

소양강 지류하천의 유량변동에 따른 비점오염물질 유출특성

The out flow a property to the non-point source pollution by the discharge variation of the branch a river in the so-yang river

박 수 진* , 최 창 호** , 박 재 국*** 최 한 규****
Park Soo-Jin, Choi Chang-Ho, Park Jse-Kuk, Choi Han-Kuy

요 지

비점오염원은 면으로 분포하는 오염원으로 강우시 지표유출에 의해 유출되기 때문에 발생 지점 및 발생량 추정이 어려우며, 이에 대한 처리가 어려운 실정이다. 현재 점오염원의 처리는 어느 정도 도달한 선진국에서는 비점오염원이 가장 중요한 오염원으로 대두되고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 소양호 상류유역의 지류하천인 내린천, 인북천, 북천을 대상으로 부영양화를 일으키는 수질인자 BOD, COD, SS, T-N, T-P를 대상으로 강우량에 따른 수질농도가 변화하는 양상을 고찰하였다. 연구결과, 강우시 기간이 6월 ~ 8월에 오염물질의 유출이 크게 발생하는 것을 알 수 있었으며, 연구지점 모두 비강우시에는 1급수의 수질상태를 보였으나, 강우시에는 3급수 이하의 수질로 악화되는 것을 알 수 있었다. 또한, 각 지류하천으로부터 유입되는 부하량을 추정하여 유역면적대비 유출량 - 오염부하량의 회귀식을 작성하였다. 끝으로, 유출량비를 이용하여 각 지류 하천의 유역면적대비 연간 총 오염유출량을 산정하였다.

핵심용어 : 유출량, 오염부하량, 회귀분석, 유량가중평균농도, 소양강유역

1. 서 론

본 연구는 소양호 상류유역의 대단위 고랭지 농업 활동이 이루어 지고 있는 소양댐 지류 하천인 내린천, 인북천, 북천 유역을 선정하여 하천 및 호소수의 부영양화를 일으키는 수질인자 BOD, COD, T-N, T-P를 대상으로 2008년 1년 동안 강우시, 비강우시로 구분하여 유량과 수질을 측정하였다. 수질 자료를 토대로 유량에 따른 수질농도가 변화하는 양상을 고찰하였으며, 각 지류하천으로부터 유입되는 오염부하량을 추정하여 유출량 - 오염부하량의 회귀선을 작성하였다. 또한, 각 하천유역에서의 연간 단위면적당 오염 유출 부하량을 산정하였으며, 면적대비 유출량에 따른 오염부하량의 통계학적 분석 방법인 회귀분석을 통하여 회귀식을 제안하였다.

2. 연구지점 선정 및 연구방법

2.1 연구지점 선정 및 우량관측소 선정

* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정수료·E-mail : parksj@kangwon.ac.kr
** 강원대학교 산업대학원 토목공학과 석사과정
*** 강원대학교 산업대학원 토목공학과 석사과정
**** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사·E-mail : hankuy@kangwon.ac.kr

본 연구지점은 국내 최대 인공호인 소양호 상류유역의 지류하천으로 유역의 형태가 고랭지 채소배단지 및 산지로 형성 되어있어 강우시 다량의 비점오염원이 발생하는 내린천, 인북천, 북천 유역 등 3개지점을 선정하여 본 연구를 수행하였다. 아래 그림 1은 소양강댐 유역의 주요하천 수계 및 연구지점도를 나타내었다. 다음으로 연구지점의 강우량을 산정하기 위하여 연구지점 유역에 영향을 주는 우량관측소를 선정하여 관측소 지점의 강우량에 Thissen가중치를 적용하여 조사기간 동안의 강우량을 산정하였다. 아래 표1은 연구지점 유역의 강우량 관측소를 나타내었다.



그림 1. 소양강댐 유역의 주요하천 및 연구지점도

표 1. 연구지점 유역의 강우량 관측소

유역명	소양강댐 전체유역	인북천 유역	내린천 유역	북천 유역
유역면적(km ²)	2703	499.7	1075	-
면적비(%)	100	18	40	-
T H I S S E N 가 중 비	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	-	-
	신평	0.04081	-	-
	백담사	0.0483	-	-
용대	0.07832	-	-	
원통	0.0561	-	-	
				0.454
				0.538
				0.065

2.2 수질조사 및 유량측정

본 연구를 위하여 연구지점 유역의 오염원의 유출특성을 신뢰성 있게 파악하기 위하여 유역의 하류지점을 선정하여 강우시, 비강우시를 구분하여 유량과 수질을 측정하였다. 채수된 시료는 실험실로 즉시 운반하여 수질오염공정법에 준하여 측정하였다.

유량측정은 홍수시에는 전자과 표면 유속계를 이용하여 측정하였으며, 비강우시 기간은 일반적으로 사용하는 회전식 유속계를 사용하여 유속을 측정하였다. 유량계산은 평균단면법을 사용하여 계산하였다.

2.3 연간 유출부하량 산정

본 연구에서는 연간유출부하량을 산정하기 위하여 연간 총유출량과 조사기간 동안의 유출량비를 이용하여 산정하였다. 산정 방법은 아래 식에 나타내었다.

$$\text{연간 오염 유출부하량 (kg/year)} =$$

$$\text{조사기간유출부하량}(kg/event) * \frac{\text{연간유출량}(m^3/year)}{\text{조사기간의 유출량}(m^3/sec)}$$

3. 분석 및 고찰

3.1 유출량에 따른 수질농도 변화

조사기간 동안의 실측자료를 이용하여 유량가중평균농도를 산정하여 강우량에 따른 수질농도가 변화하는 양상을 고찰하였으며 고찰결과, 연구지점 모두 모든 수질농도에서 강우량이 증가 할수록 오염농도가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 특히, 초기 강우에서 오염농도가 크게 나타났으며 또한, 강우가 지속될 수 록 오염의 농도가 작게 지속적으로 발생하였다. 아래 그림 3은 강우량에 따른 수질농도 변화를 그래프로 나타내었다.

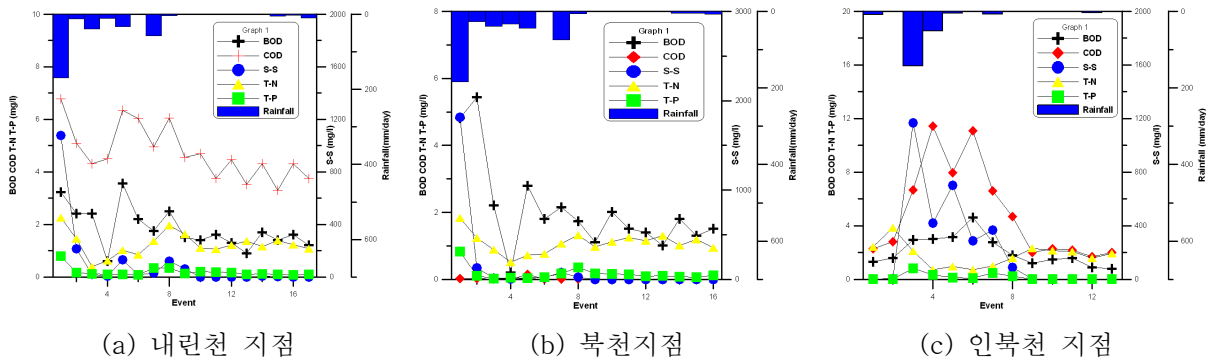


그림 2. 강우량에 따른 수질농도 변화

3.2 유출량에 오염부하량 관계

본 절에서는 측정된 자료를 이용하여 유량에 수질농도를 곱하여 부하량을 산정한뒤 산정 값에 연구지점의 유역면적을 나누어 면적대비 유출량에 따른 오염부하량의 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석결과, 유량에 조사기간 동안의 실측자료를 이용하여 유량가중평균농도를 산정하여 강우량에 따른 수질농도가 변화하는 양상을 고찰하였으며 고찰결과, 연구지점 모두 모든 수질농도에서 강우량이 증가 할수록 오염농도가 크게 나타나는 것을 알 수 있었다.

표 2. 면적대비 유출량-오염부하량 회귀식(내린천)

지 점 명	구 분	회귀식(Regression equation)	상관계수(R^2)
내린천	BOD	$L(kg/day/km^2) = (4.376e - 4) * Q^{1.171}$	0.96
	COD	$L(kg/day/km^2) = (2.101e - 3) * Q^{1.1001}$	0.95
	SS	$L(kg/day/km^2) = (2.897e - 7) * Q^{2.239}$	0.90
	T-N	$L(kg/day/km^2) = (5.465e - 4) * Q^{1.097}$	0.96
	T-P	$L(kg/day/km^2) = 5522.83 * Q^{0.7244}$	0.94

표 3. 면적대비 유출량-오염부하량 회귀식(인북천, 북천)

지 점 명	구 분	회귀식(Regression equation)	상관계수(R^2)
인북천	BOD	$L(kg/day/km^2) = (3.482e-4) * Q^{1.201}$	0.97
	COD	$L(kg/day/km^2) = (3.241e-4) * Q^{1.298}$	0.98
	SS	$L(kg/day/km^2) = (3.4304e-7) * Q^{2.3352}$	0.94
	T-N	$L(kg/day/km^2) = (6.484e-3) * Q^{0.829}$	0.85
	T-P	$L(kg/day/km^2) = (1.8674e-7) * Q^{1.7169}$	0.95
북 천	BOD	$L(kg/day/km^2) = (3.7799e-4) * Q^{1.1851}$	0.96
	COD	$L(kg/day/km^2) = (1.2384e-3) * Q^{1.1607}$	0.91
	SS	$L(kg/day/km^2) = (1.2376e-6) * Q^{2.0463}$	0.89
	T-N	$L(kg/day/km^2) = (6.4984e-4) * Q^{1.0543}$	0.98
	T-P	$L(kg/day/km^2) = (1.7184e-5) * Q^{1.230}$	0.86

3.3 면적대비 연간 오염유출부량 산정

3.3.1 연간 총유출량 산정

연간 오염유출부하량을 산정하기 위하여 연간 총유출량을 산정하였으며, 산정방법은 “한국수문조사연보(2006년, 건설교통부)” 보고서에서 제시된 연구지점의 수위-유량 관계식을 이용하여 연간유출량을 산정하였다. 아래 그림 3은 본 연구에서 산정한 지점별 연간유출량을 그래프로 도시화 하였으며, 표 4는 본 연구에서 산정한 지점별 면적대비 연간유출부량을 나타내었다.

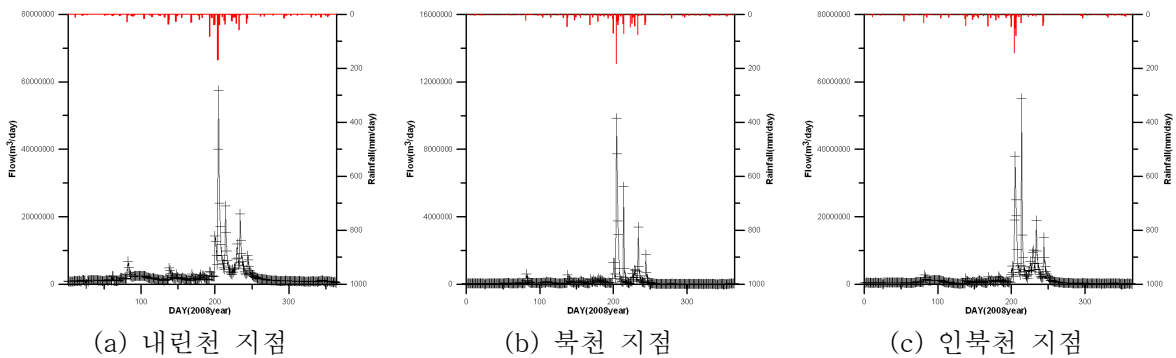


그림 2. 연구지점별 연간 유출량

3.3.2 유역면적대비 연간 오염유출부하량 산정

본문 2.3절에서 설명한 방법을 이용하여 연간 오염유출부하량을 산정하였으며, 산정결과는 아래 표에 나타내었다. 산정결과를 살펴보면, 유역면적이 작을수록 BOD, COD, SS 유출부하량이 크게 산정 되었으며 반면, T-N의 경우 유역면적이 작을수록 작게 산정되었다. T-P의 경우는 연구지점모두 비슷하게 산정되었다. 아래 표4는 연구지점의 면적대비 연간 유출부하량 산정 값을 나타내었다.

표 4. 유역면적대비 연간유출부하량 산정(kg/year/km²)

지점	BOD	COD	SS	T-N	T-P
내린천	3,211	6,987	591,138	2,003	507
인북천	3,576	10,317	712,510	1,568	520
북천	4,141	10,421	732,459	1,771	532

4. 결 론

본 연구는 소양호 상류유역의 지류하천을 대상으로 2008년 1년 동안 유량과 수질을 측정하여 비점오염원의 유출특성을 파악하고 이를 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 초기강우에 오염물질이 크게 유출 되는 것을 알 수 있었으며, 강우가 지속될 수록 초기 세척 효과로 인하여 작게 지속적으로 일어나는 것을 알 수 있었다.
- 2) 강우시 기간과 비강우시 기간의 수질농도를 분석한 결과, 비강우시에는 1급수의 양호한 수질상태를 보이다가 홍수기 기간에는 3급수 이하로 수질 상태가 악화되는 것을 알 수 있었다.
- 3) 면적대비 유출량에 따른 오염부하량의 상관성을 살펴본 결과, 상관계수가 0.90이상으로 높은 설명력을 보였으며, 이를 토대로 회귀분석을 실시하여 면적대비 유출량에 따른 오염부하량의 회귀식을 제안 할 수 있었다.
- 4) 연구지점별 면적대비 연간 총 오염유출부하량을 산정하여 비교 검토한 결과, 유역 면적이 작을 수록 유출량에 따른 오염부하량이 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었으며, 특히 SS 경우 다른 수질인자에 비하여 가장 민감하게 반응하였다.

참 고 문 헌

1. 박수진(2005). 소양호 상류유역의 비점오염물질 유출특성에 의한 원단위 산정, 2005년 대한토목학회 학술발표회 논문집.
2. 최한규외 3인(2008). 고랭지유역의 강우특성에 의한 하천탁도 발생에 관한연구, 한국방재학회 논문집, 제8권 3호, pp. 123~128.
3. 한국환경정책평가연구원(1998). 농업지역 비점오염원 관리 방안 연구.
4. 윤인규, 박수진, 최한규(2007). 산지하천의 강우특성에 의한 부유물질 유출에 관한연구, 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 제27권 A호, pp. 77~83
5. 박운지, 김동욱, 안중화, 이찬기(2007). 강우시 도시하천의 비점오염원 유출특성, 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 제27권 B호, pp. 83~89