

## Trend Analysis of Distribution on Stream Qualities in Gumho River

Jong-Tae Kim<sup>1)</sup> · Byeung-Jae Lee<sup>2)</sup> · Jin Yong Kim<sup>3)</sup>

### Abstract

금호강수계를 대상으로 1998년부터 2007년까지의 환경부의 수질측정망 대상수질자료를 이용하여 월별 수질경향을 LOWESS 경향분석법을 적용하여 장기수질경향을 분석하였다. 금호강을 상류, 중류, 하류로 구분하여 각각 3개 지점의 수질측정망에 대해서 대표수질항목인 BOD, TN, TP, EC에 대하여 수질환경 오염의 장기 경향을 분석하였다. 본 연구의 결과는 금호강의 위치에 따른 수질오염의 연도별 변화를 나타내는 것으로 수질 개선의 지방자치나 중앙의 수질 정책과 행정에 도움을 줄 수 있을 것이다.

**Keywords** : 비모수 회귀분석, 수질경향분석, LOWESS 경향분석법

### 1. 서론

환경부의 수질측정망이 위치한 지역별 관점에서 금호강은 상류지점인 포항시 죽장면 북부에서 발원하여 수질측정망 지역인 죽장천, 금호강1, 영천댐2, 영천댐1과 합류하게 된다. 금호를 지나 금호강2지점에 도달하고 그 이후론 금호강3, 금호강4, 신천, 금호강5, 금호강6과 차례로 합류하여 낙동강 중류 지점인 대구시 달성군에 유입하게 된다. 금호강은 경상북도지역의 북동쪽에서 서쪽으로 흐르면서 포항시, 영천시, 경산시 대구시 달성군까지 대도시의 생활 농업 및 공업용수로 이용되고 있는 중요한 수자원으로 유역의 길이는 116km, 유역면적 2,053.3km<sup>2</sup>이다.

금호강의 수질의 오염도를 조사하기 위해서 1998년부터 2007년까지의 환경부의 월별 수질측정망 데이터를 이용하여 지역에 따른 수질항목별 수질경향을 분석 하였다. 금호강 수계의 수질측정망 지점을 대상으로 수질경향의 변화를 비모수 회귀분석방법인 LOWESS(Locally Weighted Scatter plot Smoother) 경향분석법을 적용하여 장기 수질경향을 분석하였다.

---

1) Professor, Department of Computer Science & Statistics Daegu University, Kyungbook 712-714 Korea. E-mail : jtkim@daegu.ac.kr

2) Student, Department of Computer Science & Statistics Daegu University, Kyungbook 712-714

3) Student, Korean Minjok Leadership Academy, 1334, Sosa, Anhung, Gangwan 225-823

최근에 LOWESS 비모수 회귀분석법은 장기 수질경향분석 도구로 많이 사용되어져 왔다. 김주화 외 1인 (2004)은 LOWESS 기법과 비모수 검정법을 이용하여 낙동강 수계의 경향분석을 하였다. 엄희정의 1인(2007)과 이혜숙과 이상욱 (2006)은 LOWESS 기법을 이용하여 낙동강 수계의 장기 수질경향 분석을 하였다. 금호강유역의 오염의 종합적 조사는 배준웅 외 2인(2002)과 황병기 외 1인 (2002)에 연구되었다. 그리고 Park et al.(2002)은 낙동강 수질에 대한 모형을 연구하였다.

수질 측정망의 위치와 수질 오염도의 패턴에 따라서 금호강의 상류, 중류, 하류지역으로 구분하였고, LOWESS 분석법을 이용하여 대표수질항목인 BOD(Biological Oxygen Demand), TN(Total Nitrogen), TP(Total Phosphorus), EC(Electric Conductivity)에 대하여 수질경향을 분석하였다.

## 2. 연구방법과 LOWESS 경향분석기법

LOWESS(Locally Weighted Scatter plot Smoother)는 각  $x$  값에 대해 이동 직선(moving line)을 구하고 이로부터  $y$ 의 평활값을 얻은 후 이 평활점들을 직선으로 연결한 것이다. 이는 측정 모델 즉 1차 또는 2차 회귀모형에 대한 가정없이 자료들을 회귀모형에 맞추므로 유용한 경향 분석법이다. 이동선( $x_i, y_i$ )를 계산하는 방법  $x = x_i$ 를 중심으로 일정 간격에 걸친 수직띠를 만든다.  $x = x_i$ 를 중심으로  $n \times f$ 에 가장 가까운 정수만큼의 데이터를 포함하도록 수직띠의 폭을 결정한다. 여기서  $f$ 는  $0 < f < 1$  인 평활상수로서 흔히  $1/3 < f < 2/3$ 가 추천된다.  $f$ 의 값이 커질수록 한 평활점을 계산하기 위하여 많은 데이터 점들이 사용되므로 평활곡선이 더 매끄럽게 된다.

가중값 함수 (Weighted Function)을 정의하고 부근 가중값들 (Neighborhood Weights)을 계산한다. 가중값 함수의 바람직한 성질은 다음과 같다.

- 1) 중앙에 위치한 ( $x_i, y_i$ )이 가장 큰 가중값을 가진다.
- 2) 가중값 함수는  $x = x_i$ 에 대하여 대칭이며 중앙에서 멀어질수록 매끄러운 형태로 감소한다.
- 3) 가중값 함수는 수직띠의 양쪽 경계에서 0의 값을 가진다.

$$T(u) = (1 - |u|^3)^3, |u| < 1 \\ = 0, |u| \geq 1.$$

따라서,  $x_i$ 로부터 수직띠까지의 최대거리를  $d_i$ 라 하면 ( $x_k, y_k$ )의 가중값  $w_k$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$w_k = T\left(\frac{x_k - x_i}{d}\right)$$

참고로, 외딴점들에 의한 영향을 제한하기 위해 추가로 겹제곱 가중값 함수(Bisquare Weight Function)을 사용하여 가중값들을 새로 계산하기도 하는데 이는 강건단계(Robust Step)라 불린다. 수직띠안의 데이터 점들은 가중최소제곱법(Weighted Least squares Method)을 써서 직선으로 적합시킨 다음  $a, b$ 를 이용하여  $x = x_i$ 에서의  $y$ 의

적합값  $\hat{y}$ 를 계산한다.

$$\hat{y}_i = a + bx_i$$

LOWESS 분석기법은 미니탭 통계 패키지를 이용하여 분석하였다.

### 3. 지역별 금호강 수질경향 분석

#### 3.1. 상류지역

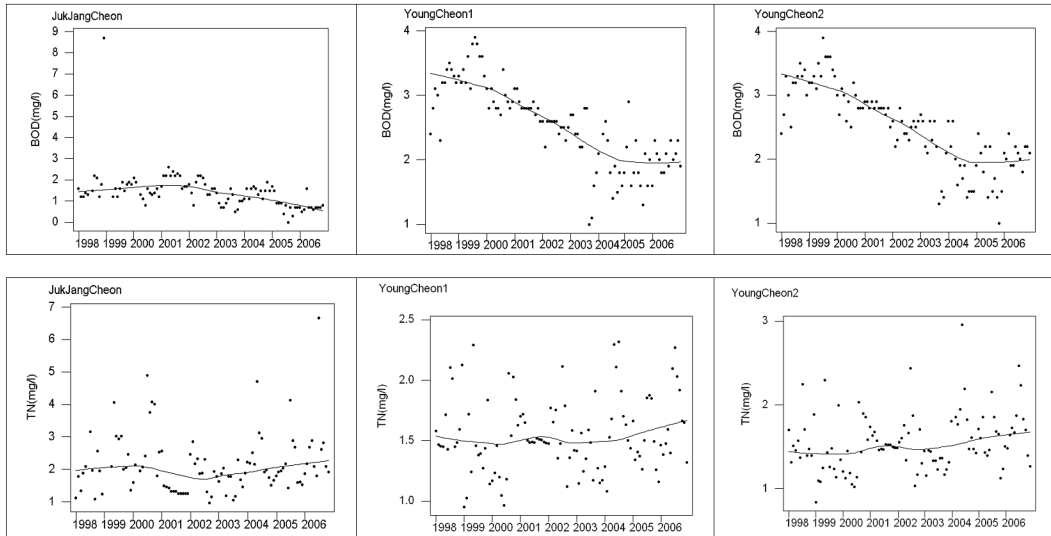
상류지역 3개(죽장천, 영천댐1, 영천댐2)의 수질측정망 지점들에서 1998년 이후부터 2006년까지 8년간의 LOWESS 경향분석 결과 아래의 <그림.1>에 제시하였다.

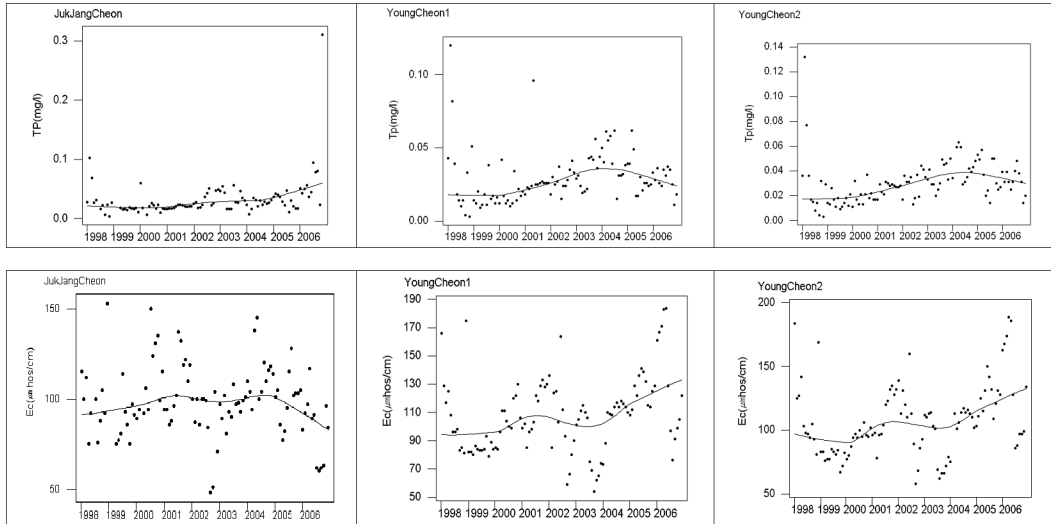
(1) BOD: 죽장천 지점에서 1급수에 해당하는 장기 경향성의 분포의 변화가 근소하게 감소하는 것으로 나타나지만, 영천댐2와 영천댐1 지점의 BOD는 같은 분포를 가지며, 1998년부터 현재까지 점차 감소하는 경향을 보인다. 죽장천과 영천댐2 사이에서 BOD 농도의 차이가 클 수 있다.

(2) TN: BOD와는 달리 TN의 농도의 분포는 상류지역인 죽장천이 영천댐2와 영천댐1 지점 보다 더 높은 것을 알 수 있다. 2000년부터 2002년까지 약간의 감소하는 추세였지만 2002년 이후부터는 증가하는 것을 알 수 있다. 영천댐1과 영천댐2 지점에서는 약간의 증가하며 같은 분포를 띠고 있는 경향을 보인다.

(3) TP: 죽장천에서 TN의 분포는 매년 조금씩 증가하는 추세이고, 영천댐2와 영천댐1은 2004년까지 증가하다가 2004년 이후부터는 감소하는 경향을 나타내었다.

(4) EC: 죽장천 지점에서 2004년까지 조금씩 증가하다 2004년 이후엔 감소하는 경향을 보인다. 영천댐1과 영천댐2 지점에서 2003년까지 큰 폭의 차이를 보이지 않다가 2003년 이후엔 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다.





〈그림.1〉 Trend of BOD, TN TP and EC of upstream in Gum-Ho river

결론적으로 BOD, TN, TP, EC에 대하여 죽장천과는 달리 영천댐2와 영천댐1은 같은 분포를 가진다. 죽장천에는 최근 들어 BOD와 EC가 감소하고, TN과 TP가 증가하는 추세를 보이는 반면에 영천댐2와 영천댐1에서는 BOD와 TP가 감소하고, TN과 EC가 증가하는 추세를 보인다.

### 3.2. 중류지역

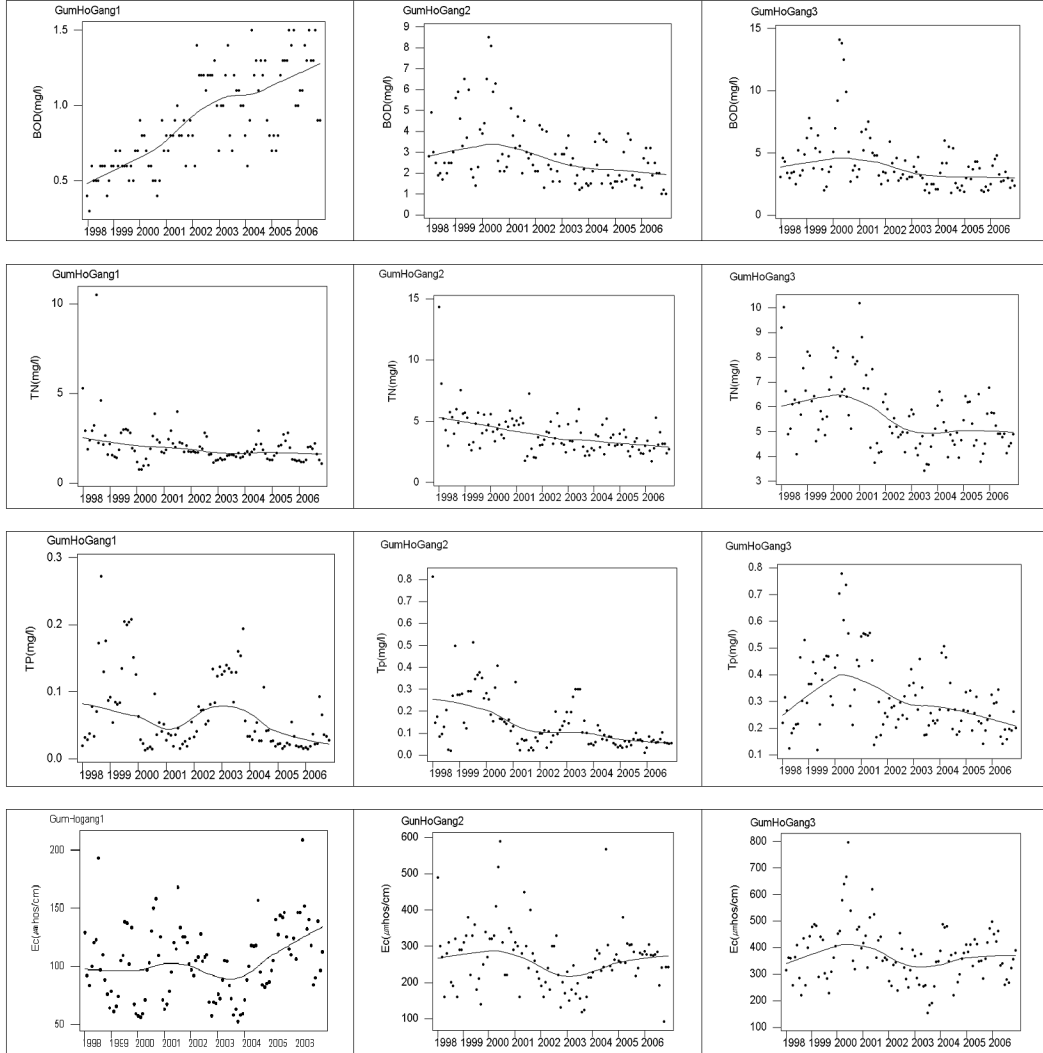
중류지역 3개(상류로부터 금호강1, 금호강2, 금호강3)의 수질측정망 지점들에서 1998년 이후부터 2006년까지 8년간 LOWESS 경향분석 결과를 아래의 〈그림.2〉에 제시하였다.

(1) BOD: 금호강1에서 BOD는 0.3과 1.5 사이에서 매년 급격히 증가하는 분포를 가지고 있다. 금호강2와 금호강3은 동일한 분포를 나타내며, 2000년까지 약간의 증가하다가 2000년 이후부터는 감소하는 분포를 나타낸다.

(2) TN: 금호강1에서 금호강3으로 내려올수록 TN은 증가하는 경향을 나타내며, 금호강1과 금호강2에서 매년 조금씩 감소하며, 수질이 개선되고 있다는 것으로 알 수 있다. 반면 금호강3에서는 1998년부터 2001년까지 수치가 6~10(mg/L)에 많이 분포되어있으나 2001년 이후부터 2003년까지 감소한 이후 최근까지 유지되고 있다.

(3) TP: 금호강1 지점에서 2~3년을 주기로 감소와 증가를 반복하고 있는 것으로 보인다. 금호강2 지점에서는 매년 감소하는 경향으로 보인다. 금호강3 지점에서 2000년까지 증가하였으나 2000년 이후에는 감소하는 것으로 보아 수질이 개선되고 있음을 나타내었다.

(4) EC: 금호강1 지점에서 2002년에서 2004년까지 약간 감소하였지만 2004년 이후엔 증가하고 있다. 금호강2 지점에서 1998년에서 2003년 하반기까지 감소하는 경향을 보이다 2004년부터 조금씩 증가하는 경향을 보이고 있다. 금호강3 지점에서는 1998년부터 2001년까지 증가한 이후 2003년까지 감소하다 최근까지 유지되고 있다.

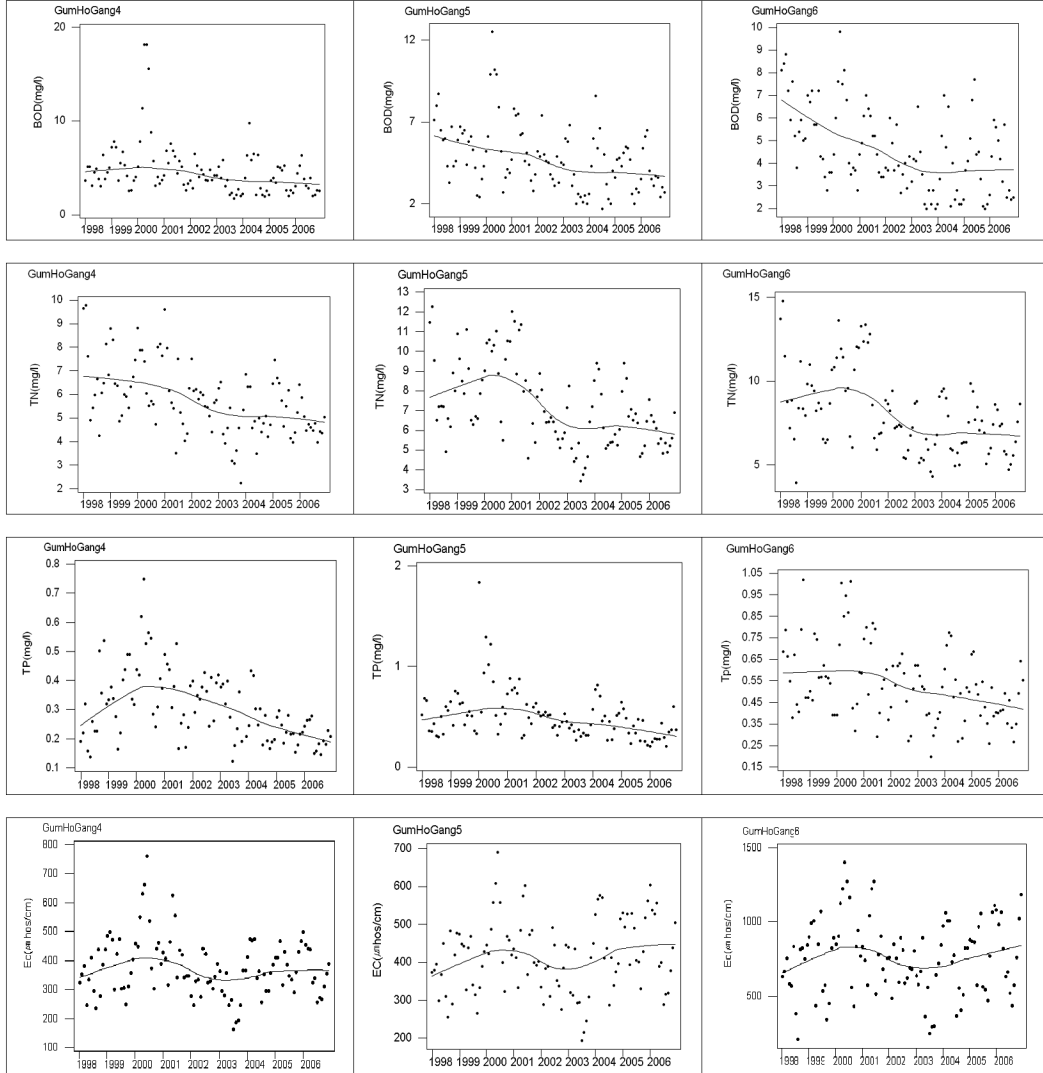


<그림.2> Trend of BOD, TN TP and EC of middlestream in Gum-Ho river

### 3.3. 하류지역

하류지역 3개(금호강4, 금호강5, 금호강6)의 수질측정망 지점들에서 1998년 이후부터 2006년까지 8년간 LOWESS 경향분석을 실행해 본 결과 아래의 <그림.3>에 제시하였다.

(1) BOD: 금호강4 지점에서 2001년까지 약간 증가하다가 2001년 이후부터는 감소하고 있는 것으로 나타났다. 금호강5 지점에서 매년 조금씩 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 금호강6 지점에서는 2003년까지 급격히 감소하였고 그 이후부터 최근까지 유지되고 있는 것을 알 수 있다.



<그림.3> Trend of BOD, TN TP and EC of downstream in Gum-Ho river

(2) TN: 금호강4 지점에서 점점 감소하는 경향을 나타내고 있고, 금호강5 지점에서는 2001년까지 증가하는 경향을 보이다가 2001년 이후부터 최근까지 감소하고 있다. 금호강6 지점에서는 2000년까지 증가한 이후로 2003년까지 감소하였다. 그 이후 유지되고 있는 경향을 나타내고 있다.

(3) TP: 금호강4 지점에서 2001년까지 증가하였다가 2001년 이후부터 최근까지 조금씩 감소하고 있는 경향을 보이고 있다. 금호강5 지점에서는 1998년부터 2002년까지 조금 증가하였지만 2002년 이후부터는 조금씩 감소하는 것을 알 수 있다. 금호강6 지점에서는 1998년 이후로 최근까지 2~3년을 주기로 증가와 감소를 반복하고 있다.

(4) EC: 금호강4, 금호강6 지점에서는 비슷한 경향을 보이고 있으며 금호강5 지점에

서는 경향성이 거의 없는 것으로 보인다.

#### 4. 결론

금호강 수질측정망 지점의 1998년 이후부터 2006년 최근 8년간 BOD, TN, TP의 수질항목을 대상으로 LOWESS 경향분석법을 사용하여 수질 경향을 조사하였다. 상류 중류 하류 3곳으로 나누어 지역별 특성과 수질항목별 특성을 알아본 결과 BOD의 경우 금호강2 지점에서부터 금호강6 지점까지 수직띠까지의 최대거리가 상류지역인 죽장천에서 금호강1 지점까지와 차이가 나는 것을 알 수 있다. 특히 2000년도에는 수질이 많이 악화 되었다는 것을 볼 수 있다. 하지만 전반적으로 2000년 한해만 차이가 있을 뿐 그 외에서는 큰 폭의 차이가 없다.

TN의 경우도 BOD의 경우와 비슷하게 금호강2 지점에서 금호강 6 지점까지 최대거리가 점점 늘어나고 있다. 하지만 TN도 1998년과 최근과 수직띠의 큰 변화는 없는 것으로 보인다. TP도 BOD와 TN과 같은 현상을 나타내고 있다.

EC는 금호강1 지점까지는 높은 수치의 경향을 보이고 있지 않았지만 금호강2 지점부터는 EC의 수치가 높아져 있는 것을 알 수 있다. 전체적으로 상류지역은 경향성이 거의 없는 것으로 판단된다. 하지만 중류 하류지역인 금호강2에서 금호강6 지점까지 경향성이 나타났다. 상류지역은 오염이 많이 되지 않았으나 중류 하류 지역은 다른 오염원의 영향을 받은 것으로 보이며 수질개선이 필요하다고 판단된다.

#### 참고문헌

1. 김주화, 박석순(2004), 비모수 통계기법을 이용한 낙동강 수계의 수질 장기 경향 분석, *Journal of Korean Society on Water Quality*. Vol. 20, 63-71.
2. 배준웅, 이상학, 이성호(2002), 금호강 오염의 종합적 조사, *Analytical Science & Technology*, Vol.15, 54-66.
3. 엄희, 윤용화(2007), LOESS 기법을 이용한 낙동강 수계 수질경향분석, *Proceeding of the Korean Data & Information Science Society June8-9*, 123-128.
4. 이혜숙, 이상욱(2006), 낙동강 수계의 장기 수질 경향 분석, *대한환경공학회 추계학술연구발표회 논문집*, 1144~1149.
5. 황병기, 정효준(2002), 금호강 유역의 오염총량 관리 대책수립, *한국환경과학회지*, 제11권 1125-1131
6. Park, S. S., Lee, S. L.(2002), A Water quality modeling study of the Nakdong River Korea, *Ecological Modeling*, Vol. 152, 65-75.

[ 2007년 8월 접수, 2007년 8월 채택 ]