

설마천 시험유역의 유량과 수질인자의 상관관계 분석

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

김동필* , 정성원** , 김성훈***

Dong Phil Kim, Sung Won Jung, Sung Hoon Kim

요 지

본 논문의 목적은 설마천 시험유역을 대상으로 2005년의 신뢰성 있는 수문·수질자료를 바탕으로 유역의 유출거동에 따른 수질인자와의 상관관계를 분석하는데 있다. 시험유역에서는 10분 단위의 연속적인 우량 및 수위관측과 연간 30회 이상의 유량측정성과를 통하여 수위-유량관계곡선식을 개발하여 유량을 산정하고 있으며, 수질분석을 위한 시료채취는 유량측정시 현장에서 채취하여 실험실에서 분석하였다. 실험실에서 분석한 항목은 DO, BOD, COD, T-N, T-P, F, Cl, NO₃-N, SO₄, pH, 전기전도도로 총 11개 항목으로 수질측정은 우기가 시작되는 시기인 6~9월에 집중적으로 측정 분석하였으며, 강우가 시작되기 직전과 강우가 시작되어 유량이 증가되는 시기를 선정하여 각각 20회의 시료를 채취하여 분석하였다.

측정된 수질자료를 이용하여 2개 측정지점에 대한 각 항목간의 상관관계를 분석하였으며, 강우가 시작되기 직전과 강우기에 대하여 각 항목간의 상관분석을 수행하였다. 그리고, 선행강우의 일수에 따라 유출의 거동에 따른 BOD, COD, DO, T-N, pH의 농도변화를 비교 검토하였다.

2개 지점의 상관분석 결과는 오염물질간 상관성이 유사한 경향을 나타내었으며, 강우가 시작되기 직전과 강우기에 대한 각 항목간의 상관분석 결과는 유량은 전기전도도 항목과 상관도가 높게 나타났을 뿐 다른 항목은 없었으며, 수질항목간 상관도도 유기물질들 사이에서만 상관성을 나타내었다. 비강우기에는 질소성분의 항목과 전기전도도가 높은 상관도를 나타내었지만 강우기에는 유기물질과 질소성분의 항목간에 상관성이 있는 것으로 나타났다.

그리고, 선행강우의 일수에 따라 유출의 거동에 따른 BOD, COD, DO, T-N, pH의 농도변화를 비교 검토한 결과 선행강우일수가 클수록 전반적으로 DO, COD, BOD의 농도는 수문곡선의 형상과 비슷하게 증가하였다가 감소하는 결과를 보이고 있으며, T-N은 선행강우일수가 큰 상태에서는 농도가 증가하였으나 선행강우가 작을수록 일정한 경향을 보이고 있다. 그리고, pH는 홍수기의 유량의 변화에 관계없이 일정한 값을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 설마천 시험유역, 유출거동, 수질자료, 상관관계

1. 서 론

한국건설기술연구원에서는 1995년부터 현재까지 설마천 시험유역을 운영해 오고 있으며, 신뢰성 있는 수문자료를 생성하여 물순환 과정을 규명하는데 있다. 그러나 자연계의 순환은 물순환 뿐만 아니라 물질순환의

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·E-mail : dpkim@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원·E-mail : swjung@kict.re.kr

*** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : kimsh@kict.re.kr

측면도 대단히 중요하다. 따라서 물질순환의 측면을 강화하고자 2002년부터 수질 및 부유사량 측정을 지속적으로 해오고 있으며, 본 논문에서는 설마천 시험유역을 대상으로 2005년의 신뢰성 있는 수문-수질자료를 바탕으로 유역의 유출거동에 따른 수질인자와의 상관성 관계를 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 30회 이상의 유량측정성적을 통하여 유량측정성적에 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 최종 유량을 확정하였다.

그리고, 수질분석을 위한 시료채취는 유량측정시 현장에서 채취하여 실험실에서 분석하였다. 실험실에서 분석한 항목은 DO, BOD, COD, T-N, T-P, F, Cl, NO₃-N, SO₄, pH, 전기전도도로 총 11개 항목이다. 2005년도 설마천 시험유역의 전적비교와 사방교에 대한 수질측정은 우기가 시작되는 시기인 6~9월에 집중적으로 하였으며, 강우가 시작되기 직전과 강우가 시작되어 유량이 증가되는 시기를 선정하여 각각 20회의 시료를 채취하여 분석하였다.

측정된 수질자료를 이용하여 2개 측정지점에 대한 각 항목간의 상관관계를 분석하였으며, 강우가 시작되기 직전과 강우기에 대하여 각 항목간의 상관분석을 수행하였다. 그리고, 선행강우의 일수에 따라 유출의 거동에 따른 BOD, COD, DO, T-N, pH의 농도변화를 비교 검토하였다.

2. 대상 유역

설마천 시험유역은 경기도 파주시 적성면 설마리에 위치한 영국군 전적비교를 출구로 하는 설마천 중상류 유역이다. 유역면적 8.48km², 유로연장 5.59km, 유로경사 2.15%의 특성을 갖는 전형적인 급경사 산지 사행하천이다. 본 시험유역에는 그림 1과 같이 6개의 우량관측소, 2개의 수위관측소, 2개의 지하수위관측소 및 1개의 기상관측소가 운영되고 있으며, 결측 최소화와 이상치 발생의 예방을 위하여 주 1회의 관측기기 점검, 2종 이상의 관측기기 운영, 실시간 모니터링 시스템의 운영 등을 수행하고 있다. 일상적인 관측기기의 유지관리와 수문기상관측 및 관측자료의 검토 등 일련의 수문관측 및 자료처리 과정을 통해 양질의 우량, 수위, 유량 및 기상자료는 10분 단위, 지하수위관측 자료는 1시간 단위로 생성하며, 수문관련 연구에 활용되도록 수문 D/B에 등록하여 일반에게 제공하고 있다. 또한, 실시간 모니터링 시스템을 통해 설마천 시험유역 홈페이지(<http://kict.datapcs.co.kr>)나 핸드폰을 통해서도 실시간으로 자료를 확인할 수 있도록 하고 있다.

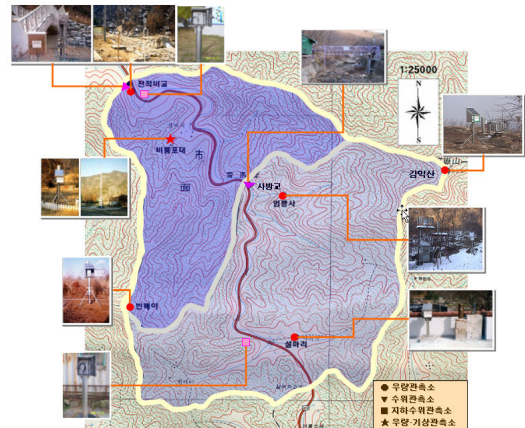


그림 1 설마천 시험유역도

3. 수질측정 현황 및 분석

3.1 수질측정 현황

수질은 유량측정시 현장에서 시료를 채취하여 실험실에서 분석하였다. 실험실에서 분석한 항목은 pH, 전기전도도(conductivity), 용존산소량(DO), BOD, COD, T-N, T-P, NO₃-N, SO₄, F, Cl으로 총 11개 항목에 대해 모니터링 하였다. 올해 설마천 시험유역의 전적비교와 사방교에 대한 수질측정은 우기가 시작되는 시기인 6월과 7월에 집중적으로 하였으며, 강우가 시작되기 직전과 강우가 시작되어 유량이 증가되는 시기를 대표로 선정하여 샘플링 자료는 각각 16회이며, 그림 2~3은 전적비교와 사방교에서 측정된 수질자료를 나타내고 있다.

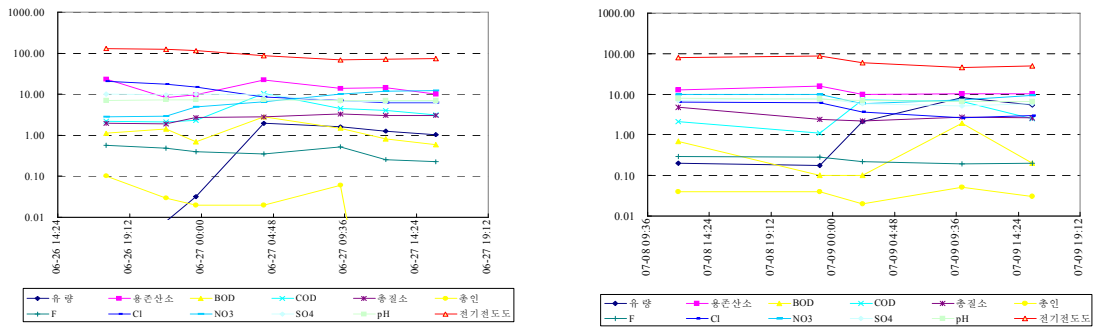


그림 2. 수질측정 현황(전적비교)

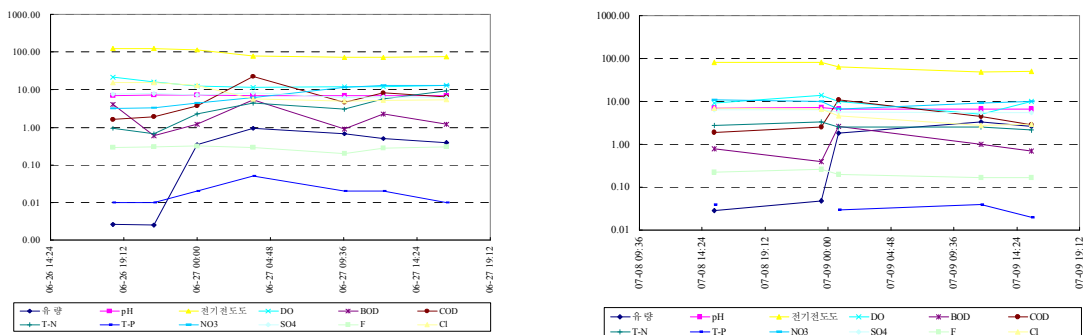


그림 3. 수질측정 현황(사방교)

3.2 상관관계 분석

3.2.1 측정지점별 분석

측정된 수질자료를 이용하여 각 항목간 상관관계 분석을 표 1~2와 같이 전적비교와 사방교로 나누어 수행하였으며, 그 결과 유량자료와 pH, 전기전도도(conductivity)의 상관관계가 비교적 높게 나타나고 있었다. 또한, 수질측정 항목간 중 전적비교에서는 pH는 전기전도도, T-N, SO₄와, 전기전도도는 T-P, NO₃-N, SO₄, F, Cl과, DO는 BOD, T-P, SO₄와 BOD는 COD와 상관관계가 높았으며, 사방교에서는 pH는 전기전도도, DO, F, Cl과, 전기전도도는 pH, DO, NO₃-N, SO₄, F, Cl과, DO는 pH, 전기전도도, BOD, F, Cl과 BOD는 COD, T-P와 상관관계가 높았다. 2개 지점의 상관분석 결과는 오염물질간 상관성이 유사한 경향을 나타내었으며, 강우기 직전과 비교하였을 때 유량과 오염물질과의 상관성이 높게 나타났다.

3.2.2 강우시기별 분석

수질자료를 이용하여 강우가 시작되기 직전과 강우기에 대하여 표 3~4와 같이 각 항목간의 상관분석을 수행한 결과, 유량과 상관도가 높게 나타난 항목은 비강우기 및 강우기에는 전기전도도가 높았을 뿐 다른 항목은 없었으며, 수질항목간 상관도도 유기물질들 사이에서만 상관성을 나타내었다. 비강우기에는 질소성분의 항목과 전기전도도가 높은 상관도를 나타내었지만 강우기에는 유기물질과 질소성분의 항목간에 상관성이 있는 것으로 나타났다.

표 1. 수질자료 항목간 상관계수(전적비교)

구 분	유량	pH	전도도	DO	BOD	T-COD	T-N	T-P	NO ₃ -N	SO ₄	F	Cl
유량		-0.512	-0.679	-0.183	0.236	0.431	0.044	0.051	0.153	-0.549	-0.491	-0.531
pH	-0.512		0.469	0.391	0.057	-0.232	0.584	0.232	0.236	0.475	0.354	0.331
전도도	-0.679	0.469		0.432	0.188	-0.281	-0.105	0.418	-0.496	0.933	0.804	0.953
DO	-0.183	0.391	0.432		0.471	0.288	0.248	0.584	0.041	0.554	0.520	0.461
BOD	0.236	0.057	0.188	0.471		0.651	0.186	0.282	-0.173	0.395	0.392	0.273
T-COD	0.431	-0.232	-0.281	0.288	0.651		0.093	-0.059	-0.020	-0.038	-0.131	-0.236
T-N	0.044	0.584	-0.105	0.248	0.186	0.093		0.143	0.632	-0.036	0.013	-0.109
T-P	0.051	0.232	0.418	0.584	0.282	-0.059	0.143		-0.253	0.403	0.656	0.524
NO ₃ -N	0.153	0.236	-0.496	0.041	-0.173	-0.020	0.632	-0.253		-0.466	-0.388	-0.532
SO ₄	-0.549	0.475	0.933	0.554	0.395	-0.038	-0.036	0.403	-0.466		0.769	0.891
F	-0.491	0.354	0.804	0.520	0.392	-0.131	0.013	0.656	-0.388	0.769		0.862
Cl	-0.531	0.331	0.953	0.461	0.273	-0.236	-0.109	0.524	-0.532	0.891	0.862	

표 2. 수질자료 항목간 상관계수(사방교)

구 분	유량	pH	전도도	DO	BOD	T-COD	T-N	T-P	NO ₃ -N	SO ₄	F	Cl
유량		-0.629	-0.653	-0.495	-0.001	0.187	-0.049	0.395	0.178	-0.223	-0.502	-0.537
pH	-0.629		0.771	0.717	0.164	-0.013	0.140	-0.022	-0.059	0.359	0.886	0.787
전도도	-0.653	0.771		0.727	0.235	-0.150	-0.247	-0.145	-0.535	0.491	0.750	0.964
DO	-0.495	0.717	0.727		0.303	-0.119	0.004	-0.187	-0.143	0.132	0.728	0.774
BOD	-0.001	0.164	0.235	0.303		0.769	0.122	0.410	-0.275	0.472	0.371	0.165
T-COD	0.187	-0.013	-0.150	-0.119	0.769		0.382	0.539	0.005	0.366	0.211	-0.235
T-N	-0.049	0.140	-0.247	0.004	0.122	0.382		0.099	0.698	-0.056	0.339	-0.299
T-P	0.395	-0.022	-0.145	-0.187	0.410	0.539	0.099		0.157	-0.060	0.080	-0.105
NO ₃ -N	0.178	-0.059	-0.535	-0.143	-0.275	0.005	0.698	0.157		-0.398	-0.070	-0.512
SO ₄	-0.223	0.359	0.491	0.132	0.472	0.366	-0.056	-0.060	-0.398		0.368	0.345
F	-0.502	0.886	0.750	0.728	0.371	0.211	0.339	0.080	-0.070	0.368		0.750
Cl	-0.537	0.787	0.964	0.774	0.165	-0.235	-0.299	-0.105	-0.512	0.345	0.750	

표 3. 수질자료 항목간 상관계수(6월)

구 분	유량	pH	전도도	DO	BOD	T-COD	T-N	T-P	NO ₃ -N	SO ₄	F	Cl
유량		-0.133	-0.713	0.106	0.163	0.421	0.170	-0.061	0.480	-0.207	-0.133	-0.660
pH	-0.133		0.548	-0.068	-0.177	-0.332	-0.525	-0.192	-0.610	0.523	0.328	0.536
전도도	-0.713	0.548		0.339	-0.046	-0.445	-0.633	0.247	-0.915	0.670	0.459	0.971
DO	0.106	-0.068	0.339		0.238	-0.098	-0.281	0.321	-0.342	0.276	0.222	0.328
BOD	0.163	-0.177	-0.046	0.238		0.748	0.070	0.161	-0.204	0.136	-0.103	-0.160
T-COD	0.421	-0.332	-0.445	-0.098	0.748		0.399	0.162	0.147	0.014	-0.216	-0.509
T-N	0.170	-0.525	-0.633	-0.281	0.070	0.399		-0.106	0.688	-0.427	-0.215	-0.631
T-P	-0.061	-0.192	0.247	0.321	0.161	0.162	-0.106		-0.353	0.464	0.770	0.382
NO ₃ -N	0.480	-0.610	-0.915	-0.342	-0.204	0.147	0.688	-0.353		-0.767	-0.496	-0.877
SO ₄	-0.207	0.523	0.670	0.276	0.136	0.014	-0.427	0.464	-0.767		0.638	0.718
F	-0.133	0.328	0.459	0.222	-0.103	-0.216	-0.215	0.770	-0.496	0.638		0.619
Cl	-0.660	0.536	0.971	0.328	-0.160	-0.509	-0.631	0.382	-0.877	0.718	0.619	

표 4. 수질자료 항목간 상관계수(7월)

구 분	유량	pH	전도도	DO	BOD	T-COD	T-N	T-P	NO ₃ -N	SO ₄	F	Cl
유량		-0.350	-0.681	-0.102	0.278	0.342	0.007	0.428	0.035	-0.302	-0.328	-0.573
pH	-0.350		0.562	0.640	-0.283	-0.357	0.660	0.383	0.481	0.383	0.788	0.639
전도도	-0.681	0.562		0.330	-0.117	-0.214	0.208	0.021	0.039	0.576	0.720	0.916
DO	-0.102	0.640	0.330		-0.254	-0.224	0.442	0.320	0.577	0.019	0.529	0.525
BOD	0.278	-0.283	-0.117	-0.254		0.779	0.125	0.192	-0.247	0.165	-0.344	-0.169
T-COD	0.342	-0.357	-0.214	-0.224	0.779		-0.020	0.102	-0.428	0.132	-0.296	-0.277
T-N	0.007	0.660	0.208	0.442	0.125	-0.020		0.485	0.594	0.198	0.398	0.393
T-P	0.428	0.383	0.021	0.320	0.192	0.102	0.485		0.531	-0.025	0.221	0.225
NO ₃ -N	0.035	0.481	0.039	0.577	-0.247	-0.428	0.594	0.531		-0.046	0.256	0.325
SO ₄	-0.302	0.383	0.576	0.019	0.165	0.132	0.198	-0.025	-0.046		0.365	0.332
F	-0.328	0.788	0.720	0.529	-0.344	-0.296	0.398	0.221	0.256	0.365		0.788
Cl	-0.573	0.639	0.916	0.525	-0.169	-0.277	0.393	0.225	0.325	0.332	0.788	

3.3 선행강우일수에 따른 분석

선행강우의 일수에 따라 유출의 거동에 따른 BOD, COD, DO, T-N, pH의 농도변화를 비교 검토하였다. 그림 4는 전적비교의 2005년 6월 26일 ~ 27일의 주요 5개 항목의 수질분석 결과를 보여주고 있으며, 이때 선행강우일은 10일이다. 수문곡선의 형상에 따라 DO, COD, BOD는 농도가 증가 하였다가 감소하며, 총질소는 수문곡선 상승시점에서 농도가 증가하여 일정상태를 유지하고, pH는 일정한 경향을 보이고 있다. 그림 5는 전적비교의 2005년 7월 8일 ~ 9일의 주요 5개 항목의 수질분석 결과를 보여주고 있으며, 이때 선행강우일은 5일이다. 수문곡선의 형상에 따라 COD, BOD는 농도가 증가 하였다가 감소하며, 총질소와 pH는 일정한 경향을 보이고 있다. 그림 6은 전적비교의 2005년 7월 27일 ~ 28일의 주요 5개 항목의 수질분석 결과를 보여주고 있으며, 이때 선행강우일은 2일이다. 수문곡선의 형상에 따라 COD는 농도가 증가 하였다가 감소하며, pH, 총질소, BOD는 일정한 경향을 보이며, DO는 감소하였다가 증가하는 경향을 보이고 있다.

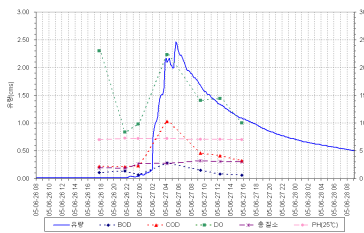


그림 4. 2005년 6월 26일 ~ 27일의 수질분석 결과

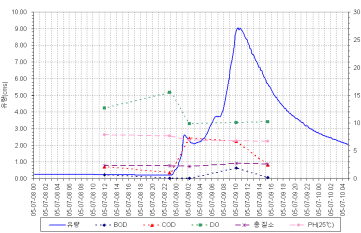


그림 5. 2005년 7월 8일 ~ 9일의 수질분석 결과

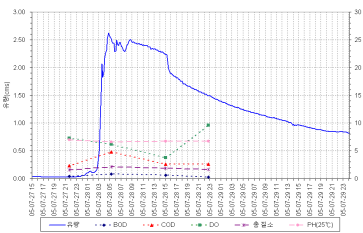


그림 6. 2005년 7월 27일 ~ 28일의 수질분석 결과

사방교의 경우에도 전반적으로 전적비교와 비슷한 양상을 보이고 있다. 3개의 호우사상을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 선행강우일수가 클수록 전반적으로 DO, COD, BOD의 농도는 수문곡선의 형상과 비슷하게 증가 하였다가 감소하는 결과를 보이고 있으며, 총질소는 선행강우일수가 큰 상태에서는 농도가 증가하였으나 선행강우가 작을수록 일정한 경향을 보이고 있다. 그리고, pH는 홍수기의 유량의 변화에 관계없이 일정한 값을 유지하고 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

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 오염원의 거동을 살펴보았다. 오염원의 유입과 유출이 비교적 적은 유역이지만 크고 작은 유량의 변화에 따른 수질인자와의 연속적인 상관관계와 수질항목간의 상관관계를 분석하였다. 2개 지점의 상관분석 결과는 오염물질간 상관성이 유사한 경향을 나타내었으며, 강우기 직전 유량과 오염물질과의 상관성이 높게 나타났다. 비강우기에는 질소성분의 항목과 전기전도도가 높은 상관도를 나타내었지만, 강우기에는 유기물질과 질소성분의 항목간에 상관성이 있는 것으로 나타났다.

그리고 선행강우일수에 따라 수질자료 5개 항목의 변화를 살펴본 점은 매우 의미가 있다. 설마천 시험유역은 오염원 거동이 적은 지역임에도 불구하고 초기 강우시 오염원 농도가 매우 크다는 사실을 나타내고 있음을 알 수가 있었다.

감 사 의 글

본 연구는 21세기 프런티어연구개발사업인 수자원의 지속적확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 2-1-1)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원(2005), 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구.
2. 2003년 수자원학회 학술발표회 논문집(II)(2003), 설마천 유역의 하천유량과 수질특성 관계분석.