

# 계류수내 부하량 산정 및 유출특성

## Discharge Characteristics and Loading Calculation in Streamwater

○오 증민, 신 동엽

### 1. 서 론

산림의 수질정화기능의 산물이라고 할 수 있는 계류수의 이화학적 특성과 계류수의 원천이라 할 수 있는 강우가 산림생태계를 통하여 계류수에 유입될 때 이들의 물질수지 및 오염부하량을 산정하여 수도권 상수원인 팔당댐의 체계적이고 과학적인 수계관리에 기초자료를 제공하고자 본 연구를 실시하였다.

### 2. 조사 지점 및 실험 방법

본 연구의 조사지점은 경한천 최상류 지류에 해당되는 경기도 광주군 퇴촌면 일대의 경희대학교 연습림지역으로 동일한 유역내에 인접해 있는 계곡에서 상류부터 하류까지 총 6개 지점을 설정하여 1997년 5월부터 1998년 4월까지 매월 1회 이상 시료를 채취하였다.

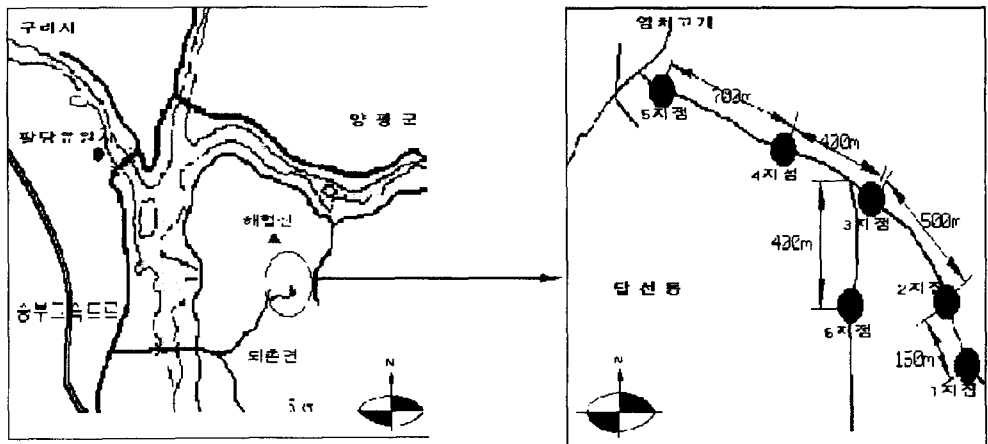


Figure 1. Sampling Sites.

1지점에서 5지점까지는 같은 지류로서 1, 2지점은 사람의 영향이 전혀 없는 자연수림지역이고, 3지점은 주변 과수원영향을 받는 지역이며, 4지점과 5지점은 소규모의 주택가가 산재하여 인간의 활동에 의해서 영향을 많이 받는 지점이다. 6지점은 1~3지점을 흐르는 계곡과 3지점 아래에서 합류되는 유입지류이며, 개별 및 시비 등의 영향이 있는 지점이다.

계류수질의 특성을 파악하기 위하여 수온, pH, EC, DO, Cation( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ), Anion( $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NH_4-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $PO_4-P$ ,  $SO_4^{2-}$ ) 등 15개 항목과 유량을 측정하였다. 특히 Cation과 Anion은 각각 AAS(Atomic Absorption Spectrometer), IC(Ion Chromatography)로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 계류수의 지점별 수질 변화

평수시 조사된 계류수의 수질 변화 중 pH는 7.11~ 7.37로 큰 변화를 보이지 않았으며, 년 평균 pH는 7.31로 중성 상태를 보이는 것으로 조사되었다. 이온의 총량값을 나타내는 EC는 주택가에서 발생하는 인위적 오염원에 의해 하류지점인 5지점에서  $118.8 \mu S/cm$ 로 가장 높게 나타났고, 상류지점으로 인간의 활동이 미치지 않는 2지점에서  $76.4 \mu S/cm$ 로 최소값을 보였다. 각 지점별 DO 포화율을 산정해 보면 89 ~ 96 %로 거의 높은 포화율을 나타냈다.

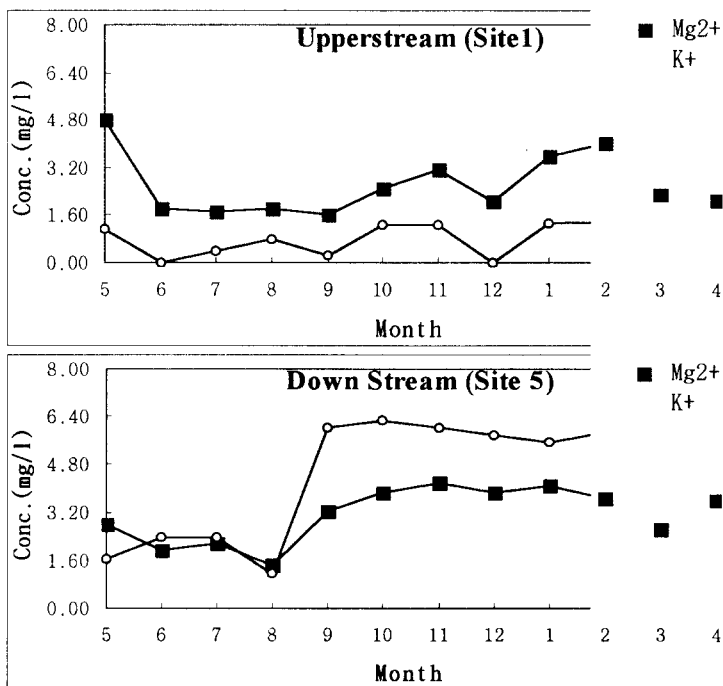


Figure 2. Monthly average concentration of cation in upper and downstream.

최상류부인 1지점과 두 계류수가 완전 혼합되는 4지점에서 Cation( $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ )과 Anion( $Cl^-$ ,  $NO_3-N$ )의 계절별 농도 변화를 나타내었다. Cation의 계절별 변화는 Fig. 3에 나타내었다. 상류부인 1지점에서  $Mg^{2+}$ 의 계절별 변화를 살펴보면, 뚜렷한 계절적인 변화를 보이고 있지는 않았고, 97년 5월에 4.8 mg/l로 가장 높았으며, 겨울철인 1, 2월에 각각 3.5 mg/l, 4 mg/l로 비교적 높은 농도를 보였다. 이는 상대적으로 유량이 적은 겨울철에 농도가 낮아지는 것으로 사료된다.

1지점에서  $K^+$ 의 계절별 농도변화는  $Mg^{2+}$ 의 변화와 유사한 경향을 보이는데, 초봄인 3월에 가장 높은 2.8 mg/l를 보였고, 6월과 12월에는 검출되지 않았다. 중류부에 해당하는 4지점에서  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ 은 상류부 1지점과는 다르게  $K^+$ 의 평균농도가 4.3 mg/l로 3.1 mg/l를 보인  $Mg^{2+}$ 농도보다는 높게 나타났는데 이는 6지점에 의한 영향으로 보여진다. 계절별 변화에서는  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  모두 가을철과 겨울철에 높아지는 경향을 보이고 있는데 이는 강우가 적은 갈수기이므로 상대적으로 농도가 높아지는 것으로 생각된다.

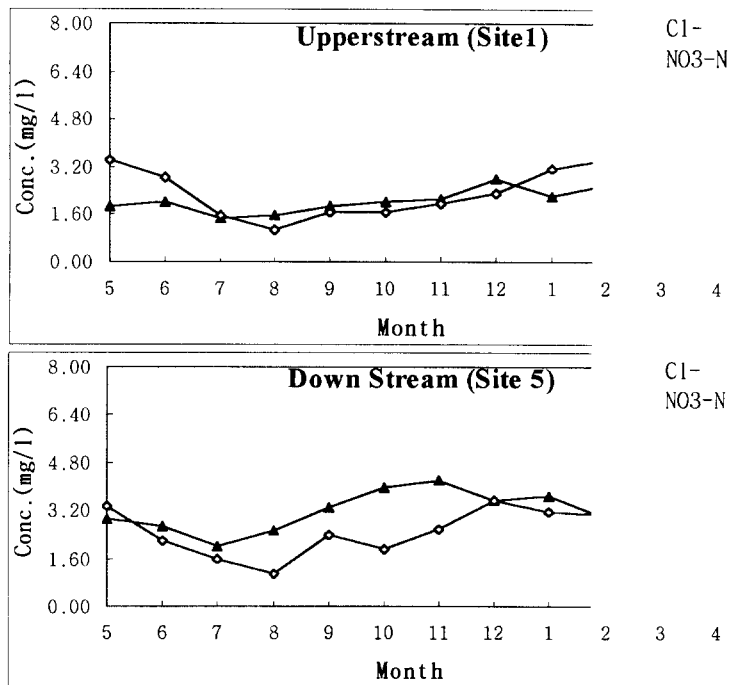


Figure 3. Monthly average concentration of anion in upper and downstream

Anion의 계절별 농도변화는 Fig. 3에 제시하였다.  $Cl^-$ 와  $NO_3-N$ 의 계절별 변화를 1지점에서 살펴보면, 강우량이 많은 여름철인 7, 8월에  $Cl^-$ ,  $NO_3-N$ 의 농도가 각각 1.5 mg/l, 1.3 mg/l로 가장 낮았으며, 가을철에 다시 증가하여 겨울철에 다른 이온과 마찬가지로 농도가 가장 높게 나타나는 것으로 조사되었다. 4지점에서  $Cl^-$ ,  $NO_3-N$  변화에서  $Cl^-$ 는 뚜렷한 계절변화를 보이지 않았고,  $NO_3-N$ 의 경우는 1지점에서와 마찬가지로 홍수기인 여름철에 농도가 낮고 겨울철과 봄에 높아지는 것으로 조사되었다.

### 3.2 중수시 계류수질의 변화

평상시의 계곡수의 수질은 지하수에 의한 영향을 주로 받으므로 보통 안정적인 것으로 보고되고 있다. 그러나 강우 때에는 지하수 유출과 함께 지표면 또는 산림 토양의 표층에서 유출이 발생되기 때문에 유량뿐만 아니라, 계곡수질 또한 변화된다. 강우시 계곡수질의 변화의 특색을 파악하기 위하여 강우종료 후 강우응답으로 조사되는데, 강우종료후 강우전의 농도로 회복하는 Type 1과 강우전 농도를 상회하는 Type 2로 나누어진다 (Figure 4).

본 실험에서는 2지점과 6지점, 두지점이 합류되는 4지점을 조사 대상지역으로 하였다. 조사시기는 1998년 5월 2일 00:00부터 5월 4일 12:00까지 약 60시간동안 총 14회에 걸쳐 강우초기에는 시간간격을 2 ~ 3시간으로 짧게 하고 유량변화가 적을 때는 시간간격을 길게 하여 시료를 채취하였다.

중수시 계류수질 중 pH는 평균 6.78로 평수시의 7.31보다 낮게 조사되었으며, 특히 4지점에서는 pH의 변화 폭이 4.32에서 7.24로 변화의 폭이 매우 컸다. 또한 EC의 경우도 각 지점에서 20.6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 에서 136.2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 상당히 큰 변화를 보여 강우에 의해서 계류수의 수질이 매우 불안정한 상태를 보이는 것으로 조사되었다.

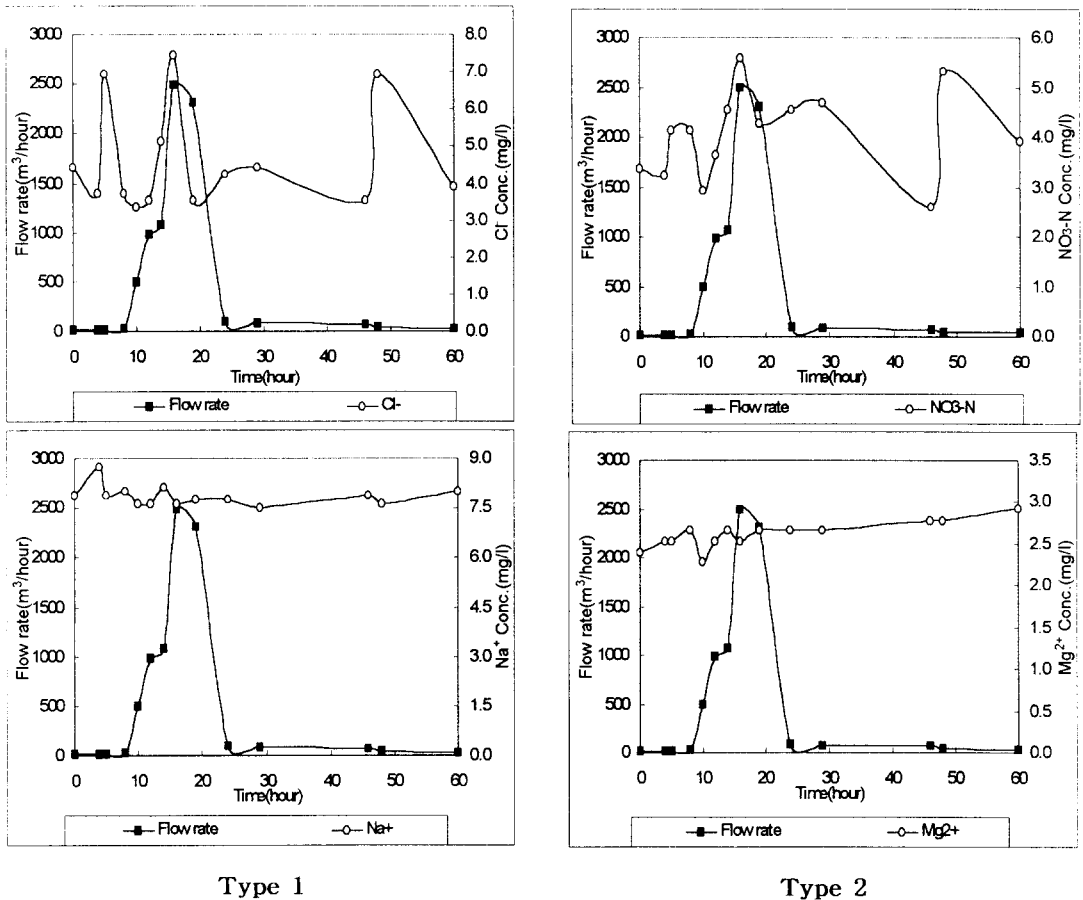


Figure 4. Water quality response from stopping rain in Site 6

### 3.5 계류수내 물질수지 산정

매월 각 지점(Site 1, Site 2)에서 측정된 물질의 농도를 가중 유량과 시료채취시기를 고려하여 부하량을 산정 하였다. 1일 중의 Input량 (Site 1)과 Output량 (Site 2)에 관한 물질수지를 추정하여 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Mass balance in streamwater ( Site 1→ Site 2)

	Input	Output	Removal (Kg/day)	Output / Input
	Site 1	Site 2		
SS(Kg/day)	0.47	0.18	0.29	0.38
DO(Kg/day)	1.31	1.08	0.23	0.82
DOC(Kg/day)	0.43	0.34	0.09	0.80
NO <sub>3</sub> -N(Kg/day)	0.36	0.29	0.07	0.81
Ca <sup>2+</sup> (Kg/day)	4.50	3.68	0.82	0.82
Cl (Kg/day)	0.26	0.22	0.04	0.83
Flowrate(m <sup>3</sup> /day)	4.31	3.40	0.91	0.79

유입 유량 중 약 17 %인 0.91 m<sup>3</sup>/day은 복류되는 것으로 산정 되었으며, 약 0.04 %는 증발되는 것으로 조사되었다. 또한 SS를 제외한 나머지 조사항목에서 O/I 비가 0.79 ~ 0.83으로 비슷한 비율을 보였다.

### 3.6 하류수계 유출부하량 산정

조사기간중 비강우일수 289일동안 4지점에서 유출되는 유출량은 Ca<sup>2+</sup>은 17.9 ton, Mg<sup>2+</sup>은 1.2 ton, Na<sup>+</sup>은 6.8 ton, K<sup>+</sup>은 1.7 ton, Cl 은 1.3 ton, NO<sub>3</sub>-N은 1.0 ton, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 6.8 ton, DOC는 2.16 ton, SiO<sub>2</sub>는 4.59 ton이 유출되는 것으로 나타났으며, 강우일수 76일 동안의 유출량은 Ca<sup>2+</sup>은 8.7 ton, Na<sup>+</sup>은 1.6 ton, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 1.2 ton, K<sup>+</sup>은 0.7 ton, Cl 은 0.7 ton, NO<sub>3</sub>-N은 0.6 ton, Mg<sup>2+</sup>은 0.5 ton, DOC는 0.22 ton이 유출되는 것으로 산정 되었다. 이것을 연간 유출부하량으로 산정하면, Ca<sup>2+</sup>은 23.8 ton/yr, Na<sup>+</sup>은 7.0 ton/yr, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 2.6 ton/yr,, K<sup>+</sup>은 2.4 ton/yr, DOC는 2.4 ton/yr, Cl 은 1.9 ton/yr, Mg<sup>2+</sup>은 1.7 ton/yr, NO<sub>3</sub>-N은 1.6 ton/yr 이 유출되는 것으로 나타났다. 증수기간 동안 유출부하량은 연간 유출부하량의 약 20%이상의 기여율을 보이는 것으로 조사되었다.

## 4. 결 론

- 1) 계류수의 년 평균 pH는 7.31로 중성 상태를 나타냈으며, EC는 년 평균 97.33  $\mu$ s/cm로 나타나, 강우시 보다 높게 나타났다. DO 포화율은 전 지점에서 89%이상의 높은 DO 포화율을 보였다.
- 2) 증수시 계류수질은 강우시에 발생하는 토양 표층의 유출과 지하수 유출에 의해 수질이 많은 영

향을 받는다. 증수시의 pH는 평균 6.78로 평수시의 7.31보다 낮게 조사되었으며, 특히 4지점의 경우 pH 변화 폭이 4.32에서 7.24로 수질이 매우 불안정한 상태로 나타났다. 강우에 대한 수질 응답특성에서 Type 1의 경향을 나타내는 이온성분은  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , Type 2의 경향을 나타내는 이온성분은  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Mg}^{2+}$ 으로 나타났다. 시간에 따른 이온의 농도 변화는 강우강도 및 강우 지속시간에 의해서 다른 양상을 보일 수 있을 것으로 생각된다.

3) 강우의 pH는 년 평균 5.44로 산성우 경향을 나타냈으며, 강우내 용존이온농도는  $\text{Ca}^{2+}$ 은 27.90 mg/l,  $\text{SO}_4^{2-}$ 은 11.68 mg/l,  $\text{Na}^+$ 은 5.02 mg/l,  $\text{Cl}^-$ 은 4.32 mg/l,  $\text{NO}_3^-$ -N은 3.54 mg/l,  $\text{K}^+$ 은 3.08 mg/l,  $\text{Mg}^{2+}$ 은 0.80 mg/l로 조사되었다. 계류수내 평균 용존이온농도는  $\text{Ca}^{2+}$ 은 23.55 mg/l,  $\text{SO}_4^{2-}$ 은 9.24 mg/l,  $\text{Na}^+$ 은 7.16 mg/l,  $\text{K}^+$ 은 5.29 mg/l,  $\text{Cl}^-$ 은 5.20 mg/l,  $\text{NO}_3^-$ -N은 3.97 mg/l,  $\text{Mg}^{2+}$ 은 2.74 mg/l로,  $\text{Ca}^{2+}$ 과  $\text{SO}_4^{2-}$ 을 제외하고는 전반적으로 계류 용존이온성분농도가 높은 것으로 조사되었다. 이는 토양내  $\text{Ca}^{2+}$ 과  $\text{SO}_4^{2-}$ 이 불용성 화합물인  $\text{CaSO}_4$ 을 형성함으로써, 지속적으로 수계로 유출되지 않는 것으로 사료된다.

4) 비강우시 유출부하량은 상류에서 하류로 이동시 DOC는 487%,  $\text{Na}^+$ 은 417%,  $\text{Ca}^{2+}$ 은 385%,  $\text{K}^+$ 은 362%,  $\text{SO}_4^{2-}$ 은 328%,  $\text{SiO}_2$ 은 260%,  $\text{Mg}^{2+}$ 은 232%,  $\text{Cl}^-$ 은 226%,  $\text{NO}_3^-$ -N은 126%로 증가한 것으로 나타났다.  $\text{NO}_3^-$ -N이 126%로 가장 낮은 증가율을 보였다.

5) 연간 유출부하량으로 산정하면,  $\text{Ca}^{2+}$ 은 23.8 ton/yr,  $\text{Na}^+$ 은 7.0 ton/yr,  $\text{SO}_4^{2-}$ 은 2.6 ton/yr,  $\text{K}^+$ 은 2.4 ton/yr, DOC는 2.4 ton/yr,  $\text{Cl}^-$ 은 1.9 ton/yr,  $\text{Mg}^{2+}$ 은 1.7 ton/yr,  $\text{NO}_3^-$ -N은 1.6 ton/yr 이 유출되는 것으로 나타났다. 증수기간 동안 유출부하량은 연간 유출부하량의 약 20%이상의 기여율을 보이는 것으로 조사되었다.

## 5. 참고 문헌

- 1) 朴在鉉, 「山林流域에 있어서 溪流水質의 評價基準 定立에 關한 考察」, 自然保存 92 : 23-38, 1995
- 2) Binkley, D. and T.C. Brown, 「Forest practices as nonpoint sources of pollution in North America」, Water Resources Bulletin 29(5) : 729-740., 1993.
- 3) 村岡浩爾, 平田健正, 「溪流水質から見た森林の淨化機能に關する研究(第4報)」, 水收支と物質收支, 國立公害研究報告書, 116 : 75-97, 1988.
- 4) 堤 利夫, 「森林の物質循環」, 東京大學出版會, 東京, pp 124, 1987
- 5) 川添 強, 吉本 衛, 「林地肥培が溪流の水質に及ぼす影響」, 日本林試研報, 314: 39-57, 1981.
- 6) 荒木 誠, 松浦陽次郎, 「ヒノキ林の皆伐による土壤溶液および溪流水の成分變化」, 日林論, 104:391-392, 1993
- 7) E.M. THURMAN., Organic geochemistry of natural waters, 1985.
- 8) Martin, C. W., 「Precipitation and streamwater chemistry in an undisturbed forested watershed in New Hampshire」, Ecology, 60: 36-42, 1979.
- 9) 國松孝男, 河川汚濁のモデル解析、技報堂出版. pp 37-49.
- 10) 禹保命, 「森林環境이 水資源 涵養에 미치는 影響에 關한 研究」, 韓國林學會誌 82(3): 283-291.