 관측 유량자료가 필요하다. 하지만 국내에는 수위 관측시설이 한정되어 있고, 홍수기에 비해 갈수기 자료는 턱없이 부족하여 미계측유역(ungauged basin)의 갈수량을 추정하는 방법이 필요하다. 지금까지 국내에서 주로 사용된 미계측유역의 갈수량 산정방법은 계측유역과 미계측유역의 유역면적비를 이용하는 비유량법이며, 계측유역으로는 여주수위표 지점이 대표적으로 사용되어 왔다.

* 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정 · E-mail: snutak1@snu.ac.kr

** 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수 · E-mail: yokim05@snu.ac.kr

*** 정희원 · 서울대학교 지구환경시스템공학부 정교수 · E-mail: kilselee@snu.ac.kr

본 연구에서는 여러 갈수량 지표들 중 평균갈수량과 10년빈도 7일 최저유량을 실험을 통해 비교하고, 미계측구역의 갈수량 산정을 위해 지역회귀기법(regional regression method)를 국내에 적용하고 비유량법과 비교·검토하였다.

2. 갈수량 지표의 비교

평균갈수량은 매 년의 일유량 유행곡선에서 355일 이상 유지되는 유량을 산술평균한 값이고, 10년빈도 7일 최저유량은 매 년의 최저 7일 평균유량을 빈도분석하여 재현기간 10년에 해당하는 값을 의미한다. 본 절에서는 두 갈수량 지표의 크기 비교를 통해 국내 갈수량 지표의 적정성을 검토하고자 한다. 먼저 평균갈수량과 10년빈도 7일 최저유량의 기초자료인 매 년의 355일 유지유량과 최저 7일 평균유량을 국내 7개 댐 유역과 미국의 1개 유역을 대상으로 관측자료와 모의 생성자료로 구분하여 비교하였다(표 1). 즉 빈도개념을 나타내는 ‘평균’(갈수량)과 ‘10년빈도’(7일 최저유량)를 제외한 후 비교하였다. 두 갈수량 지표의 근본적인 차이는 지속기간이 하루나 아니면 7일이냐에 있으므로 유량의 통계특성 중 지속성을 표현하는 일별(daily) lag-1 자기상관계수(autocorrelation coefficient)에 초점을 맞추어 AR(1) 모형으로 100년 동안의 다목적댐의 일유입량을 모의발생시켜 두 지표를 비교하였다. 각 댐의 lag-1 자기상관계수의 값은 일 관측자료로부터 매일 매일 계산한 상관계수 값을 퓨리에 시리즈로 근사하여 사용하였다. 표 1을 살펴보면, lag-1 자기상관계수의 평균이 0.74 ~ 0.76인 안동댐과 소양강댐, 임하댐 유역의 경우 최저 7일 평균유량이 큰 해가 355일 유지유량이 큰 해보다 2~3배 더 많이 나타났으며, 0.79 ~ 0.85인 합천댐, 충주댐, 대청댐 유역의 경우 355일 유지유량이 큰 해와 최저 7일 평균유량이 큰 해의 수가 비슷하게 나타난다. lag-1 자기상관계수의 평균이 0.90 ~ 0.91인 괴산댐과 Whitewater River 유역의 경우 355일 유지유량이 큰 해의 수가 최저 7일 평균유량이 큰 해의 수보다 2배 이상 많은 것으로 나타났다. 큰 해의 수가 많다는 것은 갈수량이 동일한 빈도일 경우 더 큰 값을 가진다는 것을 의미한다. 즉 빈도를 추가하지 않더라도 일평균 상관계수가 0.8 이상이 되면 355일 유지유량이 7일 최저유량 보다 크다는 것을 알 수 있다.

표 2는 빈도개념을 추가한 후의 비교결과로, 관측자료를 이용하여 평균갈수량과 10년빈도 7일 최저유량을 비교한 것이다. 두 갈수량 지표의 빈도 차이로 인해 8개 유역 모두 평균갈수량이 큰 것으로 나타났다. 평균갈수량이 내포하는 빈도는 사용하는 분포에 따라 다르지만 검분포의 경우 ‘평균’은 재현기간 2.33년을 가지므로 10년빈도와는 큰 차이를 보인다. 결론적으로 우리나라에서 주로 사용하는 갈수량 지표인 평균갈수량이 미국에서 주로 사용되는 10년빈도 7일 최저유량보다 크다는 것을 알 수 있으며, 이는 우리나라가 갈수기의 자연하천의 유량을 미국보다 더 크게 평가하여 이수관리에 있어 상대적으로 보수적인 경향을 가지고 있음을 의미한다.

표 1. 관측자료와 모의 생성자료를 이용한 355일 유지유량과 최저 7일 평균유량의 비교

유역	대수 변환된 일별 유량의 통계량의 평균			355일 유지유량이 큰 경우 : 최저 7일 평균유량이 큰 경우	
	평균	표준 편차	lag-1 상관계수	관측 결과 (백분율)	모의 결과 (Fourier series)
안동댐	3.04	0.65	0.74	1 : 27 (4 : 96)	29 : 71
소양강댐	3.05	1.11	0.76	6 : 25 (19 : 81)	32 : 68
임하댐	1.70	1.33	0.76	2 : 10 (17 : 83)	29 : 71
합천댐	2.02	1.11	0.79	10 : 6 (63 : 37)	57 : 43
충주댐	4.13	0.90	0.82	15 : 4 (79 : 21)	43 : 57
대청댐	3.45	1.03	0.85	8 : 16 (33 : 67)	53 : 47
괴산댐	1.54	0.99	0.91	16 : 7 (70 : 30)	78 : 22
Whitewater River	1.42	1.15	0.90	31 : 2 (94 : 6)	86 : 14

표 2. 평균갈수량과 7Q₁₀의 비교

unit: cms

유역	관측자료	
	평균갈수량	7Q ₁₀
안동댐	1.80	1.10
소양강댐	2.05	0.60
임하댐	0.56	0.20
합천댐	1.46	0.25
충주댐	13.18	6.50
대청댐	6.45	1.80
피산댐	1.13	0.30
Whitewater River	0.80	0.30

3. 미계측유역의 갈수량 산정

3.1 지역회귀기법(regional regression method)

Vogel and Kroll(1992)은 미계측유역의 갈수량 산정을 위해 간단한 stream-aquifer 모형을 이용한 지역회귀기법을 제시하였으며 회귀식의 형태는 다음의 식 (1)과 같다.

$$Q = b_0 A^{b_1} S^{b_2} K_b^{b_3} \quad (1)$$

여기서, Q 는 평균갈수량, A 는 유역면적, S 는 유역평균경사, K_b 는 기저유량 감수상수(baseflow recession constant), b_0, b_1, b_2, b_3 는 매개변수이다. 기저유량 감수상수는 과거 유량자료로부터 식 (2)에 의해 계산된다.

$$K_b = \exp \left\{ - \exp \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left\{ \ln(Q_{t-1} - Q_t) - \ln \left[\frac{1}{2} (Q_t + Q_{t+1}) \right] \right\} \right] \right\} \quad (2)$$

여기서, m 은 연속되는 일유량 Q_t 와 Q_{t-1} 쌍의 총 수이다.

3.2 국내 적용 및 검증

지역회귀기법의 국내 적용성을 검토하기 위해 9개 수위관측소 유역과 7개 댐 유역을 대상으로 교차검증(cross validation)을 수행하였으며, 기존의 방법인 여주수위표 유역을 계측유역으로 한 비유량법과 예측정확도를 비교하였다. 표 3은 지역회귀분석에 사용된 대상유역의 유역특성인자이다. 그림 1에서는 비유량법과 지역회귀기법으로 대상유역의 평균갈수량을 추정하고 관측값과 비교하였고, 그 정확도를 표 4에서 R-Bias와 R-RMSE로 정량화하였다. R-Bias와 R-RMSE 모두 지역회귀기법이 비유량법보다 작은 것으로 나타나 미계측유역의 갈수량 산정으로 지역회귀기법이 비유량법보다 우수하다는 것을 나타내고 있다.

표 3. 대상유역의 유역특성인자

대상지역	평균갈수량(cms)	유역면적(km ²)	유역평균경사(%)	기저유량 감수상수
이목정	0.602	55.82	39.78	0.912
백옥포	1.602	148.84	38.69	0.887
영양	0.713	314.59	43.61	0.927
청송	0.847	308.03	41.39	0.915
동곡	0.041	46.61	45.91	0.890
고로	0.184	109.04	44.72	0.925
이평교	0.898	76.38	29.92	0.919
탄부교	0.650	79.83	36.95	0.934
기대교	3.107	353.73	28.00	0.936
충주댐	13.180	6661.58	34.89	0.910
소양강댐	2.050	2694.35	45.97	0.869
괴산댐	1.130	676.73	36.87	0.905
대청댐	6.450	4190.41	35.82	0.860
안동댐	1.800	1590.72	42.39	0.877
임하댐	0.560	1367.74	40.35	0.860
합천댐	1.460	928.94	34.87	0.922

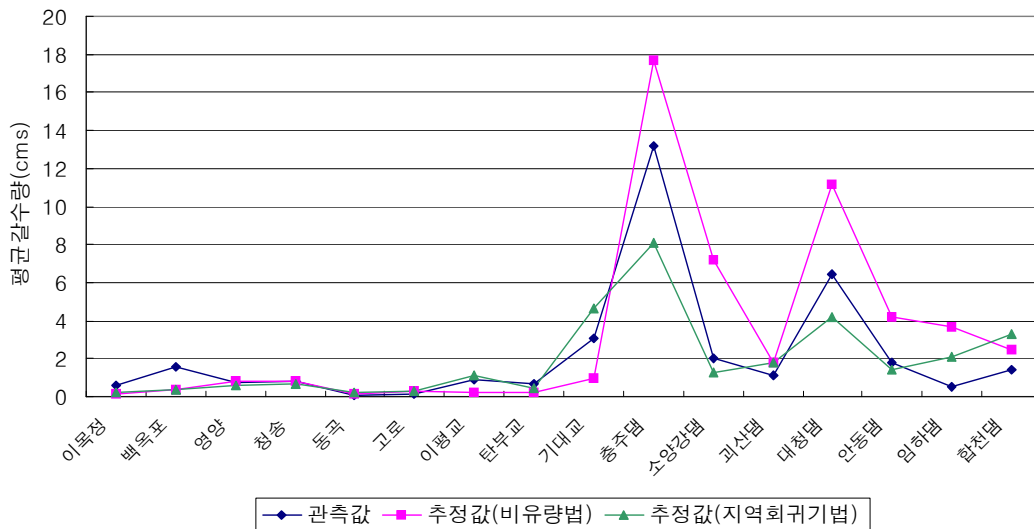


그림 1. 비유량법과 지역회귀기법을 이용한 평균갈수량 산정 결과

표 4. 비유량법과 지역회귀기법의 예측정확도 비교

산정방법	R-Bias	R-RMSE
비유량법	0.48	1.09
지역회귀기법	-0.13	0.73

4. 결 론

본 연구에서는 국내와 미국에서 주로 사용되는 갈수량 지표인 평균갈수량과 10년빈도 7일 최저유량을 관측자료와 모의 생성자료를 통해 비교하였고, 미계측유역의 갈수량 산정방법을 개선하기 위하여 지역회귀기법을 국내에 적용해 보았으며, 기존의 방법인 비유량법과 지역회귀기법의 정확도를 비교·검토하였다. 평균갈수량과 10년빈도 7일 최저유량의 기초자료인 매 년의 355일 유지유량과 최저 7일 평균유량의 크기를 비교한 결과, 일별 유량의 lag-1 자기상관계수가 커짐에 따라 355일 유지유량이 큰 해의 수가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 8개 유역의 평균갈수량은 모두 10년빈도 7일 최저유량보다 큰 값을 나타냈으며, 이를 바탕으로 우리나라가 미국보다 상대적으로 이수관리에서 보수적인 경향을 가지는 것으로 사료된다. 미계측유역의 갈수량 산정에 있어서 지역회귀기법은 기존의 비유량법에 비하여 우수한 것을 확인하였으며, 국내 적용시 보다 정확한 미계측유역의 갈수량을 추정할 수 있을 것으로 기대된다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발 사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 안양천 유역의 물순환 건전화 기술개발(과제번호 1-7-2)과 서울대학교 공과대학 공학연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 한국수자원공사 (1995). **하천유지유량 결정방법의 개발 및 적용**. 보고서.
2. Vogel, R.M., and Kroll, C.N. (1992). "Regional geohydrologic-geomorphic relationships for the estimation of low-flow statistics." *Water Resources Research*, Vol. 28, No. 9, pp. 2451-2458.
3. World Meteorological Organization (1974). *International Glossary of Hydrology*, WMO.