

유황곡선을 기반으로 한 환경유량의 개략산정법

Approximation Method of Environmental Flows based on Flow Duration Curves.

김주철*, 이상진**, 고익환***, 우동현****

Joo Cheol Kim, Sang Jin Lee, Ick Hwan Ko, Dong Hyun Woo

Abstract

This study aimed at the introduction of desktop method for assessment of environmental flows developed by IWMI(International Water Management Institute) recently and its application to Geum river basin. This scheme simulated the influence on aquatic ecosystem caused by watershed development and in turn the decrease of water quantity keeping the river's own flow regime. It was found to be as very effective method although it had simple structure. Flow duration curves for different environmental classes at Sutong and Gongjoo sites were estimated according to the natural conditional scenario of Geum river basin and the results were relatively compared well with the previous studies. The behaviors of monthly average runoff time series of both sites showed the level of A class. The results of this study would provide the fundamental data to establish the future plans of monitoring or management for aquatic ecosystem of Geum river basin.

Key words: Desktop method, Environmental flows, Flow duration curves, Flow regime

1. 서론

최근 환경유량(environmental flows)의 개념은 통합유역관리 분야에서 수서생태계(aquatic ecosystem)의 보존과 함께 수리/수문 실무자들의 관심을 집중시키고 있다. 환경유량이라는 용어는 대부분 특정한 생태학적 조건하에서 하천을 지속적으로 유지하기 위하여 설계된 하천의 흐름방식(flow regime)을 나타내기 위하여 사용된다. 이러한 환경유량의 산정은 상당히 복잡하고 어려운 작업으로 알려져 있다. 이는 흐름방식의 변화가 하천생태계에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 수 있는 적절한 이론적 배경의 부재(不在, absence)나 혹은 이와 관련한 자료의 부족 등에 기인하는 것으로 고익환 등(2009)은 하천의 생태수문학적 건강성 평가는 광범위하고 다양한 수리, 수문, 생태자료 및 분석 모형들을 기반으로 수행되어야함을 언급한 바 있다. 현재 환경유량을 산정하기 위하여 제시된 각종 기법들은 크게 전체론적 방법(holistic method)과 탁상용 방법(desktop method)의 두 가지 범주로 구분되어진다(Smakhtin and Eriyagama, 2008). 이 중 탁상용 방법은 주로 생태학적으로 밀접한 관련이 있다고 판단되는 주요한 수문학적 특성이나 수문시계열에 대한 분석에 기초하는 것으로 전자에 비해 신뢰도는 부족하지만 단시간 내에 가시적인 성과를 제공할

* 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : kjoocheol@hanmail.net
** 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : silee@kwater.or.kr
*** 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : ihko@kwater.or.kr
**** 한국수자원공사 수자원연구원 · E-mail : hyeony786@kwater.or.kr

수 있다는 점에서 혹은 이에 따라 환경유량에 대한 초기치 설정을 용이하게 할 수 있다는 점에서 실무적 효용성을 지닌다 할 수 있을 것이다. 비교적 최근 IWMI(International Water Management Institute)에서는 유황곡선의 거동특성을 기반으로 대상유역에 대하여 개략적인 환경유량을 산정할 수 있는 탁상용 방법을 제안한 바 있다(Smakhtin and Eriyagama, 2008). 본 연구에서는 상기한 IWMI의 환경유량 산정기법에 대한 소개 및 우리나라 유역에 대한 적용성 검토를 주목적으로 한다. 이러한 시도는 보다 합리적인 환경유량 평가를 위하여 요구되는 기초정보를 수문학적 접근법으로부터 제시해 보고자 하는 것으로 향후 여러 학문 분야에 걸친 전체론적 방법에 의한 신뢰성 있는 결과와 결합할 경우 유용한 도구를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 방법론

본 연구에서 소개하고자 하는 환경유량의 개략산정은 Smakhtin and Anputhas(2008)가 제안한 매우 단순한 방법을 기반으로 하여 수행된다. 우선 대상하천에 대하여 자연유량조건에 따른 유황곡선(reference FDC)을 작성한다. 이는 수평축(순위백분율) 상의 17개 지점(0.01%, 0.1%, 1%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%, 99%, 99.9%, 99.99%)에 대하여 정의되는 곡선으로 Fig. 1과 같이 좌측으로 1 단계씩 평행이동(shifting)함으로써 Table 1에서 제시한 환경관리등급별 유황곡선들을 결정하게 된다(Smakhtin and Eriyagama, 2008). 평행이동을 수행할 때마다 발생하는 유황곡선 꼬리의 미지유량은 선형외삽에 의하여 추정되어 진다. 이러한 과정은 유역개발에 따른 유량의 감소가 수생태계에 미치는 영향을 해당 하천이 가지고 있는 고유한 흐름의 변동성(즉 자연유황곡선의 거동특성)을 유지하면서 모의하는 것으로서 단순한 형태에 비하여 상당히 효율적인 방법임을 확인할 수 있다.

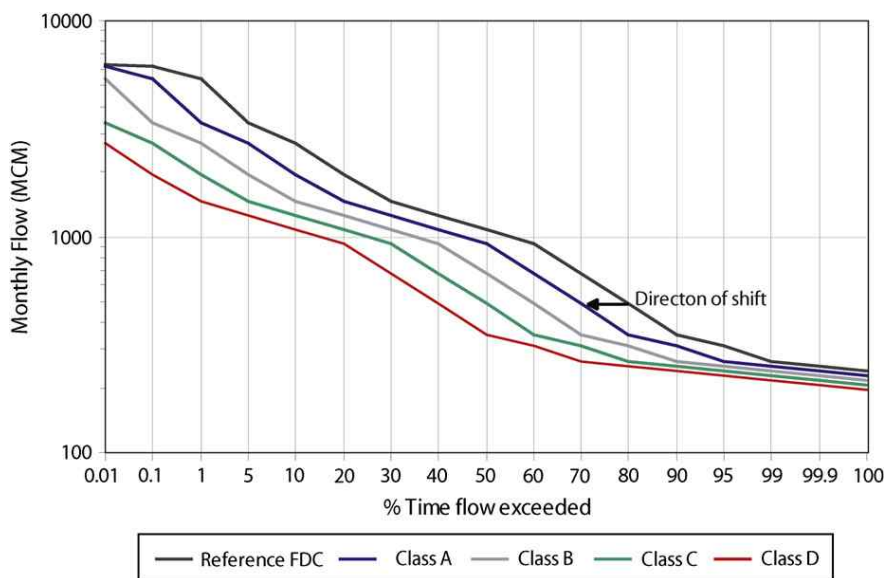


Fig. 1 Estimation of environmental FDCs for different Environmental Management Classes by lateral shift(Smakhtin and Eriyagama, 2008)

Table 1. Environmental Management Classes(EMC)(Smakhtin and Eriyagama, 2008)

EMC	Most likely ecological condition	Management perspective
A	Natural rivers with minor modification of in-stream and riparian habitats.	Protected rivers and basins. Reserves and national parks. No new water projects(dam, diversions) allowed.
B	Slightly modified and/or ecologically important rivers with largely intact bio-diversity and habitats despite water resources development and/or basin modifications.	Water supply schemes or irrigation development present and/or allowed.
C	The habitats and dynamics of the biota have been disturbed, but basic ecosystem functions are still intact. Some sensitive species are lost and/or reduced in extent. Alien species present.	Multiple disturbance associated with the need for socio-economic development, e.g. dams, diversions, habitats modification and reduced water quality.
D	Large changes in natural habitats, biota and basic ecosystem functions have occurred. A clearly lower than expected species richness. Much lowered presence of intolerant species. Alien species prevail.	Significant and clearly visible disturbances associated with basin and water resources development, including dams, diversions, transfers, habitats modification and water quality degradation.
E	Habitats diversity and availability have declined. A strikingly lower than expected species richness. Only tolerant species remain. Indigenous species can no longer breed. Alien species have invaded the ecosystem.	High human population density and extensive water resources exploitation. Generally this status should not be acceptable as a management goal. Management interventions are necessary to restore flow pattern and to 'move' a river to a higher management category.
F	Modifications have reached a critical level and ecosystem has been completely modified with almost total loss of natural habitats and biota. In the worst case, the basic ecosystem functions have been destroyed and the changes are irreversible.	This status is not acceptable from the management perspective. Management interventions are necessary to restore flow pattern and river habitats(if still possible/feasible) to 'move' a river to a higher management category.

3. 적용사례

본 연구에서는 현재 2개 다목적댐(대청댐과 용담댐)이 운영 중에 있는 금강유역을 대상유역으로 선정하였다. 또한 물 수지분석 모형인 KModSim을 이용하여 다양한 시나리오에 대한 유량시계열을 모의하여 보았다. 비조절유량 산정을 위한 댐 건설 전 시나리오는 금강수계에 위치한 대청댐과 용담댐이 없다는 가정조건하에서 KModSim을 이용하여 1984년부터 2005년까지 22년간의 유량 자료를 수통지점과 공주지점에 대하여 생산하였다. 조절유량 산정을 위한 댐 건설 후 시나리오는 1984년부터 2005년까지 대청댐과 용담댐의 운영조건을 가정하고 KModSim을 이용하여 유량자료를 생산하였다. 비조절 유량(혹은 자연유량)조건 시나리오에 따라 모의된 월평균 유량시계열자료를 이용하여 수통과 공주 두 지점에 대한 환경관리등급별 유황곡선을 작성하여 보았다. 각 유황곡

선의 증거는 IWMI에서 제공하는 환경유량 개략산정 프로그램인 GEFC(Global Environmental Flow Calculator)를 이용하여 산정하였다. Fig. 2는 수통지점의 결과를 반대수지상에 도시해 본 결과로서 자연유량의 흐름영역(혹은 유허곡선의 형상)이 지속되는 가운데 유역개발에 따른 유량의 감소 경향이 체계적으로 잘 모의되고 있음을 확인할 수 있다. Table 2는 상기한 결과(공주 포함)를 정량적으로 정리해 본 것으로 자연유량조건의 연평균유출량(natural MAR; Mean Annual Runoff)에 대한 환경관리등급별 연평균유출량의 비를 나타낸다. Jones(2002)는 임의 하천의 연평균유출량이 자연 상태의 2/3 이하로 저하될 경우 해당 하천이 건강한 상태를 유지할 확률은 높음(high)에서 보통(moderate)으로 떨어질 수 있음을 언급한 바 있다. 또한 Tennant(1976)는 수서생태계의 최저수준 유지를 위한 연평균유출량의 하한계는 자연유량조건의 10% 정도임을 제시하였다. Table 2의 수치들(특히 허용 가능한 환경관리등급에 해당하는 A~D 등급)은 이러한 선행 연구결과에 비교적 잘 부합되는 것으로서 본 연구에서 산정한 환경관리등급별 유허곡선인 Fig. 2는 향후 금강유역 수서생태계에 대한 효율적인 감시나 관리 방안의 수립을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

Table 2. Estimates of long-term EF volumes for different EMC

site	Long-term EF volumes(% natural MAR)					
	A	B	C	D	E	F
Sutong	69.4	45.8	31.4	22.5	16.3	11.7
Gongjoo	67.8	43.5	28.4	19.3	13.5	9.4

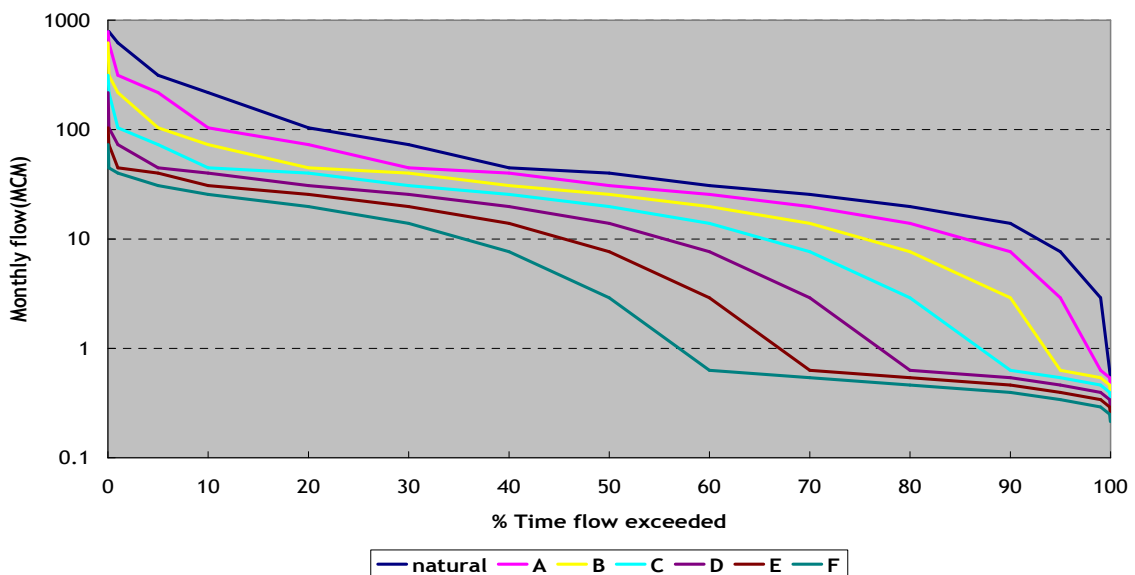


Fig. 2 Flow duration curves for different EMC of Sutong site

금강유역의 환경관리등급별 유허곡선을 이용하여 1984년~2005년 기간에 대한 등급별 월평균 유량시계열자료를 생성하여 보았다. Fig 3은 2001년~2005년 기간에 대하여 산정된 결과를 전술한 댐 운영 시나리오별 모의 유량시계열자료와 함께 도시해 본 것으로 대상 지점의 경우 거의 A 등급에 가까운 거동을 보임을 확인할 수 있다. 향후 본 연구에서 제시한 환경유량 산정기법을 다른

유역으로 확대 적용하거나 금강유역을 대상으로 하천의 유황변화가 수서생태계에 미치는 영향에 대한 신뢰성 있는 연구 성과(고익환 등, 2009)가 발표될 경우 상기한 가설들에 대한 검정이 가능할 것으로 보인다. 본 연구에서 제시한 방법과 금강유역에 대한 적용결과는 현재 여러 학문 분야의 전문가들의 공동 작업에 의하여 수행되고 있는 환경유량 산정 연구에 있어 유량에 관한 기본 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

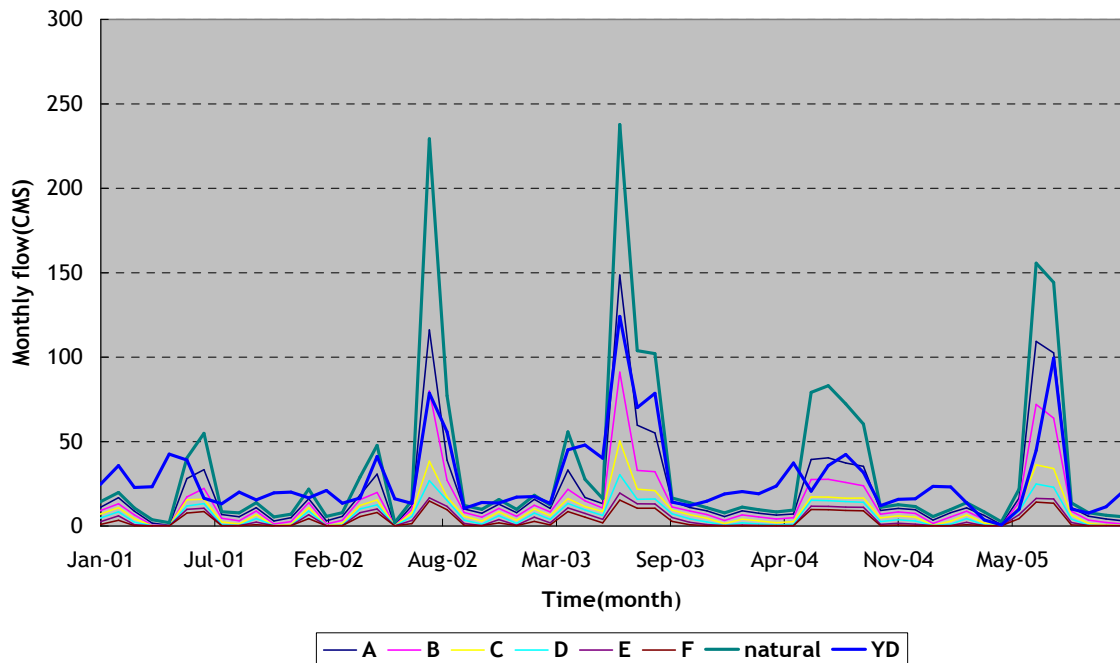


Fig. 3 '2001-'2005 Monthly flow time series of Sutong site

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단의 연구비지원(1-6-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 고익환, 김정곤, 박상영(2009), “댐 운영을 고려한 금강의 생태수문학적 변화 평가 : I. 유황 변화 분석”, 한국수자원학회논문집, 42(1), pp. 1-8.
2. Jones, G.(2002), "Setting environmental flows to sustain a healthy working river", Watershed February 2002, Cooperative Research Center for Freshwater Ecology, Canberra, <http://freshwater.canberra.edu.au>.
3. Smakhtin, V.U. and Eriyagama, N.(2008), "Developing a software package for global desktop assessment of environmental flows", Environmental Modelling & software, doi:10.1016/j.envsoft.2008.04.002.
4. Tennant, R.E.(1976), "Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources", Fisheries, 1, pp. 6-10.