

수문학적 접근법에 의한 환경유량 산정기법의 적용성 평가

김주철[†] · 최용준^{*}

한국수자원공사 수자원연구원

^{*}충남대학교 토목공학과

The Applicability Assessment of Environmental Flows Method by Hydrological Approach

Joo Cheol Kim[†] · Yong Joon Choi^{*}

Korea Institute of Water and Environment

^{*}Department of Civil Engrg., Chungnam National University

(Received 10 August 2009, Revised 25 January 2010, Accepted 5 February 2010)

Abstract

This study aimed at the introduction of desktop method for assessment of environmental flows developed by International Water Management Institute (IWMI) 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.

keywords : Desktop method, Environmental flows, Flow duration curves, Flow regime

1. 서론

최근 수변환경 및 수서생태계의 보존에 대한 관심이 증가하면서 환경유량(environmental flows)의 개념이 유역관리 분야에서 새로운 패러다임으로 등장하고 있다(최지용, 2007; The Nature Conservancy, 2006). 여기서 환경유량이라는 용어는 문헌에 따라 다소 차이는 있지만 대부분 특정한 생태 조건하에서 하천을 지속적으로 유지하기 위하여 설계된 하천의 흐름특성(flow regime)을 지칭하기 위하여 사용된다(Smakhtin and Anputhas, 2006). 일반적으로 하천의 흐름특성을 구성하는 모든 성분들은 제각기 고유한 역할과 기능을 갖는다. 예를 들어 고수위특성은 주로 수로의 유지나 습지의 범람 등과 같은 현상들에 영향을 미치는 반면 저수위특성의 경우 조류(藻類)의 성장이나 어류의 산란 등을 지배하게 된다(Smakhtin and Eriyagama, 2008). 따라서 하천을 건강하게 유지하는 가장 좋은 방법은 해당 하천이 가지고 있는 자연발생적 흐름특성의 모든 성분들을 원형 그대로 지속시켜 주는 것이다. 하지만 급증하는 용수수요에 대응하기 위한 각종 수자원의 개발은 인간생활의 영위를 위하여 필수불가결한 사안들 중의 하나로서 자연발생적인

하천의 흐름특성을 일체의 변경 없이 유지한다는 것은 거의 불가능한 일이다.

환경유량의 산정은 상당히 복잡하고 어려운 작업으로 알려져 있다(Hughes, 2001). 이는 흐름특성의 변화가 하천생태계에 미치는 영향을 정량적으로 분석할 수 있는 적절한 이론적 배경의 부재나 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). 전자의 경우 여러 학문 분야에 걸친 많은 전문가들의 세부적 논의를 기반으로 다양한 현장 작업을 통하여 수행되어지는데 단일 유역에 대한 평가에도 엄청난 노력과 긴 시간이 소요되는 것으로 알려져 있다. 반면 탁상용 방법은 주로 생태학적으로 밀접한 관련이 있다고 판단되는 주요한 수문학적 특성이나 수문시계열에 대한 분석에 기초하는 것으로 전자에 비해 신뢰도는 떨어지지만 단시간 내에 가시적인 성과를 제공할 수 있다는 점에서 실무적 효용성을 지닌다 할 수 있을 것이다(Hughes and Hannart, 2003).

환경유량의 실제 산정에 있어 생태분야의 전문가들이 주

[†] To whom correspondence should be addressed.
kjoocheol@hanmail.net

목하는 주요한 수문학적 특성 중의 하나는 흐름의 변동성(flow variability)이다(Bunn and Arthington, 2002). 이는 하천 및 주변습지의 구조적 혹은 기능적 다양성이나 수생종의 다양성을 지배하는 중요한 인자로서 알려져 있다. 최근 IWMI(International Water Management Institute)에서는 유황곡선(flow duration curve)의 거동특성을 기반으로 대상유역에 대하여 개략적인 환경유량을 산정할 수 있는 탁상용 방법을 제안한 바 있다(Smakhtin and Eriyagama, 2008). 유황곡선은 하천 상의 한 지점에서 일정한 시간간격으로 측정된 유량의 크기와 순위백분율의 관계를 시각적으로 나타낸 것(박상덕, 2003)으로 대상 지점의 흐름의 변동성을 직관적으로 평가할 수 있는 수문학적 도구이다. 따라서 특정한 조건에 대한 유황곡선의 거동특성은 대상유역의 생태조건을 개략적으로 평가할 수 있는 중요한 정보를 포함하고 있는 것으로 볼 수 있다. 김주철 등(2009)은 유역관리 모형의 유출모의 능력을 이러한 유황곡선의 거동특성을 기반으로 평가한 바 있다. 본 연구에서는 상기한 IWMI의 환경유량 산정기법에 대한 소개 및 우리나라 유역에 대한 적용성 검토를 주목적으로 유황곡선을 기반으로 한 세부적인 방법론에 대한 검토와 함께 금강유역을 대상으로 한 적용성을 분석하고, 대상유역의 다목적댐 개발현황에 따른 유량시계열 자료를 물수지분석 모형으로부터 생성하여 실제 분석에 적용함으로써 보다 합리적인 환경유량 평가를 위하여 요구되는 기초정보를 수문학적 접근법으로부터 제시하고 향후 여러 학문 분야에 걸친 전체론적 방법에 의한 신뢰성 있는 결과와 결합할 경우 유용한 도구를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구방법

2.1. 유황곡선(flow duration curve)

유황곡선은 연중 지속일수 또는 순위백분율에 따른 유량의 규모를 도해(圖解)적으로 나타내는 수단으로서 수문학 분야에서 자주 이용되는 범용적인 도구 중의 하나이다(Maidment, 1992). 일반적으로 유황분석은 연평균 유황과 전 자료기간 유황에 대하여 수행되어진다. 전자의 경우 1년 365일 각각에 대한 유량을 최대유량부터 365위까지 순위를 정하고 특정 지속일수 순위의 유량을 자료기간 연수에 대하여 평균을 취하여 얻는다. 전 자료기간 유황은 보유하고 있는 전 기간의 유량을 큰 것부터 작은 순으로 순위를 정한 후 그 비초과확률(non-exceedance probability)을 백분율로 나타내는 방법을 취한다. 우리나라에서는 주로 지속일수를 기준으로 유황을 구분하여 사용하고 있으며 미국이나 유럽에서는 확률개념을 사용하여 유황을 평가하고 있다(박상덕, 2003).

유황곡선은 해당지점의 흐름특성을 나타내는 모든 성분들로 구성된 일종의 스펙트럼(spectrum)으로 볼 수 있다. 이는 흐름의 변동성 평가에 있어 매우 중요한 정보로서 Smakhtin and Eriyagama(2008)는 특히 자연유량(natural flow)의 유황에 주목하여 환경유량의 개략산정 방법을 개발하였다. 여기서 자연유량이란 댐과 같은 수공구조물의 조절을

받지 않는 하천의 흐름특성을 의미하는 것으로 IWMI에서는 전 세계의 모든 지역에 대하여 기후학적 물수지에 따라 모의된 1901년~2000년 기간에 대한 월 단위 자연유량 시계열자료를 제공하고 있다. 하지만 이들은 약 50 km 정도의 저해상도의 정사각형 격자를 기반으로 한 것으로 특정 지점에 대한 미시적 접근을 위해서는 적절한 down-scaling 등의 후속작업을 요한다. 따라서 본 연구에서는 다목적댐 건설에 따른 유역현황 시나리오를 구성하고 이에 따라 물수지분석 모형으로부터 유량시계열 자료를 직접 모의하여 유황곡선의 작성에 적용하였다.

2.2. 환경관리등급(environmental management classes, EMC)

환경유량의 산정은 수서생태계를 미리 처방된(prescribed) 조건하에서 유지하거나 그 이상으로 개선하는 것을 주된 목적으로 한다. 따라서 이를 위해서는 우선 적절한 환경관리등급 및 기준에 대한 정의가 요구되어진다. 여기서 환경관리등급이란 환경보호 및 관리수준과 그에 해당하는 하천의 흐름특성에 따라 발생할 수 있는 수서생태계의 변화에 대한 기본적인 시나리오로서 환경관리등급이 높을수록 보다 많은 양의 물이 환경유량으로 배분되어야 할 것이며 보다 넓은 범위까지 흐름특성의 변동성이 허용되어야 할 것이다. Table 1은 IWMI가 제안한 환경관리등급으로서 전반적으로 남아프리카 공화국의 국가물정책백서(DWAF, 1997)에서 제시하고 있는 내용과 유사하다(Smakhtin and Eriyagama, 2008). 총 6개의 등급으로 구성되어 있으며 각 등급별 생태계의 조건 및 관리 전망에 대하여 간략하게 기술되어 있다. 주변에 인구밀집지역이 존재하거나 유역개발로 인한 생태학적 변화를 겪은 하천들은 C~F 등급에 해당하게 되며 특히 E, F 두 등급은 더 이상의 개발계획을 허용할 수 없는 심각한 상태를 나타내고 있다. 실제로 이러한 등급의 분류는 하천의 흐름특성과 생태조건 사이의 경험적 관계 및 해당 국가의 발전수준 등과 같은 복합적인 고려사항들을 기반으로 수행되어야 한다. 하지만 우리나라의 경우 현재까지 이러한 기준을 충족시킬만한 연구 성과는 제시되고 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 Table 1에서 제시한 환경관리등급을 우리나라의 여건에 대한 특별한 고려 없이 그대로 적용해 보고자 한다. 물론 향후 전술한 전체론적 방법에 따라 우리나라를 대상으로 수행된 환경유량 관련 연구 성과들이 발표될 경우 보다 합리적인 방향으로 수정이 가능할 것이다.

2.3. 환경유황곡선 작성

본 연구에서 소개하고자 하는 환경유량의 개략산정은 Smakhtin and Anputhas(2006)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)함으로

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.

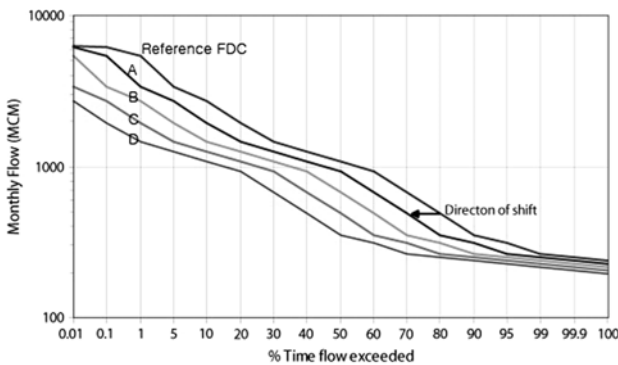


Fig. 1. Estimation of environmental FDCs for different Environmental Management Classes by lateral shift (Smakhtin and Eriyagama, 2008).

써 Table 1에서 제시한 환경관리등급별 유황곡선들을 결정하게 된다. 예를 들어 reference FDC의 80%의 값은 A등급의 70%의 값이 되며, 이 값은 다시 B등급의 60%의 값이 된다. 또한 평행이동을 수행할 때마다 발생하는 유황곡선 꼬리의 미지유량은 선형외삽에 의하여 추정되어 진다. 이러한 과정은 유역개발에 따른 유량의 감소가 수서생태계에 미치는 영향을 해당 하천이 가지고 있는 고유한 흐름의 변동성(자연유황곡선의 거동특성)을 유지하면서 모의하는 것으로서 단순한 형태에 비하여 상당히 효율적인 방법임을 확인할 수 있다(Smakhtin and Anputhas, 2006).

2.4. 환경유량 시계열 모의

Fig. 1의 과정에 따라 결정되는 환경관리등급별 유황곡선은 허용 가능한 환경유량의 흐름특성에 관한 전반적인 정보만을 제공한다. Hughes and Smakhtin(1996)은 한 지점(기준지점)의 유량시계열자료와 유황곡선을 이용하여 인근

지점(목표지점)의 유량시계열자료를 생성할 수 있는 다음과 같은 방법을 제안하였다(Fig. 2).

- 1) 생성하고자 하는 시점에 대한 기준지점 유량의 순위백분율을 기준지점 유황곡선 상에서 찾는다(Fig. 2 아래쪽 그림).
- 2) 동일한 순위백분율에 대한 목표지점의 유량을 목표지점 유황곡선 상에서 찾는다(Fig. 2 위쪽 그림).

여기서 기준지점을 자연유량으로 목표지점을 환경유량으로 대체할 경우 환경관리등급별 유량시계열자료를 쉽게 생성할 수 있음을 알 수 있다.

상기한 일련의 과정을 통하여 대상지점의 자연유량시계열자료부터 Table 1의 환경관리등급별 유황곡선과 그에 해당하는 유량시계열자료를 체계적으로 작성할 수 있게 된다. Smakhtin and Eriyagama(2008)는 이러한 자료들은 생태학과 같이 환경유량을 연구하는 다른 분야의 전문가들에게 주요한 정보를 제공할 수 있는 수문학분야의 결과임을 시사한 바 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유역개발현황 시나리오 구성

본 연구에서는 서론에서 언급한 바와 같이 현재 2개 다목적댐(대청댐과 용담댐)이 운영 중에 있는 금강유역을 대상유역으로 선정하였다(Fig. 3). 금강유역의 초기에는 대청댐과 용담댐 모두 건설되지 않은 상태로 자연 상태로 가정될 수 있으며 이후 대청댐의 건설에 따라 물리적 특성 및 수문 특성이 변화하게 된다. 이후 용담댐이 건설된 이후에도 또 다른 변화가 진행되었을 것이다. 댐에 의한 흐름특성의 변화를 분석하기 위하여 용담댐 하류 15 km에 위치한 수통지점과 대청댐 하류 35 km에 위치한 공주지점에 대하여 댐 건설 시점을 기준으로 비조절 및 조절 유량 조

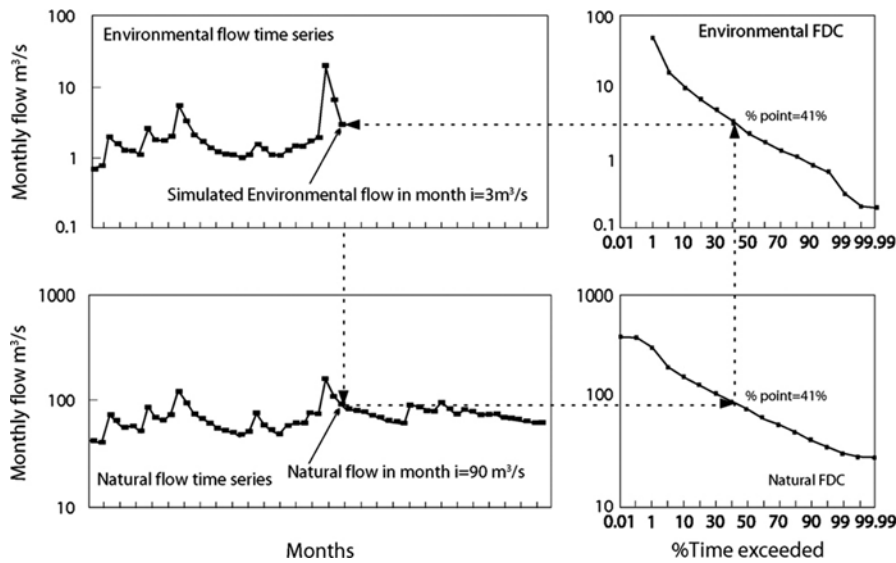


Fig. 2. The illustration of the data transformation procedure to generate a complete monthly time series of EF from the established environmental FDC (Smakhtin and Eriyagama, 2008).

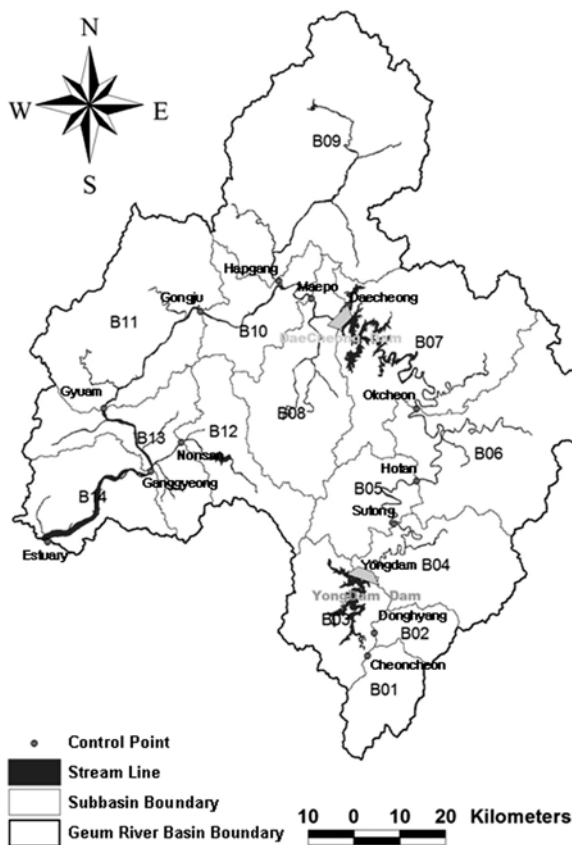


Fig. 3. Drainage map of Geum river basin.

건에 대한 시나리오를 구성하였다. 고익환 등(2009)은 수통지점에 대해 용담댐 유무에 따라 2개의 시나리오로 공주지점은 두 댐 모두 없는 경우 대청댐만 있는 경우와 두 댐 모두 있는 경우에 따라 3개의 시나리오를 구성한 바 있다.

3.2. 시나리오에 따른 유량시계열 모의

본 연구에서는 물수지분석 모형인 KModSim을 이용하여 다양한 시나리오에 대한 유량시계열을 모의하여 보았다. KModSim은 한국수자원공사에서 미국 콜로라도 주립대와 공동으로 개발한 물수지분석 모형으로 하천유역에서 각종 용수수요를 고려하여 유역의 물 배분 및 저수지 운영 시나리오를 모의함으로써 복잡한 유역시스템에 대해서도 쉽게 network를 구성하여 물수지분석 모의가 가능하다. 본 연구에서는 금강유역을 대상으로 구축하여 수년간 정밀한 검·보정을 마친 KModSim을 이용하여 댐 건설에 따른 유황변화의 모의를 실시하였다(정태성 등, 2007). 비조절유량 산정을 위한 댐 건설 전 시나리오는 금강수계에 위치한 대청댐과 용담댐이 없다는 가정조건하에서 KModSim을 이용하여 1984년부터 2005년까지 22년간의 유량자료를 수통지점과 공주지점에 대하여 생산하였다. 조절유량 산정을 위한 댐 건설 후 시나리오는 1984년부터 2005년까지 대청댐과 용담댐의 운영조건을 가정하고 KModSim을 이용하여 유량자료를 생산하였다.

3.3. 환경관리등급별 유황곡선의 산정

비조절 유량 또는 자연유량조건 시나리오에 따라 모의된 월평균 유량시계열자료를 이용하여 수통과 공주 두 지점에 대한 환경관리등급별 유황곡선을 작성하여 보았다. 각 유황곡선의 종거는 IWMI에서 제공하는 환경유량 개략산정 프로그램인 GEFC(Global Environmental Flow Calculator)를 이용하여 산정하였다. 여기에서 GEFC는 2.3절의 Smakhtin and Anputhas(2006)의 개략 산정법을 범용화 한 프로그램이다. Figs. 4, 5는 산정된 유황곡선의 종거를 반대수지상에 도시해 본 결과로서 자연유량의 흐름특성 혹은 유황곡선의 형상이 지속되는 가운데 유역개발에 따른 유량의 감소 경향이 체계적으로 잘 모의되고 있음을 확인할 수 있다.

Table 2는 상기한 결과를 정량적으로 정리해 본 것으로 자연유량조건 연평균유출량(natural MAR; Mean Annual

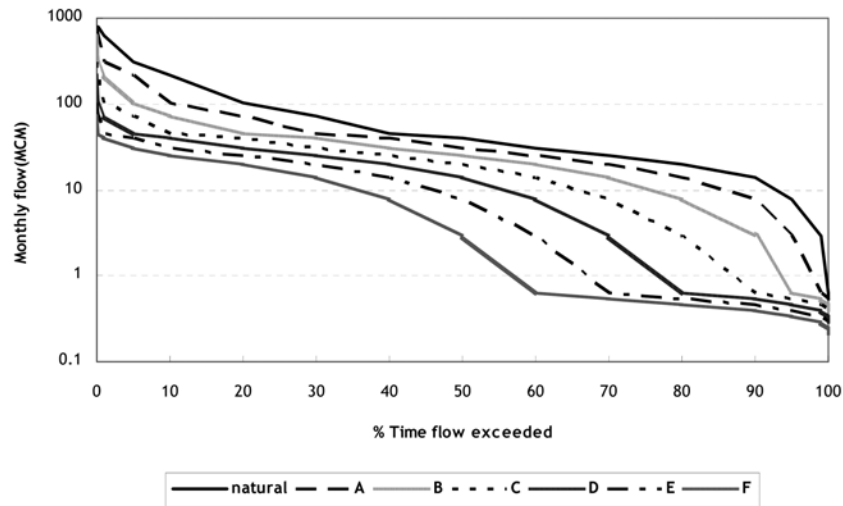


Fig. 4. Flow duration curves for different EMC of Sutong site.

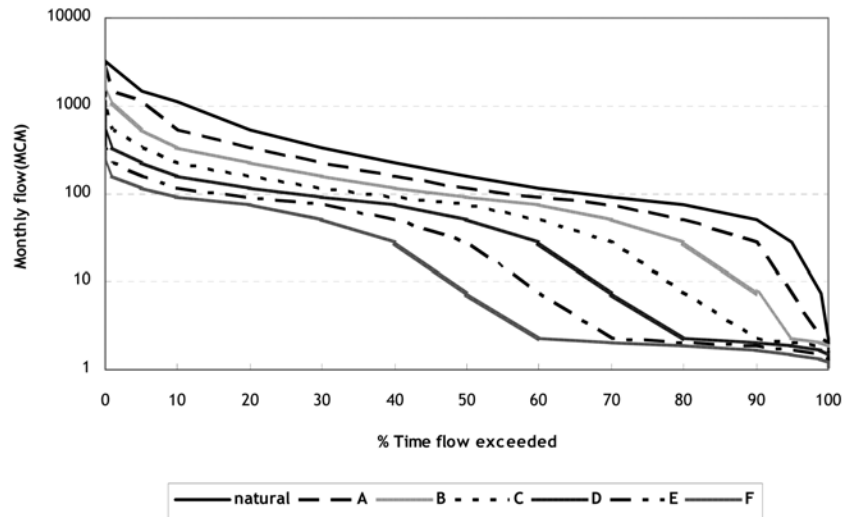


Fig. 5. Flow duration curves for different EMC of Gongjoo site.

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

Site		A	B	C	D	E	F
Sutong	Long-term EF volumes (% natural MAR)*	69.4	45.8	31.4	22.5	16.3	11.7
	Class MAR (MCM)	651.2	429.7	294.6	211.1	152.9	109.8
	Natural MAR (MCM)	938.3					
Gongjoo	Long-term EF volumes (% natural MAR)	67.8	43.5	28.4	19.3	13.5	9.4
	Class MAR (MCM)	3140.5	2014.9	1315.5	894.0	625.3	435.4
	Natural MAR (MCM)	4632.0					

* Long-term EF volume : expressed as % of natural Mean Annual Runoff-MAR = [Class MAR]/[Natural MAR]

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 수생태계의 최저수준 유지를 위한 연평균유출량의 하한계는 자연 유량조건의 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 유향곡선인 Figs. 4, 5는 향후 금강유역 수생태계에 대한 효율적인 감시나 관리 방안의 수립을 위한 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

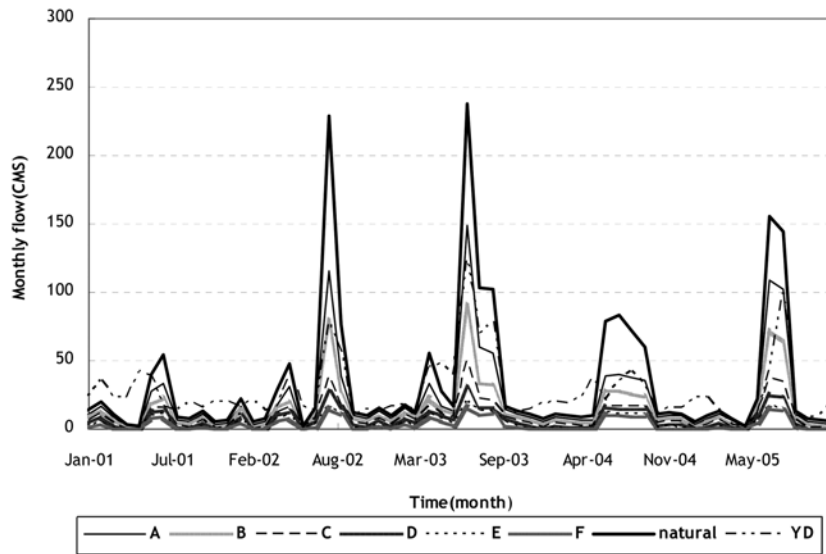


Fig. 6. '2001-'2005 Monthly flow time series of Sutong site.

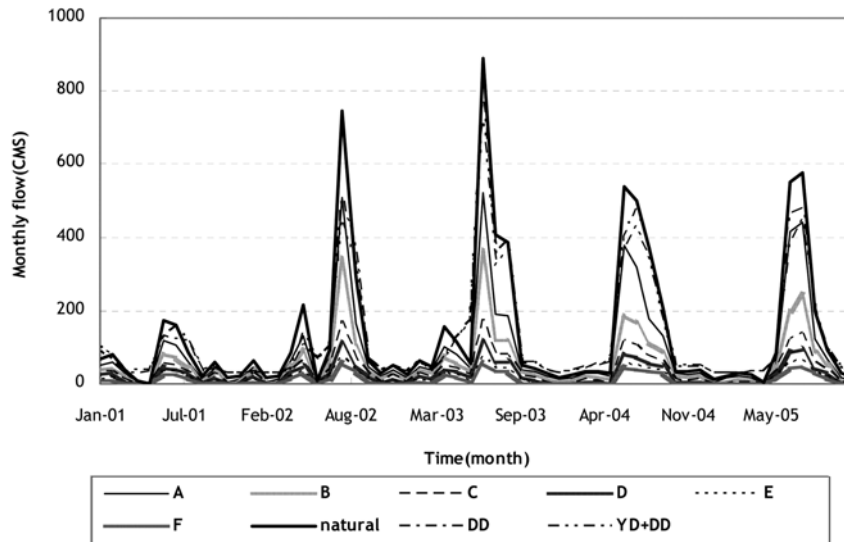


Fig. 7. '2001-'2005 Monthly flow time series of Gongjoo site.

Table 3. Root mean square error between each rank and scenario

Site		A	B	C	D	E	F
Sutong	YD	0.062	0.075	0.093	0.106	0.114	0.119
	DD	0.267	0.446	0.579	0.652	0.694	0.720
Gongjoo	YD+DD	0.247	0.405	0.534	0.607	0.648	0.675

3.4. 댐 건설 시나리오에 따른 금강유역의 환경관리 등급

금강유역의 환경관리등급별 유황곡선을 이용하여 1984년~2005년 기간에 대한 등급별 월평균 유량시계열자료를 생성하여 보았다. Figs. 6, 7은 2001년~2005년 기간에 대하여 산정된 결과를 전술한 댐 운영 시나리오별 모의 유량시계열자료와 함께 도시해 본 것이며, Table 3은 등급별 월평균 유량시계열자료와 댐 운영 시나리오별 모의 유량시계열자료와의 평균계급근 오차를 나타낸 것으로 A 등급이 가장 작은 오차가 보임을 알 수 있었다. 즉, 수통과 공주 두

지점 모두 거의 A 등급에 가까운 거동을 보임을 확인할 수 있다. Smakhtin and Eriyagama(2008)는 전 세계적으로 많은 하천들이 C 등급에 포함될 가능성이 높음을 언급한 바 있다. 이는 본 연구 결과와는 다소 상충되는 의견으로 이로부터 본 연구에서는 금강유역의 환경유량조건에 관하여 다음과 같은 두 가지 가설을 설정해 보았다.

- 1) 금강유역은 수량이 풍부한 유역으로서 댐 건설로 인한 유황의 변화가 흐름특성의 양적(量的) 측면에서 생태계에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다. 특히 댐 운영에 따라 상당히 개선된 것으로 기대되는 저수위 유황

은 대부분의 기간에 대하여 A 등급을 상회하고 있어 하천점용과 같은 각종 이수관련 유역관리 측면에서 비교적 여유가 있는 것으로 예상된다.

- 2) 금강유역의 유황특성은 다른 나라의 하천에 비하여 민감한 것으로 판단된다. 실제로 우리나라의 하천들은 대부분 큰 규모의 하상계수를 갖는 것으로 알려져 있다 (이진원 등, 1993). 따라서 이러한 특성을 본 연구에서 제시한 환경유황곡선 산정 과정에 반영하기 위하여 현재 17개의 순위백분율을 기반으로 수행되는 평행이동 과정을 보다 세분화할 필요가 있을 것으로 사료된다. 본 방법의 개발자들인 Smakhtin and Eriyagama(2008) 역시 이와 유사한 의견을 제시한 바 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)에 의해 상기한 가설들에 대한 검증이 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.

4. 결론

본 연구에서는 최근 IWMI에서 개발한 환경유량 산정기법을 소개하고 우리나라 유역에 대한 적용을 수행하여 보았다. 이 기법은 하천이 가지고 있는 고유한 흐름특성을 유지하면서 유역개발에 따른 유량의 감소와 수서생태계에 미치는 영향을 모의하는 것으로 단순한 형태에 비하여 상당히 효율적인 방법임을 확인할 수 있었다. 주요한 산출물로는 환경관리등급별 유황곡선과 월평균 유량시계열자료들을 수 있는데 이들은 생태학과 같이 환경유량을 연구하는 다른 분야의 전문가들에게 기초자료를 제공할 수 있는 수문학분야의 결과들로 판단된다.

금강유역의 자연유량 조건 시나리오에 따라 모의된 월평균 유량시계열자료를 이용하여 수통과 공주 두 지점에 대하여 환경관리등급별 유황곡선을 작성하여 본 결과 선행 연구결과에 비교적 잘 부합되는 것으로서 나타나 본 연구에서 제시한 환경유황곡선들은 향후 금강유역 수서생태계에 대한 효율적인 감시나 관리 방안의 수립을 위한 기초자료로서 타당한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 각 등급별로 생성된 월평균 유량시계열자료를 댐 운영 시나리오별 모의 유량시계열자료와 함께 도시해 본 결과 수통과 공주 두 지점 모두 거의 A 등급에 가까운 거동을 보임을 확인할 수 있었다. 향후 본 연구에서 제시한 환경유량 개략산정 방법을 다른 유역으로 확대 적용하거나 금강유역을 대상으로 하천의 유황변화가 수서생태계에 미치는 영향에 대한 신뢰성 있는 연구 성과가 발표될 경우 본 연구결과에 대한 정량적 검증이나 혹은 방법론에 대한 논리적인 수정이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 고익환, 김정곤, 박상영(2009). 댐 운영을 고려한 금강의 생태수문학적 변화 평가 : I. 유황변화 분석. *한국수자원학회 논문집*, **42**(1), pp. 1-8.
- 김주철, 이상진, 신현호, 황만하(2009). 유황곡선의 거동특성을 이용한 유역관리모형의 평가. *수질보전 한국물환경학회지*, **25**(4), pp. 573-579.
- 박상덕(2003). 자연하천의 무차원 유황곡선. *한국수자원학회 논문집*, **36**(1), pp. 33-44.
- 이진원, 김형섭, 우효섭(1993). 댐건설로 인한 5대수계 분류의 유황변화 분석. *대한토목학회논문집*, **13**(3), pp. 79-91.
- 정태성, 강신욱, 고익환, 황만하(2007). 금강유역에서의 KModsim을 이용한 의사결정지원시스템 개발 및 적용성 검토. *대한토목학회논문집*, **27**(3B), pp. 319-329.
- 최지용(2007). 지속가능한 물 관리를 위한 환경유량의 기능정립에 관한 연구. *환경정책연구*, **6**(2), pp. 47-70.
- Bunn, S. E. and Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequence of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, **30**, pp. 492-507.
- DWAF (1997). White paper on a national water policy for South Africa. *Department of Water Affairs and Forestry*, Pretoria.
- Hughes, D. A. (2001). Providing hydrological information and data analysis tools for determination of ecological instream flow requirements for South African rivers. *Journal of Hydrology*, **241**, pp. 140-151.
- Hughes, D. A. and Hannart, P. (2003). A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa. *Journal of Hydrology*, **270**, pp. 167-181.
- Hughes, D. A. and Smakhtin, V. U. (1996). Daily flow time series patching or extension: a spatial interpolation approach based on flow duration curve. *Journal of Hydrological Science*, **41**(6), pp. 851-871.
- 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/>.
- Maidment, D. R. (1992). *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill.
- Smakhtin, V. U. and Anputhas, M. (2006). An assessment of environmental flows and implications for Indian river basins. IWMI Research Report 107, *International Water Management Institute*, Colombo, Sri Lanka.
- 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.
- Tennant, R. E. (1976). Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, **1**, pp. 6-10.
- The Nature Conservancy (2006). Environmental flows/Water for people-Water for nature. <http://www.nature.org/freshwater/>.