

산림유역 비점오염부하의 특성

Characteristics of Nonpoint Source Pollutant Loads from Forest Watershed

류 창 원* 신 용 철* 허 성 구*
Lyou, Chang Woun · Shin, Yong Cheol · Heo, Sung Gu

임 경 재** 최 중 대***
Lim, Kyoung Jae · Choi, Joong Dae

Abstract

An experimental forest watershed, owned by Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon province, was selected in this study to estimate nonpoint source pollutant loads from forest watershed. The experimental watershed is 3.9 km² in size and stream is 2.34 km long. Flow data were measured at two locations and water quality data were also collected at both sites. Flow data were measured using automatic Orphemedes at S location and measured 21 times at S1 location. Water quality samples were taken at least three times during each storm event and every two weeks for dry period. Water samples were analyzed for BOD, COD, SS, T-P, PO₄-P, T-N, NH₃-N, NO₃-N, NO₂-N. Water quality samples were taken 54 times and 20 times at two locations. The flow weighted mean concentration values of SS, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P, T-P at S location are 3.81, 4.08, 3.68, 14.21, 3.83, 0.38, 0, 2.44, 0.05, 0.10 mg/L, respectively. The pollutant loads for SS, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P, T-P at S location are 15.34 kg/ha/yr, 21.62 kg/ha/yr, 19.69 kg/ha/yr, 70.30 kg/ha/yr, 19.49 kg/ha/yr, 0.26 kg/ha/yr, 0.01 kg/ha/yr, 11.43 kg/ha/yr, 0.78 kg/ha/yr, 0.26 kg/ha/yr, respectively. The BOD load is higher than that from agricultural watershed. The organic matter contents of topsoil in the forest watershed are primarily responsible for the higher BOD value. To estimate pollutant loads characteristics from composite landuse watershed, the pollutant loads from forest watershed needs to be accurately measured because forest takes approximately 65% of total area in Korea and its pollutant contribution to total loads may be significant enough.

* 강원대학교 지역기반공학과(cwlyou@kangwon.ac.kr)

* 강원대학교 지역기반공학과(asterion17@hanmail.net)

* 강원대학교 지역기반공학과(pure0016@nate.com)

** 강원대학교 농업공학부 교수(kjlim@kangwon.ac.kr)

*** 강원대학교 농업생명과학대학 교수(jdchoi@kangwon.ac.kr)

키워드 : 산림유역, 비점원오염, 오염부하,
SS, BOD, T-P, T-N

I. 서론

우리나라는 국토의 65% 이상이 산림으로 이루어져 있고, 이 산림에서 발원되는 계류수는 하천수의 오염부하에 많은 영향을 주고 있다(우, 2001). 산림의 계류수를 가리켜 산원수라고 부르는데 이는 산림이 강수를 저류하였다가 계류를 통해 흘러보내 저수지나 하천에 풍부한 물을 공급해 주는 수자원의 원천이기 때문이다(문 등, 2004). 일반적으로 계류수는 하천이나 호수 등과 비교하여 흐르는 구간의 폭이 좁고 경사가 급하여 체류시간이 상당히 짧다. 이러한 계류수의 수질은 강우나 주변 토지이용도, 하상 구조성분 및 산림의 종류에 따라 많은 영향을 받게 된다(Binkley et al., 1993). 강우 집중이 심각한 여름철에는 산지사면으로부터 많은 토양유실이 일어나 계류수에 유입되어 탁수가 발생되기도 하고, 이로 인하여 하류 수계에서는 부영양화가 발생하기도 한다(우, 2001).

수계의 수질을 악화시키는 주요 오염원은 발생원인과 유출경로 확인이 용이한 점오염원과 넓은 지역으로부터 발생하여 강우발생시 유출수와 함께 수체로 유입하여 그 이동과정을 파악하기 어려운 비점오염원으로 나뉠 수 있다(권, 1998). 강우에 따른 유출발생시 지표유출수와 함께 상당한 양의 비점원 오염물질이 발생하기 때문에(최 등, 1999) 강우 유출수의 수질은 유역에서 발생하는 오염원이 강우시 어떤 경로를 통해서 얼마만큼의 양이 유입되느냐에 따라 정해진다(박과 박, 2004). 우리나라의 경우 산림 지역에 내리는 강수의 양은 총강수량의 65%인 823억 m^3 에 달하며, 비산림 지역에 내리는 강수량은 총강수량의 35%인 444억 m^3 에 불과하

다(환경부, 1995). 최근 지속적인 환경기초 시설의 증가에도 불구하고 하천과 호소의 오염이 감소되지 않아 강우시 주로 발생하는 비점오염원에 대한 연구가 진행되고 있으며, 산림에서 발생하는 유출수의 수질에 대한 관심이 고조되고 있다(오와 신, 1999).

그러나 우리나라에서는 산림 유출수에 대한 평가기준이 정립되어 있지 않아서 하천·호소수질기준 및 먹는 물 수질기준에 입각하여 몇몇 항목에 대한 검사로 산림 유출수를 평가하고 있으며, 산림 유출수에서 발생하는 오염부하가 하류 수계에 미치는 영향 등에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다. 우리나라 전체 국토 중 산림지역 점유율이 65% 이상인 점을 감안하면 비점오염원 중 산림지역에서 발생하는 오염 발생 부하량이 상당할 것으로 예상된다. 따라서 산림지역에서의 오염물질 발생 특성, 오염 현상, 그리고 발생 부하량 등에 관한 정밀 조사 분석을 수행하여 효과적인 하류 하천에서의 비점오염물질의 삭감대책을 수립할 필요가 있다.

따라서 본 연구의 목적은 산림유역에서의 장기 유량 및 수질 모니터링을 통하여 시간적으로 변화하는 산림유역의 비점오염 부하량을 정량화하는 데 있다. 본 연구의 결과는 다양한 토지이용의 수계에서의 전체 오염부하를 산정하고 효율적인 수질개선 대책을 수립하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상 유역

본 연구에서는 산림유역에서 발생하는 오염부

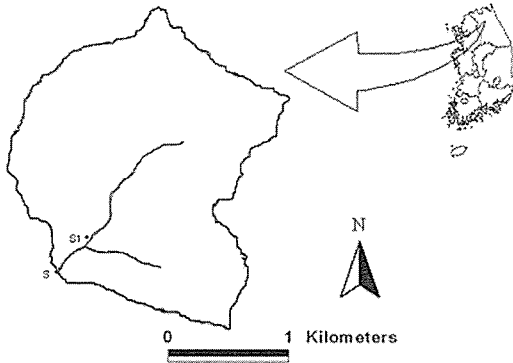


Fig. 1. Location of the forest watershed

하량을 산정하기 위하여 강원대학교 학술림 산림유역을 연구대상 유역으로 선정하였다. 정확한 오염부하량 산정을 위해서는 정확한 유량 및 수질측정이 필요하다. 따라서 학술림 산림유역 내 유량과 수질측정 지점 2곳 (S와 S1)을 정하여 유출량과 수질을 측정하였다. S지점과 S1지점의 좌표는 각각 (N475,351.04, E271,721.26), (N477,550.33, E271,809.09)이다. 학술림 산림유역의 경계는 Fig. 1과 같다. 학술림은 한반도의 거의 중앙부에 위치하고 있으며, 행정구역으로는 강원도 춘천시 동산면과 홍천군 북방면의 일원에 걸쳐 위치하고 있다. 학술림의 유역면적은 3.9 km² 이고 하천 총연장은 2.34 km이다. 학술림의 지형은 주봉인 대룡산(899m)을 정점으로 하여 남쪽으로 응봉(753m), 연엽산(850m), 구절산(750m)이 이어져 동서로 분수령을 이루고 있으며, 일부 능선과 암석지를 제외하고 임지의 평균경사도는 20도~25도 정도이다. 학술림 유역은 산간계곡으로 이루어진 전형적인 산림지역이며, 유역에는 연구 및 실습장 조성을 위하여 봉명관리소 상부지역 공터에

100 m²의 목재가공실습장과 45 m² 창고, 그리고 임산실습을 위한 제탄소가 설치되어 있다. 강원대학교 학술림 유역의 경우 사람의 출입이 통제되어 자연 그대로의 환경이 보전되어 있는 유역이다. 따라서 학술림 유역을 실험지역으로 선정한 이유는 보전이 잘되어 있는 유역을 모니터링하여 산림유역 본연의 오염부하량을 정량화하기 위함이다.

2. 유량 및 수질 측정

산림유역에서 발생하는 오염부하량을 산정하기 위해서는 먼저 정확한 유량 산정이 선행되어야 한다. 시간적으로 변화하는 유량을 정확하게 측정하기 위하여 압력식 자동수위계(orphemedes)를 설치하였다. 자동수위계를 이용하여 강우시에는 5분, 비강우시에는 30분 간격으로 수위를 측정하였다. 자동수위계로 측정된 수위를 유량으로 환산하기 위하여, S와 S1 하천에서 수위변화에 따른 실측 유량을 측정 후 회귀분석을 통하여 실측 수위와 실측 유량과의 관계식 (rating curve) 분석을 통해 수위-유량 관계식을 유도하였다.

산림유역에서의 오염부하량을 산정하기 위해서는 정확한 유량산정과 함께 시간적으로 변화하는 수질농도를 정확히 측정해야 한다. 따라서 오염부하량 산정을 위한 수질시료는 평시에는 2주일에 1회, 그리고 강우시에는 1일 3회 이상 채취하여 SS, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P, T-P 등을 환경부 제정 수질공정시험법의 제반규정에 따라 분석하였다. 학술림 산림유역에서의 오염부하량은 자동수위계 측정 수위자료를 이용한 유량, 그리고

수질농도를 이용하여 Numeric Integration 방법
 을 이용하여 오염부하량을 산정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 학술림 유역의 유량특성

학술림 소하천에서의 오염부하량 산정을 위해서는
 측정된 수위를 유량으로 환산해야 한다. 실측자
 료의 회귀분석을 통해 유도된 학술림 산림유역 S
 지점의 수위-유량곡선은 Fig. 2와 같고 수위-유량
 관계식은 Eqn. 1과 같다. 학술림 산림유역의 두 번
 째 유량관측지점인 S1 지점의 수위-유량곡선은
 Fig. 3과 같고 수위-유량관계식은 Eqn. 2와 같다.

학술림 유량 관측지점인 S 지점과 S1지점에
 서는 수위계 설치 전 (늦가을~동절기)에 각각
 27회, 21회 유량을 조사하였으며 수위계 설치
 후에는 수위계 측정 수위자료와 수위-유량관계
 식을 이용하여 유량으로 환산하였다. Table. 1
 은 학술림 S지점의 순, 월 유출량이다. 12개월
 간 유출 발생량 중 2004년 8월, 9월 그리고
 2005년 6월, 7월 발생한 유출량이 전체의 53%
 정도를 차지했다.

2. 학술림 유역의 수질특성

학술림 S지점에서 총 86회 수질샘플을 채취하
 여 수질을 분석하였다. Fig. 4는 학술림 S지점
 SS, BOD, CODMn의 농도와 유량과의 관계를
 나타낸 그래프이고 Fig. 5는 COD_{Cr}, T-N, NO₃-
 N의 농도와 유량과의 관계를 나타낸 그래프이다.
 Fig. 6은 NH₃-N, NO₂-N, PO₄-P, T-P의 농도
 와 유량과의 관계를 나타낸 그래프이다.

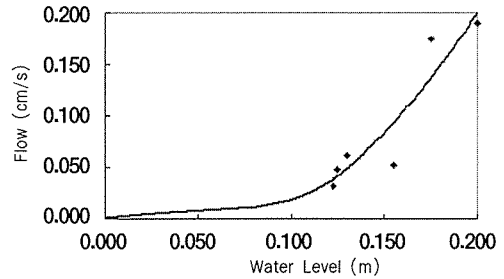


Fig. 2. Rating curve of S location in forest warwashed

$$Q = -0.7922 H + 8.9756 H^2 \quad (R^2 = 0.86)$$

Eqn. 1

여기에서 Q 는 유량 (m³/s) 이고 H는 수위 (m)이다. 수위-유량관계식의 결정계수 (R²)는 0.8568로 나타났다.

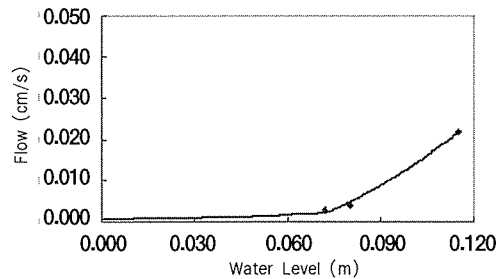


Fig. 3. Rating curve of S1 location in forest warwashed

$$Q = -0.7922 H + 8.9756 H^2 \quad (R^2 = 0.86)$$

Eqn. 1

여기에서 Q 는 유량 (m³/s) 이고 H는 수위 (m)이다. 수위-유량관계식의 결정계수 (R²)는 0.9942로 나타났다.

Table 1. Stream flow measured at S location in forest watershed

Month	First 10 days of Mon. (m ³)	Mid 10 days of Mon. (m ³)	Last Outflow ratio (%)	Monthly flow (m ³)	Outflow ratio (%)
2004-8	88,029.7	88,029.7	88,029.7	264,089.0	13.4
9	61,776.0	68,040.0	70,934.4	200,750.4	10.2
10	65,043.8	45,283.0	49,811.3	160,138.1	8.1
11	43,338.4	34,474.0	34,474.0	112,286.4	5.7
12	25,676.1	26,165.0	28,781.0	80,622.1	4.1
2005-1	21,115.4	42,230.9	63,346.3	126,692.7	6.4
2	10,268.7	68,947.3	83,616.9	162,832.9	8.3
3	22,276.3	33,522.6	29,197.1	84,996.1	4.3
4	53,174.9	31,402.5	418.7	84,996.1	4.3
5	42,679.2	43,567.5	32,468.2	118,714.9	6.0
6	73,569.4	82,648.3	77,648.4	233,866.1	11.9
7	93,567.2	116,485.7	132,483.8	342,536.7	17.4
Total	600,515.1	680,796.5	691,209.8	1,972,521.5	100

학술림 S1 측정지점에서는 총 43회 수질샘플을 채취하여 수질을 분석하였다. Fig. 7은 학술림 S1지점에서의 SS, BOD, COD_{Mn}, NO₃-N의 농도와 유량과의 관계를 나타낸 그래프이고 Fig. 8은 학술림 S1 지점에서의 COD_{Cr}, T-N, NH₃-N의 농도와 유량과의 관계를 나타낸 그래프이다. Fig. 9는 같은 지점에서의 NO₂-N, PO₄-P, T-P의 농도와 유량과의 관계를 나타낸 그래프이다.

학술림 S 지점에서의 SS, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P, T-P의 평균 농도값은 3.81, 4.08, 3.68, 14.21, 3.83, 0.38, 0, 2.44, 0.05, 0.10 mg/L 나타났고 학술림 S1 지점에서의 SS, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P, T-P의 평균 농도값은 6.78, 4.82, 3.47, 15.2, 2.15, 0.37, 0.002, 1.46, 0.039, 0.085 mg/L 으로 나타났다.

학술림 산림유역은 민간인의 출입이 통제되는

유역이다. 따라서 오염배출 농도에 영향을 미치는 인자는 산림 자체에서 발생된다고 판단된다. 학술림 산림유역의 오염원 농도는 두 지점(S, S1) 모두 강우유출과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. BOD 농도의 경우 농촌소하천 유역의 BOD 농도(신 등, 2005) 보다 높게 나타났는데 이는 강우 유출량이 많아질수록 산림유역 지표면에 쌓여 있는 상당량의 낙엽이나 식물 부스러기 등의 유기물들이 직접유출수와 함께 유출되었기 때문이라 판단된다.

유역에서의 오염부하량은 강우강도에 의해 많은 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 월평균 강우량에 따라 0 mm~30 mm, 30 mm ~70 mm, 그리고 70 mm 이상으로 분류하여 오염물질 농도의 유입특성을 분석하였다. S 지점에서 월평균 강우량이 0 mm~30 mm 일 때 BOD, COD, T-N, NH₃-N, NO₃-N, PO₄-P, T-P 농도는 30 mm~70 mm 강우시 발생 농도보다 높은 것으로 나타났다<Table. 2, Table. 3>.

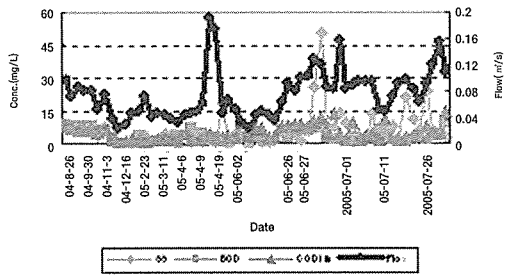


Fig. 4. Flow, SS, BOD, and COD_{Mn} concentration in the S location

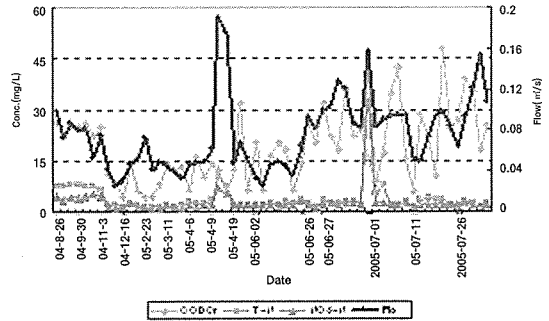


Fig. 5. Flow, COD_{Cr}, T-N, NO₃-N and concentration in the S location

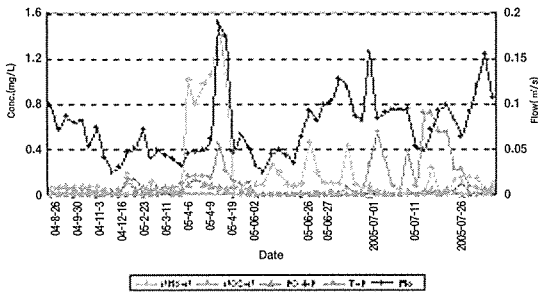


Fig. 6. Flow, NH₃-N, NO₂-N, PO₄-P and T-P concentration in the S location

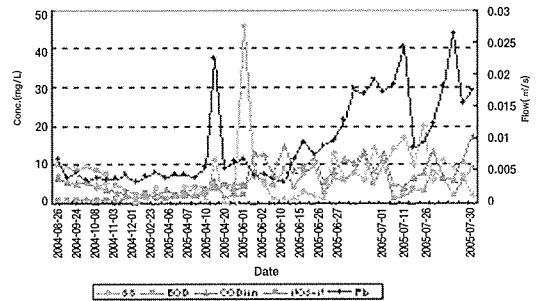


Fig. 7. Flow, SS, BOD_{Mn}, COD and NO₃-N concentration in the S1 location

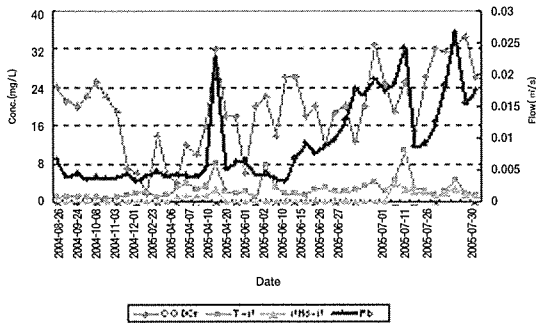


Fig. 8. Flow, COD_{Cr}, T-N and NH₃-N concentration in the S1 location

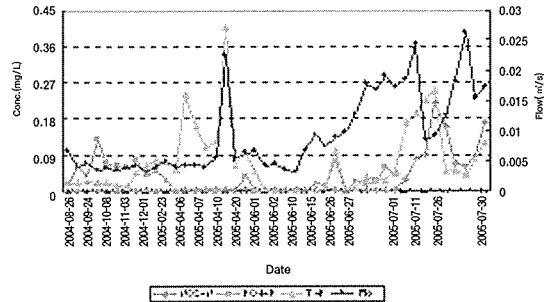


Fig. 9. Flow, NO₂-N, PO₄-P and T-P concentration in the S1 location

Table 2. Variations of pollutant concentration for different precipitation magnitude at S location

(Unit: mg/L)

Precipitation (mm)	SS	BOD	COD _{Mn}	COD _{Cr}	T-N
0~30	0~5	0.8~8	2.8~6.9	20~26	2.7~7.3
30~70	0~8	0.6~7	1.2~6.8	4~29	1.2~6.2
70 이상	0~18	0.6~9.4	1.4~8.5	6~32	1.6~10.2

Table 3. Variations of pollutant concentration for different precipitation magnitude at S location

(Unit: mg/L)

Precipitation (mm)	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	T-P
0~30	0.072~0.18	0~0.0018	2.25~5	0.020~0.125	0.049~0.141
30~70	0~0.115	0~0.018	0.532~4.37	0.010~0.057	0.033~0.066
70 이상	0~1.072	0~0.005	6.63~0.58	0.048~0.451	0.043~0.451

이는 월 강우량이 30 mm~70 mm 정도의 강우는 오염물질의 유출보다는 희석에 기여하여 오염물질의 농도를 낮추는 것으로 판단된다. 이와 같은 현상을 보다 명확하게 규명하기 위해서는 장기적인 모니터링이 필요하다. 월 강우량이 70 mm 이상일 때는 강우량과 유출량에 따라 오염물질 농도의 변화가 크게 나타났다. 특히 입자 상태로 발생하는 SS의 농도는 강우량과 유출량의 크기에 따라 농도가 급격하게 변하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 학슬림 S1 지점에서도 비슷하게 나타났다.

3. 학슬림 유역의 오염부하 특성

강우시 하천의 최대 유출량은 유역면적 및 유역형상, 하천밀도, 식생분포, 강우량, 강우 지속시간 및 강우강도에 따라 많은 차이를 보인다. 학슬림 유역처럼 유역면적이 작고 경사가 급한 곳에서는 지속적으로 강우가 유지될 경우 최대유출량은 0.5시간 이내에 발생할 것이다. 학슬림 유역에서 발생하는 오염 부하량을 산정하기 위해서는 강우시 직접유출수와 함께 발생하여 유입되는 오염부하와 비강우시

학슬림 하천으로 기저유출을 통해서 유입되는 오염부하를 고려해야 한다. 따라서 산림유역에서의 정확한 오염부하량 산정하기 위하여 학슬림 하천에서 측정한 순별 유량을 계산하여 기간별 수질측정항목 대표 평균농도를 곱하여 오염부하량을 산정하였다. Fig. 10~Fig. 13에서 보이는 바와 같이 학슬림 유역에서는 강우량이 많았던 8월과 9월에 오염부하가 집중적으로 발생하는 것으로 나타났다. 이는 비점오염물질은 평시에는 주로 지하수를 통하여 유입하기 때문에 오염부하가 적고, 강우시에는 지표유출과 함께 많은 비점오염물질이 발생하기 때문에 오염부하가 급증하는 것으로 판단된다.

2004년 8월부터 2005년 7월까지 학슬림 산림유역의 S 지점에서의 월별 오염배출부하는 SS 0~2165.53 kg, BOD 62.84~3171.71 kg, COD_{Mn} 104.17~2768.94 kg, COD_{Cr} 409.49~9270.16 kg, T-N 76.46~2880.65 kg, NH₃-N 1.87~27.17 kg, NO₂-N 0~1 kg, NO₃-N 55.79~1399.79 kg, PO₄-N 1.79~269.22 kg, T-P 3.06~18.86 kg으로 나타났다. 학슬림 S1지점에서의 월별 오염배출부

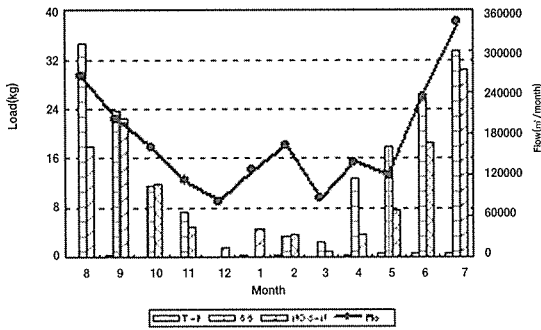


Fig. 10. Monthly flow and, T-P, SS, NO₃-N pollution loads in the S location

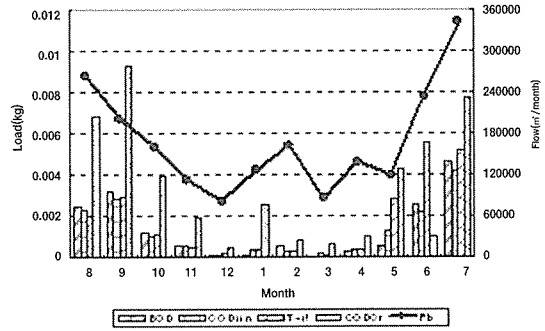


Fig. 11. Monthly flow and, BOD, COD_{Mn}, T-N, COD_{Cr} pollution loads in the S location

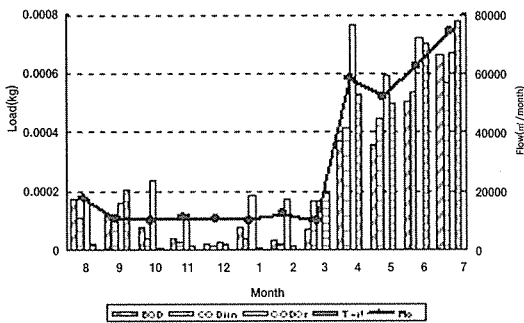


Fig. 12. Monthly flow and, T-P, SS, NO₃-N pollution loads in the S1 location

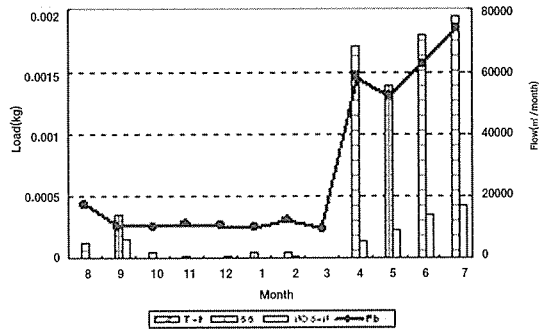


Fig. 13. Monthly flow and, BOD, COD_{Mn}, T-N, COD_{Cr} pollution loads in the S1 location

하 는 SS 8.03~1708.82 kg, BOD 7.8~1934.53 kg, COD_{Mn} 16.3~1132.9 kg, COD_{Cr} 29.95~4617.12kg, T-N 9.39~208.67 kg, NH₃-N 0.28~47.03 kg, NO₂-N 0~0.2 kg, NO₃-N 7.37~156.31 kg, PO₄-N 0~3.64 kg, T-P 0.18~9.54 kg으로 나타났다.

학술림 S지점에서의 12개월간 단위면적당 오염배출부하는 SS 15.34 kg/ha, BOD 21.62 kg/ha, COD_{Mn} 19.69 kg/ha, COD_{Cr} 70.30 kg/ha, T-N 19.49 kg/ha, NH₃-N 0.26 kg/ha, NO₂-N 0.01 kg/ha, NO₃-N 11.43

kg/ha, PO₄-N 0.78 kg/ha, T-P 0.26 kg/ha 이었다. 학술림 S1지점에서의 오염배출부하는 SS 8.01 kg/ha, BOD 6.68 kg/ha, COD_{Mn} 4.21 kg/ha, COD_{Cr} 17.14 kg/ha, T-N 1.33 kg/ha, NH₃-N 0.15 kg/ha, NO₂-N 0 kg/ha, NO₃-N 0.97 kg/ha, PO₄-N 0.02 kg/ha, T-P 0.04 kg/ha 이었다. 오염부하는 강우기에 매우 높게 나타난 반면 갈수기에는 상대적으로 낮게 발생되는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 대부분의 비점원 오염원은 유출수에 의해 발생한다.

IV. 결 론

본 연구에서는 산림 유역내 2개의 지점을 선정하여 유량 및 수질을 분석하였다. 이를 이용하여 산림유역에서의 오염부하량을 산정하였고 각 강우사상별 오염부하의 배출특성을 분석하였다. 각 지점에서 다양한 강우사상에 대하여 유출량과 SS, BOD, COD_{Mn}, COD_{Cr}, T-N, NH₃-N, NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P, T-P의 오염부하량을 산정한 결과 수질항목 모두 강우시에 매우 높게 나타난 반면 갈수기에는 상대적으로 낮게 발생하는 것으로 나타났다.

학술림 S지점에서의 12개월간 단위면적당 오염배출부하는 SS 15.34 kg/ha, BOD 21.62 kg/ha, COD_{Mn} 19.69 kg/ha, T-N 19.49 kg/ha, NO₃-N 11.43 kg/ha, T-P 0.26 kg/ha 이었다. 학술림 S1지점에서의 오염배출부하는 SS 8.01 kg/ha, BOD 6.68 kg/ha, COD_{Mn} 4.21 kg/ha, T-N 1.33 kg/ha, NO₃-N 0.97 kg/ha, T-P 0.04 kg/ha 이었다. 신 등 (2005)의 농업 소하천에서의 오염부하 특성 분석에서 농업 소유역의 12개월간 단위 면적당 오염부하는 SS 130.18 kg/ha, BOD 19.09 kg/ha, COD 26.55 kg/ha, T-N 45.92 kg/ha, NO₃-N 13.85 kg/ha, T-P 1.887 kg/ha로 나타났다. 농업 소하천 유역에서의 BOD 부하량은 19.09 kg/ha 이고 산림지역 (S지점)에서의 BOD 부하량은 21.62 kg/ha 이다. 이는 산림지역의 낙엽이나 식물 부스러기 등이 쌓여있는 O층/A층 표토에서의 유기물이 직접유출수와 함께 상당 부분 유출되었기 때문이라 판단된다. 본 연구의 결과에서 보이는 바와 같이 국토의 65% 이상이 산림인 경우 산림지역에서의 오염부하량은 상당할 것이라 생각된다.

따라서 산림지역에서의 오염부하량을 정확하게 산정하는 것은 한강수계와 같이 다양한 토지 이용을 가진 전체 수계 오염부하량 산정에 매우 중요할 것이다.

본 연구에서 산정된 오염부하특성은 짧은 연구기간동안 수행되었기 때문에 산림유역에서 발생하는 오염부하특성을 규명하기에는 미흡한 것으로 생각된다. 따라서 산림유역에서 발생하는 오염부하 특성을 정량적으로 규명하기 위해서는 장기간의 모니터링이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구는 2005년도 한강수계관리위원회 (한강유역환경청)에서 시행한 환경기초조사사업 연구결과의 일부로 연구지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Binkley, D. and T.C. Brown, 1993, Forest practices as nonpoint source of pollution in North America, Water Resources Bulletin 29(5), pp.729-740.
2. 권순국, 1998, 우리나라 비점원 수질오염 관리의 문제점과 개선방안, 대한환경공학회지 20(11), pp. 1497-1510.
3. 문옥란, 신대윤, 최영호, 고오석, 김남중, 류지영, 2004, 주암호 수계 산림유역 유출수의 특성, 2004년 대한상하수도학회·한국물환경학회 공동 추계 학술발표회 논문집, pp.355-363.
4. 박연희, 박석순, 2004, 강우강도에 따른 토지이용별 비점오염원 부하량 산정 함수 연구, 대한환경공학회지, 26(10), pp.1070-1078.
5. 신용철, 최종대, 임경재, 심혁호, 류창원, 양재의, 유경열, 2005, 북한강 중류 산간농업 소하천에서의 오염부하특성분석, 한국농공학회논문집 47(6), pp. 83-92.
6. 오종민, 신도엽, 1999, 산림유역에서 유출되는 계류수질의 특성, 한국수처리학회, 7(1), pp.45-53.
7. 우보영, 2001, 산림환경이 수자원 함량에 미치는 영향에 관한 연구, 한국수자원학회지 82(3), pp. 283-291.
8. 최종대, 이찬만, 최예환, 1999, 토지이용이 농업소유역의 수질에 미치는 영향, 한국수자원학회논문집 32, pp.501-510.
9. 환경부, 1995, 비점오염원 조사연구사업보고서.