

# 소양호 유역으로부터 총인과 총질소의 유입 특성

## Inflow of Total Phosphorus and Total Nitrogen from Lake Soyang Watershed

崔 重 鐵\*  
Choi, Joong-dae

### Abstract

Lake Soyang, the largest man-made lake in Korea, has been experiencing water quality degradation because of excessive nutrient loads from the watershed. Objective of this paper is to describe land uses in and TP and TN loading characteristics from the lake's watershed. Water samples were collected at Inje, an uppermost inlet of the lake, and analyzed with respect to TP and TN. Land uses and watershed characteristics were investigated. Mountains and forests occupy 88.9% of the watershed of 2,703km<sup>2</sup>. The other landuses are agricultural land(5.3%), homes and towns(0.2%) and others(5.6%). Population has steadily decreased to 44,936 (1993) but tourists increased rapidly during the last 5 years. TP concentration fluctuated from time to time. Monthly TP concentration ranged from 0.009 to 0.193mg/l, and unit TP discharge from 0.475 to 0.494kg/ha/year. TN concentration and flow rate did not show a significant relationship. TN concentration was higher in winter and lower in spring in general. Monthly TN concentration ranged from 0.672 to 4.138mg/l and unit discharge from 17.763 to 19.268 kg/ha/year.

### I. 서 론

부영양화가 없고 수중의 질소(N)와 인(P)의 비(比)가 적정한 호수의 수중생태계에서는 분해자, 생산자 및 포식자가 균형을 이루어 서식하며, 자연의 정화기능을 발휘한다. 그러나 유역이 개발되면서 오염물질의 처리가 완벽하지 못하고 유역의 관리가 부실할 때는 호수로 유입되는 인과 질소의 양은 증가한다. 부영양화란

인위적인 활동 등으로 수중의 질소나 인과 같은 영양염류 농도가 증가하여 이들 영양염류들은 섭취하여 광합성을 하는 1차 생산자인 조류(藻類, Algae)나 수생식물들이 과잉번식하는 현상이다.

우리나라 최대의 인공호수인 소양호는 1974년 담수를 시작한 이래 최고의 청정호수로 알려져 왔으나 유역으로부터 지속적인 영양물질의 유입과 호수자체내의 1차 생산성 증가로 1980년

\* 강원대학교 농공학과

키워드 : 소양호, 수질, 총인, 총질소, 유출량, 토지이용, 유역특성

대 중순경에는 중영양호로 수질이 악화되었다 (Kim 등, 1985a,b). 소양호의 부영양화 지수 (Trophic State Index, TSI)는 1982년에 38, 1988년에 43, 그리고 1990년에는 59로 증가하여 소양호의 부영양화는 매우 심각해지고 있음을 보여주고 있다(조규송 등, 1990 ; 김범철 등, 1988). 소양호로 유입되는 수면적당 인부하량도  $3.4g\text{-P}/m^2/yr$ 로 소양호의 과잉임계부하량을  $1.54g\text{-P}/m^2/yr$  정도 초과하고 있다(허우명 등, 1992). 허인량 등(1993)이 조사한 소양호 방류수의 COD 농도는 2월에  $1.55mg/l$ , 그리고 8월에  $3.25mg/l$ 로 측정되어 계절별 변화가 심하였으며, 1급수 수질인  $1mg/l$ 는 이미 초과하여 2급수로 전락하였다. 부영양화가 진행되면서 발생하는 수종의 남조류들은 아나톡신이나 마이크로시스틴과 같은 강한 독성물질을 생산하는 것으로 입증되었다 (Ryuichi 등, 1995).

부영양화된 호수를 처리하기 위한 연구는 다방면에서 서로 상이한 방법을 이용하여 이루어졌다 (배정옥 등, 1994 ; Cooke와 Kennedy, 1981 ; 김상종 등, 1994 ; 권순국 등, 1987, 1989). 이들 연구보고서들은 하나같이 저수지 유역의 효율적인 관리를 통한 오염부하량의 삭감없이 수질을 개선하려는 소기의 목적을 달성할 수 없다고 결론을 내리고 있는데 반하여 우리나라에서 유역의 관리와 수질에 관한 연구는 활발하지 못하다.

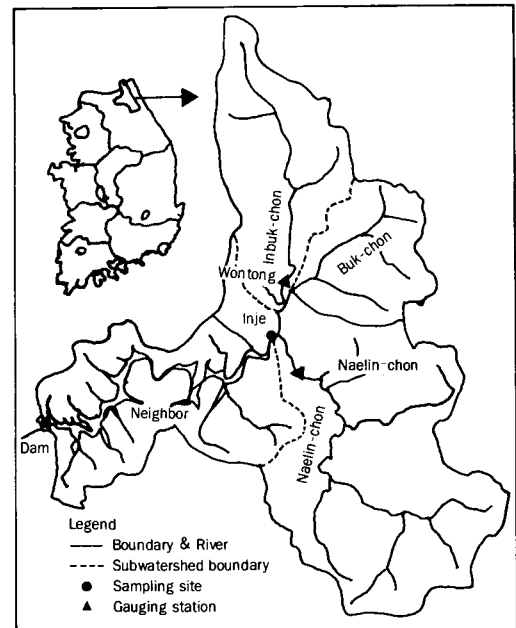
효율적인 유역관리를 위해서는 유역의 유출량과 수질과의 관계가 토지이용과 연계되어서 분석되어야 하기 때문에 미국 등에서는 많은 연구가 이루어졌고 연구자의 편의를 위하여 비점오염원에 관한 논문 목록을 분야별로 정리하여 배포하고 있다(Flippo and Jackson, 1993). 특히 유역으로부터 유입되는 질소와 인의 유입특성을 분석하는 연구는 효율적인 유역관리를 위한 가장 기본이 되는 자료이기 때문에 환경부에서도 BOD 위주의 수질관리 정책에서 인과 질소의 감축을 위주로 하는 수질정책으로 전환하고 있다(선우영준, 1995).

본 연구의 목적은 유역의 토지이용과 수질과의 관계를 구명하기 위한 기초적인 자료연구로서 소양호의 유역특성을 조사하고 유역으로부터 배출

되는 유입수의 총인과 총질소의 월별 유입특성을 분석하고자 하였다. 따라서 본 연구의 결과는 소양호 및 기타 인공호수 유역관리의 중요성을 인식하게 하고 유역을 효율적으로 관리하여 오염부하량을 삭감하기 위한 정책개발에 기초자료로서 이용될 수 있을 것이며, 또한 수자원의 부족으로 다수의 댐건설을 추진하고 있는 당국자들에게 인공호수의 수질관리를 위한 중요한 자료로 이용될 수 있을 것이다.

## II. 연구방법

소양호 유역을 5개의 소유역으로 구분하고 각 유역의 인구, 산업 및 토지이용 조사 등 유역의 특성조사를 하였다(Fig. 1). 소양호 유역의 유출수의 총인과 총질소의 농도는 소양호의 주 유입하천인 소양강 상류지역 인제 사구미교에서 측정된 자료를 이용하였으며, 상류유역으로부터의 유입량은 한국수자원공사 소양강댐사무소에서 작성된 일간 유량자료를 이용하였다.



<Fig. 1> Lake Soyang watersheds, gauging stations and sampling sites

소양호 소유역의 인구, 산업 및 토지이용 조사 등 유역의 특성조사는 소양강댐사무소의 소양강댐 관리연보와 해당지역의 군 통계연보를 이용하여 1990년부터 1993년까지 4년 동안 변동상황을 조사하였다. 소양호 대표유역의 수문특성은 소양강댐사무소에서 운영하는 인북천과 내린천의 수위 및 유량측정지점에서 수위와 유량을 측정하고 수문곡선을 작성하여 분석하였다. 총인과 총질소의 유입특성은 환경부와 관계기관에서 1992년부터 1994년까지 월1회 하천의 유량이 안정되어 있을 때 인제의 사구미교에서 수질시료를 채취하여 분석한 자료를 이용하여 기술하였다. 소양호 유역의 총질소와 총인의 배출특성은 流量別과 月別로 분석하였다.

### Ⅲ. 소양호의 유역특성

소양호의 유역면적은 2,703km<sup>2</sup>로서 한강 유역면적의 10.3%에 해당하며 강원도의 5개 시군에 걸쳐 있다. 유역의 강수량은 2,018mm에서 775mm까지 변화가 크며 연평균 강수량은 1,151mm이다. 소양호는 만수면적 약 70km<sup>2</sup>, 계획홍수위 198m, 총저수용량 29억 m<sup>3</sup>, 그리고 홍수조절용량 5억 m<sup>3</sup>에 달하는 우리나라 최대의 인공호수이다. 소양호 유역은 소양호안(昭陽湖岸)에 인접한 직할유역(506.6km<sup>2</sup>)과 소양강을 통해 유입하는 간접유역(2,196.4km<sup>2</sup>)으로 구분하였다. 간접유역은 다시 인북천(597.4km<sup>2</sup>), 북천(358.1km<sup>2</sup>), 내린천(1,081.7km<sup>2</sup>) 및 인제읍 유역(159.2km<sup>2</sup>)으로 구분하였다(Fig.1).

소양호 유역의 인구는 1990년도에 50,427명에서 1993년도에는 44,936명으로 매년 감소하고 있다. 반면에 거의 전지역이 소양호 상류유역인 인제군을 찾는 관광객은 해마다 증가하여 1994년에는 설악산 국립공원 내설악 지역의 37만명을 비롯하여 70만명을 넘고 있다. 소유역별 인구는 1993년도에 직할유역 6,819명, 인북천 5,809명, 북천 9,194명, 내린천 15,973명, 그리고 인제읍 7,141명이다. 유역의 토지이용은 과거 4년 동안 변화가 거의 없었으며 1993년도 기준으로 밭 4.1%, 논 1.1%, 임야 88.9%, 목장 0.1%, 대지 0.2%, 그리고 기타 5.6%이다. 임야가 유역의 대부분을 차지하는 산악지대이며 목장을 포함하는 경작지가 5.3%에 불과한 반면 도로 및 군사시설 등을 포함하는 기타 토지이용이 5.6%로 임야 다음의 넓은 면적을 점유하고 있다. 소양호 유역의 폐수배출업소는 거의 중소규모의 운수, 세차, 식품 및 관광업 등으로 이들 업체에서 고용한 고용인원은 297명(1993년 기준)이며 폐수배출량은 137 m<sup>3</sup>/day 정도이다. 소양호 유역의 1993년도 가축사육현황은 <Table 1>에 나타나 있다. 1990년과 1993년의 통계치를 보면 소는 8,719마리에서 8,167마리로, 그리고 돼지는 4,451마리에서 2,885마리로 각각 6.3%와 35.2%가 감소하였다. 반면 가금류는 98,210마리(1990년)에서 122,803마리(1993년)로 약간의 증가현상을 보였으며 사슴, 염소, 멧돼지 등의 기타 동물의 사육은 9,779마리(1991년)에서 14,518마리(1993년)로 급속히 증가하고 있다. 소양호의 직할유역의 대부분 지역은 산이 험하고 도로가 없어 개발이 지연되어 왔다.

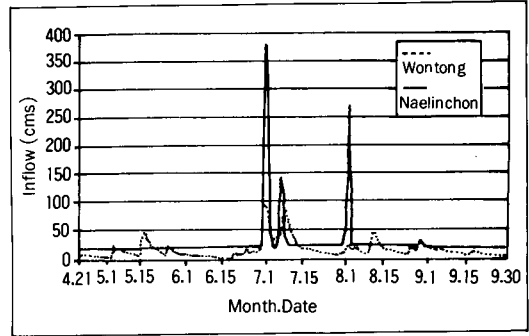
<Table 1> Farm animal statistics in the Lake Soyang watershed (1993)

Watershed	Total	Animal(numbers)			
		Cow	Swine	Poultry	Others
Inbukchon	3,795	964	363	949	1,519
Bukcheon	11,593	1,072	694	7,651	2,176
Naerincheon	82,629	3,422	1,035	72,269	5,903
Inje-eub	6,271	373	285	5,209	404
Neighbor	44,085	2,336	508	36,725	4,516
Total	148,373	8,167	2,885	122,803	14,518

그러나 직할유역도 1990년 오지개발법에 의해 도로망이 확충되고 많은 농가지원사업이 추진되면서 축산업과 관광산업이 발달하고 있다. 직할유역에서 발생한 오염은 자연의 자정작용 없이 직접 소양호로 유입될 수 있어 호수의 수질보호 차원에서 특별한 관리가 필요하다.

소양호 상류지역에는 인제읍을 비롯하여 원통, 신남, 현리 등의 소규모 도시들이 분포하고 있으나 소도시 하수처리장은 인제군 서화면 서화리와 북면 용대리에 각각 1개소(150m<sup>3</sup>/day 용량)가 있고 인제읍에는 4,000m<sup>3</sup>/day 용량의 소도시 하수처리장이 '96년까지 건설되도록 예정되어 있다. 분뇨처리시설은 인제군 남면 남전2리에 1곳(30m<sup>3</sup>/day 용량)이 있다. 소규모 오수정화시설 16곳(1993년, 약 1,751m<sup>3</sup>/day 용량)이 있으나 이중 1,350m<sup>3</sup>/day는 고성군 간성읍 대명알프스 리조트에서 설치한 시설이다. 또한 2001년에 완료되는 환경부의 수계별, 하천별 중장기 환경기초시설계획(환경처, 1992)에 의하면 위에서 언급한 시설을 제외하고 소양호 유역에는 새로운 오폐수정화시설의 건설계획이 없다. 산업시설이 발달되지 못한 소양호 유역의 최대 오염배출원은 축산업, 거주인구 및 군부대로 생각할 수 있으나 이들로 부터 배출되는 오염정화시설은 매우 부족하기 때문에 소양호로 유입되는 유입수의 총인과 총질소 등 비점원 오염물질의 농도가 높게 나타나는 것으로 사료된다.

소양호의 연 최대 유입량은 11,994.8m<sup>3</sup>/s 부터 1,607m<sup>3</sup>/s 까지 강우조건에 따라 심한 기복을 보이며 홍수지속시간이 비교적 짧다(소양강댐사무소, 1993). 이는 유역면적에 비하여 표토층이 얇은 산악지대가 많으며 하상경사가 급하기 때문에 강우가 지표층에 장기간 저류되지 못하고 비교적 빨리 배수되기 때문이다. <Fig. 2>는 1994년 4월 21일부터 9월 30일 사이의 인북천(인제군 북면 원통리)과 내린천(인제군 인제읍 원대리)의 수문곡선이다. 홍수량 측정지점의 유역면적이 1,039km<sup>2</sup>인 내린천의 경우 평시에는 일정한 유출량을 보이다 집중호우시 2~3일 정도의 홍수를 보인 후 다시 평시의 유출로 돌아가고 유역면적이 528km<sup>2</sup>인 인



<Fig. 2> Hydrographs at the Wontong and Naelinchon gauging stations

북천의 경우는 홍수피크는 작지만 일반적인 수문곡선을 보여주고 있다. 북천은 설악산을 포함하는 유역으로 유역의 경사가 급하고 표토심이 낮아 내린천과 유사한 수문조건을 가지고 있으며 소양호 직할유역과 인제읍 유역은 비교적 풍화가 많이되어 표토심이 깊으며 북천이나 내린천 유역보다는 최대홍수량이 작은 반면 지속시간이 길게 나타나는 경향을 보이고 있다. 비점원 오염물질의 배출은 홍수피크가 큰 유역에서 많이 나타나는 경향이 있으므로 설악산과 오대산의 일부가 포함된 북천과 내린천 유역의 관리가 중요함을 의미한다. 또한 비점원 오염물질이 수질에 미치는 영향은 오염발생원과 수체 사이의 거리와도 밀접한 관계가 있으므로 소양호와 인접한 직할유역과 인제읍 유역의 관리도 매우 중요하다.

#### IV. 총인과 총질소의 유입 특성

유역으로부터 소양호로 유입되는 유입수의 월평균유량, 총인(TP)농도, 총질소(TN)농도, 그리고 총인과 총질소의 부하량은 <Table 2>에 나타나 있다. 총인과 총질소의 농도범위는 각각 0.016~0.193mg/l와 1.103~4.138mg/l로 나타났다. 이는 상수원수 1급수의 수질기준인 총인 01mg/l와 총질소 0.2mg/l 보다도 총인은 최소 1.6배에서 19.3배까지, 그리고 총질소는 최소 5.5배에서 20.7배가 되는 높은 농도이다. 인구밀도가

<Table 2> Monthly inflow, TP and TN concentrations and loadings to the Lake Soyang from the upper watershed at the Sagumi Bridge( 1992~ 1994)

Month	Year	Flow rate (m <sup>3</sup> /s)	TP (mg/l)	TN (mg/l)	TP loading (ton/mon)	TN loading (ton/mon)
1	1993	56.9	0.023	1.606	3.5	244.8
2	1993	75.3	0.038	1.724	6.9	314.1
3	1992	59.7	0.193	1.472	30.9	235.4
	1993	66.1	0.033	1.865	5.8	330.2
	Average	62.9			18.4	282.8
4	1992	80.7	0.078	1.406	16.3	294.1
	1993	68.0	0.034	1.218	6.0	214.7
	Average	74.4			11.2	254.4
5	1992	76.5	0.036	1.248	7.4	255.7
	1993	60.3	0.031	2.120	5.0	342.4
	Average	68.4			6.2	299.1
6	1992	82.1	0.029	1.393	6.2	296.4
	1993	160.9	0.039	2.029	16.3	846.2
	1994	20.0	0.020	1.714	1.0	88.9
	Average	87.7			7.8	410.5
7	1992	72.3	0.046	1.103	8.9	213.6
	1993	82.2	0.043	1.390	9.5	306.0
	1994	113.0	0.054	2.088	16.3	632.0
	Average	89.2			11.6	383.9
8	1992	23.7	0.024	1.460	1.5	92.7
	1993	86.8	0.067	1.930	15.6	448.7
	1994	61.0	0.123	2.299	20.1	375.6
	Average	57.2			12.4	305.7
9	1992	25.5	0.062	4.138	4.1	273.5
	1993	68.3	0.176	1.680	31.2	297.4
	Average	46.9			17.6	285.5
10	1992	46.2	0.030	1.809	3.7	223.8
	1993	60.3	0.031	1.745	5.0	281.8
	Average	53.3			4.4	252.8
11	1992	62.3	0.026	2.004	4.2	323.6
12	1992	97.0	0.016	2.010	4.2	522.2
Annual loading(ton/year)					108.4	3,879.4

회박하고 공업화가 전혀되어 있지 않으며, 또한 농경지도 상대적으로 작은 청정지역이라고 일컬어지는 유역의 유출수의 총인과 총질소의 농도가 이 정도라면 인구밀도가 높고 산업화가 되어 있으며 농경지 또한 많은 평야부 유역의 유출수의 수질은 이보다는 악화되어 있으리라는 추측을 쉽게 할 수 있다. 월별 총인과 총질소의 유입량은 각각 1.0~31.2톤과 88.9~846.2톤으로 농도와 하천유입량에 따라 많은 차이를 나타냈다. 따라서 유역으로부터 유입되는 총인과 총질소 등 비점오염물질의 유입특성을 정확히 파악하기 위하여는 관측

지점에서의 유출량의 정확한 측정과, 유출수의 수질을 대표할 수 있는 수질시료를 채취하여 정확한 분석이 뒤따라야 한다. 특히 수질의 변동은 시간대별로 또한 유량별로 차이가 많을 수 있으므로 이들의 영향을 최소화하여 대표수질을 측정할 수 있는 측정시스템이 갖추어져야 한다.

유입수량을 고려한 소양호 유입수의 총인과 총질소의 연평균 농도는 각각 0.050mg/l와 1.776mg/l였으며 연평균 부하량은 각각 108.4톤과 3,879.4톤으로 나타났다. 연간 오염부하량을 소양호 상류유역의 유역면적으로 나눈 소양호 상류유

〈Table 3〉 Annual TP and TN loads, concentrations, maximum concentrations and unit discharges to the Lake Soyang

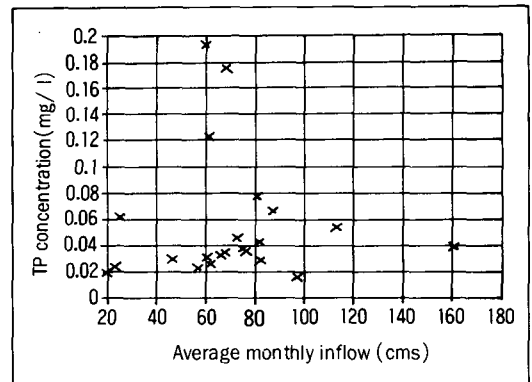
Item	'90~'92	'92~'94
Annual runoff (million m <sup>3</sup> /year)	3,337	2,184
Annual TP load (t/yr)	104.3	108.4
Annual TP con'c. (mg/l)	0.031	0.050
Annual Max. TP con'c. (mg/l)	0.046	0.193
Unit TP discharge (kg/ha)	0.475	0.494
Annual TN load (t/yr)	4,232.0	3,879.4
Annual TN con'c. (mg/l)	1.268	1.776
Annual Max. TN con'c. (mg/l)	2.041	4.138
Unit TN discharge (kg/ha)	19.268	17.763

역의 총인과 총질소의 배출원 단위는 각각 0.494kg/ha와 17.763kg/ha였다. 환경부 자료(1992~1994)와 허우명(1993)과 허우명 등(1992)이 비슷한 지점에서 1990~1992 사이에 측정된 수질자료를 사용하여 유역으로부터의 연평균 총인과 총질소의 부하량, 농도, 최대농도 및 배출원 단위를 산정한 자료는 〈Table 3〉에 나타나 있다.

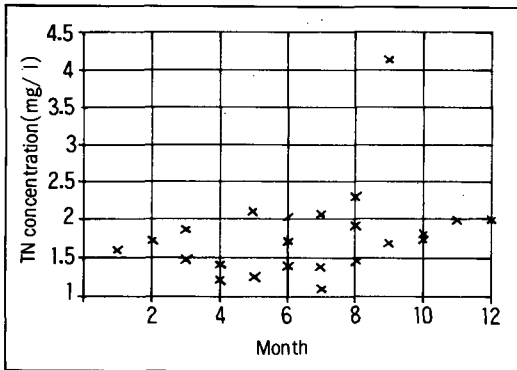
〈Table 3〉의 자료는 유출량과 농도를 이용하여 구한 수치들이다. '90~'92 자료와 '92~'94 자료의 총인과 총질소 농도 사이에는 많은 차이가 나타나고 있으나 연간 오염부하량과 월단위 배출량에서는 큰 차이가 나타나고 있지 않다. 이와 같은 이유는 연간 강우량의 차이에 따른 하천 유출량의 차이로 설명될 수 있다. 즉 '90~'92 측정기간의 연 유출량은 33억3천7백m<sup>3</sup>로 '92~'94 측정기간의 연 유출량 21억8천4백m<sup>3</sup>에 비하여 약 1.53배가 많았다. 연 평균 농도로만 비교를 하면 하천유출량이 많은 해의 총인과 총질소의 농도는 하천유출량이 작은 해의 농도의 각각 60%와 49%수준으로 낮게 나타났다. 이와 같은 농도의 차이는 유출량의 차이에서도 원인이 있지만 또한 측정방법과 측정시기에 따라서도 많은 변화를 보이고 있다. 즉 하천의 유량이 안정된 상태에서 측정하는 오염물질 농도와 홍수시에 측정하는 농도는 서로 다를 수 밖에 없고 호수에 유입되는 오염부하량도 엄청난 차이를 보일 수 있다. 따라서 하천의 수량 및 수질 관측은 어느 특정한 날짜나 시간에 국한되

어서는 안되며 기상이나 상류 유역 토지이용변화에 따른 영향을 모두 반영할 수 있도록 가능한 한 자주, 그리고 장기간 측정해야 신뢰성 있는 자료를 축적할 수 있다.

하천의 수질관리는 유역의 토지이용 및 자연자원의 관리와 밀접한 관계가 있고 유하량이 작을 때의 하천수질 관리는 상수원수 및 각종 용수의 수질보전을 위해서 중요하다. 반면에 홍수시에는 일시적으로 많은 오염부하량이 발생한다. 허우명(1993)의 자료에 따르면 총인의 경우 연간 오염부하량의 69.8%가 7월과 9월에 발생한 홍수시에 유입되었다. 수계에 건설된 호수가 상수원수 1급수를 유지하기 위한 총인과 총질소의 농도가 각각 0.01mg/l과 0.2mg/l 이하인 반면 〈Table 3〉에 계산된 실측자료의 평균은 1급수를 위한 제한농도보다 총인의 경우는 약 3~5배 그리고 총질소의 경우는 6~9배에 달하고 있다. 〈Fig. 3〉은 총인농도와 유입량과의 관계를 도시한 것이다. 유입량이 많을 때 총인의 농도도 높을 것으로 기대하였으나 기대하였던 경향은 나타나지 않았다. 홍수시 소양호 유입량은 1984년도에 최대 11,994.8m<sup>3</sup>/s였고 보통의 홍수에서도 약 3,000~4,000m<sup>3</sup>/s 정도의 유입량이 기록되고 있으나 측정자료의 최대 유입량은 약 160m<sup>3</sup>/s에 불과하여 고유량시에 측정된 수질자료가 없어 실질적인 유입량과 농도관계를 나타낸다고 볼 수 없다. 자료



〈Fig. 3〉 Relationship between inflow and TP concentration at Sagumi bridge



〈Fig. 4〉 Seasonal trend of TN concentration

가 측정되어 홍수시에도 유량과 수질이 측정될 수 있다면 유량과 수질과의 관계가 보다 명확하게 나타날 수 있을 것이고 홍수시의 오염저감 대책도 보다 효율적으로 개발할 수 있을 것이다. 평시의 유량에서 총인 농도의 편차가 매우 크게 나타나는 것은 하천의 상류부에서 인간활동의 영향을 나타내는 것으로 오염물이 적절히 처리되지 않고 하천으로 방류되기 때문인 것으로 사료되며 이와 같은 오염물의 하천투기는 엄격히 단속되어야 한다. 월별(月別) 총인 농도는 특정한 경향을 나타내지 않았지만 홍수기에는 다소 높은 농도를 보여주는 경향이 있었다. 〈Fig. 3〉의 총인 농도 중 0.12 mg/l 이상의 측정치들은 상류부에서 고의적으로 다량의 오염물이 투기되었거나 혹은 측정시 오차가 있었던 것으로 사료된다.

총인의 농도는 장마철이나 태풍시의 고유량시에 높게 나타나는 경향을 보였고 총질소의 농도는 장마철이나 태풍시에도 높게 관측되나 전반적인 경향은 봄철에 가장 낮았고 점차 증가하여 겨울철에 가장 높게 나타났다(〈Fig. 4〉). 우기에 나타나는 높은 총질소 농도는 지표면에 퇴적되어 있던 퇴적물이 강우와 함께 유실되어 하천으로 유입이 되기 때문으로 생각된다. 봄부터 시작되는 영농철에는 많은 화학비료와 유기질 비료가 사용되고 이들 비료는 작물에 의해 모두 이용되지 못하고 우기의 강우와 함께 지하수로 침투한다(Staver 등, 1987). 또한 여름에 생성된 식물체들도 부패되어 일부는 지표수를 통하여 유출되

기도 하고 일부는 강우와 함께 지하로 침투하여 농경지의 잉여비료분과 함께 지하수를 오염시킨다. 도시지역에서는 하수구에서 누수된 하수가 지하수로 침투하여 지하수 오염의 중요한 원인이 된다. 이렇게 하여 오염된 지하수는 서서히 하천으로 배수되어 하천의 총질소 농도를 높이는 것으로 생각된다. 인산염을 비롯한 인화합물은 지중에서 토립자에 흡착되기 때문에 지하수와 함께 이동이 어려워져 하천까지 도달하기 어려우나 질산염은 음이온으로 지중에서 흡착되지 않고 지하수와 함께 자유로이 이동하며 지하수를 오염시키고 하천으로 배수되어 하천의 총질소 농도를 높이는 것으로 생각된다(Hallberg, 1984; Hamlett, 1987; Hubbard와 Sheridan, 1989; Loehr, 1984). 이와같은 이유로 질산염은 농촌 지역에서 가장 중요한 오염원의 하나로 취급된다. 유량과 총질소 농도의 관계는 총인의 경우와 같이 홍수시에 측정된 수질과 유량자료가 없기 때문에 저유량시에만 분석이 가능하였다. 그러나 총질소의 농도도 총인의 농도와 같이 많은 변화를 보이고 있어 유역의 상류부에서 인위적인 활동에 의한 영향으로 상당히 많은 농도의 변화를 보이는 것으로 생각된다. 〈Fig. 4〉의 9월에 측정된 총질소 농도 4.138mg/l은 고의에 의한 오염물의 투기나 혹은 측정시의 오차로 인하여 발생된 것으로 사료된다.

상기의 자료에서 나타나듯이 하천이나 호수의 수질 보전이나 개선을 위한 효율적이고 신뢰성있는 정책을 개발하기 위하여는 연간 수회 혹은 1년이나 2년 정도의 짧은 측정기간 동안에 측정된 자료가 아닌 장기간 동안의 관측자료가 필요함을 보여주고 있다. 또한 연간 오염부하량이나 배출원 단위와 같은 오염배출특성은 오염물의 배출 및 운반구조를 설명할 수 없기 때문에 총인과 총질소의 배출특성을 파악하고 효과적인 대책을 개발하기 위해서는 오염물질의 배출원(排出源), 배출구조(排出構造) 및 운반구조(運搬構造)를 이해할 수 있는 연구가 유역의 수질 및 수량 관측 사업과 동시에 수행되는 것이 필요하다. 소양호는 유역면적이 넓고 지역마다 수문 및 오염배출

특성이 상이하므로 여러개의 소유역으로 구분하여 각 소유역별로 유출지점에 유량 및 수질 측정 지점을 설치하고 조직적이고 장기적인 수질관측 사업을 수행하여 신뢰성 있는 자료를 축적하는 것이 중요하다. 장기적인 수자원 부족에 대비하여 정부와 관계기관에서는 다수의 댐을 건설하여 인공호수를 축조하려고 하고 있다. 그러나 댐을 이용한 용수의 저류 못지않게 수질을 유지하는 사업도 매우 중요하고 이는 시화호의 오염이나 부영양화로 고통을 받고 있는 기존의 대형 저수지에서도 잘 나타나고 있다. 따라서 댐건설에 앞서 유역에서 배출되는 오염원을 철저히 차단할 수 있는 조치가 선행되지 않고는 천문학적인 예산을 투입하여 조성한 인공호수도 오염으로 인하여 소기의 목적을 달성할 수 없을 수도 있다는 점을 관계자들은 반드시 인식해야 한다.

## V. 결 론

소양호의 유역특성과 유역으로부터 총인과 총질소의 유입성을 분석하기 위한 연구에서 다음의 결론을 얻었다.

1. 소양호 유역의 토지이용은 임야 88.9%, 농경지 5.3%, 대지 0.2%, 그리고 도로와 군사시설 등을 포함하는 기타 토지이용이 5.6%이다. 소양호 유역의 인구는 매년 감소하는 추세로 1993년 현재의 인구는 44,936명인 반면에 관광객은 매년 현저하게 증가하는 추세로 1994년에는 인제군에서만 70만명 이상이였다. 소와 돼지의 사육은 감소한 반면 야생동물의 사육은 크게 증가하는 경향을 보였다. 또한 이들 인축에서 발생하는 오염원을 처리하기 위한 처리시설은 매우 빈약하여 유입수의 총인과 총질소 농도가 높게 나타나는 것으로 사료된다.

2. 소양호 유입수의 총인(TP) 농도는 홍수에 측정된 유량과 수질자료가 부족하여 유량이나 월별로 유의성있는 관계는 나타나지 않았다. 소양호 상류유역으로부터 총인부하는 108.4tons/year, 연평균 총인 농도는 0.050mg/l,

그리고 총인의 배출원 단위는 0.494kg/ha였다.

3. 소양호 유입수의 총질소(TN) 농도와 유입수량과의 관계는 나타나지 않았다. 그러나 총질소 농도는 봄에 낮았으며 서서히 증가하여 겨울에 높게 나타나는 경향을 보였다. 소양호 상류유역으로 부터 총질소부하는 3,879tons/year, 연평균 총질소 농도는 1.776mg/l, 그리고 총질소의 배출원 단위는 17.763kg/ha였다.

4. 효율적인 유역관리와 오염저감 방법을 개발하기 위하여 소양호 유역을 소유역으로 구분하여 유역의 토지이용, 유출량 및 수질과의 관계를 구명하기 위한 조직적이고 장기적인 수질관측사업이 제안되었다.

## 참고문헌

1. 권순국, 유명진, 1987. 담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책 수립 (I), 연구보고서, 농림수산부, 농업진흥공사.
2. 권순국, 유명진, 1989. 담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책 수립(III), 연구보고서, 농림수산부, 농업진흥공사.
3. 김범철, 안태석, 조규송, 1988. 한강수계 인공호의 부영양화에 관한 비교 연구, 한국수목학회지 21(3): pp. 151~163.
4. 김상중, 최중기, 안태영, 유근배, 이종호, 1994. 댐저수지 수질회복 기술개발에 관한 연구(3차) 보고서, 한국수자원공사.
5. 배정옥, 김도한, 김홍겸, 1994. 대청댐 저수지 수질개선을 위한 인 불활성화에 관한 연구, 한국수자원공사 수자원기술성과 발표논문집, 한국수자원공사, pp. 417~426.
6. 선우영준, 1995. 상수원수 수질현황과 전망, '94~'95 가뭄 심포지엄, 전망과 대책, 한국건설기술연구원, 한국수문학회.
7. 소양강댐사무소, 1993. 소양강댐 관리연보, 한국수자원공사.
8. 이상은, 1995. 오 폐수의 질소 인 고도처리 기술, 첨단환경기술 3(1): pp. 10~25.
9. 조규송, 김범철, 안태석, 1990. 소양호 수층생태계의 인순환에 관한 연구, 연구보고서, 한국학술진흥재단.
10. 최예환, 최중대, 유능환, 1994. 인공호수에서



- 의 부영양화 방지대책 연구, 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 건설부.
11. 허우명, 1993. 소양호의 부영양화와 남조류 Bloom에 관한 연구, 박사학위논문, 강원대학교.
  12. 허우명, 김범철, 안태석, 이기중, 1992. 소양호 유역과 가두리로부터 인부하량 및 인수지, 한국육수학회지 25(4) : pp. 207~214.
  13. 허인량, 이해금, 최규열, 박성빈, 1993. 소양호 COD의 연중, 계절적 변화 및 지역적 분포, 한국수질보전학회지 9(2) : pp. 93~97.
  14. 환경처, 1992. 수질보전 장기종합계획수립 종합보고서.
  15. Ryuichi, Sudo 등, 1995. 水界생태계 보전의 질소 인 동시제거 필요성, 첨단환경기술 3(1) : pp. 26~33.
  16. Cooke, G. D. and R. H. Kennedy, 1981. Precipitation and inactivation of phosphorus as a lake restoration technique, EPA-600/3-81-012.
  17. Flippo, H. N. and D. R. Jackson, 1993. A bibliography of selected nonpoint source literature, Federal Pub. L. 91-575, Susquehanna River Basin Commission, Harrisburg, PA.
  18. Hallberg, G., 1984. Agricultural chemicals and groundwater quality in Iowa, Cooperative Extension Service, Iowa State University, Ames, Iowa.
  19. Hamlett, J.M., R. Horton, and J.L. Baker, 1987. Water and nitrate movement under ridge tillage, ASAE Paper no. 87~2102. ASAE, St. Joseph, MI, USA.
  20. Hubbard, R. K. and J. M. Sheridan, 1989. Nitrate movement to groundwater in the southeastern coastal plain, J. of Soil and Water conser. 44(1) : pp. 20~27.
  21. Kim, B.C., J.H. Shim and K.S. Cho, 1985a. Temporal and spatial variation of chlorophyll *a* concentration in Lake Soyang, J. Kor. Wat. Pollt. Res. Contr. 1 : pp. 18~23.
  22. Kim, B.C., K.S. Cho and T.S. Ahn, 1985b. Horizontal variation of primary productivity and environmental factors in the Lake Soyang, Kor. J. Limnol. 18 : pp. 1~10.
  23. Loehr, R.C., 1984. Pollution control for agriculture, 2nd ed, Academic Press, Orlando, Florida, USA.
  24. Staver, K.W., W.L. Magget and R. Brinsfield, 1987. Tillage effects on nutrient and sediment field losses, ASAE Paper no. 87~2086. ASAE, St. Joseph, MI, USA.

약 력

최 중 대



- 1979. 강원대학교 농과대학 농공학과 졸업
- 1982. 강원대학교 대학원 농학석사
- 1992. 미국 메릴랜드 주립대학교 공학 박사
- 현재 강원대학교 농공학과 조교수  
KCID 편집·학술분과위원  
농촌환경연구회 이사