

도시배수구역에서의 초기강우조건에 따른
비점오염원 상관성 분석
Correlation Analysis of Non-Point Pollution Source
with Initial Rainfall in Urban

임 현 택*, 이 종 태**
Hyun Taek Lim, Jong Tae Lee

요 지

우리나라의 최근에 개발된 신도시나 신시가지를 제외한 대부분이 합류식 하수관망으로 구성되어 있다. 이에 따른 초기강우시 도시 인접하천으로 유입되는 유출수가 수질오염을 가중시키고 있다. 분류식 하수관이 설치된 지역이라도 강우에 의해 도시지역 노면에서 우수관을 통해 하천으로 배출되며 유출수 자체도 오염물질 농도가 높고 유해물질까지 함유하고 있는 경우가 많다. 그러므로 도시하천에 대한 종합적인 수질관리를 위해서는 점오염원뿐만 아니라 초기강우시 도시 유출수의 수질 및 오탁부하량 등 비점오염원에 대한 기초조사 및 해석이 선행되어야 한다고 판단된다. 따라서, 이 연구에서는 도시하천의 초기강우에 의한 유출수의 수질특성을 분석하기 위하여 홍제천, 중랑천, 남가좌배수구역 및 군자배수구역 등 4개 도시구역에서 직접 시료를 채취하여 각 수질항목에 대하여 분석하였다. 수질분석은 환경오염공정시험법이나 표준시험법에 준하였고, 현장에서 실측이 가능한 항목들은 현장에서 측정하였으며, 나머지 항목은 시료를 즉시 실험실로 운반하여 분석하였다. 홍제천은 1996년 8월부터 1997년 9월까지 5개 강우사상의 자료를 분석하였고, 중랑천은 2001년 5월부터 2005년 4월까지 7개 강우사상, 남가좌배수구역은 1995년 7월에서 1997년 9월까지 5개 강우사상, 그리고 군자배수구역은 2005년 4월부터 2007년 9월까지 11개 강우사상에 걸쳐 수질분석을 실시하였다. 분석된 수질자료를 이용하여 도시지역의 초기강우에 의한 초기유출수와 수질의 관계를 분석·비교 하였으며, 또한, 초기유출수에 따른 비점오염원별 상관성을 분석하여 유량 측정을 통하여 보다 손쉽게 총 오염부하량을 산출할 수 있도록 비유량과 SS , BOD_5 , COD 등의 수질성분간의 상관계수와 회귀식을 도출하여 이들 상관식으로부터 유량변화에 따른 수질성분의 예측에 활용토록 하였다. 그러나, 외삽구간의 유량에 대한 수질 예측 결과에는 큰 오차가 있을 수 있으므로, 보다 다양한 유량에 대한 수질관측자료로 보완된 상관식의 개발로 극복되어질 수 있을 것으로 판단된다. 이 연구의 성과는 도시유출에서 수질과의 상관성과 도시하천의 유량·수질관리에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 도시배수구역, 초기강우, 비점오염원

1. 서론

도시 지역에서의 인구집중 및 산업화에 따라 유출특성이 자연하천유역과는 다른 유출특성을 갖게 된다. 도시화의 영향은 기후의 변화, 기저유출의 변화, 수질의 악화, 그리고 침투능 및 증발산양의 감소 등이 예상

* 정회원.경기대학교 대학원 토목환경공학부 박사과정.E-mail : htlim@kyonggi.ac.kr
** 정회원.경기대학교 토목환경공학부 교수.E-mail : jtlee@kyonggi.ac.kr

되며, 이는 도시유역의 불투수층의 증가와 홍수도달시간의 감소를 야기시켜 도시유역의 홍수피해를 증가시키는 요인이 되고 있다. 도시유역에서의 배수체계의 개선을 위해서는 합리적인 배수로망의 구성, 유수지를 비롯한 각종 저류시설의 확보, 배수펌프장 기능의 강화와 각종 하천시설물의 지속적인 관리 및 호우시의 적절한 대응이 필요하다. 또한, 도시지역에서 방출되는 각종 오염물질들은 도시하천 및 인근하천의 수질환경 및 생태계에 악영향을 준다. 이로인하여 도시유역에서의 오염부하량의 정확한 산정은 이러한 문제의 해결을 위하여 선행되어야 할 연구과제이다. 따라서 도시하천에 대한 종합적인 수질관리를 위하여 점오염원뿐만 아니라 초기강우시 도시 유출수의 수질 및 오탁부하량 등 비점오염원에 대한 기초조사 및 해석이 선행되어야 한다. 이 연구에서는 도시하천의 초기강우에 의한 유출수의 수질특성을 분석하기 위하여 홍제천, 중랑천, 남가좌배수구역, 군자배수구역 등 4개 도시유역에서 직접 시료를 채취하여 각 수질항목에 대하여 분석하였다. 분석된 수질자료를 이용하여 도시지역의 초기강우에 의한 초기유출수와 수질의 관계를 분석·비교 하였으며, 초기유출수에 따른 비점오염원별 상관성을 분석하여 유량 측정을 통하여 보다 손쉽게 총 오염부하량을 산출할 수 있도록 비유량과 수질성분간의 상관계수 및 회귀식을 도출하여 이들 상관식으로부터 유량변화에 따른 수질성분의 예측하여 도시하천의 유량·수질관리 해석을 위한 기초자료를 마련하였다.

2. 비점오염원의 정의

비점오염원부하란 오염물질이 특정지점 및 오염원으로부터가 아닌 불특정지점에 분포하여 강수에 의해 유출되는 것을 말한다. 보통 공공수역으로 유입되는 오염물질의 발생원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분된다. 점오염원은 주로 가정하수와 공장폐수로 구성되고, 배출특성은 일정한 지점에서 일정한 양이 지속적으로 발생되어 강우시나 비강우시 배출량에 큰 변동이 없다. 이에 비해 비점오염원은 오염물질이 주로 강우시 지표면 유출수와 함께 유출되는 오염물질로서 도시지역의 먼지와 쓰레기, 농지에 살포된 비료 및 농약, 토양침식물, 축사유출물, 자연 동식물의 잔여물, 대기오염물질의 강하물 등을 말한다. 비점오염물질은 일반적으로 강우시 유출되기 때문에 일간·계절간 배출량의 변화가 크고 예측과 정량화가 어려우며, 인위적 조절이 어려운 기상조건·지질·지형 등에 영향을 많이 받는 특성을 지니고 있다. 이와 같은 특성으로 인해 현재 점오염원으로부터 유출하는 오염부하량은 배수기준 및 분뇨처리와 하수도 정비 등에 의해 지속적으로 감소하고 있으나, 비점오염원은 인구의 집중과 도시화의 진행에 따른 토지이용의 고도화에 따라 해마다 그 비율이 증가하고 있는 실정이다.

따라서 효율적인 수질관리를 위해서는 점오염 뿐만 아니라 비점오염원을 적정관리하지 않고서는 수계환경의 개선 및 수질환경기준을 달성하기가 매우 어려운 실정이므로, 비점오염원의 중요성을 인식하여, 그 관리 및 처리방안을 모색해야 할 것이다.

3. 시험유역의 수질특성 분석

3.1 시험유역 현황 및 관측지점

각 유역의 현황을 살펴보면, 첫 번째로, 홍제천은 서울시의 북서쪽에 위치하고 있는 한강본류에 남서류하며 유입되고 있는 지방2급하천으로 지류로는 불광천이 있다. 홍제천의 유역면적은 16.8km², 유로연장은 7.5km, 유로 평균 폭은 2.05m, 형상계수는 0.28이다. 유역의 상류부는 북한산 국립공원이 위치하며, 북한산 남장대(EL.715.7m)를 홍제천의 수원으로 하고 있으며, 주거지가 약 65%, 임야가 약 25%, 초지 및 하천, 도로 등 기타지역이 약 10%로 구성되어있다. 유량 및 수질관측 지점은 서대문구청 아래 홍연교 지점에서 관측하였다. 두 번째로, 중랑천은 경기도 양주군 주내면 산북리 불국산에서 발원하여 의정부시를 지나 한강본류의 성수대교 직하류 우안측으로 유입되는 하천이다. 중랑천의 유역면적은 299.6km², 유로연장 37.17km, 유역의 평균 폭은 8.06km로서 한강의 제1지류이다. 토지이용 수치지도에 의한 서울시 구간의 토지이용현황은 주택 및 상업지 약 40.3%, 임야 약 34.6%, 도로 약 9.3%로 구성되어있다. 측정위치는 중랑천 본류의 군자교 및 중랑하수처리

지역에서 배출되는 오수와 혼합된 오탁부하량의 합이다. 비유량과 비오탁부하율 산정공식은 식(1)과 식(2)로 산정 할 수 있다. 비부하율은 식(3)과 같은 지수함수식으로 나타낼 수 있다. 이러한 표현은 Jewell(1980), 신현석(1993) 등에 의해 제안 검토된 대표적인 형식 중의 하나이다. 각 측정지점에서 산정한 비유량-비오탁부하율은 다음 <표1>과 같다.

$$q = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

$$C.L = \frac{Conc \times Q}{A} \quad (2)$$

$$C.L = \alpha q^\beta \quad (3)$$

여기서, q : 비유량($m^3/sec/ha$), Flow : 유량(m^3/s), A : 유역면적(ha),
 $C.L$: 비오탁부하율($mg/sec/ha$), Conc : 농도(mg/l),
 α, β : 오염부하 계수 및 지수

표 1. 비유량-비오탁부하량 회귀곡선식과 결정계수

관측지점	구분	회귀식	결정계수(R^2)	비고
홍 제 천	BOD_5	$C.L=126.31 q^{1.4114}$	0.908	우기시
	COD	$C.L=431.36 q^{1.5153}$	0.889	
	SS	$C.L=1586.5 q^{2.103}$	0.903	
	T-N	$C.L=16.181 q^{0.8409}$	0.904	
	T-P	$C.L=4.4774 q^{1.0939}$	0.929	
	BOD_5	$C.L=18.827 q^{0.8609}$	0.495	건기시
	COD	$C.L=135.29 q^{1.1313}$	0.552	
	SS	$C.L=7.386 q^{0.849}$	0.297	
	T-N	$C.L=2.9828 q^{0.6818}$	0.226	
	T-P	$C.L=118.86 q^{1.5984}$	0.596	
	BOD_5	$C.L=292.71 q^{1.2982}$	0.934	전기간
	COD	$C.L=4478.1 q^{1.5067}$	0.886	
	SS	$C.L=140379 q^{1.9438}$	0.839	
	T-N	$C.L=5.2686 q^{0.9623}$	0.873	
	T-P	$C.L=6.1148 q^{1.2329}$	0.849	
중 랑 천	BOD_5	$C.L=448173 q^{2.111}$	0.470	전기간
	COD	$C.L=9E+13 q^{4.6969}$	0.715	
	SS	$C.L=16038 q^{1.6836}$	0.599	
	T-N	$C.L=225.49 q^{1.3461}$	0.565	

표 1. 비유량-비오탁부하량 회귀곡선식과 결정계수(계속)

관측지점	구분	회귀식	결정계수(R^2)	비고
남 가 좌 배수구역	BOD_5	$C.L=616.28 q^{1.4938}$	0.701	전기간
	COD	$C.L=821.98 q^{0.854}$	0.854	
	SS	$C.L=9073.8 q^{1.756}$	0.807	
군 자 배수구역	BOD_5	$C.L=305.64 q^{1.3302}$	0.862	전기간
	COD	$C.L=1713.9 q^{1.4633}$	0.838	
	SS	$C.L=2446.4 q^{1.4304}$	0.878	
	T-N	$C.L=142.67 q^{1.4387}$	0.739	
	T-P	$C.L=2.4696 q^{1.0227}$	0.759	

5. 결론

강우시의 비유량과 비부하량간의 상관성을 분석해 본 결과, 비유량과 BOD_5 , COD , SS , $T-N$, $T-P$ 간의 상관계수가 약 0.934 ~ 0.226으로 상관성을 보였고, 유도된 상관식으로부터 유량변화에 따른 수질성분의 예측을 분석하였다. 그러나, 외삽구간의 비유량에 대한 수질 예측결과에는 큰 오차가 있을 수 있으므로, 보다 다양한 유량에 대한 수질관측 자료로 보완된 상관식의 개발로 극복되어질 수 있을 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2003년도 건설기술혁신사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구단의 연구성과입니다.

참 고 문 헌

1. 이종태(1998), 도시지역에서의 유출 및 수질해석 모형, 한국수자원학회논문집 제31권 제6호.
2. 강태호(1997), 도시하천에서의 강우와 유출 및 수질 예측기법 개발에 관한 연구, 경기대학교 박사학위논문.
3. 김도형(1997), 홍제천유역에서의 유출 및 수질특성에 관한 연구, 경기대학교 석사학위논문.
4. 최지용, 신창민(2002), 비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리방안, 한국환경정책평가연구원.
4. 김갑수, 이종태(2006), 중량천 비점오염원 부하량 및 원단위 산정, 대한환경공학회지 28권 8호.