

## 영산강수계 소하천 유역의 토지이용이 하천수질에 미치는 영향 분석

정재운 · 임병진 · 조소현 · 최진희 · 송광덕 · 하돈우 · 김해성  
박승호 · 황태희 · 정수정 · 이동진 · 김갑순\*

(국립환경과학원 영산강물환경연구소)

The Influence of Land Use on Water Quality in the Tributary of the Yeongsan River Basin. Jung, Jae-woon, Byung-Jin Lim, So-Hyun Cho, Jin-Hee Choi, Kwang-Duck Song, Don-Woo Ha, Hae-Sung Kim, Seung-Ho Park, Tae-Hee Hwang, Soo-Jung Jung, Dong-Jin Lee and Kap-Soon Kim\* (Yeongsan River Environment Research Laboratory, National Institute of Environmental Research, Gwangju 500-480, Korea)

This study assessed the impacts of land use types on water quality in the tributary of the Yeongsan river basin. Temporal changes in water quality parameters (BOD, COD, TOC, T-P, T-N, SS) were investigated. 13 water sampling sites were selected; they were then collected and analyzed according to the standard method. The results showed that water quality parameters of the study sites ranged as follows : BOD, from 0.3 to 21.9 mg L<sup>-1</sup> (mean 3.3 mg L<sup>-1</sup>); COD, from 1.0 to 38.0 mg L<sup>-1</sup> (6.4 mg L<sup>-1</sup>); TOC, from 0.6 to 20.0 mg L<sup>-1</sup> (4.5 mg L<sup>-1</sup>); T-P, from 0.009 to 1.973 mg L<sup>-1</sup> (0.144 mg L<sup>-1</sup>); T-N, from 0.6 to 17.1 mg L<sup>-1</sup> (mean 3.5 mg L<sup>-1</sup>); SS, from 0.3 to 292.0 mg L<sup>-1</sup> (20.3 mg L<sup>-1</sup>). Generally, the paddy and upland dominated region had high concentrations of water quality parameters, whereas the forest dominated region had low concentrations. In addition, water quality parameters were positively correlated with paddy and upland, whereas the parameters were negatively correlated with forest. The result implies that paddy and upland are the dominant factors leading to stream pollution in the study sites, while a higher percentage of forest area contributes to improved water quality. Therefore, it is important to manage paddy and upland in order achieve efficient management of water quality.

**Key words :** correlation analysis, land use, paddy, upland, water quality

### 서 론

현재 영산강 수질은 우리나라 4대강 중 가장 심각한 수준에 이르고 있다(Park *et al.*, 2007). 이에 정부 및 지

방자치단체에서는 영산강의 수질개선을 위하여 환경기초 시설의 확충, 오염원 관리 등을 하여 왔으나 만족할 만한 수준의 결과를 얻지 못하였다. 이는 영산강수계의 시·공간적 수질현황 파악 및 원인 규명이 미흡하기 때문이

\* Corresponding author: Tel: 062) 970-3915, Fax: 062) 970-3999, E-mail: ks5825@korea.kr

며, 이에 대한 관리대책을 수립하기 위해서는 수질에 영향을 미치는 지형조건, 토지이용, 오염원 분포 등의 요소를 다각적으로 검토해야 한다(Lee *et al.*, 1999). 이 중 토지이용은 하천의 수질에 큰 영향을 미치기 때문에 토지이용에 따른 수질특성을 분석하고 해석하는 것은 하천의 수질을 관리하는데 매우 중요하다(Han *et al.*, 2009). 미국과 같은 환경선진국에서는 하천 수질악화가 유역내의 토지이용도와 밀접한 관련이 있는 것으로 발표하였으며(Gburek and Folmar, 1999; Zalidis *et al.*, 2002), Haith *et al.* (1976)은 하천의 수질은 임야나 초지, 농경지, 도시, 공업지역 등 토지이용에 따라 두드러진 차이를 나타내며, 각 토지이용도에 따라 해당 수계의 수질이 결정된다고 주장하였다. 또한, 서로 다른 토지이용이 하천의 수질에 미치는 영향에 대한 다양한 연구가 최근 들어 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. 우선, Yim *et al.* (1995)은 경안천 유역의 토지이용에 따른 하천수질변화를 조사한 결과 농경지 면적이 증가할수록 인의 농도가 증가하는 경향이 있다고 주장하였으며, 이러한 연구결과는 Lee *et al.* (1999)의 토지이용이 이원천 유역의 하천수질에 미치는 영향 연구와 유사한 결과이다. Jung *et al.* (2006)은 토지이용과 하천수질의 상관성을 분석한 결과 주거지역과 양의 상관관계가 나타났으며 이는 생활하수가 직접적으로 하천에 유입되기 때문이며 이를 개선하기 위해서는 하수처리장 신설, 하수관거의 정비 등이 필요하다고 주장하였다. Han *et al.* (2009)은 경안천, 남한강, 북한강 수계의 총 178개 지점을 대상으로 토지이용에 따른 수질을 분석한 결과 봄철과 여름철의 BOD, COD, DO, SS, T-P가 토지피복의 영향을 유의하게 ( $P < 0.01$ ) 받고 있다고 보고하였고, Han *et al.* (2010)은 금강 수계의 분류 및 주요 유입지점의 수질자료를 수집하여 토지이용형태에 따른 수질특성을 분석하고 다양한 통계분석을 통해 토지이용이 금강수계의 수질에 큰 영향을 미친다고 발표하였다. 또한 Jung *et al.* (2012)은 강우시 한강유역에서 토지이용에 따른 비점오염특성을 조사한 결과 BOD, COD, T-N의 EMC (Event Mean Concentration)는 농경지 면적과 강한 상관관계를 보인다고 조사하였고, Xia *et al.* (2012)은 중국 Baiyangdian 유역에서 2002년과 2007년 토지이용특성과 수질자료를 이용하여 상관분석을 실시한 결과 construction land와 농경지가 수질에 부정적 영향을 미치지만 임야는 수질 개선에 긍정적 요소라고 주장하였다. 이처럼 다양한 수계에서 토지이용특성에 따른 수질의 영향을 분석하고 또한 토지이용특성이 하천의 수질에 직접적인 영향을 줄 수 있다는 것을 알고 있지만 아직까지 실측자료를 활용하여 영산강 수계 소하천의 토지이용특성에 따른 연구는 매우

부족한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 영산강수계 13개 소하천(하천별 1개 지점)에서 8일 간격으로 수질을 분석하여 각 소하천의 토지이용형태와 수질간의 상관성 분석을 실시하고 향후 영산강의 수질개선 방안 마련을 위한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상 지역

우리나라 4대강(한강, 낙동강, 금강, 영산강·섬진강) 중 하나인 영산강은 한반도 남서부에 위치하며, 유역경계는 동경 126° 26' 12" ~ 127° 06' 07", 북위 34° 40' 16" ~ 35° 29' 01"이며, 행정구역상으로는 광주광역시, 전라남도(나주시, 목포시, 담양군, 장성군, 영광군, 화순군, 함평군, 무안군, 영암군 등)에 걸쳐있다(Fig. 1). 영산강의 유역면적은 3,468 km<sup>2</sup>, 유로연장은 129.5 km, 동서간 최대길이는 60.6 km, 남북간 최대길이는 89.9 km, 평균폭은 26.7 km, 평균고도는 EL 118.9 m, 형상계수는 0.206이고 유역형태는 직사각형 형태의 수지상이다. 영산강은 섬진강과 경계를 이루는 북측의 추월산 자락인 가마골 "용소"에서 발원하여 남쪽으로 담양호를 지나 담양읍에 이르러 남서쪽으로 흐르다가 좌안측에서 오례천, 증암천, 광주천, 우안측에서 황룡강이 차례로 합류한 후, 영산강 유역의 지류 중 유역이 가장 넓은 지식천이 좌안측에서 유입한다. 지식천 합류 후 나주시를 관류하여 서쪽으로 흐르다가 우안측에서 고막원천, 함평천이 차례로 유입한 후, 유향을 남쪽으로 선회하여 영암군 학산면에서 유수방향을 서쪽으로 돌려 하구인 영산강 하구둑을 지나 서해로 유입한다(영산강홍수통제소, 2010).

본 연구의 모니터링 지점은 영산강수계 내에 위치한 소하천으로, 석곡천(Y01), 용산천(Y02), 진원천(Y03), 풍영정천(Y04), 대촌천(Y05), 장성천(Y06), 금천(Y07), 고막원천 상류(Y08), 식지천(Y09), 구산천(Y10), 무안천(Y11), 삼포천 상류(Y12), 북한천 상류(Y13)의 총 13개 지점이다(Fig. 1).

### 2. 수질 및 토지이용도 자료 수집

본 연구의 13개 모니터링 지점은 환경부 8일간격 측정 지점으로 국립환경과학원 영산강물환경연구소에서 직접 채수하여 분석하고 있는 지점이다. 수질분석항목은 BOD (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), TOC (Total Organic Carbon), T-N (Total Nitro-

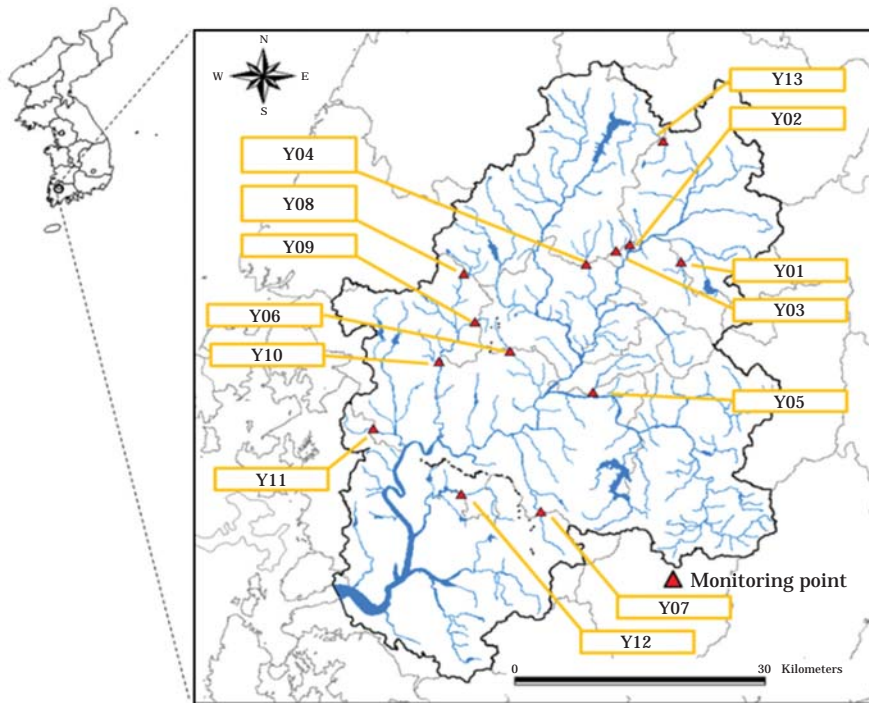


Fig. 1. Location of 13 sampling sites.

gen), T-P (Total phosphorus), SS (Suspended Solids)이며, 환경부 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다. 본 연구에 사용된 수질자료는 2011년 1월부터 2011년 12월까지 측정된 자료를 활용하였다. 또한, 모니터링 지점의 토지이용 현황을 분석하기 위해 환경부 1/25,000 토지이용도를 활용하였고 강우량 자료는 영산강 수계의 대표 기상청인 광주기상청의 자료를 활용하였다.

3. Box plot 및 통계분석

조사기간 동안 측정지점에서 수질항목별 결과를 box plot으로 표현했다. Box plot은 두 개 이상의 집단분포를 비교하기 위하여 사용되는 그래프로 각 집단의 일곱 수치 요약(5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90%, 95%)을 상자 형태로 표시하여 그리는 그래프다. 이 그래프는 여러 개 집단의 최대값 및 최소값의 비교는 물론 평균치의 개괄적인 비교도 가능하게 한다. 따라서 동일항목의 공간적 비교나 다양한 실험의 결과 등을 비교할 때 간단히 사용할 수 있는 자료요약의 대표적인 방법이다. 또한, 영산강수계 소하천 측정지점의 수질변수와 토지이용도와의 상관관계 분석 등의 통계분석은 SPSS (ver. 18.0)를 이용하였다. 상관계수(r)는 -1에서 1까지의 값을 취하는데 절대값이 1에 가까울수록 상관성이 높다는 것을 의미한다. 한편,

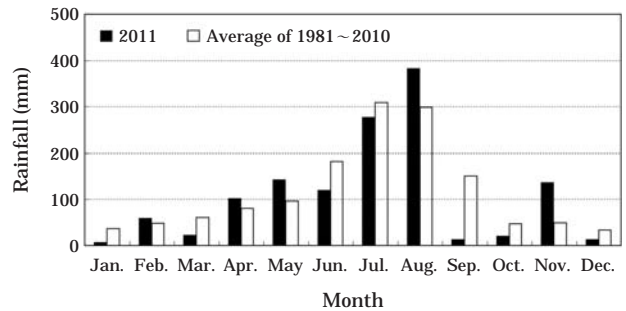


Fig. 2. Characteristics of monthly rainfall in the Yeongsan river watershed.

토지이용과 수질항목간 상관분석을 위해 각 소하천의 토지이용특성을 주거지, 논, 밭, 임야, 논+임야로 구분하고, 각각의 토지이용별 면적을 산출하고 토지이용에 따른 상대비율을 분석한 후 수질항목과의 상관분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 강우특성

영산강수계 2011년 강우량 자료와 30년 평균(1981~

**Table 1.** Land use classification of study sites.

| Sites | Residential             |       | Paddy                   |       | Upland                  |       | Forest                  |       | Etc.                    |       | Total area (km <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------------|
|       | Area (km <sup>2</sup> ) | %     | Area (km <sup>2</sup> ) | %     | Area (km <sup>2</sup> ) | %     | Area (km <sup>2</sup> ) | %     | Area (km <sup>2</sup> ) | %     |                               |
| Y01   | 1.2                     | 4.3%  | 3.5                     | 12.9% | 2.1                     | 7.9%  | 19.6                    | 72.4% | 0.6                     | 2.5%  | 27.0                          |
| Y02   | 0.2                     | 3.6%  | 1.9                     | 31.5% | 0.4                     | 6.2%  | 2.8                     | 46.7% | 0.7                     | 12.0% | 6.0                           |
| Y03   | 0.1                     | 2.4%  | 1.3                     | 26.0% | 0.5                     | 10.1% | 2.7                     | 54.0% | 0.4                     | 7.5%  | 5.0                           |
| Y04   | 2.5                     | 6.6%  | 16.0                    | 42.1% | 8.8                     | 23.1% | 9.3                     | 24.4% | 1.4                     | 3.8%  | 38.0                          |
| Y05   | 3.5                     | 8.3%  | 11.7                    | 27.9% | 10.0                    | 23.7% | 14.4                    | 34.3% | 1.9                     | 5.8%  | 41.6                          |
| Y06   | 0.5                     | 4.8%  | 3.5                     | 31.2% | 2.1                     | 18.8% | 4.9                     | 43.7% | 0.2                     | 1.5%  | 11.2                          |
| Y07   | 1.1                     | 2.6%  | 8.8                     | 20.4% | 5.1                     | 11.9% | 25.5                    | 59.3% | 2.4                     | 5.8%  | 42.9                          |
| Y08   | 3.7                     | 12.1% | 9.9                     | 32.1% | 6.0                     | 19.5% | 9.8                     | 31.8% | 1.4                     | 4.5%  | 30.8                          |
| Y09   | 0.3                     | 3.6%  | 1.6                     | 18.4% | 1.0                     | 11.3% | 5.7                     | 64.1% | 0.2                     | 2.6%  | 8.8                           |
| Y10   | 0.2                     | 1.6%  | 1.7                     | 12.0% | 1.1                     | 7.4%  | 10.9                    | 75.8% | 0.4                     | 3.2%  | 14.4                          |
| Y11   | 2.5                     | 11.5% | 5.0                     | 23.5% | 6.1                     | 28.3% | 6.9                     | 32.2% | 0.9                     | 4.5%  | 21.5                          |
| Y12   | 1.9                     | 5.5%  | 17.1                    | 50.4% | 9.7                     | 28.7% | 4.2                     | 12.5% | 1.0                     | 2.9%  | 33.8                          |
| Y13   | 0.2                     | 1.0%  | 1.6                     | 6.9%  | 0.4                     | 1.9%  | 20.4                    | 87.6% | 0.6                     | 2.6%  | 23.2                          |

2010) 강우량 자료를 비교한 결과는 Fig. 2와 같다. 2011년 연간 총 강우량은 1300.3 mm로 나타났고 30년 평균 총 강우량은 1390.9 mm로 30년 평균 강우량보다 2011년 강우량이 약 90 mm 정도 작게 관측되었다. 홍수기(6월~9월) 강우량 분포의 경우 2011년의 경우 6월과 7월에 각각 120.0 mm, 277.5 mm로 30년 평균(6월: 181.5 mm, 7월: 308.9 mm)보다 작게 관측되었지만, 8월의 경우 382.5 mm로 30년 평균(8월: 297.8 mm)보다 높게 관측되었다.

## 2. 조사지점의 토지이용현황

본 연구의 조사지점 토지이용특성은 Table 1과 같다. Y07 지점의 유역면적이 42.9 km<sup>2</sup>로 가장 높게 조사되었고, Y03 지점의 유역면적이 5.0 km<sup>2</sup>로 가장 낮게 조사되었다. 각 지점별 토지이용특성에 따른 점유율은 시가지의 경우 Y08 지점이 12.1%로 가장 높은 점유율을 보였고, Y13 지점이 1.0%로 가장 낮은 점유율을 보였다. 논·밭의 경우 Y12 지점이 50.4%로 가장 높은 점유율을 보였고, Y13 지점이 6.9%로 가장 낮은 점유율을 보였다. 밭의 경우 Y12 지점이 28.7%로 가장 높은 점유율을 보였고, Y02 지점이 1.9%로 가장 낮은 점유율을 나타냈다. 임야의 경우 Y13 지점이 87.6%로 가장 높은 점유율을 보였으며, Y12 지점이 12.5%로 가장 낮은 점유율을 나타냈다.

## 3. 토지이용에 따른 수질특성

조사기간 동안 측정지점에서 수질항목별 결과를 box plot으로 표현했고(Fig. 3), 각 측정지점별 최대, 최소, 중

간, 평균 값은 Table 2와 같다. 영산강수계에서 관측된 소하천의 BOD 농도 범위는 0.3~21.9 mg L<sup>-1</sup>, 평균 3.3 mg L<sup>-1</sup>로 나타나 하천 생활환경기준 III등급(보통)으로 나타났다. COD의 경우 1.0~38.0 mg L<sup>-1</sup>, 평균 6.4 mg L<sup>-1</sup>(III, 보통)로 나타났으며, TOC는 0.6~20.0 mg L<sup>-1</sup>, 평균 4.5 mg L<sup>-1</sup>로 나타났다. 유기물을 나타내는 간접지표인 BOD, COD, TOC의 크기는 전반적으로 COD>TOC>BOD 순으로 나타났다(Fig. 3).

측정지점 중 Y11 지점에서 BOD, COD, TOC의 평균농도가 각각 8.1, 12.9, 8.7 mg L<sup>-1</sup>로 가장 크게 나타났으며, Y13 지점의 BOD, COD, TOC의 평균농도는 각각 0.9, 2.2, 1.1 mg L<sup>-1</sup>로 가장 작게 나타났다(Table 2). 이러한 차이는 Y11 지점과 Y13 지점의 토지이용특성이 다르기 때문인데, Y11 지점의 경우 논과 밭이 전체 토지이용의 약 51.8%를 차지하고 있는 반면 Y13 지점의 경우 논과 밭이 전체 토지이용의 약 8.8%를 차지하고 있었다. 특히, 논과 밭의 경우 작물의 양분으로 유기질 비료(퇴비 등)를 많이 사용하기 때문에 강우시 토사와 함께 유기물이 다량으로 하천에 유입되는 특성이 있어 BOD, COD, TOC의 농도가 높은 것으로 판단된다. 이는 Han *et al.* (2010)이 금강수계에서 농지형 하천이 산지형 하천과 도심형 하천에 비해 BOD와 COD의 농도가 높다는 연구와 Jung *et al.* (2012)이 한강유역에서 강우시 BOD, COD의 EMC는 농경지 면적과 강한 상관관계를 보인다는 연구결과 유사하였으며, 이러한 관계는 다양한 문헌에서도 나타났다(Won *et al.*, 2011; Mouri *et al.*, 2011). 한편, 영산강수계 조사지점에서의 관측된 T-P 농도 범위는 0.009~1.973 mg L<sup>-1</sup>, 평균은 0.144 mg L<sup>-1</sup>(III, 보통)로 나타났고, T-N은 0.6~17.1 mg

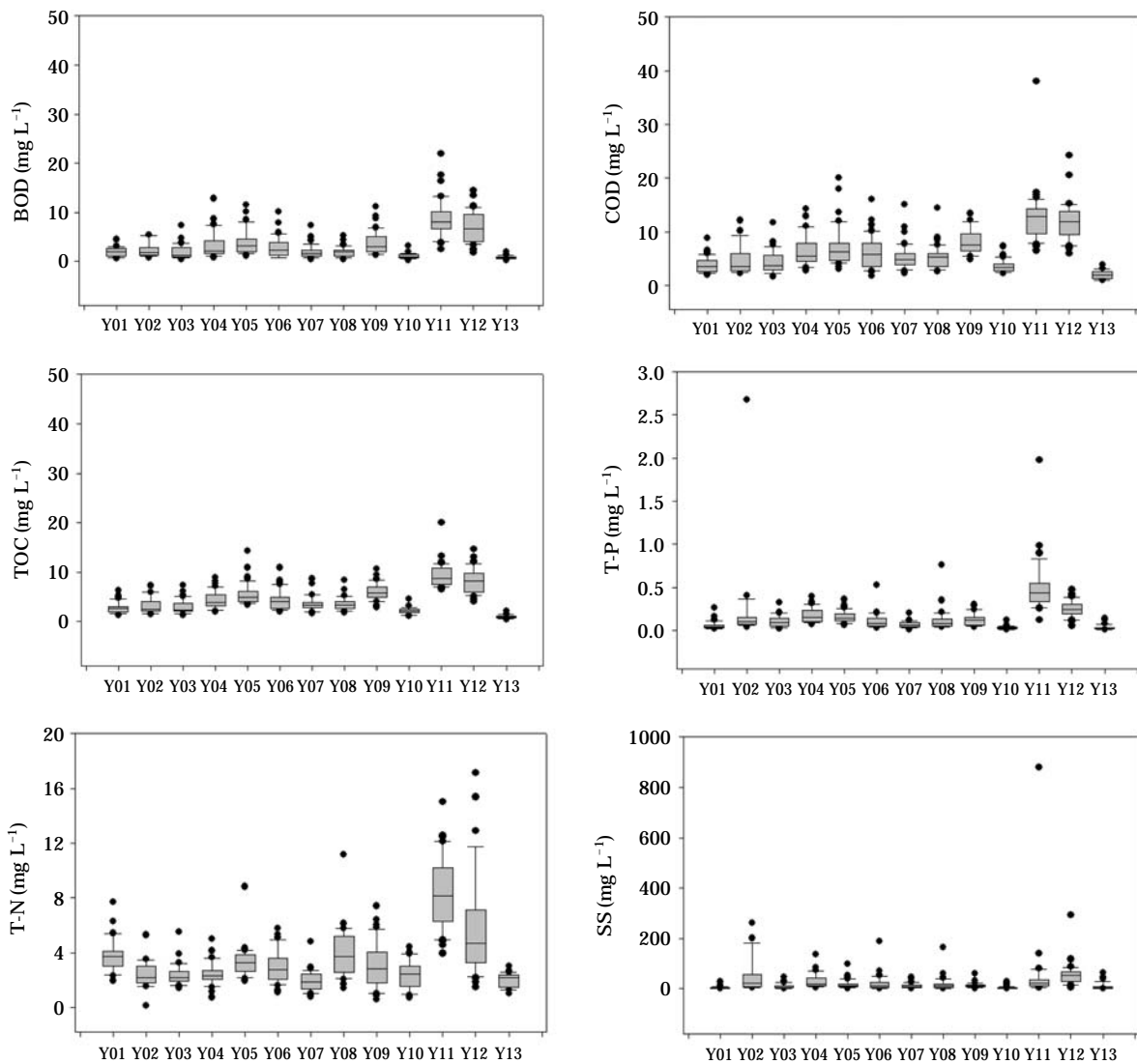


Fig. 3. Box plot of BOD, COD, TOC, T-P, T-N, and SS.

L<sup>-1</sup>의 범위를 보였고, 평균은 3.5 mg L<sup>-1</sup>로 나타났다. 측정 지점 중 T-N, T-P 농도가 가장 높은 지점 역시 Y11 지점으로 나타났으며, T-N, T-P 평균농도는 각각 8.4 mg L<sup>-1</sup>와 0.50 mg L<sup>-1</sup>로 나타났다. 이러한 이유는 논과 밭의 작물생육에 필요한 유기질 비료 이외에 추가로 질소질 비료와 인산질 비료의 사용 때문에 영양염류(T-N, T-P)의 농도가 높게 나타난 것으로 판단되며, Jung *et al.* (2012)이 한강유역에서 강우시 농경지에서 면적이 증가할수록 영양염류 농도가 매우 높다는 연구결과와 유사한 결과이다. SS의 경우 조사지점에서의 관측된 농도 범위는 0.3~292.0 mg L<sup>-1</sup>, 평균 20.3 mg L<sup>-1</sup>로 나타났고 Y12 지점의 평균 SS 농도가 55.2 mg L<sup>-1</sup>로 가장 높게 나타났는데 이 지점

역시 논과 밭 면적이 전체면적의 약 79.1%를 차지하고 있어 강우시 농경지에서 발생된 토사 등의 부유물질이 집중강우로 인하여 많은 양이 하천으로 유입되었기 때문인 것으로 판단된다(Han *et al.*, 2009; Han *et al.*, 2010). 하지만 여기서 특이한 점은 Y11 지점보다 Y12 지점의 농경지(논과 밭) 면적이 약 20% 정도 더 크지만 SS를 제외한 나머지 수질항목 모두 Y11 지점이 높게 나왔다. 이는 소하천의 토지이용이 전체 하천의 수질에 큰 영향을 미치는 것은 분명하지만(농경지 면적이 상대적으로 큰 Y11, Y12 지점의 수질농도가 다른 지점에 비해 더 큼) Y11 지점과 Y12 지점의 수질항목별 농도차이는 토지이용특성만을 가지고 해석하기에는 어려움이 있다. 따라서 각 소하천의

**Table 2.** Descriptive statistics of water quality parameters at the monitoring sites.Unit : mg L<sup>-1</sup>

| Sites | Variable | BOD <sub>5</sub> | COD  | TOC  | SS    | TN   | TP    |
|-------|----------|------------------|------|------|-------|------|-------|
| Y01   | Max.     | 4.6              | 8.8  | 6.2  | 27.1  | 7.7  | 0.264 |
|       | Min.     | 0.6              | 1.9  | 1.3  | 0.3   | 1.9  | 0.020 |
|       | Median   | 1.9              | 3.6  | 2.6  | 2.3   | 3.8  | 0.042 |
|       | Average  | 1.9              | 3.8  | 2.7  | 4.2   | 3.8  | 0.055 |
| Y02   | Max.     | 5.5              | 12.1 | 7.2  | 260.3 | 5.3  | 0.407 |
|       | Min.     | 0.8              | 2.3  | 1.5  | 3.2   | 1.5  | 0.036 |
|       | Median   | 1.8              | 3.6  | 2.5  | 20.8  | 2.2  | 0.098 |
|       | Average  | 2.4              | 4.7  | 3.0  | 50.2  | 2.5  | 0.125 |
| Y03   | Max.     | 7.4              | 11.7 | 7.4  | 46.6  | 5.5  | 0.319 |
|       | Min.     | 0.4              | 1.7  | 1.3  | 1.1   | 1.4  | 0.023 |
|       | Median   | 1.4              | 3.7  | 2.4  | 6.0   | 2.2  | 0.094 |
|       | Average  | 1.9              | 4.3  | 3.0  | 9.8   | 2.4  | 0.103 |
| Y04   | Max.     | 12.8             | 14.3 | 8.9  | 137.1 | 5.0  | 0.397 |
|       | Min.     | 0.8              | 2.8  | 2.0  | 3.3   | 0.7  | 0.072 |
|       | Median   | 2.2              | 5.4  | 3.9  | 19.8  | 2.3  | 0.152 |
|       | Average  | 3.3              | 6.4  | 4.4  | 30.7  | 2.4  | 0.168 |
| Y05   | Max.     | 11.5             | 20.0 | 14.2 | 98.3  | 8.8  | 0.359 |
|       | Min.     | 1.1              | 3.1  | 3.3  | 1.7   | 2.0  | 0.058 |
|       | Median   | 3.3              | 6.3  | 5.0  | 11.0  | 3.3  | 0.137 |
|       | Average  | 3.9              | 7.1  | 5.5  | 16.5  | 3.3  | 0.151 |
| Y06   | Max.     | 10.1             | 16.1 | 10.9 | 189.3 | 5.8  | 0.527 |
|       | Min.     | 0.8              | 1.8  | 2.0  | 0.9   | 1.1  | 0.026 |
|       | Median   | 2.4              | 5.8  | 4.1  | 10.9  | 2.8  | 0.081 |
|       | Average  | 2.7              | 6.1  | 4.3  | 20.7  | 3.0  | 0.102 |
| Y07   | Max.     | 7.4              | 15.1 | 8.7  | 45.3  | 4.8  | 0.205 |
|       | Min.     | 0.4              | 2.3  | 1.7  | 1.5   | 0.8  | 0.013 |
|       | Median   | 1.6              | 4.8  | 3.3  | 9.1   | 1.8  | 0.062 |
|       | Average  | 1.9              | 5.3  | 3.6  | 11.8  | 1.9  | 0.067 |
| Y08   | Max.     | 5.2              | 14.4 | 8.4  | 164.8 | 11.1 | 0.757 |
|       | Min.     | 0.5              | 2.6  | 1.8  | 1.7   | 1.4  | 0.035 |
|       | Median   | 1.9              | 5.3  | 3.3  | 10.8  | 3.7  | 0.082 |
|       | Average  | 1.9              | 5.2  | 3.5  | 17.1  | 4.0  | 0.115 |
| Y09   | Max.     | 11.1             | 13.5 | 10.6 | 60.4  | 7.4  | 0.298 |
|       | Min.     | 1.3              | 4.9  | 2.9  | 2.1   | 0.6  | 0.040 |
|       | Median   | 3.0              | 7.5  | 5.7  | 11.8  | 2.8  | 0.118 |
|       | Average  | 3.8              | 8.2  | 6.0  | 13.2  | 3.0  | 0.124 |
| Y10   | Max.     | 3.2              | 7.3  | 4.5  | 27.0  | 4.4  | 0.117 |
|       | Min.     | 0.3              | 2.2  | 1.1  | 0.7   | 0.7  | 0.009 |
|       | Median   | 1.0              | 3.4  | 2.1  | 3.2   | 2.5  | 0.028 |
|       | Average  | 1.1              | 3.6  | 2.2  | 4.3   | 2.4  | 0.030 |
| Y11   | Max.     | 21.9             | 38.0 | 20.0 | 139.9 | 15.0 | 1.973 |
|       | Min.     | 2.5              | 6.5  | 6.6  | 3.3   | 3.9  | 0.124 |
|       | Median   | 8.1              | 12.9 | 8.7  | 22.7  | 8.2  | 0.434 |
|       | Average  | 8.8              | 12.7 | 9.3  | 49.2  | 8.4  | 0.500 |
| Y12   | Max.     | 14.4             | 24.2 | 14.6 | 292.0 | 17.1 | 0.470 |
|       | Min.     | 1.8              | 5.9  | 4.0  | 6.5   | 1.5  | 0.054 |
|       | Median   | 6.6              | 11.9 | 8.2  | 53.0  | 4.7  | 0.245 |
|       | Average  | 6.9              | 11.9 | 8.1  | 55.2  | 5.7  | 0.249 |
| Y13   | Max.     | 4.1              | 9.1  | 5.6  | 64.0  | 4.0  | 0.194 |
|       | Min.     | 0.3              | 1.0  | 0.4  | 0.4   | 1.0  | 0.010 |
|       | Median   | 0.8              | 2.0  | 0.9  | 3.1   | 2.2  | 0.021 |
|       | Average  | 0.9              | 2.2  | 1.1  | 9.8   | 2.1  | 0.036 |

**Table 3.** Correlation coefficients among six water quality parameters measured.

| Items | BOD | COD    | TOC    | T-P    | T-N    | SS     |
|-------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| BOD   | 1   | .882** | .896** | .631** | .640** | .436** |
| COD   |     | 1      | .943** | .624** | .619** | .555** |
| TOC   |     |        | 1      | .619** | .643** | .446** |
| T-P   |     |        |        | 1      | .474** | .523** |
| T-N   |     |        |        |        | 1      | .171** |
| SS    |     |        |        |        |        | 1      |

(\*\*p&lt;0.01)

수질특성에 대한 좀 더 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 장기간의 자료를 이용한 각 하천별 오염원 조사, 오염물질별 배출특성 및 배출구조에 대한 추가적인 조사가 이루어져야 될 것으로 판단된다.

#### 4. 수질항목별 상관분석

영산강수계 13개 소하천 지점의 총 3,150개의 수질자료를 이용하여 상관성 분석을 실시하였다(Table 3). 수질항목별 상관성 분석결과 유기물의 간접지표를 나타내는 BOD, COD, TOC의 상관성이 다른 수질항목보다 높게 나타났다. 특히, COD와 TOC의 상관성이 0.943으로 매우 높게 나타났다. T-N과 SS를 제외한 나머지 수질항목간 상관계수가 전반적으로 높고 또한 양의 값을 보여 본 연구의 조사지점의 경우 특정 수질항목이 높으면 나머지 항목도 높아질 것으로 판단된다. 이는 Jeon *et al.* (2001)이 농촌 소구역에서 SS, COD, T-N, T-P의 상관성을 분석한 결과 이들 사이에는 높은 상관관계가 있다고 보고한 연구결과와 유사한 결과이다.

#### 5. 토지이용과 수질항목별 상관분석

Table 4는 영산강수계 13개 소하천 지점의 수질항목별 연평균 농도와 토지이용(시가화, 논, 밭, 산림, 논+밭) 점유율에 따른 상관분석 결과를 나타내고 있다. 토지이용에 따른 수질항목별 상관성은 임야를 제외한 시가화, 논, 밭, 논+밭에서 모두 양의 상관성을 보였다. 특히 밭과 수질항목간 상관성이 매우 높게 나타났는데, 이러한 이유는 밭의 경우 작물재배를 위해 유기질 비료, 질소질 비료, 인산질 비료가 사용되고 이들이 강우시 토사와 함께 아무런 여과 없이 인근 하천에 유입되기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 향후 이 지역의 수질관리를 위해서는 우선적으로 논과 밭을 관리해야 될 것으로 판단된다. 한편, 이와 달리 임야의 경우 수질항목간 상관성이 모두 음의 상관관계를 보였고 이는 본 연구의 조사지점의 경우 임야

**Table 4.** Correlation coefficients between water quality parameters and land use.

| Items | Residential | Paddy  | Upland | Forest  | Paddy+Upland |
|-------|-------------|--------|--------|---------|--------------|
| BOD   | .571*       | .468*  | .798** | -.658*  | .652*        |
| COD   | .561*       | .544*  | .835** | -.707** | .716**       |
| TOC   | .587*       | .511*  | .840** | -.695** | .698**       |
| T-P   | .397*       | .696** | .579*  | -.720** | .695**       |
| T-N   | .686**      | .262*  | .682*  | -.507*  | .471*        |
| SS    | .664*       | .386*  | .744** | -.622*  | .576*        |

(\*\*p&lt;0.01, \*p&lt;0.05)

가 수질개선에 긍정적 영향을 미친다고 평가할 수 있다. 이러한 연구결과는 Ahn *et al.* (2012)이 임야의 경우 영양염류를 식물과 토양에서 흡수하여 수질을 정화시키는 기능이 있다는 연구결과와 유사한 결과이다.

## 적 요

본 연구는 영산강수계 13개 소하천 지점에서 2011년 1월부터 2011년 12월까지 측정된 수질자료와 토지이용 자료를 이용하여 토지이용특성에 따른 수질변화를 분석하였다. 또한 수질항목간 상관성 분석, 수질항목과 토지이용 점유율에 따른 상관성 분석을 실시하였다. 영산강수계 13개 소하천 중 BOD, COD, TOC, T-N, T-P의 농도가 가장 높은 지점은 비교적 농경지 면적이 큰 Y11 지점으로 나타났고 상대적으로 농경지 면적보다 임야의 면적이 큰 Y13 지점에서 수질농도가 비교적 낮게 관측되었다. 또한 수질항목간 상관분석 결과 T-N과 SS를 제외한 나머지 모든 항목에서 비교적 높은 양의 상관관계를 나타내었다. 한편, 토지이용 점유율에 따른 수질항목간 상관분석 결과 논과 밭 면적이 클수록 양의 상관관계를 나타냈고 특히 밭 면적이 클수록 강한 양의 상관관계를 보였다. 이러한 이유는 논과 밭에 작물생육에 필요한 유기질 비료, 질산질 비료, 인산질 비료가 사용되고 이들이 강우시 토사와 함께 인근 하천에 아무런 여과 없이 유입되기 때문인 것으로 판단된다. 이와 다르게 수질항목과 임야와는 강한 음의 상관관계를 보였는데, 이는 이 지역의 경우 논과 밭이 수질에 악영향을 미치지만 임야의 경우 수질에 긍정적인 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서, 효율적 수질관리를 위해서는 논과 밭을 우선적으로 관리해야 될 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 1년간의 수질자료를 활용하여 수질항목과 토지이용 점유율에 따른 상관성 분석을 통하여 도출한 결과이므로 좀더 신뢰성 있는 수

질특성을 파악하기 위해서는 장기간의 자료, 각 하천의 오염원 조사, 오염물질별 배출특성 및 배출구조 등의 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

- Ahn, Y.S., K.H. Lee and K.W. Ahn. 2012. A study on hydrology and nutrient loading in forest catchment which effect aquatic environment in coastal area. *The Korean Association of Island* **24**(2): 129-138.
- Gburek, W.J. and G.J. Folmar. 1999. Flow and chemical contributions to stream flow in an upland watershed: a base flow survey. *Journal of Hydrology* **214**: 1-18.
- Haith, D.A. 1976. Land use and water quality in New York River. *Journal of Environmental Engineering Division, ASCE* **102**: 1-15.
- Han, J.H., Y.J. Bae and K.G. An. 2010. Spatial and temporal variability of water quality in Geum-River watershed and their influences by land use pattern. *Korean Society of Limnology* **43**(3): 385-399.
- Han, M.D., S.J. Park, S.S. Choi, J.C. Kim, C.H. Lee, K.E. Nam and W.J. Chung. 2009. The Effects of flow and land use types on seasonal variations of water quality in streams. *Journal of Korean Society on Water Environment* **25**(4): 539-546.
- Jeon, J.H., C.G. Yoon and J.H. Ham. 2001. Analysis of relationships among the pollutant concentrations in non-urban area. *Korean Society of Limnology* **34**(3): 215-222.
- Jung, K.W., C.G. Yoon, J.H. Jang and H.C. Kim. 2006. Analysis of land use and pollutant source effect on water quality characteristics of the watershed. *Korean Society of Limnology* **9**(1): 41-51.
- Jung, S.M., J.S. Eum, C.W. Jang, Y.S. Choi and B.C. Kim. 2012. Characteristics of nonpoint source pollution and relationship between land use and nutrient concentrations in the Han River watershed. *Journal of Korean Society on Water Quality* **28**(2): 255-268.
- Lee, H.J., J.Y. Bang and Y.O. Kim. 1999. Influence on the land use factors affecting the water quality of Iwonchon basin. *Journal of Ecology and Field Biology* **22**(5): 235-240.
- Mouri, G., S. Takizawa and T. Oki. 2011. Spatial and temporal variation in nutrient parameters in stream water in a rural-urban catchment, Shikoku, Japan: Effects of land cover and human impact. *Journal of Environmental Management* **92**(7): 1837-1848.
- Park, Y.E., K.H. Cho and J.H. Kim. 2007. Spatio-temporal patterns and source allocation of Yeongsan River water pollution using multivariate analysis. *Journal of Korean Society on Water Environment* pp. 587-588.
- Won, C.H., Y.H. Choi, M.H. Shin, D.S. Shin, D.G. Kang and J.D. Choi. 2011. Runoff characteristics of NPS pollution on field in rainy season. *Journal of Korean Society on Water Quality* **27**(5): 572-579.
- Xia, L.L., R.Z. Liu and Y.W. Zao. 2012. Correlation analysis of landscape pattern and water quality in Baiyangdian Watershed. *Procedia Environmental Sciences* **13**: 2188-2196.
- Yeong-san River Flood Control Office. 2010. <http://www.yeongsanriver.go.kr/>.
- Yim, Y.J., Y.D. Kim and J.Y. Bang. 1995. Changes in stream water quality according to land use at Kyong-an Stream. *Journal of Ecology and Field Biology* **18**: 341-352.
- Zalidis, G., S. Stamatiadis, W. Takavakoglou, K. Eskridgr and N. Misopolinos. 2002. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the mediterranean region and proposed assessment Methodology. *Agriculture, Ecosystem and Environment* **88**(2): 137-146.

(Manuscript received 26 September 2012,  
Revised 7 November 2012  
Revision accepted 28 November 2012)