

# 배수구역의 유달오염부하량이 소양호 유역에 미치는 기여율 평가

박수진<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한림성심대학교 토목과

## Evaluation of the Contribution Ratio that the Pollution Loads of the Drainage Areas Affect Soyang-lake

Soo-Jin Park<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil Engineering, Hallym Polytechnic University

**요약** 본 논문은 소양호 유역을 대상으로 배수구역의 유달오염부하량을 산정하여 유황 및 계절변화에 따른 소양호 유역에 미치는 기여율을 평가 하였다. 유황변화에 따른 배수구역의 기여율을 보면 인북천 유역의 SS와 T-P 항목이 평수량 이상과 저수량 기간에서 46%와 51%의 기여율을 T-P는 평수량 49.5%, 저수량 기간은 48.5%의 기여율을 보였다. 다음으로 계절 변화에 따른 기여율을 관찰한 결과, 인북천 SS 항목이 전 계절 동안 39.6%에서 44.3%를 T-P는 53.8%로 다른 배수구역에 비하여 높은 기여율을 보였다. T-N은 전 계절에서 내린천 유역이 39.6%에서 44.3%의 기여율을 보였다. 전체적으로 인북천 유역의 SS와 T-P 항목, 내린천의 T-N이 소양호 유역의 오염물질 유출에 높은 기여율을 보였다.

**Abstract** This study examined contribution rate on the Soyangho Lake watershed based on the flow regime, and seasonal change was evaluated by calculating the delivery pollution load of the drainage area of Soyangho Lake watershed. According to the contribution rate of the drainage area by the flow regime change, Inbukcheon Creek watershed's SS and T-P entry have recorded abnormal Six month flow and a contribution rate of 46% and 51% during the Low-water flow period. At the same time, the T-P recorded a 49.5% contribution rate and a contribution rate of 48.5% during the Low-water flow period. In sequence, Inbukcheon creek's SS entry recorded a comparatively higher contribution rate than the other drainage area, which are 39.6% and 44.3% during the entire season and 53.8% for T-P, as a result of observing the contribution rate based on the seasonal changes. The T-N at the Naerincheon Creek watershed for the entire season recorded a contribution rate between 39.6% and 44.3%. Overall, Inbukcheon Creek watershed's SS and T-P entry and Naerincheon creek's T-N had a high contribution rate on contaminant spill.

**Key Words** : Delivery Pollution Load, Flow Duration-discharge, Drainage Area, Contribution Ratio, Seasonal Change

### 1. 서론

생활수준의 향상 및 농지에서의 단위면적당 생산량 증가를 위한 객토 및 비료살포, 난개발 조장 등으로 인하여 수계의 수질오염을 가중시키고 있다[1]. 또한 농촌 지역의 생활수준 향상 및 오염원의 규모 증가로 하천의 수질은 더욱 악화 되고 있는 실정이다. 이에 정부는 배출허용기준에 의한 농도 위주의 규제만으로는 오염원의

총량을 억제할 수 없어 효율적인 수질 개선을 위하여 유역별 수질관리방식인 오염총량제를 도입하여 실시하고 있다[2].

따라서 본 논문은 오염총량제를 도입하여 시행을 앞두고 있는 국내최대 다목적 댐인 소양호를 대상으로 배수구역별 유달오염부하량을 산정하여 유황 및 계절 변화에 따른 유출특성을 파악하고 기여율을 산정하여 이를 평가하고자 하였다.

\*Corresponding Author : Soo-Jin Park(Hallym Polytechnic Univ.)

Tel: +82-33-240-9419 email: parksj@hsc.ac.kr

Received May 15, 2014

Revised August 1, 2014

Accepted August 7, 2014

## 2. 대상지점 및 자료조사

### 2.1 대상지점

본 연구는 소양호 유역을 대상으로 하였으며, 유역의 형태가 대부분 산지 및 농경지 형태를 이루고 있어 농업 활동을 위한 대량의 객토로 인하여 강우시 대량의 비점 오염물질이 유출되는 특성을 가지고 있다. 소양호 유역은 크게 내린천, 인북천, 북천 등의 지류하천으로 형성되어있으며, 유역의 형태는 85%가 산지와 농경지로 구성되어있다.

### 2.2 자료조사

#### 2.2.1 수질자료

소양호 유역의 배수구역별 유달오염부하량 산정을 위하여 수질자료를 조사하였으며, 자료는 환경부에서 고시한 월평균 자료를 이용하였다[3].

자료 기간은 유량자료 및 조사 자료의 신뢰 등을 고려하여 2003년부터 2012년까지의 자료를 이용하여 분석하였다. 배수구역별 수질조사 지점은 Table 1과 같으며, 유역도는 Fig. 1과 같다.

[Table 1] Water quality measurement points in the basin of Soyang-lake

Drainage areas	Measurement points	Research institutions	Measure year	Base period (Years)
Naerin-cheon	Wondae-gyo, Wondae-ri, Inje-gun	Gangwon-do	1994	2003~2012
Inbuk-cheon	Seoho-gyo, Buk-myeon, Inje-gun	Local ministry of environment in Wonju	1994	2003~2012
Book-cheon	Aduwon-gyo, Book-myeon, Inje-gun	Gangwon-do	1994	2003~2012
Soyang lake	Dock of Sinnam, Nam-myeon, Inje-gun	K-water	1992	2003~2012

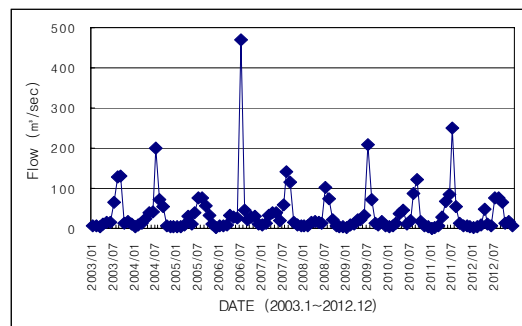


[Fig. 1] Basin map and water quality measurement points in the study area

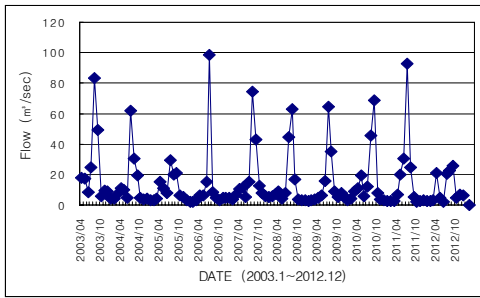
#### 2.2.2 유량자료

배수구역의 유출량 산정은 지점의 T/M 수위관측소 수위자료[4]를 이용하여 “한국수문조사연보”의 수위-유량 관계곡선식[5]을 이용, 월평균 유출량을 산정하였다. 다음으로 소양호의 유입량은 “한국수자원공사 소양강댐 관리연보”에 고시한 자료를 이용하였다. 지류하천의 유출량 및 소양호의 유입량 변화는 Fig. 2부터 Fig. 5와 같다.

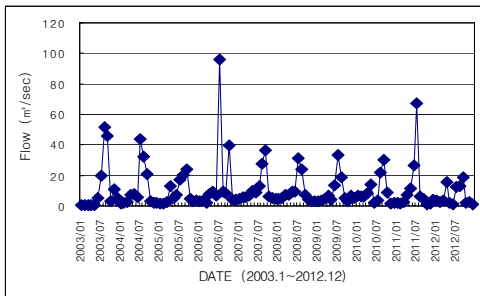
지류하천의 유출량을 살펴보면, 내린천 유역의 경우 최소 1.32 m<sup>3</sup>/sec부터 최대 469.68 m<sup>3</sup>/sec의 범위를 보였으며, 평균적으로 36.76 m<sup>3</sup>/sec가 유출되었다. 인북천은 최소 1.93 m<sup>3</sup>/sec부터 최대 98.53m<sup>3</sup>/sec의 범위를 보였으며, 평균적으로 14.48m<sup>3</sup>/sec가 유출되었다. 북천은 최소 0.37 m<sup>3</sup>/sec부터 95.95 m<sup>3</sup>/sec의 범위를 보였으며, 평균적으로 10.54 m<sup>3</sup>/sec의 유출을 보였다.



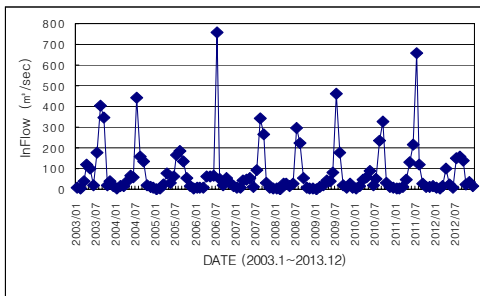
[Fig. 2] Runoff of Naerin-cheon watershed



[Fig. 3] Runoff of Inbuk-cheon watershed



[Fig. 4] Runoff of Book-cheon watershed



[Fig. 5] Inflow of Soyang-lake watershed[6]

Fig. 5의 소양호 유입량은 최소 3.38 m³/sec 부터 756.2 m³/sec의 범위를 보였으며, 평균적으로 78.84 m³/sec의 유입량을 보였다.

### 3. 분석 및 고찰

#### 3.1 배수구역의 유달오염부하량 원단위 산정

소양호 오염부하량 유출의 배수구역별 영향력을 관찰하기 위하여 유달오염부하량 원단위를 산정하였다. 산정방법은 오염물질별 수질농도에 일평균유량을 곱하여 부하량을 산정한 뒤, 시간변화를 곱하여 소양호와 배

수구역의 유달오염부하량에 배수구역 면적을 나누어 산정하였다. 산정된 유달오염부하량은 Table 2와 같다.

[Table 2] Delivery pollution loads in the drainage areas of Soyang-lake watershed

Drainage areas	BOD (kg/day/km)	SS (kg/day/km)	TN (kg/day/km)	TP (g/day/km)
Naerin-cheon	3.1	38.9	6.3	45.4
Inuk-cheon	3.0	35.0	4.5	78.3
Book-cheon	3.2	12.9	4.1	26.7
Soyang lake	3.4	24.9	4.8	65.5

Table 2를 보면, 배수구역 중 내린천과 인북천 유역에서 SS와 TP 항목이 가장 크게 산정되었으며, T-N은 내린천 유역으로 관찰되었다. 이는 인북천 유역과 내린천 유역이 다른 유역에 비하여 농경작지가 넓게 분포되어 오염물질이 크게 유출되기 때문으로 판단되며, 다음으로 TN의 경우 내린천 유역 내 점오염원의 영향으로 다소 높게 산정된 것으로 판단된다. 조사기간 중 가장 높게 산정된 연도는 2006년으로 나타났으며, 이는 유역의 연간 총강우량이 1,625mm로 크게 발생하였기 때문으로 판단된다.

#### 3.2 유출량과 유달오염부하량의 관계

배수구역의 유행변화에 따른 유달오염부하량을 산정하기 위하여 유출량과 유달오염부하량의 회귀식을 작성하였으며, 작성방법은 식 (1)과 같다.

$$\log L = a_1 \times \log Q + b_1' \quad (1.a)$$

$$L = e^{b_1'} \times Q^{a_1} \quad (1.b)$$

여기서  $e^{b_1'}$ 를  $b_1$ 라고 표현하면, 유출량과 유달오염부하량의 관계식은 다음 식 (2)와 같다[7].

$$L = b_1 \times Q^{a_1} \quad (2)$$

여기서  $L$ 은 유달오염부하량(kg/day)이고,  $Q$ 는 유출량(m³/sec)이며,  $a_1$ 과  $b_1$ 은 유달오염부하량의 회귀계수이다. 유출량에 따른 유달오염부하량의 회귀분석 결과는 Table 3과 같다.

[Table 3] Regression analysis result of delivery pollution loads according to the runoff

Drainage areas		BOD	SS	T-N	T-P	
Naerin-cheon	R-squared	0.93	0.81	0.95	0.85	
	Regression coefficient	$a_l$	1.137	1.674	0.948	1.246
		$b_l$	43.787	21.214	216.995	0.320
Inbook-cheon	R-squared	0.79	0.88	0.89	0.84	
	Regression coefficient	$a_l$	1.152	1.820	0.904	1.375
		$b_l$	55.185	60.374	207.987	0.729
Book-cheon	R-squared	0.91	0.82	0.92	0.78	
	Regression coefficient	$a_l$	1.159	1.515	0.919	1.121
		$b_l$	51.426	46.930	147.092	0.404
Soyang lake	R-squared	0.98	0.84	0.94	0.91	
	Regression coefficient	$a_l$	1.061	1.355	1.036	1.157
		$b_l$	82.919	97.852	132.156	0.857

### 3.3 유황별 유달오염부하량

#### 3.3.1 배수구역의 유황별 유출량

배수구역의 유량 유황곡선은 2007년부터 2012년까지의 일유량 자료를 이용하여 유황별 유량을 산정하였다. 산정 값은 Table 4에 정리하였다.

[Table 4] Duration curve of flows in the drainage areas

Flows	Soyang lake(m <sup>3</sup> /sec)	Naerin-cheon (m <sup>3</sup> /sec)	Inbook-cheon (m <sup>3</sup> /sec)	Book-cheon (m <sup>3</sup> /sec)
Ninety-five flow	48.9	23.0	8.6	5.9
Six month flow	22.0	9.7	4.0	3.2
Low-water flow	10.2	3.8	2.5	1.6
Minimum flow	6.8	2.9	1.5	0.9

#### 3.3.2 배수구역의 유황별 유달오염부하량

본 연구에서 산정한 유출량과 유달오염부하량 관계식을 이용하여 유황별 유출량에 따른 유달오염부하량을 산정하였으며, 산정 값은 Table 5부터 Table 8에 정리하였다.

[Table 5] Pollution loads according to the duration curve of flows in the basin of Soyang lake

Flows	BOD (g/day/km <sup>2</sup> )	SS (g/day/km <sup>2</sup> )	TN (g/day/km <sup>2</sup> )	TP (g/day/km <sup>2</sup> )
Ninety-five flow	2,075	7,685	3,001	31.2
Six month flow	889	2,604	1,312	12.4
Low-water flow	393	919	592	5.1
Minimum flow	256	530	389	3.2

[Table 6] Pollution loads according to the duration curve of flows in the basin of Naerin-cheon

Flows	BOD (g/day/km <sup>2</sup> )	SS (g/day/km <sup>2</sup> )	TN (g/day/km <sup>2</sup> )	TP (g/day/km <sup>2</sup> )
Ninety-five flow	1,489	3,886	4,080	15.3
Six month flow	558	916	1,800	5.2
Low-water flow	192	191	740	1.6
Minimum flow	141	121	573	1.2

[Table 7] Pollution loads according to the duration curve of flows in the basin of Inbuk-cheon

Flows	BOD (g/day/ km <sup>2</sup> )	SS (g/day/ km <sup>2</sup> )	TN (g/day/ km <sup>2</sup> )	TP (g/day/ km <sup>2</sup> )
Ninety-five flow	1,240	5,709	2,740	26.5
Six month flow	513	1,417	1,372	9.2
Low-water flow	299	603	897	4.8
Minimum flow	166	238	565	2.4

[Table 8] Pollution loads according to the duration curve of flows in the basin of Book-cheon

Flows	BOD (g/day/ km <sup>2</sup> )	SS (g/day/ km <sup>2</sup> )	TN (g/day/ km <sup>2</sup> )	TP (g/day/ km <sup>2</sup> )
Ninety-five flow	1,323	2,271	2,472	9.7
Six month flow	651	899	1409	4.9
Low-water flow	292	315	745	2.3
Minimum flow	150	132	439	1.2

배수구역의 유역면적대비 유달오염부하량을 보면, 평수량 이상의 기간에서 인북천 유역의 SS와 T-P가 높게 배출되는 것을 알 수 있으며, T-N은 내린천 유역에서 높게 배출되었다.

### 3.4 유달오염부하량 기여율 평가

배수구역의 유달오염부하량이 소양호 유역에 미치는 영향력을 관찰하기 위하여 기여율을 산정하였으며, 산정 방법은 식 (1)과 같다[7].

$$CR = \frac{P_i}{P} \times 100 \quad (1.a)$$

$$P_i = p_i \frac{P}{\sum_{i=1}^N p_i} \quad (1.b)$$

여기서 CR은 소양호 유역의 유달오염부하기여율(%)이며, P<sub>i</sub>는 가중치를 적용한 각 배수구역의 유달오염부하량(kg/day/km<sup>2</sup>), p<sub>i</sub>는 배수구역의 유달오염부하량(kg/day/km<sup>2</sup>), P는 소양호의 유달오염부하량(kg/day/km<sup>2</sup>)이다.

#### 3.4.1 유황별 유달오염부하량 기여율

유출특성에 따른 배수구역의 유달오염부하량 기여율을 평가하기 위하여 유황변화에 따른 유달오염부하량의 기여율을 산정하였으며, 산정 값은 Table 9와 같다.

Table 9를 보면, 평수량 기간 이상의 경우 BOD에서 내린천과 북천이 35%의 기여율을 보였으며, 인북천은 30%를 보였다. 저수량 기간에서는 인북천이 37%를 보였으며, 북천과 내린천이 35%와 28%를 보였다. SS는 인북천 유역이 평수량 이상 기간과 저수량기간에서 46%와 51%의 높은 유달 비율을 보였다. T-N은 평수량 기간 이상에서 내린천이 42%의 유달 비율을 보였으며, 인북천과 북천 유역이 30%와 29%의 유달비율을 보였다. 다음으로 저수량 기간은 인북천과 내린천, 북천 유역이 37%와 34%, 30%의 기여율을 보였다. T-P는 평수량 기간에서 인북천 유역의 48%와 51%, 저수량 기간 이하에서 41%와 56%로 높은 기여율을 보였다.

전체적으로 SS와 TP의 경우 인북천 유역에서 높은 기여율을 보였으며, 이는 다른 유역에 비하여 농경작지가 넓게 분포되어있어 오염물질의 유출이 크기 때문으로 판단된다. 다른 항목의 경우 전체유역에서 비슷한 기여율을 보이고 있는 것으로 관찰되었다.

[Table 9] Contribution ratio evaluation of delivery pollution loads on the duration curve of flows in the drainage areas

Flows	Naerin-cheon(%)				Inbuk-cheon(%)				Book-cheon(%)			
	BOD	SS	TN	TP	BOD	SS	TN	TP	BOD	SS	TN	TP
Ninety-five flow	37	33	44	30	31	48	29	51	33	19	27	19
Six month flow	32	28	39	27	30	44	30	48	38	28	31	25
Low-water flow	25	17	31	19	38	54	38	56	37	28	31	26
Minimum flow	31	25	36	24	36	48	36	51	33	27	28	25

[Table 10] Contribution Ratio evaluation of deliveries pollution loads on the seasons of drainage areas

Seasonals	Naerin-cheon(%)				Inbuk-cheon(%)				Book-cheon(%)			
	BOD	SS	TN	TP	BOD	SS	TN	TP	BOD	SS	TN	TP
Spring	35.1	34.0	39.6	26.3	31.5	43.6	29.8	53.5	33.4	22.4	30.6	20.1
Summer	35.7	43.2	44.3	30.4	30.9	39.8	29.3	49.8	33.3	16.9	26.4	19.8
Seasonals	Naerin-cheon(%)				Inbuk-cheon(%)				Book-cheon(%)			
	BOD	SS	TN	TP	BOD	SS	TN	TP	BOD	SS	TN	TP
Autumn	25.9	18.3	39.6	17.0	29.4	52.0	30.1	57.7	44.7	29.7	30.3	25.3
Winter	21.3	13.3	28.5	17.3	34.1	43.8	30.2	51.7	44.6	42.9	41.3	31.1

3.4.2 계절별 유달오염부하량 기여율

계절변화에 따른 배수구역의 유달오염부하량 기여율을 산정하였으며, 산정 값은 Table 10과 같다.

Table 10을 보면, BOD의 경우 북천이 계절 가을과 겨울에서 44.7%와 44.6%로 다른 배수구역에 비하여 높은 기여율을 보였으며, 다른 계절에서는 비슷한 기여율을 보였다. 다음으로 SS는 인북천 지역의 계절 봄과 여름, 가을, 겨울 기간 동안 39.8%에서 52%로 다른 배수구역에 비하여 높은 기여율을 보였으며, 내린천은 여름 43.2%로 인북천 지역과 비슷한 기여율을 보였다. T-N은 내린천 지역의 계절 봄과, 여름, 가을 기간 동안 39.6%에서 44.3%의 기여율을 보였다. 끝으로 T-P는 전 계절에서 다른 배수구역에 비하여 인북천 지역이 49.8%에서 57.7%로 높은 기여율을 보였다.

요약을 하면, 전 계절에서 인북천 지역의 SS와 T-P 항목이 높은 기여율을 보이는 것을 알 수 있으며, T-N은 내린천의 봄과 여름, 가을기간 동안 다른 지역에 비하여 높은 기여율을 보이고 있는 것으로 관찰되었다.

4. 결 론

본 논문은 소양호 유역을 대상으로 각 배수구역의 유달오염부하량을 산정하여 유황 및 계절 변화에 따른 소양호 유역에 미치는 배수구역의 기여율을 평가하였다. 유황변화에 따른 배수구역의 기여율을 보면, 인북천 지역의 SS와 T-P 항목이 평수량 이상과 저수량 기간에서 46%와 51%의 기여율을 T-P는 평수량 49.5%, 저수량 기간 48.5%의 기여율을 보였다. 다음으로 계절 변화에 따른 기여율을 관찰한 결과, 인북천 SS 항목이 전 계절 동안 39.6%에서 44.3%를 T-P는 53.8%로 다른 배수구역에 비하여 높은 기여율을 보였다. T-N은 전 계절에서 내린천 유역이 39.6%에서 44.3%의 기여율을 보였다. 전 체적으로 인북천 유역의 SS와 T-P 항목, 내린천의

T-N이 소양호 유역의 오염물질 유출에 높은 기여율을 보이고 있어 부영양화조절을 위한 제한 영양소임을 고려할 때 본 유역에 대한 오염원의 집중적인 관리가 필요 한 것을 알 수 있다.

References

- [1] National Institute of Environmental Research, "Water Pollution Load Management Technical Guidelines", 2002.
- [2] Joo S.H., "A Study on Delivery Ration Methods for TMDL Development", PhD Thesis, Chonnam National University, 2009.
- [3] Ministry of Environment, "Water Information System : <http://water.nier.go.kr>"
- [4] Ministry of Land, "Water Management Information System : <http://wamis.go.kr>"
- [5] Ministry of Land, "Hydrological Annual Report in Korea", 2013.
- [6] Korea Water Resources Corporation, "Soyang-gang Dam Management Annual Report", 2012.
- [7] Park, S.J., "Forecasting of Water Quality and Analysis on Pollution Load Delivery Characteristics of Soyang Lake Basin", PhD Thesis, Kangwon National University, 2011.

박 수 진(Soo-Jin Park)

[정회원]



- 2011년 2월 : 강원대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2012년 9월 ~ 2013년 8월 : 강원대학교 POST-DOC.
- 2007년 3월 ~ 현재 : 한림성심대학교 토목과 강사

<관심분야>  
수공학, 하천환경