

## 형산강 수계의 수질 특성

김 유 표 · 안 광 국\*

(충남대학교 생명과학과)

Characteristics of Water Quality in Hyeongsan River Watershed. Kim, Yu-Pyo and Kwang-Guk An\* (Department of Bioscience and Biotechnology, College of Biological Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

The objective of this study was to analyze long-term temporal trends of water chemistry and spatial heterogeneity for 7 sampling sites of the Hyeongsan River watershed using water quality dataset during 1999 to 2008 (obtained from the Ministry of Environment, Korea). The water quality, based on eight physical and chemical parameters, varied largely depending on the years, seasons and sampling sites. Seasonal and annual means of conductivity, used as a key indicator for a ionic dilution declined during the monsoon season and TN, based on overall mean of all sites, showed marked declines during the monsoon, compared to those of the premonsoon. In the mean time, BOD and COD had no significant relations with a precipitation, in spite of some differences in the sampling sites. In contrast, major input of SS occurred during the period of summer monsoon season. Spatial trend analyses of all parameters, except for DO and temperatures, showed that gyeongju city acted as a point source, and thus, water quality at the location of Site 4 declined abruptly, compared to locations of Site 1~2. Based on overall dataset, efficient water quality management in the point source tributary streams is required for better water quality of the main Hyeongsan River.

**Key words :** water quality, dilution, nutrient, Hyungsan River, pollution

### 서 론

우리나라는 최근 산업화에 따른 인구의 도시 집중으로 하천의 오염이 심각하여 하천관리에 대한 관심과 중요성이 증가하고 있다(강과 안, 2006). 우리나라는 가정 및 도시의 생활하수, 산업 폐수 및 축산 폐수 등의 양양염류 및 유해 화합물이 하천에 흘러들어 수생태계의 교란을 일으킬 수 있다(Berner, 1987; 옥 등, 1999; Moon *et al.*, 2001).

수질 환경의 변화에 영향을 주는 요인에는 물리적 요인 뿐만 아니라 화학적인 요인도 포함되어 있으며, 특히 계절적 강수 분포도 증대한 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Parks and Baker, 1997; Winston and Criss, 2002).

우리나라는 강우량의 50% 이상이 여름철에 집중되어 하계의 이·화학적인 수질값 변동에 직접적인 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(An and Jones, 2000; 안 등, 2001; 박 등, 2002; 신 등, 2003; An and Kim, 2003; 김과 김, 2004). 또한 동계기간 동안은 강우가 적어 하계 기간에 비하여 하천 수질의 계절 변이가 큰 것으로 나타나고 있다(강, 1998; 박 등, 2002).

하천 관리를 위하여 하수처리장을 건설하고 있지만, 하천의 수질은 크게 개선되지 않는 실정이며, 인과 질소의 유입이 증가하여 하천과 저수지에서 과도한 담수조류(식물성 플랑크톤, 부착조류) 발생은 사회적 문제로 대두되고 있다(신 등, 2003). 하천의 수질은 지역적으로 다르며 상류에서 하류로 갈수록 오염원 유입이 증가하여 수질이 악화

\* Corresponding author: Tel: 042) 821-6408, Fax: 042) 822-9690, E-mail: kgan@cnu.ac.kr

되고 부영양화가 가속된다.

본 연구 대상 수계인 형산강은 동해로 흘러가는 하천으로 경북 경주시와 포항시를 관통하는 하천으로 지역주민에게 휴식처 및 급수원의 역할을 하고 있다. 하지만 최근 들어 생활하수 및 산업폐수의 증가, 상류부 농경지로부터의 농약 잔유물의 유입으로 형산강의 수질이 악화되고 있다. 형산강 하구는 생활하수, 산업폐수, 오염원의 장기적인 축적으로 인하여 DO값이 낮게 나타난 것으로 보고되고 있다(전 등, 1999). 전 등(1999)에 의한 형산강의 BOD의 평균값은  $3.9 \text{ mg L}^{-1}$ 로 나타났으며 우리나라 수질 기준(2010년 1월 환경부 기준고시)에 의거할 때 III(보통) 등급으로 나타났다. 형산강의 오염원은 산업폐수, 축산폐수, 생활폐수의 순으로 오염물질발생량이 많은 것으로 분석되었다(윤 등, 2003).

본 연구에서는 형산강 수계를 중심으로 하여, 형산강 수계의 7개 지점을 선정하여 수질모니터링을 통하여 몬순강우를 고려한 장마전(Premonsoon), 장마중(During monsoon), 그리고 장마후(Postmonsoon)로 구분하여 주요 수질 변수에 대한 수질평가를 실시하였다. 또한, 형산강 상·하류간의 수질에 대한 공간적 변화 및 장기간의 연별 특성을 파악하였다. 이런 결과는 형산강 수계의 오염상태를 파악하고, 수질개선을 위한 대책 마련시 기초 자료를 제공할 것으로 사료된다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개요 및 조사지점

본 연구대상지인 형산강은 울산 울주군 두서면에서 발원하여 경주시와 안강읍을 거쳐 포항의 영일만으로 흐르는 강으로 유역 면적  $1,132 \text{ km}^2$ , 유로 연장은  $63 \text{ km}$ 이다. 본류에 유입되는 지천은 안강읍 북서쪽에서 유입되는 기계천, 포항시 남쪽에서 유입되는 칠성천 등 경주와 포항 도심을 관통하여 흐르는 크고 작은 15여개의 지류가 합류된다.

조사지점은 환경부 수질측정망 지점인 형산강 수계의 7개 지점을 선정하였으며, 세부지점은 다음과 같다(Fig. 1).

H1: 경북 경주시 내남면 이조리(N:  $35^{\circ}44'56''$ , E:  $129^{\circ}12'08''$ )

H2: 경북 경주시 율동(N:  $35^{\circ}48'52''$ , E:  $129^{\circ}12'02''$ )

H3: 경북 경주시 천북면 토아리(N:  $35^{\circ}55'16''$ , E:  $129^{\circ}14'53''$ )

H4: 경북 경주시 강동면 인동리(N:  $35^{\circ}59'02''$ , E:  $129^{\circ}$

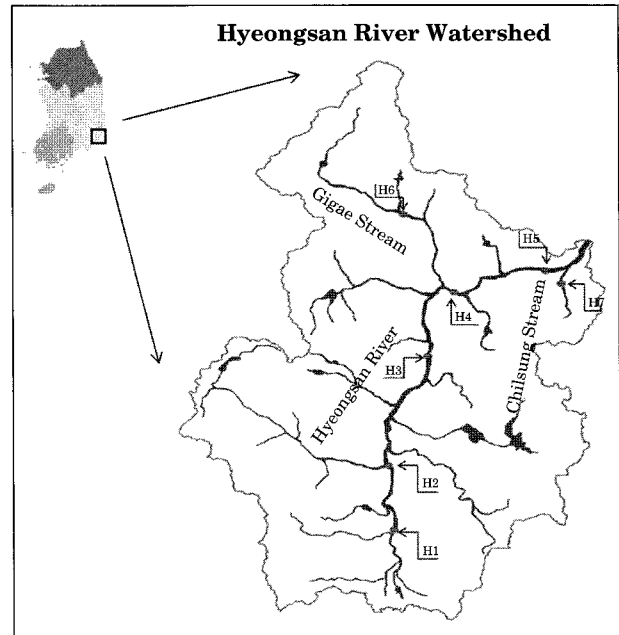


Fig. 1. Sampling sites in Hyeongsan River.

$15'36''$ )

H5: 경북 포항시 남구 연일읍 생지리(N:  $36^{\circ}00'00''$ , E:  $129^{\circ}20'49''$ )

H6: 경북 포항시 북구 기계면 성계리(N:  $36^{\circ}03'26''$ , E:  $129^{\circ}13'22''$ )

H7: 경북 포항시 남구 대송면 제내리(N:  $35^{\circ}59'20''$ , E:  $129^{\circ}21'29''$ )

특히, H2 지점은 경주시의 생활하수 및 축산폐수가 유입되고, H5와 H7 지점은 포항시의 생활하수, 산업폐수, 분뇨처리수, 축산폐수 등의 오염원이 유입되고 있는 지점이다.

### 2. 조사기간 및 조사방법

형산강 수계의 이·화학적 수질 자료를 분석하기 위하여 1999년 1월부터 2008년 12월까지 7개 지점(H1~H7)에서 측정된 환경부의 월별자료(www.me.go.kr)를 이용하였다. 자료 분석에 이용된 수질변수는 용존산소량(Dissolved oxygen, DO), 생화학적 산소요구량(Biochemical oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand, COD), 총질소(Total nitrogen, TN), 총인(Total phosphorous, TP), 부유물(Suspended solid, SS), 전기전도도(Electric conductivity, EC)이며 각 수치 값의 시·공간적 변화양상을 분석하였다.

형산강 유역의 강수량은 1999년에서 2008년까지 기상청의 데이터를 획득하여 분석하였으며, 강우의 하절기 특

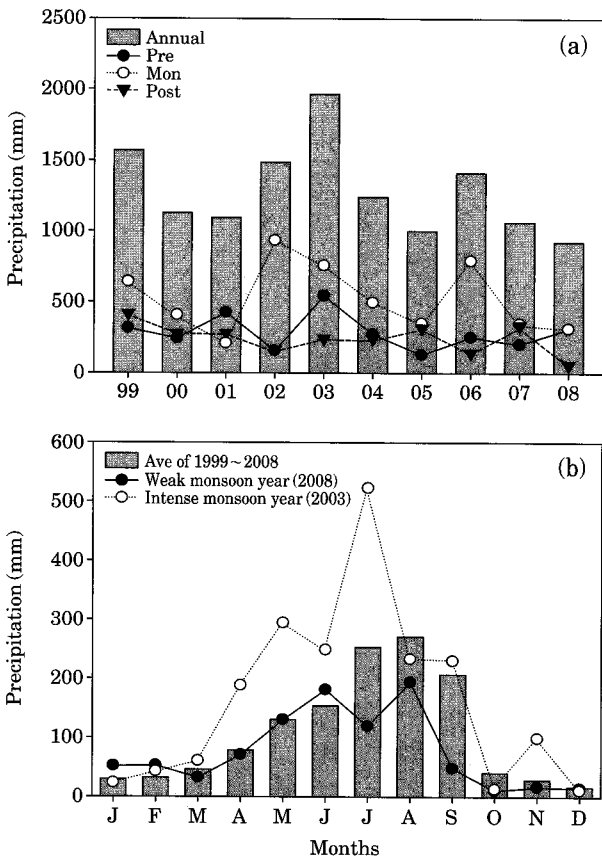


Fig. 2. Total annual precipitation (a) and monthly precipitation (b) during the study.

성을 감안하여 수질 자료는 장마전(Premonsoon, PRE: 5~6월), 장마중(During monsoon, MON: 7~8월), 장마 후(Postmonsoon, POS: 9~10월)로 대별하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 형산강 수계의 강우 특성

형산강 수계의 10년간(1999~2008) 강수데이터 분석에 의하면, 연 평균 강우량은 1,288mm로써 장마기인 7~8월 동안 합계 524mm의 강우량을 보여, 이 시기의 강우량이 전체 강우량의 40% 이상을 차지하였다(Fig. 2a). 형산강 수계의 총 강우량은 2008년을 제외하고 1,000mm 이상의 강우량을 보였으며, 2003년에는 총 강우량 1,900mm 이상으로 다른 해에 비하여 많은 강우가 내린 반면 2008년에는 1,000mm 이하의 적은 강우가 내려 가뭃의 해로 나타났다(Fig. 2a). 강우량이 가장 많았던 해(2003년)와 가뭃의 해(2008년)를 10년간의 평균 강우량과 비교·해석하여

보았을 때, 강우는 1~3월, 10~12월에는 각각 다른 해와 비슷한 강우량을 기록하였으나, 4~9월에는 다른 해와 확연한 차이를 보였다(Fig. 2b). 강우량은 7월말 장마기에 집중분포 하였고, 장마전 및 후와 차이를 보였다(안, 2001; 박 등, 2002; 안과 양, 2007).

2. 계절 변화에 따른 수질 특성

계절별 자료 분석 결과에 따르면, 월평균 EC는 6월에 최대치(1,600  $\mu\text{S cm}^{-1}$  이상)를 나타냈으며 장마가 지난 9월에 최소치(500  $\mu\text{S cm}^{-1}$  이하)를 보였다(Fig. 3). 또한 온도와 역 상관관계를 보이는 DO는 2월에 최대치, 9월에 최소치(9  $\text{mg L}^{-1}$  이하)를 보여 수온과 역 상관관계를 보였다. 반면, BOD 및 COD는 6월에 최대치(BOD: 2  $\text{mg L}^{-1}$  이상, COD: 5  $\text{mg L}^{-1}$  이상)를 보인 후 차츰 감소하는 경향으로 나타났다. TP와 TN은 장마후에 최저치(TP: 0.12  $\text{mg L}^{-1}$  이하, TN: 3.0  $\text{mg L}^{-1}$  이하)를 보였는데, 이는 장마기에 강우에 의하여 유기물이 하천으로 흘러들어 증가한 후 강우의 영향이 적어 영양염류가 감소한 것으로 사료되었다. 연평균 SS는 장마기에 가장 높은 것으로 나타났는데 이는 주변 농지 및 토지로부터 토사나 부유물이 유입되어 최대치를 보인 것으로 사료되었다(Fig. 3). 이·화학적 수치값은 계절성 강우의 특징인 몬순강우로 인하여 강우가 집중되는 장마기와 그 전·후 시기의 차이가 크게 나타났는데(이 등, 2002; 안 등, 2005), 강우에 의한 희석 효과가 상대적으로 적은 갈수기의 수질은 생활하수와 농업용수 등의 오폐수의 직접적인 요인으로 수질악화를 가져올 것으로 사료되었다(오와 고, 2003).

형산강 본류의 상·하류간 계절별 수질특성에 따르면, TP와 SS의 농도를 제외한 DO, BOD, COD, TN 및 EC는 장마기에 일부 감소되는 경향을 보였다(Fig. 3). 금강과 영산강 수계는 장마기에 영양염류의 농도가 장마기의 집중호우로 인하여 희석되는 현상을 보이는데 형산강 본류는 이와 같은 결과를 보이지 않았다(강과 안, 2006; 안과 양, 2007). 이는 경주시를 관통하면서 영양염류가 하천으로 흘러들어 농도가 높아져 빗물에 희석되는 현상이 감소한 것으로 사료되었다.

부유물의 농도는 하류로 갈수록, 장마기에 값이 증가하였는데 이는 장마기에 인근 점오염원 및 비점오염원이 산재된 수계로부터 부유물의 유입이 증가되어 높은 수치를 보이는 것으로 사료되었다(Figs. 3, 4). 한편, 상류 지역은 도심지역보다는 산림으로 둘러싸여 있기 때문에 토사 유출이 적어 SS 농도(5  $\text{mg L}^{-1}$  이하)가 낮게 나타났다.

TN은 장마기의 집중호우로 인하여 하천수가 희석되는

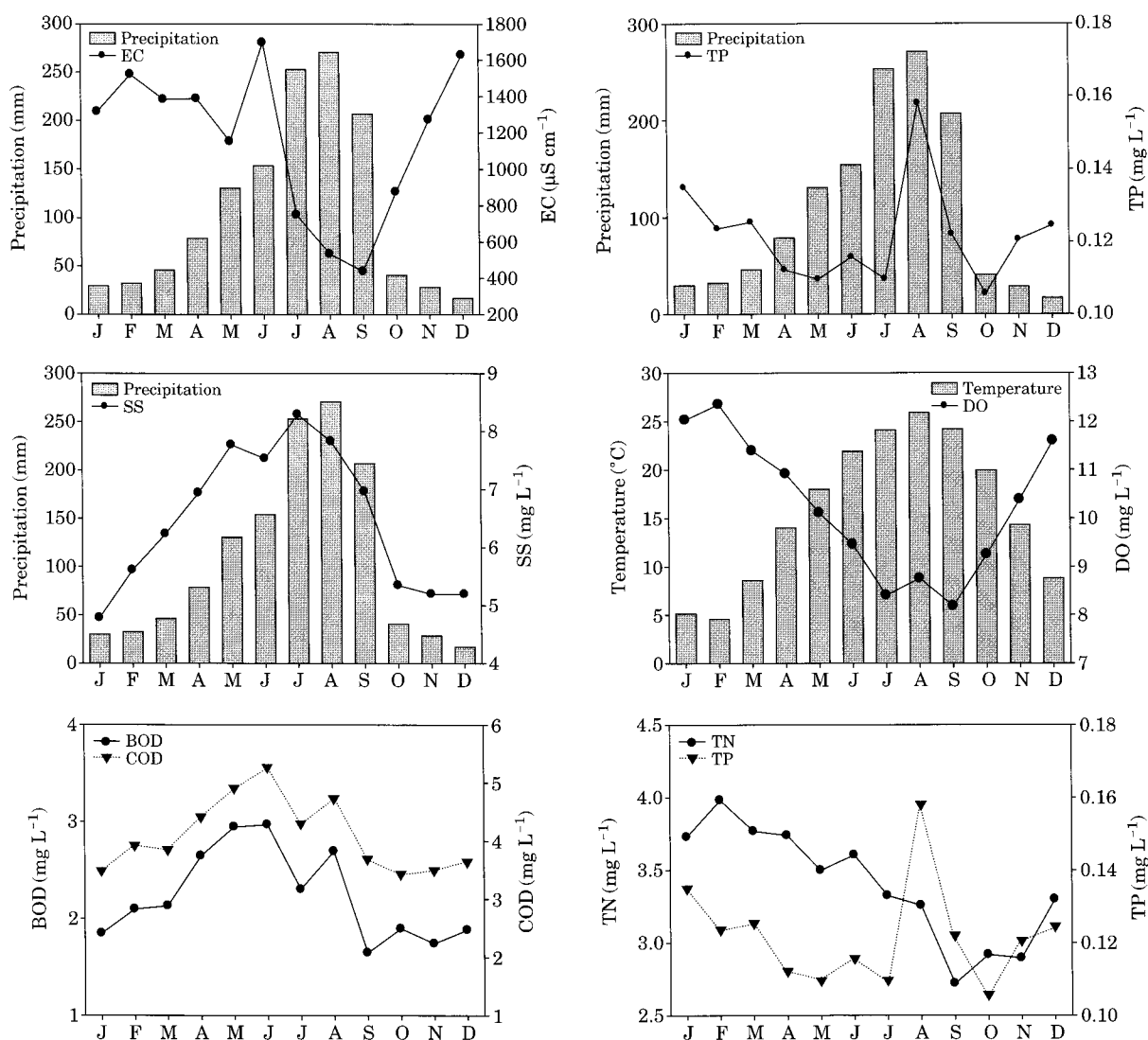


Fig. 3. Seasonal fluctuations water quality. Each data point indicates monthly means during 1999~2008.

현상을 보였다. 이러한 이유로, 강우가 집중되는 장마기와 그 전·후 시기의 차이가 나타나는데 (Figs. 3, 5), 이러한 양상은 강과 안(2006)의 이전 연구결과와 유사한 특성을 보였다. 장마전기에 수질이 악화되는 것은 하천의 수량이 적은 상태에서 생활하수 및 농업용수 등의 방수에 의한 것으로 사료되었다.

TN은 장마 후에 최저치를 보였으며 ( $3 \text{ mg L}^{-1}$  이하), 상·하류의 경우에는 변화폭이 좁게 나타났으나, 중류의 측정값은 높은 변화양상을 보였다(Figs. 4, 5). TP도 TN과 마찬가지로 계절변화 폭이 크지 않았으나, 지점간의 변화폭이 높게 나타났다. 특히, 중류에서의 TP는 상류에서의 농도보다 약 4배 이상 높게 나타났다. TP는 상류의 경우

비교적 낮은 ( $0.05 \text{ mg L}^{-1}$ ) 농도를 유지하였고, 중류의 경우 1월에서 6월까지 감소하였다가 8월에 최고치 ( $0.2 \text{ mg L}^{-1}$  이상)를 보였고, 장마후에는 감소하는 양상을 보였다(Fig. 4). 이러한 분석 결과는 하천의 수질 연구에서 인(P)의 유입이 주로 장마기에 발생하여 8월에 최고치를 보이고 다시 강우의 감소에 따라 농도가 감소한다는 연구와 유사한 결과를 보였다(강과 안, 2006).

중류에서의 TN의 농도는 TP와 함께 계절적 변이양상을 보였다(Fig. 4). 즉, 장마전기 ( $3.6 \text{ mg L}^{-1}$ )에 비하여 장마기 ( $3.3 \text{ mg L}^{-1}$ )에는 감소하여 9월에 최저치 ( $2.7 \text{ mg L}^{-1}$ )를 보였다. 9월 이후에는 TN이 증가하는 경향을 보여 2월 이후 감소하는 패턴을 보였다. 이는 경주시와 포항시에 인접

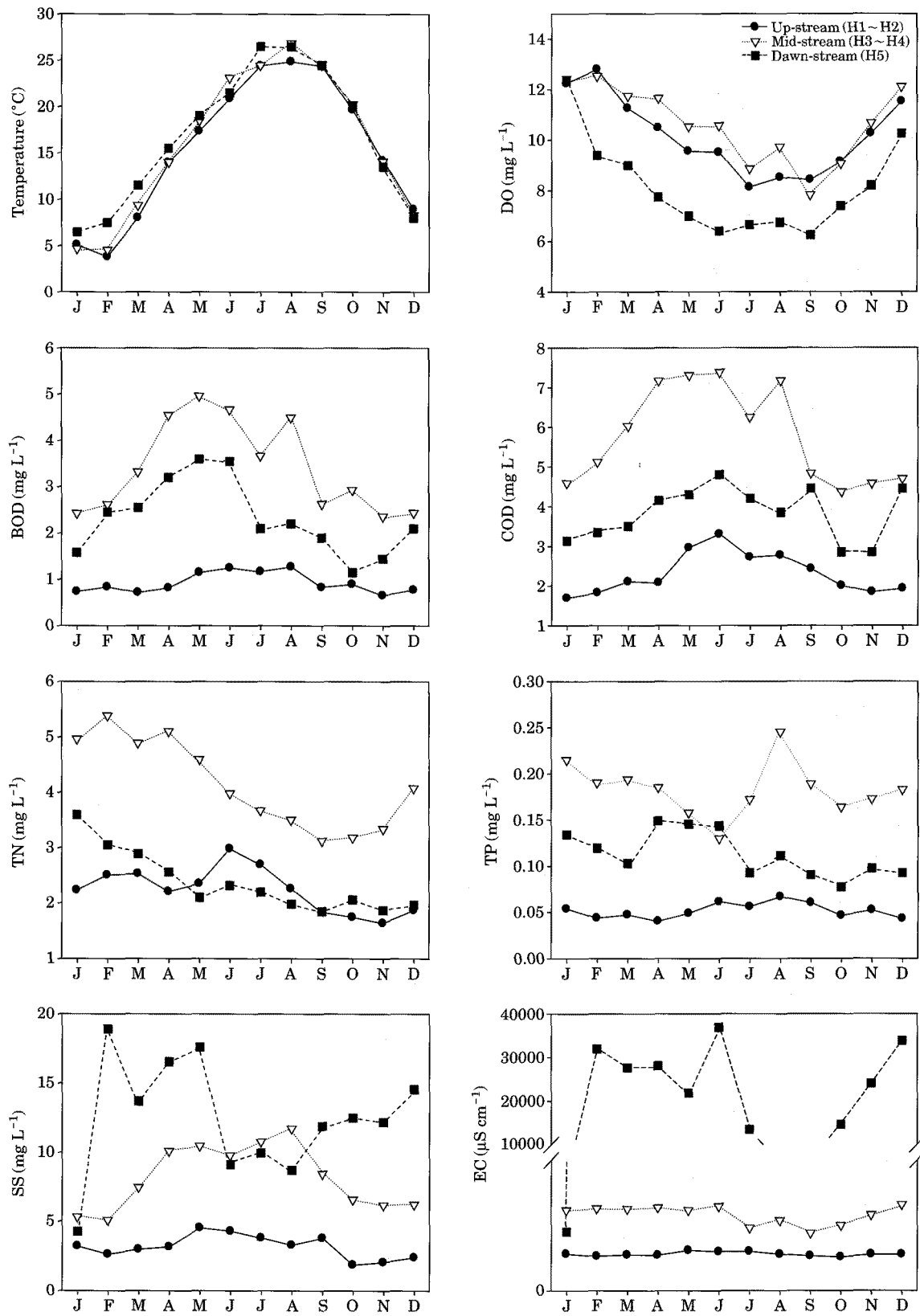


Fig. 4. Seasonal fluctuation of water quality in the upper, mid and downstream of Hyeongsan River.

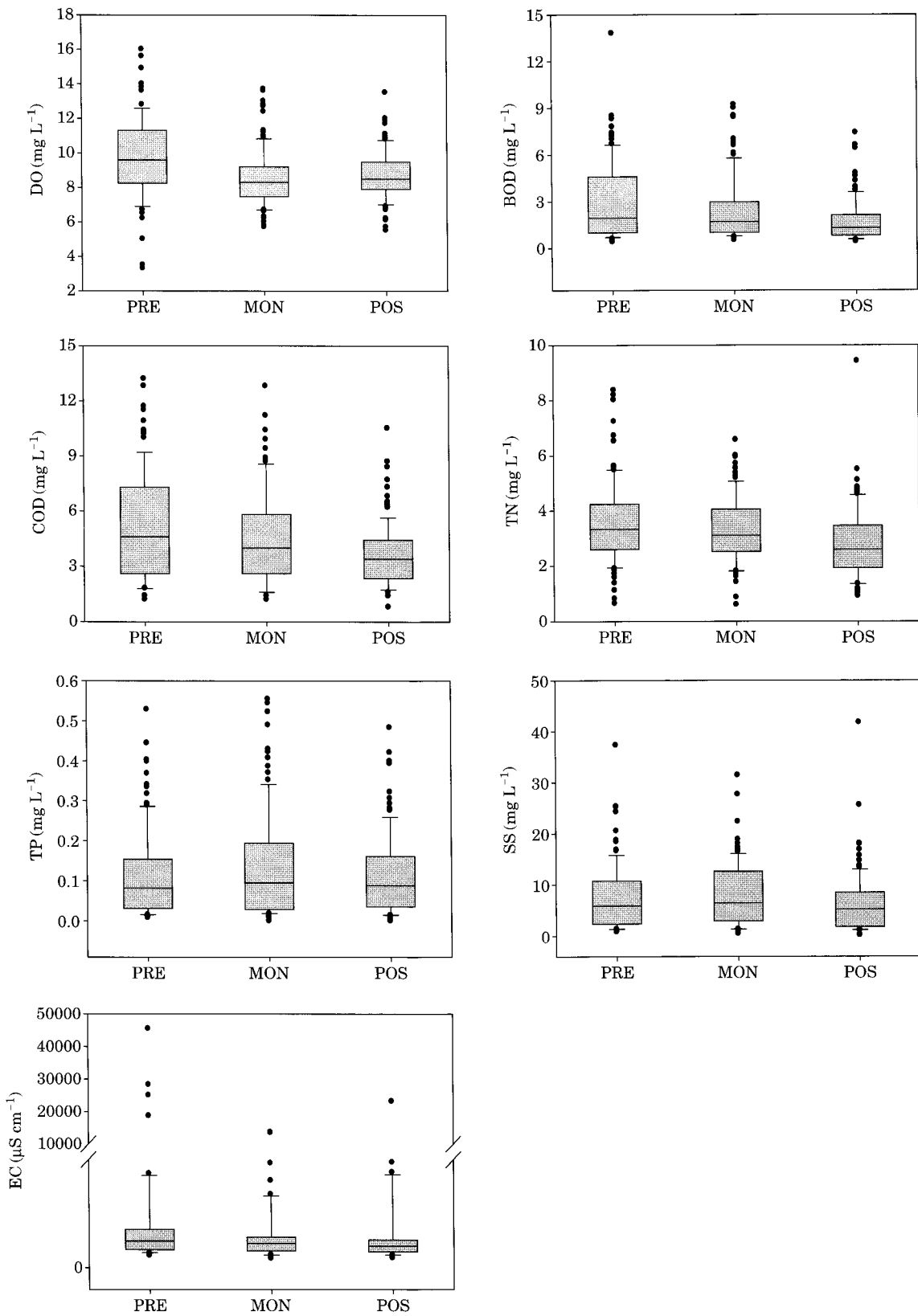
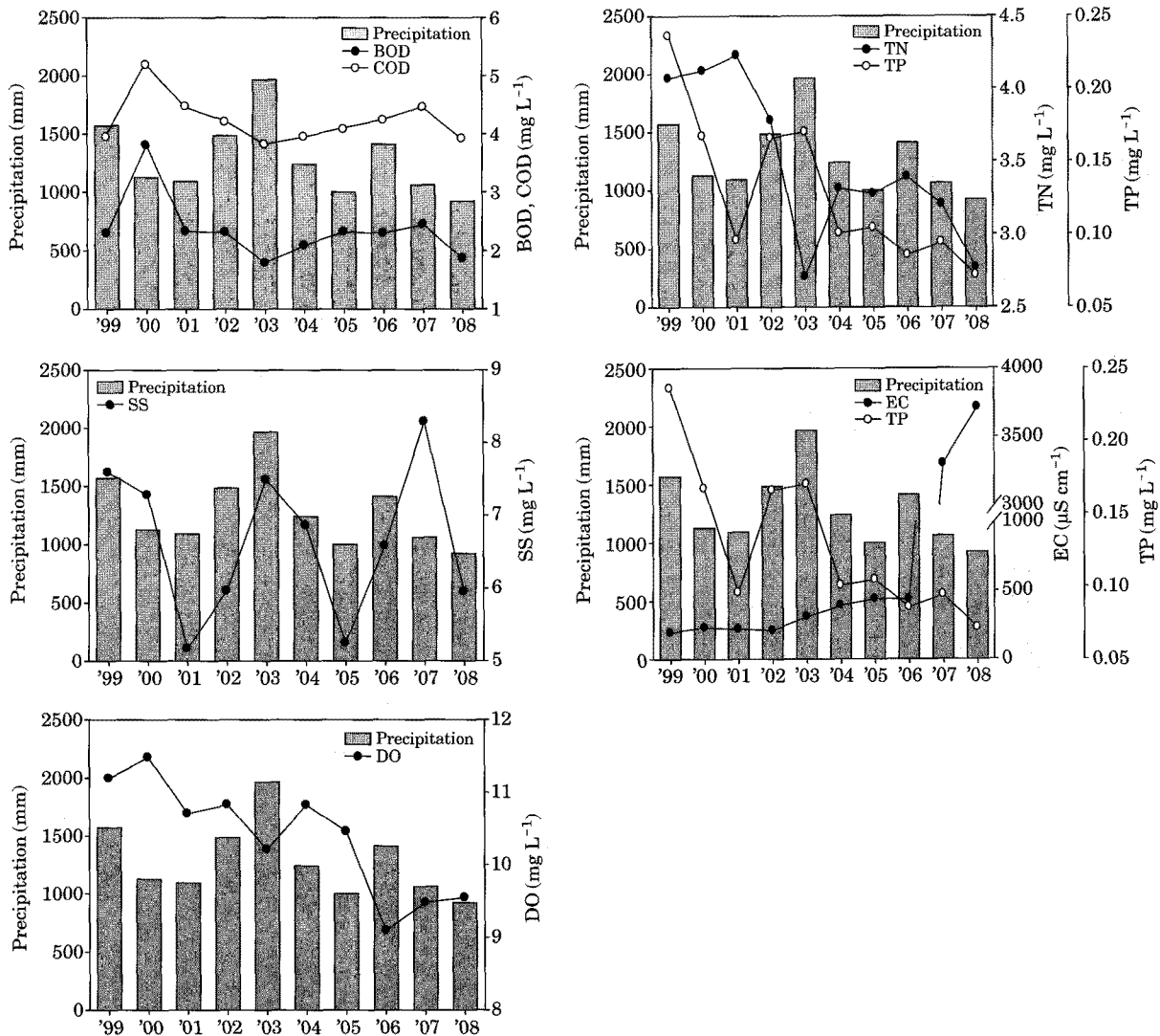


Fig. 5. Temporal variations of water quality based on the average of H1 ~ H7.



**Fig. 6.** Interannual variations of electric conductivity (EC), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), suspended solids (SS), dissolved oxygen (DO).

한 공단에 의하여 영양염류 농도가 높아진 상태에서 장마기의 집중 강우에 의한 급격한 유량의 증가로 오염물의 농도가 희석되는 것으로 나타났다(전 등, 1999).

EC는 모든 지점에서 8~9월에 최저치 ( $600 \mu\text{S cm}^{-1}$  이하)를 보였고(Fig. 3), 강우량이 적은 초봄(1~3월)과 초겨울(11~12월)에 높은 값으로 나타났고, 하류의 경우 기수역으로 중·상류에 비하여 높은 값을 유지하였으나, 장마기에 집중강우로 인하여 감소하는 경향을 보였다(Figs. 3, 4). 상류와 중류에서는 장마기를 제외하고는 계절별로 큰 차이를 보이지 않았으나, 하류지점에서는 장마기에 큰 폭으로 감소하였다가 이후에 다시 급속히 증가하는 양상을 보여 강과 안(2006)의 연구결과와 유사하였다(Fig. 4). 장

마기에 감소현상이 나타나는 것은 집중강우로 인하여 다량의 이온이 일시적으로 희석되는 것으로 나타났다(안과신, 2005; 강과 안, 2006).

유기물의 오염 지표로 이용되는 BOD 및 COD는 유사한 계절적 변화를 보였다(Fig. 3). BOD는 상류에서는 변화의 폭이 적고 일정 농도를 유지하였으나, 중·하류의 경우에는 1월부터 상승하여 5월에 최고치인 약  $5 \text{ mg L}^{-1}$ 을 나타냈으며, 5월 이후 급격하게 감소하여  $1.2 \text{ mg L}^{-1}$ 을 나타냈다.

SS는 강우량의 증가와 함께 증가하는 경향을 보였으며, 7월에 최고치 ( $8.3 \text{ mg L}^{-1}$ )를 나타냈다(Fig. 3). SS의 상·중·하류 평균값은 모두  $25 \text{ mg L}^{-1}$  이하로 우리나라 수질

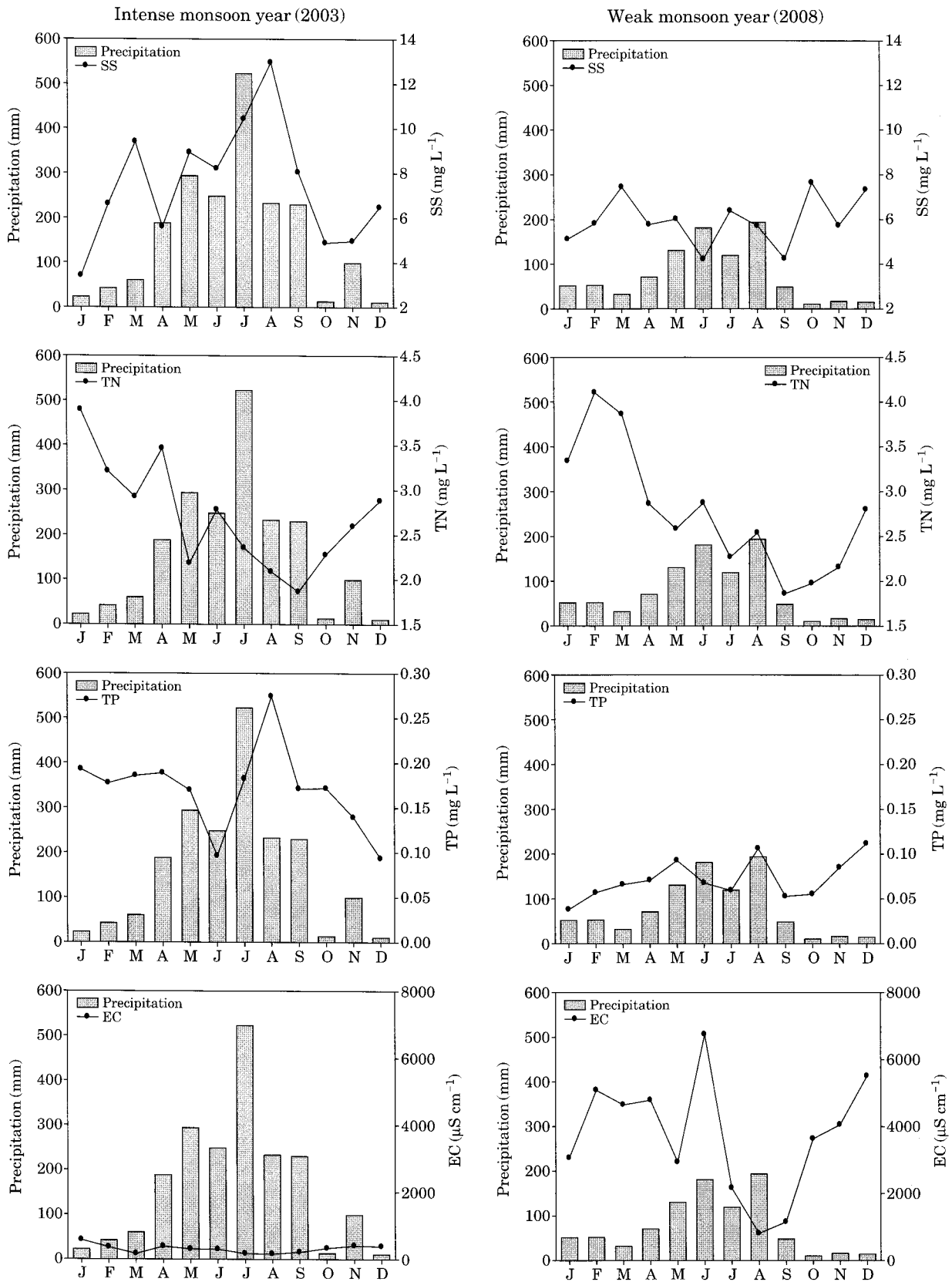


Fig. 7. Seasonal comparisons of water quality in between weak monsoon and intense monsoon year.



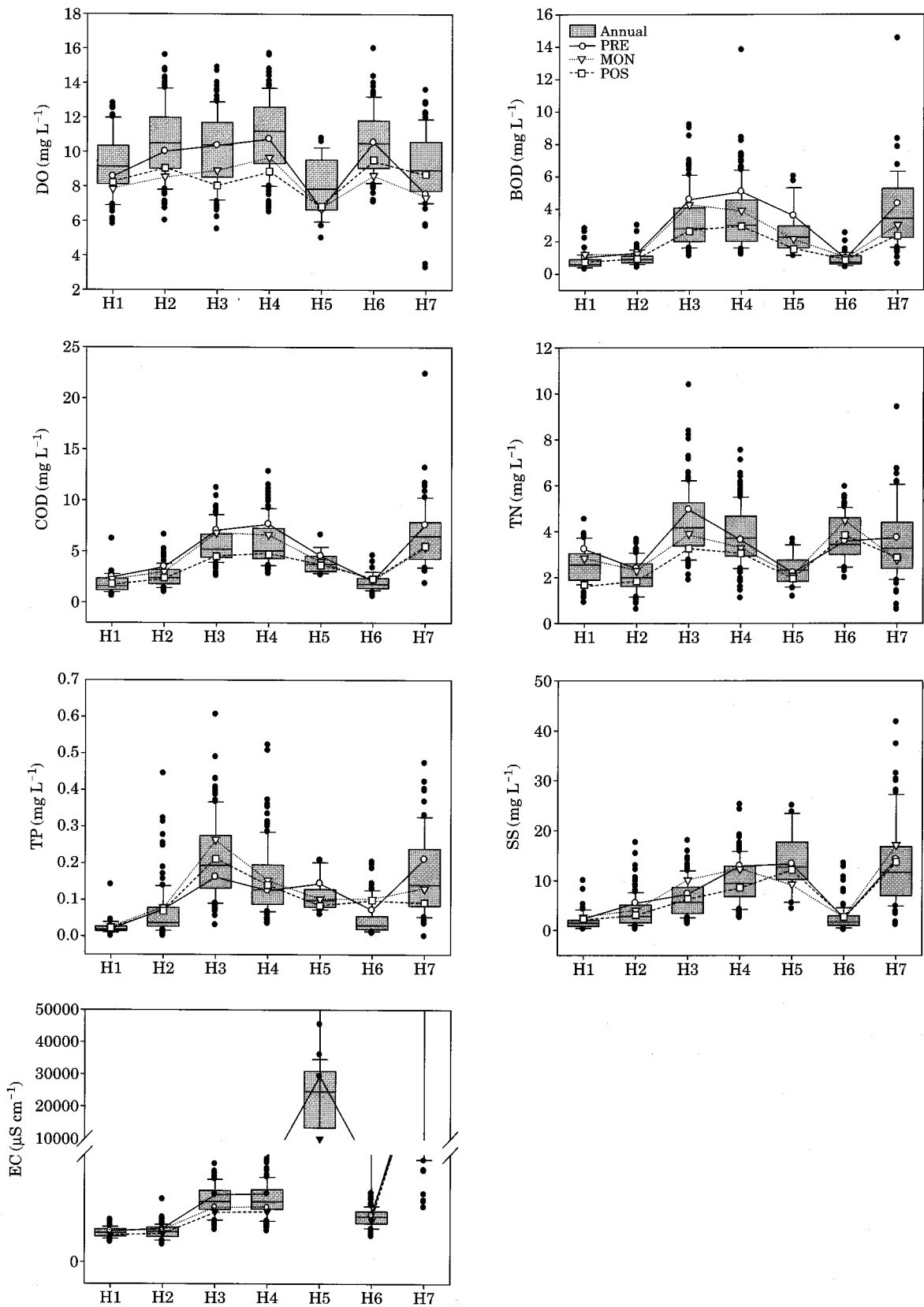


Fig. 8. Spatial variations of water quality based on the mean of 1999~2008.

기준(2010년 1월 환경부 기준고사)에 의거할 때 Ia(매우 좋음) 등급을 보였다(Fig. 4).

**3. 연별 수질 변화의 특성**

10년간의 연별 수질에 따르면(Fig. 6), EC는 1999년부터 2008년까지 증가되는 양상을 보여 2008년에 최고치를 보였다( $3,715 \mu\text{S cm}^{-1}$ ). TN과 TP는 연별 변화폭이 크고 강수량이 최대였던 2003년에 TN이 최소치( $2.7 \text{ mg L}^{-1}$ )를 보였다. BOD, COD는 2000년에 최대치를 보였으며, DO는 전체적으로 감소하는 경향으로 나타났다. BOD 및 COD는 2001년부터 2003년까지 감소하는 양상을 보였으며, 이후 증가하는 양상을 나타냈다. TP는 1999년부터 2001년까지 감소하다가 다시 증가하는 양상을 보였다. 특히, 2003에 다시 증가한 것으로 나타났으며 10년 중 강우량이 가장 적은 2008년에 TP의 농도가 가장 낮게 나타나 강우와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다(Figs. 6, 7). 이와 같이 지난 10년간 수질 변수의 특성 분석에 따르면, 연별 강우, 지점별 점오염원 및 해수 영향의 유무 등에 따라 변이가 크게 나타나는 것으로 사료되었다.

**4. 공간에 따른 수질 변이**

상·하류간의 공간적 변이 분석에 따르면, 본류지점의 BOD와 COD는 H1~H4까지는 증가하는 양상을 보였다가 H5 지점에서는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 경주시와 포항시를 관통하면서 여러 오염원이 유입하였지만 해수의 영향으로 희석효과를 받은 것으로 사료되었다. 형산강은 금강수계의 연구결과와 유사하게 하류역으로 갈수록 수질이 악화되는 것으로 나타났다(안과 양, 2007). 반면 영산강수계의 조사 결과 중류에서 광주시의 수질이 가장 악화된 것으로 나타났으며, 하류로 갈수록 하천수로 인한 자정작용으로 인하여 BOD 값이 감소하는 경향을 보였다(강과 안, 2006). H6인 기계천은 BOD, COD, TN, TP, SS 및 EC는 H3 지점보다 낮아 H4에서 희석효과로 TN, TP가 감소한 것으로 사료되었다(Fig. 8). H1, H2에서 평균 BOD는  $1 \text{ mg L}^{-1}$  이하로 나타났으나, H3과 H4에서는  $3 \text{ mg L}^{-1}$  이상으로 상회하였으며 강우전기인 갈수기에 전체적으로 높게 나타났다(Fig. 8). TN과 TP는 H2에서 H3 지점으로 이동하면서 다른 지점에 비하여 급격히 증가한 것을 볼 수 있다. H3지점은 경주시를 관통하며 분뇨처리장, 하수종말처리장 등이 위치하고 있어 TN과 TP가 증가하였으나 H6인 기계천의 유입으로 H4에서는 희석되어 감소한 것으로 사료되었다(Fig. 8). SS는 상류에서 하류로 갈수록 증가하였으며 장마 전·후기에 큰 변화를 보이지

않았다.

즉, 경주 도심지역을 지나며 여러 지류가 유입되는 H3 지점에서 수질이 전체적으로 악화되었으며, 지류인 H6의 유입으로 H4의 TP, TN 수질이 개선되는 것으로 사료되었다(Fig. 8). 일반적으로 상류 하천이 양호상태로 나타나도 도심지역이나 공단지역을 관통하면서 수질이 악화되는 것으로 보고되고 있어(Moon et al., 2001) 형산강도 마찬가지로 경주시를 관통하면서 수질이 악화된 것으로 사료되었다. 또한 이전 연구 결과에 따르면, 형산강 하류에 위치한 H5 지점은 생활하수, 산업폐수 및 분뇨처리수가 유입되어 오염도가 가중되는 것으로 나타나(전 등, 1999) 향후 이에 대한 관리대책이 필요한 것으로 나타났다.

**적 요**

본 연구는 형산강 수계의 7개의 하천 지점에서 이·화학적 수질의 시·공간적 변이 파악을 위하여 1999년~2008년까지 측정된 환경부 수질자료를 분석하였다. 수질 변수는 수온, 용존산소량(DO), 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 총인(TP), 총질소(TN), 부유물(SS) 및 전기전도도(EC)의 8개 항목을 이용하였으며, 수질 특성은 연별, 계절별, 조사지점별로 변이를 보였다. 이온 희석현상의 지표로 이용된 EC는 계절 분석에서 장마기에 크게 감소하는 현상을 보였고, 계절별 영양염류(TN, TP)는 전 조사지점을 대상으로 평균했을 때 TN은 갈수기에 감소하는 경향을 보였으며, TP는 도심지역을 관통하는 중류부에서 장마기에 증가하는 경향을 보였다. BOD와 COD는 강우와 유의한 관계를 보이지 않았다. 계절별 SS 농도는 장마기에 크게 증가하였으며, 본류의 SS는 하류로 갈수록 증가하였다. 형산강 상·중류의 BOD, COD, TP, TN, SS 및 EC는 도심지역을 관통하는 H3 지점을 지나면서 모든 변수에서 크게 증가하여 수질 악화가 일어나는 것으로 나타났다. 즉, 경주시 및 포항시의 도심에서 흘러나오는 지천의 영향이 하류의 수질 악화에 큰 영향을 주는 것으로 나타나 효율적인 수질관리가 필요할 것으로 사료되었다.

**인 용 문 헌**

강선아, 안광국. 2006. 영산강 수계의 이화학적 수질에 관한 시공간적 변이 분석. 한국육수학회지 39(1): 73-84.  
 강태호. 1998. 도시하천에서의 강우와 유출 및 수질 예측기법 개발에 관한 연구. 경기대학교 토목대학원 박사학위논문. p. 2-16

- 김범철, 김윤희. 2004. 아시아 문순지역의 대형댐(소양호)에서의 인 순환과 2차원모델의 적용. 한국육수학회지 **37**(2): 205-212.
- 박성배, 이상권, 장광현, 정광석, 주기재. 2002. 장마기 강우가 낙동강 하류(물금) 수질에 미치는 영향. 한국육수학회지 **35**(3): 160-170.
- 신재기, 황순진, 조정제. 2003. 평택호와 주요 하천의 수환경 및 오염도 평가. 한국육수학회지 **36**(1): 38-47.
- 안광국, 신일철. 2005. 산간 계류성 하천의 계절적 수질변동에 대한 몬순 강우의 영향. 한국육수학회지 **38**(1): 54-62.
- 안광국, 양우미. 2007. 금강 수계의 수질 특성. 한국육수학회지 **40**(1): 110-120.
- 안광국, 정승현, 최신석. 2001. 생물보전지수(Index of Biological Integrity) 및 서식지평가지수(Qualitative Habitat Evaluation Index)를 이용한 평창강의 수환경 평가. 한국육수학회지 **34**(3): 153-165.
- 안광국. 2001. 대형 인공호에서 양이온, 음이온 및 전기전도도의 연변화에 대한 수리수문학적 중요성. 한국육수학회지 **34**(1): 1-8.
- 오강호, 고영구. 2003. 광주광역시 하천수의 수질 및 오염. 한국 환경과학회지 **12**(3): 287-297.
- 옥치상, 이주상, 박홍석, 백병천, 이병인. 1999. 수질 및 수자원 관리. 도서출판 대학서림. p. 606.
- 윤한삼, 이인철, 류청호. 2003. 영일만 유입오염부하량과 수질의 시·공간적 변동특성(I)-하천유량과 유입오염부하량의 계절변동-. 한국해양공학회지 **17**(4): 23-30.
- 이혜원, 안광국, 박석순. 2002. 소양호 표층수 수질의 연별 추이 및 상·하류 이질성 분석. 한국육수학회지 **35**(1): 36-44.
- 전재인, 이동석, 이동철. 1999. 형산강 하구의 Ecosystem 연구(2)-이화학적 수질 특성-. 한국환경관리학회지 **5**(2): 219-227.
- An, K.G. and D.S. Kim. 2003. Response of lake water quality to nutrient inputs from various stream various streams and in-lake fishfarms. *Water, Air and Soil Pollution* **149**(1-4): 27-49.
- An, K.G. and J.R. Jones. 2000. Temporal and spatial patterns in ionic salinity and suspended solids in a reservoir influenced by the Asian monsoon. *Hydrobiologia* **436**: 179-189.
- Berner, E.K. and R.A. Berner. 1987. The global water cycle, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York, p. 397.
- Moon, Y.H., J.M. Park, J.G. Son and K.H. Kim. 2001. Change in water quality on upper stream of Mankyong River. *Kor. J. Environ. Agric.* **20**(3): 252-257.
- Parks, S.J. and L.A. Baker. 1997. Sources and transport of organic carbon in an Arizona River-Reservoir System. *Water Research* **31**: 1751-1759.
- Winston, W.E. and R.E. Criss. 2002. Geochemical variations during flash flooding. Meramec River basin, May 2000. *Journal Hydrology* **265**: 149-163.

(Manuscript received 12 February 2010,  
Revision accepted 20 March 2010)