

# 소양호 유역을 대상으로 한 오염부하량 유달률 및 기여율 산정

## Estimation of contribution rate and pollution load delivery rate of Soyang lake basin

박수진\* , 최한규\*\* , 백경원\*\*\* ,한양수 \*\*\*\*

Soo-Jin Park, Han-Kuy Choi, Kyung-Won Baek, Yang-Soo Han

### 요 지

본 논문은 북한강 상류의 국내 최대 다목적댐인 소양호 유역을 대상으로 하였으며, 오염물질 항목에 대한 배수구역별 오염부하량을 산정하여 유황변화에 따른 오염부하량의 유달특성을 관찰하였으며, 배수구역별 유달오염부하량의 기여율을 산정하였다. 배수구역의 오염부하량 유달특성을 관찰한 결과 BOD, SS, T-P의 경우 인북천 유역에서 높은 유달률을 보였으며, T-N의 경우 내린천 유역과 합강 유역의 시가지에서 높은 유달률을 보여 배수구역별 오염총량관리를 위한 중점관리 수질항목을 제시할 수 있었다. 다음으로 배수구역별 유황변화 및 계절변화에 따른 오염부하량의 기여율을 산정한 결과, 전반적으로 BOD와 T-P의 경우 인북천 유역에서 높은 기여율을 보였으며, SS는 강우기간에는 내린천 유역, 비강우기간에는 인북천 유역에서 T-N은 내린천과 북천 유역에서 높은 기여율을 보였다. T-N과 T-P는 호소수 부영양화 조절을 위한 제한 영양소임을 고려할 때 본 유역에 대한 오염원의 집중적인 관리가 필요한 것을 알 수 있다.

**핵심용어 : 유달오염부하량, 유달률, 기여율, 할당부하량**

## 1. 서 론

본 논문은 북한강 유역의 국내 최대 다목적댐인 소양호를 대상으로 하였으며, 소양호의 수질은 상수원수 1, 2급 이내의 비교적 양호한 수질을 유지해 왔다. 그러나 생활수준의 향상과 인구 증가로 인한 생활하수 및 축산폐수 등의 유입으로 인한 각종 수질오염 문제가 우려되고 있다. 이에 수질관리 대책의 일환으로 유역별 관리방식인 오염총량제를 도입하여 시행을 앞두고 있으나 아직 이를 위한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구는 오염물질에 대한 배수구역별 유황변화에 따른 오염부하량의 배출특성을 파악하여 합리적인 유달률을 산정하고, 유역 특성에 의한 유달 특성 관찰 및 계절별 기여율을 산정하여 배수구역의 오염총량관리를 위한 중점관리 오염물질 항목을 관찰하고자 한다.

\* 강원대학교 공과대학 토목공학과 연구원·공학박사·E-mail : [parksj@kangwon.ac.kr](mailto:parksj@kangwon.ac.kr)  
\*\* 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수·공학박사  
\*\*\* 한림성심대학 토목과 교수·공학박사  
\*\*\*\* 경동대학교 건축환경공학부 교수·공학박사

## 2. 대상유역선정 및 자료조사

### 2.1 대상유역 선정

본 연구는 소양호 상류유역인 내린천, 인북천, 북천의 지류하천 유역과 소양호 유역을 대상으로 하였다. 이는 상류 지류하천의 경우 유역의 형태가 대부분 산지 및 대단위 농경지의 형태를 이루고 있어 강우시 대량의 오염물질이 유출되는 특징을 가지고 있으며, 지류하천의 유역면적은 전체 소양호의 76%를 차지한다.

소양호 유역은 한강유역 북위 36° 30' ~ 38° 55', 동경 126° 24' ~ 129° 02'에 걸쳐 한반도 중앙부에 위치하고 있으며, 유역면적이 2,662.7km<sup>2</sup>으로 한강 전체 유역면적의 21%를 차지한다. 북한강의 양대 지류이며 유로연장 166.2km로서 북한강을 형성하는 최대지류이다. 주요 유입하천은 소양호 상류에 위치한 내린천과 인북천으로 이 두 지천의 유역면적이 소양호 전체 유역면적 65%에 해당한다.

### 2.2 자료조사

#### 2.2.1 유량자료

연구지점의 유량은 유역내 수위 관측소가 설치되어 있어 각 지점에서 개발하여 고시한, 한국수문조사연보의 수위 - 유량 관계 곡선식을 이용하여 유출량을 산정하였다. 소양호의 유입량 자료는 한국수자원공사 소양강댐 관리연보에서 고시한 1994년 1월부터 2009년 12월까지의 유입량 자료를 본 연구 자료로 이용하였다.

2003년부터 2005년까지의 유량자료는 2006년도의 수위 - 유량 관계식을 적용하였으며, 2006년부터 2009년까지는 2009년도의 관계식을 적용하여 연구지점의 유출량을 산정하였다.

#### 2.2.2 수질자료

소양호 유역의 오염물질 배출을 파악하기 위하여 지류하천인 내린천, 인북천, 북천 하류지점을 대상으로 강원도와 원주지방환경청에서 1994년부터 수질을 측정하고 있으며, 소양호의 유입수 수질은 한국수자원공사 소양강댐 관리단에서 조사하여 매년 월평균 수질자료를 환경연보에 고시하고 있다.

따라서 본 연구에서는 환경연보에 고시된 자료를 이용하였으며, 자료기간은 2003년부터 유량조사가 이루어져 있는 관계로 2003년부터 2009년까지의 수질자료를 이용하여 분석하였다. 배수구역별 수질조사지점은 표 1과 같다.

표 1. 배수구역별 수질조사 지점

구 분	조사위치	조사기관	조사년도	자료 적용기간
내린천	인제군 인제읍 원대리 원대교	강원도	1994년	2003년 ~ 2009년
인북천	인제군 북면 원통리 서호교	원주 지방환경청	1994년	2003년 ~ 2009년
북 천	인제군 북면 원통리 어두원교	강원도	1994년	2003년 ~ 2009년
소양호	인제군 남면 부평리 신남선착장	한국 수자원공사	1992년	2003년 ~ 2009년

### 3. 자료분석 및 고찰

#### 3.1 오염부하량 산정

본 논문에서의 유달부하량 산정은 실측자료를 이용하는 방법으로 연구기간 동안의 조사된 각 지점의 오염물질별 수질농도에 수위 - 유량관계곡선(Rating Curve)에서 산정된 일평균 유량을 곱하여 부하량을 산정한 뒤 여기에, 시간변화를 곱하여 각 배수구역의 유달부하량을 산정하였다.

배수구역의 발생부하량 및 배출부하량은 환경부 “중권역 물환경관리계획(소양강·인북천)(2007.12)”의 자료를 인용하였으며, SS의 경우 각 배수구역별 토지이용현황 자료를 조사하여 토지이용별 배출원단위를 곱하여 산정하였다.

#### 3.2 배수구역의 유황별 유달오염부하량 및 유달율

유황별 유달오염부하량 및 유달율을 산정하기 위하여 유황곡선을 작성하였으며, 작성방법은 연구지점의 수위-유량 관계곡선(Rating Curve)을 이용하여 자료기간 동안의 일 유량을 산정한 다음 이를 산술평균하여 연구지점의 유황곡선을 작성하였다. 다음으로 유달을 산정방법은 실측기반에 의한 유달을 산정방법으로 본 연구에서 산정된 유달부하량을 배출부하량으로 나누어 유달율을 산정하였다. 산정방법은 식 1과 같다.

$$\frac{L_i}{L} \quad (1)$$

여기서  $L$  는 오염부하 유달률,  $L_i$  는 해당구역에서의  $i$  번째 유황별 유달오염부하량,  $L_i$  는 해당구역에서의 배출부하량이다.

배수구역별 유달부하량 및 유달율은 표 2부터 표 5와 같다.

**표 2. 내민천유역의 유달부하량 및 유달율**

항목	구분	배출부하량 (kg/day)	유달부하량 (kg/day)	유달률
BO D	고수량	3,235.63	39,997.37	12.36
	풍수량	3,235.63	1,423.06	0.44
	평수량	3,235.63	728.09	0.23
	저수량	3,235.63	354.09	0.11
	갈수량	3,235.63	191.29	0.06
SS	고수량	52,470.21	3,566,492.36	67.97
	풍수량	52,470.21	7,189.78	0.14
	평수량	52,470.21	2,066.48	0.04
	저수량	52,470.21	540.45	0.01
	갈수량	52,470.21	171.88	0.003
T- N	고수량	3,061.05	97,734.29	31.93
	풍수량	3,061.05	4,866.45	1.59
	평수량	3,061.05	2,663.76	0.87
	저수량	3,061.05	1,393.05	0.46
	갈수량	3,061.05	800.75	0.26
T- P	고수량	218.02	1,667.85	7.65
	풍수량	218.02	19.00	0.09
	평수량	218.02	7.73	0.04
	저수량	218.02	2.94	0.01
	갈수량	218.02	1.29	0.01

**표 3. 인북천유역의 유달부하량 및 유달율**

항목	구분	배출부하량 (kg/day)	유달부하량 (kg/day)	유달률
BO D	고수량	1,783.08	46,644.45	26.16
	풍수량	1,783.08	1,075.42	0.60
	평수량	1,783.08	564.17	0.32
	저수량	1,783.08	325.15	0.18
	갈수량	1,783.08	206.23	0.12
SS	고수량	44,809.85	1,260,339.2	28.13
	풍수량	44,809.85	4,899.38	0.11
	평수량	44,809.85	1,895.29	0.04
	저수량	44,809.85	842.04	0.02
	갈수량	44,809.85	430.74	0.01
T- N	고수량	1,624.62	26,306.01	16.19
	풍수량	1,624.62	1,634.67	1.01
	평수량	1,624.62	1,016.13	0.63
	저수량	1,624.62	676.96	0.42
	갈수량	1,624.62	483.98	0.30
T- P	고수량	113.33	3,302.49	29.14
	풍수량	113.33	23.06	0.20
	평수량	113.33	9.86	0.09
	저수량	113.33	4.77	0.04
	갈수량	113.33	2.62	0.02

**표 4. 북천유역의 유달부하량 및 유달률**

항목	구분	배출부하량 (kg/day)	유달부하량 (kg/day)	유달률
BOD	고수량	1,432.12	10,638.83	7.43
	풍수량	1,432.12	438.76	0.31
	평수량	1,432.12	191.80	0.13
	저수량	1,432.12	136.01	0.09
	갈수량	1,432.12	81.00	0.06
SS	고수량	17,396.57	265,879.42	15.28
	풍수량	17,396.57	1,836.15	0.11
	평수량	17,396.57	504.78	0.03
	저수량	17,396.57	295.22	0.02
	갈수량	17,396.57	131.48	0.01
T-N	고수량	1,032.98	20,917.36	20.25
	풍수량	1,032.98	1,121.83	1.09
	평수량	1,032.98	525.00	0.51
	저수량	1,032.98	382.98	0.37
	갈수량	1,032.98	238.02	0.23
T-P	고수량	77.79	150.60	1.94
	풍수량	77.79	4.30	0.06
	평수량	77.79	1.71	0.02
	저수량	77.79	1.16	0.01
	갈수량	77.79	0.65	0.01

**표 5. 소양호유역의 유달부하량 및 유달률**

항목	구분	배출부하량 (kg/day)	유달부하량 (kg/day)	유달률
BOD	고수량	7,742.09	165,608.37	21.39
	풍수량	7,742.09	6,529.54	0.84
	평수량	7,742.09	3,361.65	0.43
	저수량	7,742.09	1,888.49	0.24
	갈수량	7,742.09	1,115.20	0.14
SS	고수량	117,619.4	1,630,398.67	13.86
	풍수량	117,619.4	26,141.30	0.22
	평수량	117,619.4	11,188.15	0.10
	저수량	117,619.4	5,353.37	0.05
	갈수량	117,619.4	2,730.26	0.02
T-N	고수량	6,645.51	229,911.42	34.60
	풍수량	6,645.51	9,317.52	1.40
	평수량	6,645.51	4,824.15	0.73
	저수량	6,645.51	2,723.41	0.41
	갈수량	6,645.51	1,615.45	0.24
T-P	고수량	481.42	3,791.85	7.88
	풍수량	481.42	108.63	0.23
	평수량	481.42	52.37	0.11
	저수량	481.42	27.79	0.06
	갈수량	481.42	15.58	0.03

**3.3 유형별 기여율 산정**

본 논문에서는 소양호 유역의 배수구역별 유달오염부하량의 영향력을 관찰하기 위하여 유형 및 계절별 기여율을 산정하였다.

산정방법은 배수구역의 유달부하량을 유역면적으로 나누어 단위면적의 유달부하량에 가중치를 적용하여 배수구역별 백분율로 산정하였다. 본 연구에서의 기여율 산정방법은 식 2와 같다.

$$R = \frac{P}{P} \times 100 \tag{2a}$$

$$P_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1} p_i} \tag{2b}$$

여기서 CR은 소양호 유역의 유달오염부하 기여율이며,  $P_i$ 는 가중치를 적용한 각 배수구역의 유달오염부하량,  $p_i$ 는 배수구역의 유달오염부하량,  $P$ 는 소양호의 유달오염부하량이다.

표 6에서 보는바와 같이 전반적으로 인북천 유역에서는 BOD와 SS, T-P가 높은 기여율을 보이고 있는 것으로 관찰되어 농경지로부터 오염물질의 크게 유출되는 것을 알 수 있으며, T-N의 경우 내린천과 북천 유역에서 높은 기여율을 보이고 있어 생활계 오염원으로부터 오염물질이 크게 유출되는 것을 알 수 있다.

**표 4. 유형별 배수구역의 유달오염부하량 기여율**

항목	구 분	기여율(%)			항목	구 분	기여율(%)		
		내린천	인북천	북천			내린천	인북천	북천
BOD	고수량	27.7	54.5	17.8	T-N	고수량	50.3	22.8	26.9
	풍수량	29.7	37.7	32.6		풍수량	41.9	23.7	34.4
	<b>평균기여율</b>	<b>28.7</b>	<b>46.1</b>	<b>25.2</b>		<b>평균기여율</b>	<b>46.1</b>	<b>23.2</b>	<b>30.7</b>
	평수량	30.8	40.2	29.0		평수량	42.6	27.4	30.0
	저수량	25.5	39.5	35.0		저수량	35.7	29.2	35.0
	갈수량	23.1	42.0	34.9		갈수량	32.5	33.1	34.5
	<b>평균기여율</b>	<b>26.5</b>	<b>40.5</b>	<b>33.0</b>		<b>평균기여율</b>	<b>37.0</b>	<b>29.9</b>	<b>33.2</b>
SS	고수량	57.5	34.2	8.3	T-P	고수량	22.0	73.4	4.6
	풍수량	32.7	37.5	29.8		풍수량	26.0	53.1	21.0
	<b>평균기여율</b>	<b>45.1</b>	<b>35.9</b>	<b>19.1</b>		<b>평균기여율</b>	<b>24.0</b>	<b>63.2</b>	<b>12.8</b>
	평수량	29.3	45.2	25.5		평수량	25.4	54.5	20.1
	저수량	17.9	47.1	35.0		저수량	19.5	53.1	27.4
	갈수량	12.6	53.1	34.3		갈수량	16.1	55.0	28.9
	<b>평균기여율</b>	<b>19.9</b>	<b>48.5</b>	<b>31.6</b>		<b>평균기여율</b>	<b>20.3</b>	<b>54.2</b>	<b>25.5</b>

#### 4. 결 론

본 논문은 북한강 유역의 국내 최대 다목적댐인 소양호 유역을 대상으로 배수구역별 유황변화에 따른 오염부하량의 유달특성을 관찰하고 이를 평가하였으며 또한, 유형별 배수구역의 기여율을 산정하였다. 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

1. 배수구역별 유황 변화에 따른 오염부하량의 유달특성을 관찰한 결과 BOD, SS, T-P의 경우 인북천 유역에서 높은 유달률을 보였으며, 내린천 유역은 SS와 T-N, 합강 유역의 시가지에서는 T-N이 높은 유달률을 보여 배수구역별 오염 총량관리를 위한 중점관리 오염물질항목을 선정하여 제시할 수 있었다.

2. 배수구역별 유황 및 계절변화에 따른 오염부하량의 기여율을 산정하였으며, 전반적으로 BOD와 T-P의 경우 인북천 유역에서 높은 기여율을 SS의 경우 강우기간에는 내린천 유역, 비강우 기간에는 인북천 유역에서 높은 기여율을 보였다. T-N은 내린천과 북천유역에서 높은 기여율을 보이고 있는 것으로 관찰되었으며, T-N과 T-P는 호소수 부영양화 조절을 위한 제한 영양소임을 고려할 때 본 유역에 대한 오염원의 집중적인 관리가 필요한 것을 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 박종봉(2001), “유달오염부하량과 유량 관계식을 이용한 소옥천의 유달오염부하량 산정”, 석사 학위 논문, 충남대학교 대학원.
2. 손태석·박재범·신현석(2009), “낙동강수계 수질오염총량관리를 위한 시범소유역 유형별 유달율 산정방법 연구”, 한국물환경학회지 제25권 5호.
3. 이상진(2003), “오염총량관리를 위한 수질오염물질 유달특성에 관한연구”, 박사학위 논문, 대전대학교 대학원.
4. 주석훈(2009), “오염총량제 적용을 위한 유달율 산정방법에 관한 연구”, 공학박사학위 논문, 전남대학교 대학원.