우리나라 하천유역 환경변화가 유황특성에 미치는 영향 분석

Analysis of Flow Duration Characteristics due to Environmental Change in Korea River Basin

이재준* · 김영준**

Lee, Jae Joon · Kim, Young Jun

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the flow duration characteristics of Nakdong, Seomjin and Geum river due to environmental change. The water level gauging stations of Nakdong, Seomjin and Geum river were selected to analyze the change of flow duration. The construction period of multipurpose dam was considered to analyze flow duration characteristics. As the result of this study, it show that ninety-five day flow, normal flow, low flow and drought flow were increased by multipurpose dam construction at all stations except a Jukpo gauging station. Especially, improved effect of flow duration in downstream part was bigger than that in upstream and midstream part. The coefficients of river regime of Nakdong, Seomjin and Geum river were decreased and also coefficients of flow duration were decreased after the multipurpose dam construction. However decline of coefficient of flow duration was smaller than coefficient of river regime because coefficient of flow duration is less affected by maximum discharge and minimum discharge than coefficient of river regime, It was confirmed that multipurpose dam on upstream and midstream has a useful effect for improving the flow duration characteristics.

Key words : Environmental change, Flow duration, Low flow, Drought flow, Coefficient of river regime, Coefficient of flow duration

요 지

본 연구에서는 우리나라의 남해안 및 서해안으로 유입되는 주요 하천인 낙동강, 섬진강, 금강을 대상으로 다목적 댐 건설과 같은 하천환경의 변화가 하천의 상·중·하류부에 미치는 영향에 대하여 검토하기 위하여 비교적 수위자료와 수위-유량곡선 자료가 잘 구비되어 있으며, 자료의 보유년수, 관측개시일 등 양질의 자료가 축적되어 있는 지점을 대상으로 다목적 댐의 건설 시점을 기준으로 유황분석을 실시하였다. 유황의 변화를 분석한 결과 낙동강 중류부에 위치한 적포교 지점을 제외한 모든 지점에서 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 증가한 것으로 나타났으며, 하류부의 유황개선효과가 중·상류부에 비해 큰 것으로 나타났다. 하상계수와 유황계수 또한 감소된 것으로 나타났으나 유황계수의 감소폭은 하상계수에 비해 작게 나타났다. 이는 유황계수가 유량의 극치값에 대한 영향을 하상계수에 비해 작게 받기 때문인 것으로 사료되며, 본 연구를 통해서 중·상류부에 위치한 다목적 댐의 긍정적인 효과를 확인할 수 있을 것이라 판단된다.

핵심용어 : 하천 환경변화, 유황, 저수량, 갈수량, 하상계수, 유황계수

1. 서 론

우리나라의 하천은 산지가 많은 지형특성상 하천경사가 급한 편이며, 6~9월 사이에 강우량이 집중되어 하천에서의 평수량과 갈수량은 작은 반면 홍수량은 커서 수자원의 이수과 치수의 양 측면에서 어려움을 겪고 있다. 이러한 강우 및 하천 유량의 극심한 계절적 편차 때문에 우리나라의 수자원 개발은 용수의 안정적 공급과 홍수피해의 저감을 위하여 다목적 댐 개발에 초점을 맞추어 계획되었다. 하지만 다목적 댐의 인위적인 유하량 조절에 따른 홍수량의 변화 및 준설과

같은 하천정비로 인한 하상의 변화는 하류 하도와 유황의 변화 등을 발생하게 한다. 이진원과 우효섭(1992)은 우리나라 5대 주요하천의 주요지점별 유황곡선을 작성하고 하상계수를 산출하였으며, 김태균 등(2002)은 대청댐이 있는 금강유역을 대상으로 공주 수위관측소의 자료를 이용하여 댐의 건설에 따른 하류 유황변화분석을 실시하고 그 영향을 평가하였다. 김남원 등(2007)은 팔당댐을 중심으로 소양강 및 충주 다목적 댐의 운영에 따른 유황변동 특성을 SWAT-K모형으로 분석하였고, 박봉진 등(2008)은 우리나라의 11개 주요 다목적 댐의 월 유량 크기, 연 최소·최대유량 크기와 지속기간, 고·

*정회원 · 국립금오공과대학교 토목환경공학부 교수(E-mail : jhb365@kumoh.ac.kr)

**국립금오공과대학교 대학원 토목공학과 석사과정

저택과 빈도와 주기, 수문곡선 변화 비율과 빈도를 분석하였다. 이광만 등(2008)은 섬진강의 유량 변동성 검정을 통계해석을 기반으로 둔 단일변수와 집단변수, 시계열 분석방법으로 구분하여 수행하였다. 그러나 이들 기왕의 연구는 주요 하천의 1개 지점에 대한 분석만을 다룬 것이며, 이진원과 우효섭의 연구결과는 약 20년이 지난 연구결과 이므로 현재의 하천에 적용하는 데는 거리감이 있다고 판단된다. 더군다나 2010년부터는 4대강 살리기 사업으로 인하여 낙동강, 금강의 하도는 과거와는 크게 달라지고 있다. 이러한 시점에서 하천유역의 흐름특성을 재정립할 필요성은 매우 크다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 남해안 및 서해안으로 유입되는 주요 하천인 낙동강, 섬진강, 금강을 대상으로 다목적 댐 건설과 같은 하천환경의 변화가 하천의 상·중·하류부에 미치는 영향을 검토하기 위하여 비교적 수위자료와 수위-유량곡선 자료가 잘 구비되어 있으며, 자료의 보유년수, 관측개시일 등 양질의 자료가 축적되어 있는 지점을 대상으로 다목적 댐의 건설 시점을 기준으로 유황분석을 실시하였다.

2. 하천 유황분석

2.1 유황곡선

하천 환경의 변화에 따른 유황의 변화는 일 유출량의 유황곡선을 작성함으로써 파악할 수 있다. 유황곡선은 하천의 어느 한 지점에서 일정한 시간간격으로 측정된 유량의 크기와 순위 백분율의 관계를 시각적으로 나타낸 것으로 용수공급, 수력에너지 개발 및 수질관리를 위한 수문학적인 연구에 사용된다. (이재수, 2007) 유황곡선에서 유황의 기준이 되는 유량은 크게 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 있으며, 표 1은 기준이 되는 유량들의 지속일수와 초과확률을 나타낸 것이다.

2.2 하상계수

유황을 분석하는 방법은 유황곡선을 도시하는 방법 외에 하상계수를 이용하는 방법이 있다. 하상계수는 국내의 하천유황을 나타내기 위한 일반적인 지표로 사용되며, 식 (1)과 같이 연 중 최대유량과 최소유량의 비로 나타낸다. (윤태훈, 2001) 하상계수는 하천유황의 변동 정도를 나타내긴 하지만 홍수나 갈수의 유황관측 및 수위-유량곡선 자료의 신뢰도가 약하고, 최대·최소유량에 대하여 매우 민감하게 반응하기 때문에 하천의 유황을 대표하기에는 무리가 있다.

$$\text{하상계수} = \frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} \quad (1)$$

여기서, $Q_{\max}$: 연중 최대유량, $Q_{\min}$: 연중 최소유량

표 1. 유황에 따른 지속일수와 초과확률

구분	풍수량	평수량	저수량	갈수량
지속일수(일)	95	185	275	355
초과확률(%)	26	50.7	75.3	97.3

2.3 유황계수

유량의 극치값에 민감한 하상계수의 문제점을 보완하고자 이진원 등(1993)은 하상계수를 개선한 유황계수를 제시하였으며, 식 (2)와 같이 홍수량의 대표치로 유지일수 10일에 해당하는 유량과 갈수량의 대표치로 유지일수 355일에 해당하는 유량의 비로 유황계수를 정의하였다.

$$\text{유황계수} = \frac{Q_{10}}{Q_{355}} \quad (2)$$

여기서, Q_{10} : 홍수량의 대표치로 유지일수 10일에 해당하는 유량, Q_{355} : 갈수량의 대표치로 유지일수 355일에 해당하는 유량

3. 대상유역 및 관측자료의 검정

3.1 대상유역의 현황

본 연구에서는 남해안과 서해안으로 유입되는 대하천인 낙동강, 섬진강, 금강을 대상하천으로 설정하여 하천의 환경변화에 큰 원인이 되는 다목적 댐 건설에 따른 유황의 특성변화를 분석하기 위하여 각 대상하천의 개항과 다목적 댐 건설현황을 다음과 같이 조사하였다.

낙동강은 영남지방 전역을 유역권으로 하며, 유로연장 506.2 km, 유역면적 23,384.2 km²으로서 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐과 같이 4개의 다목적 댐, 영천댐, 구천댐, 운문댐 등과 같은 8개의 용수전용댐이 위치하고 있다. 섬진강은 유로연장 213.3 km, 유역면적 4,869.5 km²으로 전라북도 남동부와 전라남도 북동부를 유역권으로 하며, 섬진강댐, 주암댐과 같은 2개의 다목적 댐과 용수전용댐인 수어댐이 위치하고 있다. 금강은 유로연장 394.8 km, 유역면적 9,912.2 km²으로 용담댐, 대청댐과 같은 2개의 다목적 댐이 위치하고 있다.

하천환경의 변화에 따른 하천의 유황특성은 어느 한 지점에서 분석된 결과를 일반화하여 적용하기는 힘들다고 생각된다. 따라서 본 연구에서는 대상하천의 유로연장을 기준으로 상·중·하류부로 구분하고 구분된 상·중·하류부 내에서 주요관측지점을 설정하여 유황의 특성을 분석하였다. 그림 1~그림 3은 본 연구에서 설정한 각 대상하천의 상·중·하류부의 주요관측지점과 다목적댐의 위치를 도시한 것이며, 대상지점의 현황과 다목적댐의 현황을 표 2와 표 3에 나타내었다.

낙동강은 표 2와 같이 상류부 지점으로 지보, 중류부 지점으로 적포교, 하류부 지점으로 삼랑진을 설정하였다. 지보 지점은 그림 1에서 보는 바와 같이 지점을 중심으로 상류에 위치한 안동댐과 임하댐의 영향을 받으나, 관측개시일이 1988년인 점을 감안해 볼 때 안동댐 건설시기인 1971년~1977년의 영향을 고려할 수 없으므로, 본 연구에서는 임하댐 건설에 대한 영향만을 고려하였다. 적포교 지점은 지점 상류에 위치한 다목적 댐인 안동댐, 임하댐, 합천댐에 대한 영향을 받고 있으며, 관측개시일은 1980년이다. 적포교 지점 또한 지보 지점과 같이 관측개시일의 특성상 안동댐 건설에 대한 영향을 배제하였으며, 임하댐, 합천댐의 건설에 대한 영향만을 고려하여 유황의 특성을 분석하였다. 삼랑진 지점은 낙동강의

그림 1. 낙동강의 다목적 댐 및 수위관측 지점의 위치

그림 2. 섬진강의 다목적 댐 및 수위관측 지점의 위치

그림 3. 금강의 다목적 댐 및 수위관측 지점의 위치

표 2. 분석 대상지점의 현황

대상하천	지점명	수위관측 개시년도	위치	하구로부터의 거리 (km)
낙동강	지보	1988	경상북도 예천군 지보면 매창리 풍지교	307.7
	적포교	1980	경상남도 합천군 청덕면 양진리 적포교	112.4
	삼랑진	1955	경상남도 밀양시 삼랑진읍 삼랑리 삼랑진교	49.7
섬진강	압록	1917	전라남도 곡성군 옥곡면 압록	62.7
	하동	1919	경상남도 하동군 하동읍 읍내	15.2
금강	수통	1962	충청남도 금산군 부리면 수통	305.0
	규암	1915	충청남도 부여군 규암면 규암 백제대교	53.3

최 하류부에 위치한 만큼 상류의 다목적 댐인 안동댐, 임하댐, 합천댐, 남강댐의 영향을 받고 있으며 관측개시일 또한 안동댐 건설 전인 1955년으로 4개 다목적 댐 모두에 대한 영향을 고려해야하는 지점이다.

섬진강은 표 2와 같이 상류부를 제외하고 중류부에 위치한 압록 지점과 하류부의 하동 지점에 대해 유황을 분석하였는데, 상류부의 경우 유황분석에 필수적인 요소인 수위자료 및 수위-유량관계식을 보유하고 있는 관측지점이 없기 때문에 본 연구에서 제외하였다. 섬진강 중류부의 압록 지점은 1917년 수위관측을 개시하여 1961년~1965년에 건설된 섬진강댐의 영향을 받고 있는 지점이며, 하류부의 하동 지점은 1919년 수위관측을 개시하여 상류에 위치한 다목적 댐인 섬진강댐, 주암댐의 영향을 받는 지점이다.

금강은 섬진강과 달리 중류부에 위치한 주요관측지점의 자료부족을 이유로 본 연구에서 제외하였으며, 상류부의 수통 지점과 하류부의 규암 지점을 대상지점으로 선정하였다. 수통 지점은 1962년 관측을 개시하여 1992년~1997년에 건설된 용담댐의 영향을 고려해야하는 지점이며, 규암 지점은 1915년 관측을 개시하였으며, 상류의 용담댐과 대청댐의 영향을 받고 있는 지점이다.

3.2 관측자료의 검정

3.2.1 수위자료

본 연구에서 선정한 하천의 주요관측지점의 수위자료는 매년 국토해양부에서 발간되는 한국수문조사년보를 이용하여 수집하였으며, 수집자료를 분석하여 결측일수가 연속 5일 이상

표 3. 다목적댐의 현황

대상하천	다목적 댐	다목적 댐 준공년도	다목적 댐 완공년도
낙동강	안동댐	1971. 04	1977. 05
	합천댐	1982. 04	1989. 12
	임하댐	1984. 12	1992. 06
	남강댐	1989. 11	1997. 11
섬진강	섬진강댐	1961. 08	1965. 12
	주암댐	1984. 09	1992. 12
금강	대청댐	1975. 03	1981. 06
	용담댐	1992. 10	1997. 12

이거나, 연간 결측일수가 10일 이상인 것과 같이 자료의 신뢰성에 문제가 있을 시에는 연구자료에서 제외하였다. 또한 하상계수와 같이 유황특성 값에 영향을 미칠 수 있는 저수위 자료는 변동이 극심한 경우 수위 데이터의 오측으로 판단하고 일 수위 자료를 이용하여 보정하는 등 유황분석에서 가장 중요한 수집자료에 대한 검정을 수행하였다. 표 4는 본 연구의 대상하천별 주요지점에 대해 수집한 수위자료에 대한 현황을 나타낸 것이다.

3.2.2 수위-유량곡선

수위자료와 마찬가지로 수위-유량곡선은 유황분석에 있어서 중요한 기초자료이다. 본 연구에서는 대상관측 지점에 대한 수위-유량곡선 자료를 수집하였으며, 표 5는 본 연구에서 수집한 수위-유량관계곡선 중 낙동강, 섬진강, 금강 하류부에

표 4. 본 연구에 사용된 일수위자료 보유현황

대상하천	지점명	분석기간(년)	결측년도	댐 건설 영향지점
낙동강	지보	1989~1992	1988	임하댐 공사 중
		1993~2007	2007	임하댐 건설 후
	적포교	1981	1980	합천댐 건설 전
		1982~1984	-	합천댐 공사 중
		1985~1989	-	합천댐 및 임하댐 공사 중
		1990~1992	-	합천댐 건설 후 및 임하댐 공사 중
		1993~2007	-	임하댐 건설 후
	삼랑진	1965~1970	1962~1964	안동댐 건설 전
		1971~1977	-	안동댐 공사 중
		1978~1981	-	안동댐 건설 후
		1982~1989	1984, 1988	합천댐 및 임하댐 공사 중
		1990~1992	-	합천댐 및 남강댐 공사 중
		1993~1997	-	임하댐 건설 후 및 남강댐 공사 중
		1998~2007	1999, 2001	남강댐 건설 후
섬진강	압록	1962~1965	-	섬진강댐 공사 중
		1966~2007	1975	섬진강댐 건설 후
	하동	1962~1965	-	섬진강댐 공사 중
		1966~1984	1975, 1978~1980	섬진강댐 건설 후
		1985~1992	1986~1990	주암댐 공사 중
		1993~2007	1995	주암댐 건설 후
금강	수통	1965~1992	1962~1964, 1971	용담댐 건설 전
		1993~1997	-	용담댐 공사 중
		1998~2006	2007	용담댐 건설 후
	규암	1962~1974	-	대청댐 건설 전
		1975~1981	-	대청댐 공사 중
		1982~1991	-	대청댐 건설 후
		1992~1997	-	용담댐 공사 중
		1998~2007	2005	용담댐 건설 후

표 5. 대상지점에 적용한 수위-유량관계곡선식

지점명	수위-유량관계식	적용수위(m)	적용기간 (년)	인용문헌 (한국수문조사년보, 년)
삼랑진	$Q=1.5594(h+0.78)^{5.4202}$ $Q=419.6968(h-0.06)^{1.4252}$	$h<0.84$ $h\geq 0.84$	1962~1987	1986
	$Q=419.6968(h-0.06)^{1.4252}$ $Q=155.4292(h+0.33)^{1.9478}$	$0.84<h<5.8$ $5.8<h<7.1$	1988~1992	1988
	$Q=403.7623(h-0.21)^{1.4922}$	$0.96\leq h\leq 6.97$	1993~1997	1993
	$Q=1,845.634(h-1.15)^{1.20719}$ $Q=1,127.394(h-1.15)^{0.93546}$	$1.3\leq h<1.5$ $1.5\leq h<8.31$	1998~1999	1998
	$Q=2727.686(h-1.089)^{1.744}$ $Q=1,334.252(h-1.011)^{0.97}$	$1.3<h\leq 1.55$ $1.55<h\leq 8.65$	2000~2007	2000
하동1	$Q=25.6554(h-0.0205)^{2.7944}$	$0.693\leq h\leq 7.535$	1962~1989	2002
하동2	$Q=16.013(h+1.7)^{2.2032}$	$0.85<h<3.5$	1991~1993	1988
	$Q=425.125(h-0.421)$	$0.46<h<2.6$	1994~1995	1994
	$Q=0.80846(H+1.31)^{4.47021}$ where, $H=h+1$	$0.83<H<4.85$	1996	1996
	$Q=23.4664(H-0.0224)^{2.8267}$ where, $H=h+1$	$-0.166\leq H\leq 5.59$	1997~1998	1997
	$Q=35.3313(H-0.2066)^{2.6531}$ where, $H=h+2$	$-1.188\leq H\leq 5.055$	1999~2000	2000
	$Q=24.236(H-0.0561)^{2.8183}$ $Q=146.3324(H-0.9824)^2$ where, $H=h+2$	$-1.2\leq h\leq 4.007$ $4.007<h\leq 5.005$	2001~2005	2001
	$Q=16.8(h-0.8)^{2.2}$ $Q=1.902(h-0.5)^{5.5}$ $Q=32.721(h+0.11)^{2.582}$	$h\leq 2.20$ $2.20<h\leq 3.56$ $3.56<h\leq 6.6$	2006~2007	2006
규암	$Q=7.657(h+1.00)^{3.172}$	$-0.12\leq h\leq 7.9$	1962~1983	1994
	$Q=44.202(h+1.523)^{2.264}$	$-0.12\leq h\leq 8.1$	1984~1991	1994
	$Q=33.5857(h+0.28)^{2.3755}$	$1.2\leq h\leq 7.0$	1992~1994	1993
	$Q=41.285(h+0.682)^{2.222}$	$0..80\leq h\leq 10.12$	1995~1997	1997
	$Q=232.791(h-0.143)^{1.495}$	$0.65\leq h\leq 7.81$	1998~2000	1999
	$Q=585.356(h-0.607)^{0.941}$	$0.65\leq h\leq 8.16$	2001~2004	2001
	$Q=78.701(h+0.11)^{3.998}$ $Q=27.119(h+2.467)^{2.350}$	$0.70\leq h\leq 1.65$ $1.65<h\leq 6.95$	2006~2007	2006

그림 4. 수위-유량관계곡선 (삼랑진)

위치한 관측 지점에 대한 수위-유량관계곡선식을 대표적으로 수록한 것이다. 수집된 자료를 분석하여 그림 4에서 보듯이 삼랑진 지점의 1996년, 2004년 수위-유량관계식과 같이 다른 수위-유량관계식과 비교하여 지나치게 낮거나, 변동이 심한 경우 관계식의 오류로 보고 적용대상에서 제외하였다.

4. 하천환경 변화에 대한 유황특성 분석

본 장에서는 다목적 댐 건설과 같은 하천환경의 변화가 하천의 유황특성에 미치는 영향을 분석하고자 본 연구에서 선정한 대상하천의 상·중·하류부 주요관측지점에 대해 다목적 댐의 건설시점을 고려하여 건설 전·중·후로 구분 짓고 각 시점에 대한 유황특성을 파악하기 위해 유황곡선, 하상계수, 유황계수를 산정해 보았다.

4.1 유황곡선

1) 낙동강

표 6은 낙동강의 상·중·하류부 주요관측지점별 다목적 댐 건설 시점에 대한 유황곡선의 분석결과를 도시한 것이며, 그림 5~그림 7은 표 6의 결과를 도시한 것이다.

낙동강의 지보 지점은 임하댐의 건설로 인하여 풍수량, 평

그림 5. 다목적 댐 건설에 따른 유황곡선의 변화 (지보)

그림 6. 다목적 댐 건설에 따른 유황곡선의 변화 (적포교)

수량, 저수량, 갈수량이 임하댐 공사 중에 비해 각각 $14.5 \text{ m}^3/\text{s}$, $6 \text{ m}^3/\text{s}$, $4.6 \text{ m}^3/\text{s}$, $9.9 \text{ m}^3/\text{s}$ 만큼 증가한 것으로 나타났으며, 중류부의 적포교 지점은 합천댐과 임하댐의 건설 전에 비하여 건설 후의 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 각각 $42.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 증가, $8.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 감소, $19.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 감소, $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 만큼 증가한 것으로 나타났다. 낙동강의 하류부에 위치한 삼랑진 지점은 안동댐, 합천댐, 임하댐, 남강댐의 건설 후에 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 다목적 댐의 건설 전에 비하여 각각

표 6. 유황분석 결과 (낙동강)

지점명	유황분석 기간	풍수량(m^3/s) (변화량(%))	평수량(m^3/s) (변화량(%))	저수량(m^3/s) (변화량(%))	갈수량(m^3/s) (변화량(%))
지보	임하댐 공사 중	59.2 (0.0)	35.7 (0.0)	21.5 (0.0)	9.2 (0.0)
	임하댐 건설 후	73.7 (19.7)	41.7 (14.4)	26.1 (+17.6)	19.1 (51.8)
적포교	합천댐 건설 전	148.0 (0.0)	110.4 (0.0)	94.1 (0.0)	61.4 (0.0)
	합천댐 공사 중	159.5 (7.2)	106.7 (-3.4)	71.7 (-31.2)	50.4 (-21.8)
	합천댐 및 임하댐공사 중	214.0 (25.5)	122.5 (12.9)	91.5 (21.6)	65.8 (23.4)
	합천댐 건설 후 및 임하댐공사 중	240.0 (10.8)	130.3 (6.0)	91.8 (0.3)	65.8 (0.0)
	임하댐 건설 후	190.4 (-26.1)	101.8 (-28.0)	74.5 (-23.2)	62.9 (-4.6)
삼랑진	안동댐 건설 전	441.8 (0.0)	173.1 (0.0)	15.9 (0.0)	10.3 (0.0)
	안동댐 공사 중	411.0 (-7.5)	141.3 (-22.5)	14.0 (-13.6)	10.5 (1.9)
	안동댐 건설 후	839.4 (51.0)	475.9 (70.3)	386.5 (96.4)	224.5 (95.3)
	합천댐 및 임하댐 공사 중	560.8 (-49.7)	337.5 (-41.0)	192.9 (-100.4)	149.7 (-50.0)
	임하댐 및 남강댐 공사 중	457.4 (-22.6)	382.2 (11.7)	349.9 (44.9)	313.3 (52.2)
	임하댐 건설 후 및 남강댐 공사 중	487.5 (6.2)	428.2 (10.7)	384.7 (9.0)	301.8 (-3.8)
	남강댐 건설 후	598.3 (18.5)	426.8 (-0.3)	351.7 (-9.4)	262.7 (-14.9)

그림 7. 다목적 댐 건설에 따른 유황곡선의 변화 (삼랑진)

156.5 m³/s, 253.7 m³/s, 335.8 m³/s, 252.4 m³/s만큼 증가한 것으로 나타났다. 그림 7에서 보는 바와 같이 삼랑진 지점은 다목적 댐의 건설 전에 비하여 건설 후의 유황곡선 기울기가 감소한 것을 알 수 있으며, 특히 저수량과 갈수량의 증가폭이 지보, 적포교 지점에 비하여 크게 나타났고, 유황곡선의 기울기 역시 다목적 댐 건설 전에 비해 작아진 것을 확인할 수 있다.

2) 섬진강

표 7은 섬진강의 중·하류부 주요관측지점별 다목적 댐 건설 시점에 대한 유황곡선의 결과를 도시한 것이며, 그림 8~그림 9는 표 7의 결과를 도시한 것이다.

섬진강 중류부의 압록 지점은 섬진강댐 건설 후의 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 공사 중에 비하여 각각 1.1 m³/s, 2.3 m³/s, 2.0 m³/s, 1.4 m³/s만큼 증가한 것으로 나타났다. 그림 8에서 보는 바와 같이 압록 지점은 섬진강댐의 건설로 인하여 홍수량은 감소하고, 저수량과 갈수량은 증가한 것을 알 수 있으며, 유황곡선의 기울기 역시 섬진강댐의 건설 전에 비하여 완만해 졌음을 알 수 있다. 섬진강의 하류부에 위치한 하동 지점은 섬진강댐과 주암댐의 건설 후의 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 건설 전에 비해 각각 252.8 m³/s, 252.2 m³/s, 237.2 m³/s, 174.2 m³/s만큼 증가한 것으로 나타났다.

3) 금강

표 8은 금강의 상류부와 하류부 주요관측지점별 다목적 댐 건설 시점에 대한 유황곡선의 결과를 도시한 것이며, 그림 10~그림 11은 표 8의 결과를 도시한 것이다.

그림 8. 다목적 댐 건설에 따른 유황곡선의 변화 (압록)

그림 9. 다목적 댐 건설에 따른 유황곡선의 변화 (하동)

금강 상류부의 수통 지점은 용담댐 건설 후가 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 건설 전에 비하여 각각 60.3 m³/s, 43.7 m³/s, 40.0 m³/s, 31.0 m³/s만큼 증가하였으며, 그림 10을 보면 수통 지점의 풍수량은 용담댐 건설 후에 증가한 것으로 나타났지만 유황곡선의 기울기가 감소되고 저수량과 갈수량이 증가했다는 점에서 용담댐의 건설이 수통 지점의 유황을 안정화 시키는데 기여한 것을 알 수 있다. 하류부의 규암 지점은 대청댐과 용담댐의 영향으로 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 각각 139.9 m³/s, 107.4 m³/s, 66.5 m³/s, 57.3 m³/s만큼 증가한 것으로 나타났다.

이상에서 보는 바와 같이 낙동강의 삼랑진, 섬진강의 하동, 금강의 규암 지점과 같이 각 하천별로 비교적 큰 유량이 통수되는 하류부에 위치한 관측 지점에서 다목적 댐 건설로 인한 유황의 변화가 상류부에 비해 뚜렷이 나타나고 있으며, 그림 7, 그림 9, 그림 11에서 보는 바와 같이 다목적 댐 건설 이후 유황곡선의 기울기가 감소한 것으로 하천의 유황이 개선되고 있음을 짐작할 수 있을 것이다.

표 7. 유황분석 결과 (섬진강)

지점명	유황분석 기간	풍수량(m ³ /s) (변화량(%))	평수량(m ³ /s) (변화량(%))	저수량(m ³ /s) (변화량(%))	갈수량(m ³ /s) (변화량(%))
압록	섬진강댐 공사 중	24.0 (0.0)	13.3 (0.0)	9.6 (0.0)	6.5 (0.0)
	섬진강댐 건설 후	25.1 (4.4)	15.6 (14.7)	11.6 (17.2)	7.9 (17.7)
하동	섬진강댐 공사 중	408.8 (0.0)	294.3 (0.0)	224.2 (0.0)	157.7 (0.0)
	섬진강댐 건설 후	333.4 (-22.6)	257.7 (-14.2)	202.1 (-10.9)	147.6 (-6.8)
	주암댐 공사 중	201.8 (-65.2)	149.3 (-76.6)	108.0 (-87.1)	81.9 (-80.2)
	주암댐 건설 후	661.6 (69.5)	546.5 (72.7)	461.4 (76.6)	331.9 (75.3)

표 8. 유황분석 결과 (금강)

지점명	유황분석 기간	풍수량(m³/s) (변화량(%))	평수량(m³/s) (변화량(%))	저수량(m³/s) (변화량(%))	갈수량(m³/s) (변화량(%))
수통	용담댐 건설 전	57.5 (0.0)	31.1 (0.0)	18.5 (0.0)	11.9 (0.0)
	용담댐 공사 중	39.6 (-45.2)	25.7 (25.7)	9.6 (-92.7)	4.3 (-176.7)
	용담댐 건설 후	117.8 (66.4)	74.8 (74.8)	58.5 (83.6)	42.9 (90.0)
규암	대청댐 건설 전	124.6 (0.0)	35.2 (0.0)	19.4 (0.0)	13.2 (0.0)
	대청댐 공사 중	158.2 (21.2)	54.4 (35.3)	30.8 (37.0)	25.1 (47.4)
	대청댐 건설 후	227.1 (30.3)	85.3 (36.2)	45.0 (31.6)	31.7 (20.8)
	용담댐 공사 중	185.0 (-22.8)	100.2 (14.9)	67.2 (33.0)	45.1 (29.7)
	용담댐 건설 후	264.5 (30.1)	142.6 (29.7)	85.9 (21.8)	70.5 (36.0)

그림 10. 다목적 댐 건설에 따른 유황곡선의 변화 (수통)

그림 11. 다목적 댐 건설에 따른 유황곡선의 변화 (규암)

4.2 하상계수

대상하천의 주요관측지점에 대한 다목적 댐 건설 시점을 기준으로 경년별 하상계수를 산정하여 최소와 최대치의 범위와 산술평균치를 표 9와 같이 나타내었다.

낙동강 상·중·하류부의 평균 하상계수는 133, 96, 45로 나타났으며, 전체평균 하상계수는 91로 나타났다. 낙동강의 지보 지점은 임하댐 건설 전·후를 비교하여 볼 때 평균 하상계수가 약 52% 감소되었으며, 하상계수의 최소·최대치의 범위도 줄어든 것을 알 수 있다. 적포교 지점의 평균 하상계수는 합천댐의 건설로 인하여 약 48% 감소하고, 임하댐의 건설 후가 합천댐 건설 전에 비해 약 64% 증가하였으나 합천댐과 임하댐의 건설 전에 비해 건설 후의 평균 하상계수가 약 20% 감소한 것으로 나타났다. 삼랑진 지점의 평균 하상계수는 안동댐의 건설로 인하여 약 54% 감소한 것을 알 수 있으며, 이후 합천댐, 임하댐, 남강댐 건설이 건설되면서 약 93% 감소한 것으로 보아 하천의 중·상류부에 위치한 다목

적 댐의 건설이 하천 하류부의 유황을 안정화 시키는데 기여하고 있음을 짐작 할 수 있었다.

섬진강의 중·하류부의 평균 하상계수는 각각 35, 4로 나타났으며, 전체평균 하상계수는 191로 나타났다. 섬진강의 압록 지점에 대한 하상계수 범위는 섬진강댐 건설 후와 공사 중을 비교해 볼 때 최소치는 감소하고 최대치는 증가하는 결과가 나타났지만, 평균 하상계수는 약 46% 감소되었다. 하동 지점 역시 섬진강댐 건설 후 최소치는 감소되고 최대치는 증가하는 하상계수의 범위를 보였지만, 평균 하상계수는 감소되었으며, 주암댐이 건설된 후로도 평균 하상계수의 감소가 지속되는 것으로 보아 다목적 댐 건설로 인한 유황의 개선 효과가 뚜렷함을 알 수 있다.

금강의 상·하류부의 평균 하상계수는 각각 105, 87로 나타났으며, 전체평균 하상계수는 96으로 나타났다. 금강의 수

표 9. 대상지점의 하상계수

대상 하천	지점명	적용기간	하상계수 (범위)	하상계수 (평균)
낙동강	지보	임하댐 공사 중('89~'92)	194.1~436.8	278.5
		임하댐 건설 후('93~'06)	32.9~269.7	133.0
	적포교	합천댐 건설 전('81)	119.2	119.2
		합천댐 건설 후('90~'92)	34.7~93.6	61.8
	삼랑진	임하댐 건설 후('93~'07)	29.5~304.6	95.5
		안동댐 건설 전('65~'70)	327.2~1237.2	679.2
		안동댐 건설 후('78~'81)	17.9~807.7	311.4
		합천댐 건설 후('90~'92)	8.2~42.2	23.7
		임하댐 건설 후('93~'97)	3.6~27.4	20.0
		남강댐 건설 후('98~'07)	21.4~80.2	45.0
섬진강	압록	섬진강댐 공사 중('62~'65)	435.2~838.8	672.3
		섬진강댐 건설 후('66~'07)	19.6~1,316.6	360.3
	하동	섬진강댐 공사 중('62~'65)	39.0~82.0	59.9
		섬진강댐 건설 후('66~'84)	12.0~617.0	47.8
		주암댐 건설 후('98~'07)	9.0~291.0	20.5
금강	수통	용담댐 건설 전('65~'92)	37.9~1,049.8	238.4
		용담댐 건설 후('98~'07)	8.2~387.0	105.1
	규암	대청댐 건설 전('62~'74)	13.9~529.9	365.5
		대청댐 건설 후('82~'91)	39.7~302.8	136.7
		용담댐 건설 후('98~'07)	119.8~266.9	87.4

그림 12. 다목적 댐 건설로 인한 하상계수의 변화

통 지점은 용담댐 건설로 인하여 평균 하상계수가 약 56% 감소하였으며, 규암 지점 또한 대청댐과 용담댐 건설의 영향으로 평균 하상계수가 약 63% 감소한 것으로 나타났다. 규암 지점 역시 섬진강의 하동 지점과 마찬가지로 다목적 댐의 추가적인 건설로 인하여 하상계수의 감소가 지속됨을 보여 주었다.

이상에서 보는 바와 같이 낙동강, 섬진강, 금강 모두 다목적 댐의 영향으로 평균 하상계수가 감소하는 것과 같이 하천의 유황이 개선되고 있음을 시사하고 있었으며, 특히 낙동강 하류부에 위치한 삼랑진 지점의 경우 중·상류부의 지보와 적포교 지점에 비하여 하상계수의 감소폭이 크게 나타나 다목적 댐 건설이 하천 하류부 유황을 안정시키는데 기여하고 있음 확인할 수 있었다.

그림 12는 대표적으로 대상하천의 하류부 주요관측지점에서 산정한 평균 하상계수를 경년별로 도시한 것으로서, 삼랑진, 하동, 규암 지점 모두 다목적 댐 건설 후에 수치적인 차이는 있으나, 추세는 감소됨을 그림을 통해서도 알 수 있다.

4.3 유황계수

표 10은 표 9의 하상계수와 마찬가지로 대상하천별 주요관측지점에 대한 다목적 댐 건설시점을 기준으로 산정한 유황계수의 최소·최대치의 범위와 평균 유황계수를 나타낸 것이다.

표 10을 살펴보면 낙동강의 상류부에 위치한 지보 지점의 경우 임하댐의 건설 후 유황계수 범위가 건설 전에 비해 최소치는 감소하고 최대치는 증가하였으나 평균 유황계수는 30%가량 감소된 것을 알 수 있었다. 중류부의 적포교 지점은 합천댐만의 영향만을 고려한 경우 평균 유황계수가 약 3% 감소한 것으로 나타났지만, 임하댐의 영향까지 고려하면 유황계수의 최소치는 작아지는 반면, 최대치는 증가하였고, 평균 유황계수가 오히려 약 24% 증가되는 것을 볼 수 있다. 하류부의 삼랑진 지점은 평균 유황계수가 상류 4개의 다목적 댐이 모두 건설된 후에 약 95% 감소되었으며, 안동댐의 영향으로 인한 평균 유황계수의 감소폭이 가장 큰 것으로 나타났다.

섬진강 중류부의 압록 지점은 평균 유황계수가 섬진강댐 건설로 인해 최소치는 감소하고 최대치는 증가하는 범위변동을 보였으며, 평균 유황계수는 약 62% 감소되었다. 하류부의 하동 지점은 섬진강댐과 주암댐의 건설 후에 약 80%의 평균

표 10. 대상지점의 유황계수

대상 하천	지점명	적용기간	유황계수 (범위)	유황계수 (평균)
낙동강	지보	임하댐 공사 중('89~'92)	24.1~46.2	34.9
		임하댐 건설 후('93~'06)	4.6~88.9	24.5
	적포교	합천댐 건설 전('81)	26.0	26.0
		합천댐 건설 후('90~'92)	13.4~40.5	25.1
		임하댐 건설 후('93~'07)	9.4~114.4	30.0
	삼랑진	안동댐 건설 전('65~'70)	129.9~541.4	348.3
		안동댐 건설 후('78~'81)	6.5~408.5	150.3
		합천댐 건설 후('90~'92)	3.8~10.4	7.8
		임하댐 건설 후('93~'97)	1.7~11.3	6.5
		남강댐 건설 후('98~'07)	8.8~41.6	21.2
섬진강	압록	섬진강댐 공사 중('62~'65)	70.7~146.0	93.3
		섬진강댐 건설 후('66~'07)	5.8~337.5	35.0
	하동	섬진강댐 공사 중('62~'65)	14.0~35.0	19.9
		섬진강댐 건설 후('66~'84)	5.0~30.0	10.2
		주암댐 건설 후('98~'07)	2.0~43.0	3.8
금강	수통	용담댐 건설 전('65~'92)	7.6~300.9	47.6
		용담댐 건설 후('98~'07)	3.6~52.4	26.6
	규암	대청댐 건설 전('62~'74)	16.9~201.1	75.2
		대청댐 건설 후('82~'91)	8.8~64.1	34.6
		용담댐 건설 후('98~'07)	5.1~78.2	26.4

그림 13. 다목적 댐 건설로 인한 유황계수의 변화

유황계수의 감소를 보였으며, 유황계수의 범위 또한 최소·최대치 모두 감소되었다.

금강의 수통 지점은 용담댐 건설 전에 비해 건설 후의 평균 유황계수가 약 45% 감소되었으며, 유황계수의 범위도 감소된 것을 알 수 있다. 금강 하류부의 규암 지점은 대청댐과 용담댐의 건설로 인하여 약 65%의 평균 유황계수 감소를 보였으며, 대청댐 건설 이후 용담댐의 건설까지 다목적 댐의 증가로 인하여 평균 유황계수가 지속적으로 감소되는 것을 알 수 있었다.

적포교 지점을 제외한 주요관측지점에서 유황계수도 하상계수와 마찬가지로 감소되는 경향을 보여 주었으며, 특징적으로 낙동강 삼랑진 지점의 유황계수 감소폭은 다른 지점들에 비하여 상당히 크게 나타났으나 하상계수의 감소폭은 그리

표 11. 대상하천에 대한 기왕의 연구결과와 본 연구결과와의 비교

대상하천	하상계수		유황계수	
	기왕의 연구	본 연구	기왕의 연구	본 연구
낙동강	진동	삼랑진	진동	삼랑진
	260.0	311.4(45.0)	65.0	150.3(21.2)
섬진강	송정	하동	송정	하동
	270.0	47.8(20.5)	66.0	10.2(3.8)
금강	공주	규암	공주	규암
	190.0	136.7(87.4)	47.0	34.6(26.4)

()안의 값은 대상하천에 대한 모든 다목적댐 건설 후의 결과임

크지 않았다. 이러한 사실은 하천의 극단적인 유량에 해당하는 갈수량과 홍수량을 사용하는 하상계수의 특징적인 영향으로 사료되며, 유황분석에서는 유황계수와 같이 홍수량 및 갈수량의 대표치를 이용하여 산정하는 것이 바람직하다고 할 수 있을 것이다. 그림 13은 각 대상하천 하류부 지점의 유황계수 산정결과를 도시한 것으로서, 그림 12의 하상계수와 추세는 유사하게 나타났다.

4.4 비교 및 고찰

본 절에서는 1993년 이진원 등이 낙동강의 진동 지점(안동댐의 영향고려), 섬진강의 송정 지점(섬진강댐 영향 고려), 금강의 공주 지점(대청댐 영향 고려)에 대해 유황을 분석하여 발표한 연구결과와 본 연구의 결과를 정량적으로 비교해 보았다. 기왕의 연구결과와 대상지점이 동일하지는 않지만 동일한 다목적 댐의 영향만을 고려한 결과와 대상 지점을 중심으로 상류부에 위치한 모든 다목적 댐의 영향을 고려한 결과(괄호 안의 수치)를 표 11에 나타내었다. 표 11에서 보는 바와 같이 동일한 다목적 댐의 영향만을 고려한 경우 낙동강을 제외하고 섬진강과 금강의 분석 지점에 대한 하상계수와 유황계수는 기왕의 연구결과보다 작게 나타났으며, 대상하천 상류부의 모든 다목적 댐에 대한 영향을 고려한 경우는 기왕의 연구결과와 큰 차이를 보이고 있을 수 알 수 있다. 따라서 다목적 댐 건설과 같은 하천환경의 변화는 하천의 유황특성을 크게 변화시키는 것을 시사한다.

5. 결 론

본 연구에서는 남해안과 서해안으로 유입되는 하천 중 낙동강, 금강, 섬진강을 대상으로 다목적 댐 건설과 같은 하천 환경변화에 대한 하천 상·중·하류부의 유황특성을 유황곡선, 하상계수, 유황계수를 이용하여 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 하천환경변화에 따른 유황의 변화를 파악하기 위하여 유황곡선을 작성한 결과 낙동강 중류부에 위치한 적포교 지점을 제외한 모든 지점에서 유황곡선의 기준이 되는 유량인 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량이 증가하였으며, 중·상류부에 위치한 지점에 비해 하류부에 위치한 지점의 증가량이 크게 나타나 다목적 댐의 유황개선 효과

를 확인할 수 있었다. 특히 낙동강 하류부에 위치한 삼랑진 지점의 저수량은 $252.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 증가를 보였다.

- 2) 다목적 댐의 건설시점을 중심으로 대상지점에 대한 경년별 하상계수의 범위와 평균 하상계수를 산정해 본 결과 평균 하상계수는 전반적으로 감소하는 추세를 보였으며, 낙동강의 삼랑진 지점이 93%의 감소로 가장 높으며, 섬진강과 금강의 경우에도 평균 57%의 감소폭을 유지하고 있었다. 또한 낙동강, 섬진강, 금강의 평균 하상계수는 각각 91, 191, 96으로 나타나 현재 우리가 사용하고 있는 낙동강(260), 섬진강(390), 금강(300)의 하상계수(윤태훈, 2001)는 변경되어야 할 것으로 생각된다.
- 3) 하상계수와 동일한 방법으로 하천의 유황계수를 산정해 본 결과 하상계수와 마찬가지로 전반적으로는 감소하는 경향을 보여주었으나, 감소폭은 하상계수에 비해 크지 않았으며 낙동강, 섬진강, 금강의 평균 유황계수는 각각 25, 20, 27로 나타났다.
- 4) 기왕의 유황분석 결과와 비교해 볼 때 동일한 다목적 댐의 영향을 고려할 경우는 낙동강의 삼랑진 지점이 기왕의 연구결과보다 큰 하상계수와 유황계수를 나타내었으나, 하천의 모든 다목적 댐에 대한 영향을 고려한 경우는 하상계수와 유황계수가 모든 지점에서 큰 폭으로 감소함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 성과로서 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 국토해양부 (1962-2007) **한국수문조사연보**.
 김남원, 이정은, 이병주 (2007) 한강유역의 다목적 댐 운영에 따른 유황변동 특성 분석 및 평가, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제27권, 제1B호, pp. 53-63.
 김태균, 윤용남, 안재현 (2002) 댐 건설에 따른 하류 유황의 변화 분석, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제6호, pp. 807-816.
 박봉진, 강기호, 정관수 (2008) 수표변화 지표법에 의한 다목적 댐의 유황변화 분석, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제7호, pp. 711-723.
 윤태훈 (2001) **응용수문학**, 청문각
 이광만, 윤라영, 이승윤 (2008) 섬진강의 유황변화 통계 검정, **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제41권, 제10호, pp. 1067-1077.
 이재수 (2007) **수문학**, 구미서관
 이진원, 김형섭, 우효섭 (1993) 댐建設로 인한 5大水系 本流의 流況變化 分析, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제13권, 제3호, pp. 79-91.
 이진원, 우효섭 (1992) 우리나라 주요하천의 유황분석, **제34회 수공학 연구발표회 논문집**, 한국수문학회, pp. 177-186.

© 논문접수일 : 10년 08월 19일
 © 심사의뢰일 : 10년 08월 19일
 © 심사완료일 : 10년 12월 10일