

금강 수계의 수질 특성

안 광 국* · 양 우 미

(충남대학교 생명과학부)

Water Quality Characteristics in Keum River Watershed. An, Kwang-Guk* and Woo-Mi Yang (School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 304-764, Korea)

The objective of this study was to analyze temporal trends of water chemistry and spatial heterogeneity for 13 sampling sites of the Keum River watershed using water quality dataset (obtained from the Ministry of Environment, Korea) during 2001~2005. 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 nutrients (TN and TP), 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. and the variation of TN was similar to that of TP. Spatial trend analyses of all parameters, except for DO and temperature, showed that Site 9 acted as a point source, and thus, water quality at the locations of S9~S13 declined abruptly over 2 fold, compared to locations of S1~S8. Based on the overall dataset, efficient water quality management in the point source tributary streams is required for better water quality of the main Keum River.

Key words : water quality, dilution, nutrient, Kuem River, pollution

서 론

우리나라는 도시 발달과 산업화, 인구 집중 등으로 도심 하천의 오염이 심각한 수준에 이르러 하천관리의 중요성이 크게 부각되고 있다(전 등, 1998). 특히 우리나라의 경우 가정 및 도심에서 배출되는 대부분의 생활하수 및 산업폐수는 인구밀집지역에 위치하고 있어 지역주민의 수환경에 크게 영향을 줄 수 있어 이에 대한 관리대책이 시급한 것으로 나타나고 있다(정 등, 1997; 육 등, 1999; Moon *et al.*, 2001).

최근 유역 관리를 위해 정부에서는 하수처리장의 신설

이 증가하고 있으나, 하천의 오염도는 크게 개선되지 않는 실정에 있고, 특히 인(P)과 질소(N)의 오염이 점점 가중되어 하천과 저수지에서 과도한 담수조류(식물성 플랑크톤, 부착조류) 발생의 사회적 문제는 해결되고 있지 않다(신 등, 2003). 일반적으로 하천수질은 지역적 특성 및 오염원 여부에 의해 다양한 변이를 가져오며, 유역의 상류 하천에서 하류로 내려 갈수록 영양염 부하량이 증가하여 부영양화가 가속화되는 것으로 나타났으며, 부영양화의 근본적 결정 인자는 용존 무기인(Dissolved inorganic phosphorus)과 질소(Nitrogen)로 보고하고 있다(유 등, 1999; 이 등, 2002). 이러한 하천의 부영양화 및 수질특성은 일반적으로 계절강우분포와 밀접한 관계가

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

있는 것으로 연구된 바 있으며 (Parks and Baker, 1997; Winston and Criss, 2002), 특히 연강우량의 50% 이상이 하계에 편중하는 우리나라의 경우, 매년 강우량 및 하절기 강우 집중도에 따라 주기적 유량변동이 일어나고 있고 이러한 특성은 이·화학적 수질 측정값에 직접적인 영향을 준다는 결과가 폭넓게 보고되고 있다 (An and Jones, 2000; 안, 2001; An and Kim, 2003; 김과 김, 2004).

본 연구에서는 금강 본류를 중심으로 수질 모니터링된 13개 지점을 선정하여 금강의 수질특성을 파악하였다. 특히, 우리나라의 몬순강우를 고려하여 장마전기, 장마기 및 장마후기로 대별하여 주요 수질 변수에 대한 수질평가를 실시하였고, 지점별 수질에 대한 공간적 변이 및 장기간의 연별 특성을 파악 하였다. 이런 결과는 금강 수계의 오염실태를 파악하고 수질개선을 위한 대책 방안 마련 시 기초자료로 사용될 것으로 사료된다.

재료 및 방법

1. 조사지 개요 및 조사지점

본 연구대상지인 금강은 한강, 낙동강에 이어 우리나라에서 3번째로 큰 강이며 유역 면적은 9,858 km², 유로연장은 40 km이다. 본류에 유입되는 지천은 옥천군 동쪽에서 유입되는 보청천, 청주시에서 유입되는 미호천, 대전도심을 관통하여 합류되는 갑천 및 중·상류부의 오염원이 없는 초강 등 크고 작은 20여개의 지류가 합류된다. 조사지점은 환경부 수질측정망 지점인 금강 수계 본류 13개 지점을 선정하였으며, 세부지점은 다음과 같다 (Fig. 1).

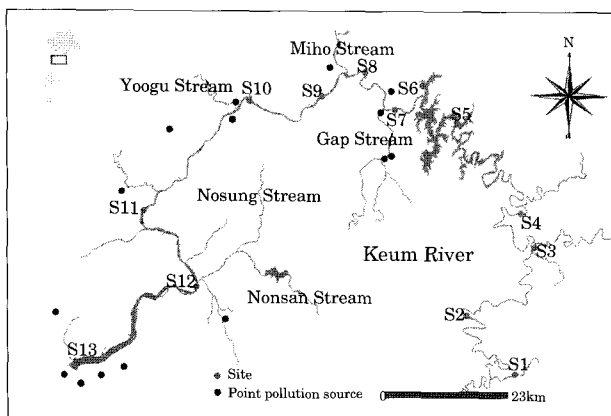


Fig. 1. Map showing the sampling sites of Keum River watershed system.

- S1: 전라북도 무주군 무주읍 읍내리 (중양교)
- S2: 충청남도 금산군 제원면 저곡리 (저원 대교)
- S3: 충청북도 영동군 심천면 고당리 (양강교)
- S4: 충청북도 옥천군 동이면 우산리
- S5: 충청북도 보은군 회남면 어성리 (회남교)
- S6: 충청북도 청원군 문의면 상장리 (청주 취수장 앞)
- S7: 대전광역시 대덕구 석봉동
- S8: 충청북도 청원군 부용면 부용리
- S9: 충청남도 연기군 남면 나성리 (금남교)
- S10: 충청남도 공주시 금성동 (금강교)
- S11: 충청남도 부여군 규암면 외리 (백제교)
- S12: 충청남도 논산시 강경읍 황산동 (황산 나루터)
- S13: 충청남도 서천군 화양면 당선리 (방조제 앞)

2. 조사기간 및 방법

금강 본류의 이·화학적 수질 자료를 분석하기 위하여 2001년 1월부터 2005년 12월까지 13개 지점 (S1~S13)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 phosphorus, TP), 부유물 (Suspended solids, SS), 전기전도도 (Electric conductivity, EC)이며 각 수치 값의 시·공간적 변화양상을 분석하였다. 금강유역의 강수량은 2001년에서 2005년까지 대전 기상청의 데이터를 획득하여 분석하였으며, 강우의 하절기 특성을 감안하여 수질 자료는 장마전기 (Premonsoon, PRE: 5~6월), 장마기 (During monsoon, MON: 7~8월), 장마후기 (Postmonsoon, POS: 9~10월)로 대별하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 금강수계의 강우 특성

금강 수계의 5년간 (2001~2005년) 강수데이터 분석에 의하면, 연 평균 강우량은 1,397 mm로써 장마기인 7~8월 동안 648 mm의 강우량을 보여, 이 시기의 강우량이 전체 강우량의 46% 이상을 차지하였다 (Fig. 2). 금강 수계의 총 강우량은 2002, 2004, 2005년에 1,000 mm 이상의 강우량을 보였으며, 2003년에는 총 강우량 1,500 mm 이상으로 다른 해에 비해 많은 강우가 내린 반면, 2001년에는 1,000 mm 이하의 적은 강우가 내려 가뭃의 해로

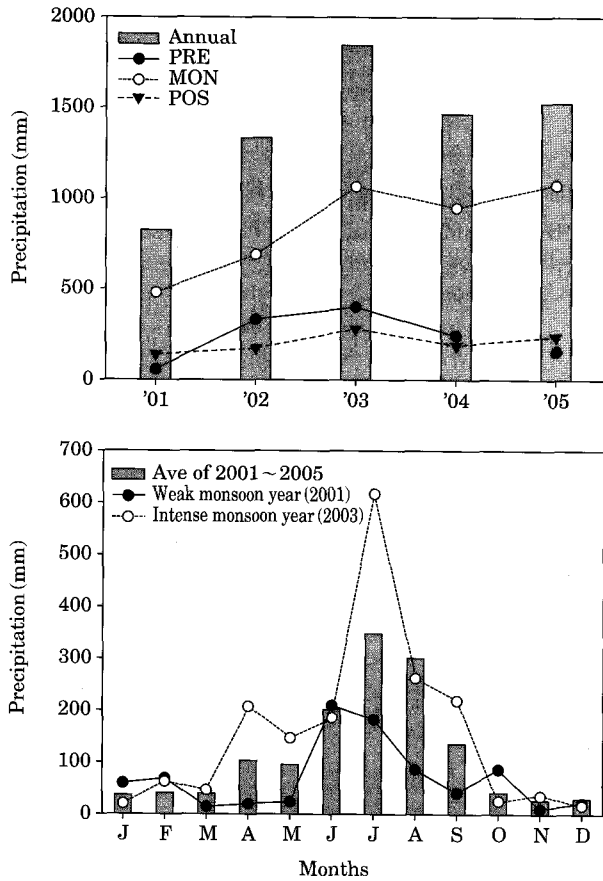


Fig. 2. Total annual precipitation and monthly precipitation during the study.

나타났다(Fig. 2). 강우량이 가장 많았던 해(2003년)와 가뭄의 해(2001년)를 5년간의 평균 강우량과 비교·해석하여 보았을 때, 강우는 1~3월, 10~12월에는 각각 다른 해와 비슷한 강우량을 기록하였으나, 4~5월, 7~9월에는 다른 해와 확연한 차이를 보였다(Fig. 2). 강우량은 7~8월의 장마기에 집중분포 하였고, 장마전기 및 장마후기와 뚜렷한 차이를 보였다(안, 2001; 박 등, 2002).

2. 계절 변화에 따른 수질 특성

계절별 자료 분석 결과에 따르면, 월평균 EC는 강수량이 적은 2월에 최대치(220 $\mu\text{s cm}^{-1}$ 이상)를 나타냈으며 장마가 지난 9월에 최소치(140 $\mu\text{s cm}^{-1}$ 이하)를 보였다(Fig. 3). 또한 온도와 역 상관관계를 보이는 DO는 2월에 최대치, 8월에 최소치(8 mg L^{-1} 이하)를 보여 강수량과 뚜렷한 역 상관관계를 보였다(Fig. 3). 반면, BOD 및 COD는 월별 변동이 적은 것으로 나타났다. TP와 TN은 장마기에 최저치(TP: 0.08 mg L^{-1} 이하, TN: 2.0 mg L^{-1} 이하)

를 보였는데, 이는 장마기에 증가된 강우에 의하여 유기물이 희석된 것으로 사료되었다. 연평균 SS는 장마기에 가장 높은 것으로 측정되었는데 이는 주변 농지 및 토지로부터 토사나 부유물이 유입되어 최대치를 보인 것으로 사료되었다.

금강 본류의 상·하류간 계절별 수질특성에 따르면, 부유물의 농도를 제외한 EC, TP, TN, BOD 및 COD는 장마기에 일부 감소되는 경향을 보였다(Fig. 5). 특히 하류역으로 갈수록 부유물의 값이 확실하게 차이를 보였는데 이는 장마기에 인근 점오염원 및 비점오염원이 산재된 수계로부터 영양염류의 유입이 증가되어 높은 수치를 보이는 것으로 사료되었다(Fig. 4). 한편, 상류 지역은 토지 이용도 측면에서 농지보다는 산림으로 둘러싸여 있기 때문에 토사 유출이 적고 비교적 지대가 높아 SS 농도(5 mg L^{-1} 이하)가 낮으며, 이들은 영양염류 유출을 적게 하는 것으로 나타났다.

SS를 제외한 영양염류 농도는 장마기의 집중 호우로 인하여 하천수가 희석되는 현상을 보였다. 이러한 이유로, 강우가 집중되는 장마기와 그 전·후 시기의 차이가 크게 나타나는데(Fig. 5), 이러한 양상은 강과 안(2006)의 이전 연구결과와 유사한 특성을 보였다. 즉, 장마전기인 갈수기에 일반적으로 수질이 악화되는 것은 하천의 유지유량이 적은 상태에서 생활하수와 농업용수 등의 높은 영양염류부하에 의한 것으로 사료되었다.

EC는 모든 지점에서 8~9월에 최저치(140 $\mu\text{s cm}^{-1}$ 이하)를 보였고(Figs. 3, 4), 비교적 강우량이 적은 동계(1~3월)와 초겨울(11~12월)에 높은 값을 유지 하였으나, 하류의 경우 중·상류에 비해 급격하게 감소하였다가 장마 후기에 증가하는 양상을 보였다(Fig. 4). 이러한 하류에서의 EC 값이 장마기에 급격하게 감소현상을 나타내는 이유는 장마기 집중강우로 인해 하류에서 다량의 이온이 일시적으로 희석되는 것으로 나타났다(강과 안, 2006).

TN의 변화 양상은 장마후기에 최저치를 보였으며(Fig. 5), 상류의 경우에는 변화폭이 좁게 나타났으나, 중·하류간의 측정값은 상류에 비해 높은 변화양상을 보였다(Fig. 4). 이에 비해 TP는 계절 변화폭이 TN에 비해 완만하게 나타났으나(Fig. 3), 지점간의 변화폭이 높게 나타났다. 특히, 중·하류의 TP는 상류보다 약 2배 이상 높게 나타나 뚜렷한 차이를 보였다. TP는 상류의 경우 1월을 제외하고는 비교적 낮은(0.03 mg L^{-1}) 농도를 유지하였고, 중·하류의 경우에는 1월에서 4월까지 감소하였다가 6월에 최고치(0.15 mg L^{-1})를 보였고, 장마후기에는 감소하는 양상을 보였다(Fig. 4). 이러한 분석 결과는 이전 다른 하천의 수질 연구에서 인(P)의 유입이 주로 장마기에

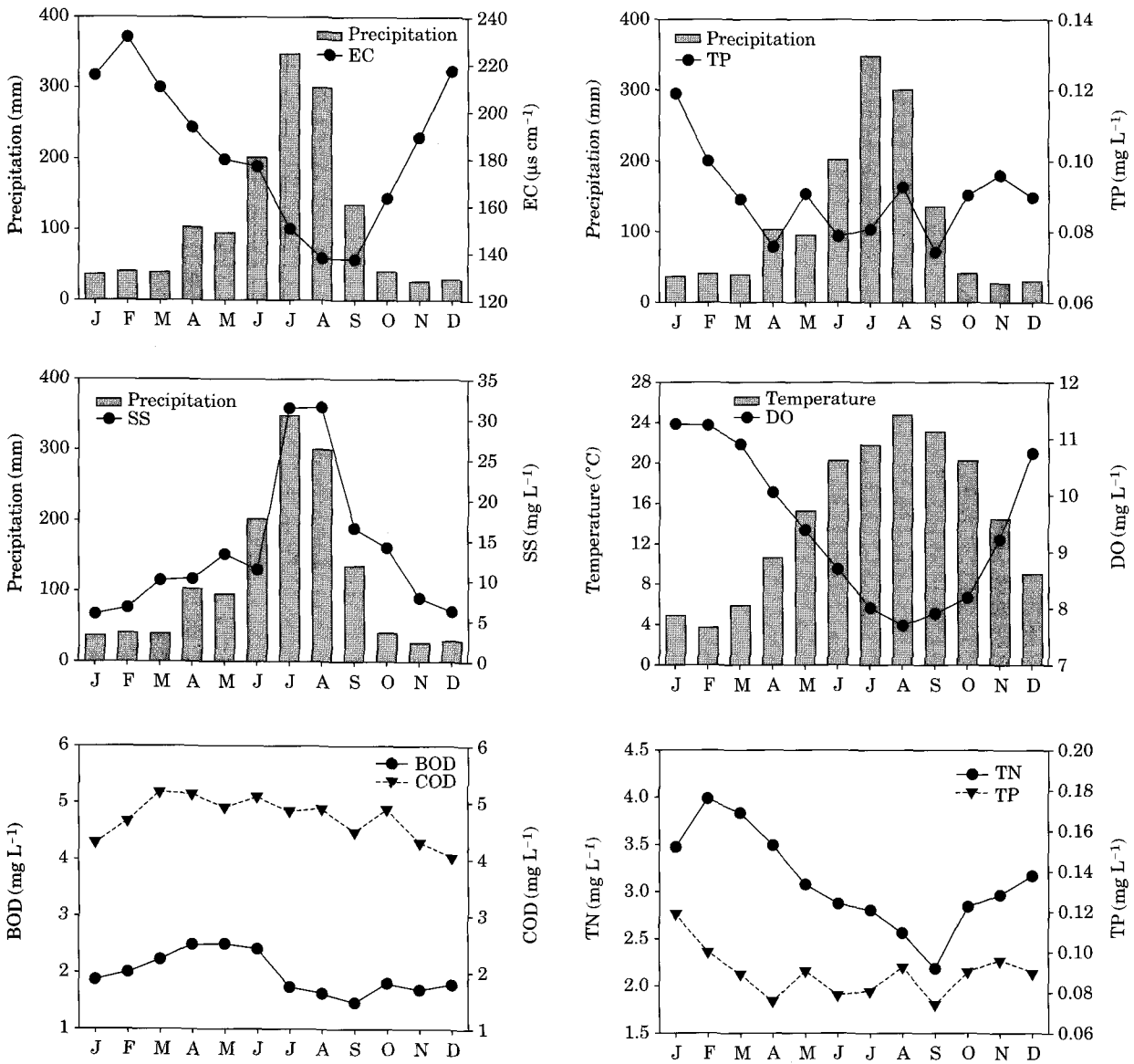


Fig. 3. Seasonal fluctuations. Each data point indicates monthly average during 2001~2005.

발생하여 8월에 최고치를 보이고 다시 강우의 감소에 따라 농도가 감소한다는 연구와 유사한 결과를 보였다(강과 안, 2006).

하류에서 TN의 농도는 TP와 함께 계절적 변이현상을 보였다(Fig. 3). 즉, 장마전기(6.5 mg L^{-1})에 비해 장마기(4.0 mg L^{-1})에는 농도가 낮아졌다가 9월에 최저치(3.0 mg L^{-1})를 보였다. 그러나 10월 이후에는 TN의 급격한 증가를 보였으며, 본 수계는 8월부터 10월까지 감소하다가 11월 이후 증가한다는 연구 결과와 유사한 계절적 패턴을 보였다. 이는 중·하류역의 지역적 특성으로 미루어 볼 때, 강우로 인하여 증가된 유입량에 의해 하천의 TN 농

도가 높을 것으로 생각되나, 인구 밀집 지역인 대전시의 갑천 및 인근 공단에 인접한 미호천 부하에 의하여 영양염류 농도가 높아진 상태에서 장마기의 집중 강우는 급격한 유량의 증가를 가져와 오염물의 농도가 희석되는 것으로 나타났다.

유기물 오염의 지표로 이용되는 BOD 및 COD는 유사한 계절적 변화를 보였다(Fig. 3). BOD는 상·중류에서 변화의 폭이 적고 일정 농도를 유지하였으나, 하류의 경우에는 1월부터 상승하여 4월에 최고치인 5 mg L^{-1} , 4월 이후 급격하게 감소하여 8월에 약 2 mg L^{-1} 을 나타냈다.

SS는 중·상류 사이에 측정값 및 변이 패턴이 거의

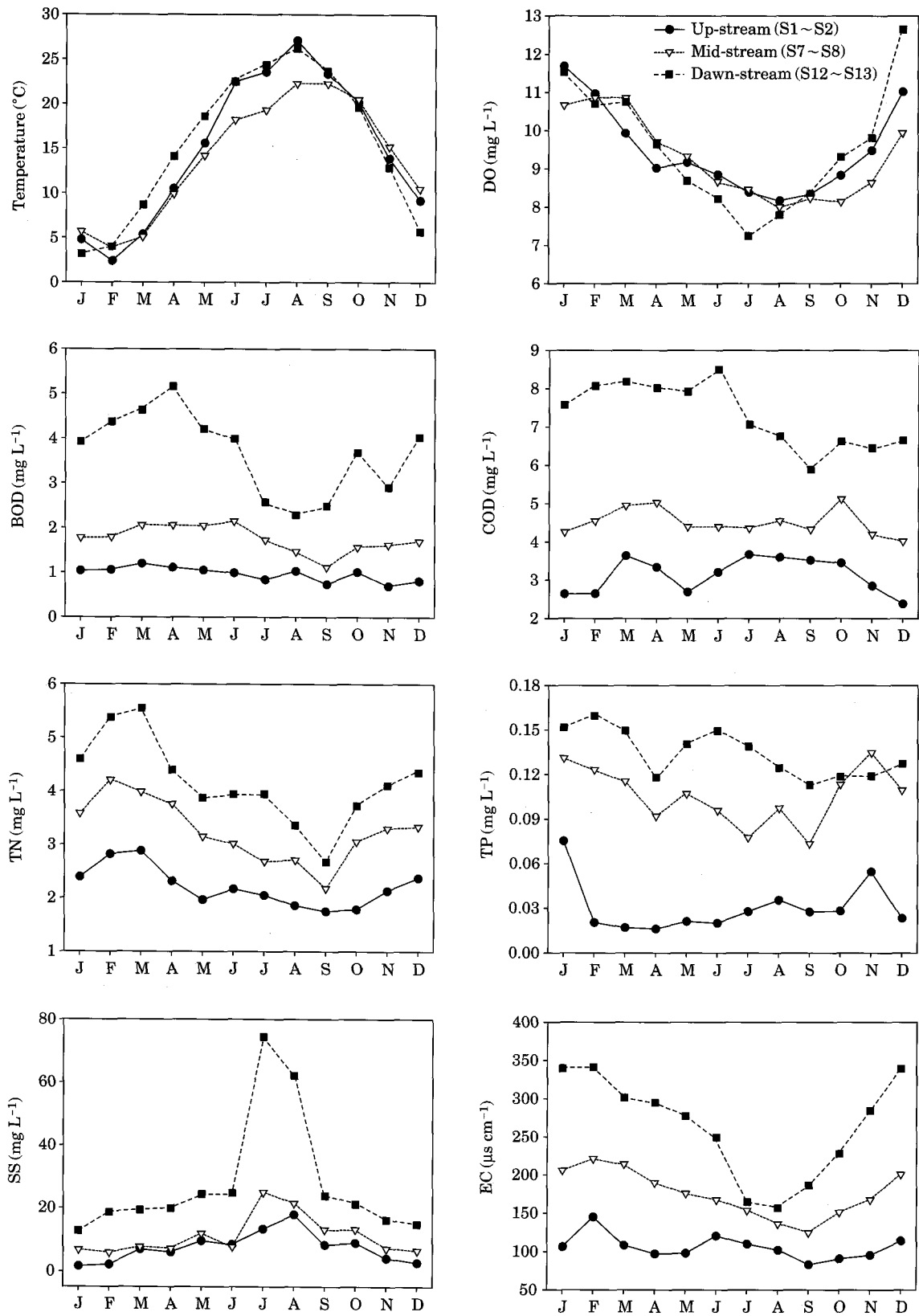


Fig. 4. Seasonal fluctuations of the upper stream, midstream and downstream.

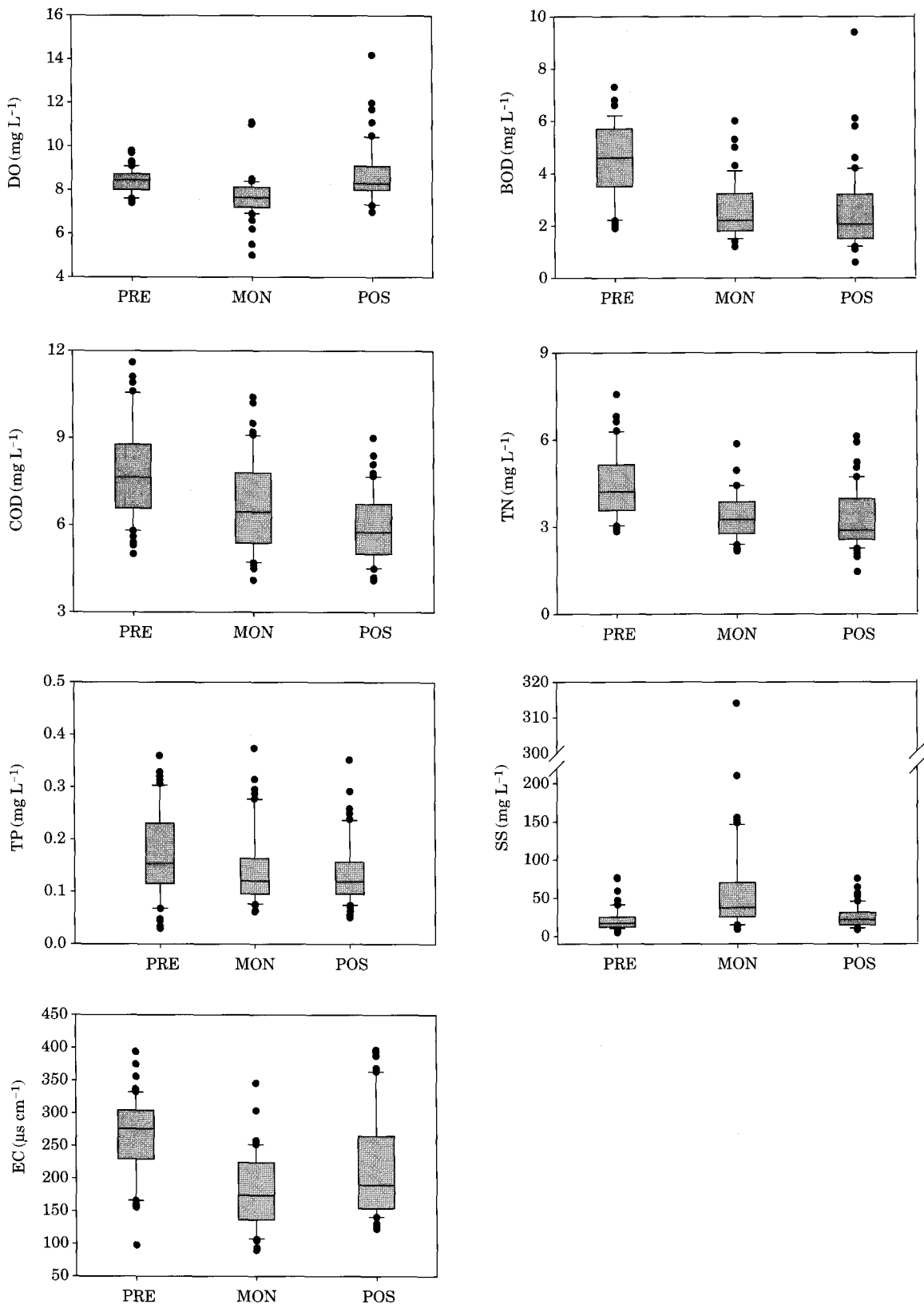


Fig. 5. Temporal variations of water quality based on the average of S9~S13.

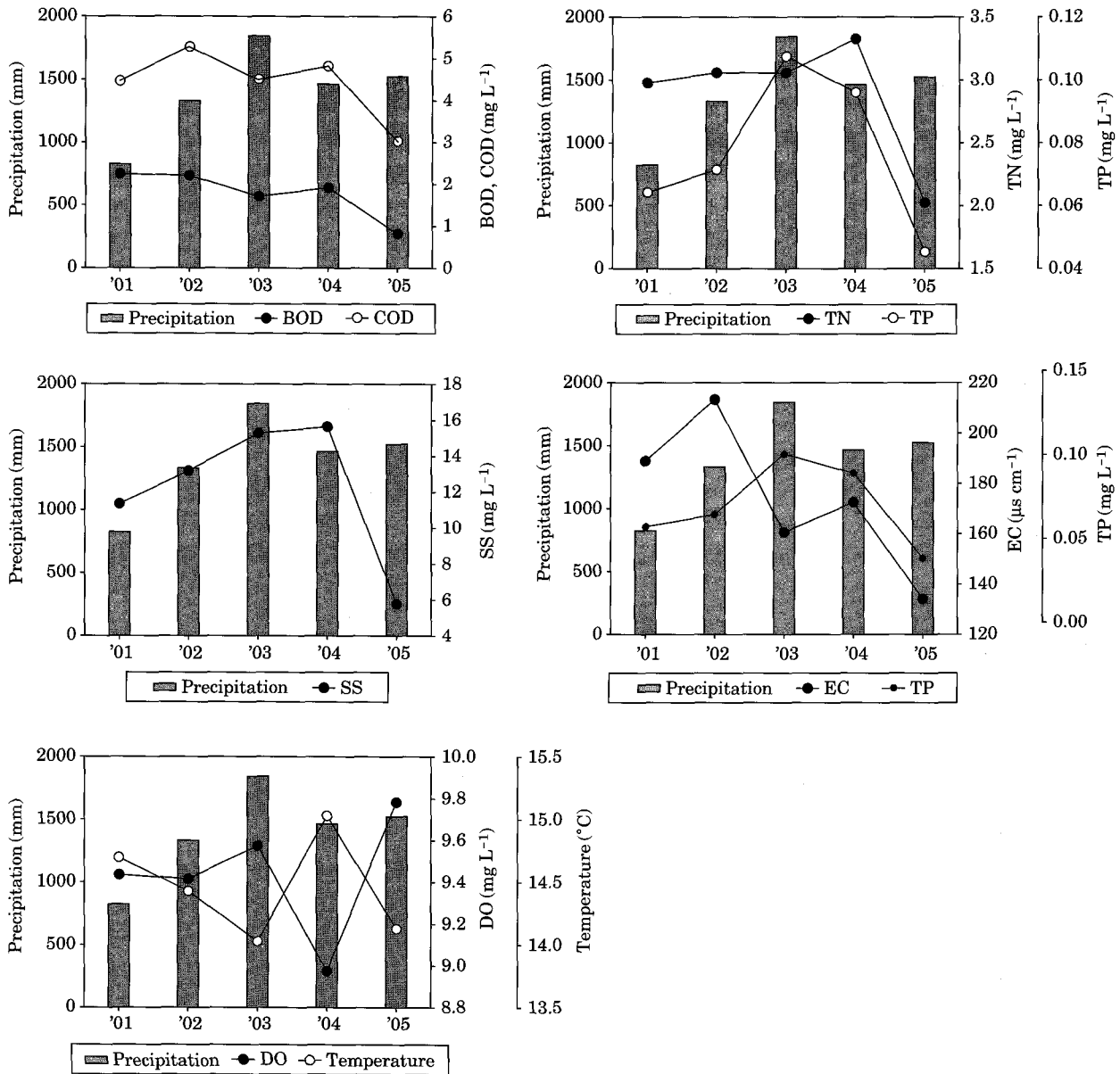


Fig. 6. Interannual variations of electric conductivity (EC), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), suspended solids (SS) and dissolved oxygen (DO).

차이를 보이지 않았다(Fig. 4). 장마기에 부유물의 농도는 80 mg L⁻¹로서 최고치를 보였는데, 이는 강우에 의해 대량의 무기성 부유물질(Inorganic solids)이 빗물에 씻겨 수계로 유입된 것으로 사료되었다. DO는 수온이 최고치인 8월에 최저치(7.7 mg L⁻¹)를 보였고, 수온이 최저인 겨울철에 최고치(9.0 mg L⁻¹ 이상)를 보여(Fig. 4), 계절별 DO 농도는 온도와 역 상관관계를 보여, 본 하천에서는 오염현상에 의한 영향은 미미한 것으로 나타났다(강과안, 2006).

3. 연별 수질 변화의 특성

5년간의 연별 수질 분석에 따르면(Fig. 6), EC는 2001년에서 2002년에는 증가되는 양상을 보였으나 2002년 이후에는 꾸준히 감소하는 양상을 보이고 있다. 한편 TP, TN, SS는 2004년까지 점차 증가되는 양상을 보였으나, 2005년에는 현저하게 감소하는 것으로 나타났고, BOD 및 COD는 점차 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 6). TP, TN, SS는 하류로 내려갈수록 증가되는 양상을 보였는데

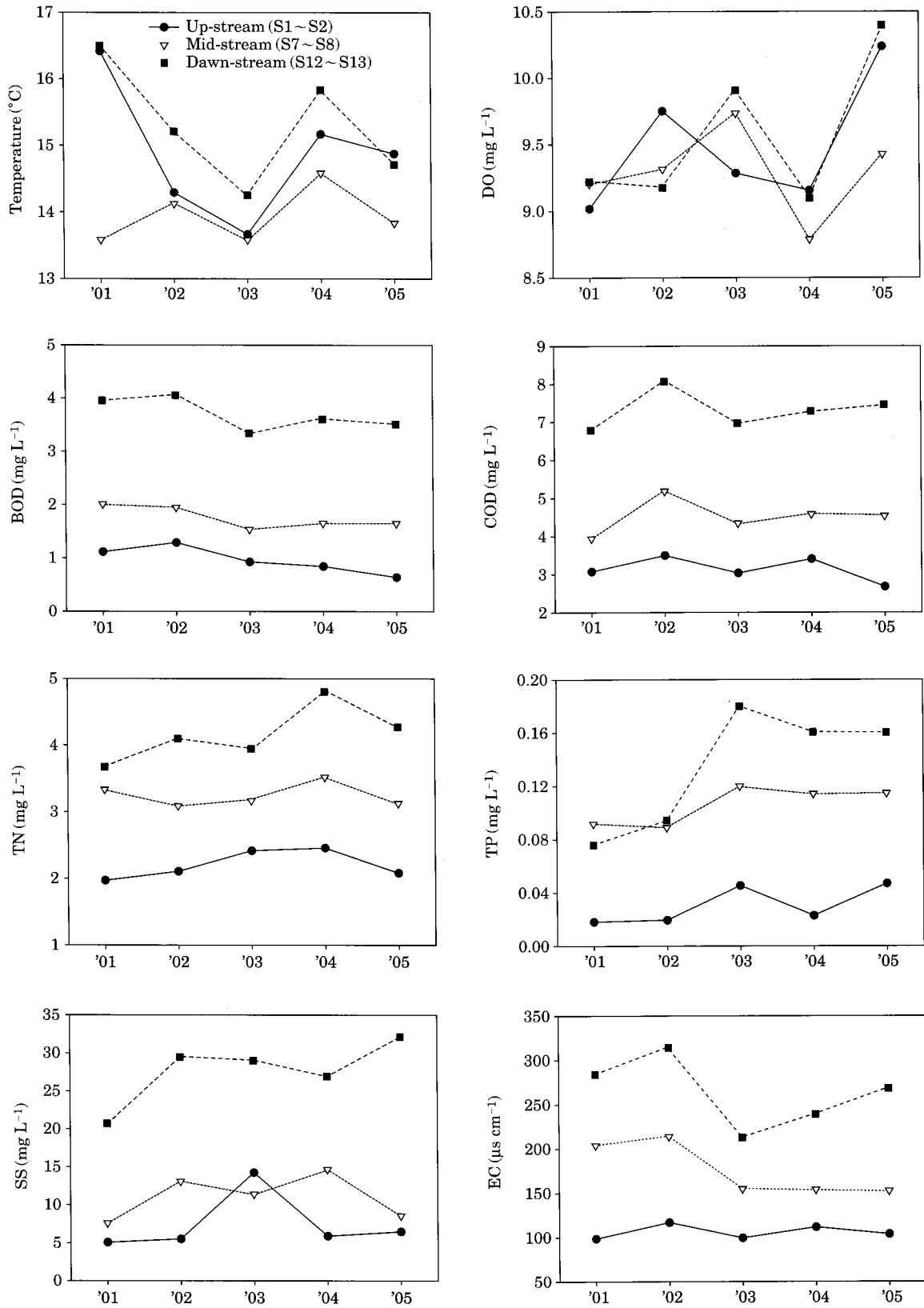


Fig. 7. Interannual fluctuations of the upper stream, midstream and downstream.

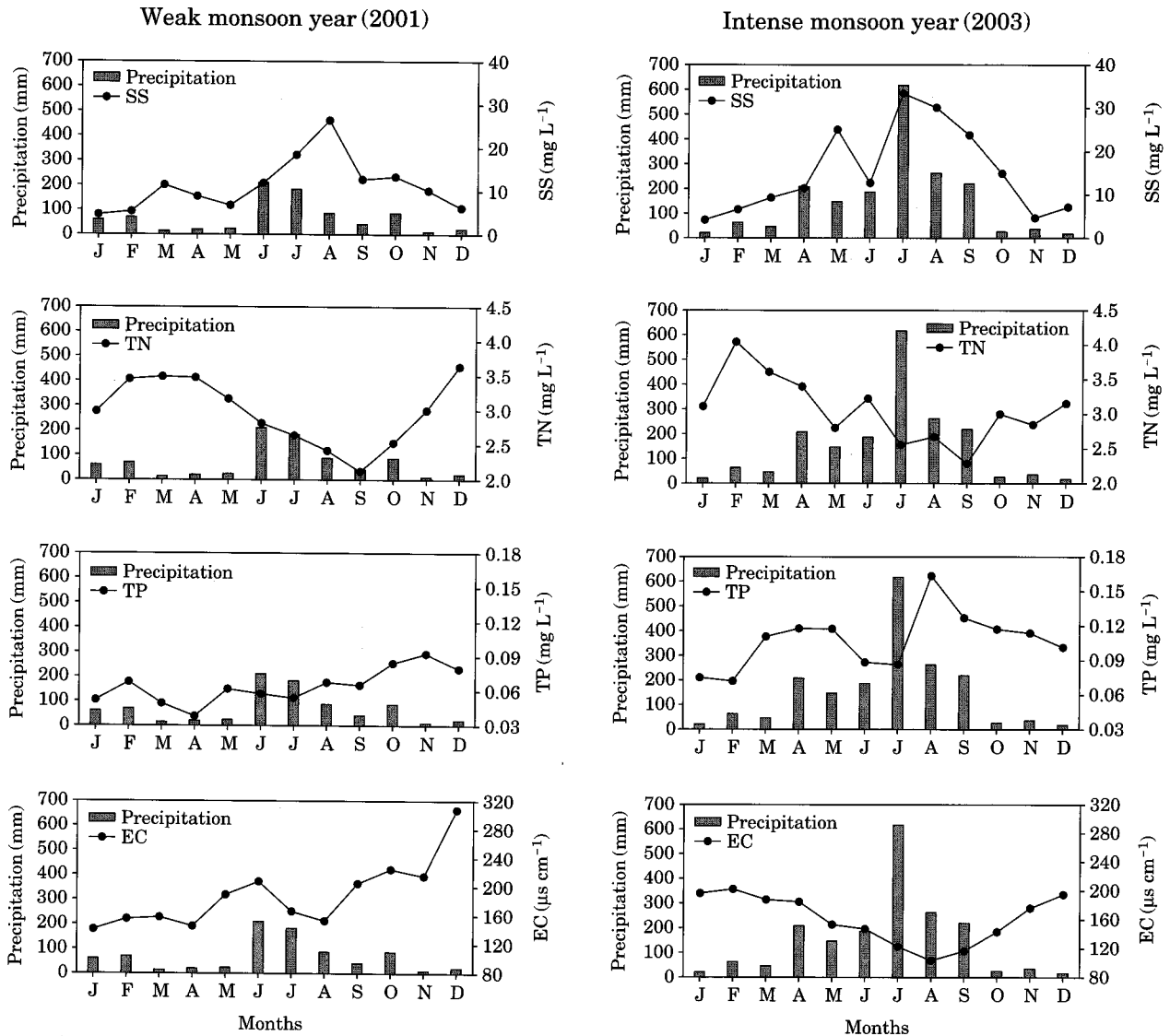


Fig. 8. Seasonal comparisons between Weak monsoon and Intense monsoon.

(Fig. 7), 이는 갑천 및 미호천의 생활하수 및 오폐수처리장의 영향으로 사료되었다(이 등, 1999).

EC는 2002년에 최고치($213 \mu\text{s cm}^{-1}$)를 보인 후, 감소하는 양상을 보이다 2005년에 최저치($134 \mu\text{s cm}^{-1}$)를 나타냈다. 두 해 사이에 강우량은 큰 차이를 보이지 않았으나, EC 값은 확연한 차이를 보였다. 또한 BOD 및 COD는 5년여에 걸쳐 점차 감소되는 양상을 보였으며, 다른 변수에 비해 변이 폭이 적은 것으로 나타났다(Fig. 6).

TP는 2001년부터 2003년까지 증가하는 양상을 보였으며, 특히 2003년에는 TP 농도가 가장 높았는데, 이는 2003년이 5년 중 강우가 가장 집중된 것으로 나타나, 강우와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다(Fig. 8). 5년간

의 이와 같은 다양한 수질 변수의 특성 분석에 따르면, 연별 강우 및 지점별 점오염원의 유무 등에 따라 변이가 크게 나타나는 것으로 사료되었다.

4. 공간에 따른 수질 변이

상·하류간의 공간적 변이 분석에 따르면, 수은의 연평균 값은 S7에서 최저치를 보였고, 또한 동일지점에서 DO는 높게 나타났는데, 이는 대청호에서 방류한 물의 영향으로 사료되었다(Fig. 9). 한편, BOD, COD, TN, TP, SS 및 EC는 S1~S8까지 낮은 경향을 보였으며, S9부터는 급격히 높아지는 양상을 보여, 놀라울 정도로 유사한 변

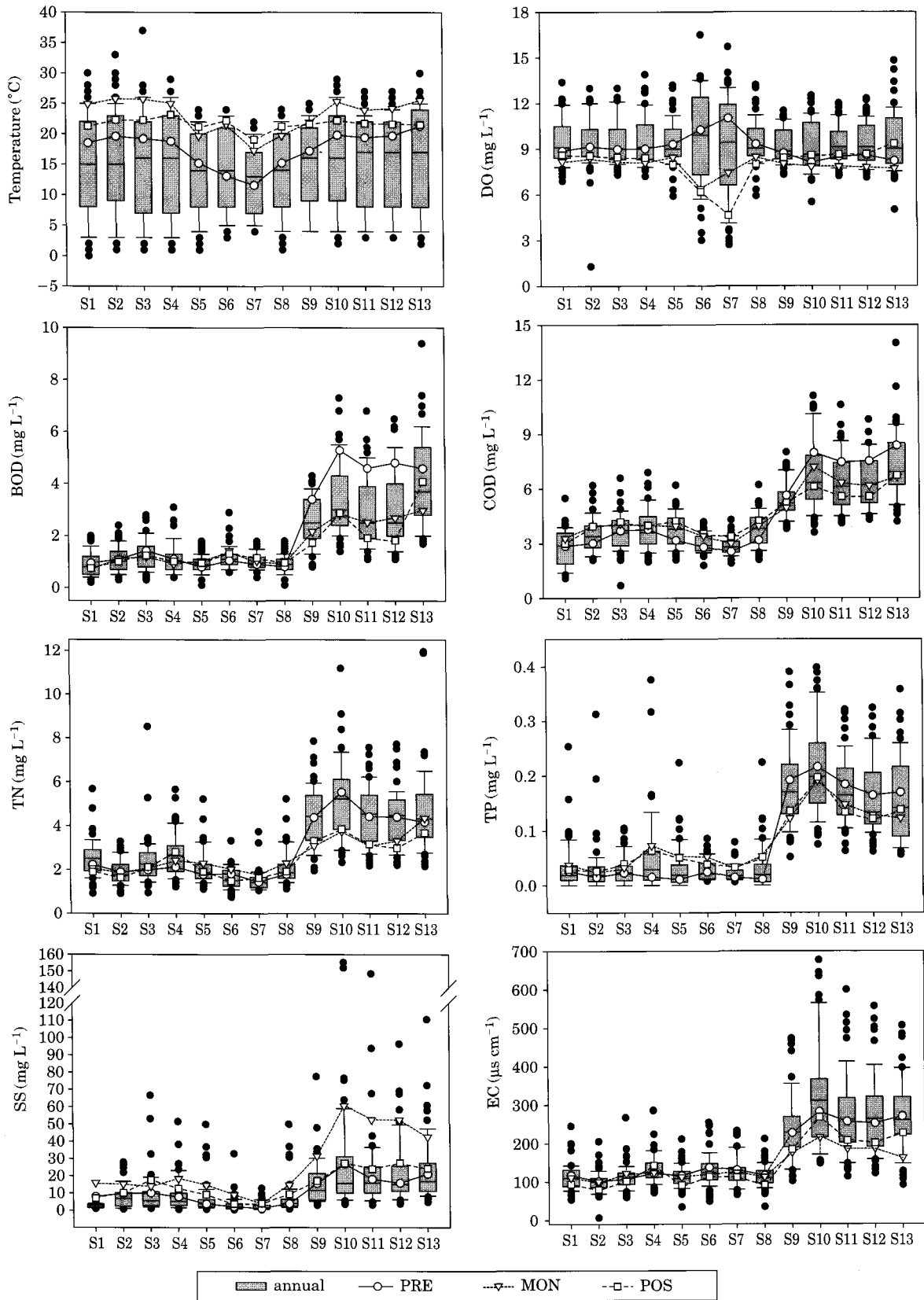


Fig. 9. Spatial variations of water quality based on the average of 2001~2005.

이 양상을 보여주었다(이 등, 2005). 즉 S1~S8까지 평균 BOD는 약 1 mg L^{-1} 를 보였으나, S9 이후에 2배 이상 상회하였으며 이러한 특성은 특히 강우전기인 갈수기에 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 9). TN 및 TP도 S1~S8 구간과 S9 이상의 구간 사이에 2배 이상의 차이를 보였으며, 이들 지점간의 격차는 갈수기에 가장 큰 것으로 나타났다(Fig. 9). 한편, SS의 경우 구간별 변이 양상은 영양염류 및 유기물 오염도와 유사한 특성을 보였으나, 장마기에 최대 변이를 보여 일부차이를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 9).

즉, 상·하류간에 S9로부터의 모든 수질의 급격한 악화는 도심하천인 갑천의 유입에 따른 과대한 오염부하로 사료되었다. 갑천의 이전 연구결과에 따르면, 특히 생활하수처리장이 위치한 갑천 하류부에서는 BOD가 크게는 20 mg L^{-1} 이상을 상회하는 것으로 나타나 금강 본류의 수질오염에 악재로 작용하는 것으로 나타나 향후 이에 대한 관리대책이 시급한 것으로 나타났다.

적 요

본 연구는 금강수계의 13개 하천지점에서 이·화학적 수질의 시·공간적 변이 파악을 위해 2001~2005년까지 측정된 환경부 수질자료를 분석하였다. 이용된 수질 변수는 전기전도도(EC), 용존산소량(DO), 수온, 생화학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 총인(TP), 총질소(TN) 및 부유물(SS)의 8개 항목으로 이들의 수질특성은 연별, 계절별, 조사지점별로 큰 변이를 보였다. 이온회석현상의 지표로 이용된 EC는 계절 및 연별 분석에서 장마기에 크게 감소하는 현상을 보였고, 계절별 영양염류(TN, TP)는 전 조사지점을 대상으로 평균했을 때, 갈수기에 비해 감소하는 특성을 보였다. 또한 일부 지점별 특성은 차이가 있지만, BOD 및 COD는 강우와 유의한 관계를 보이지 않았다. 한편, 계절별 SS 농도는 강우기에 크게 증가했으며, TP의 변이는 TN과 유사한 양상을 보였다. 금강에서 상·하류간의 TP, TN, BOD, COD, SS 및 EC의 분석에 따르면, 지천인 갑천이 유입되어 영향을 주는 S9에서 수질이 극히 악화되어 S9~S13의 하류역에서는 모든 변수에서 2배 이상의 수질악화가 일어나는 것으로 나타났다. 이런 특성은 미호천의 지류부에서도 나타나 금강본류의 수질은 대전 및 청주의 도심에서 흘러나오는 지천의 영향이 하류의 수질악화에 큰 영향을 주는 것으로 나타나 특히 이런 지류부에서의 효율적인 수질관리가 절실한 것으로 사료되었다.

인 용 문 헌

- 강선아, 안광국. 2006. 영산강 수계의 이화학적 수질에 관한 시공간적 변이 분석, *육수지* **39**(1): 73-84.
- 김범철, 김윤희. 2004. 아시아 몬순지역의 대형댐(소양호)에서의 인 순환과 2차원모델의 적용, *육수지* **37**(2): 205-212.
- 박성배, 이상균, 장광현, 정광석, 주기재. 2002. 장마기 강우가 낙동강 하류(물금) 수질에 미치는 영향, *육수지* **35**(3): 160-170.
- 신재기, 황순진, 조경제. 2003. 평택호와 주요 하천의 수환경 및 오염도 평가, *육수지* **36**(1): 38-47.
- 안광국. 2001. 대형 인공호에서 양이온, 음이온 및 전기전도도의 연변화에 대한 수리수문학적 중요성, *육수지* **34**(1): 1-8.
- 육치상, 이주상, 박홍석, 백병천, 이병인. 1999. 수질 및 수자원 관리. 도서출판 대학서림, p. 606.
- 유선재, 김종구, 권태연, 이석모. 1999. 금강의 부영양화 현상에 관한 연구, *한국환경과학회지* **8**(2): 155-160.
- 이상득, 이길연, 박정규. 2005. 금강 하구의 수리 및 수질 특성에 관한 연구, *한국환경관리학회지* **11**(3): 199-208.
- 이종태, 이진일, 남윤규, 한규홍. 1999. 금강수계 농업용수의 수질, *한국환경농학회* **18**(2): 122-125.
- 이혜원, 안광국, 박석순. 2002. 소양호 표층수 수질의 연별 추이 및 상·하류 이질성 분석, *육수지* **35**(1): 36-44.
- 전효택, 문희수, 김규한, 정명채. 1998. 환경지질학. 서울대학교 출판부, p. 529.
- 정중배, 김복진, 김정국. 1997. 낙동강 수계 주요 농업지대 소유역이 수질 오염, *한국환경농학회지* **16**(2): 187-192.
- An, K-G. and D.S. Kim. 2003. Response of lake water quality to nutrient inputs from 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.
- 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.