

수문분과

영산강 섬진강 권역 갈수 조사 연구
The Study on the Low-flow
in Young-san and Sum-jin River Basin

책임연구원 : 이 재 형
(전북대학교 토목환경공학부 교수)
연구 원 : 김 민 환
(호남대학교 토목공학과 부교수)

1. 서론

그 동안 우리나라의 수자원 정책은 한발과 홍수관리에 치중되었다. 그리하여 하상계수가 다소 낮아지고 유황도 개선되었다. 그럼에도 불구하고 최근들어 급속한 산업화와 도시인구 급증 등으로 인하여 용수수요가 급증할 뿐만 아니라 연중 고른 용수수요, 수자원 개발의 한계 그리고 하천 환경 문제 등이 야기되고 있다. 따라서 수자원 관리 측면에서 갈수기의 유출량은 매우 중요한 요소가 되었고 갈수기의 지표수 조사는 필수적이다.

본 연구의 목적은 갈수기의 지표수 특성을 파악하기 위하여 전라남북도에 위치한 영산강 유역, 섬진강 유역 그리고 만경강 유역을 중심으로 갈수기인 10월부터 이듬해 5월까지 지표수 조사를 실시하고, 그 결과를 분석하여 저수유출과 유역인자, 지형인자, 그리고 지질인자 등과의 관계를 도출하는 것이다.

본 연구의 범위는 전라남·북도이며, 조사 대상유역은 이수과 치수 측면에서 중요한가, 유량측정이 원활하게 될 수 있는가?, 장기 수문 시계열 자료를 획득할 수 있는가?, 그리고 지질학적 특성과 지형학적 특성 파악이 가능한가? 등을 고려하여 선정한다. 대상유역에 대하여 기존의 전국 78개 소유역 구분자료에 근거하여 소 유역을 구분하고, 유량측정 지점은 주로 수위표 설치지점, 지류, 지류와 본류의 합류지점, 본류, 지질의 경계지점 등을 고려하여 현지여건에 적합하도록 선정한다. 또한 유량측정은 각 지점에 적합한 유량측정 방법으로 5회를 실시하며, 측정된 유량자료의 동질성을 확보하기 위하여 매회 15일 이내로 측정을 완료한다. 그리고 유량측정은 기본적으로 하천에 축조되어 있는 웨어에 의한 방법 또는 하천 단면을 이용한 방법을 사용하며, 기타 유량측정에 필요한 사항은 하천수문관측 실무편람(1997, 한국수자원공사)의 “유량측정에 대한 기준”에 따른다.

2. 조사지점 선정

유량조사를 실시하기 위해서는 조사목적, 관측시설의 有無, 수문 지질조건, 저수지 분포, 토지이용 상태, 접근성, 하상상태 등을 고려하여 관측지점을 선정하여야 한다. 이를 위하여 전라남·북도에 위치하고 있는 주요하천을 개괄하였으며, 이중 본 연구의 목적에 적합한 소유역을 도상 작업을 통하여 선정한다. 그리고 선정된 소유역을 대상으로 현지답사를 실시하여 유량측정에 적합한 10개 지점 이상을 선정하였으며, 선정된 각 측점에 대한 현황을 조사하였다.

2.1 대상유역 개괄

본 연구의 지표수 유량조사의 대상유역은 전라남북도에 위치하고 있는 주요 하천유역이다. 전라남북도에 위치하고 있는 주요 하천유역은 만경강유역, 동진강유역, 섬진강유역, 영산강유역, 탐진강 유역으로 대별된다. 본 절에서는 도상 작업을 위하여 이들 유역들의 개황을 살펴본다

2.1.1 만경강유역

만경강은 전라북도 완주군 동상면 원등산에서 발원하여 소양천, 전주천, 고산천 등의 지류와 합류하고 서해로 유입되는 하천으로서 유역면적은 1,527.1km², 유로연장은 77.4km이다. 만경강의 본류와 하류구간을 제외한 대부분의 구간의 경사는 비교적 급한 상태이며, 전구간에 걸쳐 하천개수가 완료되어 있는 상태이다. 하상은 만경강 본류의 전주천 합류점 하류구간에서는 대부분 실트와 점토로 구성되어 있고, 소양천과 전주천은 모래 및 자갈로 구성되어 있다. 그리고 대부분의 제외측 둔치는 농경지로 이용되고 있다. 유역의 형상은 대체적으로 수지상이며, 유역의 경계는 북측과 동측은 금강유역과 접하고 있으며, 남측은 섬진강

과 동진강 유역과 접하고 있다. 본 유역은 행정구역상으로 전라북도 전주시, 익산시, 군산시, 김제시, 정읍시 등 5개시와 4개군에 위치하고 있으며, 토지이용 상황은 총면적 1,527.1km² 중 농경지가 36.5%, 대지가 3.1%, 임야가 46.7%, 기타가 13.7%로 나타나 유역의 약 절반정도가 임야이다.

2.1.2 동진강유역

동진강은 전라북도 정읍시 산외면 상두리 국토봉에서 발원하여 정읍천, 고부천, 원평천 등의 지류와 합류하고 서해로 유입되는 하천으로서 유역면적은 1,129.31km² 유로연장은 46.0km이다. 동진강의 하천경사는 비교적 완만한 상태이며 하천 전구간에 제방이 축조되어 있다. 하상은 동진강, 고부천 및 원평천의 전구간은 실트 및 점토로 구성되어 있다. 본 유역의 유역경계는 북측과 동측은 만경강 유역과 접하고 있고 남측으로는 섬진강 및 영산강 유역과 접하고 있으며 서측으로는 변산반도 국립공원과 접하고 있다. 본 유역은 행정구역상으로 전라북도 김제시, 정읍시, 등 2개시, 4개군에 위치하고 있으며 토지이용 현황은 총면적 1,129.31km² 중 농경지가 48.1%, 대지가 2.8%, 임야가 36.4% 기타가 12.7%로서 약 절반정도가 농경지임을 알 수 있다. 한편, 본 유역은 자체수원이 부족하여 인근유역인 섬진강 유역의 섬진강댐으로부터 관개용수를 공급 받고 있다.

2.1.3 섬진강유역

섬진강은 전라북도 진안군 화암리에 위치한 팔공산에서 발원하여 전라남도 광양군과 경상남도 하동군의 경계지점에서 다도해로 유입되는 우리나라 5대강 유역의 하나로서 총 유역면적은 4896.5km²이고, 유로연장은 225.3km이다. 본 유역에는 광할한 평야가 없으며, 유역의 상류와 중류에 소규모 평야가 발달해 있고 하상경사는 상류부에서 1/300-1/900, 중류부에서 1/1000-1/900, 하류부가 1/1700-1/3000정도이다. 본 유역의 유역경계는 동쪽에 낙동강 유역, 서쪽에 영산강 유역과 동진강 유역, 북쪽에 금강유역과 만경강 유역이 접하고 있으며, 총

유역면적 중 전라남도가 47%, 전라북도가 44%, 경상남도가 9%를 차지하고 있다. 해당 행정구역은 3도 2시 15군 9읍 89면에 달한다. 또한 본 유역의 토지이용 현황은 농경지 면적이 전 유역면적의 18.9%, 임야가 72.6%, 기타가 8.5%로 타 유역에 비하여 낮은 경지 이용율을 보이고 있으며, 임야가 차지하는 비율이 월등히 높다.

2.1.4 영산강유역

영산강은 섬진강과 분수령을 이루고 있는 노령산맥의 용추봉에서 발원하여 황룡강과 지석천이 합류하면서 남서류하여 나주군 동강면과 무안군 일노면의 하구지점 및 목포항 남측을 통하여 남해로 유입되는 하천으로서 유역면적은 3,521.6km², 유로연장은 약 142.7km이다. 본 유역의 하상경사는 하류부에서 약 1/5000, 중상류부에서 1/1000-1/5000이며, 1982년 목포항 상류 약 6km지점에 하구언이 완공되어 인근지역에 농업용수와 생공용수를 공급하고 있다. 또한 토지 현황을 보면 농경지가 전체 유역면적의 34.6%, 임야가 51.2%, 기타가 14.2%로 농경지가 많은 비중을 차지하고 있다.

2.1.5 탐진강유역

탐진강은 한반도의 남부에 위치하고 있으며, 유역면적 505.5km²이고 유로연장 41.0km인 하천으로서 수계는 전체적으로 수지상이며, 불규칙한 방향의 소지류들이 본 유역에 합류하고 장흥읍 하류에서 금강천과 합류한 후 남해안의 당진항으로 유입한다. 본 유역의 경계는 동쪽에 섬진강 유역, 서쪽에 영산강 유역과 접하고 있다. 그리고 본 유역은 장흥군 일대와 강진군의 상당부분이 이 유역에 해당하는데 영산강 및 섬진강 유역에 비하면 규모도 작고 흐름도 짧지만 영산강 유역의 특징인 평야와 섬진강 유역의 특징인 분지와 산지가 발달해 있다. 즉, 본 유역의 북측은 협소하고 급경사인 계곡으로 형성되어 있으며, 남측은 완만한 경사를 이루면서 계곡이 넓은 평야로 형성되어 있다. 본 유역의 토지이용

현황을 살펴보면 경지면적이 총 유역면적의 21.6%, 임야가 63.0%, 그리고 기타가 15.4%로 절반이상이 임야이다.

2.2 측정 위치 선정

관측 위치 선정의 기준은 갈수유량 특성과악이 가능한 지역으로 1) 자연 유량 관측이 가능한 지역, 2) 갈수 유량의 계량이 가능한 지역, 3) 수문 시계열 자료 획득이 가능한 지역이어야 한다.

자연 유량 관측이 가능한 지역은 인위적인 유량조절이 없는 곳이라야 한다. 즉, 도시가 발달되거나 경작지 또는 수원지가 없는 곳이라야 한다. 이는 갈수유량에 영향을 주는 요인 중 토지이용과 관련이 있다고 할 수 있다. 토지 이용은 갈수특성에 그 어느 요인보다 영향이 크다.

갈수유량의 계량이 가능한 지역은 갈수특성 요인들이 갈수유량에 미치는 영향의 정도를 계량할 수 있는 곳이다. 따라서, 갈수 특성 요인인 지질학적 단위의 공극율과 투수성, 기후인자, 그리고 유역면적 등을 고려하여 선정해야 한다. 지질은 모래, 점토 그리고 자갈 등이 다양한 비율로 불규칙하게 분포되어 있다. 이러한 투수층의 분포율이 물의 공급, 저류 능력을 결정한다. 즉, 년중 비홍수기의 대부분은 지하수유출이기 때문에 하천의 갈수특성과 유역 지질사이의 상호관계는 갈수량의 주요한 영향요인이다. 이외에 갈수 특성 요인을 살펴보면 유역경사를 들수 있는데, 유역경사는 갈수량의 영향을 주는 각각의 요인들과 관계를 가진다. 일반적으로 하천의 경사가 급할수록 표층이 얽거나 강수의 저류가 적고 지표유출이 커진다.

마지막으로, 수문 시계열 자료의 획득이 용이한 지역으로 수문 관측소가 설치 운영 중인 곳의 상류를 고려하여 수위 관측소로부터 수위-유량곡선을 얻을 수 있고, 우량 관측소로부터 강우량 및 증발산량 등의 자료를 얻기 용이한 지점이어야 한다.

이상의 선정기준을 연구범위내의 유역에 적용시키기 위하여 이와 관련한 유

역의 개황을 살펴보면 다음과 같다.

만경강 유역내의 기상 관측소는 전주, 고산, 임피관측소가 있으며, 수위 관측소는 대천와 동지산 관측소가 있다. 본 유역내의 주요하천은 전주천, 소양천, 삼천천, 고산천 등이 있으며 이들 하천의 유역면적은 각각 444km², 164.4km², 172.9 km², 145.2 km²이며, 유로연장은 각각 28km, 24km, 52km, 22km이다. 한편, 전주천과 삼천천 유역내에는 전주시가 소재하고 있어 도시화가 진행되고 있는 상황이다. 본 유역내의 주요 저수지로는 만경강 지류인 고산천 유역에 대아, 동상, 경천, 화산저수지 등이 있으며, 소양천 지류에는 아중 저수지가 있고, 삼천천 지류에는 구이저수지가 있으며, 전주천 지류에는 상관 저수지가 있다. 또한 본 유역에 분포되는 지층은 크게 선캠브리아기 변성암류, 고생대 퇴적층, 대보 조산운동과 관련된 화강암류와 중생대퇴적암류, 반심성암류 및 층적층으로 대별된다.

동진강 유역내의 기상 관측소는 김제, 금구, 태인, 정주, 고부, 부안 관측소 등이 있으며, 수위 관측소는 신태인 수위 관측소가 있다. 본 유역내의 주요 지천으로는 원평천, 고부천, 정읍천 등이 있으며, 이들 하천의 유역면적은 각각 1046.3 km², 525.5 km², 433.4 km²이며, 유로연장은 각각 44.1km, 41.0km, 30.0km이다. 본 유역의 주요하천인 원평천에는 용산 저수지가 있으며, 고부천에는 독립저수지가 있고, 정읍천에는 내장 저수지가 있으며, 정읍시가 위치하고 있어 도시화가 진행중인 지천이다. 또한 본 유역은 선캠브리아기 층적 기원의 변성암인 소백산 편마암 복합체와 이를 관입한 화강편마암, 쥬라기의 단상화강암, 백악기의 신라군층의 하부 및 능주층군과 이들을 관입한 산성 및 염기성의 화산암류와 석영 반암, 그리고 이 모든 지층을 덮고 있는 층적층등이다. 주위의 산릉은 비교적 신생대의 지층으로 형성되어 단조로운 지질 분포를 보이고 있으며 북동 방향성의 지층을 이루고 있다.

섬진강 유역의 주요 지천으로는 오수천, 요천, 추령천, 오원천, 보성강 등이 있으며, 이들 하천의 유역면적은 각각 374.3km², 565.02km², 119.70km², 294km², 1309.67km²이고 유로연장은 각각 40.5km, 52.0km, 36km, 38.4km, 120.3km이다. 이들 하천 중 요천은 남원시를 관통하는 지천으로 도시화가 진행중이다. 요천

상류에는 동화댐이 축조되어 있고, 보성강에는 주암본댐, 주암 조절지댐, 보성강 댐 등이 축조되어 있으며, 추령천과 오원천이 합류하는 지점에 섬진강 다목적댐이 축조되어 있다. 본 유역내의 기상관측소는 총 29개소가 있으며, 수위관측소는 총 19개소가 설치되어 있는데 이중 장기 수문자료를 얻을 수 있는 수위관측소로는 섬진강댐 상류의 관촌, 쌍치 관측소와 중류의 송정관측소, 하류에 하동 관측소 등이 있다. 본 유역의 지질 특성을 보면, 남원 부근에서는 화강암이 주로 분포하며 이 화강암 저반에 연성 전단대가 발달하고 있다. 보성에서 구례에 이르는 섬진강 지류인 보성강 유역은 영남 육괴에 해당하는 선캠브리아기의 흑운모 편마암, 반상 변정질 편마암 및 화강 편마암류 등이 분포한다. 구례에서 하동에 이르는 섬진강 하류에는 선캠브리아기의 편마암류가 분포하는데 하동부근에는 4~5cm의 반상 변정을 갖는 반상 변정질 편마암이 분포하기도 한다.

영산강 유역의 주요 지천은 광주천, 황룡강, 지식천, 고막원천, 함평천 등이 있으며 이들 하천의 유역면적은 각각 104.97km², 547.34km², 619.59km², 218.99km², 186.97km² 등이며, 유로연장은 각각 24.2km, 61.9km, 53.0km, 39.3km, 32.0km 등이다. 광주천은 광주광역시를 관통하여 흐르고 도시화가 진행되고 있으며, 황룡강 상류에는 현재 장성댐이 축조되어 있고, 지식천 지류에는 나주댐이 축조되어 있는 반면, 고막원천 유역에는 대규모의 저수지가 없으며 농경지가 발달해 있다. 본 유역내의 기상관측소는 총 20개소가 설치되어 있고, 수위관측소는 총 21개소가 설치되어 있는데 장기 수문자료를 얻을 수 있는 관측소는 능주천 하류부의 능주관측소와 고막원천 하류부에 설치되어 있는 학교관측소, 황룡강 하류부의 장성관측소, 영산강 중류부의 마륵 관측소, 영산강 하류에 나주 관측소 등이 있다. 본 유역의 지질분포 현황은 상류 갈담 부근은 경상 누층군의 하양층군 및 유천층군에 대비되는 퇴적암와 화산암류가 분포하고 있다. 전남 장성부근은 운모편암 및 유문암질 응회암과 불국사 화강암류인 화강반암 내지 석영반암이 분포한다.

탐진강 유역의 주요 지천으로는 유치천, 구천천, 부산천, 은강천 등이 있으며, 이들 하천의 유역면적은 각각 74.9km², 88.4km², 63.00km², 213.25km²이고, 유로연장은 각각 25km, 37km, 30km, 55km이다. 본 유역은 유역면적이 작고 도시나

공단등이 발달하지 않은 상태이나 분류에 탐진강댐이 있다. 본 유역의 기상관측소는 장흥관측소가 있으며, 수위관측소는 연산 관측소가 있으나 장기 수문자료를 얻을 수 있는 관측소는 없는 실정이다. 본 유역에는 시대 미상의 변성암, 백악기의 퇴적암을 비롯하여 편암, 심성암 및 맥암이 분출 또는 관입되어 있으며 하천 유로 부근은 제 4기 충적층이 두껍게 발달되어 있다.

관측지점의 적부성을 판단하기 위하여 수문관측시설 유무, 도시발달정도, 저수지 분포정도, 토지 이용율 정도, 지질 등을 세등급으로 나누어 이상을 요약하여 표 2-1에 게재하였다.

표 2-1에서 보인 바와 같이 만경강 유역 경우 전주천과 삼천천은 도시발달, 저수지 분포 측면에서 부적합하고 고산천은 저수지 분포 측면에서 부적합하며 소양천은 관측지점 선정기준에 적합하다. 동진강 유역은 저수지분포, 도시발달, 토지이용율 측면에서 부적합하다. 섬진강 유역의 경우 요천, 오수천, 보성강 등은 저수지 분포, 수문관측시설, 도시발달 측면에서 부적합하고, 추령천, 오원천, 구례지점은 적합하다. 영산강 유역의 경우 광주천, 황룡강, 함평천 등은 수문관측시설, 도시발달, 저수지 분포 측면에서 부적합한 반면 능주천과 고막원천은 관측지점 선정기준에 적합하다. 탐진강 유역의 경우 저수지 분포, 토지이용율, 수문관측시설 측면에서 부적합하다.

이상의 표2-1에 의하여 선정된 지표수 조사 위치도를 그림 2-1에 도시하였다.

<표 2-1> 관측지점의 적부표

유역	소하천	수문관측소 분포정도	도시발달 정도	저수지분 포 정 도	토지이용 율 정 도	지질
만경강	전주천	○	□	□	□	변성암
	고산천	○	○	□	○	퇴적암
	삼천천	○	□	□	□	층적층
	소양천	○	○	○	○	화강암
동진강	원평천	○	○	□	□	편마암
	고부천	○	○	□	□	화강암
	정읍천	○	□	□	□	층적층
섬진강	오수천	○	△	○	□	화강암
	요천	○	□	□	△	화강암
	보성강	○	□	□	□	편마암
	추령천	○	○	○	○	화산암
	오원천	○	○	○	○	퇴적암
	구례	○	○	○	○	편마암
영산강	광주천	□	□	○	□	퇴적암
	황룡강	○	△	□	□	화산암
	능주천	○	○	○	○	편마암
	고막원천	○	○	○	△	화산암
	함평천	○	△	□	△	응회암
탐진강	유치천	△	○	□	○	화강암
	구천천	△	○	□	○	퇴적암
	부산천	△	○	□	○	변성암
	은강천	△	○	□	○	화산암

(○: 적, △: 중, □: 부)

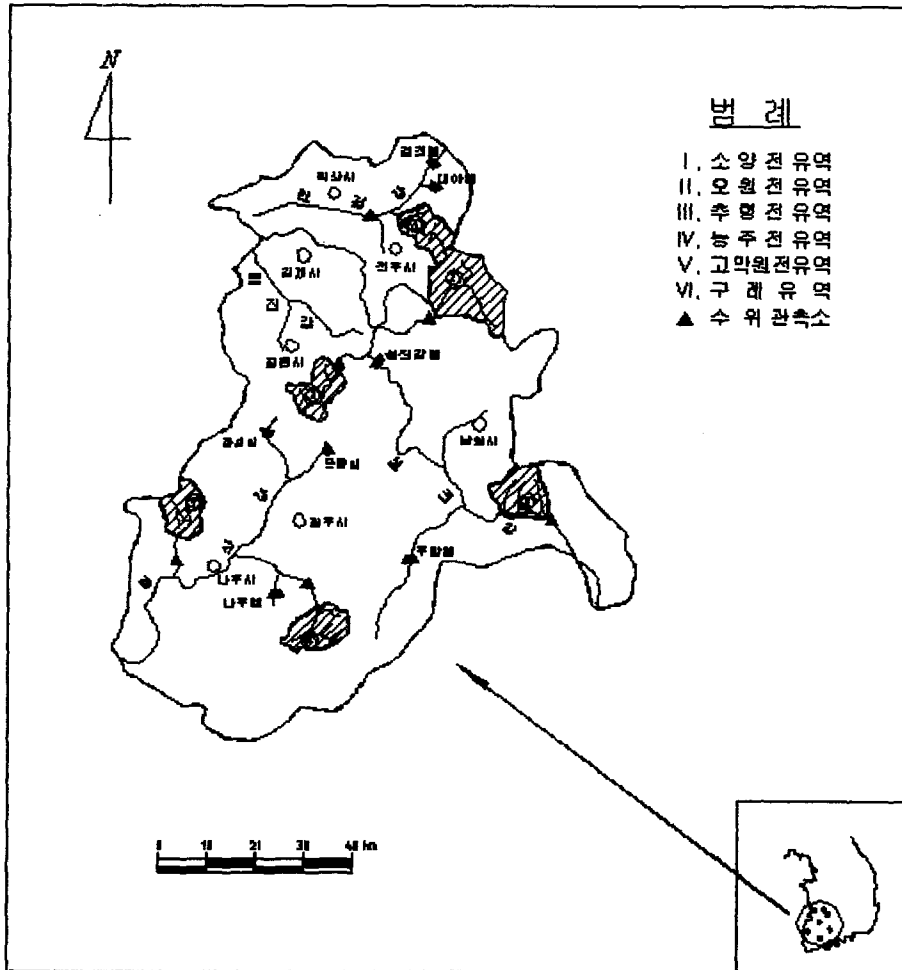


그림 2-1 지표수 조사 위치도

2.3 측정지점 선정

본 연구에서는 위치선정 결과를 토대로 하여 우리나라 하천 시설기준과 세계기상기구(WMO)에서 제시하고 있는 측정지점의 선정기준에 부합하도록 현지답사를 실시하여 이를 확인하여 결정하였다.

세계 기상 기구(WMO)와 우리나라의 하천 시설기준에서는 관측지점을 선정할 때 그 지점이 하천의 합류점 근처인지, 수리시설물의 영향으로 수위변동이 있는지, 하상이 변동하는지, 측정지점이 직선구간에 있는지, 수류가 안정적인지, 갈수시 유량측정이 용이한지, 그리고 유량 관측이 편리한 곳인지 등을 고려해야 한다고 규정하고 있다. 전절에서 도상작업을 통하여 선정한 측정대상 소유역에 대하여 현지답사를 실시하여 선정 조건에 적합한지, 접근성이 양호한지, 측정지점의 유로와 하상이 어떤 상태인지, 측정시설이 있는지, 그리고 하천수의 인위적 조절이 발생하였는지 등을 조사하여 측정지점을 확정하였다.

현지답사는 1997년 10월 16일 섬진강 유역의 소양천, 전주천 유역을 시작으로 오원천과 추령천 유역은 1997년 10월 17일부터 19일까지, 영산강 유역의 능주천과 고막원천은 1997년 10월 19일부터 22일까지, 그리고 구례 유역은 이듬해인 1998년 2월1일에 실시하였다. 그 결과 소양천 유역에 11개지점, 오원천 유역에 12개 지점, 추령천 유역에 10개 지점, 고막원천 유역에 10개 지점, 능주천 유역에 13개 지점, 그리고 구례 유역에 5개지점 등이 지표수 조사를 위한 측정지점으로 확정되었다. 현지답사 결과 확정된 각 측정 지점에 대한 개황은 다음과 같다.

2.3.1 전주천

전주천은 현지답사 결과 상류부에 구이, 상관저수지가 소재하고 하류부는 전주시를 관통하여 흐르는 하천으로 상류저수지의 영향과 전주시의 용수취수 및 회귀수 등에 의한 영향으로 갈수유량에 교란이 야기되고 있다. 그리하여 본 연

구에서는 전주천 유역을 측정 대상유역에서 제외시켰다.

2.3.2 소양천

본 유역의 지점 중 1, 3, 4, 7번지점 상류에는 소류지가 없고, 2, 5, 6, 8, 10번 지점 상류에는 1-2개의 소류지가 분포하고 있으며, 출구점인 9, 10번 지점 상류에는 10여개의 소류지가 분포하고 있다. 그리고 7번지점에서 약 1km 하류 부근에는 중규모 저수지가 축조 중이다. 이들 소류지들은 소규모이나 농번기에는 하천수의 교란이 예상된다. 또한 1, 2, 4, 7번 지점들은 협소한 산지하천으로서 하상경사는 비교적 급하고, 하상은 호박돌과 잔자갈, 모래 등으로 구성되어 있다. 특히, 3번 지점은 소양천의 최상류부에 위치한 지점으로서 하상경사는 매우 급하며 하상은 거의 암반이다. 5, 6, 8, 10번 지점은 인근에 농경지가 비교적 많이 발달해있어 하상경사는 비교적 완만하며 하상은 호박돌, 모래, 진흙 등으로 구성되어 있다. 이들 대부분의 지점들은 도로변에 위치하고 있어 접근성이 양호하나 3, 7번지점은 접근로가 험하고 비포장이기 때문에 접근하기가 다소 어려운 편이다. 그리고 대부분의 지점들은 가뭄시에도 하천이 마르지 않으므로 어느때나 유량을 측정할 수 있다.

2.3.3 오원천

오원천 유역의 지점중 9-11번 지점 상류에는 소류지가 없고, 1- 8번, 12번 지점의 상류에는 1-5개 소류지가 분포하고 있으며 출구점 상류에는 총 25개 소류지들이 있다. 이들 소류지 또한 규모가 적고 농업용수를 공급하고 있기 때문에 농번기에는 교란이 예상된다. 그리고 관촌수위표지점에서 약 5km 상류부근에 위치한 방수리보에서는 전주시와 임실군에서 상당한 양의 하천수를 취수하고 있어 수위표지점의 유량에 영향을 준다. 또한 본 유역은 농경지가 비교적 많이 발달한 유역으로서 측정지점의 하상경사는 비교적 완만하고, 하상은 잔자갈과 모래로 구성되어 있으며, 대부분 도로변에 위치하고 있어 접근성이 양호하

다. 가뭄시에도 마르지 않아 항시 하천유량을 측정할 수 있다. 특히, 1, 2, 6-8번 지점들은 측정지점에 보가 설치되어 있고, 하상은 콘크리트로 되어 있어 유량측정이 편리하고 측정 정확도가 높다.

2.3.4 추령천

추령천 유역의 지점중 4, 9-11번 지점 상류에는 소류지가 없고, 2, 3, 5-8번 지점 상류에는 2-5개 소류지가 있으며, 출구점인 1번 지점 상류에는 총 24개의 소류지가 분포하고 있다. 이들 소류지 또한 소규모이나 농번기에는 하천수에 영향을 끼칠 것으로 예상된다. 본 유역은 대부분 유역이 산악지형으로 이루어져 있고, 산지하천이기 때문에 대부분 측정지점의 하상경사는 비교적 급하고, 하상은 잔자갈, 모래 등으로 구성되어 있다. 또한 각 측정 지점들은 대부분 도로변에 위치하고 있어 접근성은 양호하고, 가뭄시에도 측정할 수 있다. 특히, 3, 5, 7, 9번 지점들은 하상이 모두 콘크리트로 되어 있고, 5, 7번 지점은 보가 설치되어 있으며, 9번 지점은 하천의 양안과 바닥이 콘크리트로 되어 있어 유량측정이 편리하고 측정정도가 높다.

2.3.5 능주천

능주천 유역의 1-3, 10-12번 지점 상류에는 소류지가 없고, 4-6번지점과 9번 지점 상류에는 각각 1개의 소류지가 있으며, 출구점 상류에는 총 21개의 소류지가 분포하고 있다. 이들 소류지 역시 규모가 작으나 농번기에는 하천유량에 영향을 줄 것으로 예상된다. 본 유역은 농경지가 비교적 많이 발달한 하천으로서 대부분 지점들의 하상경사는 완만하고 하상은 잔자갈과 모래로 구성되어 있으나 1-3, 9번 지점은 산지하천으로서 하상경사가 비교적 급하고, 하상은 호박돌, 자갈, 모래 등으로 구성되어 있다. 그리고 대부분의 지점들은 도로변에 위치하고 있어 접근성은 양호하며, 가뭄시에도 유량을 측정할 수 있다. 특히, 6, 8, 10, 11번 지점에는 콘크리트보가 가설되어 있어 유량측정이 편리하고 정확도가 높

다.

2.3.6 고막원천

고막원천 구역의 5-7, 9, 10번 지점 상류에는 소류지가 없으며, 1, 2, 4, 8번 지점 상류에는 3-7개의 소류지가 분포하고 있으며, 출구점 상류에는 총 36개의 소류지가 분포하고 있다. 이들 소류지 역시 규모가 작으나 농번기에는 영향을 줄 것이며, 본 구역의 상류에는 상무대가 위치하고 있고, 장성댐의 수로가 통과하고 있어 하천수 교란이 예상된다. 본 연구에서는 이러한 본류구간은 가능한 피하고 교란이 발생하지 않는 지점을 선정하였다. 측정지점 중 1, 5-10번 지점들의 하상경사는 완만하고, 측정지점의 하상은 대부분 콘크리트이다. 5, 6, 8, 9번 지점은 보가 설치되어 있고, 1번 지점은 콘크리트로 하천개수가 완료되어 유량측정이 편리하며, 대부분의 측정지점이 도로변에 위치하고 있어 접근성도 양호하고, 가뭄시에도 유량을 측정할 수 있다. 한편 10번 지점은 진입로가 협소하여 접근이 약간 불편하며, 1번 지점의 경우 측정지점 부근에서 교량가설 공사가 진행중이어서 물질을 약간 우회시켰으나 유량측정에는 영향을 거의 주지 않는다.

2.3.7 구례구역

구례구역은 대부분의 지점상류에 소류지가 없으며 단지 4번 지점 상류에만 1개의 소류지가 있어 농번기에는 하천수에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 본 구역은 지리산자락의 산악지형이 두드러진 구역으로 1, 4, 5번 지점은 유량이 풍부하여 가뭄시에도 유량을 측정할 수 있으며, 모든 측정지점에 콘크리트보가 설치되어 있어 유량측정이 편리하고 측정정도가 높다. 각 측정지점은 경사가 급한 계곡지형으로 접근성이 불량하다. 또한 각 측정지점은 비교적 협소한 하천으로 하상은 암반과 호박돌로 구성되어 있어 수류가 매우 불안정하기 때문에 측정시 하상을 정비하여야 한다.

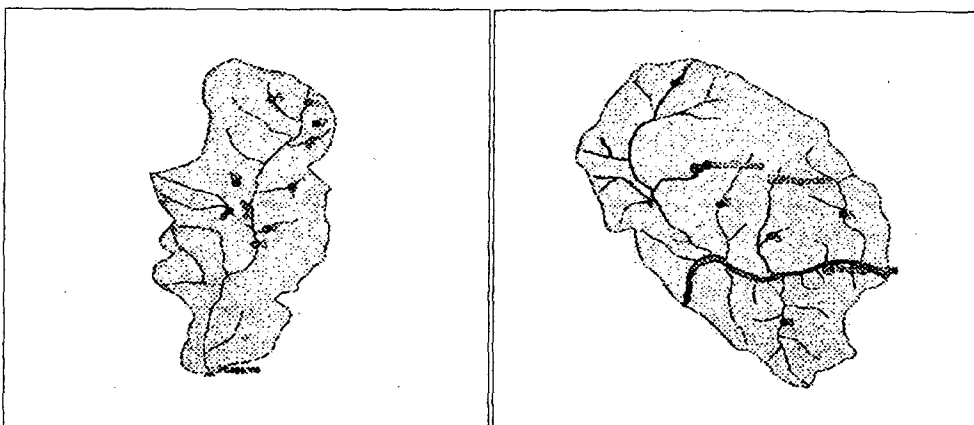
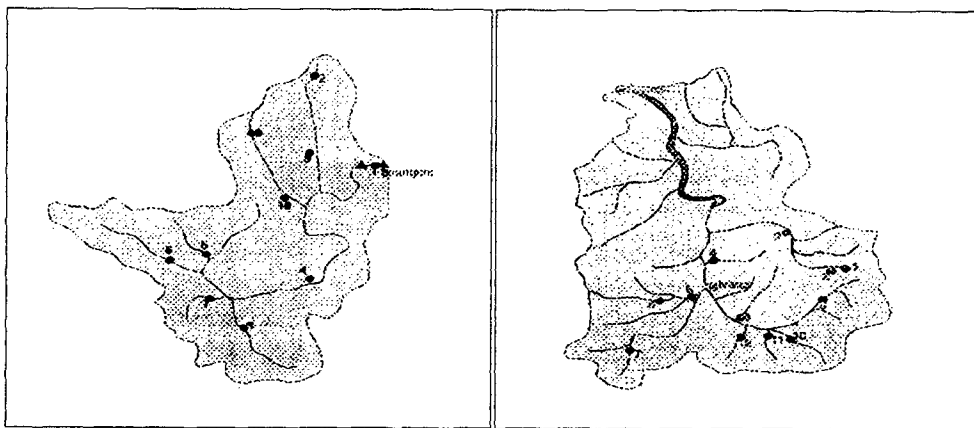
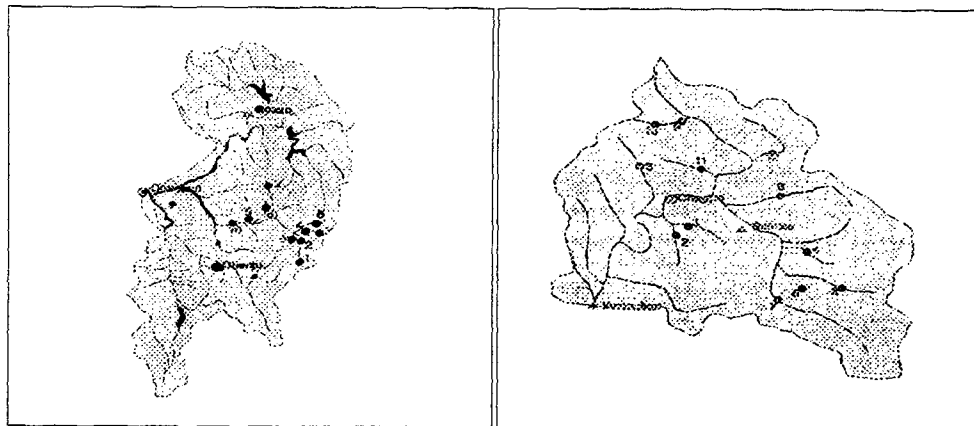


그림 2-2 소유역별 지표수 조사 위치도

3. 지표수 조사

3.1 측정환경

산간지역의 자연하천에서 유량측정을 실시할 경우에는 그림 3-1과 같이 수류가 매우 불안정하게 흐르는 자연하천, 인공수로가 축조되어 있는 하천, 웨어가 설치되어 있는 하천 그리고 하상경사가 매우 심한 하천 등 여러 가지 유형의 측정지점이 나타날 수 있다.

산간지역의 자연하천은 단면과 하상이 매우 불규칙하여 부동류 또는 파동이 발생하여 자연상태에서 유속을 측정하기에는 부적합하다. 따라서 이러한 지역에서의 유속 측정을 위해서는 수류가 비교적 안정적으로 흐르는 구간을 선정하여 유량을 측정해야한다. 이러한 지점을 선정할 수 없을 경우에는 그림 3-1의 (ㄱ)에서 보인것처럼 하천바닥에 모래나 토양으로 하상을 정리한 다음 정상·등류상태가 되었을 때 유량측정을 실시하여야 한다.

산간지역의 자연하천에는 인근 농경지에 용수를 공급하기 위하여 소규모의 콘크리트 수로가 축조되어 있는 경우가 있다(그림 3-1(ㄴ)). 이러한 지점에서는 인근지역에 분수를 하거나 수로가 부실하여 누수가 발생하는 경우가 있으므로 주의해야 한다.

자연하천에서 하폭의 극심한 변화가 있거나 직선구간의 확보가 불가능할 경우, 삼각주 등으로 인해 흐름이 여러 갈래로 나뉘는 경우, 양안의 수풀이 무성하여 흐름에 영향을 줄 경우, 심한 파동이 형성될 경우 등 유량측정에 매우 부적합할 경우 그림 3-1(ㄷ)과 같이 인근에 축조된 웨어를 이용하여 유량측정을 실시한다.

또한 유속계를 이용할 수 없을 정도로 유량이 매우 작고, 측정지점의 하상경사가 매우 급해 수류가 매우 불안정하게 흐르는 경우에는 그림 3-1(ㄹ)같이 인공수로를 이용하여 유량측정을 실시한다.

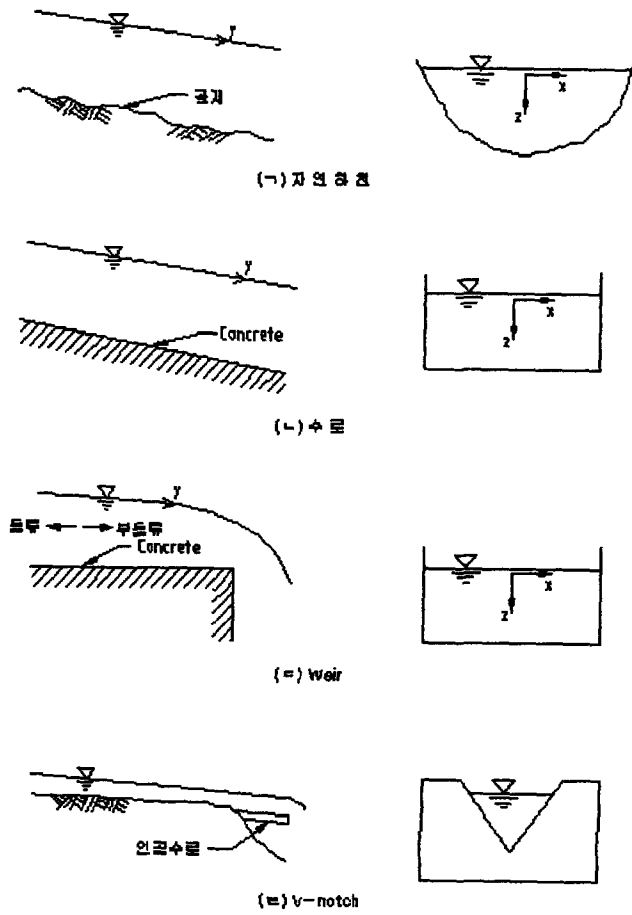


그림 3-1 측정지점의 유형

3.2 유량측정 성과

측정 대상유역인 소양천, 오원천, 추령천, 능주천, 고막원천, 구례 유역에 대해서 총 5차에 걸쳐 유량측정을 실시하였다. 각 차수별 유량측정 기간은 각 관측지점에 대한 유량관측 자료가 기상학적 동질성을 가질 수 있도록 15일을 넘지 않도록 하였으며, 특히 무강우가 지속되는 시기에 측정하려고 했다. 이러한 기준을 토대로 제 1차 측정은 1997년 10월 24일부터 29일까지, 제 2차는 동년 12월 13일부터 17일까지, 제 3차는 이듬해인 1998년 2월 24일부터 27일까지, 제 4차는 동년 4월 8일부터 12일까지, 제 5차는 동년 5월 1일부터 5일까지 실시하였다. 측정 차수별, 유역별 측정내용을 정리하면 다음과 같다.

3.2.1 제 1차 유속 측정 (1997.10.24 ~ 1997.10.29)

제 1차 유량측정을 실시한 기간은 가뭄기에 해당된다. 측정시기에 앞서 두달 정도에 걸쳐 전주, 광주 모두 극히 낮은 강우량을 보였으며, 이로 인해 몇몇 하류부를 제외한 대부분의 측정지점에서 인공수로를 제작하여 유량을 측정하여야 할 정도로 적은 유출량을 보였다.

24일부터 26일까지는 전주인근의 소양천, 오원천, 추령천 유역에 대한 측정을 실시하였다. 이 때 전주지역에는 선행강우가 없었고 측정기간에도 강우량이 기록되지 않았다. 28일, 29일에는 광주인근의 능주천과 고막원천 유역의 유량측정을 실시하였다. 22일에 광주지역에 0.1mm의 선행강우가 있었으며, 측정기간 양일에 걸쳐 각각 0.2mm의 강우량이 집계되었으나 이 양은 극히 작은 강우량일 뿐만 아니라 그 동안 토지가 매우 건조한 상태였기 때문에 표토를 적실 정도에도 못 미쳤다.

소양천 유역의 1차 측정은 10월 24일에 실시하였다. 유출량이 가장 많았던 9번 지점 죽절보에서는 월류수의 접근유속을 측정하여 유량을 구하였으며, 일반하천의 형태인 11번 출구점에서는 하상의 자갈을 고르게 정비한 후 유속을 측

정하였다. 이 두 지점을 제외한 나머지 지점들은 유속계를 사용할 수 없을 정도로 지표수 유출량이 적었기 때문에 V-notch법에 의해 측정을 실시하였다.

오원천 유역 대부분의 지점에서는 V-notch법에 의해 측정을 실시하였다. 단 유량이 가장 많았던 7번 본류 상류와 4번 상표천 하류에서는 자연하천 상에서 유속계로 측정하였다. 측정시 10cm 내외 정도로 수심이 낮았기 때문에 1점법을 이용하여 평균유속을 측정하였으며 왕복 측정하여 오차를 줄이도록 하였다.

추령천 유역 역시 극한 갈수의 유황을 보였기 때문에 V-notch법으로 측정하였다. 1번 지점인 본류 출구점에서만 유속계로 측정했으며 수심은 30cm 내외로 낮았기 때문에 1점법으로 하였다. 3번 방선천과 5번 봉서천, 7번 금월천에서는 보에서 낙수를 받아 유량을 측정하였으며, 그 외 지점은 V-notch법으로 측정하였다.

능주천 유역의 측정지점 중 1번 송석천 상류, 2번 송석천 지류, 4번 오류천, 8번 활용천, 9번 쌍봉사천, 10번 본류 상류에서는 보나 단차에서 낙수를 받아 유량을 측정하였으며, 3번 송석천 지류에서는 V-notch를 이용하였다. 5번 차천, 6번 백운천, 7번 강변천, 11번 추동천, 12번 송정천, 13번 본류 출구점에서는 유속계법으로 측정하였다. 이 중 11번 추동천에서는 낙수를 받기에는 유량이 많고 유속계를 이용하기에는 수심이 낮아 돌과 진흙을 이용하여 수중 웨어를 설치하여 수심을 높인 다음 유속계로 측정하였다.

고막원천 유역의 2번 식지천에서는 보에서 낙수를 받아 측정하였으며, 1번 금석천, 3번 본류 출구점, 8번 용암천, 10번 해보천에서는 유속계법을 사용하였다. 그 외의 지점들은 V-notch법을 이용하여 낙수의 용적을 계량하였다.

구례 지역의 측정은 시기적으로 타 유역과 달랐기 때문에 인공수로를 설치하여 측정해야 할 정도로 유출량이 적지는 않았다. 1번 수락천, 2번 마산천, 3번 덕운내는 자연하천에서, 4번 수평천과 5번 연곡천은 보에서 유속계로 측정하였다.

3.2.2 제 2차 유속 측정 (1997.12.13 ~ 1997.12.17)

제 2차 유량측정을 실시한 기간은 평갈수의 유출량을 보였다. 이로인해 유속계를 사용하여 측정할 수 있는 수심이 확보되었고, 자연하천과 보에서 유속계법을 사용하였다. 12월 13일에 오원천 유역, 14일에 추령천 유역, 15일에 고막원천 유역, 16일에 능주천 유역, 17일에는 소양천 유역을 측정하였으며, 구례지역은 98년 2월 25일에 측정하였다. 측정에 앞서 약간의 강우가 있었지만 지표유출이 발생할 정도는 아니었으며 측정기간 동안은 전주, 광주 모두 강우량이 없었다.

소양천 유역의 측정 위치는 모두 1차 측정 당시와 같으며 자연하천에서 유속계법을 사용하였다. 단, 9번 죽절보에서는 유속계로 월류수의 접근유속을 측정하여 유량을 구하였다. 소양천 유역의 측정 지점들 가운데 8번 수양천에서 최대 수심이 40cm 정도였고 나머지 지점들은 모두 그 이하의 수심이었기 때문에 1점법으로 유속을 측정하였다.

오원천 유역 2차 측정시의 측정환경은 전 지점이 자연하천이었다. 수심은 1번 외궁천이 30~40cm로 가장 깊었으며 다른 측정지점들은 모두 10~20cm 정도로 낮았기 때문에 1점법으로 유속을 측정하였다. 이 중 12번 전곡천 지점은 2차 측정부터 새로이 추가된 지점이다.

추령천 유역의 2차 측정은 모두 자연하천에서 유속계법을 사용하였다. 1차 측정시 보에서 측정하였던 3번, 5번, 7번 지점도 모두 인근 상·하류의 자연하천 환경에서 측정을 실시하였다.

능주천 유역의 2차측정 역시 모두 자연하천 환경에서 유속계법으로 측정하였다. 13번 지점인 본류 출구점에서의 수심이 40cm안팎이었으며, 대부분의 지점이 10~20cm 정도의 수심을 보였기에 1점법을 이용하였다. 측정지점의 변동사항은 없었다.

고막원천 유역의 2차 측정도 대부분 자연하천 환경에서 유속계법에 의해 실시되었으며, 5번 삼계천에서는 보에서 측정하였다.

구례지역의 2차 측정은 98년 2월 25일에 실시되었으며, 이 시기는 다른 유역의 2차 측정시기보다 상대적으로 갈수기에 해당하는 시기이다. 1번 수락천, 2번

마산천, 3번 덕운내 지점에서는 자연하천에서 유속계에 의해 측정하였으며, 4번 수평천은 기존 측정지점에서 200m 정도 상류의 소류지 보에서 유속계법을 사용하였다. 5번 연곡천은 보와 보 옆으로 난 수로에서 측정하였다.

3.2.3 제 3차 유속 측정 (1998. 2.24 ~ 1998. 2.27)

제 3차 유량측정을 실시한 기간은 1차와 2차 때에 비해 상대적으로 갈수의 정도가 심하지 않았다. 98년 2월 24일 소양천 유역의 측정을 시작으로 24일 오후부터 25일까지 오원천 유역, 26일에 추령천 유역과 고막원천 유역, 27일 능주천 유역에 대한 유량 측정을 하였고, 구례지역의 유량 측정은 동년 4월 7일에 실시하였다.

소양천 유역의 3차 측정 위치는 이전 차수의 측정 위치와 같으며, 측정방법은 자연하천에서 유속계법에 의하였다. 9번 죽절보에서만 이전과 같이 보에서 측정하였다.

오원천 유역 3차 측정은 대부분 자연하천 환경에서 실시하였으며, 2차부터 새로이 추가된 12번 전곡천의 경우 50m정도 하류에 위치한 보와 그 옆으로 난 수로에서 측정하였다. 8번 은천 중류는 기존 측정지점인 운교에서 100m정도 하류에 위치한 보에서 측정하였다. 다른 지점의 위치변동은 없었다.

추령천 유역의 3차 측정은 모두 자연하천에서 유속계법을 사용하였으며, 측정위치의 변동사항은 없었다. 2차 측정시 자연하천에서 측정을 실시하였던 7번 금월천의 경우 1차 측정시와 같은 보에서 측정하였다.

능주천 유역의 3차측정 역시 대부분 자연하천 환경에서 유속계법을 이용하여 측정하였으며, 2차 측정시 자연하천 환경에서 측정을 실시하였던 5번 차천의 경우 약 20m하류에 위치한 보로 위치를 옮겨 측정하였다.

고막원천 유역도 대부분 자연하천 환경에서 유속계법에 의하였으며, 5번 삼계천에서는 2차 측정때와 마찬가지로 보에서 측정하였다. 4번 해보천은 기존 측정지점인 대창교 상류에 위치한 보에서 측정하였으며, 3번 본류 하류의 경우 환곡교 하류에 위치한 보에서 측정하였다.

구례지역의 3차 측정은 98년 4월 7일에 실시되었다. 1번 수락천은 인근 논에 물을 대기 위한 농수로로 빠져나가는 유량이 많아 이전 측정에서 350m가량 상류로 올라와 보에서 측정하였으며, 1km정도 상류의 수락폭포 하류에 새로운 측정 지점을 정하고 두 곳의 유량을 함께 측정하였다. 4번 수평천은 2차 측정 위치였던 보에서의 유속이 너무 빠른 관계로 소류지 상류로 측정지점을 이동하였다. 또한 상류에 큰 규모의 저수지가 있는 관계로 저수지 상류에 새로운 지점을 정하고 하류의 방류량과 함께 측정하였다. 5번 지점인 연곡천은 보 전면에 걸쳐 월류가 일어나고 있었으나 상·하류에 측정을 할 수 있는 자연하천 환경이 갖추어져 있지 않아 보의 월류량을 측정하였다.

3.2.4 제 4차 유속 측정 (1998. 4. 8 ~ 1998. 4. 12)

소양천 유역은 98년 4월 8일에 측정하였으며, 오원천 유역은 8일부터 9일까지, 추령천 유역은 10일, 능주천과 고막원천은 11일에 측정하였고, 마지막 날인 12일에 구례지역에 대한 측정을 실시하였다.

소양천 유역의 4차 측정은 이전 차수의 측정 위치와 같은 위치에서 유속계법에 의하였으며, 측정시 위치나 방법에 있어서 특이한 변동사항은 없었다.

오원천 유역 4차 측정은 대부분 3차 측정시와 같으나, 4번 상표천만은 기존 측정지점에서 30m정도 하류에 위치한 보에서 측정하였다.

추령천 유역의 4차 측정 역시 대부분 자연하천에서 유속계법을 사용하여 실시하였으며, 1번 본류 출구점은 이전과 달리 100m정도 상류에 위치한 보에서 월류량을 측정하였다.

능주천 유역의 4차 측정은 대부분 3차 측정과 동일하나, 5번 차천, 8번 활용천, 10번 본류 상류에서의 측정은 보에서 실시하였다. 고막원천 유역은 측정지점은 이전과 같고, 반은 자연하천에서, 반은 보에서 유속계법을 사용하였다. 구례지역의 4차 측정은 3차 때와 같다.

3.2.5 제 5차 유속 측정 (1998. 5. 1 ~ 1998. 5. 5)

제 5차 유량측정을 실시한 기간은 98년 5월 1일부터 5일까지이며, 4차 측정을 실시한 후 20여일 후에 실시하였다. 측정기간 간격이 길지 않아 4차 측정 때와 비슷한 유황 상태이지만 그 사이에 전주와 광주지역에 강우량이 거의 없었기 때문에 4차 측정보다는 유출량이 적었다. 측정 첫날인 98년 5월 1일에 소양천 유역을 측정하였고, 2일부터 3일까지 오원천 유역, 3일에 추령천 유역, 4일 능주천 유역과 고막원천 유역, 마지막으로 5일에 구례지역을 측정하였다.

소양천 유역의 5차 측정은 대부분 이전 차수의 측정 위치와 같은 위치에서 유속계법에 의해 실시하였다. 5번 대상천은 농업용수 공급으로 인한 유량변동이 있어서 저수지 상류의 원각사까지 올라가 유량을 측정하였으며, 6번 작약천에서도 인근 논으로 물을 양수하고 있어 상류로 200m정도 올라가 측정을 실시하였다.

오원천 유역 5차 측정 대부분은 기존의 측정지점에서 실시되었으며, 7번 본류 상류지점은 보에서 측정하였다. 4번 상표천은 인근의 논으로 용수가 공급되고 있었다.

추령천 유역의 5차 측정 역시 대부분 자연하천에서 유속계법을 사용하였으며, 논에 물을 대는 시기여서 수로에서의 측정이 다른 차수에 비해 많았다. 1번 본류 출구점은 4차 측정지점과 동일한 보에서 측정하였으며 보 전면에 걸쳐 유수가 월류하고 있었다.

능주천 유역, 고막원천 유역에서의 5차 측정은 이전과 별다른 변동사항 없이 측정을 실시하였다. 구례지역의 5차 측정은 4차 때와 같으나, 5번 연곡천은 보의 월류량을 측정하였다. 각 차수에 따른 유량측정 개황은 표3-3에 게재하였다. 측정당시 전주지역과 광주지역의 기상 현황을 파악하기 위하여 전주지방과 광주지방의 우량주상도를 그림 3-2에 도시하였다.

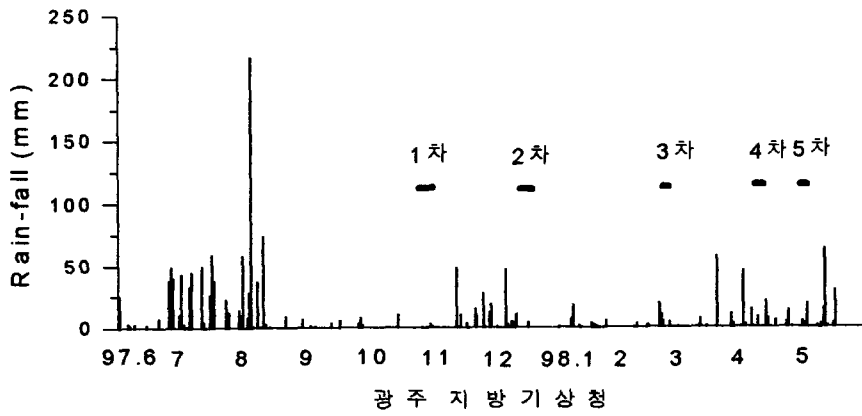
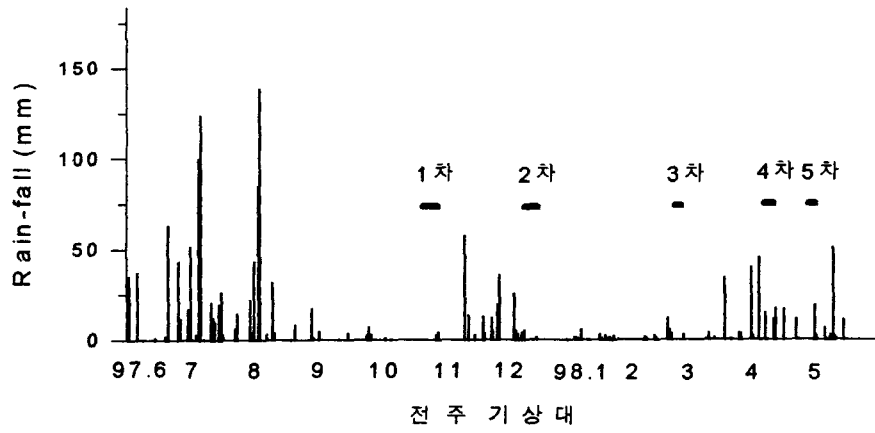


그림3-2 측정당시의 우량주상도

4. 측정자료 분석

지하수 유출에 영향을 미치는 인자는 강수로 인한 저류수준, 지하수 유동을 제약하고 있는 지질, 그리고 지하수 저류규모를 나타내는 유역의 크기라고 할 수 있다. 이들 인자가 지하수 유출에 미치는 영향을 파악하기 위해서 4.1절에서 유역특성을 평가하고, 4.2절에서 유출고의 시·공간적 분포를, 4.3절에서 유역특성과의 상관관계를 분석하였다. 유출의 시간적 분포는 단위면적당 유량 즉, 유출고에 의해서 나타내지며, 저류수준을 비교할 수 있고, 유출고의 공간적 분포는 기상조건이 동일하다고 간주 할 수 있는 같은 시기의 소유역 평균 유출고에 의해서 나타내지고, 지질의 영향을 비교할 수 있다.

4.1 유역특성평가

지하수 유출에 영향을 주는 유역특성으로는 유역면적, 유로길이, 유역형상, 유역경사, 지질, 토양 및 토지이용 상태, 소류지 분포 등이 있으며 유출과의 관계를 수립하기 위하여 이들의 특성치를 도출할 필요가 있다.

유역면적은 강우로부터 발생하는 유출의 잠재력을 나타내는 잠재 유출용적의 척도이고 침투유량의 가장 중요한 인자로서 강우가 지속되는 동안 해당유역의 출구를 통과하는 유출에 기여하는 모든 지면으로 정의된다. 유역면적은 1:50,000지형도와 GIS를 이용하여 산정하였다. 대상유역별 평균 유역면적은 구례유역 11.49km², 오원천 유역 10.13km², 고막원천 유역 6.31km², 추령천 유역 4.83km², 능주천 유역 4.31km², 소양천 유역 3.08km²의 순이다. 대상유역 중 최대 유역면적을 가진 지점은 능주천 유역의 본류출구점으로 139.38km²이며, 최소 유역면적은 추령천 유역의 방산천 합류지점으로 0.587km²이며, 평균유역면적은 14.21km²이다.

유역경사는 강우의 침투량이나 유출율에 영향을 주는 인자이며, 지표면 유출속도를 좌우하는 중요한 요소중의 하나로서 두 지점간의 표고차이와 거리와의

비로 정의된다. 유역경사를 산정하는 방법으로는 Horton방법, 격자방법, 등고선법, Fleming방법 그리고 Strahler's 방법 등이 있다. 본 연구에서는 Strahler's 방법을 이용하였으며, 그 결과 대상유역의 평균유역경사는 구례 유역 2.037, 오원천 유역 1.495, 능주천 유역 1.250, 소양천 유역 1.105, 추령천 유역 0.868, 고막원천 유역 0.404의 순이다. 대상유역중 최대 유역경사값은 구례유역의 연곡천 지점으로 2.539이고 최소 유역경사값은 추령천유역의 금월천지점으로 0.315이다. 능주천과 추령천은 비교적 유역경사가 작고, 소양천, 오원천, 능주천, 그리고 구례유역은 비교적 유역경사가 크다. 특히, 구례유역은 산악지형이 발달한 곳으로 유역경사가 타 유역에 비하여 현저하게 크다.

유역체적은 지하수의 대수층 규모와 관계가 깊다. 본 연구에서는 유역의 체적을 구하기 위하여 유역정상과 유역출구사이의 표고차와 유역의 면적을 이용하였다. 유역출구점과 유역경사가 선형으로 배열되고 하천이 선형을 따라 존재하며 지류가 없다면 Strahler's 방법에 의해 구한 평균유역경사를 이용할 수도 있지만 하천 총 길이는 유역 내에 존재하는 모든 하천의 총 길이를 합산한 결과이기 때문에 체적을 구하는데 있어서 적합하지 않다. 따라서 근사적으로 유역면적과 출구점과 정상에의 표고차를 곱한 부피를 이등분하여 체적을 구하였다. 그 결과 대상유역의 평균유역체적은 구례 유역의 3.134km³, 오원천 유역 3.015km³, 추령천 유역 0.849km³, 고막원천 유역 0.712km³, 능주천 유역 0.705km³, 소양천 유역 0.663km³의 순이며 유역을 총괄한 평균체적은 1.513km³이다. 유역체적치중 최대치는 구례 유역의 연곡천 지점으로 17.991km³이고 최소치는 소양천 유역의 수양천 하류 지점으로 0.045km³이다.

<표 4-1> 유역 특성치

지점번호	구분	유역면적 (km ²)	배수밀도	표고차(m)	유역경사	체적(km ³)
소양천	최대	72.151	2.227	573	1.814	2.507
	최소	0.721	0.855	127	0.388	0.045
	평균	13.563	1.496	383	1.105	0.663
오원천	최대	33.297	2.305	814	2.318	12.353
	최소	1.422	0.748	242	0.362	0.172
	평균	10.133	1.583	488	1.495	3.015
추령천	최대	119.690	2.436	477	1.798	1.923
	최소	0.587	0.712	178	0.315	0.065
	평균	13.661	1.337	319	0.868	0.849
능주천	최대	139.381	2.626	438	2.158	1.303
	최소	0.746	1.210	133	0.322	0.051
	평균	14.704	2.010	304	1.250	0.705
고막원천	최대	119.050	2.370	370	0.659	3.462
	최소	0.762	0.604	66	0.142	0.048
	평균	15.707	1.271	171	0.404	0.712
구 레	최대	29.936	1.725	1202	2.539	17.991
	최소	2.090	0.842	437	1.508	0.456
	평균	11.492	1.257	857	2.037	3.134
유역총괄	최대	139.381	2.626	1202	2.539	17.991
	최소	0.587	0.604	66	0.315	0.045
	평균	14.210	1.492	420	1.193	1.513

지질인자는 한 유역의 지형 형상을 지배하고 대수층의 구조와 지하수 흐름에 큰 영향을 미치게 된다. 그럼에도 불구하고 지질특성이 유출특성에 미치는 영향에 대한 평가는 지질특성의 복잡성으로 인하여 적용이 매우 어렵고 이에 대한 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 한국동력자원연구소에서 발간한 1/50,000 지질도를 이용하여 해당 소유역의 대표지질을 채택하였으며, 1966년부터 1971년까지 한강 유역 조사단이 측정한 자료와 1973년 농어촌 진흥공사에서 측정한 자료 그리고 1983년 한국전력에서 측정한 자료를 토대로 대상유역의 평균 공극율을 산정하였다. 대상유역에 대한 평균 공극율은 추령천 유역 41.00, 오원천 유역 36.25, 소양천 유역 32.45, 능주천 유역 28.70, 구례 유역 27.50, 고막원천 유역 13.20의 순이며, 공극률이 가장 작은 유역은 고막원천 유역으로 13.20이고, 가장 큰 유역은 추령천 유역으로 41.00이다. 대상유역에 대한 유역별 평균 공극율은 표 4-2에 게재하였다.

토지이용율에 따라 침투율과 유출율이 크게 달라지기 때문에 대상유역내의 토지이용율은 중요한 유역특성 인자중의 하나이다. 본 연구에서는 대상유역에 대한 토지이용율을 산정하기 위해 1/50,000 지형도를 이용하였으며 토지이용 상태를 전, 답, 임야, 그리고 기타지역으로 구분하였다. 각각의 토지이용 상태의 면적은 구적기를 사용하여 산정하였다. 그리고 이를 소유역 면적에 대한 토지이용 구분별 면적비로 환산하였다. 각 소유역별 토지이용율은 측정위치 선정시 토지이용율이 적은 자연하천위주로 선정하였기 때문에 대부분의 유역에서 농경지의 비율은 적고 임야지역의 비율이 상대적으로 높게 나타났다. 각 소유역별 토지이용 현황을 보면, 구례유역은 임야면적이 전체면적의 93.9%로 유역의 대부분이 산악지형으로 형성되어 있고, 고막원천유역은 농경지의 면적이 전체면적의 약 31.7%로 농경지의 비율이 비교적 높게 나타났다. 그리고 소양천, 능주천, 추령천, 오원천 유역의 농경지의 비율은 각각 19.22%, 13.17%, 13.09%, 11.55%의 순이며, 임야의 비율은 각각 85.70%, 85.66%, 82.35%, 78.14%의 순으로 임야가 대부분인 산지유역이다. 각 유역별 토지 이용현황을 표 4-3에 게재하였다.

유역내의 소류지, 댐, 호수 등과 같은 저류 시설물들은 유출에 상당한 영향을 미치는 인자들이다. 본 연구에서는 측정지점 선정시 댐이나 저수지 등이 없

는 지점을 기준으로 선정하였기 때문에 대상유역내는 소규모 소류지들만이 있다. 대상유역내 소류지 분포현황은 1:25,000 지형도를 이용하여 조사하였다. 이들 소류지의 분포를 보면 소양천의 경우 총 11개소이며, 오원천 25개소, 추령천 24개소, 능주천 36개소, 고막원천 21개소, 구례지점 1개소 등이며 주로 출구지점 상류에 분포해 있다. 유역별로 보면 소양천 유역은 4개지점, 오원천 유역과 추령천 유역은 각각 3개지점, 능주천 유역은 8개지점, 고막원천 유역은 5개지점, 구례 유역은 4개지점 상류에 소류지가 없다. 한편 본 연구의 대상유역내에 산재해있는 대부분의 소류지는 농업용수를 공급하는 소규모 소류지이므로 농번기에는 하천수에 영향을 줄 것으로 예상된다. 대상유역에 축조되어 있는 소류지 분포의 현황은 표4-4에 게재하였다.

<표 4-2> 유역별 평균공극률

유역 공극률	소양천	오원천	추령천	능주천	고막원 천	구례
최 대	41.00	45.00	41.00	45.00	41.00	27.50
최 소	3.00	30.00	41.00	24.30	3.00	27.50
평 균	32.45	36.25	41.00	28.70	13.20	27.50

<표 4-3> 유역별 토지이용 현황

면적:km², ()안은 면적비(%)

유역		구			분	
		전	답	임야	기타	계
소양천	최대	0.32(12.52)	0.18(6.52)	3.51(100)	0.22(7.46)	
	최소	0.00(0.00)	0.00(0.00)	0.54(74.5)	0.00(0.00)	
	평균	6.43(11.10)	4.70(8.12)	45.25(78.14)	1.53(2.64)	57.90(100)
오원천	최대	0.38(16.27)	0.75(52.81)	7.59(98.62)	1.73(10.93)	
	최소	0.09(1.12)	0.02(0.26)	10.72(67.86)	0.00(0.00)	
	평균	3.92(9.57)	0.81(1.98)	35.12(85.66)	1.15(2.79)	41.00(100)
추령천	최대	1.93(33.31)	1.46(25.21)	1.67(93.15)	0.33(5.68)	
	최소	0.00(0.00)	0.00(0.00)	2.07(35.80)	0.02(0.90)	
	평균	17.90(9.80)	6.00(3.29)	150.37(82.35)	6.33(3.47)	182.61(100)
능주천	최대	1.13(20.50)	0.15(5.18)	0.75(100)	0.17(2.80)	
	최소	0.00(0.00)	0.00(0.00)	4.10(74.40)	0.00(0.00)	
	평균	5.43(10.49)	1.39(2.68)	44.37(85.70)	0.59(1.14)	51.78(100)
고막원천	최대	0.61(69.77)	0.37(18.50)	11.58(70.68)	0.12(8.64)	
	최소	3.57(19.06)	0.00(0.00)	0.14(15.63)	0.01(0.06)	
	평균	18.37(26.46)	3.70(5.33)	44.32(63.84)	3.04(4.38)	69.42(100)
구례	최대	1.01(4.67)	0.42(8.62)	11.27(99.97)	0.04(0.85)	
	최소	0.00(0.00)	0.00(0.00)	6.73(87.76)	0.00(0.00)	
	평균	2.04(2.546)	2.26(2.81)	75.54(93.91)	0.60(0.75)	80.44(100)

<표 4-4> 소류지 분포

유역	지점 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	소 계
	소양천		·	1	·	·	1	2	·	1	8	3	11		
오원천		3	3	1	1	1	2	4	5	·	·	·	5		25
추령천		24	2	2	·	2	2	5	2	·	·				24
능주천		·	·	·	1	1	1	·	·	1	·	·	·	21	21
고막원천		3	7	36	4	·	·	·	3	·	·				36
구례		·	·	·	1	·									1

■ : 소유역 출구점

4.2 측정자료 평가

유량측정 성과를 평가하기 위해서 각 유역별, 차수별 유출고와 평균유출고를 산정하고 이를 비교하였다. 유출고는 각 측정지점의 유량을 해당 유역면적으로 나누어 유출을 깊이로 나타낸 것으로 그 단위는 mm/day이며 유출능의 지표이다. 평균유출고는 각 유역의 대표유출고로서 이에 속한 각 소유역들의 유출고를 산술평균한 값이다(표 4-5).

평균유출고를 유역별로 비교하면 다음과 같다. 1차 측정의 경우 구례, 고막원, 능주, 오원, 소양, 추령천 순이며 최대는 구례의 1.187mm/day, 최소는 추령천의 0.027mm/day로서 최대와 최소의 비는 약 44배이나 구례의 경우 시기가 다르다. 이를 감안할 경우 최대는 고막원천의 0.463mm/day로서 추령천의 약 17배이다. 2차 측정의 경우 추령, 구례, 고막원, 소양, 오원, 능주천 순이며 최대는 추

령천의 3.518mm/day, 최소는 능주천의 1.297mm/day로서 최대와 최소의 비는 약 2.7배이다. 3차 측정의 경우 구례, 오원, 추령, 소양, 능주, 고막원천 순이며 최대는 구례의 8.285mm/day, 최소는 고막원천의 0.842mm/day로서 최대와 최소의 비는 약 10배이다. 4차 측정의 경우 소양, 오원, 추령, 구례, 능주, 고막원천 순이며 최대는 소양천의 10.097mm/day, 최소는 고막원천의 2.741mm/day로서 최대와 최소의 비는 약 3.7배이다. 5차 측정의 경우 구례, 추령, 오원, 능주, 고막원, 소양천 순이며 최대는 구례의 6.411mm/day, 최소는 소양천의 1.284mm/day로서 최대와 최소의 비는 약 5배이다. 이상의 결과에서 가장 큰 저류수준의 차를 보이는 것은 1차 측정시의 고막원천과 추령천의 17배이고, 가장 작은 차이를 보이고 있는 것은 2차 측정시의 추령천과 능주천의 2.7배이다.

평균유출고를 시기별로 비교하면 다음과 같다. 소양천의 경우 그 크기는 4, 2, 3, 5, 1차 순이며, 최대(10.097mm/day)와 최소(0.054mm/day)의 비는 약 187배이다. 오원천의 경우 그 크기는 4, 3, 5, 2, 1차 순이며, 최대(7.723mm/day)와 최소(0.093mm/day)의 비는 약 83배이다. 추령천의 경우 그 크기는 5, 4, 2, 3, 1차 순이며, 최대(5.642mm/day)와 최소(0.027mm/day)의 비는 약 209배이다. 능주천의 경우 그 크기는 4, 5, 2, 3, 1차 순이며, 최대(3.091mm/day)와 최소(0.192mm/day)의 비는 약 16배이다. 고막원천의 경우 그 크기는 2, 4, 5, 3, 1차 순이며, 최대(3.132mm/day)와 최소(0.463mm/day)의 비는 약 6.8배이다. 구례의 경우 그 크기는 3, 5, 4, 2, 1차 순이며, 최대(8.285mm/day)와 최소(1.187mm/day)의 비는 약 7배이다. 이상의 결과에서 가장 큰 저류수준의 차가 나타나고 있는 곳은 추령천의 5차와 1차의 209배이고, 가장 낮은 차이를 보이고 있는 것은 고막원천의 2차와 1차의 6.8배이다. 6개 유역 모두 1차 측정시 가장 낮은 유출고를 보이고 있다.

<표 4-5> 평균유출고

(단위: mm/day)

측정기간 유역	1차	2차	3차	4차	5차
소양천	0.054	2.315	2.077	10.097	1.284
오원천	0.093	1.811	3.346	7.723	2.799
추령천	0.027	3.518	2.278	4.115	5.642
능주천	0.192	1.297	1.216	3.091	2.096
고막원천	0.463	3.132	0.842	2.741	1.600
섬진강 (구례)	1.187	3.304	8.285	3.843	6.411

전 유역을 하나의 유역으로 보고 각 유역의 평균유출고를 산술평균하여 측정 차수별로 보면 그 크기는 4차(5.268mm/day), 5차(3.305mm/day), 3차(3.007mm/day), 2차(2.563mm/day), 1차(0.336mm/day) 순이며 최대와 최소의 비는 약 15.7배이다.

1차 측정시는 지하수 고갈 과정에서 측정을 실시한 결과이며 이후부터는 선행강우의 영향으로 지하수의 수위가 상승되는 과정에서 측정된 것으로 평가할 수 있다. 특히 유역별 저류수준의 차에 비해서 시기별 저류수준이 현저히 크다. 이는 측정기간동안에 강수의 침투에 의한 지하수 함양이 발생했음을 의미한다. 각 소유역에 대한 차수별 내력은 표 4-6와 같다.

<표 4-6> 소유역별, 차수별 유출고

(단위: mm/day)

구분 유역	구분	최소	최대	평균	최대 - 최소	구분	유역	최소	최대	평균	최대 - 최소
소 양 천	1	0.025(2)	0.101(3)	0.054	4.0	능 주 천	1	0.008(8)	0.496(9)	0.192	62.0
	2	0.529(9)	3.830(8)	2.315	7.2		2	0.110(6)	1.829(9)	1.297	16.7
	3	0.450(9)	3.345(1)	2.077	7.4		3	0.503(5)	1.816(2)	1.216	3.6
	4	6.610(9)	13.529(11)	10.097	2.0		4	0.766(5)	5.767(8)	3.091	7.5
	5	0.293(9)	2.673(10)	1.284	9.1		5	1.068(8)	5.716(7)	2.096	5.4
오 원 천	1	0.017(8)	0.385(5)	0.093	23.0	고 막 원 천	1	0.004(2)	1.090(1)	0.463	272.5
	2	0.730(12)	3.552(6)	1.811	4.9		2	1.367(5)	4.285(9)	3.132	3.1
	3	0.734(5)	5.287(6)	3.346	7.2		3	0.412(7)	1.191(5)	0.842	2.9
	4	4.450(8)	12.481(10)	4.450	2.8		4	0.573(9)	4.086(6)	2.741	7.1
	5	0.670(5)	5.448(6)	2.799	8.1		5	0.296(7)	3.587(1)	1.600	12.1
추 령 천	1	0.003(8)	0.058(2)	0.027	19.3	섭 진 (구 례)	1	0.750(2)	2.084(5)	1.187	2.8
	2	1.039(6)	6.222(2)	3.518	6.0		2	1.415(3)	6.123(4)	3.304	4.3
	3	0.101(6)	4.647(1)	2.278	46.0		3	4.977(1-1)	15.786(5)	8.285	3.2
	4	0.465(5)	5.614(3)	4.115	12.0		4	2.197(3)	5.673(5)	3.843	2.6
	5	1.618(5)	14.552(6)	5.642	9.0		5	2.664(1)	11.388(5)	6.411	4.3

※ ()는 지점번호

4.3 측정자료 해석

일반적으로 유역의 특성을 나타내는 인자는 유역의 크기, 모양, 경사, 방향 표고, 하천의 밀도와 지질 등이라 할 수 있다. 이중 지하수유출에 영향을 미치는 정도가 크다고 생각되는 유역의 크기, 경사, 체적, 간극체적등을 이용하여 이 인자들과 유출과의 관계를 알아보려고 한다.

유량과 각 인자들과는 식(4.1), (4.2)의 형태를 취하는 것으로 알려져 있다. 여기서, Q 는 측정지점의 유량, A, S, V, V_f 는 각각 측정지점의 유역면적, 유역경사, 체적, 간극체적이고 a, b, c 는 상수이다. 이 식의 상수는 기상학적으로 동일이라 생각할 수 있는 각 차수별로 측정된 6개 유역 전지점의 유량값과 각각의 인자값을 사용하여 추정할 수 있다. 그러나 각종 용수의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 각 유역 출구 몇 개지점은 제외하였다.

$$\text{모형①: } Q = aA^b, \text{ 모형②: } Q = aS^b, \text{ 모형③: } Q = aV^b, \text{ 모형④: } Q = aV_f^b \dots(4.1)$$

$$\text{모형⑤: } Q = aA^a S^b, \text{ 모형⑥: } Q = aA^a S^b V^c, \text{ 모형⑦: } Q = aA^a S^b V_f^c \dots(4.2)$$

식(4.1), (4.2)의 모형을 해석하기 위하여 사용한 자료의 수는 1차 측정의 경우 55개, 2차 측정의 경우 56개, 3~5차 측정의 경우에는 58개가 사용되었다.

분석결과 모형별 결정계수 순위와 측정차수별 유출고 순위는 모두 일치하지 않았으나 비교적 유출고가 큰 경우에 결정계수가 높았다. 각 모형별 회귀분석 결과를 표 4-8에 게재하였다.

유량과 유역특성인자들과의 관계를 해석한 결과에 의하면 ⑦번 모형이 평균 67.40으로서 가장 상관성이 높다. 그러나 이 모형은 공급률을 평가하는 것이 어렵다는 단점이 있다. 반면에 간극체적대신 체적을 이용한 ⑥번 모형이 편의성이 높다고 할 수 있다. 각 모형별 결정계수를 표 4-7에 게재하였다.

<표 4-7> 각 모형별 결정계수

모형 차수	$Q = aA^b$	$Q = aS^b$	$Q = aV^b$	$Q = aV_f^b$	$Q = aA^a S^b$	$Q = aA^a S^b V^c$	$Q = aA^a S^b V_f^c$
1	38.4	12.4	39.2	23.8	38.5	42.1	38.5
2	69.8	18.7	48.2	45.4	70.2	70.2	70.2
3	65.6	48.6	57.7	70.4	74.0	74.1	76.8
4	72.5	33.0	53.6	64.0	73.7	73.7	75.5
5	73.1	33.1	53.6	64.9	74.1	74.1	76.0
평균	63.88	29.16	50.46	53.70	66.10	66.84	67.40

<표 4-8> 모형별 회귀분석 결과

모형	차수	a	a	b	c	결정계수
$Q = aA^b$	1		0.671	1.186		38.4
	2		23.318	1.017		69.8
	3		14.482	1.249		65.6
	4		40.912	1.137		72.5
	5		17.552	1.265		73.1
$Q = aS^b$	1		3.263	0.974		12.4
	2		104.712	0.756		18.7
	3		89.684	1.536		48.6
	4		211.202	1.093		33.0
	5		108.611	1.225		33.1
$Q = aV^b$	1		1.956	0.818		39.2
	2		8.143	0.581		48.2
	3		7.869	0.806		57.7
	4		11.275	0.673		53.6
	5		8.536	0.749		53.6
$Q = aV_f^b$	1		2.431	0.474		23.8
	2		10.265	0.423		45.4
	3		11.538	0.669		70.4
	4		15.442	0.553		64.0
	5		12.115	0.616		64.9
$Q = aA^a S^b$	1	0.63	21.226	-0.098		38.5
	2	21.333	1.074	-0.143		70.2
	3	22.790	0.942	0.772		74.0
	4	47.317	1.037	0.248		73.7
	5	20.521	1.159	0.265		74.1
$Q = aA^a S^b V^c$	1	5.946	-0.098	-0.733	1.140	42.1
	2	22.089	1.055	-0.154	0.019	70.2
	3	25.875	0.871	0.732	0.072	74.1
	4	45.654	1.057	0.260	-0.020	73.7
	5	19.297	1.193	0.285	-0.035	74.1
$Q = aA^a S^b V_f^c$	1	0.557	1.270	-0.057	-0.037	38.5
	2	21.872	1.060	-0.151	0.007	70.2
	3	60.623	0.605	0.467	0.287	76.8
	4	94.020	0.803	0.029	0.203	75.5
	5	45.328	0.887	0.004	0.234	76.0

5. 결론

호남지역의 주요 하천유역 중에서 만경강 유역은 소양천 유역을, 섬진강 유역은 추령천, 오원천, 구례 유역을, 영산강 유역은 고막원천, 능주천 유역을 연구 대상 소유역으로 하였으며, 각 소유역에 대해서 7~13개 지점을 대상 측정지점으로 선정하였다.

대상유역별 평균 유역면적은 구례유역 11.49km², 오원천 유역 10.13km², 고막원천 유역 6.31km², 추령천 유역 4.83km², 능주천 유역 4.31km², 소양천 유역 3.08km²의 순이다. 대상유역 중 최대 유역면적을 가진 지점은 능주천 유역의 본류출구점으로 139.38km²이며, 최소 유역면적은 추령천 유역의 방산천 합류지점으로 0.587km²이며, 평균유역면적은 14.21km²이다.

대상유역의 평균유역경사는 구례 유역 2.037, 오원천 유역 1.495, 능주천 유역 1.250, 소양천 유역 1.105, 추령천 유역 0.868, 고막원천 유역 0.404의 순이다. 대상유역중 최대 유역경사값은 구례유역의 연곡천지점으로 2.539이고 최소 유역경사값은 추령천유역의 금월천지점으로 0.315이다.

대상유역의 평균유역체적은 구례 유역의 3.134km³, 오원천 유역 3.015km³, 추령천 유역 0.849km³, 고막원천 유역 0.712km³, 능주천 유역 0.705km³, 소양천 유역 0.663km³의 순이며 유역을 총괄한 평균체적은 1.513km³이다. 유역체적치중 최대치는 구례 유역의 연곡천 지점으로 17.991km³이고 최소치는 소양천 유역의 수양천 하류 지점으로 0.045km³이다.

대상유역에 대한 평균 공극율은 추령천 유역 41.00, 오원천 유역 36.25, 소양천 유역 32.45, 능주천 유역 28.70, 구례 유역 27.50, 고막원천 유역 13.20의 순이며, 공극률이 가장 작은 유역은 고막원천 유역으로 13.20이고, 가장 큰 유역은 추령천 유역으로 41.00이다.

유량과 유역특성인자들과의 관계를 해석한 결과에 의하면 유역의 간극체적을 고려한 ⑦번 모형이 평균 67.40으로서 가장 상관성이 높다. 그러나 이 모형은 공극률을 평가하는 것이 어렵다는 단점이 있다. 반면에 간극체적대신 체적을 이용한 ⑥번 모형이 편의성이 높다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국 자원연구소의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

- 건설교통부, 1995, 한국하천유역도(1/500000)
건설교통부, 1996, 유량연보
건설교통부, 1996, 한국수문조사연보
건설교통부, 한국수자원공사, 1996, 수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본 조사 보고서
건설부, 섬진강 홍수통제소, 1991, 섬진강홍수예경보
건설부, 영산강 홍수통제소, 1991,1993,1997, 영산강홍수예경보
경상남도, 1964, 한국지질도(1/50000) 화개, 운봉도폭
국립지리원 지형도(1/25000)전주, 삼례 등 64도폭
국립지리원 지형도(1/50000)전주, 진안, 임실, 정읍, 갈담, 담양, 순창, 청풍, 복내, 고창, 나주, 남원, 운봉, 구례, 하동도폭
국립지질광물연구소, 1973, 한국지질도(1/50000) 용담도폭
국립지질조사소, 1966, 한국지질도(1/50000) 능주, 복내, 갈담, 동북, 순창도폭
국립지질조사소, 1968, 한국지질도(1/50000) 장흥, 보성도폭
국립지질조사소, 1969, 한국지질도(1/50000) 삼례도폭
임실군청, 1993-1997, 정수장운영일지
전라남도, 1989, 서시천, 백연천, 용정천, 천음천, 상음천, 수락천, 대두천, 무동천 하천정비기본계획
전라남도, 1992, 석정천, 송석천, 광대천, 어사천 하천정비기본계획
전라남도, 1993, 토지천, 마산천, 송광천, 내북천 하천정비기본계획

전라남도, 1995, 의서천, 대룡천, 마룡천, 포두천, 보성강, 한천천, 해보천,
 용계천, 시종천, 대마천 하천정비기본계획
 전라남도, 1996, 쌍봉천, 개천 하천정비기본계획
 전라북도, 1991, 소양천, 섬진강, 추령천 하천정비기본계획
 전주상수도사업소, 1993-1997, 상수도통계
 중앙기상대(전주기상대, 광주지방기상청), 1993-1997, 기상월보
 한국동력자원연구소, 1982, 지질보고서(1/50000) 신흥도폭
 한국동력자원연구소, 1984, 지질보고서(1/50000) 구례, 오수, 남원도폭
 한국동력자원연구소, 1986, 지질보고서(1/50000) 영광도폭
 한국동력자원연구소, 1989, 지질보고서(1/50000) 하동도폭
 한국동력자원연구소, 1990, 지질보고서(1/50000) 나주, 광주도폭
 한국수문학회, 1993, 하천시설기준(조사편)
 한국수자원공사, 1997, '97 섬진강댐 유량측정 보고서
 한국수자원공사, 1991, 서남해안권 수자원조사 보고서
 한국수자원공사, 1992, 금강유역 대청댐 및 하구둑의 효율적 관리방안(이수관리)
 한국수자원공사, 1993-1996, 수문자료집
 한국수자원공사(섬진강댐 관리사무소), 1997, 섬진강댐관리연보
 한국자원연구소, 1996, 지하수 부존 조사 연구(임실지역 : 한국수문지질도 7권)
 Richard M. Vogel, Charles N. Kroll, 1992, Regional Geohydrologic
 -Geomorphic Relationships for the Estimation of Low-Flow Statistics
 Vijay P. Singh, Hydrologic systems, Watershed Modelling. volume II
 日野幹雄, 長谷部正彦, 1985, 水文流出解析