

## 다변량분석법을 이용한 중국 Xiao Qing하천의 수질 평가

Assessment of Water Quality Using The Multivariate Analysis at Xiao Qing River, China

Zhang Chi\*, Hyon Seung Dho, Sung Duk Kim\*\*

\*Civil Engineering, Chungju University, 298 Daeseong-ro., Chungju, Chungbuk, Korea

\*\*Civil Engineering, Chung-Ang University, 84 Heukseok-ro, Dongjak-gu, Seoul, Korea

### Abstract

The purpose of this study is to evaluate the factors affecting the water pollution at Xiao Qing river, Shan Dong Province, Northern China. Through the assessment of the water pollution, the water pollution will be predicted and the cause of the water pollution will be founded at the each localized areas. The environmental factors affecting the sewage, basic information on water pollution prevention, and restoration measures through identifying the specific values between each items by using statistical classification. The multivariate analysis in this study was used to investigate the characteristics between rainfall and river water quality at source of the four monitoring points in the Xiao Qing River.

**Key words:** Xiao Qing River, multivariate analysis, correlation analysis, factor analysis, variance analysis, water pollution, pollution treatment

### 국문초록

연구의 목적은 중국 북부 산둥성 Xiao Qing 하천 수질오염에 영향을 미치는 요인들을 평가하여 수질 오염을 예측하고, 지역적인 수질오염 원인을 규명하는 것이다. 본 연구의 해는 다변량분석법을 기본으로 하여, Xiao Qing 하천의 4개 조사 지점 자료를 대상으로 상관분석법, 주성분분석법, 분산분석법을 이용하였으며, 수질오염 특성을 연구하였다. Xiao Qing 하천 수질평가를 위해 상관분석을 실시한 결과 부영양화물질(T-N, T-P), 유기물질(BOD, COD), 부유물질(SS)간의 상관성이 높게 나타났다. 또한, Xiao Qing 하천 4개 감시지역, 주성분분석을 실시한 결과 Xiao Qing 하천 수질오염 주요요인은 공통적으로 부영양화물질과 유기물질로 나타났다. 다변량 분석을 이용한 본 연구는 강우와 하천 수질 항목간의 상관성에 관한 특성을 조사하였다. 본 연구의 결과는 수질오

\* Fax. +82-43-275-2377. E-mail: soundoug@hanmail.net

\*\* Corresponding author. Fax. +82-43-275-2377. E-mail: soundoug@hanmail.net

Submission & Publication Process

Received: Mar. 31, 2015 / Revised: Apr. 20, 2015 / Accepted: Apr. 25, 2015

염 방지 및 복원방안에 대한 기초 자료를 제공한다.

**주제어:** Xiao Qing하천, 다변량분석, 상관분석, 주성분분석, 분산분석, 수질오염, 오염처리

## 1. 서론

하천수질은 사람들의 생활환경에서 중요한 요소 중 하나이다. 현재 중국은 급속한 산업발달로 인해 인구의 도시집중이 심화되고 있다. 이 과정에서 각종 환경오염물질이 많이 배출되고 있고, 이러한 오염물질은 하천이 스스로 정화할 수 있는 자정능력을 상실시킬 정도로 더욱더 가속화되고 있다. 특히 중국 북부 산동성은 1990년대 이후 인구증가와 급속한 경제발전으로 인한 각종하천오염이 심각하며 그 중에 대표적인 하천이 Xiao Qing 하천이다.

Xiao Qing 하천유역을 오염시키는 발생원으로는 공장폐수, 생활하수와 같은 점오염원(point source)이 가장 큰 부분을 차지하고 있지만, 산림, 농경지, 가축분뇨 등과 같은 비점오염원(non-point source)도 상당한 부분을 차지하고 있다(김요용, 2011). 비점오염원에서의 유출수는 많은 양의 부유오염물질과 유기오염물질 등을 함유하고 있으며, Xiao Qing하천으로 유입되어 수질에 영향을 미친다. 그러므로 수질오염문제를 근본적으로 해결하고 하천의 종합적인 수질관리를 위해서는 점오염원뿐만 아니라 비점오염원에 대한 합리적인 관리 방안이 필요하다.

따라서 이에 중국정부는 하천에 대한 수질현황과 수질정책의 효율적 실행을 위해 수질측정망을 구축하고 지속적으로 수질모니터링을 수행하고 있으며, 이와 더불어 수질오염총량관리제를 도입하여 Xiao Qing 하천유역에서 평균 7일 간격으로 유량과 수질을 측정하고 있다. 하지만, 그간 측정된 수질 자료는 과학적 방법을 통하여 하천의 수질오염에 대해 원인을 해석하기 보다는 단순 산술평균 값만을 사용하여 수질해석을 실시하고 평이한 하천의 오염 상태만을 설명하고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 과학적 수질자료 해석을 위한 방법 중 하나인 다변량 통계분석을 활용하여 하천의 수질오염 해석에 대한 연구가 다양한 연구자들에 의해 수행되고 있다.

다변량 통계분석을 이용하여 수질평가를 수행한 연구를 살펴보면, 한국의 경우 신성교 등(1998)은 낙동강 하구 해역의 시·공간적 특성에 따른 수질 결정 주요인 파악, 김진호 등(2007)은 농촌유역의 수질평가, 오연찬 등(2004)은 낙동강의 장기 수질변동 파악, 이남도 등(2007)은 군산해역의 관측자료를 이용하여 군산 연안해역의 수질변동 요인을 분석하고 시·공간적인 특성에 따른 수질을 결정하는 주요인을 조사하였다.

국외의 경우 Boyer 등(1997)은 미국 플로리다만의 수질특성 평가, Petersen 등(2001)은 Elbe강의 시간에 따른 영양염류와 수질에 영향을 미치는 요인 사이의 공통성 파악, Karim 등(2003)은 New Jersey Passic하천의 수질특성을 파악하기 위하여 주성분 분석을 이용하였다.

이처럼 다양한 수계에서 다변량 통계분석을 활용하여 하천의 수질변동을 파악하고 평가한 연구가

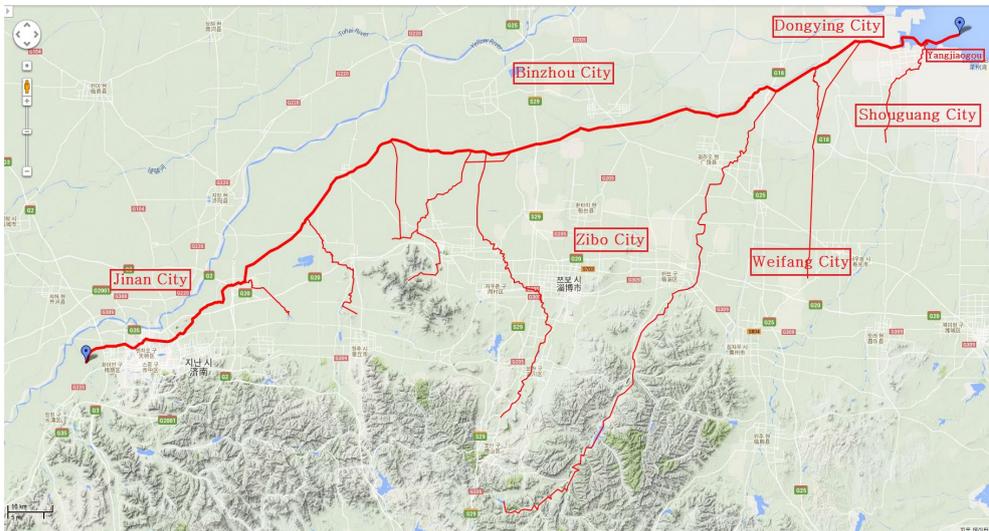
활발히 진행되고 있지만, 아직까지 장기간의 실측자료와 다변량 통계분석을 활용하여 Xiao Qing 하천에 대한 수질평가에 관한 연구는 매우 부족하다.

본 연구는 수질 오염에 영향을 미치는 요인, 즉 수질 오염의 예측, 수질오염 방지 및 방안에 대하여 상관분석, 주성분분석과 분산분석을 이용한 다변량 분석이론을 적용하였다. 이러한 이론을 기초로 해서 Xiao Qing하천의 수질 조사지역의 수질분석결과를 이용하여 수질을 평가하였으며, 조사지역의 오염 순위에 근거하여, 수질오염처리의 복원 우선순위를 배열하였다.

## II. 유역현황 및 자료조사

### 1. Xiao Qing하천유역 종합 현황

Xiao Qing하천의 총 길이는 237km 이며, 유역면적은 10,336km<sup>2</sup>이다. Xiao Qing하천은 남송초기(1130~1137년)에 배수, 방수, 관개, 항운 등 종합적인 이용을 위해 만든 인공하도이며, 약 900년의 역사가 있는 곳이다. Xiao Qing하천은 Ji Nan시에 근원을 두고 Zi Bo시, Bin Zhou시, Dong Ying시, Wei Fang시를 경유하여, Shou Guang시와 ang Jiao Gou에서 바다로 흘러간다.



<그림 1> Xiao Qing하천 수질 유역도

### 2. 연구지역

본 연구는 산둥성 6개 지방자치단체에 산재되어 있는 4 곳의 수질 검사를 연구조사 대상지역으로

선정하였다. Xiao Qing하천의 상류지역인 Mu zhuang 지역, 중상류지역인 Wu Liu Jia 지역, 중하류지역인 Da Ma Tou 지역, 하류지역인 Xin Feng Zhuang 지역이 연구대상지역이다. 수질 오염 데이터는 2012년도에 1년간 수집된 수질오염 검사자료를 이용하였다. <그림 2>은 본 연구의 대상지역을 나타낸다.



<그림 2> Xiao Qing하천의 각 조사 지점

### III. 다변량 분석결과 및 고찰

#### 1. 상관분석

Xiao Qing하천수계의 수질측정 자료를 항목별로 수질인자간의 관련성을 분석하기 위하여 4개 조사 장소에 대한 BOD, COD, Temp, SS 등 10개 수질항목에 대하여 Pierson상관분석을 실시하였다. Mu Zhuang지점은 공장폐수, 농업하수와 생활오수 등 수질오염이 가장 심각하며, 4개의 조사장소 중에서 대표적인 조사지점이다. <표 1>는 Xiao Qing 하천의 수질 오염에 영향을 주는 원소들의 상관분석 행렬이다. 상관행렬에서 ‘\*’ 표시는 5% 유의수준에서 유의한 상관관계를 나타내고, ‘\*\*’ 표시는 1% 유의수준에서 유의한 상관관계를 나타낸다. <표 1> Xiao Qing하천의 각 수질변수의 상관계수는 TP-TN(0.9696), TN-COD(0.8974), SS-COD(0.8932), NH3-N-BOD(0.8836), NH3-N-Temp (0.8759), TP-COD(0.8759), TN-Temp(0.8358), TN-SS(0.8347), TN-BOD (0.8332), NH3-N-TN(0.8186) 순서로 매우 높은 상관관계를 나타냈다. 본 분석 결과를 Xiao Qing 하천 수질오염의 영향을 미치는 인자에 대해 체계적이고 구체적인 분석이 필요함을 인지하였다.

<표 1> Xiao Qing하천 상관분석

|       | BOD | COD    | TEMP     | SS       | TN       | TP       | NH3-N    | NO3-N   | 유량      | 강우량     |
|-------|-----|--------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| BOD   | 1   | 0.6208 | 0.7971** | 0.5596** | 0.8332*  | 0.7426*  | 0.8836** | 0.5770  | -0.4314 | -0.1248 |
| COD   |     | 1      | 0.6416   | 0.8932** | 0.8974** | 0.8759** | 0.5186   | -0.0815 | 0.0954  | 0.0690* |
| TEMP  |     |        | 1        | 0.5441   | 0.8358** | 0.7871*  | 0.8759** | 0.5585* | -0.3963 | -0.1574 |
| SS    |     |        |          | 1        | 0.8347*  | 0.7670   | 0.4916   | 0.0245  | -0.0115 | -0.0255 |
| TN    |     |        |          |          | 1        | 0.9636** | 0.8186*  | 0.3268  | -0.2991 | -0.1569 |
| TP    |     |        |          |          |          | 1        | 0.7819   | 0.2627* | -0.2726 | -0.1586 |
| NH3-N |     |        |          |          |          |          | 1        | 0.7256* | -0.6872 | -0.1926 |
| NO3-N |     |        |          |          |          |          |          | 1       | -0.7662 | -0.5486 |
| 유량    |     |        |          |          |          |          |          |         | 1       | 0.3742  |
| 강우량   |     |        |          |          |          |          |          |         |         | 1       |

## 2. 주성분분석

주성분분석(principal component analysis)의 목적은 자료를 축소하거나 해석하기 위한 분석방법으로 원변수들의 성형결합으로 자료의 공분산구조를 설명하는 방법이다. 주성분분석을 이용하면 공분산행렬에서는 발견할 수 없는 변수사이의 관계를 발견할 수 있으며 보다 높은 차원의 해석을 할 수 있다(Jolliffe 2002). 환경과학 및 수질오염 자료에는 많은 수질오염 변수(원소)들로 구성된다. 따라서 본 연구에서는 수질오염 원소들을 이용하여 소수(2~3개)의 주성분이라 부르는 서로 상관되어 있지 않은 독립적인 인공변수를 도출하고자 한다.

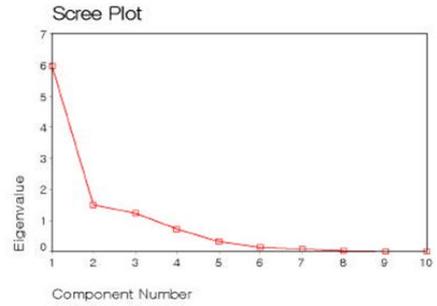
<표 2>는 10개 수질오염 원소들의 상관계수를 이용구한 주성분 분석 결과로서 고유값, 분산비(variance), 총분산의 누적설명비(누가값)와 성분적재행렬을 나타낸다. 첫 번째 주성분이 총 표본 분산의 59.6016%를 설명하며, 두 번째 주성분은 총 표본 분산의 14.9347%를 설명하며, 셋 번째 주성분은 총 표본 분산의 12.2448%를 설명한다. 따라서 첫 번째, 두 번째와 셋 번째 주성분은 총표본 분산의 86.781%를 설명한다.

주성분의 수를 결정하는 방법으로 Kaiser(1958)의 규칙(H.F Kaiser 1958)을 사용하여 고유값이 1 이상인 주성분(3개)을 선택하면 총 표본 분산의 86.781%가 설명된다. 이는 Xiao Qing 하천수계전체 하천의 수질변화가 약 87%를 차지하는 것으로서 수질변화가 위의 3가지 요인에 의해 좌우됨을 의미한다. 저차원 공간을 결정할 수 있는 차원의 축소는 시각적으로 알아볼 수 있는데 다음과 같은 <그림 3>의 산비탈 그림(scree plot)을 이용하여 주성분의 수를 결정할 수 있다. <그림 3>에서 산비탈 그림의 가로축은 주성분의 수를 나타내고, 세로축은 고유값을 나타낸다.

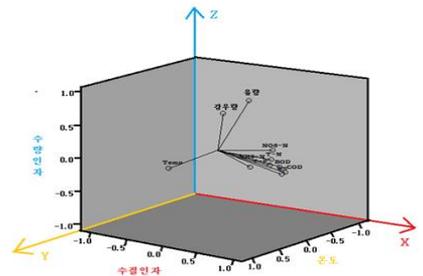
첫 번째 주성분은 계수의 크기로 결정할 수 있으며, BOD, COD, SS, T-N, T-P, NH3-N, NO3-N 수질오염 원소의 크기가 크므로 “수질인자”적 성분으로 정의할 수 있으며, 두 번째 주성분은 유량과 강우량 원소의 값이 크므로 “유량인자” 성분으로 정의할 수 있고, 셋 번째 주성분은 TEMP 원소의 값이 크므로 “온도인자” 성분으로 정의할 수 있다.

<표 2> Xiao Qing하천 고유값

| 영향<br>인자 | 원자료       |         |         |
|----------|-----------|---------|---------|
|          | Component |         |         |
|          | 1         | 2       | 3       |
| BOD      | 0.9398    | -0.0800 | -0.0853 |
| COD      | 0.9710    | -0.0992 | -0.0508 |
| Temp     | 0.1011    | -0.3700 | 0.8735  |
| SS       | 0.9657    | -0.1884 | -0.1241 |
| T-N      | 0.9687    | -0.0245 | -0.0114 |
| T-P      | 0.9549    | -0.1521 | -0.0598 |
| NH3-N    | 0.6816    | -0.1893 | -0.1225 |
| NO3-N    | 0.8207    | 0.2728  | 0.1845  |
| 유량       | 0.2601    | 0.8611  | -0.2062 |
| 강우량      | 0.3677    | 0.6553  | 0.5839  |
| 고유값      | 5.9602    | 1.4935  | 1.2245  |
| variance | 59.6016   | 14.9347 | 12.2448 |
| 누가값      | 59.6016   | 74.5362 | 86.7810 |



<그림 3> Xiao Qing하천의 산비탈 그림



<그림 4> Xiao Qing하천의 인자별 분포도

### 3. 분산분석

Xiao Qing하천 수계의 수질측정 항목별 수질인자간의 분산성과 각 감시 지역의 오염 우선순위를 평가하기 위하여 Tukey, Duncan, Scheffe test 등의 방법으로 4 개 검사 장소에서의 주성분 1(수질인자) 점수를 <표 3> ~ <표 6>으로 나타냈다.

우선 분산분석을 실시하기 위해서는 분산분석의 조건을 만족해야 하며, 분산 분석 조건은 data가 정규성과 등분산성을 만족해야 한다. 수질변수의 등분산성을 위해서 수질인자 levene test를 해야 하며, Xiao Qing하천 각 감시 지역간 수질 오염차이를 위해서는 F test를 해야 한다.

<표 3> 주성분 1(수질인자)의 기술통계

| BART factor score 1 for analysis 1 |    |        |       |       |                 |        |         |        |
|------------------------------------|----|--------|-------|-------|-----------------|--------|---------|--------|
|                                    | N  | 평균     | 표준편차  | 표준오차  | 평균에 대한 95% 신뢰구간 |        | 최소값     | 최대값    |
|                                    |    |        |       |       | 하한값             | 상한값    |         |        |
| Mu Zhuang                          | 12 | 1.3690 | .8597 | .2481 | .8228           | 1.9153 | -.3283  | 2.5159 |
| Wu Liu Jia                         | 20 | -.8146 | .9813 | .2194 | -1.273          | -.3553 | -2.8864 | .7352  |
| Da Ma Tou                          | 22 | .15126 | 1.324 | .2823 | -.4359          | .7384  | -.7375  | 3.9372 |
| Xin Feng Zhuang                    | 17 | .23183 | 1.090 | .2645 | -.3289          | .7925  | -.7240  | 4.1364 |
| 합계                                 | 71 | .10428 | 1.302 | .1545 | -.2039          | .4125  | -2.8864 | 4.1364 |

일반적으로 유의확률값이 0.05 이상은 차이성이 없는 것으로 판단되고, 0.01~0.05은 차이성이 있는 것으로 판단되고, 0.01 이하는 상당한 차이성이 있는 것으로 판단하며 신뢰수준은 95%(유의 수준 0.05 이하)이상의 계수값으로 판단한다.

<표 4>는 Xiao Qing하천 주성분1(수질인자)의 등분산성을 측정하기 위한 levene test를 나타낸다. levene 통계량과 유의확률은 0.088로 나타났고 0.05보다 크게 나타남으로써 수질인자 분산결과는 등분산성을 만족한다.

<표 4> 분산의 등분산성 검정

| BART factor score 1 for analysis 1 |     |     |      |
|------------------------------------|-----|-----|------|
| Levene 통계량                         | df1 | df2 | 유의확률 |
| 2.273                              | 3   | 208 | .088 |

Xiao Qing하천의 각 감시지역간 수질 오염차이를 측정하기 위한 F test결과는 <표 5>에서 나타낸다. <표 5>를 보면 F통계량이 39.891로 나타났고 유의확률은 0.00으로 나타났으며 0.01보다 작게 나타났다. 그러므로 Xiao Qing하천의 각 감시지역 간 수질 오염차이가 있는 것으로 판단된다. 위의 결과를 통해서 주성분 1(수질인자)이 분산분석의 조건에 만족한다는 것을 알 수 있다.

<표 5> 분산분석

| BART factor score 1 for analysis 1 |        |     |        |        |      |
|------------------------------------|--------|-----|--------|--------|------|
|                                    | 제곱합    | df  | 평균 제곱  | F      | 유의확률 |
| 집단-간                               | 44.876 | 3   | 14.959 | 39.891 | .000 |
| 집단-내                               | 25.124 | 208 | .375   |        |      |
| 합계                                 | 70.000 | 211 |        |        |      |

<표 6>은 주성분 1(수질인자)이 분산분석의 결과이다. 결과 점수가 클수록 오염정도가 더 크며, Xiao Qing하천의 4개 감시 지점의 오염 우선순위는: 1. Mu Zhuang 2. Xin feng Zhuang 3. Da Ma Tou 4. Wu Liu Zha.로 나타났다. 그리고, 그 값은 각각 Mu Zhuang 오염점수는 1.369, Xin Feng Zhuang 오염점수는 0.2318, Da Ma Tou, 오염점수는 0.1513, Wu Liu Jia 오염점수는 -0.8147 이다.

<표 6> 주성분 1(수질인자)의 분산분석

| BART factor score 1 for analysis 1 |                 |                   |           |
|------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| 장소                                 | N               | 유의수준 = 0.05에 점수순위 |           |
| Tukey HSDa,b                       | Wu Liu Jia      | 20                | -.8146976 |
|                                    | Da Ma Tou       | 22                | .1512685  |
|                                    | Xin Feng Zhuang | 17                | .2318313  |
|                                    | Mu Zhuang       | 12                | 1.3690714 |
| Duncana,b                          | Wu Liu Jia      | 20                | -.8146976 |
|                                    | Da Ma Tou       | 22                | .1512685  |
|                                    | Xin Feng Zhuang | 17                | .2318313  |
|                                    | Mu Zhuang       | 12                | 1.3690714 |

※ 동일 집단군에 있는 집단에 대한 평균이 표시된다.

## IV 결론

본 연구에서는 Xiao Qing 하천 수질오염 특성을 과학적으로 분석하기 위하여 다변량 통계분석을 실시하였다. 다변량 통계분석을 통한 수질분석은 Xiao Qing 하천의 각 감시지역의 주요 수질오염인과 수질오염 특성을 밝힐 수 있었다. 분석결과가 수질오염 방지 및 복원방안에 대한 기초 자료로 제출 하고자 한다. 본 연구를 통해 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

Xiao Qing 하천의 오염요인을 분석하기 위해 상관성분석을 실시한 결과 BOD와 부영양화물질인 T-N, T-P가 상관계수 0.6이상으로 높은 상관관계를 보였으며, 부유물질 오염지표인 SS는 T-N, T-P가 0.7이상으로 양의 상관성을 나타냈다. 주로 생활하수나 축산폐수의 원인인 오염물질인 유기물질과 영양염류가 좋은 상관성을 나타내고 있다. Xiao Qing 하천의 주성분분석 결과로서 첫 번째 주성분은 계수의 크기에 의하면 BOD, COD, SS, T-N, T-P, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N 수질오염 원소의 크기가 크므로 관련이 있는 “수질인자”적 성분으로 정의할 수 있으며, 두 번째 주성분은 유량과 강우량 원소의 값이 크므로 “유량인자” 성분으로 정의할 수 있고, 세 번째 주성분은 TEMP 하나 원소의 값이 크므로 “온도인자” 성분으로 정의할 수 있다. 분산분석결과에서 Xiao Qing 하천의 수질특성은 3개 주요오염인자로 구분되어 계절적 변동특성을 보여 주었으며, 지점별 분산분석의 결과는 점수가 클수록 오염도가 심각하다. Xiao Qing 하천의 각 감시 지점 오염도에 근거하여 수질오염처리의 복원 우선순위는: 1. Mu Zhuang 2. Da Ma Tou 3. Xin feng Zhuang 4. Wu Liu Zha 이다.

본 연구는 Xiao Qing 하천의 수질오염 및 주변 지역의 오염에 원인이 되는 하천수질의 오염도 분석을 하였다. 본 연구 결과는 Xiao Qing 하천개발로 인해 국민건강생활에 미치는 피해요소의 분석, 저계, 예방을 통해 지속가능한 녹색생활권의 보장 및 친환경적 하천개발에 관한 정보 및 광해요인을 제거하고 훼손된 자연환경을 보호하기 위한 Xiao Qing 하천의 복원 계획 및 대책수립에 중요한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- 김기영, 전명식. 1993. SPSS 인자분석. 서울: 자유아카데미.
- 김요용. 2011. 다변량통계기법을 이용한 하천수질평가 및 예측 모형 연구. 경기대학교 대학원 박사학위논문.
- 김요용, 이시진. 2011. 다변량통계분석기법을 이용한 한강수계 지천의 수질평가. 한국환경공학회지. 33(7): 501-510.
- 김진호, 최철만, 김원일, 이종식, 정구복, 한국현, 류종수, 이정택, 권순국. 2007. 농촌유역의 수질평가를 위한 다변량분석기법의 이용. 한국환경농학회지. 26(1): 17-24.

- 성내경. 1996. SAS/ SPSS- 회귀분석. 서울: 자유아카데미.
- 신성교, 박정길, 송교욱. 1998. 주성분분석법을 이용한 낙동강 하구 해역의수질평가. 한국환경과학회지. 7(1): 171-176.
- 오연찬, 이남도, 김종구. 2004. 다변량해석기법을 이용한 만경강수계의 수질평가. 한국환경과학회지. 13(3): 233-244.
- 이남도, 김종구. 2007. 통계분석기법을 이용한 군산연안해역의 수질평가. 한국환경과학회지. 16(3): 369-376.
- Boyer, J. N., J. W. Fourqurean, and R. D. Jones. 1997. Spatial Characterization of Water Quality in Florida Bay and Whitewater Bay by Multivariate Analysis: Zone of Similar Influence. *Estuaries*. 20(4): 743-758.
- Petersen, W., L. Bertion, U. Callies, and E. Zorita. 2001. Process Identification by Principal Component Analysis of River Water Quality Data. *Ecological Modeling*. 138(1-3): 193-213.
- Karim, B. and F. M. Taha. 2003. Using Principal Component Analysis to Monitor Spatial and Temporal Changes in Water Quality. *Journal of Hazardous Materials*. 100(1-3): 179-195.
- Beaudon. P. and J. Rousselle. 1982. A Study of Space Variation of Precipitation by Factor Analysis. *Journal of Hydrology*. 59(1): 123-138.
- Wang Bin(王斌). 2007. *The Engineering Philosophy at Xiao Qing River, Shandong Province*. China Communications Press. 31-45.
- Li Xue-Gang(李學剛). 2007. *The Ecological Landscape Planning at Xiao Qing River, Shandong Province*. The Commercial Press. 281-325.
- Zhang Xin(張慶昕). 2007. *Ecology Construction at Bi Xiao Qing Mountain River*. Shandong Education Press. 138-225.

---

**Zhang Chi:** 청주대학교에서 공학석사(토목공학 전공) 학위를 취득하고, 현재 청주대학교 토목공학과에서 연구원으로 재직 중이다.

**도현승:** 미네소타 대학교에서 공학박사(토목공학 전공) 학위를 취득하고, 현재 청주대학교 토목공학과에서 교수로 재직 중이다. 주요 논문으로는 “An algorithm for Globally Minimizing a Concave Function over a Parallelepiped”, “Effect of Polymeric Binder in Iron Ore Pelletization ” 등이 있으며, 관심 분야는 환경수질분석 등이다 (dhs8470@cju.ac.kr).

**김성덕:** 중앙대학교에서 공학박사(하천 및 해안공학 전공) 학위를 취득하고, 현재 충북대학교 토목공학부에서 시간강사로 재직 중이다. 주요 논문으로는 “Simulation of Seawater Intrusion Range in Coastal Aquifer using FEMWATER model for Disaster Information”, “사면에서 토석류와 소단풍의 관계성에 관한 연구(2013)” 등이 있으며, 관심 분야는 토석류, 하천 및 해안 방재 등이다(soungdoug@hamail.net).