

## 다변량 분석을 이용한 소양호 유역의 계절별 오염물질 유출 해석

박수진<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 공과대학부속 산업기술연구소

### Seasonals Pollutant Outflow Analysis in the Watershed of Soyang Lake by using Multivariate Analysis

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

<sup>1</sup>Institute of Industrial Technology, Kangwon National University

**요 약** 본 논문은 소양호 유역의 오염물질 유출에 영향을 주는 지류하천의 인자들을 선정하여 계절변화에 따른 오염물질의 유출을 해석하였다. 분석방법은 인자분석을 통하여 계절별 오염물질 유출에 영향을 주는 배수구역의 인자들을 분류하고, 대표성을 갖는 인자항목을 선정하여 평가하였다. 연구결과, SS와 T-P항목의 경우 강우유출수와 유사한 항목으로 분류되어 비강우시 오염원 관리를 통하여 수질개선에 노력하여야 할 것이다. 다음으로 인자항목의 영향력을 관찰한 결과, 계절 봄과 겨울은 전체적으로 36%의 영향력을 여름과 가을에서는 90%이상의 유의적인 영향력을 행사하고 있는 것으로 관찰되어 지류하천의 오염원 관리를 통한 수질개선 효과가 가능할 것으로 보인다. 끝으로 분류된 인자항목을 독립변수로 하여 계절변화에 따른 배수구역의 오염물질 유출특성을 고려한 유달오염부하량 예측이 가능할 것이다.

**Abstract** This study evaluated the behavior of pollutants based on the seasonal change by selecting the branch river's factors that influence the outflow of pollutants in Soyang lake basin. The analysis method was the factor analysis that classified the factors of the drainage area influencing the outflow of pollutants, and evaluated selected representative factors. As a result of the study, SS and T-P factors should be classified as similar factors to the storm water runoff, and the improvement of water must be strived through managing source of pollution at the time of no rain. Second, as the result of the influence from the factors, spring and winter seasons usually exert 36% influence and summer and fall exert over 90% significant influence that the improvement of water through managing source of water seems possible. At last, the prediction about delivery pollution load considering the outflow characteristic of pollutants at the drainage area based on seasonal change by regarding selected factors as independent variables is possible.

**Key Words** : Branch river, Drainage area, Factor analysis, Pollutant Behaviour Analysis

#### 1. 서론

인구증가와 더불어 급속한 도시화 및 산업화로 인하여 오염원으로부터 오염물질은 지속적으로 증가 되었으며, 그간의 수질정책은 배출시설에서 나오는 오염물질의 농도만을 규제하였다. 그러나 오염물질의 총량이 증가하는

문제는 수질개선에 한계가 있기에 오염물질 배출의 총량을 규제하며, 유역별 수질관리방식을 위한 오염총량제를 도입하게 되었다. 이는 지방자치단체별 목표수질을 정한 뒤, 총량관리 계획을 수립하여 해당지역 내 발생하는 오염물질의 배출량을 총량적으로 관리하는 방식이다. 그러나 총량관리 수립을 위한 배수구역의 오염물질 유출평가

\*Corresponding Author : Soo Jin Park

Tel: +82-33-250-6241 email: parksj@kangwon.ac.kr

접수일 12년 05월 08일

수정일 (1차 12년 07월 17일, 2차 12년 07월 25일)

개재확정일 12년 08월 09일

나 계절별 유출 해석은 미비한 실정이다. 특히 전체 오염물질 중 비점오염물질이 차지하는 비율이 높은 만큼 계절별 오염물질에 대한 유출의 해석 평가는 매우중요하다.

따라서 본 논문은 북한강 유역의 국내최대 다목적댐인 소양호를 대상으로 하여 지류하천의 유량과 수질을 조사하여 계절별 오염물질의 유출특성을 관찰하였다. 다음으로 다변량 분석을 통하여 오염부하 유출의 인자항목을 선정하고 이를 관찰하여 계절별 오염물질 유출에 대하여 평가하였다.

## 2. 분석모형의 이론

인자분석(factor analysis)은 상호 연관된 다변량 확률변수들 간의 내부적 상호의존관계를 그 저변에 내재하는 가설적 개념인 소수 몇 개의 공통인자를 통해 재현, 해석하고자 하는 통계학적 분석방법이다(박정식·윤영선, 2009).

각 관찰 개체가  $P(\geq 2)$ 개의 변수  $X_1, X_2, \dots, X_p$ 에 관해 측정되어  $P$ 개의 원소를 가진 각각의 다변량 관찰벡터  $X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_p)$ 를 형성하고,  $P$  변량 변수벡터  $X$ 는 모집단 평균벡터  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_p)$  =  $E(X)$  와 공분산 행렬  $\Sigma = [\sigma_{ij}] = VAR(X)$ 를 가진다고 하면, 공통 인자분석 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_1 \cdot \mu_1 &= \lambda_{11}F_1 + \lambda_{12}F_2 + \lambda_{13}F_3 \dots \dots \dots \lambda_{1m}F_m + \varepsilon_1 \\ &\quad \bullet \\ X_p \cdot \mu_p &= \lambda_{p1}F_1 + \lambda_{p2}F_2 + \lambda_{p3}F_3 \\ &\quad \dots \dots \dots \lambda_{pm}F_m + \varepsilon_p \end{aligned} \tag{1}$$

행렬을 이용하여 이들을 전체적으로 표현하면 다음과 같다.

$$X_i \cdot \mu_i = \lambda_{ij}F_j + \varepsilon_i \tag{2}$$

여기서  $X_i$  : 확률변수의 벡터,  $\mu_i$  : 평균벡터

$\lambda_{ij}$  :  $j$ 번째 인자에 대한  $i$ 번째의 부하(loading),  $F_i$  : 공통인자(common factor),  $\varepsilon_i$  : 특수인자(specific factor)이다.

변수들 사이의 모집단 공분산 행렬은 다음과 같이 표현된다.

$$Var(X_i) = \sigma_{ii} = [\lambda_{i1}^2 + \lambda_{i2}^2 + \dots + \lambda_{im}^2] + \phi_i$$

$$= h_i^2 + \phi_i \tag{3}$$

$$\begin{aligned} Cov(X_i, X_j) &= \sigma_{ij} = \sigma_{ji} \\ &= \lambda_{i1}\lambda_{j1} + \lambda_{i2}\lambda_{j2} + \dots + \lambda_{im}\lambda_{jm} \quad i \neq j \\ &= l_{ij} \end{aligned} \tag{4}$$

식 (3)에서  $h_i^2$ 은  $X_i$ 의 공통분산(common variance)이다.  $\phi_i$ 는 특수분산(specific variance)이다. 각 변수들의 요인부하를 구한 인자행렬(factor matrix)을 얻은 후 적재값  $l_{ij}$ 들의 속성을 살펴 인자들의 의미를 해석하고자 할 때 처음 구한 인자(unrotated factor)는 해석하기 어려울 수 있으므로 뚜렷한 특징이 나타나도록 인자의 축을 회전하게 된다. 이때 인자들을 회전하는 방식에는 직교해법(orthogonal solution)과 사각해법(oblique solution)이 사용된다(김기영·전명식, 1997).

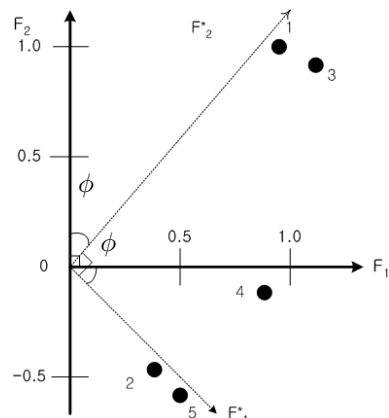
$\hat{L}$ 를  $p \times m$ 을 갖는 행렬이라면 다음 식 (5)이 성립된다.

$$\hat{L}^* = \hat{L}T \tag{5}$$

여기서,  $\hat{L}^*$ 은 회전시킨 인자부하이고,  $TT' = T'T = I$ 이며,  $T$ 는  $m \times m$ 의 직교행렬,  $T'$ 은 행렬  $T$ 의 역행렬,  $I$ 는 단위행렬이다.

회전각  $\phi$ 로 좌표축을 회전시키면 그림 1과 같으며, 그림 1에서 1~5는 각 변수에 대한 인자의 적재 값이다.

그림 1에서  $F_1, F_2$ 는 회전하기 전의 인자이며,  $F_1^*, F_2^*$ 는 회전각  $\phi$ 로 회전한 후의 인자이다.

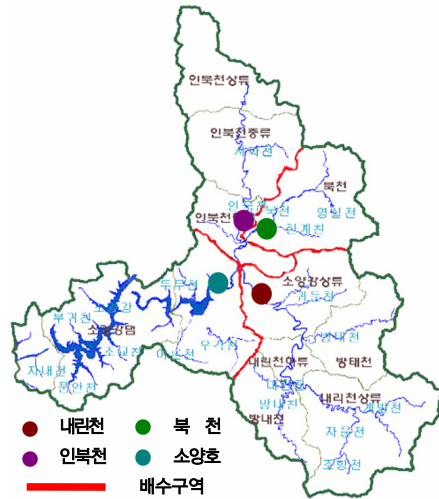


[그림 1] 인자의 회전  
[Fig. 1] Rotate of factor

### 3. 대상유역 선정 및 자료조사

#### 3.1 대상유역

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 특징을 가지고 있다. 소양호 유역은 크게 내린천, 인북천, 북천 등의 지류하천으로 형성되어 있으며, 이들 지류하천의 유역면적은 소양호 전체 유역의 76%를 차지한다(한국수자원공사, 2010). 따라서 본 연구에서의 배수구역 선정은 이들 지류하천을 선정하여 본 연구를 수행하였다. 유역의 형태는 대부분 전체 유역의 80%가 산지로 구성되어있으며 농경작지의 비율은 인북천 유역이 8%, 북천 유역이 4%, 내린천 유역이 5.5%를 차지한다.



[그림 2] 연구지점의 유역도 및 수질조사지점  
[Fig. 2] Basin map and water survey point in the study area

#### 3.2 자료조사

##### 3.2.1 수질자료

소양호 유역의 오염물질 유출을 파악하기 위하여 수질 자료를 조사하였다. 자료는 환경부에서 고시한 월평균 수질자료를 이용하여 본 연구를 수행하였으며, 소양호의 유입수 수질은 한국수자원공사의 소양강댐 관리연보 자료를 이용하였다. 자료의 적용기간은 대상지점의 경우 2003년부터 유량조사가 이루어져 있는 관계로 2003년부터 2009년까지의 수질자료를 이용하여 분석하였다. 배수구역별 수질조사 지점은 표 1과 같으며, 유역도는 그림 2와 같다.

##### 3.2.2 강우량 자료

오염물질은 대부분 강우기간 동안 지표유출수와 함께 유출되기 때문에 그 유역의 강우량 및 강우특성에 상당한 밀접한 관계를 가지게 된다(이용환, 1998). 따라서 본 연구지점의 강우량을 산정하기 위하여 연구지점에 영향을 주는 우량관측소를 선정하여 각 우량관측소의 측정강우량에 Thiessen계수를 적용, 유역의 평균강우량을 산정하여 본 연구 자료로 활용하였다. 배수구역의 우량관측소별 Thiessen계수는 표 2와 같다.

[표 2] 배수구역별 우량관측소 Thiessen 계수

[Table 2] Rainfall station thiessen coefficient of drainage area

유역명	소양강댐 전체유역	인북천 유역	북천 유역	내린천 유역	
유역면적(km <sup>2</sup> )	2703	652.2	307.7	1097	
면적비(%)	100	24	11	40	
Thiessen 계수	서화	0.1348	0.89310		
	백담사	0.0456	-	0.454	
	원통	0.05836	0.1069	0.008	
	현리	0.05043	-		0.12756
	창촌	0.09498	-		0.24042
	인제	0.07858	-		0.02558
	용대	0.10561	-	0.538	-
	균량	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	-		-	

주) 소양강댐관리연보(2010), 한국수자원공사

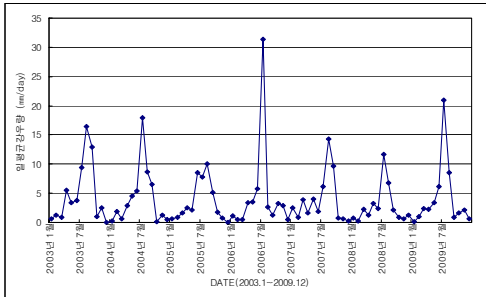
[표 1] 배수구역별 수질조사 지점

[Table 1] Water survey point of drainage area

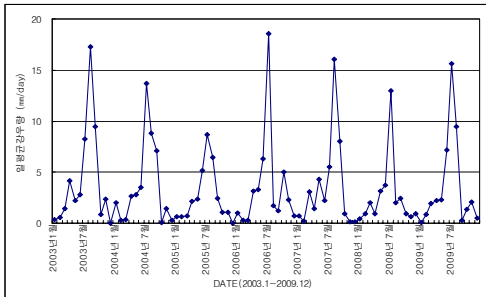
구 분	조사위치	조사기관	조사년도	자료기간
내린천	인제군 인제읍 원대리 원대교	강원도	1994년	2003년~2009년
인북천	인제군 북면 원통리 서호교	원주지방환경청	1994년	2003년~2009년
북천	인제군 북면 원통리 어두원교	강원도	1994년	2003년~2009년
소양호	인제군 남면 부평리 신평선착장	한국수자원공사	1992년	1994년~2009년

주) 물환경정보시스템 : <http://water.nier.go.kr>, 환경부

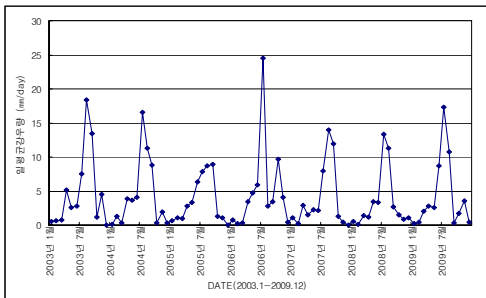
그림 3부터 그림 5의 소양호 지류하천의 산정된 유역의 평균강우량을 살펴보면 내린천 유역의 경우 1,464mm가 산정되었으며, 인북천 유역은 1,241mm, 북천 유역이 1,525mm가 산정되어 6월~8월 기간에 전체 강수량의 약 70%가 발생하였다. 가장 큰 강우량을 보인기간은 2006년 7월로 나타났으며, 한 달 동안 내린천 954mm, 인북천 745mm, 북천 565mm가 발생하였다.



[그림 3] 내린천 지점의 유역평균 강우량  
[Fig. 3] Average rainfall of watershed in the Naerin cheon branch



[그림 4] 인북천 지점의 유역평균 강우량  
[Fig. 4] Average rainfall of watershed in the Inbuk cheon branch

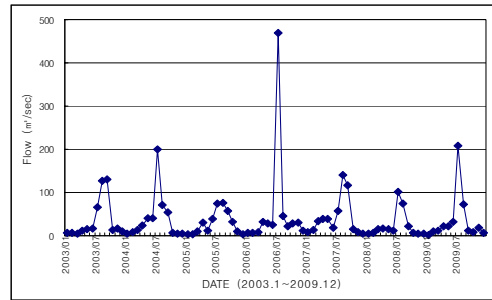


[그림 5] 북천 지점의 유역평균 강우량  
[Fig. 5] Average rainfall of watershed in the Book cheon branch

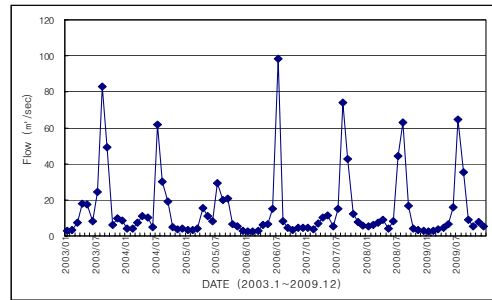
### 3.2.3 유량 자료

대상유역의 유출량 산정은 각 배수구역내 한국수자원공사의 T/M 수위관측소가 운영되고 있어, 각 지점에서 개발하여 고시한 “한국수문조사연보”의 수위-유량 관계 곡선식을 이용하여 월평균 유출량을 산정하였다. 소양호의 유입량 자료는 한국수자원공사 소양강댐 관리연보에 고시한 1994년 1월부터 2009년 12월까지의 유입량 자료를 조사하여 연구 자료로 이용하였다.

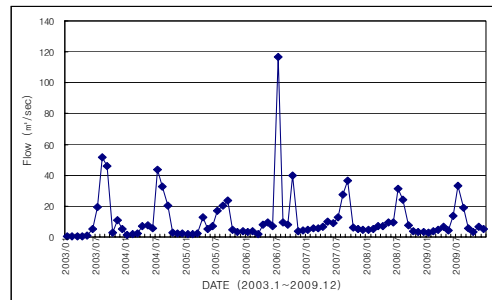
지류하천의 유출량 및 소양호의 유입량 변화는 그림 6부터 그림 9와 같다.



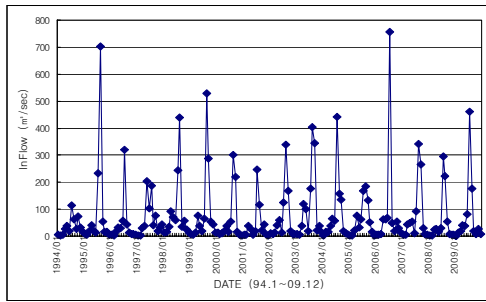
[그림 6] 내린천 유역의 유출량  
[Fig. 6] Runoff of Naerin cheon watershed



[그림 7] 인북천 유역의 유출량  
[Fig. 7] Runoff of Inbuk cheon watershed



[그림 8] 북천 유역의 유출량  
[Fig. 8] Runoff of Book cheon watershed



[그림 9] 소양호의 유입량  
[Fig. 9] Inflow of Soyang lake watershed

지류하천의 유출량 및 소양호의 유입량 변화를 살펴보면, 내린천 유역의 경우 최소 2.240m³/sec 부터 최대 469.687m³/sec의 범위를 보였으며, 평균적으로 37.886m³/sec의 유출량을 보였다. 다음으로 인북천은 최소 2.336m³/sec부터 최대 98.528m³/sec의 범위를 보였으며, 평균적으로 14.628m³/sec의 유출량을 보였다. 북천은 최소 0.368m³/sec, 최대 116.967m³/sec의 범위를 보였으며, 평균적으로 11.387m³/sec의 유출량을 보였다.

소양호의 유입량은 최소 5.8m³/sec부터 최대 756.2m³/sec의 유입량을 보여 평균적으로 71.898m³/sec의 유입량을 보였다. 전체적으로 자료기간 동안 가장 큰 유출량과 유입량을 보인 기간은 2006년 7월로 나타났다.

## 4. 분석 및 고찰

### 4.1 인자항목 분류

본 논문에서는 소양호 유역의 효율적인 오염총량 관리를 위해 각 배수구역의 강우시 및 계절별로 구분하여 오

염물질의 유출특성에 대하여 연구하였다.

오염물질 항목별 계절변화에 따른 오염물질 유출에 영향을 주는 인자들의 유사한 특성을 갖는 항목을 분류하여 대표성을 갖는 인자항목을 선정하고 이를 평가하고자 다변량 분석을 하였다. 분석인자의 항목은 각 배수구역의 강우량과 유출량, 수질농도를 계절별로 하여 항목을 선정하였으며, 자료들은 측정단위가 다르므로 이를 표준화하여 분석하였다.

인자의 항목분류는 성분점수를 관찰하여 분류하였으며, 인자의 개수 결정은 인자의 설명력을 수치적으로 잘 표현하는 고유값 1이상을 기준으로 하여 인자그룹을 선정하였다. 인자의 회전방법은 직각 회전 방법을 이용하였으며, 인자의 고유값을 기준으로 최종 선정된 계절별 인자항목 그룹은 표 3과 같다.

표 3의 분류된 인자항목 그룹을 살펴보면 계절 봄과 겨울에서 4개의 인자그룹이 형성되었으며, 여름과 가을에서는 3개의 인자그룹이 형성되었다. 형성된 인자그룹을 살펴보면 계절 봄과 겨울에는 FAT. 1그룹과 2그룹이 각 배수구역의 강우량과 유출량인 유출항목그룹으로 형성되었으며, FAT. 3그룹은 수질농도 그룹으로 형성되었다.

계절 여름과 가을의 경우 FAT. 1그룹이 유출항목 그룹으로 2그룹은 수질농도 그룹으로 형성되었다.

오염물질 항목별 FAT. 그룹의 설명 비율은 계절 여름의 유출항목인 FAT. 1그룹이 평균적으로 65%의 설명비율을 보였으며, 수질농도 항목 그룹인 FAT. 2그룹과 FAT. 3그룹이 평균적으로 16%의 설명비율을 보였다. SS의 항목의 경우 인북천 수질농도와 내린천의 수질농도가 인자 FAT. 1그룹에 속해있어 다른 항목에 비하여 높은 설명비율을 보이는 것으로 관찰되었다.

계절 가을의 경우 유출항목그룹인 FAT. 1그룹이 평균적으로 62%의 비율을 보였으며, 수질농도 그룹인 FAT.

[표 3] 계절별 인자항목 그룹  
[Table 3] Seasonal factor group of item

구분	인자그룹	BOD		SS		T-N		T-P	
		항목	비율(%)	항목	비율(%)	항목	비율(%)	항목	비율(%)
봄 (3월~5월)	Fat. 1	IR, NR, BR, IF	38.51	NR, BR, IF, IR	39.2	BR, NR, IR	40.6	NR, IR, BR, IF	36.8
	Fat. 2	BF, NF	19.7	BF, NF, IC	22.6	BC, IC, NC, IF	24.6	BF, NF	18.7
	Fat. 3	NC, BC, IC	15.3	NC, BC	15.2	NF, BF	11.7	NC, BC	15.2
	Fat. 4	-	-	-	-	-	-	IC	-
여름 (6월~8월)	Fat. 1	NR, BR, NF, BF, IF, IR	64.2	BR, NR, NF, IF, BF, IR, IC, NC	69.8	BR, IF, NR, IR, NF, BF	60.8	BR, NR, BF, NF, IF, IR	66.8
	Fat. 2	IC, NC	17.8	BC	12.4	IC, BC	17.6	NC, BC, IC	13.7
	Fat. 3	BC	12.7	-	-	NC	11.2	-	-

[표 3] 계 속  
[Table 3] Continue

구분	인자그룹	BOD		SS		T-N		T-P	
		항목	비율(%)	항목	비율(%)	항목	비율(%)	항목	비율(%)
가을 (9월~11월)	Fat. 1	<i>NR, IR, NF, IF, BR, BF</i>	59.8	<i>NR, BR, IR, IF, NF, BF, IC</i>	66.9	<i>NR, NF, IR, BR, IF, BF</i>	60.8	<i>NR, IR, BR, NF, IF, BF, IC</i>	73.4
	Fat. 2	<i>NC, BC</i>	18.5	<i>BC, NC</i>	19.3	<i>NC, BC, IC</i>	17.2	<i>BC</i>	11.3
	Fat. 3	<i>IC</i>	15.1	-	-	-	-	<i>NC</i>	13.9
겨울 (12월~2월)	Fat. 1	<i>NR, BR, IR</i>	30.8	<i>IC, NF, IF, BF</i>	31.1	<i>IF, BF, NF</i>	38.1	<i>IF, BF, IC</i>	30.5
	Fat. 2	<i>IC, IF, BF, NF</i>	21.1	<i>NR, BR</i>	22	<i>IC, NC, BC</i>	19.9	<i>NR, BR</i>	24.4
	Fat. 3	<i>BC, NC</i>	12.8	<i>BF, BC, NC</i>	-	<i>BR, NR, IR</i>	14.6	<i>BC, IC, NF</i>	14.5

여기서, *NR* 내린천 유역의 월평균 강우량(mm/day)  
*NF* 내린천 유역의 월평균 유출량(m<sup>3</sup>/sec)  
*NC* 내린천 유역의 월평균 수질농도(mg/ℓ)  
*IR* 인북천 유역의 월평균 강우량(mm/day)  
*IF* 인북천 유역의 월평균 유출량(m<sup>3</sup>/sec)

*IC* 인북천 유역의 월평균 수질농도(mg/ℓ)  
*BR* 북천 유역의 월평균 강우량(mm/day)  
*BF* 북천 유역의 월평균 유출량(m<sup>3</sup>/sec)  
*BC* 북천 유역의 월평균 수질농도(mg/ℓ)

2그룹과 FAT. 3그룹이 평균적으로 16%의 설명비율을 보였다. 특히, SS와 T-P 항목에서 인북천 지점의 수질농도가 유출항목 그룹인 FAT. 1그룹에 속해있어 높은 설명비율을 보이는 것으로 관찰되었다.

겨울은 FAT. 1그룹과 인자 FAT. 2그룹이 유출항목 그룹으로 형성되어 평균적으로 54%의 설명비율을 보였으며, 수질농도 항목그룹인 FAT. 3그룹이 17%의 설명비율을 보였다.

전체적으로 오염부하의 배출이 큰 계절 여름과 가을에 오염물질 항목 SS와 T-P에서 인북천 지점의 수질농도가 FAT. 1그룹에 속해있어 소양호 오염부하 유출에 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 강우유출수와 함께 유사한 특성을 갖는 항목으로 분류되어 비강우시 오염원 관리를 통하여 효율적인 수질개선 효과가 가능할 것으로 보인다.

#### 4.2 인자항목 평가

본 논문에서는 계절별 지류하천의 오염물질 유출인자에 따른 거동의 영향력을 파악하기 위하여 인자분석에서 선정된 그룹을 독립변수로 하여 다중회귀 분석을 하였다. 계절별 인자그룹의 다중회귀분석 결과는 표 4와 같다.

표 4의 결과에서 알 수 있듯이 계절 봄과 겨울에서는 결정계수가 BOD 0.60을 SS는 0.42, T-N은 0.50, T-P는 0.26이하를 보이고 있어 지류하천의 인자들이 소양호의 오염물질 유출에 큰 영향을 주지 않는 것을 알 수 있다. 다음으로 계절 여름과 가을의 경우 BOD가 각각 0.96을

SS는 0.80과 0.86, T-N은 0.91과 0.93을 보였다. 마지막으로 T-P는 0.90과 0.91을 보이고 있어 소양호 오염물질 유출에 유의적인 영향을 주고 있는 것으로 관찰되었다. 이는 유역의 단위면적당 농업생산량 증가를 위하여 4월과 5월 기간에 대량의 객토 및 비료, 퇴비 살포 등으로 인하여 여름과 가을기간에 오염물질이 크게 유출되기 때문으로 판단된다.

계절 여름과 가을에 대한 인자항목간의 영향력을 관찰한 결과, 여름의 경우 BOD의 FAT. 1항목이 91%, FAT. 2항목이 36%를 보였으며, SS는 FAT. 1항목이 79%, FAT. 2그룹이 41%의 영향력을 보였다. T-N은 FAT. 1그룹이 95%, T-P는 FAT. 1그룹이 83%, FAT. 2그룹이 45%의 유의적인 영향을 미치고 있는 것으로 관찰되었다. 전체적으로 모든 수질항목에서 유출항목인 FAT. 1항목이 79%에서 95%로 가장 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

SS와 T-P항목의 FAT. 2그룹 수질농도 항목이 41%와 45%의 영향력을 미치고 있는 것으로 관찰되었다. 인북천과 내린천 유역의 경우 수질농도가 FAT. 1그룹 항목에 속해 있어 소양호의 오염물질 유출에 크게 영향력을 미치고 있는 것으로 관찰되었다.

다음으로 가을의 경우 BOD는 FAT. 1항목이 97%를 FAT. 2항목이 13%의 설명비율을 보였으며, SS는 FAT. 1항목이 93%를 보였다. T-N은 FAT. 1항목이 95%를 FAT. 2항목이 17%의 설명비율을 보였다. 마지막으로 T-P는 FAT. 1항목이 95%로 유의적인 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

[표 4] 계절별 인자그룹의 다중회귀분석 결과  
 [Table 4] Multiple regression result of seasonal factor group

구 분	인자그룹	회귀계수(a,b)	표준화계수	P-value	R <sup>2</sup>	
봄 (3월~5월)	BOD	constant	137.73	-	0.000	0.646
		FAT.1	59.87	0.804	0.000	
	SS	constant	1173.14	-	0.000	0.267
		FAT.1	552.76	0.517	0.016	
	T-N	constant	218.49	-	0.000	0.503
		FAT.1	86.69	0.709	0.000	
	T-P	constant	2.72	-	0.000	0.265
		FAT.1	1.19	0.515	0.017	
여름 (6월~8월)	BOD	constant	711.55	-	0.000	0.96
		FAT.1	706.24	0.914	0.000	
		FAT.2	275.07	0.356	0.000	
	SS	constant	35688.51	-	0.002	0.80
		FAT.1	82524.63	0.792	0.000	
		FAT.2	42355.47	0.406	0.001	
	T-N	constant	1050.89	-	0.000	0.91
		FAT.1	1117.18	0.954	0.000	
	T-P	constant	16.52	-	0.000	0.90
		FAT.1	16.57	0.830	0.000	
		FAT.2	8.95	0.448	0.000	
	가을 (9월~11월)	BOD	constant	188.36	-	0.000
FAT.1			255.94	0.968	0.000	
FAT.2			33.81	0.128	0.013	
FAT.3			-26.30	-0.099	0.045	
SS		constant	1176.61	-	0.000	0.86
		FAT.1	2121.99	0.928	0.000	
T-N		constant	237.71	-	0.000	0.93
		FAT.1	331.18	0.950	0.000	
T-P		FAT.2	-60.40	0.173	0.011	0.91
		constant	3.15	-	0.000	
T-P		FAT.1	4.52	0.951	0.000	0.91
		constant	16.42	-	0.000	
겨울 (12월~2월)	BOD	FAT.1	6.10	0.567	0.002	0.501
		FAT.2	4.56	0.424	0.017	
		constant	51.25	-	0.001	
	SS	FAT.1	28.31	0.646	0.000	0.42
		constant	16.42	-	0.000	
	T-N	FAT.1	2.68	0.249	0.264	0.062
		constant	8.99	-	0.000	
	T-P	FAT.1	3.98	0.455	0.033	0.207
		constant	16.42	-	0.000	

전체적으로 가을의 경우 여름에 비하여 수질농도 항목이 낮은 영향력을 미치고 있는 것을 보였다. 그러나 인북천의 SS와 T-P의 경우 수질농도가 FAT. 1그룹에 속해 있어 지속적으로 소양호 오염물질 유출에 크게 영향을 주고 있는 것으로 관찰되었다. 따라서 소양호의 오염물질 유출 저감을 위해서는 계절 여름과 가을 기간에 지류하천 유역의 강우 유출수 및 오염원 관리가 중요한 것을 알 수 있으며 특히, 인북천 유역의 SS와 T-P, 내린천 유역은 SS 수질 관리에 노력하여야 할 것이다.

끝으로 결정계수가 높게 나타난 계절 여름과 가을에 대한 인자항목의 요인점수를 독립변수로 하여 지류하천의 오염물질 유출특성을 고려한 소양호 유역의 유달오염 부하량 산정이 가능할 것이다.

인자그룹의 요인점수 산정방법은 식 (6)과 같이 표현할 수 있다(노형진,2007).

$$F_{jk} = \sum_{i=1}^p W_{ji} Z_{ik} \tag{6}$$

여기서  $F_{ik}$  : 인자그룹의 요인점수,  $Z_{ik}$  : 표준화된 변수,  $W_{ji}$  : 각 변수에 주어지는 성분점수이다.

회귀식의 결정계수는 전체적으로 0.80부터 0.96의 범위를 보여 80%이상 회귀식과 적합한 관계를 갖는 것을 알 수 있으며, 유의성 검증결과 P-value가 0.05이하로 회귀식이 통계학적으로 유의한 것을 알 수 있다.

각 변수에 주어지는 성분점수는 표 5부터 표 6과 같다.

[표 5] 계절 여름의 성분점수

[Table 5] Factor score of summer seasonal

구분	BOD			SS	
	FAT.1	FAT.2	FAT.3	FAT.1	FAT.2
NC	-0.10	0.47	0.23	0.12	0.32
NF	0.16	0.13	-0.17	0.15	0.07
NR	0.18	-0.01	-0.01	0.16	-0.07
IC	-0.09	0.55	-0.15	0.06	0.39
IF	0.19	-0.09	0.10	0.15	-0.08
IR	0.20	-0.16	0.15	0.15	-0.16
BC	-0.06	-0.02	0.81	-0.06	0.75
BF	0.18	0.08	-0.23	0.15	0.06
BR	0.21	-0.10	0.03	0.16	-0.15
구분	T-N			T-P	
	FAT.1	FAT.2	FAT.3	FAT.1	FAT.2
NC	0.04	-0.10	0.80	-0.11	0.53
NF	0.16	-0.05	-0.13	0.19	-0.06
NR	0.17	-0.04	-0.13	0.20	-0.08
IC	-0.06	0.69	-0.26	-0.13	0.41
IF	0.19	0.01	0.17	0.17	0.01
IR	0.19	0.04	0.24	0.16	0.01
BC	0.02	0.51	0.13	-0.10	0.49
BF	0.16	-0.04	-0.12	0.22	-0.14
BR	0.18	0.03	0.03	0.20	-0.07

[표 6] 계절 가을의 성분점수

[Table 6] Factor score of autumn seasonal

구분	BOD			SS	
	FAT.1	FAT.2	FAT.3	FAT.1	FAT.2
NC	-0.05	0.56	-0.13	-0.04	0.46
NF	0.19	0.00	-0.15	0.12	0.15
NR	0.20	-0.03	-0.06	0.18	-0.05
IC	-0.05	-0.03	0.71	0.15	-0.08
IF	0.20	-0.02	-0.24	0.14	0.06
IR	0.19	-0.04	0.05	0.17	-0.03
BC	-0.06	0.53	0.08	-0.12	0.53
BF	0.13	0.02	0.30	0.16	-0.08
BR	0.17	-0.03	0.15	0.18	-0.08

[표 6] 계 속

[Table 6] Continue

구분	T-N			T-P	
	FAT.1	FAT.2	FAT.3	FAT.1	FAT.2
NC	0.12	0.54	0.06	-0.07	0.86
NF	0.19	0.07	0.16	0.13	-0.10
NR	0.18	-0.01	0.19	-0.05	0.05
IC	0.00	0.26	0.05	-0.54	-0.34
IF	0.18	0.02	0.17	0.02	-0.04
IR	0.17	-0.03	0.19	-0.04	0.08
BC	0.05	0.49	-0.02	0.72	-0.23
BF	0.18	0.08	0.17	-0.07	0.04
BR	0.17	-0.04	0.19	-0.08	0.08

## 5. 결론

본 논문은 북한강 유역의 국내 최대 다목적댐인 소양호 유역을 대상으로 오염물질 유출에 영향을 주는 배수구역의 인자들을 선정하여 계절변화에 따른 오염물질의 거동을 평가하였다. 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 인자분석을 통하여 오염물질 유출에 영향을 주는 배수구역인자 중 유사한 특성을 갖는 항목을 분류하고, 대표성을 갖는 인자항목을 선정하였다. 선정결과 오염물질 항목들 중 SS와 T-P항목이 강우시 유출수와 함께 유사한 유출특성을 갖는 항목으로 분류되었다.
- 2) 다중회귀분석을 통하여 계절별 인자그룹의 결정계수를 관찰한 결과, 계절 봄과 겨울의 경우 전체적으로 6%에서 60%의 낮은 설명비율을 보였으나 여름과 가을은 80%에서 96%로 매우 유의적인 영향을 주고 있는 것으로 관찰되었다.
- 3) 본 연구에서 분류한 대표성을 갖는 인자항목의 요인점수를 독립변수로 하여 지류하천의 계절별 유출 특성을 고려한 소양호의 유달오염부하량 예측이 가능한 회귀식을 제안 할 수 있었다.
- 4) 계절 여름과 가을에 대한 인자항목의 영향력을 관찰한 결과 강우 내린천과 인북천의 항목그룹이 79%에서 95%로 높은 영향력을 미치고 있는 것으로 관찰되었다. 또한, 이 유역의 SS와 T-P가 대표성을 갖는 항목으로 분류되어 수질개선을 위하여 본 유역에 대한 오염원의 관리가 중요한 것을 알 수 있다.



## References

- [1] Kim, K.Y. and Jun, M.S., "Multivariate Statistical Analysis", Free dom, 1997.
- [2] Roh, H.J., "By SPSS Statistical Analysis of Multivariate Data ", Book Publishing Hyo-san, 2007.
- [3] Park, S.J., "Forecasting of Water Quality and Analysis on Pollution Load Delivery Characteristics of Soyang Lake Basin", PhD Thesis, Kang Won National University, 2011.
- [4] Baek, K.W., "Analysis of Water Quality by Deterministic and Statistical Techniques in the Downstream of the Han River", PhD Thesis, Hongik university, 1995.
- [5] Lee, Y.H., "River Water Quality Evaluation During Rainy Period by Multivariate Analysis", PhD Thesis, Hongik university, 1998.
- [6] Hey, J.Y., "Evaluation of Water Quality on the Upstreams of the Soyanggang Dam by using Multivariate Analysis", Master's Thesis, Kang Won National University, 2002.
- [7] Han, K.Y. Kim S.H., and Bae, D.H., "Stochastic water quality analysis using reliability method", Journal of the American Water Resources Association, Vol. 37, No. 3, pp. 695~708, 2001.
- [8] Park, J.S. and Yoon, Y.S., "Modern Statistics", Da-san publishing, 2009.
- [9] Korea water resources corporation, "Soyanggang dam management annual report", 2010.
- [10] Ministry and land, "hydrological annual report in Korea", 2010
- [11] Ministry of environment, "Water information system : <http://water.nier.go.kr>"
- [12] Ministry and land, "Water management information system : <http://wamis.go.kr>"

박 수 진(Soo-Jin Park)

[정회원]



- 2005년 8월 : 강원대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 강원대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 시간강사
- 2012년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 산업기술연구소 특별연구원

<관심분야>  
수공학, 하천환경