

설마천 유역의 하천유량과 수질특성 관계분석

○정규연¹⁾, 이동률²⁾, 정성원³⁾, 문장원⁴⁾

1. 서론

한국건설기술연구원에서는 1995년부터 설마천 시험유역을 운영해오고 있다. 이를 통해 신뢰성 있는 수문 자료를 지속적으로 수집하여 정확한 수문순환과정을 파악하고자 한다. 강우량, 수위, 유속, 유량, 수질, 기상 등의 기본적인 관측자료를 축적하고, 수집된 자료를 이용하여 홍수 및 갈수 유출특성을 분석하며, 신뢰성 있는 자료 획득을 위한 강우, 수위 등 각종 관측기기를 시험유역에 적용함으로써 적합성 검증과 측정방법을 개선하고 자료의 검증을 확보함과 동시에 시험유역의 연구성과가 관련분야에 활용될 수 있도록 축적된 자료를 관리·제공하고 있다.

그동안은 강우량, 수위, 유량, 기상 등 수량과 관련한 자료를 수집하고, 수위-유량관계곡선의 도출과 이를 통한 유출특성분석 등에 관해 집중적으로 연구하고 발표해 왔으나, 수질측면도 강화하여 2002년 5월부터는 수온, pH, 탁도 등 기본항목에 대한 측정뿐만 아니라 유기물, 미생물에 관한 분석도 추가시켜 측정하였다. 따라서 본 연구에서는 설마천 시험유역에 있는 2개의 소유역(사방댐, 전적비교)에 대해 2002년 5월부터 2003년 3월까지 11개월동안 강우시와 비강우시 측정된 자료를 이용하여 오염물질간의 상관관계를 분석하고, 상관관계가 높은 오염물질간에 회귀분석을 통해 오염물질간의 유출거동을 파악하여 설마천 시험유역의 유량에 따른 수질특성을 분석하고자 한다.

2. 연구방법

대상유역은 경기도 파주시 적성면 설마천 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구로 하는 유역면적 8.5

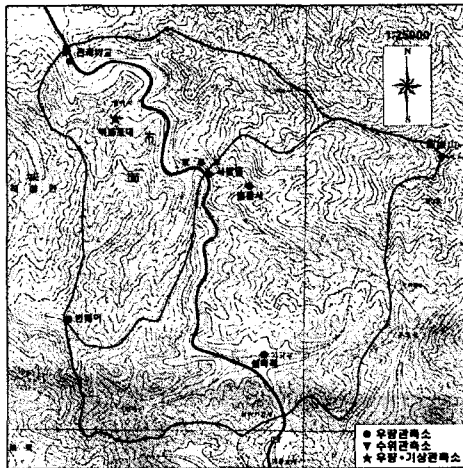


그림 1. 설마천 시험유역 유역도

km², 유로연장, 5.8km, 유로경사 2.3%인 전형적인 급경사 산지 사행하천이다. 하천형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태이며, 주 하천은 전형적인 곡류하천 형태이다. 설마천 시험유역은 중류부에 위치한 사방댐 소유역과 하류의 전적비교 소유역으로 이루어졌다(그림 1). 설마천의 지질학적 형상은 작은 절리가 많이 발달되어 있고, 엽리의 절리로 작용하는 지질구조상 초기 강우시에는 하천의 수위에 큰 변화를 보이지 않다가 과쇄대를 채우고 난 이후에 하천의 수위가 급격히 증가하는 양상을 나타낸다.

설마천 시험유역의 토양이용상태와 그에 따른 유출곡선지수(CN)은 표 1에 나타난 것과 같다. 사방댐과 전적비교의 총면적은 각각 5.08km², 8.5km²이다. 두 소유역 모두 산림이 차지하는 비율이 95%이상으로 경작지에 비해 월등히 크게 나타나 유사하였으나 중상류에 위치한 사방댐이 경작지의 비율이 약간 크게 나타났다[한국건설기술연구원, 2002].

- 1) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원
- 2) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원
- 3) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 선임연구원
- 4) 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 연구원

표 1. 유역의 평균유출곡선지수(AMC-II 조건하)

구분 소유역별	토지 이용 상태	토 양 형								면적합(km ²)	평균유출 곡선지수 (CN)
		A		B		C		D			
		면적(km ²)	CN	면적(km ²)	CN	면적(km ²)	CN	면적(km ²)	CN		
사방댐	경작지			0.245	77					0.245 (4.80%)	77
	산림			1.220	75	3.543	86	0.072	91	4.835 (95.2%)	83
	계			1.465		3.543		0.072		5.080	83
전적비교	경작지			0.245	77	0.041	81			0.286 (3.4%)	78
	산림			2.138	75	5.800	86	0.276	91	8.214 (96.6%)	83
	계			2.383		5.841		0.276		8.500	83

수질분석을 위한 시료채취와 유량측정은 비강우시와 강우시로 나누어서 이뤄졌다. 비강우시는 월 1~3회를 채취한 동절기를 제외한 나머지 기간에는 주 1회씩 채취하였으며, 강우시 유출수의 시료채취는 강우 개시 전 유속측정과 함께 시료를 채취하였으며, 동시간 간격의 시료채취는 어려워 수위변화를 살피면서 수위가 증가하는 구간에서는 시간간격을 충분히 두고 채취하였다. 분석항목은 pH, SS, T-COD, S-COD, DOC, T-N, NH₃-N, NO₃-N, T-P, Total Coliform, Esherchia Coli이며, Standard Methods, 수질오염공정시험법, KS M 0100에 따라 분석하였다. 강우자료는 설마천의 경우, 전적비교, 비룡포대, 설마리, 범륜사, 감악산 5개 우량관측소의 자료를 확보하여 시간축의 일치 여부, 계기 기상에 의한 무강우시 기록되는 이상치의 확인, 두 우량계 자료의 상호비교 등의 검토과정을 거쳐 최종 확정하였으며, 안양천은 신정지점과 가장 가까운 곳에 위치한 안양관측소의 우량자료를 받아 활용하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 수위-유량 관계곡선

표 2는 대상유역의 수위-유량관계곡선식을 나타낸 것이다. 전적비교지점은 설마천 시험유역의 출구부에 해당되는 수위관측지점으로 단단면의 하천단면형태를 나타내고 있으며, 수위-유량관계는 저수위, 고수위로 나누어 작성되었다. 이 때 각 구간은 하천단면형태와 유량측정성과의 변동양상을 고려하여 결정하였으며, 이러한 기준에 의해 목자판 기준으로 0.654m에서 저수위와 고수위를 분리하였다. 하지만 2002년 8월 5일부터 7일까지 발생한 홍수로 인해 전적비교 지점의 하천단면이 크게 변화하여 저수위 및 고수위에서의 수위-유량관계가 크게 변화하였다. 따라서 수위-유량관계는 이 때를 기준으로 홍수전후로 분리하여 작성하였으며, 홍수이후에는 저수위와 고수위의 분리기준이 목자판 기준으로 0.676m로 변화하였다. 사방댐은 올해 발생한 홍수로 인해 전적비교와 같은 단면의 변화로 수위-유량관계가 변화하는 양상을 보이지 않았으므로 전 기간에 걸쳐 확보된 유량측정성적을 바탕으로 하나의 수위-유량관계로 작성할 수 있었다. 사방댐 지점의 수위-유량관계 작성시 유량측정성과 위어 단면을 함께 고려하였으며, 사방댐 수위-유량관계가 분리되는 0.32m와 0.48m는 위어의 통수단면이 변화하는 높이에 해당하는 수위로서 작성된 수위-유량관계곡선이 위어의 단면형상을 잘 따라가고 있음을 알 수 있다[한국건설기술연구원, 2002].

표 2. 수위-유량관계곡선식

	적용 기간	경계 조건	수위-유량관계곡선식	비 고
사방댐	2001. 12. 1 ~2002. 11. 30	$H \leq 0.318m$	$Q=0.001(H-0.034)0.5$	0.318m 이하 관계식은 추정된 결과임
		$0.318m < H \leq 0.484m$	$Q=4.843(H-0.308)1.979$	
		$0.484m < H \leq 1.090m$	$Q=70.707(H-0.440)1.959$	
전적비교	2001. 12. 1 ~2002. 8. 5	$H \leq 0.654m$	$Q=9.120(H-0.150)3.225$	8/5 홍수로 인한 단면변화 이전
		$0.654m < H \leq 1.450m$	$Q=35.039(H-0.300)3.424$	
	2002. 8. 5 ~2002. 11. 30	$H \leq 0.676m$	$Q=7.053(H-0.309)2.149$	8/5 홍수로 인한 단면변화 이후
		$0.676m < H \leq 1.450m$	$Q=32.212(H-0.300)3.755$	

3.2 수질분석

수질분석결과 그림 2에 나타난 것과 같이 대부분의 오염물질은 유량의 증감에 따라 비슷한 형태로 농도변화를 나타내었으나, T-N의 경우 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 이는 직접유출에 의한 부하량이 높기 때문에 유출에 민감하게 반응하는 SS, T-COD, T-P와 같은 오염물질은 유량과 밀접한 상관관계가 있지만, 전 등[2001]에 의한 연구에서도 나온 것과 같이 T-N의 경우, 유역상류에 축산농가가 있어 이러한 결과가 지적

유출에 의한 부하량이 높아 비강우기에도 높은 농도가 검출되었으며 상대적으로 강우유출에 영향을 적게 받는 것으로 판단된다.

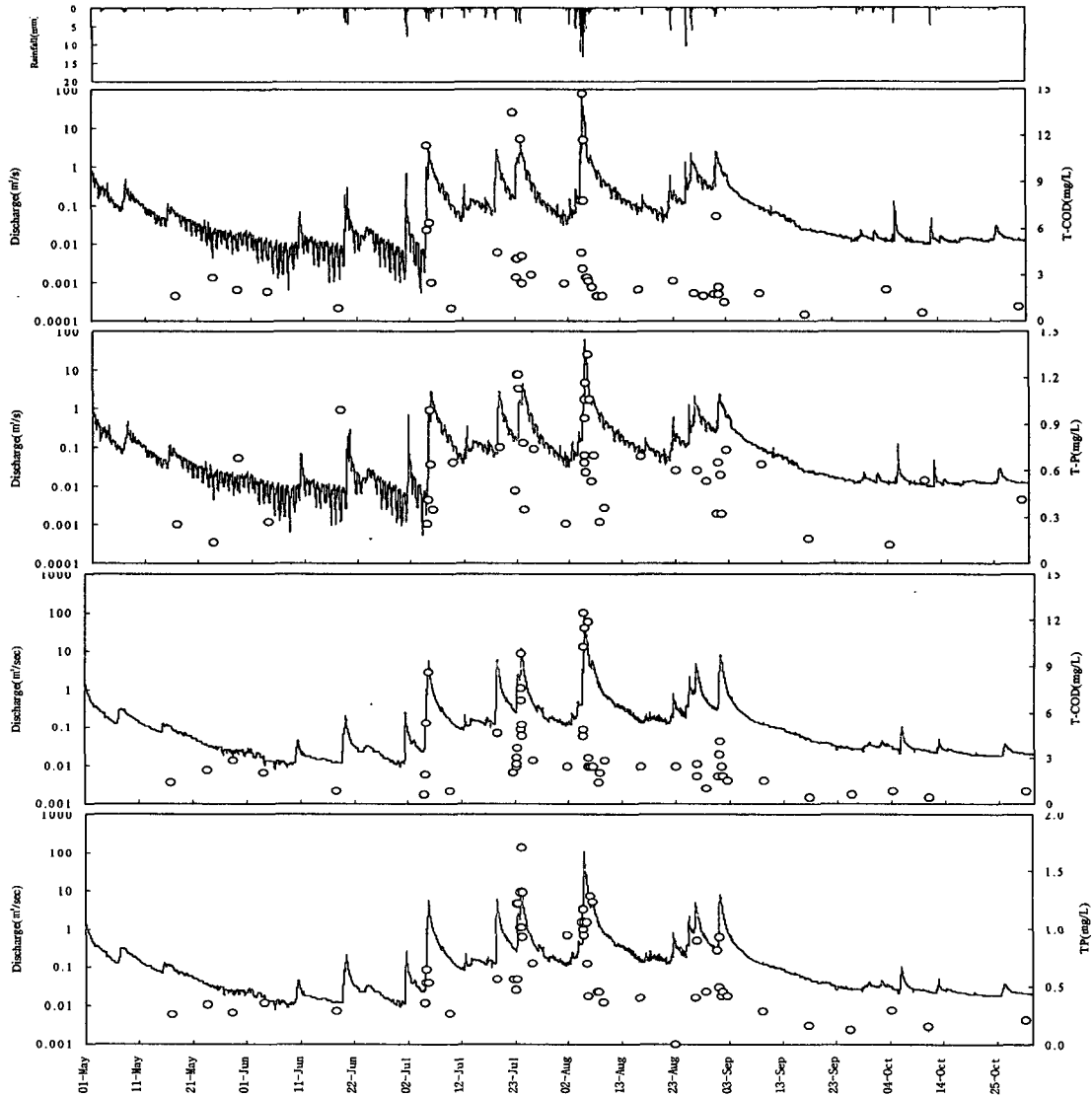


그림 2. 유량변화에 따른 오염물질농도(위:우량, 가운데2개:사방댐, 아래2개:전적비교)

3.3 통계분석

수질분석 항목 중 T-COD, SS, T-N, T-P와 유량에 대해 상관분석을 한 결과는 표 3과 같다. 전반적으로 강우기가 비강우기에 비해 유량-오염물질, 오염물질간의 상관성이 높게 나타났다. 이는 전 등[2001]의 연구에서도 같은 결과를 얻었으며, T-N의 경우 유량이나 다른 오염물질간에서도 상관성이 거의 없는 것으로 나온 것도 본 연구와 비슷한 경향을 나타내었다

비강우기에는 전적비교의 경우, 유량과 T-COD, T-P에서 상관성이 있었으나, 사방댐은 상관성이 있는 오염물질이 없는 것으로 나타났다. 설마천 유역은 산지소하천으로 도시지역처럼 하수도가 따로 없으므로 상류에 있는 농가와 하천옆 휴게소에서 하수가 유입되고 있어, 하류에 위치한 전적비교의 경우 하수에 영향을 많이 받게 되어 유기물과 인성분에서 상관관계가 나타난 것으로 추정된다. 오염물질간 상관관계에서는 강우기의 경우, 위치와 무관하게 같은 경향을 나타내었지만, 비강우기에는 사방댐과 전적비교를 합한 것이 0.97로 유의수준 1%에서 유의성을 나타낸 COD-SS는 유기물질과 부유물질 사이의 상관성은 상류지점의 높은 상관관계에 영향을 받아 이러한 경향을 나타낸 것으로 사료된다.

표 3. 인자간 상관분석 결과

		Dry-period					Wet-period				
		Discharge	T-COD	SS	T-N	T-P	Discharge	T-COD	SS	T-N	T-P
Discharge	A		0.044	0.046	-0.039	0.081		0.46**	0.728**	-0.173	0.247
	B		0.445*	0.399	-0.289	0.616**		0.655**	0.767**	0.098	0.355*
	A+B		0.091	0.084	-0.079	0.116		0.541**	0.701**	-0.05	0.316**
T-COD	A	0.044		0.93**	-0.25	-0.087	0.460**		0.732**	0.128	0.394*
	B	0.445*		0.143	0.141	0.523*	0.655**		0.993**	0.16	0.525**
	A+B	0.091		0.97**	-0.199	-0.031	0.541**		0.815**	0.142	0.454**
SS	A	0.046	0.93**		-0.493*	-0.066	0.728**	0.732**		-0.072	0.301
	B	0.399	0.143		0.188	0.77**	0.767**	0.993**		0.129	0.438**
	A+B	0.084	0.97**		-0.339	-0.024	0.701**	0.815**		-0.001	0.355**
T-N	A	-0.039	-0.25	-0.493*		-0.52*	-0.173	0.128	-0.072		-0.057
	B	-0.289	0.141	0.188		0.016	0.098	0.160	0.129		0.043
	A+B	-0.079	-0.199	-0.339		-0.353*	-0.050	0.142	-0.001		-0.017
T-P	A	0.081	-0.087	-0.066	-0.52*		0.247	0.394*	0.301	-0.057	
	B	0.616**	0.523*	0.77**	0.016		0.355**	0.525**	0.438**	0.043	
	A+B	0.116	-0.031	-0.024	-0.353*		0.316**	0.454**	0.355**	-0.017	

A: 사방댐, B: 전적비교

인자간 상관분석결과 상관도가 높게 나타난 유량과 SS, T-COD와 SS에 대해 강우기의 자료를 이용하여 회귀분석을 실시한 결과는 그림 3과 같다. 두 지점의 유량과 SS와의 회귀분석결과 상류에 위치한 사방댐의 경우 유량과 선형관계를 나타냈으나 하류에 있는 전적비교는 반대수함수 관계를 나타내었다. 하지만 SS와 COD와의 분석결과는 반대양상을 보여 하류로 갈수록 강우유출에 의한 부유물질은 영향을 적게 받지만 상류로부터의 오염물질 이동으로 인해 하류에서는 축적이 되어 선형적인 증가경향이 나타남을 알 수 있었다.

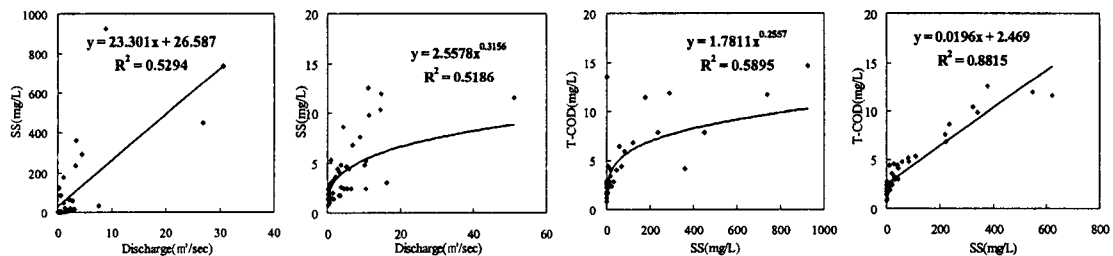


그림 3. 강우기 유량-SS, COD-SS의 회귀곡선(왼쪽2개:사방댐, 오른쪽2개:전적비교)

4. 결론

설마천 시험유역을 2개의 소유역으로 나누어 유량과 함께 수질오염물질을 분석한 결과, 비강우기에는 유량과 오염물질간에 뚜렷한 경향이 나타나지 않았으나, 강우기에는 T-N을 제외한 대부분의 오염물질이 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한 회귀분석 결과, 상류에 위치한 사방댐 강우유출에 의한 부유물질은 영향을 적게 받지만 하류는 상류로부터의 오염물질이 이동하다 축적이 되어 선형적인 증가경향이 나타남을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2002), 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구
2. 전지홍 등(2001), 비도시 유역에서 수질오염물질 사이의 상관관계 분석, 육수학회논문집, 34(3), pp 215-222

- 감사의 글 -

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 #1-5-1)에 의해 수행되었습니다.