산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제25권 B호, 2005.
Journal of Industrial Technology, Kangwon Natl. Univ., Korea, No. 25 B ,

# 소양호 상류유역의 비점오염원 유출특성에 의한 원단위 산정

# Estimation of the Unit Load by the Outflow Characteristics of Non-Point Source Pollution in the Upstream Watershed of So-yang Lake

최 한 규* 박 수 진** 김 진 수***
Choi, Han-Kuy Park, Soo-Jin Kim, Jin-Soo

## Abstract

From 2000 to 2004, the research was carried out at Naerin-cheon and Inbook-cheon, the up Soyang Lake, to study the relationship between precipitation and eutrophication-causing water p T-N and T-P. During the five years, the amount of flowing water was measured, and the wate examined under different precipitation levels. From the observation, outflow patterns of the v and changes in the water quality factors at the time of rainfall were clarified. In addition, es unit load was made for each stream; for Naerin-cheon at the time of rainfall, we estimat 1,112kg/㎢/year, T-N to be 2,077kg /㎢/year, and T-P to be 223kg/㎢/year; for Inbook-cheon rainfall, we estimated BOD to be 1,229kg/㎢ /year, T-N to be 1,565kg/㎢/year, and T-P to b For the time of no rainfall different estimation was made; for Naerin-cheon, we estimated BOI ㎢/day, T-N to be 5,004g/㎢ /day, and T-P to be 53g/㎢/day; and for Inbook-cheon, we estima 1,550g/㎢/day, T-N to be 2,283g/㎢/day, and T-P to be 42g/㎢ /day.

키워드 : *비점오염원, 원단위, 부영양화, 수질, 유출*
Keywords : *non-point source pollution, estimation of the unit load, eutrophication, water quality, outflow*

## 1. 서론

비점오염원은 면으로 분포하는 오염원으로서 대부분 강우시 유출되는 오염물질로서 농지에 살포된 비료 및 농약, 토양 침식물, 축사 유출물, 교통 오염물질, 도시지역의 먼지와 쓰레기, 자연 동·식물의 잔여물 등 토양 속에 산재해 있다가 강우시 지표유출에 의해 하천 수계에 흘러 들어가게 되므로 폐수처리가 곤란한 오염원이다. 이에 광역적으로 수질오염이 갈수록 문제가 되고 있으며, 점오염원 처리가 어느 정도 수준까지 도달한 선진국에서는 비점오염원이 가장 중요한 오염원으로 대두 되고 있으며, 비점 오염 규제를 위한 토지이용 관리를 위해 더욱 노력을 기울여야 하겠다.

우리나라에서 연구된 비점오염원단위 조사결과를 살펴보면 오염부하는 도시적 토지 이용이 크지만 오염총량에 기여율은 축산을 포함한 농업 활동이 가장 크다고 조사되었다. 비점오염유출은 수리수문조건 및 토지이용현황, 식생상태, 강우특성 등 다양한 요인에 따라 배출특성이 매우 다양하여 대상지역에 대한 개별적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 소양호에 직접적으로 유입되는 농업활동지역인 소양강 상류지역을 대상으

* 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사
** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정
*** 강원대학교 산업대학원 토목공학과 석사과정

로 하천 부영양화에 미치는 수질 인자를 대상으로 강우사상에 따른 수질인자가 변화하는 양상을 파악하고 또한 강우사상에 따른 부하량의 유출 특성을 파악한 뒤 농업지역으로부터 유출되는 원단위를 산정하여 하천오염원의 효율적인 관리방안을 위한 기초 자료를 제공하는데 본 연구의 목적이 있다.

본 연구는 고랭지 채소경작 농업활동이 활발히 이루어지고 있는 소양호 상류 유역인 내린천, 인북천 유역을 대상으로 하천 호소에 부영양화를 일으키는 BOD, T-N, T-P 오염물질 인자를 2000년 ~ 2004년 까지 5개년 동안 강우시•비강우시로 구분, 유량과 수질을 측정하여 오염물질의 유출 특성을 파악하고 강우시 수질인자가 변화하는 양상을 고찰하였다. 또한 각 유역으로부터 배출되는 오염부하량을 각 강우사상별로 산정하여, 강우사상별 오염부하량 유출 특성을 파악하였다. 또한 유출량에 따른 단위면적당 유출부하량의 회귀식을 개발하였으며, 끝으로 연간 유출 부하량을 산정하여 각 유역의 연간 유출 원단위를 제시하였다.

## 2. 대상유역선정 및 연구방법

### 2.1 대상유역 선정

비점오염물질 유출은 그 지역의 특성에 따라 차이가 크기 때문에 정확한 비점오염원단위를 산정하기는 매우 어려운 실정이다. 이에 정확한 조사지점을 선정하기에는 매우 어렵다.

따라서 정확한 오염원을 산정하기위해서는 소단위의 토지이용도를 나누어 각 토지 이용단위별로 조사하여 수질의 관계를 명확히 규명하여 특정 토지이용에서 오염발생량 및 정확한 배출량을 산정이 쉽고 또한 토지이용 변화에 따른 오염물질 배출변화를 파악하기도 쉽다. 그러나 이 연구 방법은 많은 시간의 노력과 많은 예산이 필요하며, 개연성이 떨어지는 단점이 있다.

본 연구지점은 국내 최대 인공호인 소양호 상류 유역으로 고랭지 채소재배의 농업활동이 활발히 이루어지고 있으며, 비점오염원이 다량 발생하는 것으로 판단되어 지고 있는 내린천, 인북천 유역을 조사대상 2개소 지점을 선정하여 강우시, 비강우시 구분하여 하천의 유량을 측정하고 수질조사를 실시하였다.

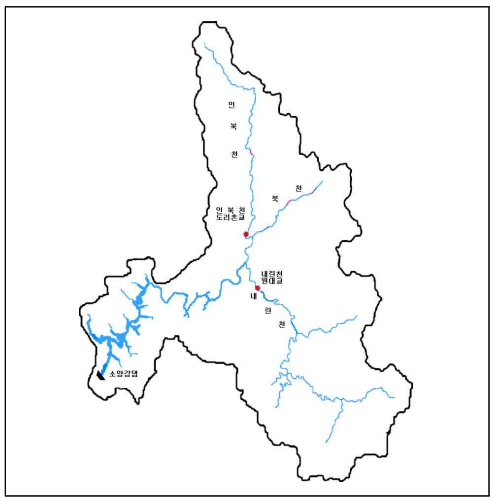



그림 1 소양강댐 유역의 하천수계 및 연구지점도

### 2.2 수질조사 방법

비점오염유출은 토지이용도나 식생상태에서 다양하게 일어나며, 강우강도, 지형 여건에 따라 큰 영향을 받기 때문에 어느 정도의 측정간격이 최적인지는 결정 할 수 없다. 또한 토지이용별 비점오염원 측정시 유출의 특성을 충분히 파악 할 수 있도록 유출시간, 강우의 상태, 강우의 오염물질 유출특성을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 소양호 상류유역을 조사지점으로 선정하여 오염원의 유출을 신뢰성 있게 파악하기 위하여 유역의 하류 지점을 선정하여 내린천은 2000년 ~ 2004년 5개년동안 총 17차, 인북천은 2001년 ~ 2004년동안 총 20차에 걸쳐 강우시 기간 동안 조사를 하였으며, 비강우시는 2000년 ~ 2004년 5개년동안 4회를 측정하였으며, 강우시는 충부한 유출이 발생될 수 있는 20mm/day 이상을 강우시로 구분하였다. 강우시는 우기 기간인 5월부터 9월까지 약 17 ~ 20 차례에 걸쳐 조사를 하였으며, 강우시는 초기강우에서 강우종료시 수위가 강우전 상태를 기준으로 하여 측정을 하였다.

본 연구의 조사항목으로는 수온, DO, 생물학적 산소요구량(BOD), 총질소(T-N), 총인(T-P) 5항목을 분석하였다. 현장에서 수온, DO는 채취동시에 현장에서 고정한 뒤 azide modification법으로 실험실에서 분석하였다. 조사지점에서 채수한 시료는 빠른 시간 안에 실험실로 운반하여 냉장보관 후에 분석을 실시하였으며, 분석항목은 수질오염공정시험법에 준하여 측정하였다. 분석항목 및 분석방법은 표 에 도시하였다.

표 1 분석항목 및 분석방법

| 조사항목 | 분 석 방 법 |
|---|---|
| 수온 | 수은온도계로 현장측정 |
| DO | azide modification |
| BOD | 20℃ 암실 5일간 배양 후 용존산소 농도차로 계산 |
| T-N | 전처리 persulfate digestion법/ 측정 cadmium reduction법 |
| T-P | 전처리 persulfate digestion법으로 전처리 하고 ascorbic acid 법으로 측정 |

### 2.3 연구방법

1) 강우량 산정

본 연구지점의 강우량을 산정하기 위하여 각 연구지점 유역에 영향을 주는 관측소를 선정하여 연구기간 동안의 강우량을 산정하였다. 인북천유역의 경우 서화관측소, 원통관측소의 자료를 인용하여 연강우량을 산정하였다.

내린천 유역은 현리, 창촌, 인제, 군량, 상남, 귀둔, 방동 관측소 지점의 Thissen망도를 작도하여 각 관측소의 강우량에 가중치를 적용한 유역평균 강우량 자료를 산정하였다.

표 2 연구지점 유역의 강우량 관측소

| 유역명 | | 소양강댐 전체유역 | 인북천 유역 | 내린천 유역 |
|---|---|---|---|---|
| 유역면적 (㎢) | | 2703 | 499.7 | 1075 |
| 면적비(%) | | 100 | 18 | 40 |
| THISSEN 가중비 | 서화 | 0.1804 | 0.89310 | |
| | 원통 | 0.05836 | 0.1069 | |
| | 현리 | 0.05043 | - | 0.12756 |
| | 창촌 | 0.09498 | - | 0.24042 |
| | 인제 | 0.07858 | - | 0.02558 |
| | 용대 | 0.10561 | - | - |
| | 군량 | 0.05436 | - | 0.08111 |
| | 상남 | 0.12031 | - | 0.17889 |
| | 귀둔 | 0.05873 | - | 0.14414 |
| | 방동 | 0.07991 | - | 0.20230 |
| | 추양 | 0.10561 | - | - |
| | 신풍 | 0.04081 | - | - |

연구지점의 연강우량을 분석한 결과 내린천유역은 2000년 1169mm, 2001년 949mm, 2002년 1313mm, 2003년 1759mm, 2004년 1545mm로 분석되었으며, 인북천 유역의 경우 2001년 879mm, 2002년 916mm, 2003년 1475mm, 2004년 1231mm로 분석되었다.

표 3 내린천 유역의 강우시 조사기간 및 강우량

| 조사년도 | 강우사상 | 조사기간 | 강우량(mm) 조사기간강우량 | 조사기간총강우량 | 연평균강우량 | 연간총강우량 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2000 | 1 | 8.25 ~ 26 | 132 | 206 | 1175 | 1169 |
| | 2 | 9.15 ~ 16 | 74 | | | |
| 2001 | 1 | 7.23 | 128 | 228 | 1153 | 949 |
| | 2 | 7.31 | 100 | | | |
| 2002 | 1 | 7.23 | 65 | 562 | 1153 | 1313 |
| | 2 | 8.5 ~ 9 | 363 | | | |
| | 3 | 8.31 ~ 9.1 | 134 | | | |
| 2003 | 1 | 7.22 ~ 23 | 137 | 529 | 1188 | 1759 |
| | 2 | 8.20 | 58 | | | |
| | 3 | 8.24 ~ 25 | 139 | | | |
| | 4 | 9.13 | 70 | | | |
| | 5 | 9.18 ~ 19 | 125 | | | |
| 2004 | 1 | 7.5 | 10 | 316 | 1242 | 1545 |
| | 2 | 7.7 ~ 8 | 50 | | | |
| | 3 | 7.13 | 97 | | | |
| | 4 | 8.18 ~ 19 | 117 | | | |
| | 5 | 9.13 | 42 | | | |

표 4 인북천 유역의 강우시 조사기간 및 강우량

| 조사년도 | 강우사상 | 조사기간 | 강우량(mm) 조사기간 총강우량 | 조사기간 총강우량 | 연평균강우량 | 연 간 총강우량 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2001 | 1 | 7.15 | 204 | 304 | 977 | 879 |
| | 2 | 7.30 ~ 31 | 100 | | | |
| 2002 | 1 | 7.6 | 32 | 311 | 969 | 916 |
| | 2 | 8.5 ~ 8 | 179 | | | |
| | 3 | 8.31 ~ 9.1 | 100 | | | |
| 2003 | 1 | 6.27 ~ 28 | 31 | 864 | 1051 | 1475 |
| | 2 | 7.8 ~ 10 | 50 | | | |
| | 3 | 7.18 ~ 19 | 48 | | | |
| | 4 | 7.21 ~ 25 | 128 | | | |
| | 5 | 8.5 ~ 7 | 101 | | | |
| | 6 | 8.19 ~ 21 | 96 | | | |
| | 7 | 8.23 ~ 25 | 225 | | | |
| | 8 | 9.5 | 26 | | | |
| | 9 | 9.12 ~ 13 | 72 | | | |
| | 10 | 9.18 ~ 19 | 87 | | | |
| 2004 | 1 | 5.28 ~ 29 | 36 | 557 | 1095 | 1231 |
| | 2 | 6.19 ~ 21 | 94 | | | |
| | 3 | 7.4 ~ 6 | 50 | | | |
| | 4 | 7.12 ~ 14 | 176 | | | |
| | 5 | 8.16 ~ 19 | 201 | | | |

2) 유량산정

유량을 계산하는 방법은 산술계산법, 등유속선법, 유심-속도적분법이 있다. 수심-속도적분법과 등유속선법은 도해법이며 산술계산법은 평균단면법(Mean-Section Method)과 중간단면법(Mid-Section Method)으로 나눌 수 있다.

본 연구에서 사용한 방법은 평균단면법을 사용하여 유량을 산정하였다.

3) 유량가중 평균 농도(Event mean oncentration)

본 연구에서는 강우시 비점오염원 유출수의 유출특성을 잘 나타내는 유량가중 평균 농도를 선정하여 제시하였다. 유량가중 평균 농도를 산정하는 방법으로는 오염물질에 유량을 곱하여 부하량을 산정한뒤 다시 이를 더하여 누적 부하량을 산출한 뒤 최종적으로 누적부하량을 각 강우사상에 대한 누적 유량을 나누어 산정하였다.

FWMC (Flow-weighted mean concentration)

$$= \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i}$$

$\sum Q_i C_i$ : $i$ 번째 강우 사상의 누적 부하량

$\sum Q_i$ : $i$ 번째 강우 사상의 누적 유출량

4) 연간 유출부하량 산정

본 연구에서는 연간 유출 오염 부하량을 산정하기 위하여 연평균 강우량과 조사시기의 강우량의 비를 이용하여 산정하였다. 산정방법으로는 각 연구기간 동안의 부하량을 누적시킨 다음 조사기간의 강우량을 모두 합하여 연구기간 동안의 총강우량을 구한뒤 여기에 연평균 강우량을 나눈 비를 이용하여 산정하였다.

연간 오염 유출부하량 (kg/year) =

$$\text{조사기간유출부하량}(kg/event) \times \frac{\text{연평균강우량}(mm)}{\text{조사기간의총강우량}(mm)}$$

5) 원단위 산정

비점오염원단위를 간단히 정의하면 단위시간당 단위토지면적에서 배출되는 오염물질량을 말하며, 단위는 일반적으로 비점오염부하량(kg 또는 ton) / 면적(ha 또는 ㎢) / 시간(year 또는 day)로 나타낸다.

본 연구에서는 강우시 비점오염원이 유출되는 양을 실측해서 원단위를 산정하였으며, 이는 유출부하 원단위에 해당된다.

원단위 (kg/ha/year) = $\sum C_i Q_i \times f / A$

여기서;

$C_i$ : $i$번째 강우사상에 대한 유량가중평균 농도

$Q_i$ : $i$번째 강우사상의 유출량(㎥/event)

$f$ : 연 평균강우량 / 조사기간 동안 총 강우량

$A$ : 유역면적

## 3. 분석 및 고찰

### 3.1 연구지점의 유량-수질 변동

1) 내린천 유역의 유량-수질 변동

연구기간 중 BOD는 수질농도 4.70㎎/ℓ 로 2003년 1차 조사기간인 7월22일 ~ 23일에 가장 크게 나타났으며, T-N은 수질농도 11.8㎎/ℓ 로 2002년 1차 조사기간인 7월23일에 가장 크게 나타났다. 또한 T-P는 수질농도 2.01㎎/ℓ로 2003년 3차 조사기간인 8월24일~25일에 가장 크게 나타났다.

수질농도는 초기 강우시에 높게 나타났으며, 유량이 증가함에 따라 초기 강우에 비해 수질농도가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이는 초기 강우에 오염물질이 크게 발생하며, 강우가 지속될수록 강우에 의한 희석효과로 인해 오염물질이 작게 지속적으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 그림 2~6는 내린천 원대교 지점의 유량-수질 변화 모습을 나타내었다.

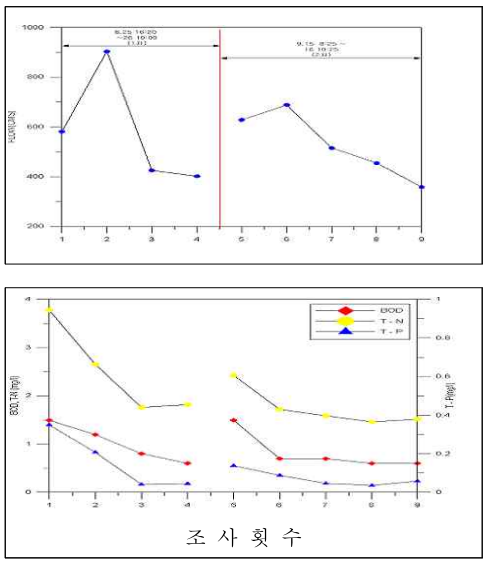



그림 2 2000년 강우시 내린천 유역의 유량에 따른 수질 변동

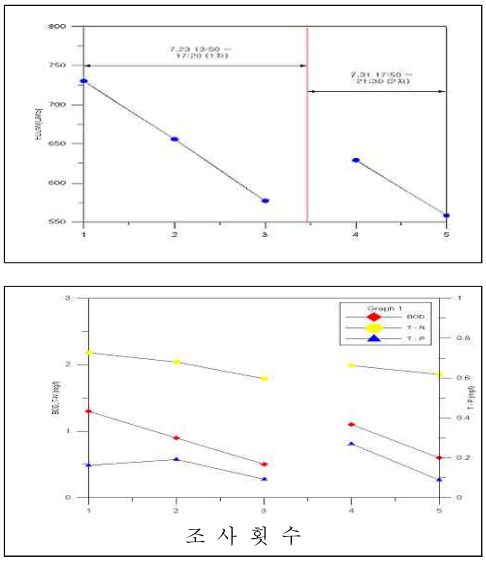



그림 3 2001년 강우시 내린천 유역의 유량에 따른 수질 변동

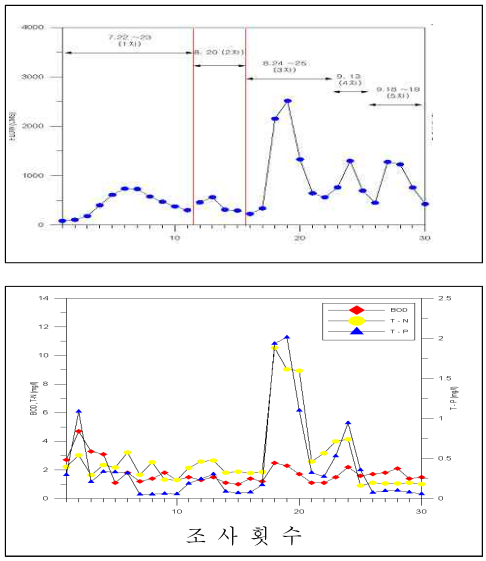



그림 5 2003년 강우시 내린천 유역의 유량에 따른 수질 변동

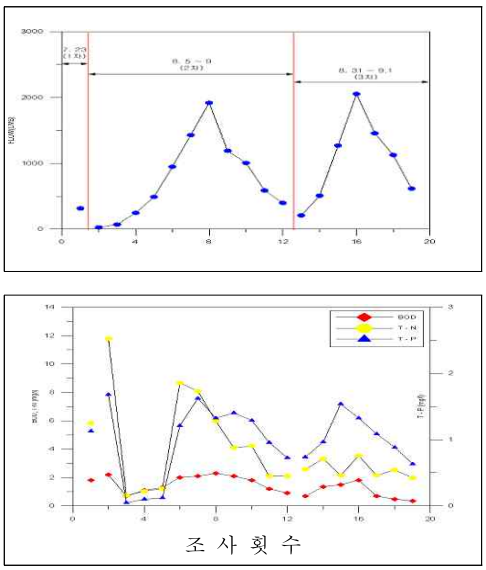



그림 4 2002년 강우시 내린천 유역의 유량에 따른 수질 변동

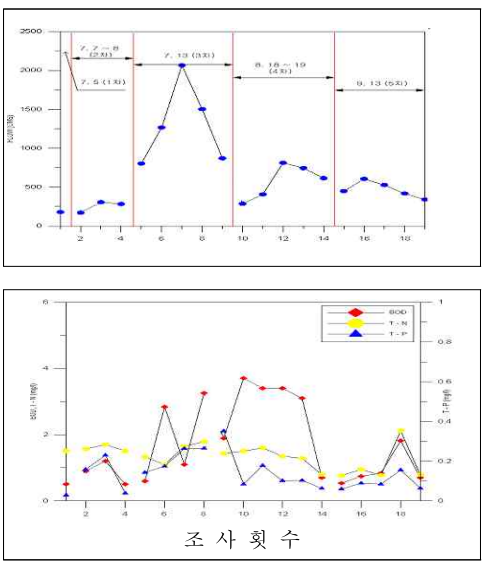



그림 6 2004년 강우시 내린천 유역의 유량에 따른 수질 변동

2) 인북천 유역의 유량-수질 변동

인북천 도리촌교 정점의 강우시 조사 기간동안의 수질 농도 범위를 살펴보면 2001년 BOD 2.0㎎/ℓ~5.8㎎/ℓ, T-N 0.7㎎/ℓ~11.8㎎/ℓ, T-P 0.1㎎/ℓ~1.7㎎/ℓ, 2002년 BOD 0.41㎎/ℓ~5.0㎎/ℓ, T-N 1.02㎎/ℓ~9.5㎎/ℓ, T-P 0.03㎎/ℓ~3.84㎎/ℓ, 2003년 BOD 0.10㎎/ℓ~5.3㎎/ℓ, T-N 0.46㎎/ℓ~3.33㎎/ℓ, T-P 0.01㎎/ℓ~3.84㎎/ℓ, 2004년 BOD 0.32㎎/ℓ~ 4.40㎎/ℓ, T-N 0.87㎎/ℓ~2.88㎎/ℓ, T-P 0.02㎎/ℓ~1.0㎎/ℓ로 나타났다. 조사기간중 BOD는 5.8㎎/ℓ로 2001년 1차 조사기간인 7월 15일에 가장 높게 나타났으며, T-N은 9.5㎎/ℓ로 2002년 1차 조사기간인 7월 6일에 가장 높게 나타났다. 또한 T-P는 3.84㎎/ℓ로 2002년 1차 조사기간인 7월 6일에 높게 나타났다.

수질농도는 초기 강우시에 높게 나타났으며, 유량이 증가하면서 초기 강우에 비해 수질 농도가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이는 강우에 의한 희석효과로 인해 강우가 지속될수록 오염물질은 지속적으로 작게 유출되는 것을 알 수 있다.

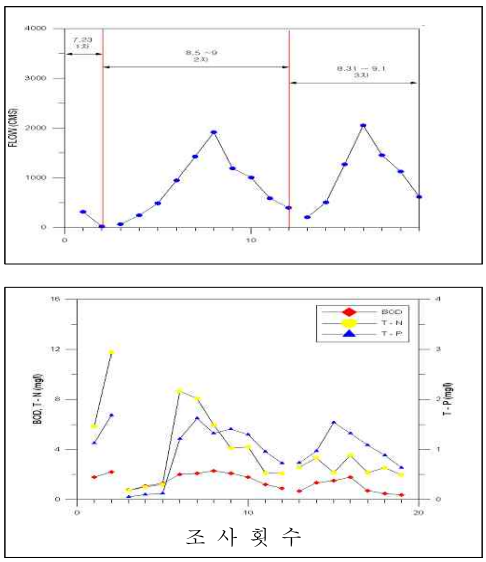



그림 8 2002년 강우시 인북천 유역의 유량에 따른 수질 변동

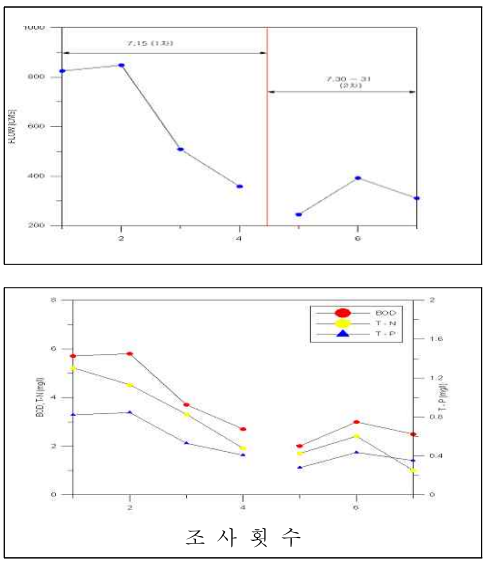



그림 7 2001년 강우시 인북천 유역의 유량에 따른 수질 변동

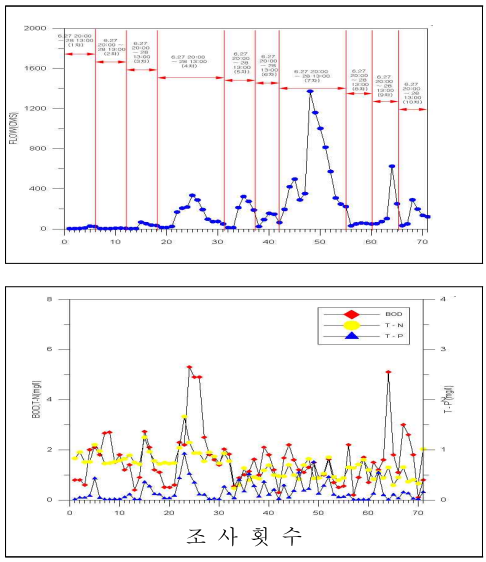



그림 9 2003년 강우시 인북천 유역의 유량에 따른 수질 변동

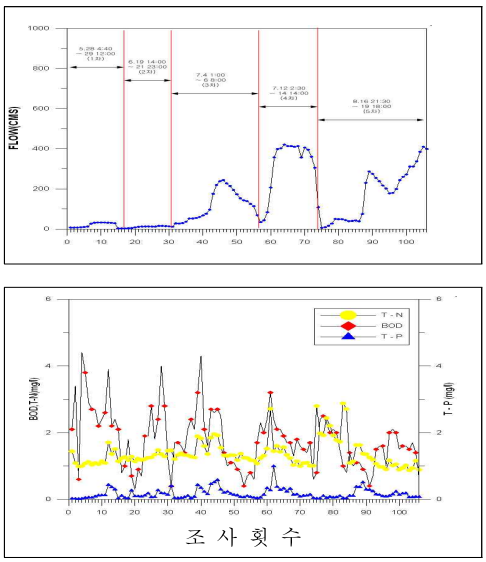



그림 10 2004년 강우시 인북천 유역의 유량에 따른 수질 변동

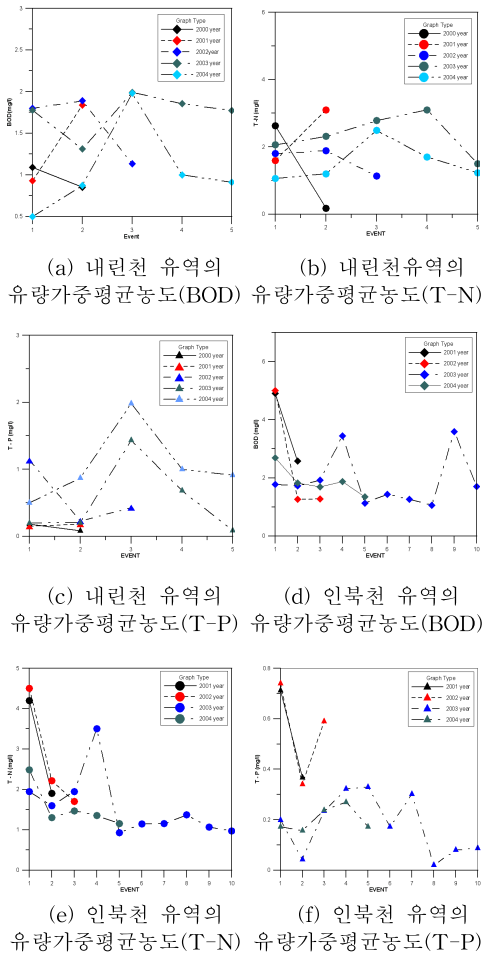
### 3.2 유량가중 평균 농도

내린천의 경우 평균적으로 강우시에는 BOD 1.0㎎/ℓ~1.74㎎/ℓ, T-N 1.23㎎/ℓ~3.67㎎/ℓ, T-P 0.12㎎/ℓ~0.9㎎/ℓ의 범위를 나타내었다. 이는 하천 수질등급 2급수에 해당하는 수질을 보였다.

비강우시 기간의 평균 수질농도 범위를 살펴보면 BOD 0.73㎎/ℓ~0.80㎎/ℓ, T-N 1.29㎎/ℓ~1.90㎎/ℓ, T-P 0.012㎎/ℓ~ 0.02㎎/ℓ로 비강우시 기간에는 1등급의 수질 급수를 보였다.

인북천 유역의 경우 강우시 수질농도를 살펴보면 평균적으로 BOD 1.89㎎/ℓ~3.74㎎/ℓ, T-N 1.30㎎/ℓ~4.20㎎/ℓ, T-P 0.18mg/l~0.54㎎/ℓ의 범위를 나타내었다. 이는 하천 수질등급 3급수에 해당된다.

비강우시기간의 수질평균농도 범위는 BOD 0.7㎎/ℓ~1.3㎎/ℓ, T-N 1.1㎎/ℓ~1.5㎎/ℓ, T-P 0.01㎎/ℓ~0.02㎎/ℓ로 하천수질등급 2등급의 수질급수를 보였으며, 아래 표 4.1에서 보는바와 같이 강우시 기간에 수질이 급격이 나빠지는 것을 알 수 있다.




(a) 내린천 유역의 유량가중평균농도(BOD)
(b) 내린천유역의 유량가중평균농도(T-N)
(c) 내린천 유역의 유량가중평균농도(T-P)
(d) 인북천 유역의 유량가중평균농도(BOD)
(e) 인북천 유역의 유량가중평균농도(T-N)
(f) 인북천 유역의 유량가중평균농도(T-P)

그림 11 연구지점별 유량 가중 평균농도

### 3.3 연간 유출부하량 산정

각 연구지점의 연평균 강우량비를 이용하여 강우시 연간유출부하량을 산정하였으며, 그 결과 평균적으로 내린천 유역의 경우 BOD(1,195ton), T-N(2,232ton), T-P(240ton)의 오염부하량이 유출되었으며, 인북천의 경우 BOD(614ton), T-N(781ton), T-P(127ton)의 오염부하량이 유출되었다.

표 5 연구지점별 강우시 연간유출부하량 산정

| 유역명 | 연도 | BOD (ton) | T-N (ton) | T-P (ton) | 강우량(mm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 내린천 | 2000 | 984 | 2,279 | 138 | 1,169 |
| | 2001 | 743 | 1,075 | 90 | 949 |
| | 2002 | 1,328 | 3,568 | 373 | 1,313 |
| | 2003 | 1,184 | 3,005 | 453 | 1,759 |
| | 2004 | 1,737 | 1,233 | 146 | 1,545 |
| | **평 균** | **1,195** | **2,232** | **240** | **1,347** |
| 인북천 | 2001 | 511 | 414 | 73 | 879 |
| | 2002 | 804 | 1,884 | 285 | 916 |
| | 2003 | 553 | 372 | 70 | 1,475 |
| | 2004 | 587 | 456 | 79 | 1,231 |
| | **평 균** | **614** | **781** | **127** | **1,125** |

### 3.4 비 강우시 유출부하량 산정

각 연구지점의 비강우시 유출부하량을 산정 하였으며, 산정방법으로는 측정기간 동안의 수질농도를 산술 평균한 뒤 유출량을 곱하여 유출부하량을 산정하였다.

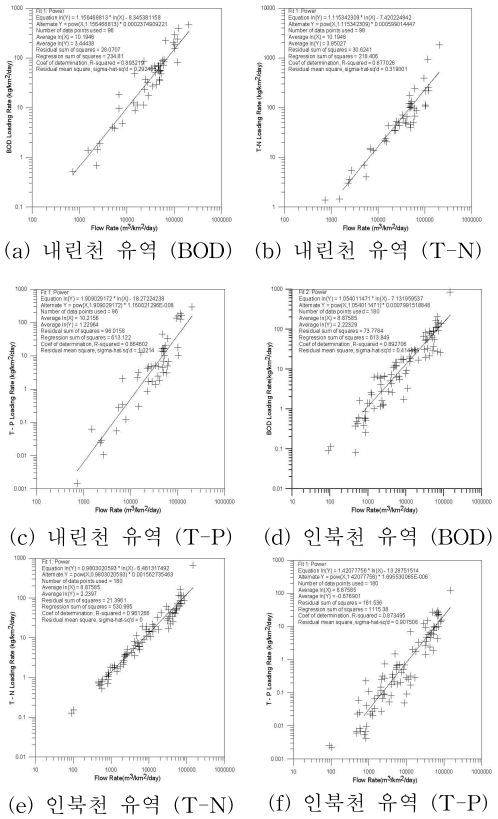
내린천 의 경우 BOD(2.6ton/day), T-N(5.4ton/day), T-P(58kg/day)가 유출되었으며, 인북천의 경우 BOD(0.78ton/day), T-N(1.14ton/day), T-P(21kg/day)가 유출되었다.

표 6 연구지점별 비강우시 오염유출부하량

| 유역명 | 연 도 | BOD (kg/day)) | T-N (kg/day) | T-P (kg/day) |
|---|---|---|---|---|
| 내린천 | 2003 | 3,044 | 6,738 | 71 |
| | 2004 | 2,124 | 4,022 | 46 |
| | **평균 부하량** | **2,584** | **5,380** | **58** |
| 인북천 | 2000 | 649 | 934 | 16 |
| | 2001 | 235 | 350 | 6 |
| | 2002 | 1,585 | 1,951 | 43 |
| | 2003 | 499.5 | 1,397 | 25 |
| | 2004 | 905 | 1,075 | 18 |
| | **평균 부하량** | **775** | **1,141** | **21** |

### 3.5 면적대비 유출량과 오염부하량 의 회귀분석

회귀분석을 실시하기에 앞서 유출량과 오염부하량의 상관성 유무를 판정하여 보기위하여 각 지점별로 BOD, T-N, T-P 의 상관계수값을 산정하였다. 상관분석 결과 내린천의 경우 각 항목별로 0.77~0.89의 범위의 값을 보였으며, 인북천의 경우 0.75~0.77의 값을 보였다. 이에 따라 각 항목값이 유출량-오염부하량의 관계가 상당한 상관성을 보임을 확인할 수 있었다. 이에 각 연구지점별 회귀분석을 실시하였으며, 그 산정 값은 아래 표와 같다.



(a) 내린천 유역 (BOD) (b) 내린천 유역 (T-N)

(c) 내린천 유역 (T-P) (d) 인북천 유역 (BOD)

(e) 인북천 유역 (T-N) (f) 인북천 유역 (T-P)

그림 12 연구지점별 유출량 - 오염부하량의 상관도

표 7 유출량 - 오염부하량의 회귀식

| 유역명 | 항목 | 회귀식 | 회귀계수($R^2$) |
|---|---|---|---|
| 내린천 | BOD | $L=(2.37491E-4)\times Q^{1.1564}$ | 0.89 |
| | T-N | $L=(5.99014E-4)\times Q^{1.11534}$ | 0.88 |
| | T-P | $L=(1.16002E-8)\times Q^{1.90903}$ | 0.86 |
| 인북천 | BOD | $L=(7.99152E-4)\times Q^{1.05401}$ | 0.89 |
| | T-N | $L=(1.56273E-3)\times Q^{0.98032}$ | 0.96 |
| | T-P | $L=(1.69553E-6)\times Q^{1.42078}$ | 0.87 |

3.6 원단위 산정

**1) 강우시 원단위 산정**

연 평균 강우량 비를 이용하여 2001년부터 2004년간의 평균 원단위를 연구지점별로 산정한 결과 내린천 유역의 경우 BOD : 1,112kg/㎢/year, T-N : 2,077kg/㎢/yeay, T-P : 223kg/㎢/year로 산정되었으며, 인북천 유역의 경우 BOD : 1,229kg/㎢/year, T-N : 1,565kg/㎢/year, T-P : 255kg/㎢/year의 값을 산정할 수 있었다. 내린천, 인북천 유역을 서로 비교 하였을 때 두 지점 모두 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 8 연구지점별 강우시 원단위산정

| 유역명 | 연도별 | BOD (kg/㎢ /year) | T-N (kg/㎢ /year) | T-P (kg/㎢ /year) |
|---|---|---|---|---|
| 내린천 | 2000 | 915 | 2,120 | 128 |
| | 2001 | 691 | 1,000 | 84 |
| | 2002 | 1,236 | 3,320 | 347 |
| | 2003 | 1,102 | 2,795 | 421 |
| | 2004 | 1,616 | 1,148 | 136 |
| | **평균 원단위** | **1,112** | **2,077** | **223** |
| 인북천 | 2001 | 1,023 | 829 | 148 |
| | 2002 | 1,609 | 3,771 | 572 |
| | 2003 | 1,108 | 745 | 141 |
| | 2004 | 1,176 | 913 | 159 |
| | **평균 원단위** | **1,229** | **1,565** | **255** |

2) 비강우시 원단위 산정

일유출량을 이용하여 각 연구지점별 비강우시 평균원단위를 산정 하였으며, 산정한 결과 내린천 유역의 경우 BOD : 2,403g/㎢/day, T-N : 5,004g/㎢/day, T-P : 53g/㎢/day로 산정되었으며, 인북천 유역의 경우 BOD : 1,550g/㎢/day, T-N : 2,283g/㎢/day, T-P : 42g/㎢/day의 값을 산정할 수 있었다. 내린천과 인북천을 비교 하였을 때 내린천 유역이 다소 높게 산정 되었다. 이는 유역내 점오염원의 영향으로 내린천 유역이 다소 높게 산정된 것으로 사료된다.

표 9 연구지점별 비강우시 원단위산정

| 유역명 | 연도별 | BOD (g/㎢ /day) | T-N (g/㎢ /day) | T-P (g/㎢ /day) |
|---|---|---|---|---|
| 내린천 | 2003 | 2,831 | 6,268 | 66 |
| | 2004 | 1,975 | 3,741 | 43 |
| | **평균 원단위** | **2,403** | **5,004** | **53** |
| 인북천 | 2000 | 1,299 | 1,869 | 32 |
| | 2001 | 470 | 700 | 12 |
| | 2002 | 3,171 | 3,904 | 86 |
| | 2003 | 999 | 2,795 | 50 |
| | 2004 | 1,811 | 2,151 | 36 |
| | **평균 원단위** | **1,550** | **2,283** | **42** |

## 4. 결 론

본 연구는 소양호 상류유역을 대상으로 비점오염원 유출특성 관찰과 비점오염원 원단위 산정을 위하여 강우시, 비강우시 수질조사 및 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

1) 강우시와 비강우시 수질 농도를 비교한 결과 내린천의 경우 비강우시는 하천수질등급 1등급을 보이다가 강우시에는 2등급으로 수질이 악화되는 것을 알 수 있었다. 인북천 유역의 경우 비강우시는 1~2등급의 수질을 보이다가 강우시에는 3등급으로 수질이 급격히 악화되는 것을 볼 수 있었다.

2) 유역면적대비 유출량에 따른 오염부하량의 상관성을 분석 한 결과 내린천의 경우 각 수질항목 모두 상관계수가 0.77 ~ 0.89의 상관성을 보이고 있으며, 인북천의 경우 0.75 ~ 0.77로 두 지점 모두 유출량에 따른 오염부하량이 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다.

3) 유역면적대비 유출량에 따른 오염부하량의 회귀분석을 실시하여 결정계수가 높은 각 항목에 대하여 다음과 같은 회귀식을 개발 할 수 있었다.

내 린 천

$$\mathrm{BOD(L)} = (2.37491E-4) \times Q^{1.15646}$$
$$\mathrm{T\text{-}N(L)} = (5.99014E-4) \times Q^{1.11534}$$
$$\mathrm{T\text{-}P(L)} = (1.16002E-8) \times Q^{1.90903}$$

인 북 천

$$\mathrm{BOD(L)} = (7.99152E-4) \times Q^{1.05401}$$
$$\mathrm{T\text{-}N(L)} = (1.56273E-3) \times Q^{0.98032}$$
$$\mathrm{T\text{-}P(L)} = (1.69553E-6) \times Q^{1.42078}$$

4) 각 연구지점별 원단위를 산정한 결과는 다음과 같으며, 비점오염원 의 효율적 관리방안 마련

을 위한 기초 자료로 활용 될 수 있을 것이다. 강우시 기간동안 내린천 유역의 경우 BOD : 1,112kg/㎢/year, T-N : 2,077kg/㎢/yeay, T-P : 223kg/㎢/year로 산정되었으며, 인북천 유역의 경우 BOD : 1,229kg/㎢/year, T-N : 1,565kg/㎢/year, T-P : 255kg/㎢/year의 값을 산정할 수 있었다.

비강우시 기간동안은 내린천 유역의 경우 BOD : 2,403g/㎢/day, T-N : 5,004g/㎢/day, T-P : 53g/㎢/day로 산정되었으며, 인북천 유역의 경우 BOD : 1,550g/㎢/day, T-N : 2,283g/㎢/day, T-P : 42g/㎢/day의 값을 산정할 수 있었으며, 내린천 유역과 인북천 유역을 비교 하였을 때 내린천 유역이 다소 높게 산정 되었다. 이는 내린천 유역이 인북천 유역에 비해 유역내 거주인구가 많고 축산 폐수 등 점오염원의 영향으로 다소 높게 선정된 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

[1] 박승우 외, "소유역의 토지지용에 따른 비점원 오염부하량", 1997.
[2] 환경부, "비점오염원 조사 연구", 1995.
[3] 심수용, "우리나라의 비료와 사료에 기인하는 비점오염원의 질 소, 인 배출량", 1998.
[4] 이현동, 안재환, 배철호, 김운지, "강우시 유출부하량을 이용한 팔당 상수원 유역의 비점오염원 원단위와 발생량추정", 2001.
[5] 한국수자원공사, "소양강 다목적댐 비점오염물질 유입특성 및 개선방안연구(1차년도)", 2003.
[6] 한국수자원공사, "소양강 다목적댐 비점오염물질 유입특성 및 개선방안연구(2차년도)", 2004.
[7] 한국 환경 정책평가 연구원, "농업지역 비점오염원 관리방안 연구", 1998.
[8] 환경부, "팔당상수원 비점오염원 최적관리사업 타당성조사 및 기본계획 수립", 2000.
[9] 안미희, "비점오염원의 원단위 오염부하량에 대한 실험적연구", 서울대학교 보건대학원, 1995.
[10] 최종수, "도시지역 비점오염원의 적정 저감방안", 대한환경공학회, 2003 추계학술 연구회, 2003.
[11] 엄재성, "소양강 상류 농업지역의 비점오염물질의 유출특성", 강원대학교 대학원, 2004.
[12] 최한규, 백경원, 오기호, 최용묵, "유량변동에 따른 소양강 유역 수질의 통계학적 해석", *대한토목학회논문집*, 제 22권 제2-13호, pp.117~124, 2001.
[13] Amy G.L, "Using NOM characterization for the evaluation of treatment", In Proc. Workshop on NOM in drinking water, Chamonix, France(Sep. 19-22), 1993.
[14] Bradford, R, "Nitorgen and Phosphorus Losses from Agronomy Plots in North Alabama", EPA-660/2-74-033, 1974.
[15] Carreker, J.R et al, "Using Poultry Litter, Irrigation and Tall Fespue for NO-Till Corn Production", *journal of Environmental Quality,* 2(4) : 497-500, 1973.
[16] Behrendt. H, "A comparison of different methods of source apportionment of nutrient to river basins." *Water Sci. Technol.,* 39(12), 179~187, 1999.
[17] Usepa, "BMPs for Agricultural Nonpoint Source Control", North Carolina, 1982.