

댐建設로 인한 5大水系 本流의 流況變化 分析

An Analysis of the Effect of Damming on Flow Duration Characteristics of Five Major Rivers in Korea

이진원* · 김형섭** · 우효섭***

Lee, Jin Won · Kim, Hyoung Sup · Woo, Hyo Seop

Abstract

An analysis of flow duration characteristics of the five major rivers in Korea was conducted with extensive river flow data available. The analysis reveals that, for most river stage-gauging stations at the rivers investigated in this study, the flow duration characteristics have changed drastically at some stations after major dammings in the river basins. Streamflow variability, which is newly defined in this study as the ratio of the 2.5 percents (or 10 day) duration discharge over the 97.5 percents (or 355 day) duration one, was also reduced by the dammings. The result of the study shows that the Han and the Yeongsan rivers have relatively small flow variation, while the Seomjin and the Keum rivers have relatively large flow variation, which implies that the latter two river basins need new water resources development.

要 旨

한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강 등 우리나라 5대강 본류 주요지점에서의 광범위한 水文資料를 토대로 流況分析을 수행하였다. 우리나라 하천유량 자료의 신뢰도상의 한계를 감안하여, 특히 低水位時 水位-流量 관계곡선의 검토 등 본 유황분석에서 이용된 유량자료의 검토에 세심한 배려를 하였다. 본 연구에 의하면, 우리나라 주요 수계의 유황은 상류에 다목적댐 건설로 상당히 개선된 것으로 나타났으며, 이러한 유황개선 효과는 주요 수계의 河狀係數가 댐 건설이전 자연상태에서 300-400 정도이었으나 댐 건설이후 100-300 정도로 감소한 사실과 본 연구에서 제시된 '流況係數'가 대폭 감소한 사실 등에 의해서 확인되어진다. 수계별로는 한강과 영산강의 유황은 상대적으로 안정되어 있고 금강과 섬진강의 유황은 불안정한 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 금강과 섬진강에 새로운 수자원 개발의 필요성을 간접적으로 시사하고 있다.

1. 序 論

우리나라의 하천만큼 유량의 계절 변화가 심한

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

** 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구원

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구실 수석연구원

하천은 세계 어느 곳에서도 쉽게 찾아 볼 수 없을 것이다. 비가 비교적 적게 오는 10월에서 익년 3월까지는 대부분의 하천은 메말라 있고, 비가 많이 오는 7-9월에는 하천은 홍수에 의해 범람하게 된다. 이러한 강우 및 하천유량의 극심한 계절적 偏倚 때문에 우리나라의 수자원 개발은 용수의 안정적

공급과 홍수 피해의 저감을 위해 대규모 다목적댐의 개발에 초점을 맞추었으며, '70년초 완공된 소양강 댐이나 '80년대 완공된 충주댐 등은 그 대표적인 예라 하겠다.

사실, 이러한 대규모 다목적댐 및 중 소규모 용수공급 댐들에 의해 우리나라의 하천 유황은 과거 자연상태의 유황에 비해 큰 변화가 이루어졌으며, 과거처럼 극심한 하천 유황의 계절 변화는 다시 보기 어렵게 되었다. 예로서, '88년은 근년에 보기 드문 澇水年으로 연 강우량이 892 mm⁽¹⁾로 우리나라 전체의 연평균 강수량 1,274 mm의 70%에 지나지 않았으나, 이보다 강수량이 컸던 '67-'68년 한발시에 낙동강, 영산강 바닥이 거북이 등같이 갈라지는 극심한 한발은 겪지 않았다. 물론, '67-'68년 갈수의 특성이 '88년 갈수와 다른 면은 있으나, 그 이유는 무엇보다도 과거 꾸준히 건설한 대하천 상류의 다목적댐의 덕분이었다는 것은 부인하기 어려울 것이다.

이러한 상류댐에 의한 하류하천 유황의 개선 효과는 일유출량의 流況曲線을 작성함으로써 쉽게 알 수 있다. 이러한 유황곡선의 작성은 댐에 의한 유황개선 효과의 분석은 물론 자연 하천에 댐 축조나 대량 취수 등과 같은 수자원 개발의 계획 단계에 기본적으로 요구되는 사항중 하나이다.

이러한 하천 유황에 대한 우리나라에서의 연구는 매우 빈약하다. 문헌에 의하면, 우리나라 주요 하천들의 유황을 분석하고 연 최대 유량과 최소 유량의 비인 河狀係數를 추정한 연구로는 '60년 초에 원태상의 연구⁽⁶⁾를 들 수 있다. 그러나, 그의 연구는 '20년대 유출 자료를 일부 사용한 것으로 70년이 지난 지금 이용하기에는 너무나 많은 시간 차이가 있다. 그밖에, '60년대에 박성우의 연구⁽²⁾가 있으나, 이 연구는 제한된 자료에 의한 국부적인 결과만 제시하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 관측 개시년부터 지금까지 광범위한 유량(수위) 자료를 이용하여 우리나라 5대 주요 하천의 주요 지점별 하천 유황 곡선을 작성하고 하상계수를 새로이 산출하였다. 본 연구에서는 특히 상류 댐에 의한 하류 하천의 유황 개선 효과를 확인하기 위하여 유황 분석의 기간을 주요 댐 축조 이전과 이후로 나누어 분석하였다. 우리나라 유황

자료의 신뢰도의 한계를 고려하여, 특히 저수위시 유황 자료의 보완에 세심한 배려를 하였다.

본 연구는 우리나라 기존 하천유황 자료, 정확히는 하천수위 자료 및 수위-유황관계를 이용하여 수행되었으며, 여기서 기존 유황자료의 신뢰도 문제는 周知의 사실이다. 따라서, 기존 자료의 이용에 세심한 배려를 하였음에도 불구하고 본 연구의 성과에는 이러한 유황자료의 신뢰도상의 한계에 따른 어느 정도의 불확실성이 존재함을 부인할 수 없다.

2. 流況分析 및 河狀係數의 基本理論

2.1 유황분석

어떤 지점의 하천 유황을 분석한다는 것은 하천 유황의 시간적 변동상태를 파악하는 것으로 그 목적에 따라 분석기간과 분석자료를 설정하게 된다. 일반적으로 유황이라고 하면 연중 유황의 시간적 변화상태를 의미하므로 일단위의 유황자료를 가지고 유황분석을 하는 방법에 대하여 고찰한다.

먼저 가장 일반적으로 이용되는 방법은 매년의 일자료를 크기순으로 나열하고 각각의 순서에 해당하는 유량을 평균하여 도시하는 것으로^(2,3,7), 우리나라에서 행하여지는 대부분의 유황분석이 이에 해당된다고 할 수 있다. 이는 우리나라와 일본같이 유황의 특성을 날짜를 기준으로 설정하는 나라에서 이용하고 있다.

다음으로는 분석기간 전체에 대한 자료를 크기순으로 나열하고 유지비율에 따른 유량의 크기를 나타내는 방법^(6,8,9,11)으로 미국이나 유럽과 같이 확률개념으로 유황을 파악하는 나라에서 이용되고 있으며 우리나라에서는 많이 사용되지 않고 있다. 이러한 확률개념에 의한 유황곡선 작성시 초과확률 P(%)는 통상 다음과 같은 Weibull 공식에 의해 결정된다.

$$P = \frac{M}{N+1} \times 100 \quad (1)$$

여기서, M은 크기 순으로 나열한 경우 순위이며, N은 자료점수이다.

유황의 기준이 되는 하천의 유황으로는 澇水量, 低水量, 平水量 및 豐水量^(4,13)이 있으며 그 維持日數 및 초과확률은 표 1과 같다. 구미와 달리 우리나라

표 1. 유황분석에 따른 유황의 명칭과 유지일수

명 칭	유지일수	초과확률(%)	유지불가일수
갈 수 량	355	97.0	10
저 수 량	275	75.1	90
평 수 량	185	50.5	180
풍 수 량	95	26.0	270

주) '조선하천 조사서'에는 풍수량이 정의되지 않았으며 저수량은 유지불가 일수가 60일로 되어 있음.

에서 초과확률보다 유지일수로 표시된 유황분석이 보편적으로 사용되는 이유는 무엇보다도 그 개념이 쉽게 이해되며, 水年(water year)의 주기성이 반영되어 기준갈수의 설정 등 하천계획시 갈수해석에 유효하게 쓸 수 있기 때문인 것으로 사료된다.

2.2 河狀係數

하천의 유황을 나타내는 또 하나의 지표로 하상계수(河狀係數)가 있다. 하상계수는 연중 최대유량과 최소유량의 비를 말하며, 분석기간(년) 동안 연최대 유량과 최소유량을 각각 평균하여 구한다. 이는 하천유량의 변화정도를 표시하는 지표로서 수자원개발이나 하천계획 등에 직접 이용되지는 않더라도 개략적인 하천유황의 특성을 파악하는 기초가 된다. 그러나, 하상계수는 異常 濁水나 異常 洪水에 의해 그 값이 매우 민감하므로 평균적인 하천유황의 특성을 나타내기에는 문제가 있다. 더구나, 특히 갈수 및 홍수시 유량관측 및 수위-유량환산에 의한 자료의 신뢰도가 약한 점을 감안하면 이러한 계수의 정확한 산정은 더욱 어렵게 된다.

3. 關聯資料의 蒐集 및 分析

3.1 대상지점의 선정

우리나라의 주요하천으로는 한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강을 들 수 있다. 이들 수계상에는 그림 1과 같이 다목적댐 등 대규모 수공구조물이 설치되어 있어 이수 및 치수목적으로 운용되고 있으므로 과거와는 현저히 다른 유황을 보여주고 있으며, 또한 유역내 도시화 및 산업화 등으로 유출특성이 많이 변화되어 왔다. 따라서 이들 유역에서 유황이 어떻게 변화했는가를 조사하기 위하여 각 수계별로 수위관

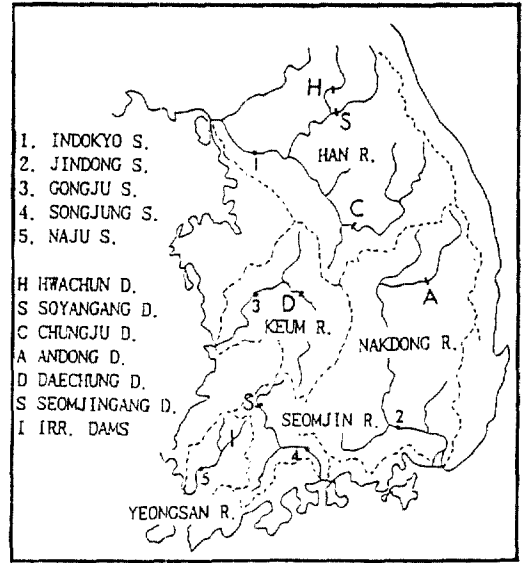


그림 1. 5대 수계의 유황분석지점 및 상류 댐

측기간이 유역개발 전후의 특성을 나타내기에 충분하고, 자료의 관리상태가 양호하고, 수위-유량관계 곡선이 작성되어 있고, 유량관측지점이 유역의 특성을 잘 반영해 줄 수 있는 본류상의 한 지점을 선정하였다.

이러한 관점에서 각 수계별로 선정한 유황분석 대상지점은 다음 표 2와 같으며, 본 분석기간의 기준으로 이용된 수계별 댐들의 제원은 표 3과 같다.

3.2 수위자료의 수집 및 수위-유량관계곡선의 선정

본 연구에서는 한국건설기술연구원의 수문 D/B를 이용하여 대상지점으로 선정된 지점에서의 일평균 수위자료를 조사하였다. 조사된 일수위자료를 검토하여 결측된 기간을 제외하고 이용할 수 있다고 판단된 자료는 개략적으로 그림 2와 같다.

이 그림에서 보는 바와 같이 '40년대와 '50년대 초반에는 거의 자료의 수집이 되지 못했다. 이 기간은 해방이후의 혼란기로서 국력을 수문관측에 돌릴만한 여유가 없던 시기였으며, 특히 '50년대 초반은 한국동란으로 수문관측이 전혀 이루어지지 못한 것으로 판단된다. 따라서, '40년대와 '50년대 같이 수문관측이 전부 결측된 경우 본 연구에서 제외하였으며, 다만 며칠 정도 단기간 결측인 경우에는 이를 내삽법으로 보완하였다.

표 2. 조사대상지점의 위치 및 수위관측 개시년도

수 계	대상 지점	유역면적 (km ²)	관측개시 년도	위 치	상 류 댐	댐준공 년 도
한 강	인도교	24,753	'18. 8	서울특별시 동작구 본동 한강대교	화 천 댐	'44
					소양강댐	'73
					팔 당 댐	'74
					충 주 댐	'85
낙동강	진 동	20,311	'21. 8	경남 함안군 칠서면 계내리 진동양수장	남 강 댐	'70
					안 동 댐	'76
					합 천 댐	'88
					임 하 댐	'92
금 강	공 주	7,531	'15. 7	충남 공주시 금성동 금강교	대 청 댐	'80
섬진강	송 정	4,256	'17. 5	전남 구례군 토지면 송정리	섬진강댐 주 압 댐	'65 '92
영산강	나 주	2,059	'15. 9	전남 나주시 남산동 토계리 나주교	농업용댐 (4개소)	'76

주) 이 밖에 한강수계에는 춘천, 의암, 청평댐 등 수력발전댐들이 있음.

표 3. 각 댐의 저수지 용량의 상대 크기

(단위 : 억m³)

수 계	댐 명	총 저수량 (A)	홍 수 조절량 (B)	댐유역 연평균 유출량(C) ¹⁾	유황분석지점 연평균유출량 (D)	A/C (연)	B/C	A/D (연)
한 강	화 천 댐	10.2	2.13	32.0	174	0.32	0.07	0.06
	소양강댐	28.7	5.0	20.9	174	1.37	0.24	0.16
	충 주 댐	27.5	6.16	34.5	174	0.80	0.18	0.16
낙동강	안 동 댐	12.3	1.10	10.1	111	1.22	0.11	0.11
	남 강 댐	1.9	0.43	19.3	111	0.1	0.02	0.02
	합 천 댐	7.9	0.80	5.7	111	1.39	0.14	0.07
	임 하 댐	5.95	0.80	8.6	111	0.69	0.09	0.05
금 강	대 청 댐	14.9	2.5	24.8	45	0.60	0.10	0.33
섬진강	섬진강댐	4.7	0.27	6.3	30	0.73	0.04	0.16
	주 압 댐	4.57	0.8	6.6	30	0.69	0.12	0.15
영산강	4개 농업용댐	2.7	-	2.3	14	1.17	-	0.19

(주) ¹⁾댐 유역의 연평균 유출량은 유역면적 및 강우량 비에 의한 개략적인 값임.

기간(연) 지점	'20	'40	'60	'80
인도교	■	■	■	■
진동	■	■	■	■
공주	■	■	■	■
나주	■	■	■	■
송정	■	■	■	■

그림 2. 각지점별 수위자료의 실태

수위-유량관계곡선을 이용하여 일수위를 일유량으로 환산하기 위하여 조사대상지점에 이미 작성되어 있는 수위-유량곡선을 수집하여 다음과 같은 기준에 의해 분석하였다.

(1) 각 지점별로 수집된 수위-유량식을 한 그림에 도시하여 어느 곡선 자료점의 범위가 다른 곡선들에 비해 너무 벗어나는 등 기본적으로 타 곡선들에 비해 특이한 거동을 보이는 곡선식은 일단 선정대상에서 제외하였다.

(2) 수위자료를 검토하여 저수위에서 유량이 갑자기 변동되는 경우에 수위-유량곡선의 작성년대를 중심으로 해당 연대에 수립된 수위-유량식을 적용하였다. 우리나라 하천의 연평균 유출율은 30-80% 정도로 알려져 있으므로⁽¹⁾, 이렇게 산정된 연평균 유출률이 80% 이상 과다하거나 또는 30% 이하 과소한 경우 그 수위-유량관계식은 분석에서 제외하였다. 이러한 방법으로 최종 선정된 지점별, 적용연대별 수위-유량식은 표 4와 같다.

(3) 위와 같은 기준에 의하여 선정된 수위-유량관계곡선식을 적용할 때, 수위-유량관계곡선의 유도시 이용한 실측유량을 파악할 수 있는 경우 低水位時 각 곡선의 모의 결과를 검토하여 최저수위부터 실측유량과 곡선식이 잘 부합되는 수위까지의 수위-유량 관계는 선형으로 가정하여 산정하였다. 그림 3은 이러한 방법에 의한 공주지점의 예를 보여준다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 곡선 2나 3은 수위가 1.3m 이하인 경우 선형적으로 감소하는 것으로 모의하였다.

(4) 선정된 수위-유량곡선에 의한 연 유출율이 20% 이하로 특별히 작게 나타나는 경우 해당년의 유출자료는 분석에서 제외하였다. 단, 금강의 경우 '45

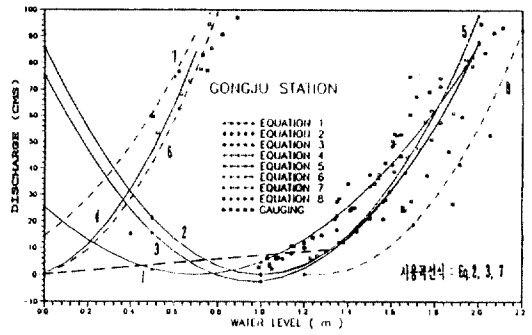


그림 3. 공주지점(금강)의 저수위시 수위-유량 관계

년 이전자료는 전체적으로 유출률이 10-20% 과소하게 나타나는 것이 많아 그기간의 자료는 모두 제외하였다. 또한, 섬진강의 경우 '27-'36년 자료가 유출률이 90% 이상 과다하게 크게 나와 모두 제외시켰다.

(5) 한편, 계산된 低水量이 과다한 경우에는 低水時 자료의 신뢰도가 의심스러워서 이 또한 분석에서 제외시켰다(낙동강, 섬진강 등 일부 자료).

4. 流況分析 및 河狀係數의 算定

4.1 유행분석

본 연구에서의 유행분석 대상지점은 한강의 인도교지점, 낙동강의 진동지점, 금강의 공주지점, 섬진강의 송정지점과 영산강의 나주지점 등이다.

이들 지점에서 작성된 많은 수위-유량관계곡선중 수위를 유량으로 환산하는데 이용된 곡선 및 적용기간 등은 표 4와 같다. 일반적으로, 수위를 유량으로 환산할 때 高水時의 영향은 유출률에 많은 영향을 미치며 低水時의 영향은 갈수량 및 하상계수의 산정에 많은 영향을 미친다. 각지점에서의 유행분석기간 설정은 다음 표 5와 같다.

먼저 한강수계 인도교 지점의 경우 한강유역의 댐건설에 따른 유행변화를 파악하기 위하여 북한강의 화천댐, 소양강댐, 그리고 남한강의 충주댐 준공년도를 기준으로 하여 유행분석기간을 설정하였다. 따라서, 유행분석기간은 관측 개시년인 1919년부터 '43년, '44-'72, '74-'84, '85-'90년으로 구분하였다. 여기서, '74년부터 인도교지점 상류에 팔당댐이 준공되어 하천유량이 조절되어 왔음을 감안하여 '74년

표 4. 대상지점에 적용한 수위-유량 곡선식

	수위-유량관계 곡선식	적용수위	적용기간	인용문헌 및 근거
인 도 교	$Q=371 h^{1.77}$		'19-'50	본 연구에서 유량실측 자료를 고려하여 제작성 한국하천조사서('74)/건설부 한강수위관측지점유량측정 및 조사측량보고서('78) /한강홍수통제소 발전 방류량 및 여수도 방류량 /한국전력
	$Q=130.73 h^2+102.937 h+7.432$	$h \leq 3.329$	'50-'69	
	$Q=204.659 h^2-570.46 h+1008.77$	$h > 3.329$		
	$Q=150.21 h^{2.19}$ $Q=178.32(h+0.37)^2$	$h \leq 5.13$ $h < 5.13$	'70-'72	
	팔당댐 방류량 자료		'74-'90	
진 동	$Q=87.34 h^2-56.74 h+9.22$	$0.5 \leq h < 1.48$	'24-'49	한국수문조사연보('64)/건설부 홍수량측정조사('83) ¹⁾ /건설부 홍수량측정조사('82) ²⁾ /건설부
	$Q=54.420 h^2-1.92 h+0.02$	$1.48 \leq h < 5.0$		
	$Q=54.88 h^2-4.44 h+0.09$	$h \leq 5.0$		
	$Q=31.938 h^{2.394}$ $Q=39.495 h^{2.408}$		'50-'70 '71-'89	
공 주	$Q=86.86 h^2-172.61 h+85.75$	$h \leq 2.853$ $h > 2.853$	'18-'58	한국수문조사연보('64)/건설부 한국하천조사서('74)/건설부 홍수량측정조사('83)/건설부
	$Q=83.831 h^2-161.619 h+75.382$		'59-'81. 11	
	$Q=81.293 h^2-89.035 h-110.649$			
	$Q=132.809(h+0.064)^2$		'81. 12-	
나 주	$Q=47.16 h^2-5.20 h-16.13$	$0.85 \leq h < 2.0$ $2.00 \leq h < 4.5$ $h > 4.5$	'16-'55	조선하천조사서('29)/조선총독부 수문조사연보('64)/건설부 홍수량측정조사('83)/건설부
	$Q=50 h^{1.74}$			
	$Q=12 h^{2.6}$			
	$Q=49.28 h^2-77.08 h+30.14$ $Q=48.525(h-0.836)^2$			
송 정	$Q=13.7 Hh^{2.37}$	$h < 0.634$	'18-'50	조선하천조사서('29)/조선총독부 한국하천조사서('74)/건설부
	$Q=41.735 h^2-5.344 h+13.323$		'51-'68	
	$Q=5.834 h^2+289.109 h-513.219$	$h > 0.634$		
	$Q=27.49251(H-1.834986)^{2.259416}$	$2 < H < 6$	'69-'75	섬진강유역조사보고서 ³⁾ ('87)/건설부, 산업기지 개발공사 섬진강유역조사보고서 ('87)/건설부, 산업기지 개발공사 섬진강유역조사보고서 ('87)/건설부, 산업기지 개발공사 섬진강유역조사보고서 ('87)/건설부, 산업기지 개발공사
	$Q=240.9069(H-3.655250)^{1.245945}$	$6 < H < 10.5$	(H=h+2)	
	$Q=19.08975(H-1.162281)^{2.262531}$	$1.55 < H < 5.5$	'76-'81	
	$Q=240.9069(H-3.655250)^{1.245945}$	$5.5 < H < 10.5$	(H=h+2)	
	$Q=35.09625(H-0.8281991)^{2.07511}$	$1.15 < H < 5.4$	'82-'85	
	$Q=479.9878(H-3.664625)^{0.9017129}$	$5.4 < H < 10.5$	(H=h+2)	
	$Q=42.17632(H-1.4536875)^{1.820941}$	$2 < H < 6$	'86-'89	
$Q=479.9878(H-3.664625)^{0.9017129}$	$5.4 < H < 10.5$	(H=h+2)		

주) ¹⁾ 자료는 '56-'81년 기간동안 유량자료를 이용하여 작성되었으므로 '50-'70기간에 적용하였음.

²⁾ 자료는 '82년 1년 동안의 유량 자료이므로 그 기간 전후로 적용하였음.

³⁾ 원자료에서 적용기간을 제시한 것을 그대로 수용하였음.

표 5. 각 지점의 유황분석 결과 (단위 : cms)

지점명	자료기간	갈수량	저수량	평수량	풍수량
인도교	'19-'43	37	52	104	317
	'44-'72	37	88	182	441
	'74 ¹⁾ -'84	111	139	213	436
	'85-'90	133	198	317	467
진 동	'24-'75	26	58	118	286
	'76-'89	37	74	127	298
공 주	'18-'79	14	28	46	110
	'80-'90	21	41	83	165
송 정	'18-'64	9	18	30	64
	'65-'89	11	18	28	64
나 주	'16-'75	5	7	11	23
	'76-'89	14	20	25	37

(주) ¹⁾ 분석시작기간이 '73년이 아닌 '74년이 된 것은 팔당댐 방류량 시작을 기준으로 하였기 때문임

이후 유량자료는 팔당댐의 방류량 자료를 이용하였다. 팔당댐에서 인도교 사이의 유입량은 전체의 5%인 일평균 240만³ 정도로서 미소하며, 더구나 그 구간에서의 상수도 취수량(현재 약 600만³/일) 및 회귀수를 고려하면 팔당댐과 인도교 사이의 자연유출량과 물 소모량은 대체적으로 상쇄된다.

그림 4는 이런 방법으로 작성된 인도교수위표 지점의 유황곡선이다. 이 그림에서 '74-'84년 팔당댐 방류량 자료중 풍수량 이상의 자료는 그 신뢰도가 조금 의심스러운 것으로 보인다.

진동지점은 남강 및 안동댐의 영향을 받고 있으나, 남강댐의 경우 댐 저수량이 상대적으로 작아서 본 연구에서 특별히 구분하여 분석하지 않았다. 또한, 합천댐과 임하댐의 경우 최근에 준공되었으므로 고려하지 않았다. 따라서 진동지점의 유황분석은 안동댐의 영향만을 고려하여 '24-'75년까지와 '76-'89년으로 구분하여 수행하였으며, 그 결과 진동지점의 유황곡선은 그림 5와 같다.

공주지점의 경우 대청댐의 영향을 고려하여 '18년도부터 '79년까지와 '80년부터 '90년까지로 구분하여 분석하였으며, 그 결과 유황곡선은 그림 6과 같다.

섬진강 송정지점의 경우 섬진강댐의 영향을 고려

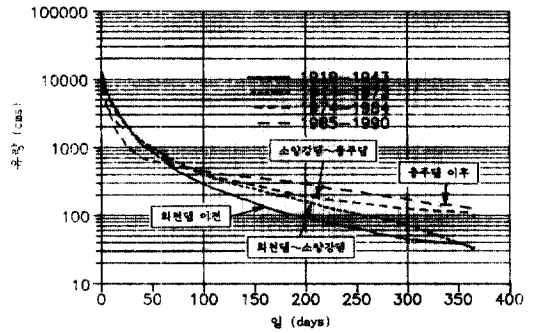


그림 4. 한강(인도교) 지점의 유황곡선의 변화

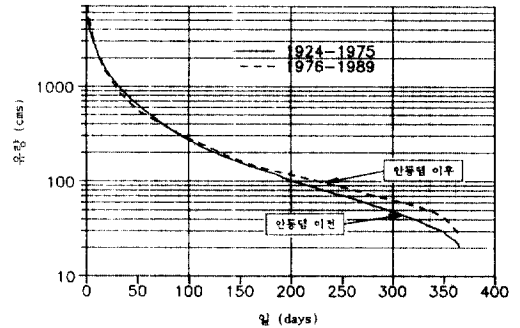


그림 5. 낙동강(진동) 지점의 유황곡선의 변화

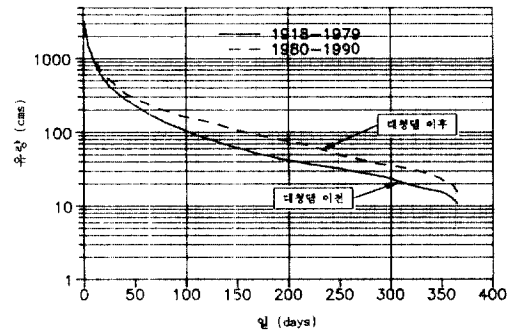


그림 6. 금강(공주) 지점의 유황곡선의 변화

하여 관측 개시년도부터 '64년까지와 '65년부터 '89년까지를 구분하여 유황을 분석하였다. 섬진강댐 직상류에 과거부터 있었던 운암제의 영향은 그 댐의 규모면에서 비교적 작으므로 본 연구에서 제외하였으며, 주암댐은 최근에 준공되어 역시 제외하였다. 그림 7은 송정지점의 유황곡선이다.

영산강의 나주지점의 유황은 상류에 다목적댐은 건설되어 있지는 않으나 '76년에 장성, 나주, 담양,

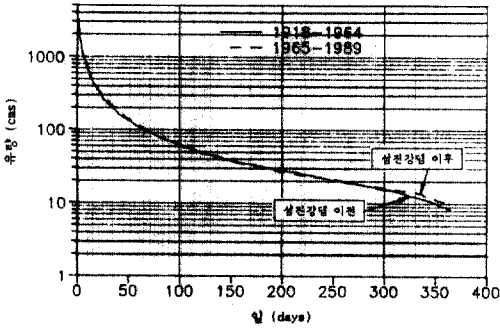


그림 7. 영산강(나주) 지점의 유황곡선의 변화

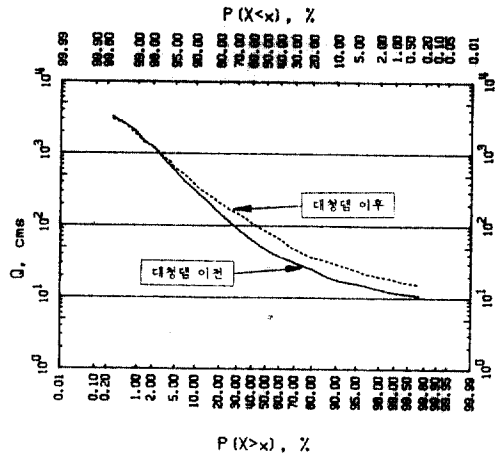


그림 9. 한강(인도교) 지점의 유황곡선의 변화(지배확률)

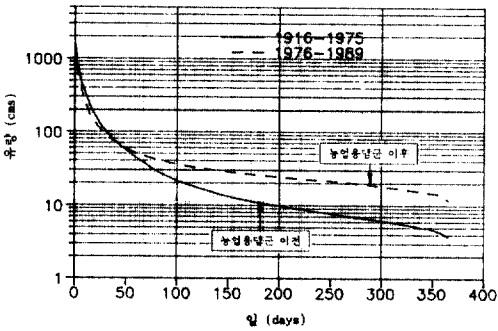


그림 8. 섬진강(송정) 지점의 유황곡선의 변화

광주댐 등 농업용댐이 4개가 동시에 건설되어 이 농업용댐들의 영향을 받고 있다. 따라서, 이들 농업용댐들의 영향을 고려하여 관측개시년도부터 '75년까지와 '76년부터 '89년까지를 구분하여 유황을 분석하였고, 그 결과 나주수위표 지점의 유황곡선은 그림 8과 같다.

이상과 같이 분석기간을 설정하여 유황을 분석한 결과는 표 5와 같다. 전술한 바와 같이, 저수시의 수위-유량관계곡선에 의한 유황자료는 특히 그 신뢰도가 약하므로 이 표에서의 갈수량 자료와 다음 표 6의 하상계수 자료는 신뢰도가 상대적으로 미흡하다.

한편, 각 지점의 유황곡선을 초과확률을 이용하여 도시하면 그 경향은 유지일수로 표시된 것들과 비슷하게 나타난다. 예로서, 초과확률로 표시된 금강 공주지점의 유황곡선은 그림 9와 같다.

4.2 하상계수의 산정

분석 대상지점에 대한 하상계수의 산정은 유황분

석과 같이 댐의 건설전후를 구분하여 수행하였다. 본 연구에서 지점별 평균 하상계수의 산정은 특히 갈수량 자료의 신뢰도 문제 때문에 10단위까지 추정하였다. 다음 표 6은 대상지점에 대한 하상계수의 산정결과이다.

5. 結果의 檢討

5.1 유황곡선의 보정

일반적으로 하천의 유황분석은 하천에 흐르는 유량의 연중변화를 파악하는 수단으로 단순히 유량자료만을 이용하기 때문에 기상의 장기적 변화에 의한 유황곡선의 변화 등을 고려하는 것은 매우 어렵다. 본 연구에서 각 그림 4-8이나 그림 9에 나타난 유황곡선들은 유출량의 연 변화에 의한 유황의 변화와 상류 댐 축조에 의한 유황변화가 구분되어 있지 않다. 실제, 우리나라의 연평균 관측강수량은 관측개시년인 1910년대에서 지금까지 100 mm 이상 증가된 것으로 기록되어 있다⁽¹⁾. 이러한 유량(강수)의 장기적 변화이외에도 유량의 경년 변화 때문에 자료 사용기간이 비교적 짧은 경우 다른 기간의 유황과 비교시 경년 변화의 영향이 지나치게 크게 나타날 수도 있다.

따라서, 본 연구에서는 강우의 경년 변화 효과를 가급적 제외시키고 댐에 의한 순수한 유황개선 효과를 분석하기 위하여 전 기간 동안의 연평균 유

표 6. 댐건설전후의 주요하천에 대한 하상계수

구 분	기준지점	적용기간	하상계수	비 고
한 강	인 도 교	'19-'43	390	자연상태 충 주 댐('85)+ 팔당댐('74) 기 존 값 ⁽⁵⁾
		'85-'90	90	
		'23-'27	393	
낙동강	진 동	'24-'75	260	자연상태 안 동 댐('76) 기 존 값 ⁽⁵⁾
		'76-'89	260	
		'19-'27	372	
금 강	공 주	'18-'79	300	자연상태 대 청 댐('80) 기 존 값 ⁽⁵⁾
		'80-'89	190	
		'24-'26	298	
섬진강	송 정	'18-'64	390	자연상태 섬진강댐('65) 기 존 값 ⁽⁵⁾
		'65-'89	270	
		'18-'27	734	
영산강	나 주	'16-'75	320	자연상태 4개 농업용댐군('76) 기 존 값 ⁽⁵⁾
		'76-'89	130	
		'16-'27	682	

주) 기존값은 '20년대 자료를 이용하여 해당유역의 1-4개 지점에서의 연도별 하상계수값을 평균한 것으로, 본 연구 결과와 직접 비교는 되지 않음

출량과 해당기간의 연평균 유출량의 비율을 이용하여 유황곡선을 각각 보정하였다. 즉, 해당기간의 연평균 유출량이 전기간의 연평균 유출량보다 큰 경우 그 비율만큼 해당기간의 각 유량을 감소시키며, 그 반대의 경우 그 비율만큼 증가시키므로써 강우에 의한 유출량의 경년 변화에 의한 영향을 상쇄시켰다. 이렇게 하여 보정된 각 지점의 유황곡선은 보정전의 유황곡선과 1:1 비교하면 유황개선효과가 조금 작게 나타났다. 예로서, 금강의 경우 그림 10에서 보는 바와 같이 대청댐에 의한 유황개선 효과가 어느 정도 축소되어 나타났다.

본 연구의 유황분석 결과에 의하면, 일반적으로 다목적댐과 같은 대규모 수공구조물의 건설후에는 갈수량과 저수량 뿐만 아니라 평수량과 풍수량도 증가하는 것으로 나타났으나 풍수량 이상에서는 큰 폭으로 작아졌음을 알 수 있다. 특히 홍수시 유출량이 현저하게 작아짐으로써 다목적댐 등과 같은 대규모 수공구조물은 용수공급에 의한 갈수량의 공급 뿐만 아니라 치수측면에서도 홍수를 조절하는

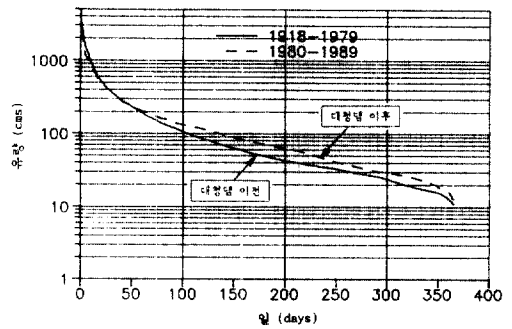


그림 10. 금강(공주) 지점의 유황곡선의 변화(유출량 경년변화 보정)

긍정적인 효과를 잘 보여주고 있다.

유황분석의 결과를 각 지점별로 살펴보면, 한강 인도교 지점(그림 4)의 경우 '44년 화천댐의 건설은 하루 유황을 대폭 개선시켰으나 최대유량 근처의 홍수량의 감소는 나타나지 않고 있다. 이는 화천댐이 원래 발전 전용댐으로 건설되어 평상시 상시 방류

하기 때문인 것으로 사료된다. 그러나, 소양강댐의 건설은 저수 및 갈수시에 유량의 증가를, 홍수시에 유량의 감소를 보여주고 있으며 이는 전형적인 다목적댐의 효과를 나타낸다. 다만, '74년 이후의 인도교 지점의 유황은 팔당댐의 영향을 받고 있다. 즉, 팔당댐이 발전 전용댐으로 평상시 일정방류를 하고 있고 저수용량이 비교적 작기 때문에 홍수조절효과는 없으므로, 소양강댐 및 팔당댐에 의한 유황개선 효과는 저수위시 크게 나타난다. 충주댐의 경우도 이러한 유황개선 효과는 뚜렷하게 나타나고 있다.

낙동강 수계의 진동지점의 경우(그림 5), 한강 수계만큼 댐에 의한 유황 개선 효과가 크게 나타나고 있지 않으며, 이는 표 3에서와 같이 안동댐의 저수량이 진동 지점의 연평균 유출량에 비해 상대적으로 크지 않기 때문인 것으로 사료된다.

금강 수계의 공주 지점의 경우(그림 6, 9, 10), 대청댐에 의한 유황 개선 효과를 보여주고 있다.

섬진강 수계의 송정 지점의 경우(그림 7), 섬진강 댐에서 동진강으로 유역 변경하여 발전 및 농업용수 공급을 하고 본류로는 사실상 방류를 중지하므로 섬진강 댐에 의한 하류 유황은 악화되었으나, 본 분석에서는 그 차이가 크게 나타나지 않고 있다. 이는 송정지점의 현 유황자료의 신뢰도상의 한계를 의미하며 따라서 그림 7의 결과는 송정지점 유황 자료 및 강우의 경년변화 효과 등을 고려하여 추후 재검토 할 필요가 있다.

영산강 수계의 나주 지점의 경우(그림 8), 4개 농업용 댐군에 의한 유황개선 효과는 한강 및 금강 수계와 같이 잘 나타나고 있다.

5.2 유황곡선의 변화도

한편, 각 유황분석 지점의 유량을 그 상류 유역 면적으로 나누어 비유량(cms/km^2)으로 표시하고 유 지일수를 식 (1)을 이용하여 확률로 바꾸어 대수 정규분포지상에 다시 표시하였다. 그림 11은 주요 댐 건설 이전의 자연유황 상태의 5대 하천의 유황을 나타내며, 그림 12은 주요 댐(최종) 건설 이후의 유황을 나타낸다. 이 그림들에서 보는 바와 같이 하천유황은 저수량 이하(초과확률 75% 이상)를 제외하고는 대략 대수 정규분포로 나타낼 수 있음을 알 수 있다.

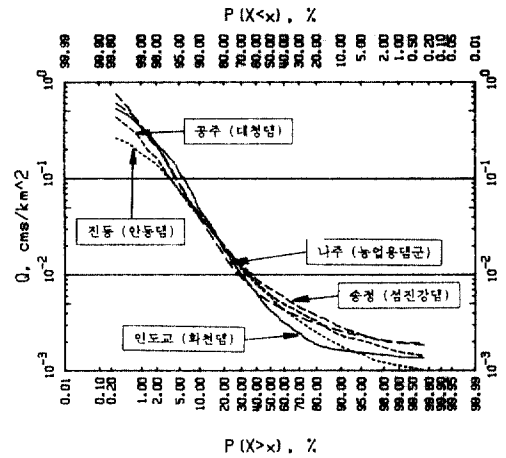


그림 11. 주요댐 건설이전의 5대강의 유황곡선(비유량)

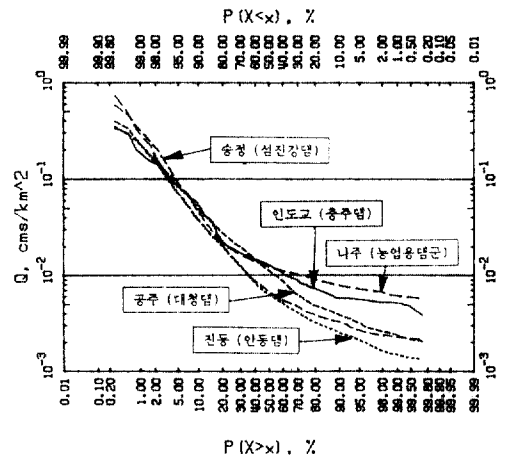


그림 12. 주요댐 건설이후의 5대강의 유황곡선(비유량)

특히 댐건설전의 유황곡선(그림 11)에서 주목할 필요가 있는 것은 초과확률 75% 이상의 低水時 유황변화이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 한강 인도교가 저수시 유황 감소율이 가장 작고 낙동강 진동이 가장 크게 나타났다. 이러한 결과는 저수시 지하수에 의한 하천수 공급정도를 나타내는 것으로⁽¹¹⁾, 일반적으로 한강유역의 지하수 공급이 낙동강유역의 지하수 공급보다 활발한 것을 보여준다고 할 수 있다.

자연상태의 수계별 比流量은 초과확률 10% 이상

표 7. 지점별 유황의 변화도

지 점 (하천)	인도교 (한강)	진 동 (낙동강)	공주 (금강)	송 정 (섬진강)	나 주 (영산강)
자연 상태	0.53	0.49	0.44	0.42	0.43
변 화 도 댐 건설후	0.33	0.43	0.41	0.41	0.25

주) 일 단위를 식 (1)에 의해 초과확률로 표시한 유황곡선에서 읽은 값임

의 경우 일반적으로 섬진강이 크고 낙동강이 작으며 나머지는 중간 정도이나, 주요 댐 건설 이후는 한강과 영산강이 크고 낙동강과 섬진강이 작으며, 금강이 중간 정도로 나타났다. 전체적으로 주요 댐 건설 이전의 유황곡선의 경사⁸⁾는 댐 건설이후 작아진 것으로 나타나 그림 11과 12도 우리나라 주요 하천의 유황 개선 효과를 보여주고 있다.

이러한 유황곡선 경사의 변화는 變化度(variability index)¹⁰⁾를 검토함으로써 정량적으로 알 수 있다. 유황곡선의 변화도란 초과확률과 비유량으로 표시된 유황곡선의 5, 10, 15, ..., 90, 95%에 해당하는 유량의 대수값의 표준편차로서 유황곡선의 경사와 관련된 값이다. 표 7은 각 분석 지점에서의 댐 건설 전후의 변화도 값으로 이 결과 역시 댐에 의한 유황변화의 감소를 보여주고 있다.

5.3 하상계수의 검토

각 수계에 댐이 건설된 이후의 하상계수들은 기대한 대로 상당히 감소한 것으로 나타났다. 이 결과에 의하면, 우리나라 주요하천 본류에서의 하상계수는 댐건설전 자연상태에서 300-400이었으나 댐 건설 후에는 100-300으로 대폭 감소한 것으로 나타났다.

한편, 우리나라 주요 하천의 하상계수를 외국의 경우와 비교하면 표 8과 같다. 이 표에서 보는 바와 같이, 우리나라 주요 하천의 자연 상태의 하상계수는 歐美 하천의 경우¹²⁾보다 매우 크며, 이는 우리나라 수자원 관리의 어려움을 보여준다. 다만, 일본의 경우 利根川을 비롯한 몇몇 하천들의 유황은 우리보다 더 변화가 심한 것으로 알려져 있다. 각 수계의 주요 댐 건설 이후의 하상계수들은 전체적으로 상당히 감소하였으나 이 역시 외국의 주요 하천들의 값들보다 상당히 크며, 이는 우리나라에서 지속적인 수자원 개발 및 利治水 관리의 필요성을 간접적으로 시사한다.

5.4 流況係數의 정의

현재 통용되고 있는 하상계수는 최대유량과 최소 유량의 비로 표시되기 때문에 유량의 극치값에 매우 민감하다. 더구나 이러한 유량의 극치값은 관측시는

표 8. 국내외 주요 하천의 하상계수

하 천 명	하상계수	하 천 명	하상계수	
한 강	자연하천	390	템즈강 (영국)	8
	충주댐 이후	90	다뉴브강 (하구)	30
낙동강	자연하천	260	세느강 (프랑스)	34
	안동댐 이후	260	라인강 (독일)	16
금 강	자연하천	300	미조리강 (미국)	75
	대청댐 이후	190	미시시피강 (미국)	100
섬진강	자연하천	390	오하이오강 (미국)	364
	섬진강댐 이후	270	나일강 (이집트)	30
영산강	자연하천	320	대정천 (일본)	110
	농업용댐 이후	130	이근천 (일본)	900

주) 외국자료는 반드시 하류지점의 자료만은 아님

물론 유량환산시 오류를 범할 가능성이 높기 때문에, 실무면에서 현 하상계수는 대표성이 있는 값을 얻기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 기왕의 유황곡선을 이용하여 하천의 유황변화의 척도를 나타낼 수 있도록 홍수량의 대표치로 유지일수 10일에 해당하는 유량과 갈수량의 대표치로 지배확률 유지일수 355일에 해당하는 유량의 비를 다음과 같이 '流況係數'라 정의하였다.

$$\text{流況係數} = \frac{Q_{10}}{Q_{355}} \quad (2)$$

초과확률로 표시된 유황곡선의 경우, 위의 유황계수는 초과확률 2.5% 유량과 97.5% 유량의 비로 정의할 수 있을 것이다. 이러한 계수는 기존의 하상계수보다 극단적인 유황변화나 유황관측시 혹은 유량환산시 오차에 대해 매우 유연하며, 식 (2)에 의해 5대 하천의 유황곡선에서 구한 '流況係數' 값은 다음 표 9와 같다. 이 표에서 보는 바와 같이 '유황계수'의 변화는 하상계수의 변화와 경향을 같이 하고 있으나, 전자는 장기간의 유황변화를 평균하여 얻어진 유황곡선에서 구한 것이므로 기존의 하상계수와 달리 극단적인 갈수량이나 홍수량 값들에 의해 크게 변화되지 않는다. 이러한 사실은 표 3에서 낙동강의 경우 하상계수 값이 안동댐에 관계없이 일정하게 나타났지만 표 9에서는 30% 감소한 것에 의해 알 수 있다.

표 9. 5대 하천의 본류지점의 유황계수

구 분	한 강	낙동강	금 강	섬진강	영산강
자연 상태	131	91	68	75	79
댐 건설후	22	65	47	66	18

일본에서는 流況係數라는 용어를 일부 河狀係數의 의미로 쓰는 것 같다⁽¹³⁾, 전술한 바와 같이 한 하천의 유황변화는 기존의 하상계수보다는 식 (2)에 의해 더 적절히 대표할 수 있으며, 본 연구에서 이를 유황계수라 칭하였다.

5.5 새로운 수자원 개발의 필요성

본 연구에서 유역별로 유황곡선의 變化度, 河狀

係數, 流況係數 등을 검토한 결과 현재 우리나라 주요 수계의 본류는 한강과 영산강의 경우 유황이 상대적으로 안정되어 있으며, 낙동강, 금강, 섬진강의 경우는 비교적 불안정한 것으로 나타났다. 다만, 영산강 수계의 경우 유황분석 지점이 하류 나주이므로 상류 4개 농업용 댐 직 하류의 유황 악화 현상을 반영하지 못하고 있다. 낙동강 수계의 경우 최근 합천댐(88)과 임하댐(92)이 준공되고 남강댐이 있으므로 실제 유황은 본 연구결과보다 매우 개선되었을 것이다. 금강 수계의 경우 표 3에서 보는 바와 같이 대청댐의 담수 능력이 상대적으로 작아서 홍수시 유황개선에 크게 기여하지 못하는 것이며, 이는 금강 본류에 새로운 보완댐 건설의 필요성을 간접적으로 시사한다. 섬진강 수계의 경우 최근 '91년에 주암댐이 완공되었으나, 대부분의 댐 유량이 유역 바깥으로 도수되므로 이 댐의 건설은 섬진강 본류의 유황 개선에 도움이 되지 못할 것으로 사료된다. 따라서, 섬진강 수계의 경우도 본류 유황의 개선을 위해서는 새로운 수자원 개발이 필요하다.

6. 結 論

본 연구에서는 한강, 낙동강, 금강, 섬진강, 영산강 등 우리나라의 주요 수계의 유황을 분석하여 하천 유황의 일반적 변화특성과 특히, 상류에 주요 댐 축조 이후의 하류 유황변화를 조사하였다. 본 연구에서 얻어진 주요 결론은 다음과 같다.

1) 우리나라의 하천유황의 시간변화는 대륙의 경우보다 매우 크며, 하천의 최대유량과 최소유량의 비인 河狀係數는 주요 댐 건설 이전의 자연 상태에서 300 이상으로, 이는 歐美 하천의 경우보다 3-20배 이상 큰 값들로 우리나라 수자원 관리의 어려움을 보여준다.

2) 우리나라 주요 수계의 대규모 다목적댐 건설은 하류하천의 유황 개선에 크게 기여하였으며, 이는 5대 하천의 주요 지점별 댐 건설 전후의 유황곡선 비교는 물론 유황의 變化度, 하상계수 및 본 연구에서 정의한 유황계수 등의 감소에서 분명히 나타난다. 즉, 일반적으로 댐 건설 이후의 유황곡선은 댐 건설 이전의 유황곡선보다 豐水量 이상에는 홍수조절 효과에 의해 아래로 내려가고, 그 이하에는

위로 올라간다.

3) 자연상태에서 比流量은 초과확률 50 %인 평수량에서 0.004-0.007 cms/km² 정도이었으나, 주요댐 건설이후는 0.006-0.013 cms/km² 정도로 증가하였다.

4) 본 유황분석에 의하면, 하류지점을 기준으로 하여 한강과 영산강의 경우 하천유황은 상대적으로 안정되어 있고 금강과 섬진강의 경우 상대적으로 불안정하며, 이는 금강과 섬진강에 대해 신규 수자원 개발의 우선적인 필요성을 간접적으로 시사한다.

5) 유황곡선에서 얻어지는 유지일수 10일 유량과 355일 유량의 비를 流況係數라 정의하였으며, 이러한 '유황계수'는 기존의 하상계수의 단점을 보완할 수 있다.

6) 하천의 유황을 정확히 분석하기 위해서는 신뢰성 있는 자료의 확보가 무엇보다도 중요하며, 특히 갈수기에 세심한 유량 측정이 요구된다.

感謝의 글

본 연구는 '91년 건설부에서 한국건설기술연구원에 학술용역으로 의뢰한 '河川環境管理 基本 調査研究' 과제 중 "河川水量" 관련 일부를 다시 檢討하여 논문형태로 補完한 것임을 부연한다. 본 과제를 지원해 준 건설부 수자원국 담당자 여러분께 감사を 표한다. 또한, 본 논문을 세밀히 검토해주시고 조언

해 주신 심사자 두 분께 심심한 사의를 표한다.

參 考 文 獻

1. 건설부/한국수자원공사, 수자원 장기종합계획('91-2011) 부록, 1990, p. 1-4.
 2. 박성우, '한국하천의 유황에 관한 연구', **한국농공학회지**, 1968, p. 77-87.
 3. 박성우, '하천의 유황에 관한 수문학적 연구', **한국농공학회지**, 제 16권 2호, 1974, p. 78-93.
 4. 조선총독부, 조선하천조사서, 1924, p. 261.
 5. 원태상, '한국하천의 특수성을 논함', **대한토목학회지**, 1962, p. 63-72.
 6. 윤용남, 공업수문학, 청문각, 1978, p. 484.
 7. 한국수자원공사, 한강하천유지유량 조사연구 보고서, 1990.
 8. Shaw, E.M., *Hydrology in Practice*, van Nostrand Reinhold, U.K., 1983, pp. 295-300.
 9. Heitz, L.F., *Hydrologic Evaluation Methods for Hydropower Studies*, Ph.D. Thesis, Univ. of Idaho, U.S.A., 1981, pp. 22-32.
 10. Lane, E.W. and Lei, K., Stream Flow Variability, *Proceedings*, ASCE, Vol. 75, 1949.
 11. McMahon, T.A. and Mein, M.G., *River and Reservoir Yield*, W.R.P., Littleton, Colorado, U.S.A., 1986, p. 59.
 12. 社團法人 日本河川協會編, 河川便覽, 1988, p. 357.
 13. 室田 明, 河川工學, 技報堂 出版, 1986, p. 27-28.
- (接受 : 1993. 3. 12)