

## 다변량분석법을 이용한 수영강수계의 수질특성 평가

권동민<sup>†</sup> · 유은희 · 권기원 · 빈재훈  
환경조사과

### Evaluation of the Suyeong River by Multivariate Analysis - Principal Component Analysis and Factor Analysis-

Dong-Min Kwon<sup>†</sup>, Eun-Hee Yoo, Ki-Won Kwon and Jae-Hun Bin  
Division of Environmental Research

#### Abstract

This study was conducted to evaluate water quality using pollution data obtained by monitoring measurement during the period 2004-2008 in the Suyeong river.

Ten water quality parameters were determined on each sample. The results were summarized as follow ; Factor analysis/principal component analysis (FA/PCA) identified four principal component in entire sampling station, three principal component main stations by month and season.

Primary pollutant source of Suyeong river was investigated 51 ~ 53% influenced by intenal production of organic matter and 9 ~ 10% influenced by seasonal factor.

It could be suggested from these results that it is very important to reduce nutrition salts load for the control of the water quality in Suyeong river

Key Words : Principal component analysis, Factor analysis, Suyeong River

#### 서 론

수영강은 중류부 이후부터는 회동수원지로 인하여 그 생태의 축이 단절되고 해당지역이 도시화됨에 따라 오염이 가중된 대표적 하천이다. 일반적으로 하천수질은 유역내 각종 오염원이 지천을 통해 유입되어 수리·수문학적 특성과 기후, 수체 내 생물학적인 영향으로 측정지점과 시간의 흐름에 따라 변동하는 경향이 있어 수질에 영향을 미치는 인자는 매우 다양하며 이러한 영향으로 도출된 오염지표 또한 여러 종류이다. 그러나 현재까지 선행되어온 대부분의 연구에서는 이러한 복잡하고 다양한 정보에 대하여 주관적인 오염평가와 산술적인 수질해석으로 인하여 평이한 유역의 오염 상태만을 설명하여 왔으며, 우리나라 유역관리에 있어 하천의 일반적인 오염원이 대부분 유기오염원일 것이라는 판단은 과거와 현재에도 계속되고 있다.

그러나 현실적으로 여러 수질 오염원이 존재하고 있으며, 또한 이 논리를 정확하게 뒷받침하는 근거자료로 제시할 수 있는 방법론이 있음에도 이를 활용하지 못하고 연구

자의 주관과 경험에 의지하여 해석하고 일반화하는 경우가 대부분이었다.

이에 다 변수 혹은 다 개체에 관하여 정보의 손실없이 현상을 단순하고 명료하게 설명하여, 주된 오염영향인자를 쉽게 산출함으로써 합리적이고 신뢰성 있는 수질해석자료를 지원하기 위하여 다변량 분석방법을 이용하여 과학적 수질관리의 기초를 마련하고자 한다.

다변량분석법은 크게 주성분분석, 요인분석, 군집분석, 정준상관분석 등 여러 방법이 있다. 현재까지, 국내뿐만 아니라 국외에서도 여러 차례 위 분석방법을 이용하여 수질 자료의 평가를 실시해 왔다. 그 예로 군집분석과 요인분석을 이용하여 금강수질을 평가하였고<sup>1)</sup>, 주성분분석에 의하여 도시호수의 수질평가<sup>2)</sup>와 신 등은 낙동강하구해역의 수질을 평가하였다<sup>3)</sup>.

또한 박 등<sup>4)</sup>은 요인분석을 통하여 낙동강 수질을 평가하였으며, 유<sup>5)</sup>는 한강수질에 영향을 미치는 요인들을 분석하기도 하였다. 외국논문을 살펴보면 Karim 등<sup>6)</sup>은 New Jersey Passic 강에 대하여 주성분분석을 이용하여 공간

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail:kdm8438@korea.kr  
Tel:+82-51-11-9305-8438, Fax:+82-51-753-1424

적, 시간적 변화를 분석하였으며, Ying<sup>7)</sup>은 주성분분석과 요인분석을 통해 지표수 수질측정지점의 수질 평가에 이용하였으며, 호소의 영양상태를 파악하기 위하여 Bernard 등<sup>8)</sup>은 관련 수질항목들의 평가와 관리를 위하여 주성분분석을 이용하였다. 그리고 다변량분석법을 이용한 금강유역의 수질오염특성 연구<sup>9)</sup>, Eibe 강의 시간에 따른 영양물질 농도와 관련된 수질에 영향을 미치는 요인사이의 공통성을 파악하기 위하여 주성분분석<sup>10)</sup>을 이용하는 등 많은 연구가 국내외적으로 수행되어졌다.

수영강 중류는 회동수원지로 인한 생태의 축 단절로 인한 하천유지용수부족과 해당지역의 도시화에 따른 오염 가중을 해소하고 수영강 중류의 물환경을 살리기 위해 주변 하수의 적극적인 차집과 최근 2008년 7월부터는 회동수원지 원수를 일일 30,000톤 방류하는 등 적극적인 물환경 개선사업을 진행하고 있다. 그러나 현재까지 수영강 중류의 수질 현황을 통계학적으로 분석한 사례는 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구는 최근 수영강 중류수계의 최근 5년간의 자료를 바탕으로 수영강유역의 주요오염원을 통계적 접근방법을 통하여 밝힘으로써 과거의 주관적이고 불확실한 수질 자료의 해석에 대한 오류를 줄이기 위해 과학적이고 합리적인 통계분석법의 하나인 다변량분석법을 이용하여 과학적 수질관리의 기초를 마련하고자 하였다.

## 연구내용 및 방법

### 대상하천수계의 개요

수영강은 경남 양산군 철마면 송정리의 경계(해발 800m)에서 발원하여 온천천 동래천, 석대천의 지류를 가지고 있으며 전체 배수면적은 200km<sup>2</sup>, 총 연장 28.2km, 폭은 50~90m 강이나, 주거 밀집지역, 상업지역, 공업지역이 혼재된 지역이다. 수영강유역의 주요 지천 중 가장 큰 하천은 온천천으로 유역면적이 55.44km<sup>2</sup>이며 유로연장은 1.25km, 형상계수는 1.6이다.

특히 온천천은 수영강의 제 1 지류로서 수영강 하구로부터 약 3.1km 상류지점에서 수영강의 우안측으로 유입하는 준용하천이다. 금정산 법어사 계곡에서 발원하여 금정구, 동래구, 연제구 등 3개구의 밀집주거지역을 관류하여 세병교지점을 기점으로 남동방향으로 흘러 들어가 수영강으로 유입한다.

그리고 수영만 연구에서는 수영만의 수질은 육지로부터의 유입수에 기인한다는 보고가 있으며<sup>11)</sup>, 또한 수영만 수질 모델링에 있어서 비점원 오염부하가 미치는 영향에서 수영강의 오염부하가 낙조시는 해운대 해수욕장으로, 창조시에는 광안리 해수욕장으로 수질을 악화시킨다는 연구결

과<sup>12)</sup>와 수영만으로 유입되는 오염원 중 대표적인 오염원은 온천천과 수영강이며, 오염부하량은 NH<sub>3</sub>-N가 특히 높게 나타난다고 보고된 바 있다<sup>13)</sup>.

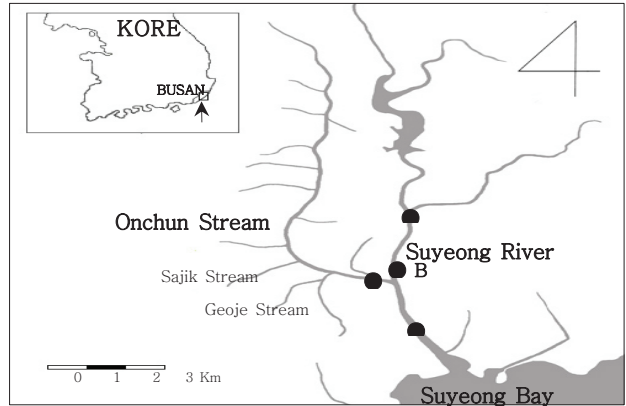


Fig. 1. Map of the Suyeong River showing sampling sites

A : 석대천합류, B : 원동교, C : 연안교, D : 민락교

### 주성분분석

본연구에서는 다변량분석법 중 주성분과 요인분석을 실행하여 유역의 오염상태를 파악하고자 한다. 다변량분석은 2개 이상의 변수들의 관계를 동시에 분석할 수 있는 모든 통계학적인 기법을 말하는 것으로 이들 중 여러 개의 변수들이 내포된 다변량 자료를 분석하는 일은 매우 복잡하고 힘든 경우가 많다.

이러한 상황에서 원 변수들의 몇 개 일차결합을 통해 간단한 구조를 갖도록 자료를 축약하게 되면 공분산행렬을 최대한 설명하는 몇 개의 일차결합을 통해 산출하게 되는데 이것을 주성분이라 부르며 이러한 주성분을 구하고 해석하여 원 자료를 축약하는 방법을 주성분분석이라 한다.

주성분분석은 그 자체가 목적이라기보다는 일단 자료를 간략화 하여 추후에 추가적인 다른 통계적 절차를 적용하기 위한 사전분석이라 볼 수 있다. 또한 자료에 대한 통계적 모형이나 어떤 특별한 가정을 필요로 하지 않으며 공분산 행렬의 고유값과 고유벡터에 의해 주성분이 결정된다는 점에서 수학적인 절차라고 볼 수 있다.

### 요인분석

요인분석은 분석된 자료를 근간으로 전체변수 중 보다 간결하고 명료한 관계를 가지는 요인을 추출하기 위한 방법으로, 먼저 본 연구에서는 각 변수간의 상관행렬을 이용해서 주 대각선상의 값을 변형시키지 않는 채로 공통 분산치 1.0의 값을 추정값으로 하여 요인행렬을 추출하는 주 대각성분 용인 추출법이 적용되었다. 최초요인을 추출한 뒤 회전시키지 않는 요인행렬로부터 몇 개의 요인을 추출

하기 위하여 고유치가 최소 1.0 이상이 되어야 한다는 기준으로부터 요인을 추출하였다.

요인이 해당되는 변수를 설명해주는 의미를 가진 요인 부하량을 산출한다. 그리고 여러 요인이 비슷한 요인부하량을 나타낼 경우 변수들이 어떤 요인에 높게 작용하는지를 알아보기 위하여 요인축을 회전시킨다. 요인의 회전을 통하여 변수와 요인사이의 관계를 더욱 명확히 하여 변수와 요인과의 해석을 보다 쉽게 판단할 수 있다.

요인회전 방법은 여러 종류가 있으나 직각회전방식 중에서 각 요인은 다른 요인과 상호 독립적이면서 하나의 요인에 높게 적재되는 변수의 수를 줄여서 요인을 해석하는데 중점을 주어 각 변수들의 분산구조보다 각 요인의 특성을 알고자 할 때 유용한 Varimax방식을 적용하였다.

추출된 요인은 각 조사지점별, 연도별, 계절별, 월별로 변수별 응답을 요인들의 선형결합으로 표현된 요인특점을 아래 식으로 계산한다.

$$F_{jk} = \sum_{j=1}^P W_{jk} Z_{jk}$$

여기서,  $F_{jk}$ 는  $k$ 지점별, 연도별, 월별 수질변수  $j$ 에 의한 요인특점,  $P$ 는 수질변수의 수,  $Z_{jk}$ 는 표준화된 변수의 인자부하량,  $W_{jk}$ 는 각 변수에 주어지는 가중치를 의미한다. 가중치는 회귀법을 통하여 변수별로 서로 다른 가중치를 산출하여 적용하는 방법을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 수질특성 및 항목간의 상관분석

수영장수계의 수질분석은 5년간(2004. 1.~2008. 10.)의 수질자료를 바탕으로 수영장수계 전체 4개 수질측정망의 연간 수질항목별 평균자료, 환경부에서 정한 수질측정망 주요지점인 석대합류, 원동교, 온천천 연안교, 민락교지점에 대하여 월별평균, 계절별 평균(봄 3~5월/여름 6~8월/가을 9~11월/겨울 12~2)자료로 나누어 총 3가지 주제를 분석을 각각 실시하였다. 수질자료는 부산광역시 보건환경연구원 환경조사과 수질측정망자료 및 국립환경과학원의 물환경정보시스템14j를 이용하였으며, 분석항목은 BOD, COD, pH, TN, TP, SS, 수온 등 총 10개 항목이다.

전 지점에 대한 정규성 검정(Shapiro-wilk)결과 정규분포하지 않으므로 변수변환을 시도하여 재 검정을 실시하였으나 같은 결과를 나타내었다. 대부분 다변량분석은 모수적 데이터에 대하여 이용하는 것으로 알려져 있으나 실제로 크게 두 가지 방법으로 나타낼 수 있다. 첫 번째는 정규분포에 대해 자료를 분석하는 방법이며, 두 번째 방법은 비정규분포에 대해서도 분석이 가능한 데이터를 변환시

키지 않고 있는 그대로 두고 탐색적으로 정보를 도출하는 방법이다<sup>15)</sup>.

또한, Bernard Parient 등<sup>8)</sup>은 주성분분석에 대해서 데이터의 어떤 가정도 필요하지 않는 비모수 방법이라고 나타내었으며, 덧붙여 주성분분석은 흔히 통계적 모형에서 포함되는 오차와는 관계가 없기 때문에 관측치들이 다변량 정규분포를 하는 경우에 주성분은 보다 의미 있겠으나, 이러한 정규성의 가정이 반드시 요구되는 것은 아니다<sup>16)</sup>. 그러므로 본 연구에서는 자료의 변환 없이 원 자료를 그대로 표준화 시킨 후 분석하였다.

Fig. 2는 지점별 5년간의 월별변화를 Fig. 3은 지점별 년 변화를 BOD를 중심으로 나타내 것으로 A는 석대천 합류지점, B는 원동교지점, C는 수영강의 가장 큰 지천인 온천천 연안교지점, 그리고 D는 해수의 영향을 받는 최 하류인 민락교지점이다.

수영장 종류의 수질변화는 Fig. 2에서 보듯이 종류의 주요지점인 A, B는 최근 2008년 7월 이후 수질이 개선되는 추세를 보이고 있다. 이는 수영장 종류의 수질을 개선하기 위해 하천유지용수로 회동수원지 원수 방류(30,000톤/일)에 의한 것으로 판단되며, 이에 대한 효과는 현재 수행 할 예정이다. Fig. 3은 각 지점별 년도별 수질변화를 나타낸 것으로 수영장 종류의 지천이 석대천이 합류하는 A지점의 수질은 2006년 이후 BOD 기준으로는 많이 개선된 것으로 조사되었으나 2007년 이후 TN과 TP는 오히려 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 2007년 7월부터 석대천 수질개선사업의 일환으로 추진된 동부하수처리장 처리수의 석대천 방류(18,000톤/일)에 의한 것으로 추정된다. 각 지점별 수질은 Fig. 2, 3에서 보듯이 종류보다는 하류인 C, D지점의 수질이 좋은 것으로 조사되었다. 이는 온천천 수질개선을 위해 방류되고 있는 낙동강원수 및 해수에 의한 영향인 것으로 판단된다.

수질인자간의 관련성을 평가하기 위하여 수영장 전체 4개 지점 및 종류 주요구간인 의 A, B 2개 지점의 월별, 계절별 단순상관분석을 실시한 결과를 Table 1에 나타내었다.

전 지점에 대한 월별 상관관계분석 시 유기오염지표인 COD와 BOD( $r=0.735$ ), Chl-a( $r=0.647$ ), SS( $r=0.523$ )로 높은 상관관계를 나타내고 있으며, pH와 DO 등 다른 항목은 낮은 상관성을 보이는 것으로 분석되었다.

주요지점인 A(석대천합류), B(원동교)를 중심으로 한 월별 상관관계는 BOD와 COD( $r=0.708$ ), TP(0.615) 그리고 Chl-a와 COD는 ( $r=0.722$ )로 전 지점 월별 상관관계와 유사한 경향을 나타냈으며, 계절별로는 수온과 DO( $r=-0.602$ )가 음의 좋은 상관 관계를 BOD는 COD( $r=0.807$ ), TP( $r=0.766$ )와 유의수준 0.01에 해당하는

높은 상관성을 나타내었다.

**주성분분석 및 요인분석**

수영강수계 수질측정망(4개 지점)에 대하여 2004년 1월부터 2008년 10월까지 5년간 BOD, COD, TN, TP 등 총 10개의 수질항목을 대상으로 조사된 자료를 이용하여 전 측정소(4개 지점) 월별, 주요측정소(2개 지점) 월별 및 계절별 평균자료로 나누어 원 자료를 표준화 한 후 분석하였다.

주성분분석을 이용하여 자료 추출결과 월별, 계절별로 10개 요인의 고유치와 수질에 미치는 기여율을 나타내었으며, 산출된 주성분에 대하여 그 차원을 축소시켜 보다

정확한 해석을 위하여 차원 수를 결정하기 위해, 추출된 10개의 최소요인 중 직교회전 방법인 베리맥스(VARIMAX)회전을 이용하여 요인수를 결정하였다. 이때 추출된 차수를 결정하는데 여러 방법이 있으나 본 연구에서는 요인을 설명하는 분산의 크기를 나타내는 고유치(eigen value)를 기준으로 이 고유치가 1이상일 경우에 하나의 요인이 변수 1개 이상의 분산을 설명한다. 고유치가 1이하인 경우 1개의 요인이 변수 1개의 분산을 설명할 수 없으므로 고유치가 1.0이상인 요인을 추출하는 방법과 함께 Fig.4의 Scree plot으로 variance가 급격히 작아지기 직전의 차수까지 만을 고려한 그래프를 통해 산출하였다.

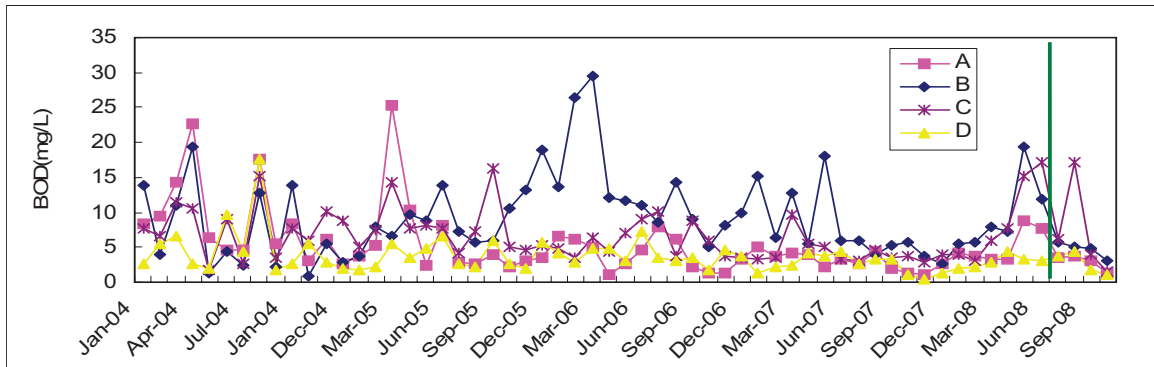


Fig. 2. variation of BOD in enter site of Suyeong River

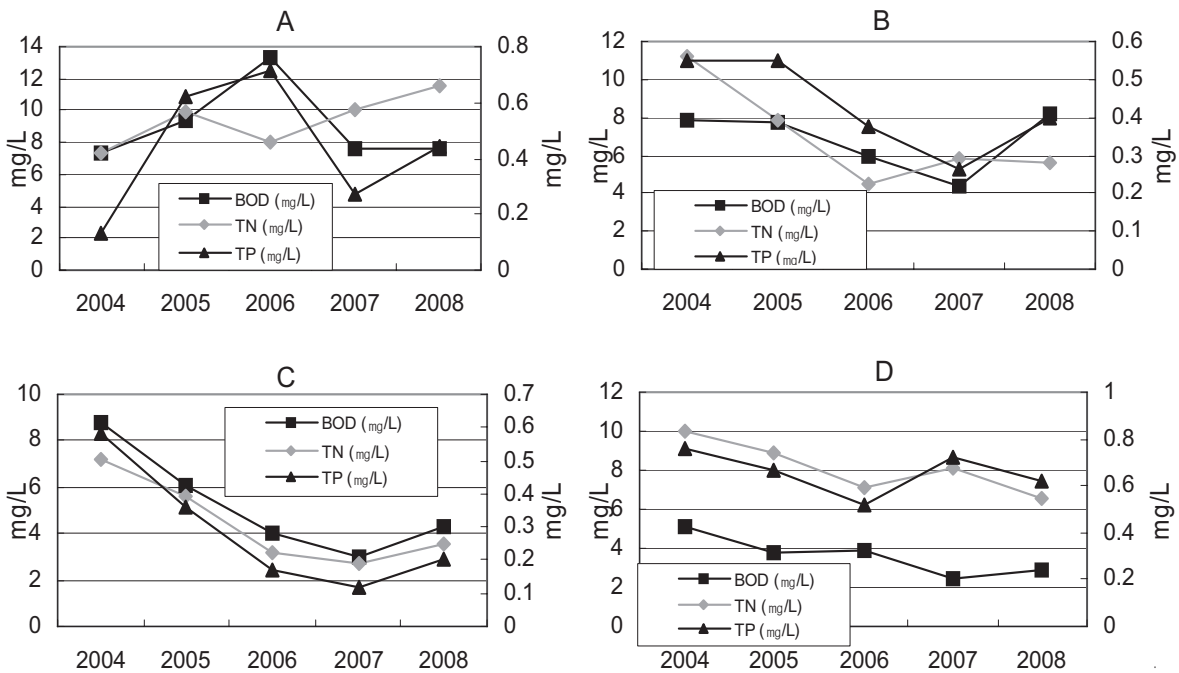


Fig. 3. variation of water quality in each site of Suyeong River

Table 1. Correlation matrix of sampling site

Variable	Temp.	pH	DO	BOD	COD	SS	TN	TP	Chl-a	Cond.
Temp	1.000									
pH	0.151*	1.000								
DO	-0.175**	0.548**	1.000							
BOD	-0.009	0.058	-0.010	1.000						
COD	0.034	0.179**	0.121	0.735**	1.000					
SS	0.148*	0.168**	0.087	0.457**	0.604**	1.000				
TN	-0.134*	-0.183**	-0.165*	0.380**	0.321**	0.062	1.000			
TP	-0.016	-0.271**	-0.260**	0.331**	0.299**	0.144*	0.591**	1.000		
Chl-a	0.136*	0.192**	-0.172**	0.302**	0.647**	0.523**	0.083	0.104	1.000	
Cond.	-0.137*	-0.378**	-0.244**	-0.166*	-0.191**	-0.058	0.168**	0.355**	0.062	1.000
Temp	1.000									
pH	0.084	1.000								
DO	-0.374**	0.425**	1.000							
BOD	-0.113	-0.2218*	-0.146	1.000						
COD	-0.051	-0.090	-0.035	0.708**	1.000					
SS	0.099	-0.030	-0.090	0.479**	0.634**	1.000				
TN	-0.078	-0.187*	-0.165	0.511**	0.362**	0.108	1.000			
TP	-0.023	-0.224*	-0.324**	0.615**	0.496**	0.258**	0.478**	1.000		
Chl-a	0.034	-0.081	-0.083	0.282**	0.722**	0.570**	0.070	0.108	1.000	
Cond.	-0.226*	-0.180	-0.143	0.167	0.181*	0.098	0.170	0.228*	0.083	1.000
Temp	1.000									
pH	0.036	1.000								
DO	-0.602**	0.263	1.000							
BOD	-0.133	-0.284	-0.162	1.000						
COD	-0.120	-0.076	0.023	0.807**	1.000					
SS	0.119	-0.083	-0.177	0.461**	0.601**	1.000				
TN	-0.185	-0.281	0.042	0.576**	0.484**	0.114	1.000			
TP	-0.001	-0.270	-0.282	0.766**	0.603**	0.304	0.540**	1.000		
Chl-a	-0.011	0.125	0.042	0.202	0.595**	0.585**	0.040	0.013	1.000	
Cond.	-0.294	-0.187	0.131	0.134	0.163	-0.067	0.214	0.277	0.099	1.000

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level, \* Correlation is significant at the 0.05 level

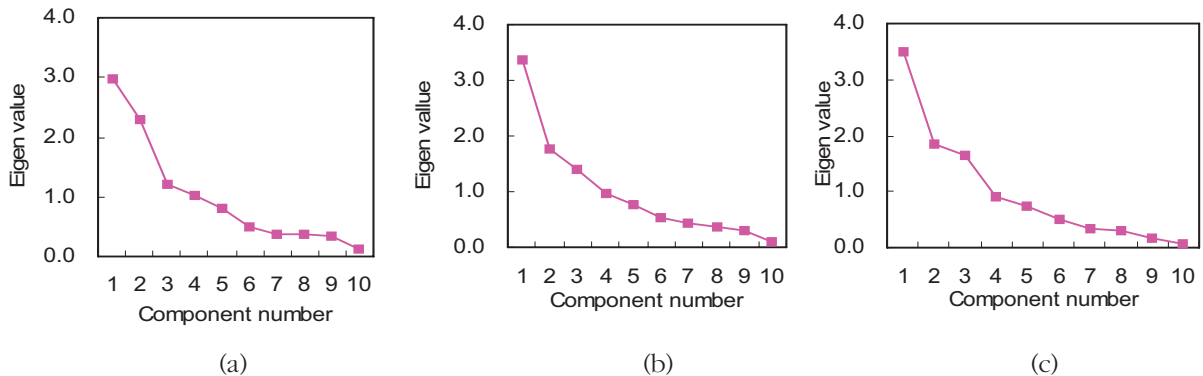


Fig. 4. Scree plot entire sampling station(a), main stations by month(b) and season(c)

Table 2. Initial eigenvalues explain of factor

Component	Initial eigenvalues								
	Total			% Variance			% Cumulative		
	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
1	2.967	3.373	3.500	29.669	33.726	35.002	29.669	33.726	35.002
2	2.310	1.764	1.843	23.103	17.642	18.429	52.772	51.368	53.431
3	1.203	1.394	1.656	12.035	13.937	16.555	64.807	65.305	69.986
4	1.015	0.987	0.896	10.146	9.829	8.962	74.953	75.134	78.949
5	.793	0.765	0.743	7.926	7.649	7.425	82.879	82.783	86.374
6	.489	0.540	0.511	4.894	5.404	5.111	87.773	88.187	91.485
7	.384	0.425	0.325	3.836	4.252	3.253	91.609	92.439	94.738
8	.369	0.355	0.288	3.692	3.548	2.876	95.301	95.987	97.613
9	.332	0.287	0.171	3.321	2.866	1.707	98.622	98.852	99.320
10	.138	0.115	0.068	1.378	1.148	0.680	100.000	100.000	100.000

Entire sampling stations(a), main sampling stations by months(b) and season(c)

그 결과 전 측정소 월별로는 4개의 주성분, 주요측정소의 월별, 계절별 자료는 모두 3개의 주성분이 추출되었다. 그리고, 10개의 항목간의 상관계수를 통해서 구한 각 축의 고유값과 누적 점유율을 Table 2에 나타내었다. 누적점유율은 각 요인의 고유치에 대한 누적기여율을 설명하는 것으로 이때, 주성분 전체 수질변동에 대하여 측정소 전 지점 월별(a)의 요인 1 고유치는 2.967로서 기여율 29.669%, 요인 2는 2.310으로서 기여율 23.103%, 요인 3과 4는 약 12 ~ 10%의 기여율을 나타냈으며 누적기여율은 74.953%로서 전체 수질변동의 74.953%를 설명할 수 있는 것으로 조사되었다.

그리고, 측정소 주요지점 월별(b)의 요인 1 고유치는 3.373으로 기여율은 33.726%, 요인 2와 3의 기여율은 약 18 ~ 14%, 누적기여율은 65.305%였으며, 주요측정소 계절별(c) 요인 1의 고유치는 3.500으로 기여율 35.002%, 요인 2와 3은 기여율 약 18 ~ 17%이며, 누적기여율은 69.986%를 설명하고 있다.

요인분석 실행 전 분석에 대한 타당성을 알아보기 위하여 Kaiser-Meyer-Olkin(KMO)과 Bartlette's test를 실행하였다. KMO test는 측정할 샘플에 대한 변수의 크기가 적당한가를 나타내는 척도로 1에 근접한 값일수록 요인분석의 타당성이 높고 0.5이하일 경우 분석이 적당하지 않다. Bartlette's test는 변수 간 상관행렬이 단위행렬(대각선이 1 이고 나머지는 0인 행렬)인지 아닌지를 검정하는

것을 말하며, 각 변수가 서로 상관성이 존재함을 나타낼 때 유의적관계라 하며 이때 0에 가까울수록 유의성이 높다<sup>8)</sup>. 본 연구의 KMO test는 측정소 전지점 0.643, 주요지점의 월별 0.683, 계절별 0.630로 분석되었고 Bartlette's test는 모두 0.000을 나타내어 상관행렬이 단위행렬임을 기각하여 변수 간 상관성이 있음을 나타냄으로써, 두 분석 모두 조건에 만족하여 요인분석이 가능함을 설명해주고 있다.

요인분석은 관측된 변수들에 영향을 미치고 있는 숨어 있는 공통인자를 찾아내는 데 목적이 있으므로 그 결과 주성분분석으로 산출된 차원수를 직교회전이후 차원축소 수를 산출하여 더 뚜렷하게 각 영향 요인을 규정한다. 한편, 추출된 요인에 대한 명명화는 요인분석에서 핵심적으로 중요하면서도 연구자의 주관성과 전문성에 크게 영향 받는 부분이다<sup>15)</sup>.

본 연구의 영향요인의 요인분석 결과를 Table 3과 Fig. 5에 나타내었다. 요인분석결과 추출된 각 요인과 수질변수와의 관계를 살펴보면 전 지점의 월별 주성분으로 추출된 4개의 요인 중 제 1요인은 조류증식에 따른 유기물오염부하요인인 Chl-a, SS, COD 제 2요인으로는 영향염류오염부하요인 TN, TP와 BOD 제 3요인은 수중의 용존 이온물질과 관련 있는 pH와 Conductivity, 그리고 제 4요인은 수계의 계절적 요인으로 수온과 DO로 구분하여 정하였다.

Table 3. Rotated factor matrix extracted from principal component analysis

Variable	a				b			c		
	factor 1	factor 2	factor 3	factor 4	factor 1	factor 2	factor 3	factor 1	factor 2	factor 3
Temp.	0.231	-0.225	0.171	-0.804	0.104	-0.236	-0.857	-0.112	0.023	-0.862
pH	0.322	-0.310	0.601	0.256	0.174	-0.625	0.217	-0.614	0.227	0.147
DO	0.256	-0.299	0.390	0.684	0.096	-0.474	0.740	-0.280	0.032	0.854
BOD	0.443	0.685	0.318	-0.038	0.577	0.628	0.056	0.780	0.475	0.018
COD	0.746	0.494	0.255	0.030	0.874	0.345	0.070	0.508	0.792	0.137
SS	0.796	0.128	0.074	-0.113	0.811	0.082	-0.135	0.154	0.816	-0.225
TN	0.019	0.818	-0.133	0.095	0.184	0.671	0.067	0.732	0.122	0.235
TP	0.137	0.707	-0.383	-0.074	0.319	0.712	-0.141	0.843	0.235	-0.085
Chl-a	0.883	-0.11	-0.101	0.043	0.851	-0.106	0.046	-0.133	0.861	0.076
Cond.	0.066	0.012	-0.915	0.098	0.016	0.501	0.268	0.386	-0.062	0.455

Rotation Method : Varimax with Kaiser Normalization

Entire sampling stations(a), main sampling stations by months(b) and season(c)

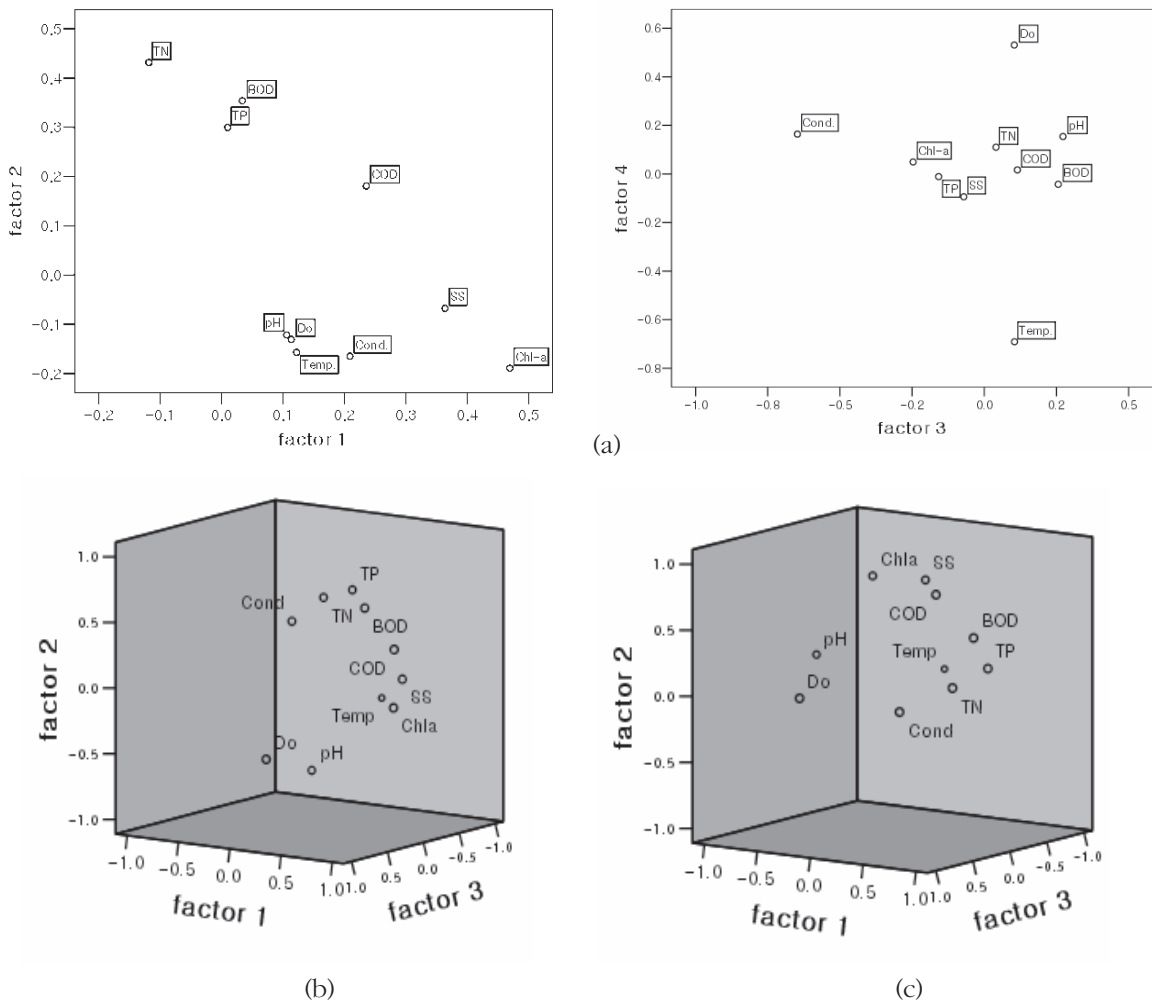


Fig. 5. Factor loading after varimax rotation for variable in entire sampling station(a), main stations by month(b) and season(c)

주요지점의 별 1, 2요인은 전 지점의 월별 1, 2요인과 같게 나타났으며, 제 3요인은 계절적 변화 요인인 것으로 나타났다.

수영강 수계 전 지점 및 주요지점 월별 제 1요인은 Chl-a, SS, COD와 높은 양의 상관관계를 보이고 있어 이는 조류증식에 따른 자생유기물질에 의해 COD와 SS가 증가된 것으로 판단되며, 제 2요인은 TN, TP와 BOD와 높은 양의 상관관계를 나타내 주 오염원은 영양염류의 유입에 의한 것으로 나타났다. 또한, 계절별 제 1, 2요인 분석 결과도 영양염류에 의한 유기오염이 가장 큰 것으로 나타나 영양염류 유입에 따른 자생유기물 오염도가 가장 크게 영향을 미치는 것으로 조사되어 수영강 수계 수질관리에 있어 영양염류 유입이 가장 중요한 변수임을 위 분석결과를 통해서 분명히 알 수 있었다.

그 다음으로는 계절별 요인으로 수온 감소에 따른 DO의 증가변동이 정확하게 나타나고 있으며, 적재된 상관성도 크게 의존하고 있음을 알 수 있다. 이는 기후변동에 의한 것으로 판단된다.

**요인특점에 의한 수질변동 평가**

수영강 수계의 전지점 월별 수질변동 특성을 평가하기 위하여 요인분석결과 얻어진 요인특점을 월별로 산술 평균하여 구한 값을 산점도로 작성하여 Fig. 6.에 나타내었다.

조류증식에 따른 자생유기물질에 의한 오염부하 특성을 나타내는 제 1요인의 경우 평균적으로 수온이 가장 높은 달인 8월이 0.231로 가장 높았고 12월이 -0.460으로 가장 낮은 득점요인을 보였다. 이는 높은 수온에 의한 조류의 급격한 증가에 의한 것으로 판단된다. 그리고, 영양염의 부하특성을 나타내는 제 2요인은 춘계인 4월, 5월, 6월이

0.385, 0.331, 0.344로 높은 득점을 보였고, 추계인 10월, 11월이 -0.287, -0.123으로 가장 낮은 득점을 보여 춘계에 의한 영양이 크고 추계 영향이 적은 것으로 나타났다. 이는 봄, 가을 수온차이에 의한 물의 대류현상의 의해 저층의 퇴적물에서 인산염 등 영양염류의 용출이 영향을 주는 것으로 추정된다.

그리고, 계절적 요인인 제 4요인은 하계인 7, 8월에 -1.102, -1.201로 가장 낮았고 동계인 12월과 1월이 각 1.012 및 1.209로 가장 높게 나타났다. 이것은 하계, 동계의 수온 증감에 따른 DO의 포화량의 감소 및 증가에 기인한 것으로 판단된다.

**요인특점에 의한 시계열 변화**

수영강수계 수질변동의 요인특성을 파악하기 위하여 전 지점 월별 요인분석에서 얻어진 요인특점에 대한 시계열 변화를 분석하였다. 각각의 추출된 요인에 대하여 전 지점을 대상으로 요인특점에 대한 시계열 변화를 Fig. 7에 나타내었다.

조류증식에 따른 자생유기물질에 의한 오염부하 특성을 나타내는 제 1요인의 경우 전 지점에서 요인특점의 변화는 크지 않았지만, 최 하류인 D지점을 포함해 전 지점에서 오염부하를 받고 있는 것으로 나타났다.

년도별 변화를 보면 2004~2005년도에 제 1요인의 오염부하는 B지점인 온천천이 가장 큰 것으로 조사되었으나, 이후로는 요인특점이 감소되었는데 이는 자연형하천 온천천 조성을 위한 하수관거정비 및 수질개선 및 하천유지용수 공급을 위해 2005년 11월 이후 낙동강물을 1일 평균 약 30,000톤 방류한 효과로 판단된다.

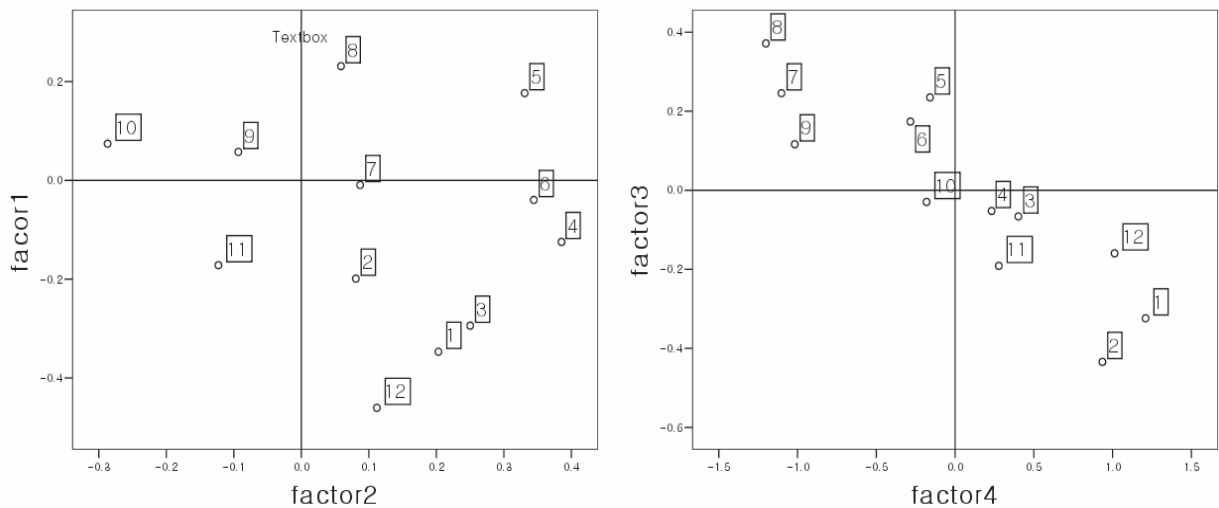


Fig. 6. Factor score for monthly variation of entire sampling station



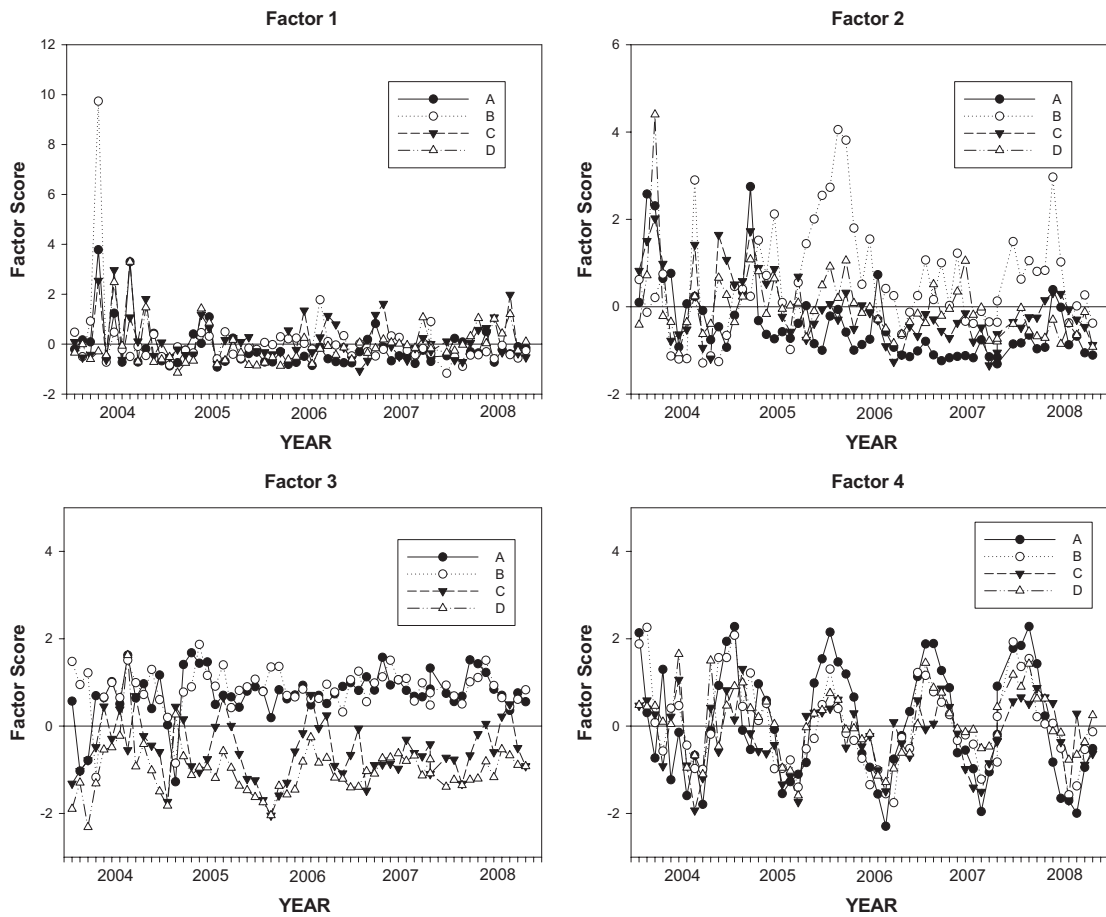


Fig. 7. Seasonal variation of factor score for factor 1 ~ 4 in entire sampling station

영양염의 부하특성을 나타내는 제 2요인은 Fig. 7의 Factor 2에서 보이는 것과 같이 온천천 하류인 C지점은 2005년 이후, 수영강 원동교의 B지점은 2006년 이후 요인특점은 많이 낮아져 오염부하가 감소한 것으로 나타났다. 이는 온천천의 경우는 2005년 낙동강 원수 방류, 2006년 10월 고도하수처리기능을 갖춘 동부하수처리장 완공으로 인한 수영강 중류구간 영양염류 오염원의 부하감소에 따른 것으로 사료된다.

그러나 2006년도 이전 보다는 낮아졌지만 여전히 원동교의 B지점은 높은 점수를 나타내어 영양염류에 의한 오염이 가장 큰 것으로 나타났다. 또한, 연도별로 구분해서 고찰해 보면 2006년 이후부터 요인특점이 감소하다, 2007년 7월 이후 다시 증가하는 것으로 나타났다.

이는 수영강 중류 수질개선을 위한 하수관거정비와 2006년 10월 가동된 동부하수처리장 가동으로 인한 오염부하 감소로 추정되며, 2007년 7월부터 요인특점이 다시 증가한 것은 석대천 상류에서 방류되는 동부하수처리장 방류수에 기인하는 것으로 추정된다. 동부하수처리장 방류수는 총인, 총질소의 제거가 가능한 고도하수처리시스템을

갖추고 있지만, 최종 방류수의 총질소는 약 8 ~ 9mg/L로 여전히 높기 때문인 것으로 사료된다.

제 2요인에서 가장 요인특점이 적은 지점은 석대천 합류인 A와 온천천 연안교의 C지조사되었다. 이는 A 지점의 경우 2006년 10월부터 동부하수처리장의 가동으로 인한 석대천의 오염부하감소, C지점은 민관합동 온천천 살리기 운동에 의한 하수관거 정비 및 낙동강물 공급에 의한 오염부하 감소가 큰 영향을 미친 것으로 사료된다.

수중의 용존 이온 물질의 부하요인인 제 3요인은 Fig. 3의 수영강수계의 연간 수질변화에서 보듯이 감소하천으로 해수의 영향을 받는 C, D지점이 음의 요인점수를 나타내었으며, 해수의 영향을 크게 받지 않은 A, B지점은 높은 점수를 나타내 제 3요인인 용존 이온물질은 해수에 의한 영향인 것으로 추정된다.

계절적 요인인 제 4요인은 Fig. 7의 Factor 4에 나타난 것처럼 계절변화에 따라 전 지점에서 동일한 패턴을 보이고 있다. 이는 하계, 동계의 수온증감에 따른 용존산소 포화량의 감소 및 증가가 일정하게 반복되기 때문인 것으로 판단된다.

## 결 론

수영강수계의 수질 특성을 평가하기 위하여 2004년부터 2008년까지 부산광역시 보건환경연구원 및 환경부의 5년간 수질자료를 바탕으로 BOD, COD, TN, TP 등 총 10개의 오염지표에 대하여 수영강수계 전 지점(석대천 합류, 원동교, 온천천 연안교, 민락교)에 대해 다변량분석기법의 하나인 주성분과 요인분석 등을 이용하여 자료를 해석한 결과는 다음과 같다.

1. 전 지점 월별 평균, 주요지점 월별 평균, 주요지점 계절별 평균 자료로 구분하여 주성분과 요인분석을 실시한 결과 전 지점별로는 4개의 주성분, 주요지점 월별 및 계절별은 각 3개의 주성분이 추출되었다.
2. 추출된 요인분석결과 전 지점 및 주요지점 월별 제 1요인은 Chl-a, SS, COD와 높은 양의 상관관계를 보이고 있어 이는 조류증식에 따른 자생유기물질에 의해 COD와 SS가 증가된 것으로 판단되며, 제 2요인은 TN, TP와 BOD와 높은 양의 상관관계를 나타냈다.
3. 주 오염원은 제 1, 2요인 모두 영양염류에 의한 자생유기물오염에 의한 영향이 51~53%로 가장 크며, 계절적 요인은 9~10%로 정도 되는 것으로 분석되었다.

본 연구의 결과로부터 수영강 수계 수질관리에 있어 영양염류에 의한 오염이 가장 중요한 변수임을 위 분석결과를 통해서 분명히 알 수 있었다.

수영강 증류는 최근 물환경 개선사업의 일환으로 회동수원지 원수를 하천유지용수로 공급하면서 증류의 주요지점인 A(석대천 합류), B(원동교)지점은 2008년 7월 이후 수질이 개선되는 추세를 보이고 있으나, 수영강 증류구간의 원천적 물환경 개선을 위해서는 동부하수처리장의 질소, 인 제거를 위한 고도하수처리 효율을 향상시켜 처리수의 질소, 인 농도를 최대한 낮추고, 또한 수영하수처리장에 질소, 인의 제거가 가능한 고도하수처리시스템의 조기 구축이 절실한 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 김종구, 통계분석기법을 이용한 금강수계의 수질평가, 한국환경과학회지, 11(12), pp. 1281-1289(2002).
2. 김영주, 주성분분석에 의한 도시호수의 수질평가에 관한 연구, 환경관리학회지, 9(2), pp. 504-512(2006).
3. 신성교, 박청길, 송교욱, 주성분분석법을 이용한 낙동강

- 하구 해역의 수질 평가, 한국환경관리학회지, 7(2), pp.171-176(1998).
4. 박해식, 박청길, 송미경, 백경훈, 신성교, 통계분석법을 이용한 낙동강 수질특성 평가, 한국물환경학회지, 17(6), pp. 693-701(2001).
5. 유호식, 한강수질에 영향을 끼치는 요인들의 통계분석, 대한환경공학회지, 24(12) pp. 2139-2150(2002).
6. Karim, B and Taha, F. M., Using Principal Component Analysis to Monitor Spatial and Temporal Changers in Water Quality, Journal of Hazardous Materials, BJ00, pp. 179-195 (2003).
7. Ying, O., Evaluation of River Waer Monitoring Stations by Principal Component Analysis, Water Research, 39, pp.2621-2635 (2005).
8. Bernard, P., Antoine, L., and Bernard, L., Principal Component Analysis: an Appropriate Tool for Water Quality Evaluation and Management-application to a Tropical Lake System, Ecologica Modeling, 178, pp. 295-311 (2004).
9. 김미아, 이재관, 조경덕, 다변량분석법을 이용한 금강유역의 수질오염특성 연구, 한국물환경학회지, 23(1), pp.161-168 (2007).
10. Petersen, W., Bertino, L., Callies, U. and Zorita, E., Process Identification by Principal Component Analysis of River Water-quality Data, Ecological Modeling, 138, pp. 293-213 (2001).
11. 양한섭, 수영만 해수의 수질에 관하여, 부경대학교 대학원 석사학위 논문, (1978).
12. 조은일, 수영만 수질모델링에 있어서 비점원 오염부하가 미치는 영향, 부경대학교 석사학위 논문. (1993).
13. 이병원의 부산 연안 및 소하천의 어메니티 제고를 위한 연구 : 수영강 및 수영만을 대상으로 삼성지구환경연구소, (1995).
14. 환경부, 물환경정보시스템, <http://water.nier.go.kr>, 국립환경과학원(accessed Dec. 2008)
15. 허명희, 양경숙공저, SPSS 다변량자료분석, SPSS 아카데미, 3-65(2004).
16. 한원식, 농업생명과학을 위한 통계적 방법, 자유아카데미, pp. 632-645 (1997).
17. 이재우, 논고, 수출선행지수 개발 및 적합성 분석, 수해외경제, pp. 4-17 (2006).