

## 자연하천의 무차원 유황곡선 Dimensionless Flow Duration Curve in Natural River

박 상 덕\*

Park, Sang Deog

---

### Abstract

Flow duration curves provide a compact summary of streamflow variability. In this study, characteristics of the dimensionless flow duration curve in natural rivers with the unregulated discharge were investigated. An analysis of flow duration characteristics was conducted with discharge data at stage-gauging stations of IHP representative basins and of the major rivers in Korea. Discharge characteristics are dependent on area of watershed. However, flow duration coefficients except drought duration coefficient are independent on that. Abundant flow duration coefficient was constant value. The coefficient of flow duration variability defined in this study as the ratio of the normal stream flow over the drought one is decreased with increasing of the watershed area, which implies that the watershed area affects the drought flow duration variability more than the low flow one. And the coefficient of flow duration variability is increased with the river gradient.

**Keywords** : dimensionless flow duration curve, flow duration variability, drought duration coefficient, low duration coefficient

---

### 요 지

유황곡선은 하천유량의 변동성을 함축적으로 나타내고 있다. 본 연구는 인위적인 유량조절이 없는 자연하천의 무차원 유황곡선을 조사하여 보았다. 유황분석은 IHP 대표유역과 대하천 주요 수위관측 지점의 수문자료를 토대로 수행하였다. 유황은 유역면적에 의존하나 유황계수는 갈수계수를 제외하면 유역면적의 변화에 민감하지 않았으며 특히 풍수계수는 일정한 값을 나타내었다. 본 연구에서 평수량에 대한 갈수량 및 저수량의 비로 정의한 유황변동계수는 유역면적이 증가하면 작아지고 하천 경사의 증가에 따라 커진다. 저수유황변동에 비하여 갈수유황 변동이 유역면적의 변화에 영향을 받는 것으로 보여진다.

**핵심용어** : 무차원 유황곡선, 유황변동, 갈수계수, 저수계수

---

\* 강릉대학교 공과대학 토목공학과 교수

Prof., Dept. of Civil Engrg., Kangnung National Univ., Kangnung 210-702, Korea  
(e-mail : sdpark@kangnung.ac.kr)

## 1. 서론

하천의 수자원개발이나 관리를 위해서는 시간과 공간에 따른 유황을 파악하여야 한다. 우리나라에서 현재 사용하고 있는 유황은 하천에서 유량이나 수위의 크기를 의미하며 홍수, 풍수, 평수, 저수, 갈수로 구분된다. 홍수량은 치수계획수립에 참고가 되며, 갈수량이나 저수량은 하천의 환경관리계획수립에 활용되고 있다. 하천의 어떤 한 지점에서 일 평균유량의 연간변화를 나타내는 유황의 분석 방법으로서 유황곡선(flow duration curve)이 사용되고 있다. 유황곡선은 하천의 어느 한 지점에서 일정한 시간 간격으로 측정된 유량의 크기와 순위백분율의 관계를 시각적으로 나타낸 것으로 수력에너지개발, 용수공급, 관계계획 및 설계, 수질관리를 위한 수문학적인 연구에 종종 사용되고 있다(Maidment, 1992)

실무에서 사용하고 있는 유황분석은 약 10년의 유황 자료를 이용하여 평균유황을 구하고 있으나, 이는 저수량 이하의 유황과 풍수량 이상의 유황에서 유황곡선의 기울기가 급하고 매년 유황변동폭이 크기 때문에 적절치 못한 것으로 판단된다. 유역면적이 작거나 유량이 거의 없는 상황이 발생하는 지점에서는 전 기간 자료를 이용한 유황분석에도 한계가 있는 것으로 생각된다. 이는 유황분석기법이 간헐천과 같이 유량이 없는 하천에 적용할 수 없는 것과 맥을 같이 한다. 미계측 하천유역에 대한 유황분석은 유사지역 하천의 유황을 원용하여 비유량법을 적용하여 이루어지고 있으나 유역에서 댐 개발이나 토지이용도의 변화와 같은 문제를 반영하기가 용이하지 않기 때문에 적용상의 한계를 지니고 있다.

자연하천의 합리적인 유황곡선 해석을 위해서는 우선 하천 흐름의 경향분석과 하천유출의 인위적 조절여부를 파악하여야 한다. 이는 기존에 관측된 자료의 유황순위분석과 유역의 수공구조물 종류를 파악함으로써 알 수 있다. 하천 흐름의 경향분석은 유출량 관측자료의 신뢰성을 확인하는 절차라고 할 수 있다. 유황곡선이 처음으로 사용된 것은 1880년 Clemens Herschel (Fennessey 과 Vogel, 1990)에 의해 이루어졌다. Searcy(1959)가 하천오염과 수질관리의 문제에 유황곡선을 추가적으로 적용하면서 유황곡선의 가장 완성적인 지침서가 쓰여졌다. 비록 유황곡선에 대한 대부분의 조항들이 20세기 전반기 동안에 확립되고 사용되었지만 현재에도 하천의 흐름특성에 대한 중요한 분석도구로서의 적합성에 관련하여 토론들이 행해지고 있다(Linsley

and Franzini 1979 ; Warnick 1984 ; Gupta 1989).

국내의 유황곡선에 대한 연구는 이진원 등(1993)이 우리나라 5대 하천에서 댐 건설전후의 유황변화를 분석한 것이 있다. 이 연구에서는 유황계수라는 정의를 최초로 사용하며 댐 건설에 따라서 하상계수가 개선되었다는 것을 확인하고 있다. 다. 이 연구는 기존의 유황곡선추정 방법을 그대로 적용하여 하천 유역특성의 변화에 따른 유황의 변동을 조명하였으며 유황곡선 변화도, 유황계수, 하상계수를 검토하고 있다. 유황곡선에서 갈수량과 홍수량에 대한 유역특성인자와 관계를 파악하는 연구가 박성우(1968, 1974)에 의하여 이루어진 바가 있다. 신사철(2000)은 기후변화를 가정한 하천유황에 대하여 연구하였다. 이상과 같은 연구에도 불구하고 유황곡선 특성에 대한 연구는 아직도 미흡한 실정이다.

본 연구는 유역의 지상학적 인자와 기후학적 인자를 이용하여 유황을 추정할 수 있는 유황곡선 합성기법 개발을 위한 기초연구로서 유황에 대한 유역면적, 하천경사, 강수량의 관계를 파악하는데 목적이 있으며, 인위적인 유황조절의 영향을 무시할 수 있는 자연하천에서 무차원 유황곡선을 연구하였다.

## 2. 유황분석 기본이론

### 2.1 유황 및 유황곡선

하천의 유량은 강우량, 유역면적, 하천수계조직, 지형, 지세, 지질상태, 지표상태 등에 따라 달라질 수 있다. 강우량과 유역면적이 크면 유량도 큰 것이 원칙이며 특히 호우성의 연속강우량은 유량을 급격히 증가시킨다. 유역의 지세가 험준하면 강수가 일시에 하천에 쇄도하므로 유량이 크고, 지질이 불투수성이거나 지표수의 유하를 방해하는 초목 등이 적을수록 유량이 크다. 따라서 하천의 유량변화는 강우에 대한 유역의 반응구조를 나타내게 된다. 하천에서 시간에 따른 유량변동을 나타내는 방법에는 유량수문곡선과 유황곡선이 있다. 유량수문곡선은 유량의 월 혹은 계절적인 변동을 포함하고 있으나 유황은 유량의 계절적인 변동보다는 발생순위 측면의 변동성에 관한 정보를 나타내고 있다.

유황은 년평균유황과 전자료기간유황으로 분석할 수 있다. 년평균유황은 1년 365일 각각에 대한 유량을 최대유량부터 365위까지 순위를 정하고 특정 지속일수 순위의 유량을 자료기간 년 수에 대한 평균을 취하여 얻어진다. 전기간유황은 보유하고 있는 전 기간의 유량을 큰 것부터 작은 순으로 순위를 정한 후 그 비 초

과확률을 백분율로 나타낼 때  $Q_{26.0}$  을 풍수량,  $Q_{50.7}$  을 평수량,  $Q_{75.3}$  를 저수량,  $Q_{97.3}$  을 갈수량으로 정의한다. 우리나라에서는 지속일수를 기준으로 유황을 구분하여 사용하고 있으며 표 1에 제시된 바와 같다. 미국이나 유럽에서는 확률개념을 사용하여 유황을 산정하고 있으며, 초과확률 P(%)는 다음 식(1)과 같이 Weibull의 공식에 의하여 결정한다(Fennessey과 Vogel, 1990; Dingman, 1993).

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

여기서 M은 유황을 크기 순으로 나열한 경우 순위이고 N은 자료의 수이다. 우리나라에서는 초과확률보다는 지속일수로 표시한 유황분석이 보편적으로 사용되고 있다. 이는 그 개념의 이해가 쉽고 水年의 주기성이 반영되어 기준갈수 설정을 위한 갈수해석에 유효하게 사용될 수 있기 때문이다(이진원 등, 1993). 본 연구에서는 전기간 유출량 자료를 이용하여 지속일수에 기초한 백분율단위의 유황을 사용하였다. 유황곡선의 풍수량과 저수량 사이의 유황변화는 홍수량과 갈수량 사이의 유황변화에 비하여 완만하다. 따라서 이는 하천의 생물서식 환경요인의 결정에 관련되는 생태적 지배유량(ecological dominant discharge)으로 대표될 수 있는 가능성을 나타낸다.

하천에서 생물서식에 적합한 환경은 유량이 풍부하면서도 극단적인 변화가 없고 안정적인 경우이다. 따라서 생태적 지배유량은 생물서식환경을 지배하는 유량으로서 비교적 풍부하면서도 지속일수가 큰 평균적인 유량에 해당한다. 본 연구에서 사용된 지배유량은 생태적 지배유량의 의미로 사용하였다. 지배유량에 대한 정의는 안정하도의 흐름과 하도의 관계를 연결시켜주는 유량으로서 하천의 형태학적인 거동에 지배적인 유량으로서 사용되어 왔으나 연중유량 변화가 극심한 우리나라 하천에서는 어느 한 유량을 설정하는 것이 특별한 의미를 갖기 어렵다(우효섭, 2001). 그러나 본 연구에서 사용하고자 하는 생태적 지배유량은 하천의 안정적인 생물서식환경 측면의 지배유량으로 한정하고자 한다.

## 2.2 무차원 유황과 유황계수

본 연구에서는 자연하천의 무차원 유황 및 유황계수를 정의하였다. 무차원 유황은 유황곡선상의 각 유황을 평수량으로 나눈 것으로서 평균적인 하천유황에 비하여 각 흐름의 상황이 어느 정도로 달라지는 지를 나타낸다. 박상덕(1999)은 식 (2) 및 (3)과 같이 저수량과 갈수량에 대한 유황계수를 정의하고 이를 하천관리를 평가하는데 사용하였다.

$$C_L = \frac{Q_{75.3}}{Q_{50.7}} \quad (2)$$

$$C_D = \frac{Q_{97.3}}{Q_{50.7}} \quad (3)$$

여기서  $Q_{50.7}$ ,  $Q_{75.3}$  및  $Q_{97.3}$  는 각각 평수량, 저수량 및 갈수량이고,  $C_L$  과  $C_D$  는 각각 저수계수와 갈수계수로서 1보다 작은 값을 갖는다. 저수계수와 갈수계수는 하천의 저수와 갈수시 유황을 평수량에 대한 비율로서 정량적으로 나타내고 있으며 하천의 수자원 개발 및 관리와 하천생태환경의 판단지표로 사용될 수 있다. 식 (2)와 (3)에서 유황계수의 값이 클수록 저수량이나 갈수량이 평수량에 상대적으로 가깝기 때문에 저유출 변화가 작음을 의미하며 따라서 평수량 이하에서 하천의 유지관리 용이성에 대한 판단척도가 될 수 있다. 저수량 및 갈수량에 대한 유황계수와 마찬가지로 홍수량과 풍수량에 대한 유황계수도 평수량에 대한 비율로서 식(4) 및 (5)와 같이 나타낼 수가 있다.

$$C_F = \frac{Q_{\max}}{Q_{50.7}} \quad (4)$$

$$C_A = \frac{Q_{26.0}}{Q_{50.7}} \quad (5)$$

여기서  $Q_{26.0}$  와  $Q_{\max}$  는 각각 평수량과 홍수량이다.  $C_F$  와  $C_A$  는 각각 홍수계수와 풍수계수로서 1보다 큰 값이 되며 이 값이 작을수록 풍수량이나 홍수량

표 1. 유황의 명칭과 지속일수

구분	갈수량	저수량	평수량	풍수량	홍수량	비고
지속일수	355	275	185	95	1~2	이원환(1994)
초과확률(%)	97.3	75.3	50.7	26.0	0.3~0.5	

이 평수량에 상대적으로 가깝게 되어 평수량 이상의 하천 유량이 어느 정도의 규모인가를 나타낸다.

유황계수라는 용어를 처음으로 사용한 이진원 등(1993)은 홍수를 대표하는 유지일수 10일 유량을 갈수량으로 나눈 다음 식 (6)으로 유황계수를 정의하였다.

$$\text{유황계수} = \frac{Q_{10}}{Q_{355}} \quad (6)$$

이 유황계수는 유황변화의 척도를 나타내는 것으로서 하상계수와 같은 의미가 있다고 할 수 있으며, 기존의 극치를 사용하는 하상계수의 단점을 보완하는 의미가 있다. 박상덕(1999)이 식 (2)와 (3)으로 정의한 저수계수와 갈수계수는 평수량 이하의 지배유량 변화의 척도라고 할 수 있고, 식 (4)와 (5)의 풍수계수와 홍수계수는 평수량 이상의 유황변화의 척도를 나타낸다고 할 수 있다. 따라서 본 연구의 유황계수는 이진원 등의 식 (6)으로 정의한 유황계수와는 근본적으로 다르다.

본 연구에서는 이와 같은 유황계수 개념을 전 유황곡선에 적용한 무차원 유황곡선(dimensionless flow duration curve)을 도입하였으며 무차원 유황은 다음과 식 (7)과 같이 얻어진다.

$$Q_{dp} = \frac{Q_p}{Q_{50.7}} \quad (7)$$

여기서  $Q_{dp}$  는 무차원유량,  $Q_p$  는 유량이다.

### 3. 기본자료의 수집

#### 3.1 유량자료

본 연구에서는 기계측 하천의 관리나 수공구조물계획 수립에 필요한 유황분석을 하기 위해서 인위적인 유량조절이 없는 자연하천의 유황관측자료를 사용하였다. 그러나 상류에 댐이 없으면서 수위-유량곡선이 개발되어 있는 수위관측지점 중에 신뢰할 만한 관측자료를 보유한 지점은 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 금강수계의 보청천과 낙동강 수계의 위천에 설치된 6개 수위표 지점(건설부, 1989~1999)과 건설교통부에서 설치하여 운영하고 있는 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 수계의 7개 수위표 지점을 표 2와 같이 선정하였다. 우리나라의 IHP 대표유역 중에서 평창강은 동계의 관측자료에 대한 신뢰성이 부족하였고 결측이 많았기 때문에 본 연구에서는 제외하였다. 보청천과 위천의 관측자료 중에서도 자료의 신뢰성 검토를 통하여 표 2와 같이 분석대상 지점을 선정하였다. 또한 표 2의 건설교통부에서 운영하고 있는 수위표 지점은 댐이 없거나 댐 건설에 따른 인위적인 유량 조절이 없는 것으로 판단되는 기간을 기본자료로 선정하였다.

#### 3.2 유역 특성인자

유황곡선의 형상에 영향을 미치는 인자로는 유역의

표 2. 조사대상지점 및 자료수집기간

수계명	하천명	지점명	자료기간	자료년수(년)	비고	
한강	본류	인도교	1919~1943	25	건설교통부	
	남한강	여주	1916~1984	69		
금강	보청천	본류	공주	1918~1979	62	IHP대표유역
		산계	1989~1998	9		
		기대	1989~1997	8		
		탄부	1989~1997	8		
		이평	1989~1998	9		
낙동강	위천	무성	1989~1995	6	IHP대표유역	
		병천	1989~1999	10		
	본류	진동	1924~1969	46	건설교통부	
		왜관	1925~1975	51		
영산강	나주	1916~1975	60			
섬진강	송정	1918~1964	46			

표 3. 지점별 유역면적 및 년평균 강수량

수계명	하천명	지점명	유역면적 (km <sup>2</sup> )	하천경사 (×10 <sup>-3</sup> )	년평균강수량			비고
					강수량 (mm)	자료기간	출처	
한강	본류	인도교	24,753.0	4.55	1172.2	1963~1989	1	대하천
	남한강	여주	11,104.0	3.47	1125.1	1963~1989	1	
금강	본류	공주	7,150.0	5.13	1181.5	1981~1989	1	중소하천
	보청천	산계	475.6	5.82	1183.6	1989~1999	2	
		기대	346.5	8.23	1206.6	1989~1999	2	
		탄부	72.5	12.34	1275.4	1989~1999	2	
		이평	79.5	13.69	1192.1	1989~1999	2	
낙동강	위천	무성	472.5	10.78	1027.2	1989~1999	2	대하천
		병천	302.1	10.99	1004.1	1989~1999	2	
	본류	진동	20,311.0	3.55	1107.8	1963~1989	1	
		왜관	11,074.0	4.67	1032.8	1963~1989	1	
영산강		나주	2,059.0	7.89	1349.5	1981~1989	1	대하천
섬진강		송정	4,272.0	6.50	1360.7	1981~1989	1	

1 : 한국수자원공사 (1992). 전국하천조사서.

2 : 건설부 (1989~1999). 국제수문개발계획(IHP) 대표유역연구 조사보고서

지형 및 지질, 토지이용도, 하천수계조직, 강우 등을 들 수 있다. 유출 해석에 사용되는 유역의 지형특성 인자로는 유역면적, 유로연장, 유로중심장, 유로평균경사, 표고차, 기복량 등이 있다. 홍수량과 기저유출량은 유역면적에 따라 증가함수의 관계를 나타내며, 유역면적이 작고 지하침투가 잘 발생하는 지질특성을 갖는 유역에서는 하천의 유량이 전혀 없는 경우도 발생한다. 본 연구에서 적용한 우리나라 5대 하천수계와 IHP대표유역(한국건설기술연구원, 1995)의 주요 지점에 대한 유역면적과 년평균면적강수량은 표 3과 같다. 표 3에서 알 수 있는 바와 같이 본 연구의 기본자료로 사용한 각 지점의 유역면적은 대하천과 중소규모 하천으로 대별될 수 있으며 IHP 대표유역은 중소규모 하천이고 그 외는 대하천이다.

#### 4. 유황분석 및 유황계수

##### 4.1 유황분석

본 연구에서 적용한 각 지점별 유황은 표 4에 제시되었으며 인도교, 진동, 공주, 송정, 나주의 유황은 이진원 등(1993)의 유황분석자료를 사용하였다. 여주와 왜관 지점에 대해서는 한국수자원공사(1992)의 전국하천조사서에서 제시한 값을 이용하였다. 보청천과 위천

IHP대표유역 각 지점의 유황은 전기간 유황분석을 적용하여 구한 것이다. 표 5는 본 연구에 적용한 지점에 대한 유황과 유역면적의 관계식을 나타내는 것이며 결정계수는 0.8269 ~ 0.9098의 범위에 있다. 그림 1에서 보면 유역면적의 증가에 따라 유황이 증가하고 있으며, 중소하천인 IHP대표유역 각 지점의 저수량이나 갈수량은 평수량이나 풍수량에 비하여 자료점이 더 크게 산포되어 있다. 이와 같은 산포는 저수량이나 갈수량 관측 자료의 신뢰성이 평수량이나 풍수량 자료에 비하여 떨어지기 때문인 것으로 판단된다. 중소하천에서 갈수시 혹은 동계의 수위와 유황관측에서 문제가 발생할 가능성이 유황이 많은 대하천에 비하여 높기 때문이다.

##### 4.2 유황계수

무차원 유황은 식(7)을 이용하여 구하였으며, 식(2)~(5)로 정의한 각 유황계수를 포함한다. 각 수위관측 지점별 유황계수는 표 6에 나타난 바와 같으며 풍수계수는 1.903~3.441의 범위에 있고 저수계수나 갈수계수에 비하여 지점간에 변화가 작고 평균값은 2.48이다. 대하천과 중소하천의 유황계수를 비교하면 풍수계수가 하천규모에 거의 무관한 것으로 나타났으나, 저수계수나 갈수계수는 하천규모에 따라 크게 다르며 갈수계수 및 저수계수는 대하천이 중소하천보다 큰 경향을 나

표 4. 지점별 유황

단위 : m/sec

수계명	하천명	지점명	갈수량	저수량	평수량	풍수량	비고
한강	본류	인도교	37	52	104	317	이진원 등1)
	남한강	여주	27	41	77	180	전국하천조사서2)
금강	본류	공주	14	28	46	110	이진원 등1)
	보청천	산계	0.17	1.58	3.05	6.80	
		기대	0.03	0.51	2.77	6.56	
		탄부	0.04	0.56	2.27	5.06	
		이평	0.09	0.96	3.80	7.23	
낙동강	위천	무성	0.01	0.40	1.27	4.37	
		병천	0.01	0.26	2.11	5.81	
	본류	진동	26	58	118	286	이진원 등1)
		왜관	19	35	66	160	전국하천조사서2)
	영산강		나주	5	7	11	23
섬진강		송정	9	18	30	64	"

1) 이진원, 김형섭, 우효섭(1993)

2) 한국수\*자원공사(1992)

표 5. 유역면적과 유황의 관계

유황	관계식	결정계수
풍수량	$Q = 0.0892A^{0.7883}$	0.9098
평수량	$Q = 0.0418A^{0.7716}$	0.8725
저수량	$Q = 0.0041A^{0.9543}$	0.8735
갈수량	$Q = 0.00002A^{1.455}$	0.8269

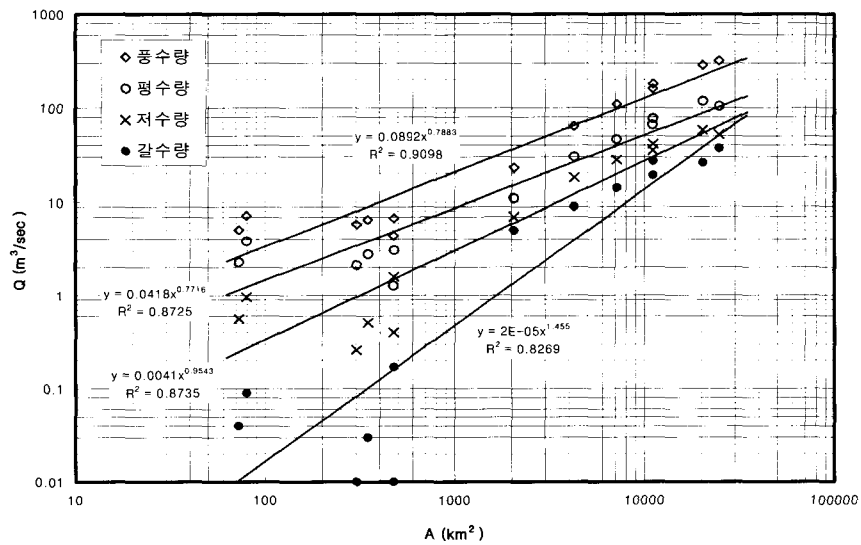


그림 1. 유황과 유역면적의 관계

표 6. 각 지점의 유황계수

하천	지점	풍수계수	저수계수	갈수계수
한강	인도교	3.048	0.500	0.356
	여주	2.338	0.532	0.351
금강	공주	2.391	0.609	0.304
낙동강	진동	2.424	0.492	0.220
	왜관	2.424	0.530	0.288
영산강	나주	2.091	0.636	0.455
섬진강	송정	2.133	0.600	0.300
보청천	산계	2.230	0.518	0.056
	기대	2.890	0.225	0.013
	이평	1.903	0.253	0.024
	탄부	2.229	0.247	0.018
위천	무성	3.441	0.315	0.008
	병천	2.754	0.123	0.005

표 7. 무차원 유황곡선의 영역구분

구분	무차원 유황곡선의 영역	특징
홍수유황	$Q_p > Q_{10.0}$	순위간 변화가 크고 하천규모와 직접유출의 영향을 크게 받는다.
지배유황	$Q_{90.0} \leq Q_p \leq Q_{10.0}$	순위간 변화가 작고 하천규모에 영향을 적게 받는다.
갈수유황	$Q_p < Q_{90.0}$	순위간 변화가 크고 하천규모와 기저유출의 영향을 크게 받는다.

타내고 있는 것을 표 4에서 확인할 수 있다. 이러한 경향을 나타내는 주된 이유는 풍수량이 저수량이나 갈수량에 비하여 강우시 직접유출의 영향을 더 많이 받는 반면에 저수량이나 갈수량은 기저유출을 반영하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

그림 2는 IHP대표유역 주요 지점의 무차원 유황곡선을 나타내는 것이다. 이 그림에서도 확인할 수 있는 것처럼 무차원 유황곡선은  $Q_{10.0}$ 이하와  $Q_{90.0}$ 이상에서 기울기가 대단히 급하고 지점간 변화의 폭이 큰 반면에 그 사이에서는 기울기가 비교적 완만하고 지점간의 차이가 적다. 유황곡선의 경사가 급한 영역에서는 유량순위간 크기의 변화가 심하고 경사가 완만한 영역에서는 유량순위간 변화가 상대적으로 적은 것을 나타낸다. 무차원 유황곡선에서  $Q_{10.0}$ 와  $Q_{90.0}$ 를 기준으로 한 하천의 지배유황(dominant flow duration), 홍수유황(abundant flow duration), 갈수유황(drought flow

duration)을 표 7과 같이 구분하였다.

### 4.3 유역면적과 유황계수

유황계수와 유역면적의 관계는 그림 3과 같다. 여기서 풍수계수는 표 6에서도 알 수 있는 바와 같이 유역면적과 관계가 거의 없고, 저수계수도 유역면적의 변화에 민감하지 못하다. 유역면적의 증가에 따른 저수량과 풍수량의 증가율이 풍수계수와 마찬가지로 거의 동일하다는 것을 알 수 있다. 따라서 하천의 생태적 지배유황이라고 할 수 있는 풍수량과 저수량 사이의 유량이 풍수량을 기준으로 볼 때 유역면적 변화에 대하여 거의 일정한 변화율을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 본 연구의 전 지점에 대해서 보면 풍수계수와 유역면적의 관련성이 거의 나타나 있지 않으나 중소규모하천에 해당하는 IHP 대표유역에 대해서는 그림 4에서도 알 수 있듯이  $Q_{10}$  보다 큰 무차원 유황에서 서로 관련성이 있

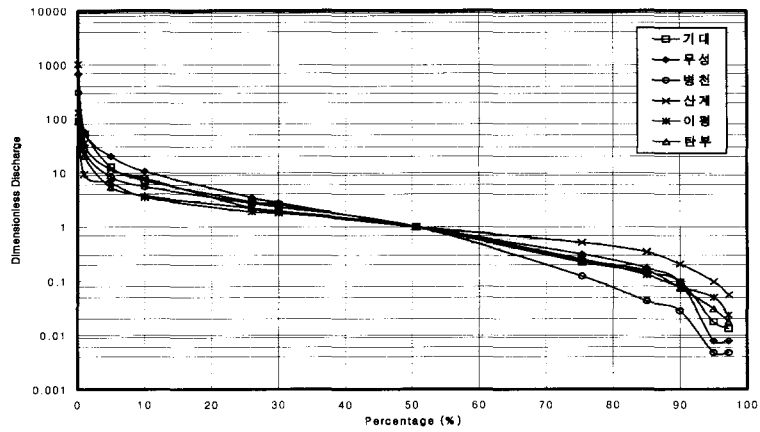


그림 2. IHP유역의 무차원 유황곡선

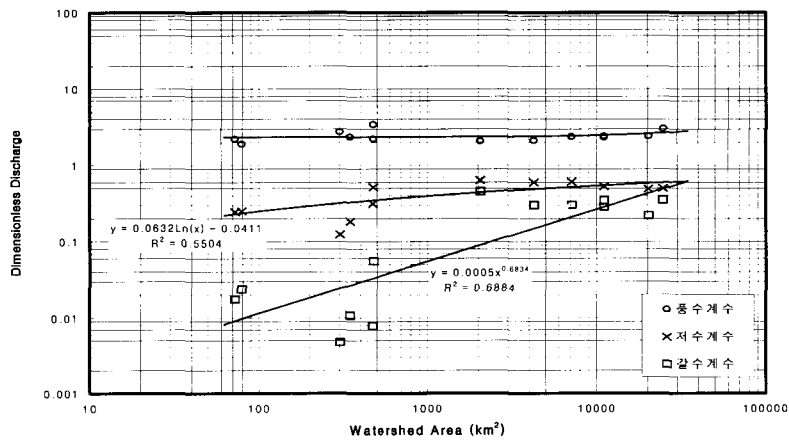


그림 3. 유역면적과 유황계수의 관계

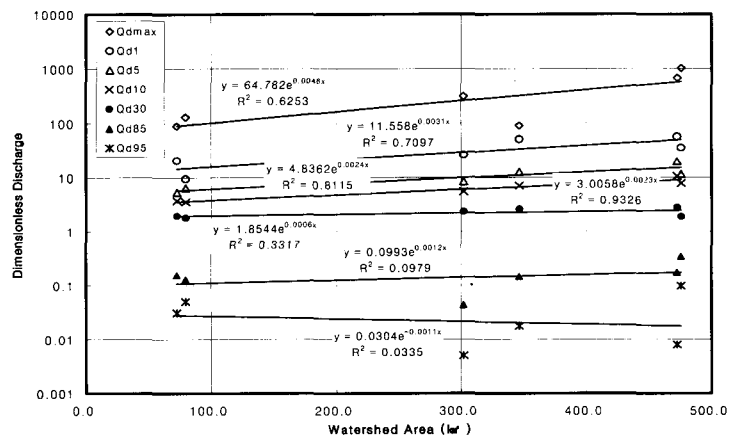


그림 4. IHP 대표유역의 유역면적과 무차원 유황의 관계



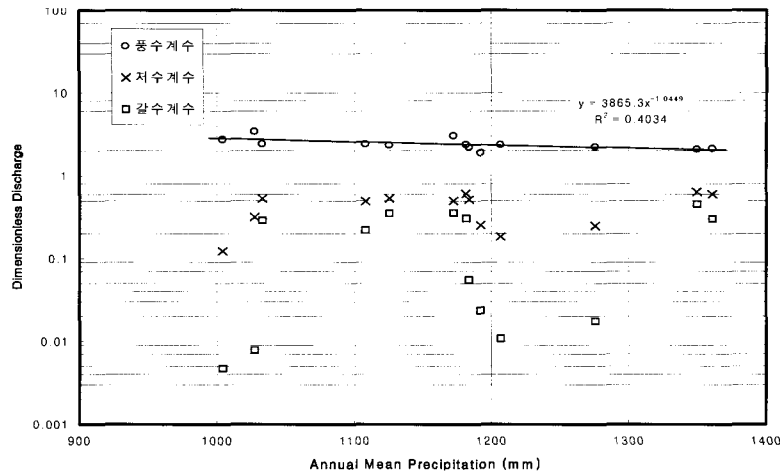


그림 5. 년평균강수량과 유황계수의 관계

다는 것을 알 수 있다. 즉 유역면적의 증가에 따라 유황계수가 증가하고 있다. 이는 하천의 규모에 따라 구분하면 유황계수가 유역면적에 깊은 관계를 나타낼 수도 있다는 것을 의미한다. 그림 4에서  $Q_{dmax}$  는 최대 유량에 대한 무차원 유량이다.

유역면적과 저수계수 및 갈수계수는 증가함수의 관계에 있으나 홍수계수는 4.2절에서도 설명한 바와 같이 유역면적에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내었다. 이는 홍수계수가 하천규모에 무관하게 고유한 값을 가질 수 있으며, 홍수량과 평수량이 유역면적 변화에 대하여 동일한 변화경향을 갖는다는 것을 의미한다. 따라서 이는 하천의 유황곡선을 추정하고자 할 경우에 홍수량과 평수량이 중요한 지표로 사용될 가능성을 시사한다. 예를 들어 평수량을 이용하여 홍수량을 추정하는데 홍수계수가 적용될 수 있다.

#### 4.4 년평균강수량과 유황계수

년평균강수량은 하천의 유량규모에 영향을 미치는 중요한 수문학적 인자이기 때문에 유황계수와 상관성이 클 것으로 생각되었으나 유역면적과 유황의 관계와 달리 본 연구에서 사용한 각 지점의 년평균 강수량과 유황간에는 분명한 경향을 발견하지 못하였다. 그림 5에서 보면 본 연구에서 적용한 지점의 경우 년평균 면적 강수량과 갈수계수 및 저수계수의 관계는 확인되지 않고 있으며 홍수계수는 미약하지만 어떤 관련성이 있는 것으로 보인다. 즉 년평균 강수량이 증가함에 따라 홍수계수는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 홍수계수

가 하천의 규모에 거의 영향을 받지 않는 것을 고려할 때 홍수계수는 하천의 지형학적인 특성보다는 기후학적인 특성에 좌우될 가능성을 시사한다. 이와 같은 경향을 보이는 것은 우리나라 총 강수량의 시간분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 즉, 우리나라의 강수량 중 약 60%가 하계에 집중되기 때문에 강수총량이 갈수량이나 저수량보다는 홍수량이나 홍수량에 더 영향을 미치기 때문이다. 홍수계수가 년평균 강수량의 증가에 따라 감소한다는 것은 년평균 강수량이 증가하면 평수량과 홍수량의 차이가 줄어들고 년평균강수량이 감소하면 평수량과 홍수량의 차이가 증가하는 것을 의미한다. 이는 강수량이 적은 지역의 하천이 강수량이 많은 지역의 하천보다 평수량과 홍수량 사이의 지배유량 변동폭이 커지는 것을 나타낸다. 그림 5에서 보면 동일한 강수량에 대해서 갈수계수는 그 변동폭이 큰 것을 알 수 있다. 이는 자료의 신뢰성의 문제이거나 그림 3에서 보는 바와 같이 갈수계수에 영향을 미치는 유역면적 등의 영향을 반영한 것일 가능성이 크다.

#### 4.5 유황변동계수

본 연구에서는 무차원 유황곡선의 특성을 분석하기 위하여 다음 식 (8)과 같이 갈수계수에 대한 홍수계수의 비로 갈수유황 변동계수를 정의하고 식 (9)와 같이 저수계수에 대한 홍수계수의 비로 저수유황 변동계수를 정의하였다.

$$C_{VD} = \frac{C_A}{C_D} = \frac{Q_{26.0}}{Q_{97.3}} \quad (8)$$

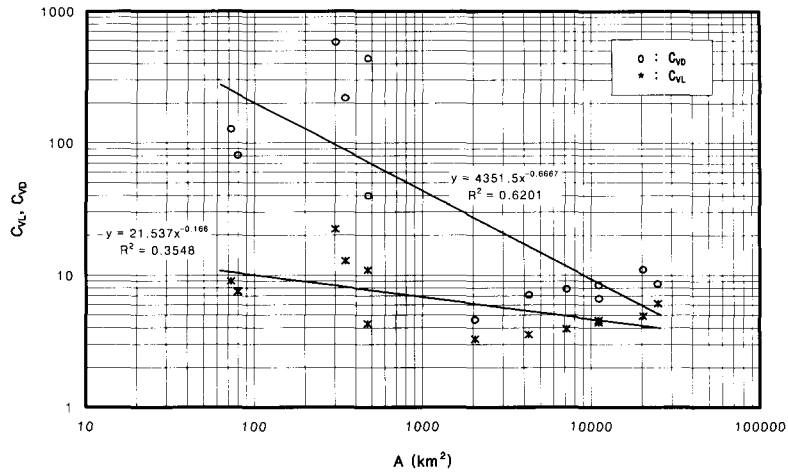


그림 6. 유역면적과 유황변동계수의 관계

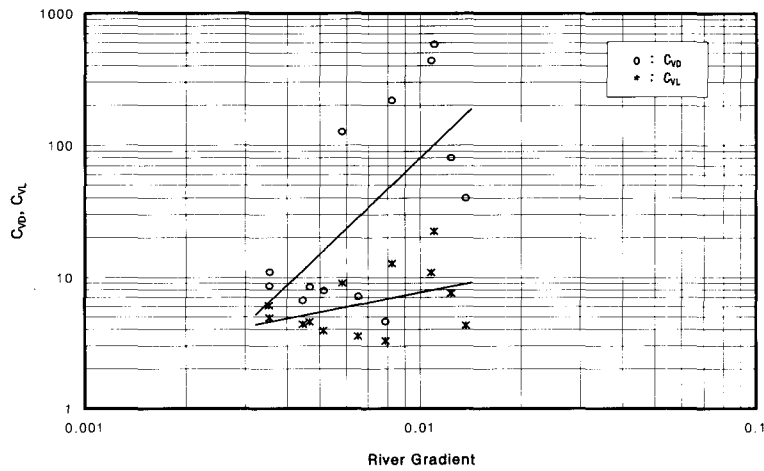


그림 7. 하천경사와 유황변동계수의 관계

$$C_{VL} = \frac{C_A}{C_L} = \frac{Q_{26.0}}{Q_{75.3}} \quad (9)$$

여기서  $C_{VD}$  및  $C_{VL}$  은 각각 갈수유황 변동계수 및 저수유황 변동계수이다. 갈수유황 변동계수나 저수유황 변동계수는 식(8)과 (9)에서도 확인할 수 있는 것처럼 풍수량을 기준으로 본 갈수량 또는 저수량의 변동성 정도를 나타낸다. 본 연구의 식(8)로 정의한 유황변동계수는 이진원 등(1993)이 식(6)으로 정의한 유황계수와 유사한 점이 있다. 이진원 등이 제안한 유황계수는 지속일수 10일의 홍수량을 사용하였으나 이를 순위

백분율로 나타내면  $Q_{2.74}/Q_{97.3}$ 이 되므로 본 연구에서 제안하고 있는 갈수유황 변동계수의 식(8)과는 큰 차이가 있다. 이진원 등의 유황계수는 하천의 홍수시 유량과 갈수시 유량의 변화 폭이 어떤 지를 나타내고 있으며, 그들에 의하면 우리나라에서 현재 사용되고 있는 하상계수를 대신할 수 있을 것으로 판단하고 있다. 본 연구에서 제안하고 있는 유황계수는 풍수량을 기준으로 한 갈수량과 저수량의 변화 폭을 나타내고 있어서 하천의 지배유량 변화에 보다 초점이 맞추어진 것이라고 할 수 있다. 이와 같은 유황변동계수는 그림 6과 그림 7에서 알 수 있듯이 유역면적에 따라 감소하고 하천의 경

표 8. 유황변동계수와 유역특성인자간의 다중상관 분석결과

관 계 식	잔차제곱의 합	상관계수
$\log C_{VD} = 3.639 - 0.6667 \log A$ (12)	0.2199	0.7875
$\log C_{VL} = 0.464 - 44.779S$ (13)	0.0386	0.6180
$\log C_{VD} = 30.42 - 0.704 \log A - 8.694 \log P$ (14)	0.0876	0.9213
$\log C_{VL} = 9.838 - 46.057S - 3.060 \log P$ (15)	0.0216	0.8100
$\log C_{VD} = 30.682 - 0.733 \log A - 8.729 \log P - 8.225S$ (16)	0.0874	0.9214
$\log C_{VL} = 10.812 + 20.125S - 3.201 \log P - 0.108 \log A$ (17)	0.0209	0.8170

사에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있으며 그 관계는 식 (10) 및 (11)과 같다.

$$C_{VD} = \frac{4350.1}{A^{0.667}} \quad (10)$$

$$C_{VL} = 2.913e^{103.1S} \quad (11)$$

여기서 A는 유역면적(km<sup>2</sup>)이고 S는 하천의 경사이며 갈수유황 변동계수와 유역면적의 상관계수는 0.7875이고 저수유황 변동계수와 하천경사의 상관계수는 0.618이었다. 유황변동계수가 유역면적의 증가에 따라 감소하는 것은 유황이 유역면적의 증가에 따라 증가하는 것과는 반대의 경향을 나타내는 것이다. 따라서 유역면적이 증가하면 유황은 증가하나 풍수량을 기준으로 한 갈수량과 저수량의 변화율은 줄어드는 것을 알 수 있다. 그림 6에서도 알 수 있는 바와 같이는 대 하천에서는 유황변동계수가 작고 중소하천에서 유황변동계수가 크고 갈수유황 변동계수가 저수유황 변동계수보다 유역면적에 민감한 것을 알 수 있다. 대하천은 중소하천에 비하여 갈수유황 변동계수가 현저하게 작으며 이는 대하천의 지배유량이 상대적으로 안정적이라는 것을 나타내는 것이다. 즉 저수량이나 갈수량에 대한 풍수량의 비율이 대 하천보다 중소하천에서 크므로 하천의 유지관리가 대 하천보다는 중소하천이 까다롭다고 할 수 있다.

유황변동계수와 하천 경사의 관계는 그림 7에서 확인 할 수 있으며 하천의 경사가 증가하면 유황변동계수가 커진다. 이는 하천의 장기적 측면의 기저유출량이 하천경사에 영향을 받는 것을 반영하는 것이라고 판단된다. 하천의 경사가 완만할수록 유역의 경사도 완만해지고 퇴적지형에서 대수층이 발달할 가능성이 높기 때문에 저수량이나 갈수량이 상대적으로 크게 되므로 유

황변동계수가 하천의 경사에 따라 증가하는 것으로 보인다. 하천의 경사가 증가하면 유황변동계수가 커지고 있다. 따라서 하천의 중단경사가 하류지역보다 상류지역에서 급한 것을 고려하면 하류지역 보다 상류지역 하천에서 저수량 및 갈수량에 대한 풍수량의 비율이 커진다. 이는 상류지역의 대부분 하천이 유역경사가 급하고 토심이 얇기 때문에 나타나는 강우유출특성과 기저유출특성을 반영하는 것이라고 할 수 있다.

유황변동계수에 대한 유역의 유역면적, 년평균강수량, 하천 평균경사의 관계를 다중상관분석에 의하여 조사하여 보았다. 그 결과는 표 8의 식 (12)~(17)과 같으며 여기서 A는 유역면적(km<sup>2</sup>), P는 년평균강수량(mm), S는 하천경사이다. 유황변동계수에 대하여 상관계수가 가장 큰 유역특성 인자는 갈수유황 변동계수의 경우에는 유역면적이었고 저수유황 변동계수의 경우에는 하천경사였다. 변수의 증가에 따른 상관계수의 변화를 보면 갈수유황 변동계수는 하천경사를, 저수유황 변동계수는 유역면적을 제거하여도 될 것으로 보이나 이는 본 연구에 적용된 지점 이외에 더 많은 지점의 자료에 대하여 분석하여 판단하여야 할 것으로 생각된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강과 보청천 및 위천의 IHP대표유역의 주요 지점 중에 상류지역에서 댐과 같은 인위적인 유량조절이 없는 자연하천을 대상으로 유황곡선을 조사하였다.

유역면적의 증가에 따라 유황이 증가하고 있으며, 중소하천인 IHP대표유역 각 지점의 저수량이나 갈수량은 풍수량이나 풍수량에 비하여 자료점이 더 크게 산포되어 있다. 이는 중소하천에서 유황측정에 보다 신중한 주의를 기울여야 한다는 것을 보여준다. 자연하천에서 유역면적과 저수계수 및 갈수계수는 증가함수의 관계에

있으나 풍수계수는 하천규모에 거의 무관하게 1.903~3.441의 범위를 나타내었고 그 평균값은 2.48이었다. 따라서 풍수계수는 하천유황의 고유한 특성일 가능성이 많다. 그러나 풍수계수가 년평균 강우량의 증가에 따라 작아지는 경향이 있으므로 풍수계수에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다. 저수계수나 갈수계수는 년평균 강수량에 관계가 거의 없으나 하천규모에는 큰 영향을 받고 있으며 증소하천보다 대 하천에서 더 크게 나타났다.

갈수계수 및 저수계수에 대한 풍수계수의 비로 정의한 유황변동계수가 대 하천보다 증소하천에서 크게 나타나 대하천의 지배유량이 증소하천보다 상대적으로 안정적이라는 것을 알 수 있다. 갈수유황 변동계수가 저수유황 변동계수보다 하천의 규모를 나타내는 유역면적에 민감하게 변화하기 때문에 증소하천의 경우 저수량보다는 갈수량을 다룰 때에 보다 주의를 기울여 다루어야 한다는 것을 알 수 있다. 하천의 경사가 증가하면 유황변동계수가 커지므로 하천의 중단경사가 하류지역보다 상류지역에서 급한 것을 감안할 때 하류지역보다 상류지역 하천에서 저수량 및 갈수량에 대한 풍수량의 비율이 커진다. 본 연구의 결과는 하천의 유황특성을 이해하는데 기여할 것으로 생각되나 적용한 각 지점의 자료상 한계가 있으므로 정확한 유황계수와 유황변동계수의 특성을 파악하기 위해서는 신뢰성 있는 보다 많은 유황관측 지점의 자료확보가 필요한 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 1999년도 강릉대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 학교당국에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

건설부 (1989~1999). 국제수문계획(IHP) 대표유역연구조사보고서.  
 박상덕 (1999). "남북강원 수자원의 개발과 관리." 분단강원의 이해-상황과 전망, 강원사회 연구회, 한울아카데미, pp.350~367.  
 박성우 (1968). "한국하천의 유황에 관한 연구." 한국

농공학회지, 한국농공학회, 제10권, 제1호, pp.77~87.  
 박성우 (1974). "하천의 유황에 관한 수문학적 연구." 한국농공학회지, 한국농공학회, 제16권, 제2호, pp.78~93.  
 신사철 (2000). "기후변화 시나리오에 의한 하천유황의 해석." 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제33권, 제15호, pp. 623~634.  
 우효섭 (2001). 하천수리학, 청문각, pp.617~618.  
 이원환 (1994). 발전수력공학. 동명사, pp.22~23.  
 이진원, 김형섭, 우효섭 (1993). "댐건설로 인한 5대수계 본류의 유황변화 분석." 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제13권, 제3호, pp.79~91.  
 한국수자원공사 (1992). 전국하천조사서. pp.II-286~III-565  
 홍일표 (1995). 시험유역의 운영 및 수문특성 조사연구. 1차년도 연구보고서, 한국건설기술연구원, KICT/95-WR-1102-1.  
 Dingman, S. L. (1993). *Physical Hydrology*, Prentice Hall.  
 Foster, H. A. (1934). "Duration Curve." *Transactions*, ASCE, Vol.99, pp.1213~1267.  
 Fennessey, N. and R. M. Vogel (1990). "Regional Flow-Duration Curves for Ungaged Sites in Massachusetts." *J. of Water Resources Planning and Management*, ASCE, Vol.116, No.4, pp.530~549.  
 Linsley, R. K. and Franzini, J. B. (1979). *Water-Resources Engineering*, McGraw-Hill, pp.127~129.  
 Maidment, D. R. (1992). *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, pp. 18.53~18.54.  
 Searcy, J. K. (1959). *Flow-duration Curves*. Paper 1542-A, U. S. Geological Survey Water-Supply, U.S. Government Printing Office, Washington, D. C.  
 (논문번호:02-43/접수:2002.07.16/심사완료:2002.12.17)