

토지이용에 따른 비점오염부하 특성

Characteristics of Non-point source pollutant loads according to Landuse

신민환* · 신용철** · 허성구*** · 김웅기**** · 임경재***** · 최중대*****

Min Hwan Shin·Yong Chul Shin·Woong Gi Kim·Kyoung Jae Lim·Joong Dae Choi·Sung Gu Heo

요 지

본 연구에서는 농촌, 산림 및 도시유역에서 발생하는 비점원오염이 하천 수질에 미치는 영향에 관하여 분석하였다. 연구 유역으로는 농촌유역인 유포리, 산림유역인 학술림 및 도시유역인 공지천 등 3개 유역을 선정하였다. 유포리 유역의 면적은 1.96 km² 으로 토지이용은 밭 7.5%, 논 11%, 과수원 1.95%를 제외한 70%가 임야지역으로 나타났다. 산림유역은 면적이 3.9 km²으로 임산실습을 위한 제탄소 등 교육 및 연구시설을 제외한 대부분(99%)이 산림으로 잘 보전되어 있다. 춘천시에 위치한 공지천 유역은 구시가지와 산림으로 구성되어 있고, 면적은 0.19 km²중 불투수면적이 0.15 km²으로 유역면적의 81.9%를 차지한다. 연구유역별로 강우 시에는 5분, 건기시에는 30분 간격으로 수위를 측정 후 수위-유량 곡선을 이용하여 유량으로 환산하였다. 수질 자료는 강우시에는 1일 3회 이상, 건기시에는 2주일에 1회 채취 하여 T-N과 T-P의 분석항목을 환경부 제정 수질 공정시험법의 제반 규정에 따라 분석하여 유역별 오염부하를 산정하였다. 농촌 및 산림유역의 T-N과 T-P의 평균농도는 8.3 mg/L 및 0.3mg/L, 2.4 mg/L 및 0.1 mg/L로 나타났고 도시유역의 건기시와 강우시의 T-N과 T-P의 평균농도는 28.1 mg/L 및 3.1 mg/L, 20.6 mg/L 및 2.5 mg/L로 나타났다. 농촌, 산림 및 도시유역의 T-N과 T-P의 연오염부하는 각각 270.60 kg/ha 및 8.64 kg/ha, 223.16 kg/ha 및 13.87 kg/ha 그리고 612.37 kg/ha 및 69.14 kg/ha이 발생하였다. 100mm 이상의 강우가 발생한 6~9월의 유포리와 학술림의 T-N과 T-P의 오염부하가 연오염부하의 86% 및 88% 그리고 66% 및 82%로 나타나 강우량이 오염부하에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 도시유역의 오염부하는 강우량이 많은 6~8월보다 강우량이 적은 5월과 12월에 크게 나타났다. 토지이용별 T-N과 T-P의 연오염부하는 도시>농촌>산림유역의 순서로 나타났다. 공장, 가정하수, 생활하수 등의 오염원이 많은 도시유역에서 T-N의 오염부하량은 농촌 및 산림유역보다 2~3배 높게 이상 나타났으며 T-P의 경우는 5~9배 이상 높게 나타나 비점원오염 배출은 하천 주변의 토지이용이 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 비점원오염, 오염부하, 농도, 토지이용

1. 서 론

우리나라는 물부족 현상과 수질오염에 대한 관심이 날로 증가하고 있다. 이러한 수질 오염은 공장, 하수 등의 점오염원 뿐만 아니라 농촌, 산림, 도시 유역등의 다양한 비점오염원으로부터 발생하는 오염물질 증가의 원인이 크게 대두되고 있다(최, 2001). 점원오염은 그 발생원에 따라 오염물질이 미치는 영향을 비교적 간단하고 명확하게 나타낼 수 있으며 처리할 수 있는 기술도 새로

*신민환 · 강원대학교 지역기반공학전공 · E-mail : uv2000wind@hanmail.net
**신용철 · 강원대학교 지역기반공학전공 · E-mail : syc0228@hanmail.net
***허성구 · 강원대학교 지역기반공학전공 · E-mail : hsg7@hanmail.net
****김웅기 · 강원대학교 지역기반공학전공 · E-mail : bomnai30@nate.com
*****임경재 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 · E-mail : KyoungJaeLim@paran.com
*****최중대 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 · E-mail : jdchoi@kangwon.ac.kr

은 이론과 방법을 도입하여 개발이 가능하다. 하지만 비점원오염은 넓은 지역에서 동시다발적으로 발생하는 오염으로서 오염물의 종류, 독성, 발생량 그리고 오염물이 인간 및 동식물에 미치는 영향을 명확하게 나타내기가 어렵다(최, 1997). 비점원오염은 지역의 토질, 토성, 문화, 주거형태, 강우형태, 하천의 이용 및 형상 등 많은 인자들에 의해 영향을 받고 있으며 이중 강우시 강우유출수에 의해 발생하는 비점원오염은 하천오염의 주원인이 되고 있다(최, 1999). 최근에 환경부와 각 기관에서는 비점원오염에 의한 영향을 저감시키기 위해 많은 투자와 연구를 하고 있고 다양한 방안이 제시되고 있지만 오염원 경감을 위한 정량적 평가가 없으면 연구 효율과 지속적인 시행 여부가 불투명해진다. 이와 같은 이유로 많은 환경전문가나 행정가들이 비점원오염을 통제해야 한다는 점에는 공감하나 어떻게 통제하는가 하는 구체적인 방법에 대해서는 자신있게 대책을 내세우지 못하고 있다. 비점오염물질의 유출은 토지이용과 지리적인 조건 특성에 따라 크게 영향을 받는다(오, 2004). 이러한 비점원오염물질을 줄이기 위해서는 비점원오염의 오염부하를 정밀하게 측정할 수 있는 방법을 제시하고 토지이용에 따른 농촌유역, 산림유역, 도시유역 등 다양한 토지이용이 확보된 대표연구유역을 선정하여 구역의 비점원오염 발생원인과 부하량을 평가하여야 하며 오염원 경감을 위한 관리방안과 제도개발이 필요하다. 비점원오염의 관리대책을 수립하고 법제화하기 위해서는 토지이용별로 농촌과 산림 그리고 도시지역에서 발생하는 비점오염원의 발생, 이동 및 수질에 미치는 영향을 정량적으로 평가할 수 있는 연구자료가 필요하다(최, 2005).

본 연구에서는 강원도 춘천시에 위치한 농촌, 산림 및 도시유역 3곳을 선정하여 토지이용에 따른 오염농도 및 부하특성을 분석하였다. 본 연구 결과는 토지 이용에 따른 오염부하 배출 특성을 이해하고 유역관리를 위한 기초자료로 사용 될 수 있을 것이다.

2. 연구유역 및 측정방법

2.1 대상 유역

토지이용에 따른 오염부하 특성을 분석하기 위하여 강원도 춘천시에 위치한 농촌, 산림 및 도시유역 3곳을 선정 하였다. 농촌 유역은 한강상류 유역인 강원도 춘천시 신북읍에 위치한 유포리 유역을 선정하였다. 유포리의 면적은 1.96 km²으로 밭 7.5%, 논 11%, 과수원 1.95%를 제외한 70%가 임야지역으로 나타났다. 모니터링 지점은 오염원이 많을 것으로 예측되는 상류지역으로 선정하여 점오염원에 대한 영향을 최대한 배제하려고 노력하였고, 유량과 수질을 측정하여 오염부하를 산정하였다. 또한 오염부하 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 유역내 인구, 토지이용, 축산업체의 오폐수 처리 실태, 토성 및 하천 특성 등을 조사하였다. 산림유역은 강원도 춘천시 강원대학교 학술림 유역을 선정하였다. 학술림 유역의 면적은 3.9 km²으로 전체 면적의 99% 이상이 산림으로 이루어진 전형적인 산림지역이다. 학술림 유역의 유량과 수질을 측정하여 오염부하를 산정하였으며, 오염부하특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 유역내 인구 및 토지이용 현황을 조사하였다. 도시유역은 구시가지와 산림으로 구성되어 있는 춘천시 공지천 유역을 선정하였다. 공지천 유역의 면적은 0.19 km²중 불투수면적이 0.15 km²으로 유역면적의 82%를 차지한다. 하수망도를 정밀하게 조사하고, 하수 배제방식, 용도지역별 특성, 하수관거 시설현황, 건기와 우기시 하수집수 가능성, 유량계와 수질샘플러 설치 가능성 여부, 그리고 유량 및 수질조사의 용이성 등의 사항들을 고려하여 춘천시내의 관측 지점을 선정하였다.

2.2 유역별 오염부하 측정방법

농촌 및 산림유역의 정확한 유량측정을 위하여 S지점에 독일 OTT 사의 Thalimedes 수위계와 Orphimedes 압력식 수위계를 설치하여 강우시 5분, 비강우시 30분 간격으로 수위를 측정 후

수위-유량 곡선을 이용하여 유량으로 환산하였다. 수질 샘플은 강우시에는 1일 3회이상, 비강우시에는 2주일에 1회 채취하였다. 도시유역의 유량은 건기시와 우기시를 포함하여 연속으로 측정하였다. 유량계는 FLO-TOTE 유량계를 사용하여 15분 간격으로 측정하였다. 수질자료는 건기시에는 약 2주 간격으로 채취하여 분석하고 강우시에는 약 15분 간격으로 수질샘플을 채취하여 분석하였다. 토지이용별 각각의 T-N과 T-P의 수질분석방법은 수질오염 공정시험법(2001)에 의거하여 분석하였으며 유량과 수질 농도를 이용하여 오염부하를 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유역별 농도 특성

유포리와 학술림 유역의 수질샘플은 각각 71회와 84회 분석되었다. 유포리 유역의 T-N과 T-P의 평균농도는 8.3 mg/L와 0.3 mg/L로 학술림유역의 2.4 mg/L와 0.1 mg/L보다 3배정도 높게 나타났다. 이는 유포리의 측정지점 인근에 위치한 농업, 축산농가 및 과수원등에서 발생하는 오염물질이 강우시에 지표유출수와 함께 하천으로 유입 된 것으로 나타났다. 그러나 학술림 유역의 경우 오염배출원이 없음에도 불구하고 호소수질환경기준 I 등급의 T-N(0.2 mg/L)과 T-P(0.01 mg/L)와 비교 했을 때 각각 20배 및 10배 이상 높게 나타났다. 이는 무강우시에는 낙엽 등의 유기물질이 유역내에 퇴적되어 있으나 유효강우 이상의 강우발생시 지표유출수와 함께 퇴적되어 있던 유기물질이 하천으로 유입된 것으로 판단되었다. 또한 유역에서 배출되는 유출수는 측정지점으로부터 상류 50m 지점에 위치한 사방댐에 일단 저류된 후 하류로 배출되기 때문에 사방댐에서 걸러지고 분해되는 유기물질이 하천수의 농도에 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 도시유역의 수질샘플은 건기시 96회 및 강우시 160회 분석되었다. 도시 지역의 강우시 T-N과 T-P의 평균농도는 20.6 mg/L와 2.5 mg/L로 농촌과 산림유역의 평균농도에 비해 2~8배정도 높게 나왔다. 건기시의 평균 농도도 28.1 mg/L와 3.1 mg/L로 2~10 배정도 높은 것으로 나타났다. 토지이용별 최대, 최소, 중간값(Median) 및 산술평균(Arithmetic mean)은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of T-N and T-P concentrations according to Landuse

<Unit: mg/L>

Index	Agricultural watershed		Forest watershed		Urban watershed			
	T-N	T-P	T-N	T-P	Dry days		Rainy days	
					T-N	T-P	T-N	T-P
Maximum	31.8	3.1	10.2	1.2	46.7	7.5	104.8	9.1
Minimum	2.6	0.0	0.4	0.0	8.5	0.9	1.7	0.3
Median	17.2	1.6	2.1	0.1	28.2	2.8	18.2	2.0
Arithmetic mean	8.3	0.3	2.4	0.1	28.1	3.1	20.6	2.5

3.2 유역별 오염부하특성

유포리 유역과 학술림 유역의 T-N과 T-P의 연오염부하는 각각 270.60 kg/ha 및 8.64 kg/ha 그리고 223.16 kg/ha 및 13.87 kg/ha 이 발생하였다. 이중 100mm 이상의 강우가 발생한 6~9월까지의 오염부하는 각각 232.30 kg/ha 및 7.64 kg/ha 그리고 147.80 kg/ha 및 11.39 kg/ha로 2005년 연오염부하의 86% 및 88% 그리고 66% 및 82%가 발생하는 것으로 나타나 홍수기(6~9월)동안

배출되는 오염물질을 저감시킬 수 있는 대책 방안이 필요한 것으로 판단되었다. 도시유역의 T-N과 T-P의 연오염부하량은 612.37 kg/ha 및 69.14 kg/ha가 발생하였다. T-N과 T-P의 월오염부하량은 강우량이 많은 6~8월의 17.26 kg/ha~46.63 kg/ha보다 5월과 12월의 83.32 kg/ha와 85.55 kg/ha로 더 높게 나타나 도시유역의 오염부하 특성은 농촌 및 산림유역과 다르게 강우량에 비례하지 않는 것으로 나타났다. 토지이용별 T-N과 T-P의 연오염부하는 도시>농촌>산림유역의 순서로 나타났다. 특히 공장, 가정하수, 생활하수 등의 오염원이 많은 도시 유역에서 T-N의 부하량은 농촌 및 산림유역보다 2~3배 이상 높게 나타났으며 T-P의 경우에는 약 5~9배 이상 높게 나타나 비점원오염 배출은 하천주변의 토지이용이 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 토지이용별 T-N과 T-P의 월별 오염부하는 Table 2와 같다.

Table 2. Characteristics of T-N and T-P pollutant loads according to Landuse
<Unit: kg/ha>

Month	Agricultural watershed		Forest watershed		Urban watershed	
	T-N	T-P	T-N	T-P	T-N	T-P
Jan.	0.40	0.01	6.86	0.15	18.79	2.23
Feb.	0.40	0.01	1.59	0.06	24.84	3.02
Mar.	0.50	0.01	1.04	0.08	30.01	2.70
Apr.	2.40	0.08	1.76	0.13	76.29	9.03
May.	4.20	0.13	22.04	0.61	83.32	8.64
Jun.	31.10	1.14	25.95	1.17	46.63	4.66
Jul.	62.20	2.13	36.65	2.24	17.26	2.61
Aug.	119.80	3.88	49.89	3.20	34.36	4.61
Sep.	19.20	0.50	35.32	2.83	81.32	9.45
Oct.	21.00	0.54	23.11	1.95	54.00	5.77
Nov.	7.90	0.19	10.10	0.93	60.00	10.31
Dec.	1.50	0.03	8.86	0.52	85.55	6.12
Yearly loads	270.60	8.64	223.16	13.87	612.37	69.14

4. 결론

본 연구에서는 토지 이용에 따른 유역의 특성과 토지이용의 실태에 따른 유량과 수질자료를 수집하여 유역별 연오염부하량을 산정하여 비교 하였다.

1. 유포리와 학술림의 T-N과 T-P의 평균농도는 8.3 mg/L 및 0.3 mg/L, 2.4 mg/L 및 0.1 mg/L로 농촌유역에서 산림유역보다 3배정도 높은 것으로 나타났다. 특히 오염원이 거의 없는 학술림의 경우 호소수질환경기준 I등급의 T-N(0.2 mg/L)와 T-P(0.01 mg/L)보다 각각 20배 및 10배 이상 높은 것으로 나타나 산림유역에서 발생하는 비점원오염물질의 저감대책 방안이 필요한 것으로 판단되었다. 도시유역의 강우시 T-N과 T-P의 평균농도는 20.6 mg/L와 2.5 mg/L로 농촌과 산림유역의 평균농도에 비해 2~8배 이상 높은 것으로 나타났으며 건기시의 평균농도는 28.1 mg/L와 3.1 mg/L로 2~10배정도 높게 나타났다.

2. 유포리, 학슬림 및 공지천유역의 T-N과 T-P의 연오염부하는 각각 270.60 kg/ha 및 8.64 kg/ha, 223.16 kg/ha 및 13.87 kg/ha 그리고 612.37 kg/ha 및 69.14 kg/ha이 발생하였다. 유포리와 학슬림 유역의 경우 100mm 이상의 강우가 발생한 6~9월 동안 T-N과 T-P의 오염부하는 2005년 전체 오염부하의 86% 및 88% 그리고 66% 및 82%로 나타나 농촌 및 산림유역의 경우 강우량이 비점원오염물질 배출에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 도시유역의 강우량이 가장 많았던 6월~9월의 T-N과 T-P 총오염부하량은 179.57 kg/ha과 21.33 kg/ha으로 강우량이 적었던 5월과 12월의 83.32 kg/ha 와 85.55 kg/ha, 8.64 kg/ha와 6.12 kg/ha 보다 적은 것으로 나타났다. 이는 불투수층이 많은 도시유역의 경우 오염부하량이 강우량에 비례하지 않는 것으로 판단되었다.
3. 토지이용별 T-N과 T-P의 연오염부하는 도시>농촌>산림유역의 순서로 나타났다. 특히 공장, 가정하수, 생활하수 등의 오염원이 많은 도시 유역에서 T-N의 부하량은 농촌 및 산림유역보다 2~3배 이상 높게 나타났으며 T-P의 경우에는 약 5~9배 이상 높게 나타나 비점원오염 배출은 하천주변의 토지이용이 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

감 사 의 글

본 연구는 한강수계관리위원회·국립환경과학원 한강물환경연구소에서 시행한 환경기초조사사업의 연구의 지원으로 수행된 연구결과의 일부임.
이 논문은 2007년도 2단계 두뇌한국(BK)21 사업에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

1. 최종대(2001). 농업소유역의 지하수 수질과 하천수질 평가, 강원대학교 환경연구소 중점연구소 지원 연구결과 및 연례학술발표회 논문집, pp. 5-9.
2. 최종대(1997). 농촌유역의 관리가 비점원 오염물질의 하천유입에 미치는 영향, 농촌개발연구, 1(1), pp. 91-107.
3. 최종대(1999). 이찬만, 최예환, 토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향, 한국수자원학회논문집, 32(4), pp. 501-510.
4. 오영택, 박계철, 김동섭, 류재근(2004). 강우시 소옥천에서의 비점오염원 유출 특성, 한국물환경학회지, 21(6), pp.657-663.
5. 최종대(2005). 비점오염원의 오염부하 유출량 조사.
6. 환경부(2001). 수질오염공정시험법.