

영산강 유역의 지역갈수 유출 모형 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Regional Low-flow runoff Model at the Youngsan River Basin

김경수(Gyung-Soo Kim)* · 조기태(Ki-Tai Jo)**

요 약: 오늘날 급격한 산업화, 도시화, 인구증가 등으로 용수수요 급증, 수질오염, 수자원 개발의 한계, 용수공급의 안정성 등으로 인하여 갈수량에 관한 관심이 증대하고 있다. 물리적 토대를 둔 유로-대수층 모형을 이용하여 영산강 유역에 위치하고 있는 주요하천의 지역 갈수 유출모형의 개발을 모색하였다. 이를 위하여 영산강 유역의 주요하천에서 23개의 대상 소유역을 선정하였으며, 여기서 갈수량을 측정하여 본 연구의 모형개발에 이용하였다. 그리고 최종적으로 영산강 유역의 미계측 지점에서 갈수량을 추정하기 위한 지역갈수 유출 모형을 제안하였다.

Abstract: The present day, interest in low flow statistics has been increased, primarily because of the increase in water demands and the contamination of water quality and the limitation of water resource development and the annual water supply stability. The model for estimating low flow statistics is points of this study chosen catchments in the Youngsan basin. For the purpose of this study, the low-flow discharge at 23 points, where absent gauging station is unmeasured and the data is used for the model. Finally, the regional formula to estimate the low flow statistics at the unmeasured point is proposed.

서 론

지금까지 우리 나라의 수자원 정책은 한발과 홍수관리에 치중되어 왔다. 그 결과 하상계수가 다소 낮아지고 유황도 개선되는 효과를 거두었으나 증가와 급속한 산업화 및 도시화 등으로 용수수요가 급증할 뿐만 아니라, 연중 고른 용수수요, 수자원 개발의 한계, 하천 환경 문제, 갈수기 각종 용수 부족문제 등이 중요한 현안문제로 대두되었다. 특히, 우리 나라는 연평균 강우량의 65% 이상이 우기인 6-9월에 집중되어 있고, 전 국토의 2/3이상이 산악지형으로 구성되어 있기 때문에 수자원 관리에 많은 어려움이 있다. 오늘날과 같은 도시중심의 산업사회에서는 과거 농업중심 사회와는 달리 용수 수요가 어느 특정시기에 집중되어 있지 않고, 연중 많은 양의 용수를 필요로 하고 있으며, 많은 오염물질 배출로 인한 하천 환경문제, 생태계 보존 등으로 갈수에 관한 관심이 매우 증가하고 있다. 갈수량은 유역특성이나 유역의 지형 및 지질학적 특성에 따라 크게 변화하는 특성을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 영산강 유역의 미계측 산지하천을 대상으로 유역, 지형, 지질학적 인자들을 고려하여 갈수량 산정을 위한 지역 갈수 유출 추정식 개발의 연구를 수행하였다.

갈수 유출모형

갈수량(low flow)은 기저유량으로 나타나는 유출의 한 성분

* 군산대학교(Kusan National University, San 68, Miroung-Dong, Kusan 573-360, Korea)

** 전북대학교(Chonbuk National University, 664-14, Dukjin-Dong, Dukjin-Gu, Chonju 561-756, Korea)

으로 자연하천에서 유역내의 지하수 대수층으로부터 자연적으로 배수되는 유출량이다. 이러한 갈수유출은 시·공간에 따라 다른 비율로 진행되기 때문에 정량적으로 표현하기 어렵다. 본 연구에서는 유동방정식에 의한 감수모형과 회귀방법에 의한 감수모형을 이용하여 지역 갈수 유출모형의 개발을 모색하였다.

유역은 다수의 유로-대수층 요소들로 구성되어 있다. 유역을 다수의 단위 유로-대수층의 집합체로 간주하면, 수로에서의 단위 길이 당 지하수 유출량은 수문학적 동질성을 가정하여 전 유역으로 확장할 수 있다. 이때 유역의 출구점에서 갈수 유출량은 하천에 기여하는 측방 유입량(lateral inflow)의 총합으로 식(1a)과 (1b)와 같이 표현할 수 있다. 즉,

$$Q = 2Lq_0(-at) \tag{1a}$$

$$Q = Q_0 K'_b \tag{1b}$$

여기서, L 은 유역 내 총 하천 연장이고, t 는 시간 구간(日)이며, Q_0 는 $t=0$ 일 때의 유출량으로서 식(1a)에서 $2Lq_0$ 이고, K'_b 는 감수계수로서 식(1a)에서 $\exp(-at)$ 이다. Zecharais & Brutsaert(1988)은 식(1)의 초기유량은 강수량에만 종속된다고 하였고, Vogel & Kroll(1992)은 유역면적, 유역경사, 투수계수, 전유역 면적에 대한 유출에 기여하는 유역면적비 등의 함수라고 하였으며, Ambroise(1996)은 초기유량을 유역면적, 유역경사, 전달계수의 함수라고 하였다. 한편, Zecharais & Brutsaert(1988)은 대수층 반응인자를 투수계수, 배수공극율, 대수층의 평균 두께, 대수층의 기율기 등의 함수로 표현하였으며, Vogel & Kroll(1992)은 대수층의 평균 폭과 하천밀도와의 관계, 대수층의 두께, 유역경사 등의 함수로 표현하였다.

갈수량을 산정하기 위한 모형식의 변수들에 관한 각 연구자들의 연구결과를 종합하면, 감수부의 초기유량은 유역면적, 유역경사, 투수계수의 함수로 표현할 수 있으며, 감수계수는 대수층의 규모와 대수층의 수리특성치의 함수로 표현할 수 있다. 이들 변수 중 유역면적과 유역경사는 지형도를 이용하여 비교적 용이하게 산정할 수 있지만 투수계수는 추정하기 어렵다. 그러나 투수계수의 영향을 감수계수로 대변한다면 갈수 유출량을 정량적으로 표현하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 변수 산정의 용이성을 고려하여 갈수 유출량 산정식의 매개변수를 유역면적, 평균유역경사, 감수계수로 결정하였다.

모형 매개변수

갈수량을 산정하기 위한 모형식의 매개변수는 유역면적, 평균 유역경사, 감수계수 등이다. 이중 평균 유역경사는 지금까지 많은 연구자들에 의하여 연구되었다. 이들 방법 중 Horton(1945)이 제안한 교차선법은 해당 지형도상에 격자 선을 긋고, 이들 격자 선이 등고선과 교차할 때의 점의 수를 세는 방법이다. 격자선의 총 길이와 격자 선과 등고선이 만나는 점의 수가 근사 평균 유역경사를 산정하는 식에 이용된다. 이 방법은 비교적 정확하게 평균 유역경사를 산정할 수 있지만, 이 방법의 정도는 격자선의 간격에 반비례하며, 특히, 넓은 유역에 적용하거나 격자선의 간격이 조밀할 경우 평균 유역경사를 산정하는데 많은 시간과 경비가 소요되는 단점을 가지고 있다.

Strahler(1950)는 Roche의 장방형 방법의 문제점을 개선하기 위하여 간이법을 제안하였다. 그는 Horton이 제안한 배수밀도(drainage density)식을 이용하여 평균 유역경사를 산정하기 위한 식을 식(2)과 같이 제안하였다. 즉,

$$S \cong 2Hd \tag{2}$$

여기서, H는 유역의 정상과 출구사이의 표고차인 유역기복(watershed relief)이며, d는 단위 유역 면적 당 하천길이인 배수밀도(drainage density)이다.

한편 감수계수 산정법에는 도해적 방법, 최소 자승법, Vogel & Kroll(1992)법 등이 있다. Martin(1973)은 반대수지상의 x축에 유량 Q를, y축에 시간 t를 도시하여 감수계수를 산정하는 방법을 제안하였다. 이러한 도해적 방법은 완전한 수문곡선을 얻는데 많은 노력과 시간을 필요로 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 James & Thompson(1970)은 선형 감수모형에서 최소 자승법을 이용하여 감수계수를 추정하는 모형을 제시하였다. 최소 자승법을 이용하여 정확하게 감수계수를 산정하기 위해서는 감수시점의 유량이 커야 하고, 유량 감수계열의 일수가 최소한 8일 이상 확보되어야 한다는 한계가 있다. 한편 Vogel & Kroll(1992)은 유출량과 유역 저류량과의 관계를 식(3)과 같이 가정하여 감수계수를 산정하는 방법을 제안하였다. 즉,

$$K_b = \exp \left\{ -\exp \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left\{ \ln(Q_{i-1} - Q_i) - \ln \left[\frac{1}{2} (Q_i + Q_{i+1}) \right] \right\} \right] \right\} \tag{3}$$

여기서, m은 일 하천유량 Q_{i-1} 과 Q_i 쌍의 개수이다.

그러나 이 방법은 연속적인 하천 유량자료가 확보되어 있는 지점에서는 비교적 용이하게 감수계수를 산정할 수 있으나, 수위관측이 실시되지 않은 미계측 지점에서는 위 식을 직접 이용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 해당하천의 하류에 위치하고 있는 수위 관측소 지점의 갈수량과 갈수량을 산정하고자 하는 미계측 지점에서의 갈수량과의 관계를 식(4)과 같이 표현하였다. 즉,

$$Q' = \gamma Q^\omega \tag{4}$$

여기서, Q' 는 수문 관측소 상류의 미계측 지점의 갈수량이며, Q 는 수위 관측소 지점의 갈수량 그리고 γ, ω 는 상수이다.

또한, 수위관측을 실시하지 않은 미계측 지점에서 감수계수를 산정하기 위하여 감수계수를 산정하고자 하는 해당하천의 하류에 위치하고 있는 수문 관측소 지점에서 식(3)을 이용하여 감수계수를 산정한 후 이 값과 구하고 하는 미계측 지점에서의 감수계수 값과의 관계를 식(5)과 같이 표현하였다. 즉,

$$K'_b = K_b^\omega \tag{5}$$

여기서, K'_b 는 미계측 지점의 감수계수, K_b 는 해당하천 하류에 위치한 수위관측 지점의 감수계수, ω 는 추정해야 하는 상수이다.

연속적인 하천수문 자료가 확보된 수위 관측소 지점에서는 식(3)을 이용하여 감수계수를 산정하고, 수위 관측소 지점의 갈수 유량과 이에 상응하는 미계측 지점의 갈수량 측정자료를 이용하여 식(4)에서 상수 γ, ω 를 산정한다. 그리고, 이 결과를 식(5)을 이용하여 감수계수를 산정하고자 하는 미계측 지점의 감수계수를 산정할 수 있다.

대상유역

본 연구의 대상유역은 영산강 유역에 위치하고 있는 주요 하천유역이다. 영산강은 섬진강과 분수령을 이루고 있는 노령산맥의 용추봉에서 발원하여 황룡강, 지석천, 광주천, 고막원천 등의 지류와 합류한 후 남해로 유입되는 하천으로서 유역면적은 3,521.6 km², 유로연장은 142.7 km이다. 본 유역의 하상경사는 비교적 완만하며, 하상은 점토, 모래, 자갈 등으로 구성되어 있으며, 본 유역의 하구에는 1982년 목포항 상류 약 6 km 지점에 하구언이 완공되어 인근지역에 농업용수와 생·공 용수를 공급하고 있다(건설부, 1985).

본 연구에서는 전라남도에 위치한 영산강 유역을 대상으로 갈수량 특성을 파악할 수 있는 산지유역을 선정하기 위하여 각 유역의 유역현황을 조사하였다. 영산강 유역에는 총 20여개의 기상 관측소와 21개소의 수위 관측소가 설치 운영되고 있다(전라남도, 1989). 본 유역의 주요하천은 광주천, 황룡강, 지석천, 고막원천, 함평천 등이 있는데, 광주천은 광주 광역시를 관통하고 있어 도시화가 진행중인 하천이며, 황룡강 상류에는 장성댐이 축조되어 있고, 지석천 상류에는 나주 댐이 축조되어 있다. 반면 고막원천과 지석천 유역은 비교적 산지유역이며, 고막원천 유역에 학교 수위관측소, 지석천 유역에 능주 수위 관측소 등이 설치 운영되고 있어 갈수특성 파악이 가능한 유역이다.

이상을 참고하여 본 연구에서는 관측지점의 적부성을 판단

Table 1. The suitability and unsuitability of study area

유역	주요하천	수위 관측소 분포정도	도시발달 정도	저수지 분포	토지이용 정도	비고
영산강	광주천	×	×		○	×
	황룡강	○	△		×	×
	지석천	○	○		○	○
	고막원천	○	○		○	△
	함평천	○	△		×	△

(○: 적합, △: 중간, ×: 부적합)

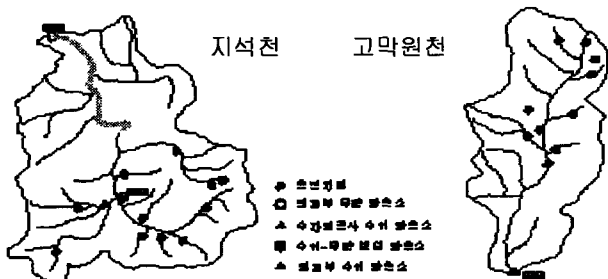


Figure 1. The study area.

하기 위하여 수문 관측 시설의 유무, 저수지 분포 정도, 토지 이용률 정도, 지질 등을 3개 등급으로 나누어 그 결과를 Table 1에 나타내었다. Table 1에 보인바와 같이 영산강 유역의 경우 광주천, 황룡강, 함평천 등은 수문 관측 시설, 도시 발달, 저수지 분포 측면에서 부적합한 반면, 지석천과 고막원천은 관측 지점 선정기준에 적합한 것으로 나타났다. 한편, 본 연구의 대상유역은 Figure 1에 도시하였다.

유역특성

유역(catchment)은 강우가 지속되는 동안 유역의 유일한 유출구를 통과하는 유출에 기여하는 모든 지면으로 정의되며, 유역의 경계는 지형학적 분수계(topographic divide)에 의하여 정의된다. 본 연구에서 유역면적은 대상유역의 1:50,000 지형도

와 지형정보 시스템(GIS)과 구적기를 이용하여 산정하였다. 각 소유역별 유역면적 산정결과를 보면, 지석천 유역 0.746~139.381 km², 고막원천 유역 0.762~119.050 km²로 산정되었다.

강우의 침투량이나 유출을 그리고 지표면 유출의 속도 등에 중요한 영향을 미치는 평균 유역경사는 두 지점간의 표고 차이와 거리와의 비로 정의된다. 본 연구에서는 비교적 쉽고 간단할 뿐만 아니라 비교적 정확하게 평균 유역경사를 산정할 수 있는 Strahler's 방법을 이용하여 평균유역경사를 산정하였다. 대상유역 내 소유역별 평균 유역경사 산정 결과를 보면, 지석천 유역 0.322~2.158, 고막원천 유역 0.142~0.659로 각각 산정되었다.

수문곡선에서 감수부의 유출특성은 감수계수로 설명될 수 있다. 하천유량의 감수는 기본적으로 하천에 대한 지표유출 유입이 끝나는 시간으로부터 고려되며, 유역에 저류된 수분이 서서히 고갈되는 과정으로 강우와는 무관하며 대상유역의 유역특성, 지질학적 특성 및 지형학적 특성에 따라 달라지는 특성을 가진다. 본 연구에서는 대상유역의 하천에서 감수계수를 구하기 위하여 Vogel & Kroll 등이 제안한 방법으로 장기 하천 수문자료가 확보되어 있는 수위관측소 지점에서 감수계수를 산정하였으며, 수문자료가 확보되어 있지 않은 미계측지점에서 감수계수는 상·하류간 갈수량 관계식에서 산정한 γ , ω 값을 식(2.5)에 적용하여 계산하였다. 그 결과 지석천 유역의 감수계수는 0.840~0.956, 고막원천 유역의 감수계수는 0.840~0.954 등으로 산정되었다. 이상을 종합하여 갈수량 측정지점의 유역특성치를 Table 2에 게재하였다.

토지이용 현황

지표면의 식생피복의 종류나 포장여부에 따라 침투율과 유출율이 크게 달라지기 때문에 대상유역 내의 토지 이용상태는 전반적인 유출특성을 판단하는데 중요한 인자 중의 하나이다. 따라서, 본 연구에서는 전 절에서 선정된 소유역의 토지이용 상태를 파악하여 본 연구의 대상유역이 산지 유역으로 평가될 수 있는지를 확인하였다. 대상유역에 대한 토지 이용률을 산정하기 위해 1/50,000 지형도를 이용하였으며, 토지이용 상태를

Table 3. The constant values of low-flow relation equations

점명	$\gamma = 10^a$		ω		d		비고
	지석천	고막원천	지석천	고막원천	지석천	고막원천	
1	4.04*10 ⁻⁶	5.08*10 ⁻³	1.930	1.329	0.058	0.049	
2	3.58*10 ⁻¹⁰	2.14*10 ⁻⁴	2.852	1.803	0.085	0.092	
3	2.94*10 ⁻¹⁷	0.026	4.780	1.457	0.036	0.002	
4	4.94*10 ⁻¹²	6.42*10 ⁻⁷	3.585	2.503	0.049	0.219	
5	9.57*10 ⁻⁶	0.016	1.814	0.877	0.382	0.122	
6	2.30*10 ⁻⁵	4.55*10 ⁻⁶	1.778	1.867	0.274	0.355	
7	2.24*10 ⁻⁷	5.60*10 ⁻⁵	2.390	1.588	0.028	0.137	
8	5.74*10 ⁻¹⁶	0.258	4.695	0.660	0.320	0.062	
9	1.34*10 ⁻¹¹	0.015	3.547	0.840	0.105	0.136	
10	5.47*10 ⁻⁹	4.07*10 ⁻⁴	2.772	1.349	0.025	0.036	
11	1.64*10 ⁻⁶	-	2.119	-	0.039	-	
12	2.40*10 ⁻³	-	1.244	-	0.062	-	
13	2.19*10 ⁻⁷	-	2.768	-	0.002	-	

전, 답, 임야, 그리고 기타 지역으로 구분하여 각각의 면적을 구적기를 사용하여 산정하였다. 그리고 각 구분별 토지이용 상태가 소유역 전체면적에서 어느 정도 비율을 차지하고 있는지 확인하기 위하여, 소유역 전체면적에 대한 각 토지이용 상태의 구분별 면적비로 환산하였다. 각 소 유역별 토지 이용률은 측정지점 선정시 하천수의 인위적 교란이 적은 유역을 선정하기 위하여 댐이나 저수지 등과 같은 저류시설이 없고, 토지 이용률이 비교적 낮은 산지유역을 위주로 선정하였기 때문에 대부분의 유역에서 농경지의 비율은 낮고 임야지역의 비율이 상대적으로 높게 나타났다.

갈수량 측정

갈수기의 갈수량은 홍수량과 달리 유량이 적기 때문에 신뢰성있는 유량자료를 얻기 위해서는 갈수량 측정지점에서의 측정환경을 고려하여 갈수량 측정을 실시하여야 한다. 본 절에서는 측정환경을 기상환경과 측정지점 환경으로 구분하였다. 기상환경 중에서 갈수량에 가장 많은 영향을 미치는 인자는 강우량이다. 본 연구에서는 갈수량 측정 시기를 결정할 때 무강우가 지속되는 기간을 기준으로 선정하였다. 또한, 갈수량 측정시 각 차수별 유량측정 기간은 각 측정지점에 대한 갈수량 관측 자료가 기상학적으로 동질성을 가질 수 있도록 측정기간이 15일을 넘지 않도록 하였으며, 특히 하천수의 인위적인 교란이 비교적 적은 비관개기에 갈수량 측정을 실시하였다. 갈수량 측정 당시의 기상환경은 Figure 2에 도시하였다.

본 연구의 대상유역인 지석천 유역, 고막원천 유역에 대하여 5차에 걸쳐 갈수량 측정을 실시하였다. 갈수량은 하천수의 인위적인 교란이 비교적 적게 발생하는 갈수기인 10월부터 이듬해인 5월까지의 비관개기에 실시하였다. 각 차수별 측정시기를 보면 1차 갈수량 측정은 1997년 10월 24일부터 29일까지 실시하였으며, 2차 갈수량 측정은 1997년 12월 13일부터 17일까지, 3차 갈수량 측정은 1998년 2월 24일부터 27일까지, 4차 갈수량 측정은 1998년 4월 8일부터 12일까지, 그리고 5차 갈수량 측정은 1998년 5월 1일부터 5일까지 실시하였다. 갈수량 측정 당시의 기상환경은 Figure 2에 도시하였다.

각 소 유역별 갈수량 측정성적을 평가하기 위하여 소유역별, 갈수량 측정 차수별 유출고(depth of runoff)와 평균 유출고를 산정하였다. 각 소유역별 평균 유출고의 산정 결과 지석천의 유역의 경우 0.19~3.09 mm/日, 고막원천 유역의 경우

0.46~3.11 mm/日로 나타났다. 이것은 각 소유역의 저류수준이 상이한 것으로 판단된다.

수위 관측소 지점 유형

유형이란 수위관측소에서의 일 유량의 연간 상황을 의미하며, 일 유량의 크기와 누가 일수로서 표시한다. 유형을 나타내는 지표 유량으로는 연평균 유량, 갈수량, 저수량, 평수량, 풍수량 등이 있다. 연평균 유량은 일 유량의 1년 총계를 당해년 일수로 나눈 유량이고, 갈수, 저수, 평수, 풍수량은 각각 1년을 통하여 355, 275, 185, 95일은 이보다 더 작지 않은 유량이다 (건설부, 1976).

특히 갈수량은 자연상태의 하천 유량을 하천의 건천화 방지 등 최소한의 기능을 유지할 수 있도록 하류에 보장해주는 유량이다. 통상 기준이 되는 갈수량은 평균 갈수량, 기준 갈수량, 10년 빈도 7일 갈수량 등이 있다. 분석기간의 평균 갈수량은 그 유황 곡선상의 355일 즉, 97.3%에 해당하는 유량이거나, 최근 10~20년간의 연도별 갈수량의 평균치이다. 기준 갈수량은 10년 빈도 갈수량이며 매년 갈수량을 빈도 분석하여 비초과 확률 10%에 해당하는 갈수량이거나, 최근 10~20년간의 연도별 갈수량 중 1위 또는 2위에 해당하는 갈수량이다. 이는 홍수와 달리 갈수의 지속기간을 중요시하고 이를 반영한 것이다. 이와 같은 유형분석을 위해서는 충분한 유량 측정자료가 있어야 하며, 유황은 유역환경에 지배되기 때문에 분석기간에 따라 다르다. 하천정비기본계획에서 이수기준으로 삼는 설계 갈수량은 해당유역이 자연상태라고 할 수 있는 기간에 실시한 유형분석 결과이다.

본 연구의 대상유역내 각 수위 관측소 지점의 유황을 살펴 보면, 능주와 학교 수위 관측소 지점의 유황은 각각 지석천 하천정비 기본 계획시(전라남도, 1988), 그리고 영산강 하천정비 기본 계획시(건설부, 1985) 나주 수위 관측소 지점의 유황을 각각 면적 비율법으로 환산한 값을 채택한 값으로 능주 수위 관측소의 평균 및 기준 갈수량은 각각 0.23CMS, 0.13CMS이며, 학교 수위 관측소의 평균 및 기준 갈수량은 각각 0.25CMS, 0.11CMS로 나타났다.

갈수위-유량 관계식

갈수량을 추정하기 위해서는 신뢰성있는 수문자료의 획득이 필수적이다. 지금까지 우리 나라의 경우 대부분 수위자료부터 수위-유량 곡선식을 이용하여 유량자료를 획득하였다. 그러나 이와 관련된 기존의 연구들은 홍수위에 대한 유량환산에 집중되었고, 상대적으로 저수위에 대한 연구는 미진한 실정이다. 본 연구에서는 대상유역에서 신뢰성 있는 저수위 수문자료를 획득하기 위하여 기존의 수위-유량 관계식을 수집하고, 이를 본 연구에서 획득한 갈수량 자료와 비교 분석하였으며, 저수위 영역에서 신뢰성이 떨어지는 수위-유량 관계식을 보정하였다.

학교 수위 관측소와 능주 수위 관측소의 경우, 본 연구에서 갈수기에 측정된 갈수량 자료와 기존의 수위-유량 관계식을 비교하였다. 그 결과 이들 수위 관측소의 수위-유량 관계식은 저수부에서 신뢰성이 떨어짐을 알 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 자연유량의 교란이 비교적 적게 발생하는 비

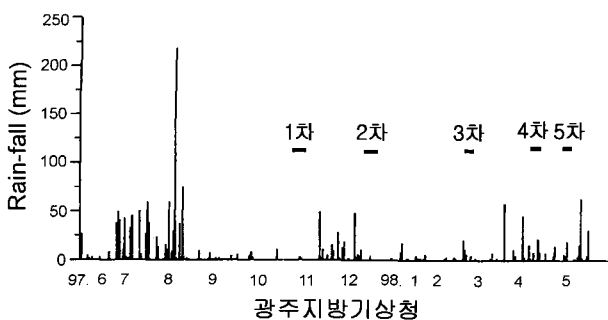


Figure 2. The environmental of weather conditions.

Table 4. The low-flow statistic of study area ($10^{-3} \text{ m}^3/\text{sec}$)

지점	면적비율법				상·하류간 관계식			
	지석천		고막원천		지석천		고막원천	
	기준	평균	기준	평균	기준	평균	기준	평균
1	2.53	6.02	1.78	4.23	0.05	0.15	2.62	7.80
2	0.68	1.62	14.42	34.30	0.01	0.01	1.02	4.50
3	0.66	1.56	104.76	249.17	0.01	0.01	24.92	82.41
4	4.86	11.56	16.47	39.18	0.01	0.01	0.08	0.65
5	4.47	10.64	1.26	3.01	0.01	0.18	0.98	2.01
6	5.35	12.71	0.67	1.59	0.13	0.36	0.03	0.14
7	4.28	10.19	1.30	3.10	0.03	0.10	0.10	0.36
8	4.23	10.07	2.47	5.88	0.01	0.01	5.75	9.89
9	5.76	13.71	0.72	1.71	0.01	0.01	0.76	1.52
10	3.92	9.33	0.77	1.82	0.01	0.02	0.23	0.70
11	3.96	9.41	-	-	0.05	0.17	-	-
12	4.85	11.54	-	-	1.02	2.07	-	-
13	122.66	291.72	-	-	0.16	0.75	-	-

관개기 동안 0.45 m 이하의 저수위에 대하여 유량 측정을 실시하여 그 결과를 이용하여 수위-유량 관계식을 재개발하였다. 그 결과 능주 수위관측소 지점의 저수위-유량 관계식은 $Q=24.90(h+0.20)^{2.88}$, 학교 수위 관측소의 경우 $Q=9.76(h+0.16)^{2.39}$ 로 재개발 하였다.

상·하류간 갈수량 관계식

갈수량 측정지점의 설계 갈수량을 산정하기 위하여 대상 수

위 관측소 지점의 유량과 갈수량 측정지점의 실측 유량과의 관계식을 도출하였다. 능주와 학교 수위 관측소 지점에 있어서는 수위자료의 신뢰성이 떨어지는 관계로 수위 관측소 지점의 유량과 소유역 출구점의 유량을 측정하여 이들간의 관계를 이용해 수위 관측소 지점의 유량을 추정하였다. 능주 수위 관측소 지점의 경우 수위는 0.25~0.46 m, 유량은 2.50~7.52 m^3/sec 이며, 학교 수위 관측소 지점의 경우 수위는 0.13~0.40 m, 유량은 0.51~2.44 m^3/sec 로 각각 나타났다. 그리고 갈수량 측정지점과 수위 관측소 지점간의 갈수량 관계식을 식(6)과 같은 상관관계로 표현하였다. 즉,

$$Q_0 = \gamma Q_p^\omega$$

여기서, Q_0 는 측정지점의 갈수량이고, Q_p 는 수위 관측소 지점의 갈수량이다. 그리고 γ , ω 는 상수이다. 갈수량 측정지점의 실측유량과 수위 관측소 지점의 유량과의 관계를 분석하여 상수 γ , ω 값을 산정하였으며, 그 결과를 Table 3에 게재하였다.

설계 갈수량

설계 갈수량은 평균 갈수량과 기준 갈수량으로 대별된다. 우리 나라에서는 하천 기본계획 수립시 해당 하천에서 유황자료가 있는 경우 이를 분석하여 설계 갈수량을 산정하지만, 유황자료가 없는 미계측 하천에서는 대상하천의 유황자료와 유역면적 그리고 인근 수위 관측소 지점의 유황과 유역면적을 이용하여 간접적으로 설계 갈수량을 산정하는 면적 비율법을 이용한다(건설부, 1976). 이러한 면적 비율법은 유역간의 수문학

Table 5. The results of regression in the subbasins

소유역	설계갈수량	모형	회귀계수				결정계수	
			b_0	b_1	b_2	b_3		
지석천	기준갈수량	A	0.0001	3.0781			0.28	
		AS	0.0001	4.6536	-3.6858		0.37	
		AKb	11.8647	1.1005		96.6488	0.99	
	평균갈수량	ASKb	8.7251	1.2891	-0.3857	95.4904	0.99	
		A	0.0004	2.7580			0.30	
		AS	0.0001	4.1046	-3.1505		0.39	
	고막원천	기준갈수량	AKb	11.9258	1.1003		81.0145	0.99
			ASKb	8.7309	1.2916	-0.3912	79.8393	0.99
			A	0.3278	0.3032			0.05
평균갈수량		AS	0.0767	0.5352	-1.2202		0.20	
		AKb	18.0978	1.0980		47.9821	0.97	
		ASKb	20.0795	1.0936	0.0558	48.3565	0.98	
영산강 유역	기준갈수량	A	0.8630	0.4939			0.20	
		AS	0.2645	0.6667	-0.9085		0.32	
		AKb	17.5038	1.0903		36.0032	0.96	
	평균갈수량	ASKb	19.2272	1.0863	0.0504	36.3416	0.97	
		A	0.0096	0.7825			0.03	
		AS	0.0006	2.0020	-3.4219		0.38	
	영산강 유역	기준갈수량	AKb	17.1141	1.1435		78.3316	0.56
			ASKb	0.8101	2.1469	-2.9088	71.1285	0.80
			A	0.0366	0.8408	-	-	0.05
평균갈수량		AS	0.0030	1.9454	-3.0996	-	0.42	
		AKb	16.7680	1.1363		64.1096	0.51	
		ASKb	1.0034	2.0625	-2.6851	57.4604	0.78	

적 동질성을 확보할 수 있을 경우에 적용하여야 한다. 그러나 중·소하천이나 산지하천의 경우 유역특성이나 지형 및 지질학적 특성에 따라 갈수 유출량이 크게 변화하기 때문에 면적 비율법을 적용할 경우 현실성이 매우 적다.

따라서, 본 연구에서는 전 절에서 개발한 수위 관측소 지점의 유량과 상류지점의 유량과의 관계식에 이용하여 미계측 지점의 설계 갈수량을 산정하였으며, 그 결과를 Table 4에 게재하였다.

적용 및 고찰

미계측 산지하천에서 갈수량을 산정하기 위한 지역 갈수 유출 모형을 개발하기 위하여 본 연구에서 제안한 갈수 유출 모형식을 대상유역에 적용하였다. 본 연구에서 제안한 유출 모형식에 포함된 독립변수는 유역면적, 평균 유역경사, 감수계수들이다. 각 독립변수들이 설계갈수량에 미치는 영향을 평가하기 위하여 갈수 유출 모형식에 포함된 각 독립변수들을 식(7)과 같이 여러 가지의 형태로 조합하여 분석하였다. 식(7)에서 종속변수인 Q 는 본 연구 대상유역의 각 측정지점에서 산정한 기준 및 평균갈수량이며, 종속변수 A, S, K_b 는 각각 갈수량 측정지점의 유역면적, 평균 유역경사, 감수계수이고, b_1, b_2, b_3 는 회귀분석에서 산정해야 하는 상수이다.

모형(1): $b_0A^{b_1}$ 모형(2): $b_0A^{b_1}S^{b_2}$

모형(3): $b_0A^{b_1}K_b^{b_2}$ 모형(4): $b_0A^{b_1}K_b^{b_2}$

갈수 유출 모형식을 적용할 때 소유역별 변화를 알아보기 위하여 먼저 각 소유역별로 분석한 후 전 유역을 총괄하여 분석하였다. 그리고 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 유역전체를 대상으로 분석한 결과 기준 갈수량의 경우 유역면적, 평균 유역경사, 감수계수를 모두 포함하는 경우 결정계수는 0.80으로 나타났으며, 평균 갈수량의 경우 0.78로 나타났다. 그리고 유역면적만을 포함하는 경우 기준 갈수량의 결정계수는 0.03, 평

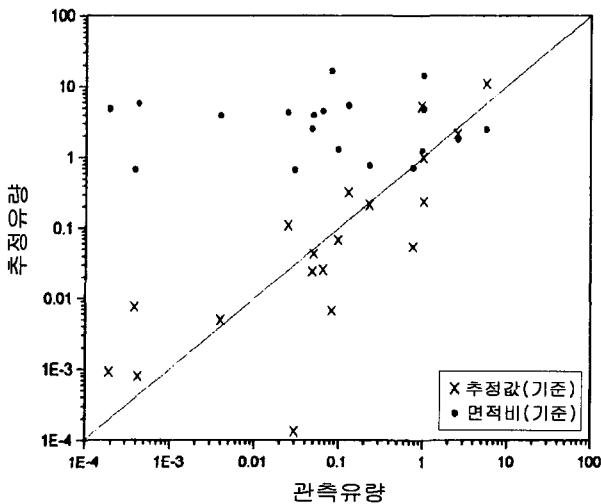


Figure 3. The comparison of the results.

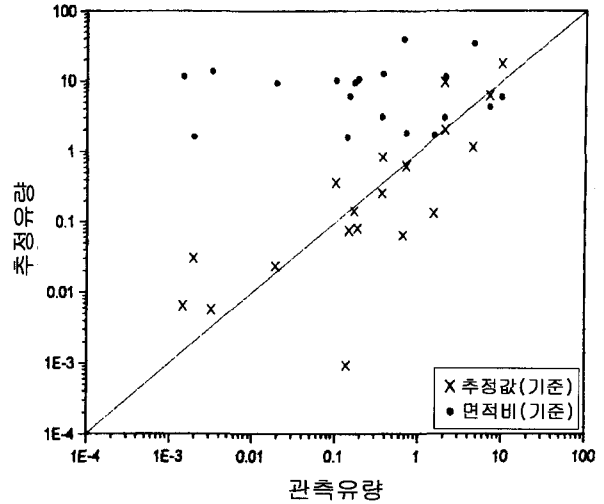


Figure 4. The comparison of the Results.

균 갈수량은 0.05로 가장 적게 나타났다. 한편, 본 연구 결과 최종 선정된 갈수량 추정식에 대하여 각 대상지점에서 산정된 유역특성치를 대입하여 산정한 기준 및 평균 갈수량, 그리고 면적 비율법에 의하여 산정된 기준 및 평균 갈수량을 비교하여 Figure 3~4에 도시하였다. 그 결과 본 연구에서 제시한 설계 갈수량 추정식에 의해 산정된 값이 면적 비율법에 의해 산정된 값보다 상관성이 비교적 양호한 것으로 평가되었다.

결론

본 연구에서는 유역특성 인자인 유역면적과 지질학적 특성 인자인 감수계수 그리고 지형학적 특성인자인 평균 유역경사들을 이용하여 현실성있는 기준 및 평균 갈수량을 추정하기 위한 지역 갈수 유출 모형의 개발을 모색하였다. 이를 위하여 전 라남도의 영산강 유역에 위치한 주요 하천에 대하여 갈수 특성을 파악할 수 있는 유역을 기준으로 지식천과 고막원천 유역에서 대상지점을 선정하였으며, 선정된 각 대상지점에서 갈수량 측정을 실시하였고, 이의 결과를 토대로 각 대상유역의 갈수량 특성을 파악하였다. 그리고 해당유역 하류 수위 관측소 지점의 관측유량과 상류 갈수량 측정지점의 갈수량 측정자료와의 상관관계를 이용하여 장기 하천 유량자료가 확보되어 있지 않은 갈수량 측정지점의 기준 및 평균 갈수량 그리고 감수계수를 추정하여 이를 갈수량을 추정하기 위한 지역 갈수 유출 추정모형개발에 이용하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 장기 하천 유량자료가 확보되지 않은 지점에서 기준 및 평균 갈수량을 추정하기 위한 지역 갈수 유출 모형식에 이용된 독립변수는 유로-대수층 모형으로부터 유도되었으며, 각 독립변수는 유역면적, 유역경사, 감수계수 등이다.
- 2) 기준 및 평균 갈수량을 추정하기 위한 지역 갈수 유출 모형식에 이용된 독립변수 중 유역면적과 유역경사는 기존의 방법들을 이용하여 용이하게 산정할 수 있으나, 장기 하천유량자료가 확보되지 않은 지점에서 감수계수는 대상지점 하류에 위

치한 수위 관측소와의 상관관계를 이용하여 추정할 수 있었다.

3) 각 독립변수가 기준 갈수량 및 평균 갈수량에 미치는 영향을 평가하기 위하여 독립변수를 여러 가지의 경우로 조합하여 분석을 실시한 결과 소유역별 분석결과에서는 유역면적과 감수계수, 유역면적과 유역경사 그리고 감수계수를 포함할 경우 결정계수가 매우 높았으며, 영산강 전 유역을 대상으로 분석하였을 경우 유역면적과 유역경사 그리고 감수계수를 포함하였을 때 가장 결정계수가 높게 나타났다.

4) 본 연구에서 제안한 지역 갈수 유출모형에 의하여 산정된 기준 및 평균 갈수량과 현업에서 주로 이용하고 있는 면적 비율법에 의해 산정된 기준 및 평균 갈수량을 비교한 결과, 본 연구에서 제안한 지역 갈수 유출 모형식에 의하여 산정된 결과가 비교적 양호한 상관성을 보였다.

참고문헌

건설부, 1976, "만경강 하천정비 기본계획."
 건설부, 1985, "영산강 하천정비 기본계획."

전라남도, 1988, "지석천 하천정비기본계획."
 전라남도, 1989, "영산강 하천정비기본계획."
 Ambroise, B. and Beven, K. and Freer, J. 1996, "Toward generalization of the TOPMODEL concepts; Topographic indices of hydrological similarity," W.R.R., 32(7), p. 2135-2145.
 Horton R. E., 1945, "Erosional Development of streams and their drainage Basins-Hydrological Approach to Quantitative Morphology," Geol. Soc. of America, 56(3).
 James L. and Thomson O., 1970, "Least Squares Estimation of Constants in a Linear Recession Model," W.R.R. 6(4), p. 1062-1069.
 Martin G. N., 1973, "Characterization of simple exponential base-flow recession," J of Hydrol., Vol. 143, p. 57-62.
 Strahler, J. R., 1950, "Equilibrium theory of erosional slopes approached by frequency distribution analysis," Am. J. Sci., 248, p. 673-696.
 Vogel, R. M. and C. N. Kroll, 1992, "Regional Geohydrologic-Geomorphologic Relationships for the Estimation of Low-Flow Statistics," W.R.R., 28(9), p. 2451-2458.
 Zecharias B., Brutsaert, 1988, "Recession Characteristics of Groundwater Outflow and Base flow from Mountainous Watersheds," W. R. R., 24(10), p. 1651-1658.