

설마천 시험유역의 유량과 수질인자의 상관관계 분석

A Correlation Analysis of Runoff and Water Quality Factor of the Seolma-Cheon Experimental Catchment

김동필* · 이남훈**

Kim, Dong Phil · Lee, Nam Hun

1. 서론

한국건설기술연구원에서는 1995년부터 현재까지 설마천 시험유역을 운영해 오고 있으며, 신뢰성 있는 수문자료를 생성하여 물순환 과정을 규명하는데 있다. 그러나 자연계의 순환은 물순환 뿐만 아니라 물질순환의 측면도 대단히 중요하다. 따라서 물질순환의 측면을 강화하고자 2002년부터 수질 및 부유사량 측정을 지속적으로 해오고 있으며, 본 논문에서는 설마천 시험유역을 대상으로 2009년의 신뢰성 있는 수문·수질자료를 바탕으로 유역의 유출거동에 따른 수질인자와의 상관관계를 분석하는데 그 목적을 두었다.

시험유역에서는 10분 단위의 연속적인 우량 및 수위관측을 하고 있으며, 자료의 정리와 검토를 통하여 지점우량, 유역면적우량, 2개 수위관측소에 대표수위를 산정하고 있다. 그리고 연간 20회 이상의 유량측정성과를 통하여 유량측정성과에 대한 불확실도, 기본 수리특성 분석, 수위-유량관계곡선식을 개발하여 유량을 산정하고 있다. 산정된 유량은 연간, 월별, 주요 호우사상별 유출률 분석을 통하여 합리적인 유출률 범위내에서 재 조정절차를 거쳐 최종유량을 확정하였다.

그리고, 수질분석을 위한 시료는 호우사상시 현장에서 채취하여 실험실에서 분석하였다. 실험실에서 분석한 항목은 DO, pH, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, T-N, T-P, NTU로 총 9개 항목이다. 2009년도 설마천 시험유역의 설마리, 사방교, 전적비교의 수질측정은 7~8월에 집중적으로 하였으며, 강우가 시작되기 직전과 강우가 시작되어 유량이 증가되는 시기를 선정하여 각각 79회 이상의 시료를 채취하여 분석하였다. 측정된 수질자료를 이용하여 3개 측정지점에 대한 유량과 각 수질인자간의 상관관계를 분석하였다.

2. 대상유역

설마천은 임진강 하구에서 약 46km 상류(경기도 파주시 적성면 소재)에 위치한 임진강 제 1지류인 지방 2급 하천으로 설마천 시험유역은 영국군 전적비교를 출구로 하는 유역면적 8.48km², 유로연장 5.59km, 유로경사 2.15%인 전형적인 산지 소하천 유역이다. 유역의 대부분은 산악지형으로 이루어져 있으며, 유역의 동쪽에는 시험유역에서 가장 높은 감악산(EL.675m)이 위치하고 있다. 하천의 형태는 수지상에 직각상이 결합된 형태를 보인다. 유역내의 인문사회 현황으로 유역의 총인구는 449명으로 유역의 상류에는 마을을 중심으로 일부 논과 밭을 경작하고 가축을 사육하고 있으며, 하천을 따라 휴게소와 유역의 상류와 하류에는 3개 군부대가 위치해 있다. 그리고, 본 시험유역에 설치된 관측기기로는 우량관측소 6개소, 하천수위관측소 2개소, 기상관측소 1개소, 지하수위관측소 2개소로 관측단위는 10분 및 1시간으로 운영되며, 우량관측소의 밀도는 1.42km²/개소이다.



그림 1. 유역도 및 관측소 현황

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 선임연구원 · E-mail : dpkim@kict.re.kr

** 학생회원 · 한국건설기술연구원 수자원·환경연구본부 수자원연구실 학생연구생 · E-mail : namhun24@kict.re.kr

3. 수질측정 현황 및 분석

3.1 수질측정 현황

수질은 호우사상을 중심으로 현장에서 시료를 채취하여 실험실에서 분석하였으며, 분석한 항목은 DO, pH, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, SS, T-N, T-P, NTU로 총 9개 항목이다. 올해 설마천 시험유역의 수질측정은 유역의 상류에 위치한 설마리, 중류에 위치한 사방교, 유역출구인 전적비교에서 홍수기인 7~8월에 집중적으로 측정하였으며, 강우가 시작되기 직전과 강우가 시작되어 유량이 증가되는 시기를 대표로 선정하여 설마리는 7월 16회, 8월 9회로 총 25회를, 사방교와 전적비교는 각각 7월 17회, 8월 10회로 총 27회의 측정을 하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 3개 지점에서 측정된 수질항목의 농도의 증감형태가 비교적 유사한 경향을 나타냈으며, 유량의 증가에 따라 SS, NTU 등의 농도가 증가하고 있어 유량과 수질인자간 상관관계를 유추할 수 있었다.

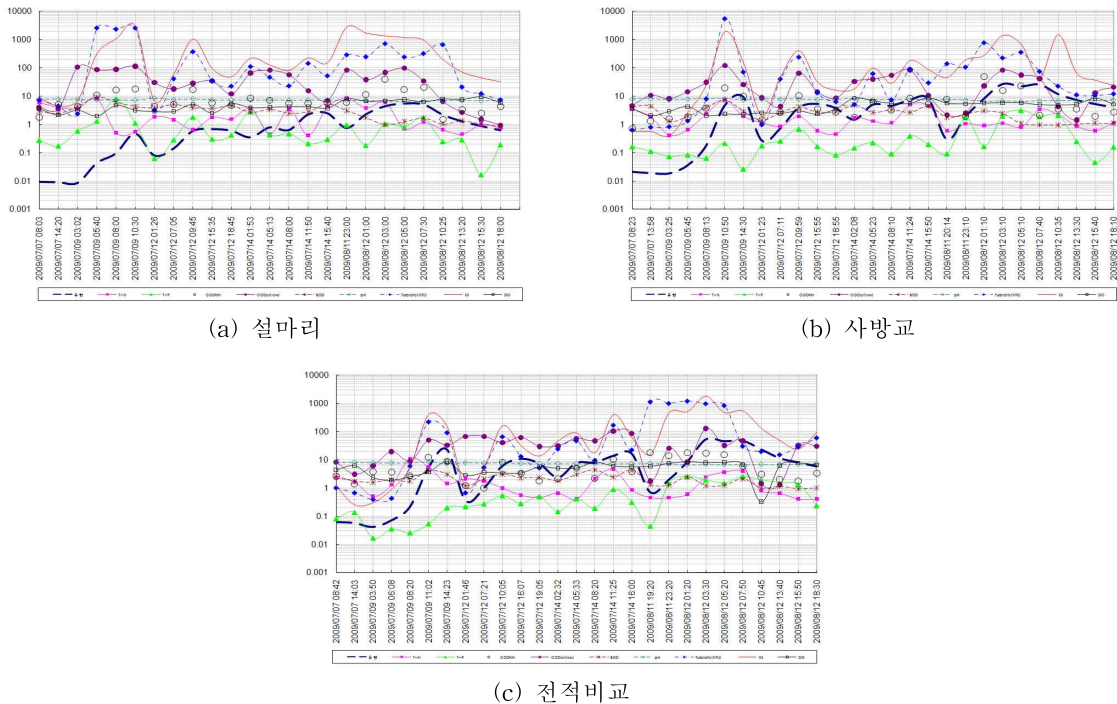


그림 2. 수질측정 현황

3.2 상관관계 분석

측정된 수질자료를 이용하여 각 항목간 상관관계를 표 1~3과 같이 분석하였으며, 그 결과 상류에 위치한 설마리의 경우 유량과 가장 상관관계가 높게 나타난 항목은 SS와 COD_{Mn}순으로 나타났으며, 수질항목간 상관관계에서 T-N은 COD_{Mn}, T-P는 SS, SS는 COD_{Mn}과 NTU간의 상관관계가 높게 나타나 탁도물질의 유입에 따라 유기물질 및 영양물질이 비례적으로 증가하는 것을 알 수 있었다.

중류에 위치한 사방교의 상관관계 분석결과 유량은 COD_{Cr}, COD_{Mn}, T-P, SS순으로 상관관계가 높게 나타났으며, 수질항목간 상관관계에서 SS는 COD_{Cr}, COD_{Mn}, NTU는 SS, COD_{Mn}, T-N은 NTU, T-P는 COD_{Cr}과 높은 상관관계를 나타냈다. 유역출구인 전적비교의 경우 유량과 가장 상관관계가 높게 나타난 항목은 SS, NTU, COD_{Mn}순으로 나타났으며, 수질항목간 상관관계에서 SS 및 NTU는 COD_{Mn}, T-N순으로 나타났으며, DO는 BOD와 높은 상관관계를 나타냈다.

사방교와 전적비교도 설마리와 같이 강우가 시작되면서 유량의 증가에 따라 오염원이 유입되어 탁도물질의 유입과 함께 유기물질 및 영양물질이 비례적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

표 1. 수질자료 항목간 상관계수(설마리)

항 목	유 량	T-N	T-P	COD _{Mn}	COD _{Cr}	SS	BOD	pH	NTU	DO
유 량	-	0.631	0.588	0.862	0.274	0.867	-0.113	-0.538	0.610	0.591
T-N	0.631	-	0.139	0.603	0.242	0.535	-0.012	-0.138	0.518	0.112
T-P	0.588	0.139	-	0.709	0.657	0.765	0.202	-0.131	0.538	0.268
COD _{Mn}	0.862	0.603	0.709	-	0.459	0.895	0.161	-0.221	0.695	0.481
COD _{Cr}	0.274	0.242	0.657	0.459	-	0.514	0.434	-0.038	0.389	0.276
SS	0.867	0.535	0.765	0.895	0.514	-	-0.064	-0.541	0.874	0.240
BOD	-0.113	-0.012	0.202	0.161	0.434	-0.064	-	0.492	-0.074	0.120
PH	-0.538	-0.138	-0.131	-0.221	-0.038	-0.541	0.492	-	-0.407	-0.094
NTU	0.610	0.518	0.538	0.695	0.389	0.874	-0.074	-0.407	-	-0.044
DO	0.591	0.112	0.268	0.481	0.276	0.240	0.120	-0.094	-0.044	-

표 2. 수질자료 항목간 상관계수(사방교)

항 목	유 량	T-N	T-P	COD _{Mn}	COD _{Cr}	SS	BOD	pH	NTU	DO
유 량	-	0.497	0.845	0.868	0.922	0.844	0.067	-0.514	0.735	0.477
T-N	0.497	-	0.543	0.470	-0.143	0.545	0.074	-0.151	0.719	-0.112
T-P	0.845	0.543	-	0.703	0.774	0.530	-0.018	-0.334	0.743	0.272
COD _{Mn}	0.868	0.470	0.703	-	0.823	0.620	0.212	-0.350	0.873	0.280
COD _{Cr}	0.922	-0.143	0.774	0.823	-	0.679	0.174	-0.436	0.793	0.471
SS	0.844	0.545	0.530	0.620	0.679	-	0.000	-0.414	0.961	0.373
BOD	0.067	0.074	-0.018	0.212	0.174	0.000	-	0.526	0.032	0.342
PH	-0.514	-0.151	-0.334	-0.350	-0.436	-0.414	0.526	-	-0.363	0.015
NTU	0.735	0.719	0.743	0.873	0.793	0.961	0.032	-0.363	-	0.343
DO	0.477	-0.112	0.272	0.280	0.471	0.373	0.342	0.015	0.343	-

표 3. 수질자료 항목간 상관계수(전적비교)

항 목	유 량	T-N	T-P	COD _{Mn}	COD _{Cr}	SS	BOD	pH	NTU	DO
유 량	-	0.797	0.507	0.887	0.787	0.940	0.545	-0.287	0.924	0.550
T-N	0.797	-	0.031	0.709	-0.242	0.890	-0.228	-0.306	0.842	-0.604
T-P	0.507	0.031	-	0.112	0.514	0.433	-0.017	-0.186	0.462	-0.155
COD _{Mn}	0.887	0.709	0.112	-	0.653	0.923	0.601	-0.146	0.873	0.326
COD _{Cr}	0.787	-0.242	0.514	0.653	-	0.366	0.666	0.075	0.657	0.494
SS	0.940	0.890	0.433	0.923	0.366	-	0.418	-0.285	0.956	0.414
BOD	0.545	-0.228	-0.017	0.601	0.666	0.418	-	0.574	0.169	0.842
PH	-0.287	-0.306	-0.186	-0.146	0.075	-0.285	0.574	-	-0.215	0.374
NTU	0.924	0.842	0.462	0.873	0.657	0.956	0.169	-0.215	-	0.177
DO	0.550	-0.604	-0.155	0.326	0.494	0.414	0.842	0.374	0.177	-

특히, 부영양화 지표 항목인 총질소(T-N), 총인(T-P)의 경우 설마리에서 사방교까지 감소하다가 전적비교에서는 다시 증가하는 유량과의 상관관계를 보이고 있다. CDOcr 과 SS(부유물질), DO(용존산소)도 마찬가지로 유역의 상류지점인 설마리에서 중류에 위치한 사방교까지 감소하다가 전적비교에서는 다시 증가하는 유량과의 상관관계를 보이고 있으며, COD_{Mn}, BOD, NTU는 유역의 상류지점인 설마리에서 상관관계가 낮다가 중류 및 하류로 갈수록 유량과의 상관관계가 증가하는 경향을 보이고 있다.

4. 결 론

설마천 시험유역은 산림지역이 96%를 점유하고 있는 전형적인 산지 소하천 유역이며, 3개의 군부대와 하천을 따라 24여개의 휴게소가 위치하고 있다. 여름철의 피서객의 활동이 잦은 시기와 강우기 시작직전과 직후의 시기를 선택하여 오염 거동을 살펴보았다. 오염원의 유입과 유출이 비교적 적은 유역이지만 크고 작은 유량의 변화에 따른 수질인자와의 연속적인 상관관계와 수질항목간의 상관관계를 분석하였다.

3개 지점 모두 상관관계 분석결과 유량의 증가에 따라 탁도물질의 유입과 함께 유기물질 및 영양물질이 비례적으로 증가하는 것을 알 수 있었으며, 설마천 시험유역은 오염원이 적은 지역임에도 불구하고 강우발생에 따른 유출 거동시 오염 농도가 매우 크게 증가하는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원(2008), 시험유역의 운영 및 수문특성 조사, 건기연 2009-101.
2. 2007년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(2007), 2006년 설마천 시험유역의 유량과 수질인자의 상관관계 분석.
3. 2008년 한국수자원학회 학술발표회 논문집(2008), 설마천 시험유역의 수질특성 분석.
4. International organization for Standardization(1998), Measurement of Liquid flow on open channels- Part 2: Determination of the stage-discharge relation, ISO 1100-2.