

댐 운영을 고려한 금강의 생태수문학적 변화 평가 : I. 유황변화 분석

Evaluation of Eco-Hydrological Changes in the Geum River Considering Dam Operations: I. Flow Regime Change Analysis

고 익 환* / 김 정 곤** / 박 상 영***

Ko, Ick-Hwan / Kim, Jeongkon / Park, Sangyoung

Abstract

In this study, based on the major activities which might have affected the ecological system of the Geum River, a conceptual model was proposed to guide scenario development for the eco-hydrological river evaluation. Also, an analysis method employing a set of models consisting, with other supporting programs, of KModSim for watershed network analysis and RAP for ecosystem analysis was developed for eco-hydrological river assessment. Then, hydrological analyses with various scenarios were conducted to examine the flow regime changes expected from the construction and operation of the Youngdam Multipurpose Dam (YMD) and Daecheong Multipurpose Dam (DMD) in the Geum River basin. The results indicated that the "Percentile 10" values for 10% exceeding time were decreased by 20.5% and 8.0% at Sutong downstream of YMD and Gongju downstream of DMD, respectively, while "Percentile 90" values for 90% exceeding time were increased by 56.3% and 340.8% at Sutong and Gongju, respectively, resulting in the reduction of the high flow variability typical for unregulated rivers in Korea. The results of eco-hydrological analyses will be presented in the following papers.

keywords : Eco-Hydrological River Assessment, Flow Variability, KModSim, RAP

요 지

본 연구에서는 금강의 생태계에 영향을 끼쳤을 가능성이 있는 주요 개발 및 관리 활동들을 기초로 하여 생태수문학적 하천평가 시나리오 구성을 위한 개념모델을 제시하였다. 또한 생태수문학적 하천평가를 위하여 여러 지원 프로그램과 함께 유역물수지 모델인 KModSim과 하천생태분석 모델인 RAP을 이용한 분석방법을 개발하였다. 용담댐과 대청댐의 건설 및 운영에 따라 예측되는 유황변화를 분석하기 위하여 다양한 시나리오에 따른 수문분석을

* 한국수자원공사 수자원연구원 연구위원
Senior Head Researcher, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation (K-water), 462-1 Jeonmin-dong Yuseong-gu Daejeon, Korea, 305-730

** 교신저자, 한국수자원공사 수자원연구원 책임연구원
Corresponding Author, Principal Researcher, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, 462-1 Jeonmin-dong Yuseong-gu Daejeon, Korea, 305-730
(e-mail: jkkim@kwater.or.kr)

*** 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원
Senior Researcher, K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, 462-1 Jeonmin-dong Yuseong-gu Daejeon, Korea, 305-730

실시한 결과에 의하면, 수통 및 공주지점에서 초과시간 10%에 해당하는 "Percentile 10" 값은 각각 20.5%, 8.0% 감소한 반면, "Percentile 90" 값은 각각 156.3%, 340.8%나 증가하여 저유량의 변화가 크게 나타났으며, 이는 한국의 비조절하천의 특징인 큰 유황변동율을 감소시킨 것으로 나타났다. 후속 논문에서는 생태-수문학적 분석결과를 제시할 것이다.

핵심용어 : 생태수문학적 하천평가, 유황변화, KModSim, RAP

1. 서론

유황(flow regime)은 하천에서 생물집단을 구성하는데 있어 물리적 서식조건을의 주요한 결정인자로 작용한다(Bunn and Arthington, 2002; Arthington *et al.*, 2006). 유황변동은 때론 안정적이던 수서생태계에 위협을 줄만큼 심각할 수 있다(Naiman *et al.*, 1995; Sparks, 1995; Ward *et al.*, 1999). 따라서 홍수조절, 용수공급, 전력생산, 레저 활동을 위한 다목적댐의 건설은 특히, 댐 하류하천의 자연유량(natural flow)을 변화시켜 생태학적 측면에서 기대치 않던 영향을 야기할 수 있다. 따라서 수리구조물 건설 전·후의 자연유량과 조절유량 사이에서 생태학적 조사연구를 통한 차이점을 찾는 것은 매우 중요하다고 볼 수 있다.

우리나라의 하천 유황변화에 대한 연구는 1906년대 주요 하천의 유황을 분석하고 년 최대 유량과 최소유량의 비인 유량변동계수(하상계수)를 추정한 연구에서부터 비교적 최근에 댐건설 및 운영에 따른 유황변화에 관한 연구가 수행된 바 있다(이진원 등, 1993; 한국수자원공사, 1997; 김남원 등, 2007). 그러나 기존 연구는 대부분 하천의 주요지점별 유황 곡선을 산출하고 유량변동계수를 새로이 산정하는 연구로써 생태학적 특성과의 연관분석은 수행되지 못하였다. 또한 하천의 생태시스템은 외부의 영향에 대하여 수문학적, 물리적, 생화학적 특성이 상호 유기적으로 반응하며 변화하는 특성을 지니고 있으며, 이러한 현상에 대한 해석 또한 다양한 분야의 전문가에 의한 통합적 접근(integrated or holistic approach)이 필요하다. 그간의 하천생태시스템에 대한 연구는 주로 이화학적인 관점에서의 식물, 동물의 분류에 초점을 맞추어 진행되었으며 하천의 물리적인 구조변화와 수공구조물의 유량조절효과 등을 통합적으로 고려하지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 생태수문학적 하천 건강성평가를 전체적인 관점에서 접근하였으며, 첫 번째 부분인 본 논문에서는 금강유역에 대한 개념모델을 설정하고 댐 건설 및 운영으로 인한 유황변화를 중심으로 분석하였다.

2. 금강유역 개념모델 설정

2.1 금강유역 현황

금강유역은 유역면적이 9,913.2 km², 본류의 유로 연장은 395.9 km, 유역의 평균 폭이 24.8 km인 남한 제3의 유역으로 남한 면적의 약 1/10을 차지한다. 유역 내 주요 지류는 상류로 부터 남대천, 봉황천, 송천, 갑천, 미호천, 유구천, 지천, 논산천 등이 있으나, 미호천을 제외한 유역들은 본류 면적의 3~6% 정도밖에 되지 않는 소하천들이다. 금강수계 내에 위치하고 있는 댐은 총 6개소로서 다목적댐 2개소, 농업용수댐 3개소, 하구둑 1개소 등이다(Fig. 1).

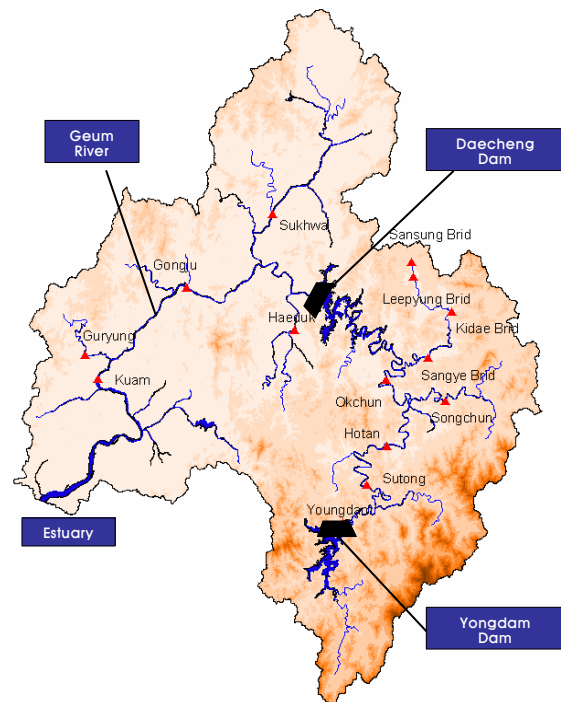


Fig. 1 . Map of the Geum River Basin with Major Features and Locations

금강 중류에 위치한 대청댐은 수자원의 다목적개발을 위하여 1980년에 금강 하구둑에서 상류 쪽으로 150 km 지점에 건설되었으며 저수면적은 72.8 km², 댐 높이

는 72.0 m, 유역면적은 금강유역의 총 42%인 4,134 km², 발전시설용량은 90 MW, 홍수조절용량은 250 Mm³이며, 연간 공급 유량은 1,649 Mm³이다. 금강 상류에 위치한 용담댐은 2001년에 완공되었으며 금강본류 60 km 지점에 위치하고 있으며, 유역면적은 930 km², 총 저류용량은 815 Mm³, 홍수조절 능력은 137 Mm³, 댐의 높이는 70 m이며 연간 공급 유량은 650.4 Mm³이다. 용담댐은 전주권 및 서해안 개발 사업지역에 1일 135만 m³의 용수를 공급할 수 있으며, 댐 하류인 금강본류로는 1일 43만2천 m³의 하천유지용수를 공급하고 있다.

2.2 개념모델 설정

대부분의 자연하천에 있어 홍수, 하도변화, 수리구조물 설치 등 자연적 또는 인위적인 요인으로 인해 하천의 생태수문학적 거동은 끊임없이 변화하고 있다. 이러한 생태수문학적 특성을 정량적으로 분석하고 파악하는 것은 하천의 생태적인 기능을 유지하고 지속적인 하천관리를 위한 기본적인 사항이다. 생태수문학적 하천평가를 위한 분석에서 각 단계의 분석 결과는 다음 분석 단계를 수행하기 위한 경계조건을 제공하게 된다. 외부의 인위적인 영향이 하천시스템에 가해지면 우선, 하천환경, 수질, 수문조건이 영향을 받게 된다. 두 번째로

첫 번째 영향의 결과로써 홍수터의 지형, 하상의 변동과 더불어 수리적 특성, 유사의 이동 특성 등이 영향을 받는다. 이러한 영향은 홍수터 및 수중에 서식하는 식물에 영향을 끼치고 나아가서는 저서생물, 어류, 조류, 및 포유류에게까지 영향을 미치게 된다. 이러한 영향은 생물학적인 피드백을 거쳐서 다시 홍수터의 지형조건 등에 영향을 미치게 된다(Jorde, 2006).

생태수문학적 하천평가를 수행하기 위한 일련의 분석과정에 있어서 개념모형의 설정은 수문특성 및 하천환경특성 변화가 생태계에 미치는 영향을 체계적으로 분석하여 정량화 하는 방법이다. 따라서 개념모형은 대상하천의 특성뿐만 아니라 유역의 개발현황에 따라 적절하게 구축되어야 한다. Fig. 2는 대청댐(Daecheong Multipurpose Dam, DMD)과 용담댐(Youngdam Multipurpose Dam, YMD)의 건설을 중심으로 구축된 금강유역 개념모형을 보여주고 있다. 대청댐 건설 이전, 대청댐 건설이후부터 용담댐 건설 이전, 대청댐과 용담댐 건설 이후 등 3개의 시나리오를 기반으로 하도 및 수변공간과 유량변화에 따른 유황분석 등을 통해 변화된 생태시스템을 정량화하여 궁극적으로는 긍정적인 방향으로의 복원을 위한 대응방안을 도출할 수 있도록 구축하였다.

금강유역의 초기에는 대청댐과 용담댐 모두 건설되

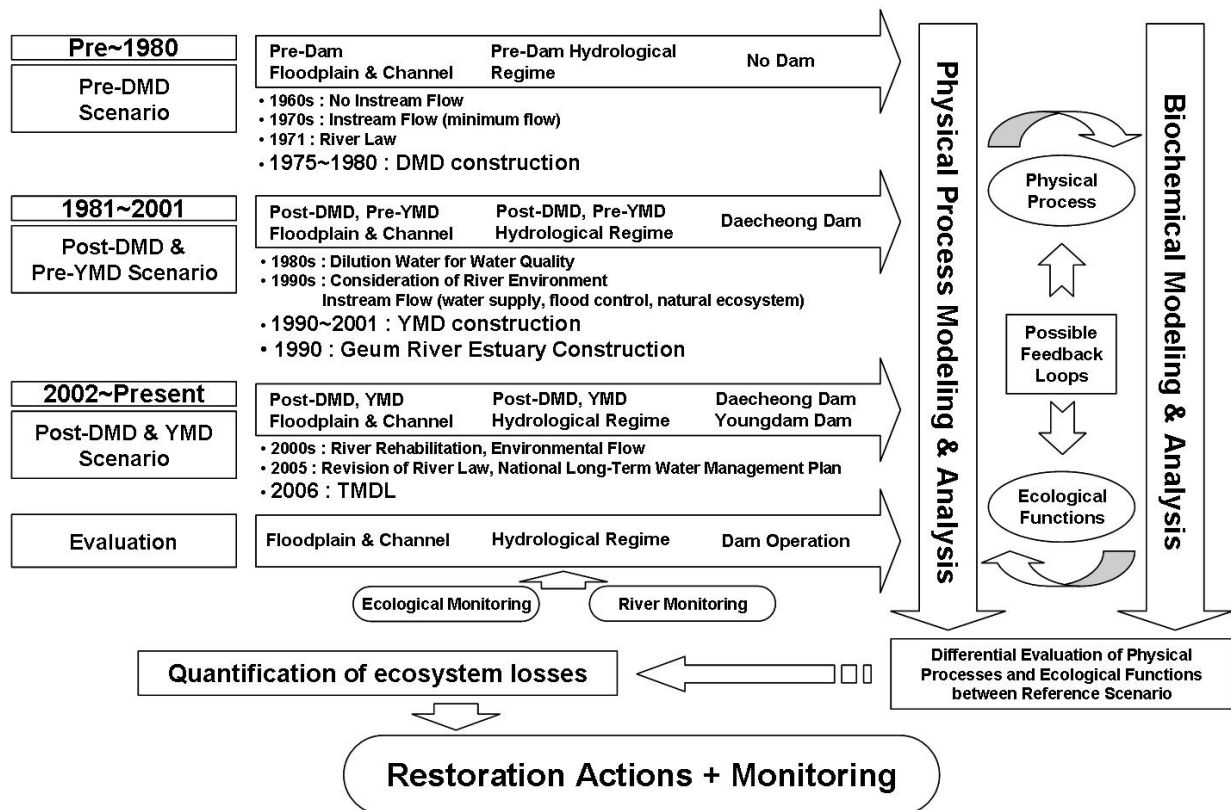


Fig. 2. Conceptual Model of the Geum River Basin for Eco-Hydrological Assessment

지 않은 상태로 물리적 특성과 수문특성은 자연 상태로 가정될 수 있으며, 이후 대청댐 건설에 따라 물리적 특성 및 수문특성이 변화하게 된다. 이후 용담댐이 건설된 이후에는 또 다른 변화가 진행되었을 것이다. 그림에서 수평방향의 화살표는 현재 상황과 비교되는 하천 및 홍수터의 이력을 나타내는데 이 화살표가 제시하는 방향에 따라 모의가 진행되며 이를 통해 다른 이력이나 현재의 상태와 비교할 수 있는 물리적 과정을 표현하는 결론을 얻을 수 있다. 또한 현재의 홍수터 상황에 따른 수문특성을 조합하여 가상적인 상황을 모의하는 것도 가능하다. 물리적 과정의 모의 결과는 특정 유기체나 유기체 집단의 서식처 특성을 모의하는 생물학적 영역과 연계될 수도 있다. 이를 통해 최종적으로 모의결과에 의해 다양한 시나리오를 생태계 기능 상실의 관점에서 정량적으로 비교할 수 있다.

2.3 시나리오 구성

댐에 의한 하천 유량변화 분석을 위해 용담댐 하류 15 km에 위치한 수통지점과 대청댐 하류 35 km에 위치한 공주지점에 대하여 댐 건설 시점을 기준으로 비조절 및 조절 유량 조건에 대한 시나리오를 구성하였다. 수통지점은 용담댐 유무에 따라 2개의 시나리오로, 공주지점은 두 댐 모두 없는 경우, 대청댐만 있는 경우와 두 댐 모두 있는 경우에 따라 3개의 시나리오를 구성하였다.

3. 분석방법

하천의 생태건강성 평가 연구는 광범위하고 다양한 수리, 수문, 생태자료 및 분석 모델들을 필요로 한다. 본 연구에서는 물수지분석 모델인 KModSim을 이용하여 다양한 시나리오에 대한 하천유량을 산정하고, RAP(River Analysis Package)을 이용하여 하천의 유량변동 및 유량-생태 영향인자에 대한 분석을 실시하였다.

3.1 KModSim

KModSim은 한국수자원공사에서 미국 콜로라도주립대와 공동으로 개발한 물수지분석 모형으로, 하천유역에서 각종 용수수요를 고려하여 유역의 물 배분 및 저수지 운영 시나리오를 모의함으로써 복잡한 유역시스템에 대해서도 쉽게 네트워크를 구성하여 물수지분석 모의가 가능하다. 본 연구에서는 금강유역을 대상으로 구축하여 수년간 정밀한 검·보정을 마친 KModSim을 이용하여 댐건설에 따른 유량변화의 모의를 실시하였다

(정태성 등, 2007). 비조절유량 산정을 위한 댐 건설 전 시나리오는 금강수계에 위치한 대청댐과 용담댐이 없다는 가정조건하에서 KModSim을 이용하여 1984년부터 2006년까지 23년간의 유량자료를 수통지점과 공주지점에 대하여 생산하였다. 조절유량 산정을 위한 댐 건설 후 시나리오는 1984년부터 2006년까지 대청댐과 용담댐 운영조건을 가정하고 KModSim을 이용하여 유량자료를 생산하였다.

3.2 RAP

RAP모형은 하천의 환경유량관리를 목적으로 호주의 eWater CRC (Cooperative Research Centre)에 의해 개발되었으며 하천관리자 및 하천환경, 수리, 수문 관련 과학자와 엔지니어들에게 유용한 몇 개의 모듈로 구성되어 있다(Marsh, 2004). 본 연구에서는 KModSim에서 구한 시나리오별 유량자료를 RAP 모형의 시계열분석 모듈을 이용하여 일단위로 분석한 후, 유량지속기간 및 사상분석 등 통계적인 결과를 도출하였다.

4. 결과 및 토의

4.1 시계열 분석

KModSim 모형을 이용하여 수통과 공주지점에 대해 각 시나리오별, 23년간의 일별유량을 생성한 후, RAP 모형을 이용하여 이 시계열 자료에 대한 통계분석을 실시하였다. 시계열자료의 범위(range)와 퍼진 정도를 분석하기 위하여 수통과 공주지점에 대한 유량지속시간곡선(Flow Duration Curve)을 각각 Figs. 3 and 4에 나타내었다. 그래프에서 x-축의 백분율(%)은 y-축의 특정 유량을 초과할 시간의 비율을 나타낸다. 주요 통계분석 값들을 Table 1에 요약하였다. 표에서 “Percentile 10” 값은 고유량 부분으로 Figs. 3 and 4에서 10%(P_{90})에 해당하고, “Percentile 90” 값은 저유량 부분으로 90%(P_{10})를 나타낸다. 또한, “Mean” 값은 전 시계열 자료에 대한 평균값에 해당하며, “CV” 값은 각 시나리오별 유량의 변동정도를 분석하기 위해 평균을 표준편차로 나누어 표시한 변동계수(Coefficient of Variation)이다. 또한 괄호안의 값들은 댐에 의해 조절된 유량의 비조절 유량과 비교해서 변동된 정도를 나타낸다. 수통지점에서 P_{90} 값은 20.5% 감소하고 P_{10} 값은 156.3% 증가하여 저유량의 증가율이 크게 나타났다. 공주지점에서 고유량의 감소는 10% 이하로 미미한 반면, 저유량의 증가폭은 340.8%나 되었다. 하지만 용담댐 건설로 인한 저유량의 변화는 없는 것으로 나타났다. 평균값의 변화

Table 1. Statistics of Flow Regime Change

Gauging Stations	Sutong(m ³ /s)		Gongju(m ³ /s)		
	Unregulated Flow	Regulated Flow with YMD	Unregulated Flow	Regulated Flow with DMD Only	Regulated Flow with DMD & YMD
Percentile 10	55.5	44.2 (-20.5%)	275.7	264.6 (-4.0%)	253.5 (-8.0%)
Percentile 90	2.4	6.1 (+156.3%)	6.8	30.0 (+340.8%)	30.0 (+340.8%)
Mean	30.3	27.7 (-8.6%)	140.9	139.3 (-1.1%)	136.5 (-3.1%)
CV	2.9	2.3 (-20.7%)	2.9	2.0 (-31.0%)	1.9 (-34.5%)

Numbers in () indicate changes from unregulated flow values.

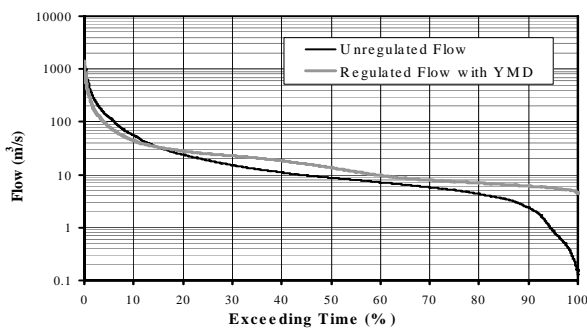


Fig. 3. Flow Duration Curves at Sutong

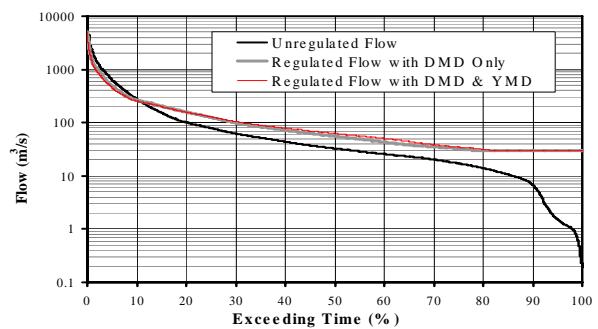


Fig. 4. Flow Duration Curves at Gongju

는 크지 않지만 CV 값들은 20% 이상 감소하였다. 시계열 분석결과, 수통과 공주 두 지점 모두, 고유량 부분에서는 비조절 유량이 크고, 저유량 부분에서는 조절유량이 크며, 조절 유량이 비조절 유량을 초과하는 변곡점이 약 10~15%로 나타났다. 공주에서는 대청댐만 있는 경우와 대청댐·용담댐 모두 있는 경우에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

4.2 계절적 변동 분석

수통지점의 댐건설 전·후 계절적 유량변동을 분석한 결과는 Fig. 5와 같다. 홍수기에 해당하는 7월, 8월, 9

월은 댐의 홍수조절효과로 인한 유량의 저감을 보이고 있으며, 봄, 가을, 및 겨울에 해당하는 월에는 평균적으로 유량이 증가된 것으로 분석되었다. 변동계수(CV)의 변화는 연중 일관성을 보이지는 않으며, 봄철의 유량변동성은 댐건설이후 상대적으로 줄어든 것으로 분석되었다.

공주지점의 댐건설 전후 계절적 유량변동을 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. 홍수기에 저감된 유량과 갈수기에 증가된 전형적인 유량조절효과를 확인할 수 있다. 공주지점의 댐건설로 인한 영향은 수통지점에 비하여 상대적으로 작은 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는

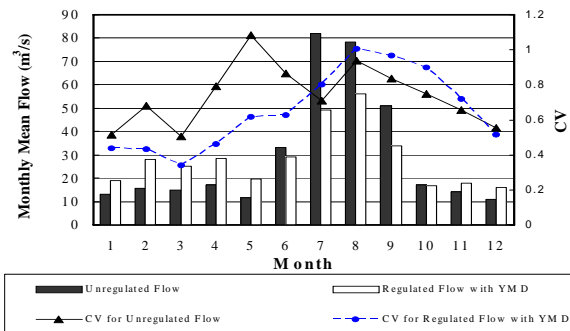


Fig. 5. Seasonal Flow Variation at Sutong

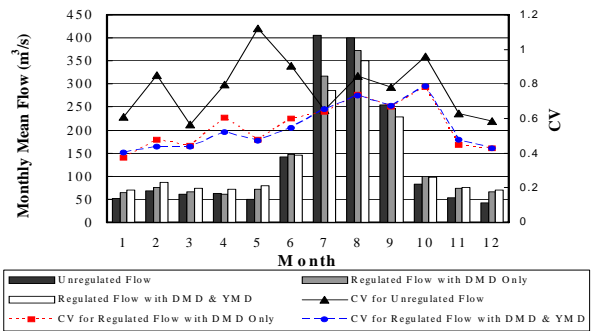


Fig. 6. Seasonal Flow Variation at Gongju

대청댐 하류에서 갑천, 미호천과 같은 지류의 유입으로 인한 영향으로 판단된다.

4.3 사상 분석

하천 유량의 시계열적 변화는 생태계에 잠재적인 영향을 가지고 있다. 저유량 상태의 지속으로 인한 건천화는 하천의 단절을 가져와 어류 등의 이동에 영향을 미치며, 산란기의 급격한 유량변동은 잠재적으로 어류 생태계에 영향을 줄 수 있다. 따라서 유량의 급격한 증가 또는 감소, 변화 크기와 지속기간들의 분석은 생태 환경 특성과의 상관분석에 있어서 매우 중요한 과정이다(Bunn and Arthington 2002). RAP을 이용한 사상분석(spells analysis)은 시계열자료에 존재하는 사상을 분석하기 위하여 사용된다. 여기서 사상이란 합은 설정된 임계치 이상 또는 이하일 경우에 해당하는 기간을 말하며, 각각 고유량 사상(high spell), 저유량 사상(low spell)으로 정의된다. 수통지점과 공주지점에 대해 각각 댐 건설 전(unregulated flow)의 시나리오에서 산정된 10% 및 90% 값을 임계값으로 설정하고 생태계에 잠재

적인 영향을 미치는 고유량 사상 및 저유량 사상을 분석하여 Tables 2 and 3에 각각 나타내었다.

수통지점의 경우 임계값을 44.16 m³/sec로 설정하고 전 기간에 대하여 고유량 사상을 분석한 결과 댐건설 전 300회에서 274회로 감소하였고, 총 고유량 사상 지속일(total duration of high spell)은 951일에서 804일로 감소된 것으로 분석되었다. 저유량 사상은 임계값으로 6.11 m³/sec을 설정하고 분석한 결과, 저유량 사상에 해당하는 사상은 294회에서 140회로 크게 감소한 것으로 분석되었다(Table 3). 이와 같은 결과는 갈수기에 지속적으로 하천유지유량을 방류하는 댐 운영에 따른 저유량의 증가로 인한 것으로 판단된다. 공주지점의 경우, 고유량 사상에 해당하는 사상의 변화는 미미하였으나, 저유량 사상에 해당하는 사상은 크게 변화한 것으로 분석되었다(Table 2). 이와 같은 결과는 저유량에 해당하는 임계값으로 설정된 댐 건설 전의 90% 유량 규모는 댐건설과 더불어 유량패턴에 크게 영향을 받은 것에 따른 결과로 판단된다.

Table 2. Results of High Spell Analysis

Name	Unit	Sutong		Gongju		
		Unregulated Flow	Regulated Flow with YMD	Unregulated Flow	Regulated Flow with DMD Only	Regulated Flow with DMD & YMD
Threshold	m ³ /sec	44.2	44.2	275.7	275.7	275.7
Number of High Spell	day	300	274	250	256	251
Longest High Spell	day	15	13	17	17	17
Mean Magnitude	m ³ /sec	207.4	165.5	1,150.1	865.6	811.2
Mean Duration	day	3	2	3	2	2
Total Duration	day	951	804	804	753	708

Table 3. Results of Low Spell Analysis

Name	Unit	Sutong		Gongju		
		Unregulated Flow	Regulated Flow with YMD	Unregulated Flow	Regulated Flow with DMD Only	Regulated Flow with DMD & YMD
Threshold	m ³ /sec	6.1	6.1	6.8	6.8	6.8
Number of Low Spell	day	294	140	117	4	0
Longest Low Spell	day	86	80	48	30	NaN*
Mean Magnitude	m ³ /sec	3.5	5.5	2.4	0.7	NaN*
Mean Duration	day	8	5	6	10	NaN*
Total Duration	day	2,617	813	805	43	NaN*

*NaN indicates that values cannot be estimated.

5. 결 론

본 연구에서는 하천에 가해진 다양한 인위적인 요소들이 하천생태계에 미치는 장단점을 분석하고, 어느 정도의 영향을 미치고 있는지를 정량적으로 파악함으로써 생태적으로 건강한 하천관리를 위한 방안을 마련하기 위하여 하천 시스템을 분석하고 각종 유역관리 모형들을 활용한 하천의 생태수문학적 평가기법을 제시하였다. 연구의 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국내 최초로 하천의 생태적 건강성을 전체적인 관점(holistic approach)에서 평가하기 위하여 유역물수지분석모형(KModSim) 및 하천 생태환경분석모형(RAP)을 활용한 일련의 분석방법 및 모델링 toolkit을 구축하였다.
- 2) 금강유역의 하천건강성을 평가하기 위한 개념모형을 생태계에 영향을 미치는 주요 사건을 중심으로 제시하였으며, 이를 토대로 유황변화 시나리오를 개발하고 생태수문학적인 하천의 건강성 평가를 위하여 본 연구에서 개발한 방법을 활용하여 하천의 유황변화를 분석하였다.
- 3) 용담댐과 대청댐의 건설 및 운영에 따라 예측되는 유황변화를 분석하기 위하여 다양한 시나리오에 따른 수문분석을 실시한 결과, 수통 및 공주지점에서 고유량 부분인 "Percentile 10" 값은 각각 20.5%, 8.0% 감소한 반면, 저유량 부분인 "Percentile 90" 값은 각각 156.3%, 340.8%나 증가하여 저유량의 변화가 크게 나타났으며, 이는 한국의 비조절하천의 특징인 큰 유황변동율을 감소시킨 것으로 나타났다.
- 4) 댐건설 전·후 계절적 유황변동을 분석한 결과, 수통지점의 홍수기에 해당하는 7월, 8월, 9월은 댐의 홍수조절효과로 인한 유량의 저감을 보이고 있으며, 봄과 가을에는 평균적으로 유량이 증가된 것으로 분석되었다. 공주지점은 홍수기에 저감된 유량과 갈수기에 증가된 전형적인 유황조절효과를 확인할 수 있다. 공주지점은 미호천과 같은 지류의 유입으로 인한 영향으로 댐건설로 인한 영향이 수통지점에 비하여 상대적으로 적게 분석되었다.
- 5) 고유량에 대한 사상분석 결과, 고유량 사상의 변화는 미미한 것으로 나타났다. 저유량에 대한 사상분석 결과, 수통지점에서는 294회에서 140회로 감소하였고, 공주지점에서는 비조절 조건의 170회에서 댐 운영에 따라 4회 이하로 크게 감소한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 갈수기에 지속

적으로 하천유지유량을 방류하는 댐 운영에 따른 저유량의 증가로 인한 것으로 판단된다. 공주지점의 경우, 고유량 사상에 해당하는 사상의 변화는 미미하였으나, 저유량 사상에 해당하는 사상은 크게 변화한 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사 수자원연구원 연구과제(과제번호 : KIWE-WRE-07-15)에 의해 수행되었습니다. KModSim을 이용하여 유량 자료를 생성하여주시는 국립방재연구소의 정태성 박사님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김남원, 이정은, 이병주 (2007). "한강유역의 다목적댐 운영에 따른 유황변동 특성 분석 및 평가." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제1-B호, pp. 53-63.
- 이진원, 김형섭, 우효섭 (1993). "댐건설로 인한 5대수계 본류의 유황변화 분석." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제3호, pp. 79-91.
- 정태성, 강신욱, 고익환, 황만하 (2007). "금강유역에서의 KModSim을 이용한 의사결정지원시스템 개발 및 적용성 검토." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제3-B호, pp. 319-329.
- 한국수자원공사 (1997). **댐건설 전후의 자연환경변화에 관한 연구보고서**, WRR1-WR-97-9.
- Arthington, A.H., Bunn, S.E., Poff, N.L., and Naiman, R.J. (2006). "The challenges of providing environmental flow rules to sustain river ecosystem." *Ecological Applications*, Vol. 16, pp. 1311-1318.
- Bunn, S.E., and Arthington, A.H. (2002). "Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity." *Environmental Management*, Vol. 30, No. 4, pp. 492-507.
- Jorde, K. (2006). "Reservoir Operations and Ecosystem Losses." *Proceedings The 2nd International Workshop on River Environment*, KICT, Korea, pp. 41-66.
- Marsh, N. (2004). *River Analysis Package Users Guide*, CRC for Catchment Hydrology, Australia.
- Naiman, R.J., Magnuson, J.J., McKnight, D.M., and Stanford, J.A. (1995). *The freshwater imperative: A research agenda*. Island Press, Washington DC, pp. 165.

Sparks, R.E. (1995). "Need for ecosystem management of large rivers and floodplain." *Bioscience*, Vol. 45, pp. 168-182.

Ward, J.V., Tockner, K., and Schiemer, F. (1999). "Biodiversity of floodplain ecosystem: Ecotones

and connectivity." *Regulated Rivers Research and Management*, Vol. 15, pp. 125-139.

(논문번호:08-32/접수:2008.03.11/심사완료:2008.11.20)