

주암호 유역의 강우사상에 따른 오염물질의 유출특성

김남중·신대윤*

*조선대학교 환경공학부

A Study of Comparison of outflow characteristics of pollutants by rainfall event of forest area near Juam lake basin

Nam-Joung Kim · Dae-Yewn Shin*

*Graduate school of Environmental Engineering, Chosun University, Gwang ju, 501-759 korea

Abstract

The objective of this study is to estimate the load of pollutants caused from the forest area among non-point pollutants within the Juam lake. The surveyed forest area was classified into broad-leaved, conifer, mixed and herbage area by forest tree type. Water quality and flux were investigated under rainfall and non-rainfall, respectively. Then, pollutant loading was evaluated by using the values of unit pollutant loading factor of each point and area of forest zone.

Water quality analysis results of runoff by forest tree types were as follows.

- Annual BOD, COD_{Mn} and COD_{Cr} concentration of runoff in conifer area was high, and particle and biological recalcitrant compounds were flowed highly.
- SS, T-N and T-P concentration was high in runoff from broad-leaved area, and biological degradable compounds was flowed.
- Water quality of water from valley was maintained good under non-rainfall and could be utilized as fresh drinking water. Through water quality standard investigation, a countermeasure establishment was necessary to secure a good quality of drinking water
- BOD, COD_{Mn}, and COD_{Cr} concentration of Bo-sung river was higher 1.5 times than other 2 streams, and because of high T-N, and T-P concentration in Songgwang stream, the management for this was necessary.

Key words : Run off, Rain fall event, Juam lake

*Corresponding author E-mail : dysin@chosun.ac.kr

I. 서론

산림에서의 오염물질 발생량이 대부분 처리되지 않고 강우시 유출되고 있는 실정이다. 또한 오염물질은 탁도, 색도를 유발하고 난분해성으로 주암호 수질악화의 요인으로 작용하며, 홍수기 담수율 증가 후 COD를 상승시키고, 조류의 대증식에 영향을 미친다. 또한 산림으로부터 유출된 난분해성 물질은 인체에 유해한 소독부산물을 생성하고, 이취미 유발(조류취, 풀냄새, 흙냄새 등)등으로 정수 처리시 약품사용량 및 여과지 역세척 횟수 증가를 가져와 정수처리비용을 증가시키고 있다.^{1~3)}

그러므로, 산림지역의 산림분포실태, 오염물질 발생 특성, 오염현상 등을 조사분석하여 유입하천과 주암호의 수질을 효과적으로 관리하기 위한 비점오염물질 삭감 대책을 수립할 필요가 있다.^{4~7)}

비점오염물질은 강수 초기에 집중적으로 발생되고 강수가 연속됨에 따라 유출되는 오염물질의 농도가 감소되는 경향이 있으므로 임목유형별(혼재지역, 활엽수지역, 침엽수지역 및 초본지역)로 강수시간에 따른 오염물질 유출 특성을 조사하여 발생원단위를 산출하여 비점오염원 관리에 유용한 자료로 이용되어질 수 있다.

임목유형별(혼재지역, 활엽수지역, 침엽수지역 및 초본지역)로 부식질의 화학적 성상이 다를 것으로 예상^{8~11)}되므로 부식질과 유출수, 계류수, 주암호 유입 하천수 및 주암호수 간의 화학적 성상을 비교할 필요가 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 산림지역을 세분화하여 즉 혼재지역, 활엽수지역, 침엽수지역 및 초본지역 등으로 구분하여 유출특성과 유량을 파악하고, 주암호로 유입되는 3개 주요하천의 수질 특성과 비교·분석하여 산림에 의

한 부식질 등의 오염에 대한 해석을 하였다.

II. 연구의 방법

1. 주암호 유역 산림지역 강우유출수 및 주요하천 수질 특성과악

산림지역 강우 유출수의 환경오염지표에 대한 특성을 혼재지역, 활엽수지역, 침엽수지역 및 초본지역 구분하여 조사한다. 또한 주암호로 유입되고 있는 주요하천인 송광천, 동북천 및 보성강지류에서 유입되는 하천수의 수질과 계류수를 월 1회 정기적으로 채수하여, 수질 변화특성을 조사하여, 청천시의 변화 양상을 파악한다. 또한 강우시의 강우유출량 및 강우시 산림지역 4개 지점의 유출수량 및 수질 특성을 조사하여 산림유역별 발생원단위와 발생부하량을 산정하였다.

2. 조사지역

본 연구의 범위는 주암호 유역 산림지역중 상류에 댐이 설치된 보성강댐 및 동북천 유역을 제외한 전지역을 대상으로 보성강 유역과 주암호유역이 본 연구의 조사대상지역이다.

본 연구는 총 10개 조사 지점을 선정하여 수행하였다. 산림지역은 순천시 송광면 대흥리 지역중 혼재지역, 활엽수지역, 침엽수지역 및 초본지역으로 구분하여 각각 1개소씩 4개 지점, 계류수는 대흥리, 송광사 및 까치골 3개소를 정하였고, 하천수는 송광천, 동북천 및 보성강지류에서 각각 1개소 3개 지점을 선정하였다.

Table 1과 Fig. 1에 조사 지점의 경·위·도상의 위치를 나타내었다.

Table 1. Location of investigation points

Classification		Name of place	Location
F1	Forest (Daeheung)	Mixed forest area	East longitude 127° 14' 38.67" North latitude 34° 56' 00.83"
F2		Broadleaf forest	East longitude 127° 14' 53.46" North latitude 34° 56' 06.97"
F3		Herbaceous forest	East longitude 127° 15' 26.36" North latitude 34° 56' 22.99"
F4		Conifer forest	East longitude 127° 15' 12.32" North latitude 34° 56' 12.47"
V1	Valley	Daeheung Valley (Junction point of forest area)	East longitude 127° 14' 53.46" North latitude 34° 56' 12.47"
V2		Songgwangsa Valley	East longitude 127° 16' 33.15" North latitude 34° 00' 03.87"
V3		Kachi valley	East longitude 127° 08' 53.69" North latitude 34° 58' 14.38"
S1	River	Songgwang tributary (Leub bridge)	East longitude 127° 15' 50.67" North latitude 34° 58' 19.26"
S2		Dongbok tributary (Jangjeon bridge)	East longitude 127° 06' 18.71" North latitude 35° 00' 55.50"
S3		Bosung tributary (Yulbyun bridge)	East longitude 127° 09' 56.65" North latitude 34° 51' 42.91"

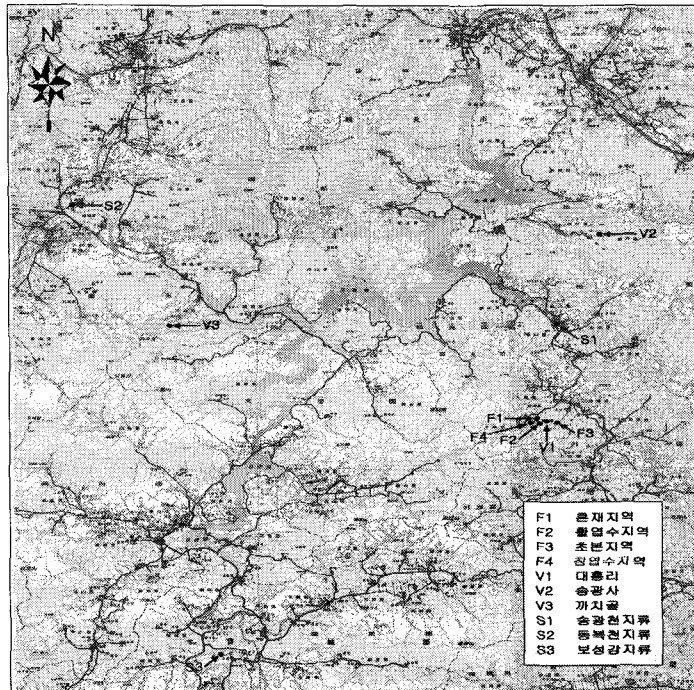


Fig. 1. Points of investigation.

Table 2. Analytical methods on each item

Parameter	Analytical method
Flow	Calculated with survey flow and cross section of water way
Current	Survey with micro flow meter(AEM-1D) and rotary type flow meter(UC-3)
Water temperature	TOA pH METER HM-14P, on the spot
pH	TOA pH METER HM-14P, on the spot
DO	YSI MODEL 58 DO METER, on the spot
BOD	Winkler method azide modification(5-day BOD test)
COD _{Mn}	KMnO ₄ method(acid condition)
COD _{Cr}	K ₂ Cr ₂ O ₇ method(acid condition)
TS	Gravimetric method
T-N	UV-Vis spectrophotometric method
T-P	UV-Vis spectrophotometric method

3. 조사기간

비점오염원물질의 특성상 강우시 일시에 대량의 오염물질을 발생하므로 채수는 청천시와 강우시로 나누어 실시하였다. 조사기간은 2004년 5월 30일~2005년 11월 23일까지 18개월 동안 이루어졌으며, 청천시는 매월 1~2회 정기적으로 산림지역 4개지점과 계곡수 1곳의 유량과 총 5개지점의 수질을 분석하였다. 강우시는 산림유역 4개지점 유출수의 유량 및 수질을 분석하였고, 산림지역 유출수가 유입되는 송광천지류의 수질을 분석하였다.

4. 분석방법

4.1. 현장수질조사

현장조사시 유량, 유속, 수온 및 pH를 현장에서 측정하였다. 수온과 pH는 TOA pH METER HM-14P으로 측정하였다.

시료는 채수시 무균질의 채수병 채취된 채취하고자 하는 물로 3번 이상 세척하여 이물질의 혼합을 방지하였으며, 성분변화를 막기 위하여 저온상자(Ice box)에 보관하여, 실험실로 운반하여 분석¹²⁾하였으며, 항목에 따라 GF/F 여지로 여과한 후 여지와 여액을 냉동 보관하였다. 항목별 시험방법을 Table 2에 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

1. 청천시 유량 및 수질조사

1.1. pH 및 수온

청천시 조사지점의 pH변화는 전체적으로 시료에 관계없이 7.0~9.0 사이에 분포하는 약 알칼리성 이었다.

혼재지역의 pH는 6.12~9.04 로 평균 7.91, 활엽수지역의 pH는 6.41~8.96 로 평균 7.80, 초본지역의 pH는 6.61~8.56 로 평균 7.54, 침엽수지역의 pH는 범위 6.83~8.83 평균 7.68, 산림지역의 pH는 혼재지역의 pH가 가장 높게 조사되었다.

대흥계곡의 pH는 6.43~8.22 로 평균 7.52, 송광사계곡의 pH는 6.34~8.70 로 평균 7.88, 까치골의 pH는 6.43~8.75 로 평균 7.73, 송광천지류의 pH는 6.49~8.74 로 평균 7.85, 동북천지류의 pH는 5.70~9.20 로 평균 7.99, 보성강지류의 pH는 6.50~9.12 로 평균 7.95로 조사되었다.

청천시 조사지점의 수온은 1월, 2월 4℃전후 범위, 3월에 10℃부근의 온도변화를 보였으며, 6월 부터는 20℃이상의 온도변화를 나타내었다.

혼재지역은 1.0~23.1℃ 로 평균 12.8℃, 활엽수지역은 1.2~23.0℃ 로 평균

13.2℃, 초본 지역은 0.5~25.6℃ 로 평균 14.0℃, 침엽수림은 1.6~25.0℃ 로 평균 14.0℃로 산림지역의 온도 변화는 초본지역이 온도가 다른 산림지역보다 높게 나타나는 특성을 보였으며, 이는 다른 산림 지역보다 외부의 온도변화에 민감함을 볼 수 있었다. 산림지역의 온도변화는 초본지역이 온도가 다른 산림지역보다 높게 나타나는 특성을 보였으며 이는 다른 산림지역보다 외부의 온도 변화에 민감함을 볼 수 있으며, 산림이 우거진 지역의 유출수 수온이 더 낮았다.

계류수중 대홍계곡은 2.0~24.0℃ 로 평균 13.9℃,송광사계곡은 0.2~24.3℃ 로 평균 12.7℃, 까치골은 1.2~24.6℃ 로 평균 13.3℃로 조사되었고, 유입하천수중 송광천지류는 0.5~29.5℃ 로 평균 15.8℃, 동북천지류는 2.5~32.6℃ 로 평균 17.2℃, 보성지류는 1.4~30.5℃ 로 평균 17.2℃로 조사되었다. 산림지역과 계류수의 년 평균온도 12.8~14℃ 유입하천의 연평균온도 15.8~17.7℃로 조사 되었다.

1.2. 유량

유량은 산림지역의 4개 지점과 대홍계곡 1곳을 측정하였다. 채수일자 전후 강우의 영향을 받은 유량은 제외하고, 평균유량을 산정하였으며 제외된 유량을 표에 표시하였다. 연구기간동안의 주암호 유역의 강

우량을 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

혼재지역은 24.1~3,153.9m³/day 로 평균 239.7m³/day, 활엽수지역은 30.3~4,763.7 m³/day 로 평균 267.0m³/day, 초본지역은 8.6~2,989.7m³/day 로 평균 150.8m³/day, 침엽수지역은 84.4~1,121m³/day 로 평균 89.4m³/day, 산림지역 유출수의 합류점인 대홍계곡은 606.4~48,375.6 m³/day 로 평균 2,430.7m³/day 였다. 산림지역의 유출유량은 강우시와 비강우시 큰 차이를 보였다. 청천시에도 유출량은 계절에 따라 변화가 크므로 각 지점의 평균 유량 산정에는 오차가 있을 것으로 판단되며, 산림의 식생형태에 따라 차이가 있는 것으로 조사되었다.

유출수는 봄철의 비강우기에는 지하수 및 보유수량의 유출만이 있어 유출유량이 적었고, 선행 강우량에 따른 유출량의 변화가 있는 것으로 조사되었으며 강우량이 20 mm 이상이 넘어야 유출율이 높아짐을 볼 수 있었다. 2004년 강우량과 2005년의 강우량에 큰 차이는 있지만 2005년 6~7월의 지속적인 강우는 즉 선행강우에 의한 누적강우량은 산림지역의 유출량을 증가시키는 것을 볼 수 있었다. 혼재지역과 활엽수지역은 비강우시에도 유출량이 크게 나타나 보유수량이 큰 것으로 판단된다.

Table 3에 청천시 유량 및 오염물질의 평균농도, 최대 및 최소농도를 지점별로 나타내었다.

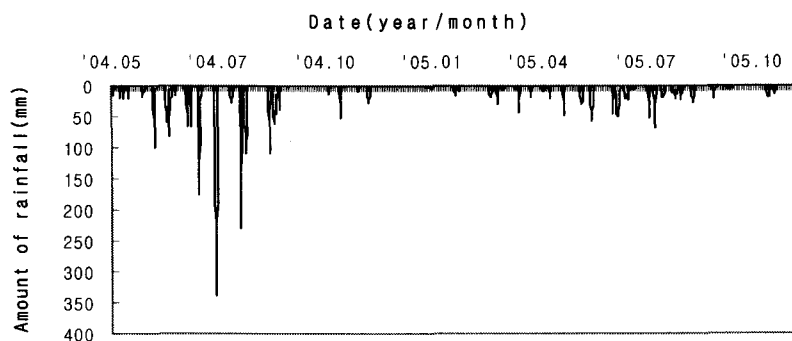


Fig. 2. Precipitation in investigation period.

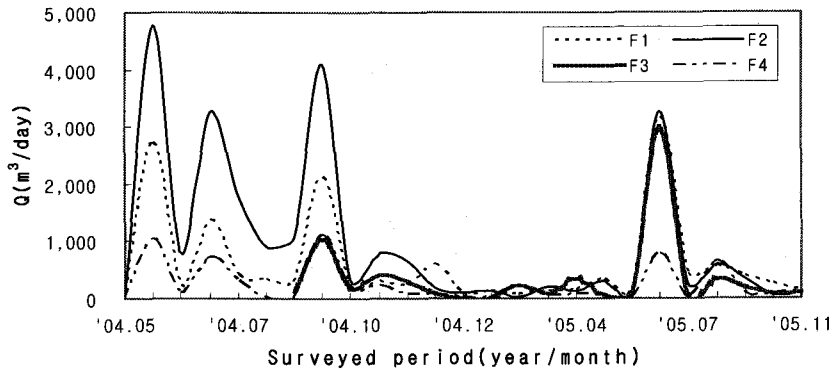


Fig. 3. Variation of flow by month.

Table 3. Variation of quantity of flow and pollutants concentration for cloudless sky

Items		F1	F2	F3	F4	V1	V2	V3	S1	S2	S3
Q (m³/day)	Annual average	239.7	267.0	150.8	89.4	2,430.7	-	-	-	-	-
	Max.	3,153.9	4,763.7	2,989.7	1,121.0	48,375.6	-	-	-	-	-
	Min.	24.1	30.3	8.6	4.4	606.4	-	-	-	-	-
BOD (mg/L)	Annual average	2.3	2.5	2.1	3.3	1.3	1.6	1.8	1.8	1.7	3.9
	Max.	9.8	12.6	5.2	10.4	6.8	8.0	8.2	10.2	10.4	10.7
	Min.	0.8	0.4	0.5	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.4	1.0
COD _{Mn} (mg/L)	Annual average	2.9	2.9	2.7	3.5	1.2	1.2	1.4	2.7	2.5	5.4
	Max.	11.4	13.2	6.4	10.6	7.4	7.8	8.8	9.7	10.2	11.7
	Min.	1.4	1.2	0.4	0.6	0.6	0.5	0.4	0.7	0.6	1.8
COD _{Cr} (mg/L)	Annual average	8.0	7.9	7.9	11.2	3.6	3.6	3.8	6.8	6.9	13.9
	Max.	22.5	39.5	28.5	42.7	32.5	28.1	33.9	26.4	30.5	38.8
	Min.	2.5	2.2	2.5	0.7	1.1	1.4	2.0	1.3	1.1	2.5
T-N (mg/L)	Annual average	0.451	0.416	0.508	0.387	0.460	0.564	0.391	1.660	0.845	0.975
	Max.	5.020	5.788	1.115	3.635	1.314	3.271	5.203	3.321	2.743	5.092
	Min.	0.032	0.021	0.134	0.059	0.010	0.019	0.099	0.316	0.221	0.168
T-P (mg/L)	Annual average	0.033	0.109	0.067	0.040	0.276	0.141	0.118	0.280	0.130	0.126
	Max.	0.884	0.909	0.496	0.640	1.523	0.563	0.720	1.430	0.279	1.220
	Min.	0.005	0.010	0.009	0.006	0.007	0.005	0.005	0.014	0.013	0.023

1.3. BOD 농도 변화

BOD농도는 월별 큰 차이가 없었으며, 강우기에 증가하는 경향을 보였다.

산림지역의 BOD 농도 변화는 혼재지역

0.8~9.8mg/l 로 평균 2.3mg/l, 활엽수지역은 0.4~12.6mg/l 로 평균 2.5mg/l, 초본지역은 0.5~5.2mg/l 로 평균 2.1mg/l, 침엽수지역은 0.8~10.4mg/l 로 평균 3.3mg/l로

조사되었다.

대흥계곡은 0.7~6.8mg/l 로 평균 1.3mg/l, 송광사계곡은 0.6~8.0mg/l 로 평균 1.6mg/l, 까치골은 0.4~8.2mg/l 로 평균 1.8mg/l, 송광천지류는 0.4~10.2mg/l 로 평균 1.8mg/l, 동복천지류는 0.4~10.4mg/l 로 평균 1.7mg/l, 보성강지류는 1.0~10.7mg/l 로 평균 3.9mg/l이었다.

조사 기간 동안 산림지역의 BOD변화는 감소하는 경향을 보였으며, 계류수는 일정한 농도를 유지하였다. 그러나 유입하천은 보성강지류가 가장 높은 BOD농도를 보였으며 특히 강우시에 농도가 높게 나타났다. 이는 주암호의 유역의 산림중 보성강유역의 비율이 매우 높은 것과 상관성이 있는 것으로 판단된다.

1.4. COD_{Mn} 및 COD_{Cr}

청천시 조사지점의 COD_{Mn} 농도는 혼재지역 1.4~11.4mg/l 로 평균 2.9mg/l, 활엽수지역은 1.2~13.2mg/l로 평균 2.9mg/l, 초본지역은 0.4~6.4mg/l 로 평균 2.7mg/l, 침엽수지역은 0.6~10.6mg/l 로 평균 3.5mg/l, 대흥계곡은 0.6~7.4mg/l 로 평균 1.2mg/l, 송광사계곡은 0.5~7.8mg/l 로 평균 1.2mg/l, 까치골은 0.4~8.8mg/l 로 평균 1.4mg/l, 송광천지류는 0.7~9.7mg/l 로 평균 2.7mg/l, 동복천지류는 0.6~10.2mg/l 로 평균 2.5mg/l, 보성강지류는 1.8~11.7mg/l 로 평균 5.4mg/l이었다.

청천시 조사지점의 COD_{Cr} 농도 변화를 나타내었다. 혼재지역은 2.5~22.5mg/l 로 평균 8.0mg/l, 활엽수지역은 2.2~39.5mg/l 로 평균 7.9mg/l, 초본지역은 2.5~28.5mg/l 로 평균 7.9mg/l, 침엽수지역은 0.7~42.7mg/l 로 평균 11.2mg/l로 나타났으며, 계류수의 농도범위는 대흥계곡은 1.1~32.5mg/l 로 평균 3.6mg/l, 송광사계곡은 1.4~28.1mg/l 로 평균 3.6mg/l, 까치골은 2.0~33.9mg/l 로 평균 3.8mg/l, 유입하천수의 COD_{Cr}농도는 송광천지류는 1.3~26.4mg/l 로 평균 6.8mg/l, 동복천지류는 1.1~

30.5mg/l 로 평균 6.9mg/l, 보성강지류는 2.5~38.8 mg/l 로 평균 13.9mg/l 로 보성강이 가장 높은 것으로 조사되었다.

COD_{Cr}의 농도는 COD_{Mn}의 농도의 2~3 배가 높게 나타난 것을 볼 수 있었다. 이는 난분해성 물질이 포함되었음을 의미하며 주암호로 유입될 경우의 거동과악에 대한 연구가 이루어져야할 부분이다.

1.5. 고형물질의 특성

고형물질의 함량을 용존성고형물질, 부유성고형물질로 구분하여 조사하였다. 전지점에서 고형물질의 농도는 용존성고형물질의 함량이 부유성고형물질 보다 더 높게 조사되었다. 산림지역의 유출수와 계류수는 청천시에는 부유성고형물질함량이 매우 낮아 투명도가 높았다.

고형물질중 부유성고형물은 혼재지역이 26.5%, 활엽수지역이 26%, 초본지역이 17.9%, 침엽수지역이 18.4%로 나타났다. 계류수중 대흥계곡이 11.7%, 송광사 계곡이 18.8%, 까치골은 16.2%로 나타났다. 유입하천수의 부유성고형물은 송광천지류가 14%, 동복천지류가 15.9%, 보성강지류가 79.1%로 나타났다.

용존성고형물은 혼재지역이 73.5%, 활엽수지역이 74%, 초본지역이 82.1%, 침엽수지역이 81.6%로 나타났다. 계류수중 대흥계곡이 88.3%, 송광사 계곡이 81.2%, 까치골은 83.8%로 나타났다. 유입하천수의 부유성고형물은 송광천지류가 86%, 동복천지류가 84.1%, 보성강지류가 79.1%로 나타났다.

1.6. T-N 특성

청천시 조사지점의 T-N의 농도변화는 혼재지역은 0.032~5.020mg/l 로 평균 0.451mg/l, 활엽수지역은 0.021~5.788mg/l로 평균 0.416mg/l, 초본지역은 0.134~1.115mg/l 로 평균 0.508mg/l, 침엽수지역은 0.059~3.635mg/l 로 평균 0.387mg/l로 나타났으며, 계류수중 대흥계곡은 0.010~1.314mg/l 로

평균 0.460mg/l, 송광사계곡은 0.019~3.271 mg/l 로 평균 0.564mg/l, 까치골은 0.099~5.203mg/l 로 평균 0.391mg/l 나타났다. 유입 하천수는 송광천지류 0.316~3.321mg/l 로 평균 1.660mg/l, 동북천지류는 0.221~2.743 mg/l 평균 0.841mg/l, 보성강지류는 0.168~5.092mg/l 평균 0.975mg/l 이었다.

전반적으로 T-N의 농도변화는 1월에서 3월로 가면서 감소되었으며, 이는 겨울동안 유출량이 적고, 낙엽들의 흡착과 식물의 생장이 시작되면서 흡수된 것으로 보인다. 다시 4월부터 증가하여 5월에는 가장 높은 농도를 보였다. 3월부터 내리기 시작한 강우가 4월까지 누적 강우량이 100mm 이상이 되면서 산림에서의 유출이 증가되는 것으로 보인다. 그러나 강우의 영향이 커져 유출량이 많아진 6월, 7월에는 다시 낮아지는 경향을 보였다. 8월 10일 수질의 상승 원인은 채수중에 강우가 있었으며, 주요 유입하천수의 경우 10여일 동안 지속된 강우와 조류의 생성이 증가요인으로 판단된다.

T-P과 비교할 때 T-N의 경우는 산림으로부터 유출량이 있는 것으로 판단되며, 식물의 체내 질소성분의 흡수와 배출 또는 강우중의 질산성분 등의 원인에 의해 농도 변화가 있는 것으로 사료된다.

1.7. T-P 특성

청천시 조사지점의 T-P농도변화는 혼재지역은 0.005~0.884mg/l 로 평균 0.033 mg/l, 활엽수지역은 0.010~0.909mg/l 로 평균 0.109mg/l, 초본지역은 0.009~0.496 mg/l 로 평균 0.067mg/l, 침엽수지역은 0.006~0.640mg/l 로 평균 0.040mg/l로 조사되었다. 누적강우량의 증가에 따른 계절적 변화가 작은 것이 특징으로 산림유출수의 T-P배출은 일정한 것으로 판단된다. 계류수중 대흥계곡은 0.007~1.523mg/l 로 평균 0.276mg/l, 송광사계곡은 0.005~0.563mg/l 로 평균 0.141mg/l, 까치골은 0.005~0.720mg/l 로 평균 0.118mg/l로 조

사되었다. 대흥계곡의 T-P농도가 4월, 5월 급격히 높아진 것은 계류수 상류의 농지의 봄철 시비에 따른 유출로 판단된다.

유입하천수중 송광천지류는 0.014~1.430mg/l 로 평균 0.280mg/l, 동북천지류는 0.013~0.279mg/l 로 평균 0.130mg/l, 보성강지류 0.023~1.220mg/l 로 평균 0.126mg/l로 조사되었다. 봄철에 T-P의 농도가 높게 나타나, 시비에 의한 영향을 받는 것으로 추측되며, 보성강은 8월10일의 높은 농도는 강우에 의한 유출과 이로 인한 유입물질의 증가와 온도상승이 조류의 증가를 초래하여 조류증가와 관련이 있는 것으로 판단된다.

2. 강우시 유량 및 수질 특성

강우시 유량 및 수질측정은 산림지역 4개 지점과 계류수 1곳(대흥리) 및 송광천지류 1곳을 1차 (2005년 8월 1일~8월 3일) 13회, 2차 (2005년 8월 7일~8월 8일) 각 지점별로 10회를 조사 측정하였다.

2.1. 1차 강우 수질 측정 결과

강우시 1차 측정은 2005. 8. 1~8. 3에 걸쳐 총 13회 실시하였으며, 조사시간동안 총 강우량은 총 102.5mm를 보였다. 채수는 강우 개시 후 청천시의 평균유량으로 조사되는 시간까지 채수하였다.

발생강우량에 따른 산림지역 유출수의 유량을 Table 4와 Fig. 4에 나타내었다. 평균 유량의 범위는 혼재지역 345.0~14,480.0m³/day로 강우량에 따른 유출이 늦게 발생하는 특성을 보였고, 활엽수지역은 283.2~19,637.0m³/day로 강우량과 일치하는 유량 변화를 보였다. 초본지역은 205.6~10,146.0m³/day으로 초기 유출유량은 적으나 강우가 감소하자 유출량도 급격히 감소하는 경향을 보였다. 침엽수지역은 194.3~7,704.7m³/day의 로 유역면적이 적어서 유출량도 낮게 나타났으며, 혼재지역과 비슷한 경향을 보였다. 산림지역의 유형별 유출양상이 다르게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

Table 4. Variation of flow by first rainfall

(Unit : m³/day)

Area Accumulated time(hr)	Accumulation rainfall (mm)	Mixed forest (F1)	Broad-leaved forest (F2)	Conifer forest (F3)	Herbaceous forest (F4)
0.0	0.0	954.1	869.8	356.5	804.1
3.5	0.0	901.2	724.5	231.5	307.9
6.5	0.0	834.5	562.3	210.8	335.7
8.5	0.0	767.4	341.4	407.2	248.7
10.5	2.0	805.9	563.9	715.9	531.4
13.5	12.0	2,118.1	5,315.5	2,708.0	2,899.5
17.0	29.5	10,986.4	12,890.0	5,950.8	4,821.6
21.0	59.5	17,977.7	19,637.0	7,592.4	7,704.7
25.0	84.5	14,680.0	17,844.9	10,146.0	6,863.4
29.0	102.5	13,225.0	12,301.6	7,428.2	5,047.9
32.0	102.5	8,900.0	7,052.4	1,472.6	3,414.5
36.0	102.5	1,701.0	1,057.0	523.6	475.2
44.0	102.5	345.0	283.2	205.6	194.3

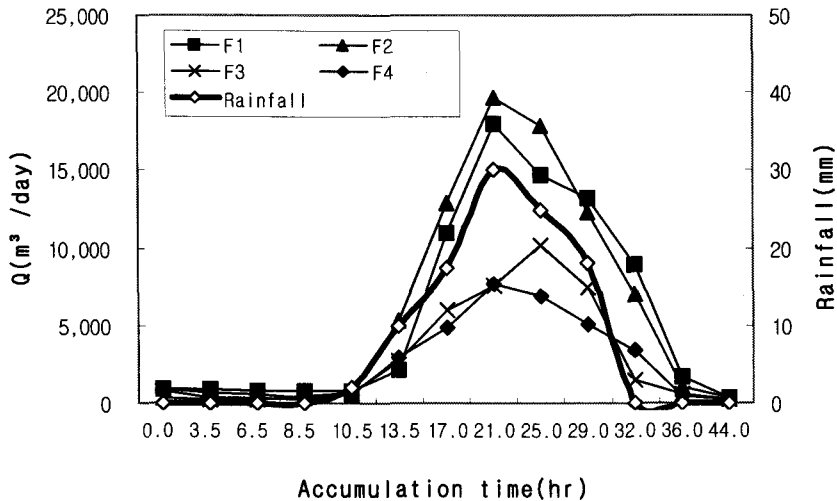


Fig. 4. Variation of flow by first rainfall.

Fig. 5에 1차강우시 시간별 BOD농도변화를 나타내었다. BOD농도는 혼재지역 1.0~2.4mg/l, 활엽수지역 0.9~2.7mg/l, 초본지역 0.2~1.9mg/l, 침엽수지역 0.5~3.2mg/l로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 0.1~3.0mg/l, 송광천 지류는 1.1~2.7mg/l로 조사되었다.

선행강우로 인하여 수질의 변동이 크지 않았다. 최고 농도는 청천시의 3배 이상을 나타내기도 하였다. Fig. 5를 보면 강우 초기의 수질은 지점별로 불규칙한 수질을 보였으나 최고 강우량 이후로 일정하게 낮아지는 경향을 보였다.

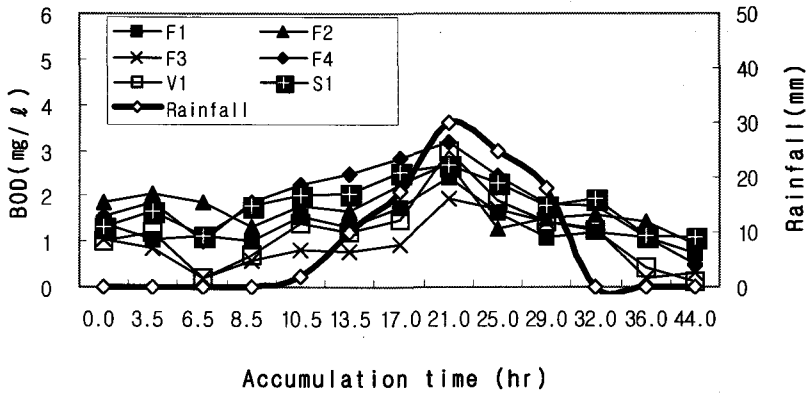


Fig. 5. Variation of BOD concentration for the first rainfall.

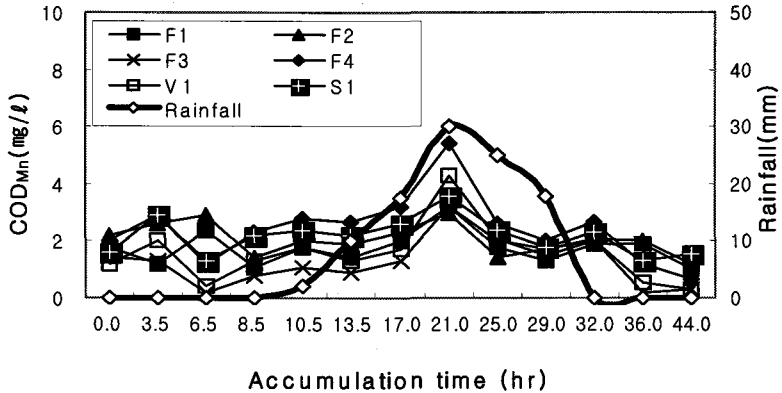


Fig. 6. Variation of COD_{Mn} concentration for the first rainfall.

Fig. 6에 1차강우시 시간별 COD_{Mn}농도 변화를 나타내었다. COD_{Mn}농도는 혼재지역 1.0~3.2mg/l, 활엽수지역 1.2~3.0mg/l, 초본지역 0.3~3.2mg/l, 침엽수지역 0.7~5.4mg/l로 조사되었고, 산림지역의 합류수인 대흥계곡은 0.3~4.3mg/l, 산림지역의 유출수가 유하하는 송광천지류는 1.3~3.6mg/l로 조사되었다. 강우강도의 증가에 따라 유출수의 농도 증가를 보이며, 강우량이 감소함에 따라 농도도 감소하는 경향으로 보여 산림지역의 오염물질 유출은 강우시에 매우 높아 호소의 일시적인 유입을 제어 할 수 있는 방안의 모색이 이루어져한다.

Fig. 7에 1차강우시 시간별 COD_{Cr}농도

변화를 나타내었다. COD_{Cr}농도는 혼재지역 15.4~22.6mg/l, 활엽수지역 16.8~53.1mg/l, 초본지역 12.0~40.5mg/l, 침엽수지역 17.9~33.3mg/l로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 14.2~35.7mg/l, 송광천 지류는 19.2~39.6mg/l로 조사되었다.

COD_{Cr}농도는 COD_{Mn}의 농도보다 20~100배 정도의 큰 차이를 보여, 강우에 의한 난분해성물질의 유입이 큰 것을 볼 수 있었다. 난분해성물질이 호소내 변화과정에서 수체에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구도 이루어져야 할 것으로 판단되며, 강우시 비점오염원 기원 오염물질이 수역내 유입을 최소화하는 방안이 필요함을 보여주고 있다.

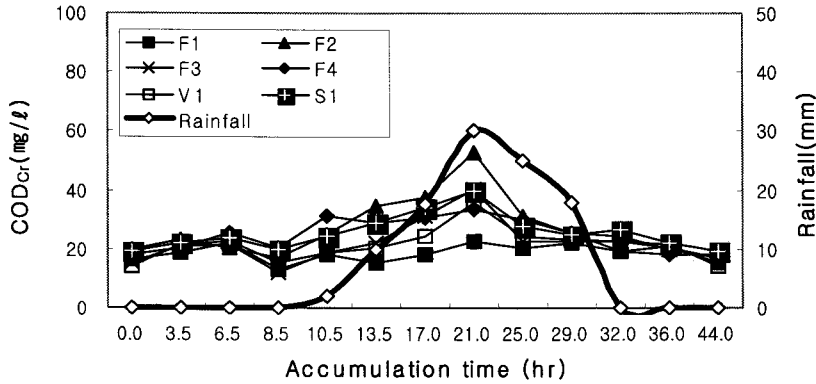


Fig. 7. Variation of COD_{Cr} concentration for the first rainfall.

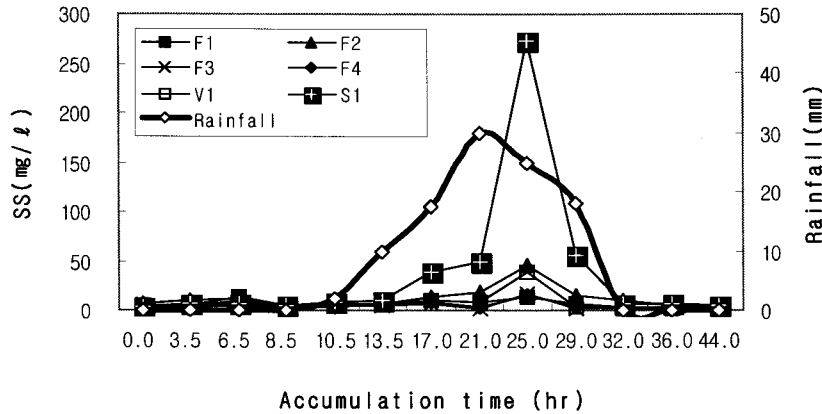


Fig. 8. Variation of SS concentration for the first rainfall.

Fig. 8과 Fig. 9에 1차 강우시 시간별 고형물농도 변화를 나타내었다. 고형물 농도는 강우량이 높은 7~9회 채수시 높은 농도로 혼재지역의 부유성 고형물이 13.5 mg/l, 활엽수지역 46.0mg/l, 초본지역 17.6 mg/l, 침엽수지역 16.0mg/l, 대흥계곡 39.6 mg/l 및 송광천지류는 272.4mg/l로 나타났다. 송광천지류의 부유성 고형물 농도는 최고 강우강도보다 늦게 농도가 증가하는 것을 볼 수 있으며 이는 유하되는 시간 때문인 것으로 사료된다. 선행강우로 인해 부유성 고형물의 강우량과의 상관성이 낮은 것으로 조사되었으며, 이러한 결과는 우기가 시작되어 초기강우에 의한 오염물질의 유

입이 가장 높은 것으로 사료된다.

총고형물의 분포는 용존성 고형물의 비율이 상대적으로 낮게 나타났다. 특히 산림 임목중에서는 활엽수 지역의 부유성고형물이 높게 조사되었다. 고형물질의 대부분은 강우가 유출되면서 토양이나 이의 불용성 고형물을 대량 포함하여 하천이나 호소로 유입된다는 것을 보여주며, 비점오염물질중 가장 많은 발생량으로 나타나는 토사등의 고형물질의 유입을 호수유입 전에 차단하여야 하는 것이 가장 급선무이다. 이러한 불용성물질은 호소내에서 보유수량의 감소 및 수중 생태계를 방해하는 요소로 작용하게 된다.

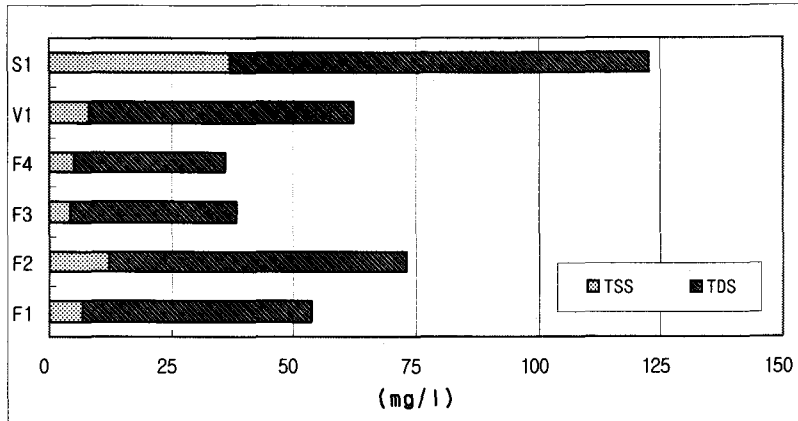


Fig. 9. Variation of solids concentration for the first rainfall.

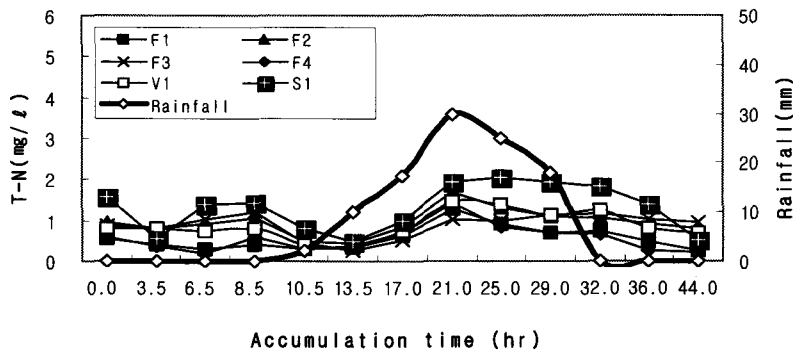


Fig. 10. Variation of T-N concentration for the first rainfall.

Fig. 9는 고형물함량을 용존성과 부유성으로 나누어 나타내었다. 송광천지류의 고형물함량은 용존성물질의 농도가 산림지역 보다 높았으며, 주변으로부터 강우시에 많은 양의 유입으로 농도가 매우 높았다. 그러나 산림지역의 유출수는 고형물중 부유성 고형물의 농도가 높은 특징을 보여 강우시 유출되는 물질은 대부분이 토사등의 불용성, 부유성물질인 것으로 조사되었다.

Fig. 10에 1차 강우시 T-N의 농도변화를 나타내었다. T-N농도는 산림지역의 유출수는 강우량과 비슷한 변화양상을 보였으며, 하천수의 농도변화는 강우량 발생 이후에 일정 유하시간 후 농도가 높아지는 특성을 보였다. 혼재지역 0.271~1.276mg/

l, 활엽수지역 0.812~1.690mg/l, 초본지역 0.252~1.198mg/l, 침엽수지역 0.188~1.409mg/l로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡 0.411~1.470mg/l 및 송광천지류 0.487~2.050mg/l로 조사되었다.

Fig. 11에 1차강우시 T-P의 농도변화를 나타내었다. T-P의 농도는 강우 유출과의 상관성이 매우 낮게 나타났으며, 조사지점별로 큰 차이를 보이지 않았다. 청천시 겨울철 유출 농도 보다 낮은 농도를 보이는 경우도 있었다. 혼재지역 0.013~0.126mg/l, 활엽수지역 0.012~0.082mg/l, 초본지역 0.012~0.068mg/l, 침엽수지역 0.017~0.116mg/l로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡 0.011~0.116mg/l 및 송광천지류 0.040~0.197mg/l로 조사되었다.

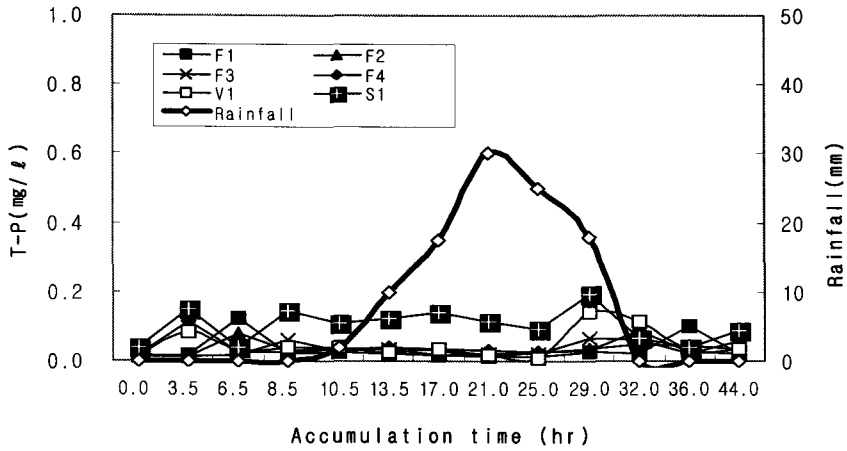


Fig. 11. Variation of T-P concentration for the first rainfall.

Table 5. Variation of flow by second rainfall (Unit : m³/day)

Accumulation time(hr)	Accumulation precipitation (mm)	Mixed forest (F1)	Broad-leaved forest (F2)	Conifer forest (F3)	Herbaceous forest (F4)
0.0	0.0	743.5	950.6	267.2	235.6
3.0	2.0	863.3	1,455.2	282.7	265.0
7.0	16.5	5,767.8	3,968.0	4,215.2	2,511.2
11.0	26.5	6,664.1	5,050.0	3,135.0	2,204.2
15.0	35.5	4,881.9	4,140.0	3,231.9	2,116.6
18.0	38.5	1,956.2	3,510.4	1,208.4	869.9
20.0	41.0	2,066.4	2,956.0	1,368.0	959.4
22.0	42.5	1,188.2	1,614.6	786.6	543.2
26.0	42.5	956.30	864.20	1,023.40	254.30
34.0	42.5	201.3	168.4	125.6	84.3

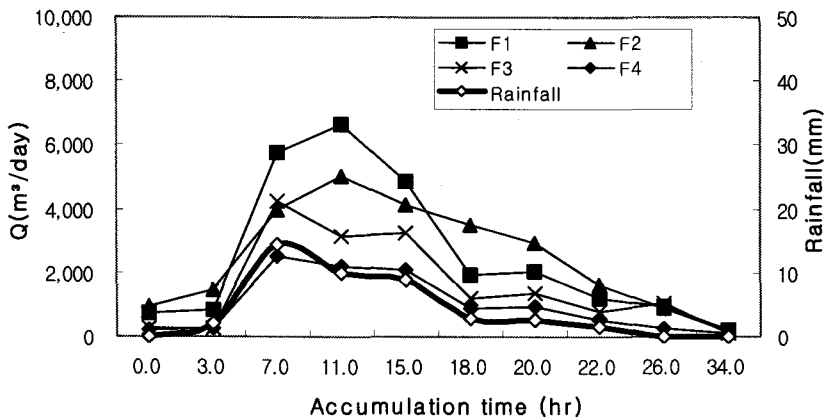


Fig. 12. Variation of flow for the first rainfall.

2.2. 2차 강우시 수질 측정 결과

2차 강우 측정은 2005. 8. 7~8. 8까지 총 10회 채수하여 분석하였다. Table 5와 Fig. 12에 지점별 지속시간과 강우량에 따른 유량을 나타내었고, Fig. 13은 강우지속 시간동안의 강우강도와 강우량을 나타낸 것이다. 계속된 강우로 인하여 초기 채수가 강우 개시후 시간이 흘러 다시 강우가 시작되는 기간이 되어 초기유량이 높게 측정되었으며, 청천시의 평균유량이 되는 시간

까지 측정 후 종료하였다. 채수시간동안 총 누적강우량은 42.5mm이었다.

Fig. 14에 2차강우시 BOD 농도변화를 나타내었다. BOD 농도는 혼재지역 0.5~4.0mg/l, 활엽수지역 0.6~5.2mg/l, 초본지역 0.4~1.7mg/l, 침엽수지역 0.6~3.2mg/l로 조사되었고, 계류수중 대홍계곡은 0.2~2.5mg/l, 송광천 지류는 0.9~2.9mg/l로 조사되었다.

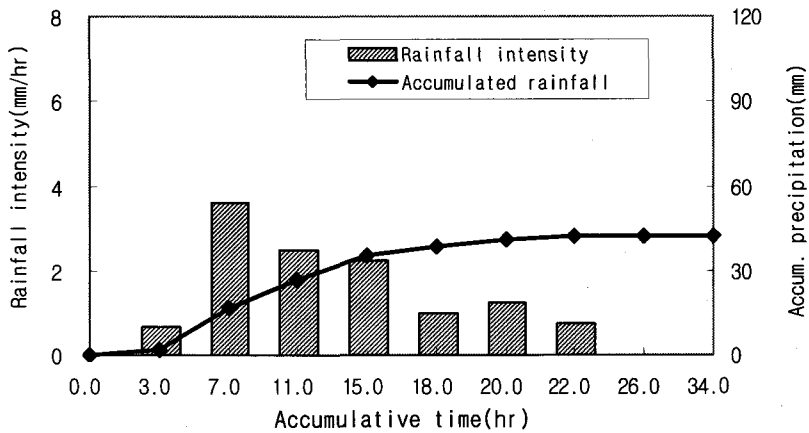


Fig. 13. Accumulative precipitation and rainfall intensity for the second rainfall.

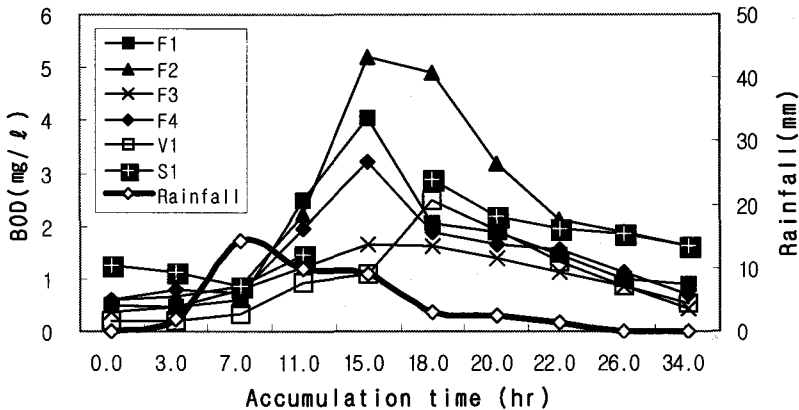


Fig. 14. Variation of BOD by second rainfall.

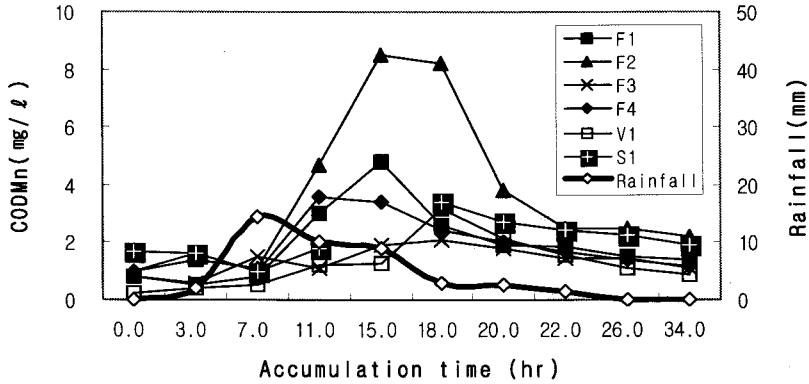


Fig. 15. Variation of COD_{Mn} by second rainfall.

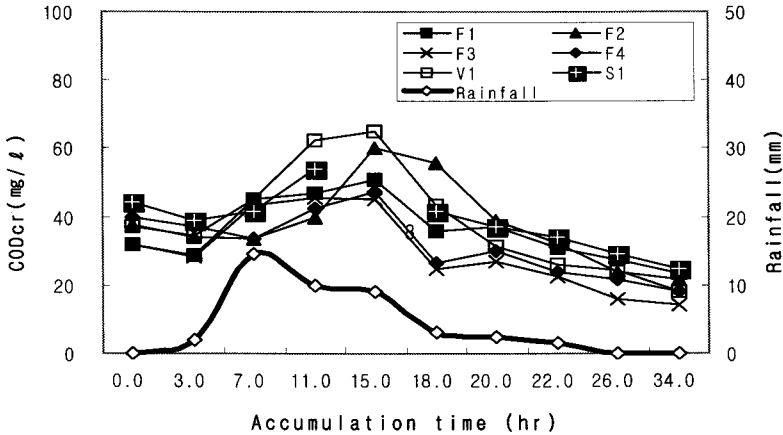


Fig. 16. Variation of COD_{Cr} by second rainfall.

Fig. 15에 2차강우시 COD_{Mn} 농도변화를 나타내었다. COD_{Mn} 농도는 혼재지역 0.5~4.8mg/l, 활엽수지역 1.0~8.5mg/l, 초본지역 0.6~2.1mg/l, 침엽수지역 1.0~3.4mg/l로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 0.3~3.2mg/l, 송광천 지류는 1.0~3.4mg/l로 선형강우로 인하여 수질의 변동이 크지 않았다. 최고 농도는 청천시의 3배 이상을 나타내기도 하였다.

Fig. 16에 2차강우시 COD_{Cr} 농도 변화를 나타내었다. COD_{Cr} 농도는 혼재지역 23.6~51.1mg/l, 활엽수지역 21.8~60.1mg/l, 초본지역 14.2~45.6mg/l,

18.2~47.2mg/l로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡은 18.0~65.2mg/l, 송광천 지류는 24.6~54.1mg/l로 조사되었다.

COD_{Cr}농도는 COD_{Mn}의 농도보다 20~100배 정도의 큰 차이를 보여 강우에 의한 난분해성물질의 유입이 큰 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 강우시 비점오염원 기원 오염물질이 수역내 유입을 최소화 하는 방안 마련이 필요함⁸⁾을 보여주고 있다.

강우량의 감소에도 불구하고 COD_{Cr}의 농도는 쉽게 낮아지지 않았으며, 하류인 송광천지점은 계속적으로 높은 농도를 유지하였다.

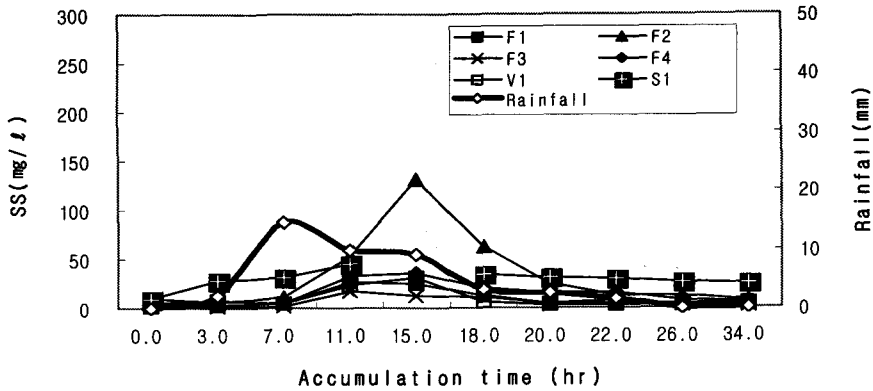


Fig. 17. Variation of SS by second rainfall.

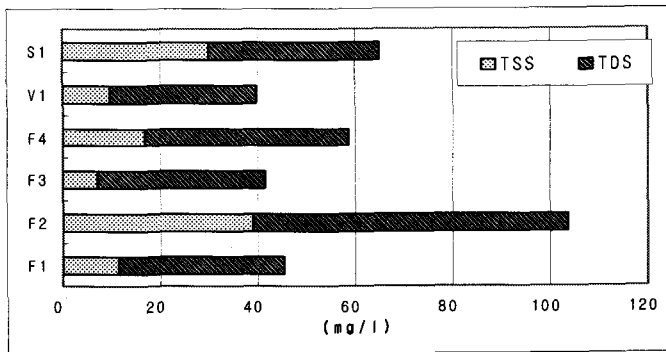


Fig. 18. Variation of solid concentration by second rainfall.

Fig. 17과 Fig. 18에 2차강우시 고형물질의 농도변화를 나타내었다. 고형물 농도 변화는 강우량이 높은 4~5회 채수시 높은 농도로 혼재지역의 부유성 고형물이 26mg/l, 활엽수지역 131.2mg/l, 초본지역 17.7mg/l, 침엽수지역 36.2mg/l, 대흥계곡 31.2mg/l 및 송광천지류는 45.3mg/l로 나타났다.

송광천지류는 1차강우시 최고농도인 272.4mg/l보다 매우 낮은 값을 보였다. 청천시의 부유고형물 농도분포가 4.6~12.5 mg/l와 비교하면 2~20배 이상의 큰 차이를 보였다. 총고형물중 용존성고형물의 농도가 높게 나타났지만, 활엽수지역과 송광천지류는 부유성 고형물의 농도가 높게 나

타났다.

Fig. 19에 2차강우시 T-N의 농도변화를 나타내었다. T-N농도는 혼재지역 0.131~1.197mg/l, 활엽수지역 0.689~1.666mg/l, 초본지역 0.260~1.602mg/l, 침엽수지역 0.238~1.270mg/l로 조사되었고, 계류수중 대흥계곡 0.140~1.430mg/l 및 송광천지류 1.070~2.326mg/l로 청천시의 농도보다 2배 이상 높게 나타났다.

또, 산림지역의 유출수는 강우량과 비슷한 변화양상을 보였으며, 하천수의 농도변화는 강우량 발생 이후에 일정 유하시간 후 농도가 높아지는 특성을 보였다.

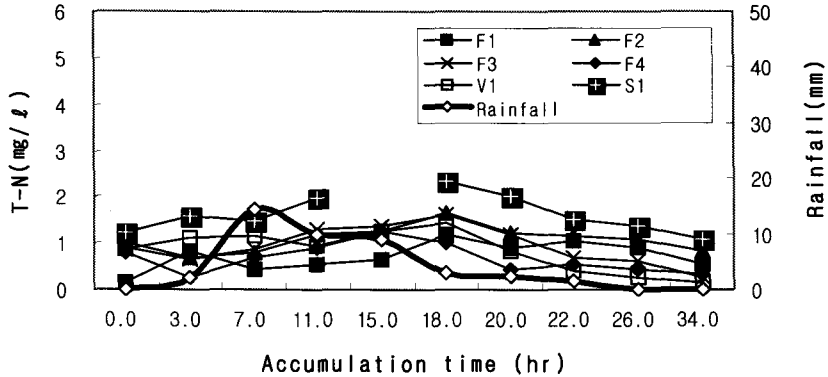


Fig. 19. Variation of T-N by second rainfall.

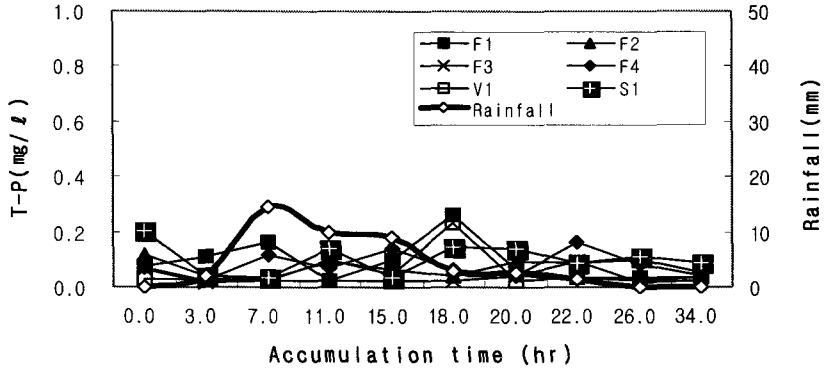


Fig. 20. Variation of T-P by second rainfall.

Fig. 20에 2차강우시 T-P의 농도변화를 나타내었다. T-P는 혼재지역 0.021~0.262 mg/l, 활엽수지역 0.031~0.117mg/l, 초본지역 0.016~0.094mg/l, 침엽수지역 0.021~0.163mg/l로 조사되었고, 계류수중 대홍계곡 0.021~0.234mg/l 및 송광천지류 0.035~0.201mg/l로 1차 강우시와 강우량이 차이는 있지만 유출농도는 큰 차이가 없었다.

강우 유출량과 상관성은 낮았으며, 농도 변화범위도 조사지점별로 차이를 보이지 않았으며, 청천시 겨울철 유출 농도 보다 낮은 농도를 보였다.

2.3. 강우사상별 유출율

평균 유출율은 강우사상에 따라 1차강우

사상 30.1%, 2차강우사상 24.8%로서, 박등^{8,13,14}이 보고한 우리나라의 유출율 53%보다 낮게 나타났다. 이는 이 지역의 임목과 식생이 우리나라 평균치보다 양호한 지역이기 때문으로 생각된다. 산림 유형별 유출율은 혼재지역 30.7%, 활엽수지역 28.7%, 초본지역 27.2% 및 침엽수지역 23.2%로서 수원함양 측면에서는 침엽수림이 유리한 것으로 나타났다. 김등⁹이 사방지의 유출율 71.3%에 비해 낮은 유출율을 보여 삼림의 홍수경감효과를 나타내고 있는 것도 살펴볼 수 있다. 삼림이 수원함양기능이 높기 때문이라고 판단되며 갈수기에도 계속 유출수를 생성하는 것으로 판단된다. 정확한 유출율의 해석을 위해서는 장기간 관찰이 필요하다고 사료된다.

주암호와 하천의 수질관리를 위해서 강우시 유량 및 수질의 자동측정 분석이 절실하며, 임목형태별 수원함양성에 대한 정밀조사 및 평가가 필요하다.

IV. 결론

임목형태별 유출수의 수질분석 결과는 다음과 같다.

1. 침엽수림지역 유출수의 연평균 농도가 BOD, CODMn, CODCr 항목이 높게 나타났다고 입자성, 난분해성물질이 높게 유출되고 있었다.
2. 활엽수림지역 유출수는 SS, T-N 및 T-P항목이 높았고, 분해성 물질이 유출되었다.
3. 계류수의 수질은 비강우시에는 매우 양호한 수질을 유지하고 있어 식수원으로 서도 가능하였다.
4. 하천별 수질은 보성강의 BOD, CODMn, CODCr의 농도가 다른 2곳의 하천보다 1.5배 높게 나타났고, 송광천은 T-N, T-P가 높아 이에 대한 관리가 필요하다.
5. 강우사상에 따른 유출율은 1차강우사상 30.1%, 2차강우사상 24.8%로서, 우리나라의 유출율 53%보다 낮게 나타났다. 이는 이 지역의 임목과 식생이 우리나라 평균치보다 양호한 지역이기 때문이다. 산림 유형별 평균 유출율은 혼재지역 30.7%, 활엽수지역 28.7%, 초본지역 27.2% 및 침엽수지역 23.2%로서 수원함양 측면에서는 침엽수림이 유리한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 이용운, 성치남, 이병희, 정선용, “주암

- 호 수질관리 전략 개발에 관한 연구”, 한국수자원공사, 1998
2. 이용운, 정선용, 배상욱, 문양수, “주암호 조류 출현종 및 거동 분석”, 환경영향평가 8(4) : 37, 1999
3. 배상욱, 이용운, 이성우, 정선용, “주암호 영양상태 및 인부하 분석”, 한국환경영향평가학회 9(4) : 291~300, 2000
4. 村岡治兩·平田健正. 溪流水質から見た森林の浄化機能を關する研究(第4報) -水收支と物質收支. 國立公害研究報告書 116 : 75~97, 1988
5. 川添 強·吉本 衛. “林地肥培か溪水の水質に及ぼす影響”, 日本試研報 314 : 39~57, 1981
6. 堤利夫. 森林の物質循環. 東京大學出版會. 東京 : 124, 1987
7. E. M THURMAN., Organic geochemistry of natural waters, 1985
8. 박재철, 이현호, “유출량의 변화가 산지 계류수의 수질변화에 미치는 영향 -팔공산 유역을 대상으로-”, 한국임학회지 89(3) : 342~355. 2000
9. 김재수, “산림이 홍수량에 미치는 영향과 소류지역 증발산량 추정”, 임연연보 35 : 69~78, 1987
10. 이종학, 김태훈, 이원규, 최경, 이천룡, 주진순, “산림의 유출조절에 관한 연구”, 임연연보 38 : 98~111, 1989
11. 유태규, 이천, “임상별 유수유출량 조사”, 임시시보 : 307~329, 1987
12. 환경부, 수질오염공정시험법, 2004
13. 정용호, 박재현, 김경하, 이봉수, “전나무림, 잣나무림 유역에서 산림시업이 산림의 수질정화기능에 미치는 영향(I)”, 한국임학회지 88(2) : 149~156, 1999
14. 박재현, “산림유역에 있어서 계류수질 평가기준 정립에 관한 고찰(I)”, 자연보존 92 : 23~38, 1995