

## 금강 수계의 시·공간적 수질특성과 토지이용도의 영향

한 정 호 · 배 영 주 · 안 광 국\*

(충남대학교 생명과학과)

**Spatial and Temporal Variability of Water Quality in Geum-River Watershed and Their Influences by Landuse Pattern. Han, Jeong-Ho, Young-Ju Bae 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 83 sampling sites of Geum-River watershed using water quality dataset during 2003~2007 (obtained from the Ministry of Environment, Korea). The water quality, based on multi-parameters of temperature, dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), suspended solids (SS), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and electric conductivity (EC), largely varied depending on the landuse patterns, years and seasons. The watershed was classified into three different landuse types : forest stream (Fo), agricultural stream (Ag), and urban stream (Ur). Largest seasonal variabilities in most parameters occurred during the two months of July to August and these were closely associated with large spate of summer monsoon rain. Conductivity, used as a key indicator for an ionic dilution during rainy season, and nutrients of TN and TP had inverse functions of precipitation. BOD, COD decrease during the rainy season. Minimum values in the conductivity, TN, and TP were observed during the summer monsoon, indicating an ionic and nutrient dilution of river water by the rainwater. In contrast, major inputs of suspended solids (SS) occurred during the period of summer monsoon. The landuse patterns analyses, based on the variables of BOD, COD, TN, TP and SS, showed that the values were greater in the agricultural stream (Ag) than in the forest stream (Fo) and urban stream (Ur) and that water quality was worst in the urban stream (Ur). The overall dataset suggest that efficient water quality management, especially in Gap-Stream and Miho-Stream, which showed worst water quality is required along with some of urban stream (Ur), based on the analysis of landuse patterns.

**Key words : Geum-River watershed, stream water quality, landuse pattern**

### 서 론

최근 금강 수계 권역에서는 대전시 및 청주시의 인구 증가 및 산업 발달로 인하여 각종 생활하수, 산업 폐수 등의 오염물질이 인근 하천 및 강으로 직·간접적으로

유입되고 있어 이에 대한 수질특성의 변이 및 대책마련이 시급하다. 특히 도심부를 지나는 금강 수계에서는 환경용량을 초과한 오염물질의 양적 증가를 초래하여 하천 생태계의 수질 오염현상을 가중시키고 있다(이 등, 1999). 금강 수계의 경우 대청호 중류부는 대전시의 갑천 및 청주의 미호천에서 유입되는 인(P)과 질소(N)로 인해 부영

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

양화 현상이 심각하여 환경부가 관리하는 중권역 중 수질목표를 달성하지 못하는 수역으로도 잘 알려져 있다. 정부에서는 이런 도심의 점오염원 및 농경지 및 축산업 폐수 등 비점오염원에 대한 실태 파악 및 관리가 부분적으로 이루어지고 있으나, 여전히 시·공간적 수질현황 파악 및 원인 규명이 미흡하여 하천 수질 관리 및 개선이 더욱 어려운 실정이다. 미국과 같은 환경 선진국에서는 이러한 하천 수질악화가 유역 내의 토지이용도와 밀접한 관계가 있는 것을 발표하였으며(Gburek and Folmar, 1999; Zalidis *et al.*, 2002), 유역의 특성이 하천 수질에 미치는 영향에 대하여 많은 연구들이 수행되고 있어 효과적인 수계 관리 및 건강한 하천 생태계를 유지하고 있다(Lenat and Crawford, 1994; Bolstad and Swank, 1997; Fisher *et al.*, 2000). 우리나라에서도 효과적인 수계 관리를 위해 오염총량제를 도입하여 전국에 걸쳐 인구, 축산, 산업, 토지, 매립장, 하수처리장 등 방대한 오염원 자료를 축적하고 있으며, 행정구역 단위별로 발생하는 배출부하량을 산정하여 유역의 수질 오염도를 평가하고 있으나 유역 내의 토지이용에 대한 관리방안이 수립되어 있지 않기 때문에 하천 수질 관리에 있어서 개선할 여지가 남아있는 실정이다(윤 등, 2007).

하천의 수질은 임야나 초지, 농경지 및 도시나 공업지역 등 세 가지 유역 이용도에 따라 두드러진 차이를 나타내며, 각 토지이용도에 따라 해당 수계의 수질이 결정된다(Haith, 1976). 임야나 초지와 같이 인간의 이용이 적게 이루어진 산림 지역에서 수용되는 하천은 비교적 좋은 수질을 유지하는 특징을 보이는 반면, 농경지와 같이 지면활용으로 인하여 비점오염원이 증가 되는 농경지 지역에서는 발생하는 오염물질이 산림 지역에 비해 많지만, 대부분이 토양에 의해 자정되는 특징을 보인다. 도시나 공업지역과 같이 도심 지역에서는 각종 생활하수와 공장폐수 등이 다량 발생하며, 강우 시 도로와 건물 등에서 다양한 비점오염 물질이 하천으로 유입됨으로서 하천의 수질을 악화시키는 것으로 보고되고 있다(박 등, 1994; 김 등, 2007; Collins and Jenkins, 1996). 따라서 유역내의 효과적인 토지이용과 오염원 관리는 건강한 하천 생태계를 유지하기 위하여 반드시 필요하다(정 등, 2006).

유역 내 토지이용과 하천 수질 간의 긴밀한 상관성은 강우가 하천 유역으로부터 오염물질을 하천으로 이동시키기 때문에 높은 상관성을 나타내는데, 이는 농경지역의 토지이용이 질소와 인 등의 영양물질의 농도에 영향을 준다고 보고되었으며, 특히 주거지역과 상업지역, 그리고 농업지역의 토지이용이 하천의 질소와 인의 농도와 높은 상관성을 보인다고 보고하였다(Cameron, 1996; Tong

and Chen, 2002). 농촌 유역에서 지표 유출과 토양 유실 등과 함께 배출되는 비점원 오염은 강우에 의해 발생할 때 집중적으로 배출되는 특성을 가지고 있어, 강우로 인하여 수체내 영양염류(Turner and Rabalais, 2003), 인(Arheimer and Liden, 2000), 질소(Smart *et al.*, 1998)의 농도가 급격히 증가하여 수계에 가해지는 오염물질 부하량도 급격히 증가하는 것으로 보고되고 있다, 그리고 도시화된 유역의 면적이 많은 곳에서는 용존무기인이 많은 영향을 주는 것으로 발표되었다(Osbourne and Wiley, 1988). 이처럼 토지이용의 변화가 수질에 큰 영향을 줄 수 있다는 것을 알고 있지만, 국내에서는 토지이용이 수질오염에 미치는 영향에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 금강 수계를 대상으로 몬순강우 특성(장마전기, 장마기, 장마후기)을 고려한 계절적인 수질 변이 특성을 분석하고, 하천 주변의 토지이용도(산림형 하천, 농지형 하천, 도심형 하천)에 따른 금강 수계의 수질변이에 대한 시기별 수질 특성과 더불어 금강 수계 및 지류들에 대한 시·공간적 수질오염 현황을 분석하여 금강 수계 전체의 수질개선 방안 마련을 위한 핵심적인 자료를 제공하는 데 목적을 두고 있다.

## 재료 및 방법

### 1. 대상 유역

본 연구의 대상유역인 금강은 전라북도 장수군 서사면(소백산맥)에서 발원하여 충북과 충남을 거쳐 근산항으로 유출되는 강으로서, 유역면적은 10,027.5 km<sup>2</sup>, 유로연장 394.79 km로 한강, 낙동강에 이어 국내에서 3번째로 큰 유역에 해당하며, 중서부지역의 주요 용수공급원으로 이용되고 있는 수계이다. 금강 수계 본류의 상류에는 용담댐, 중류에는 대청댐, 하류에는 금강하구둑이 위치하고 있으며, 본류로 유입되는 주요 지류 중 상류에서는 무주남대천, 영동천, 보청천 등이 합류되며, 중류에서 갑천, 미호천, 유구천, 하류에서 석성천, 논산천이 합류되어 서해로 흘러 들어간다. 금강 수계 상류의 오염물질 배출특성을 살펴보면, 임야 및 농지에 의한 비점오염원의 발생부하가 크고, 우리나라 기후 특성상 여름철 집중 강우기에 비점오염원에 의한 유기물이 연 70% 이상의 부하로 유출되고 있는 것으로 보고되었다(유 등, 2005). 금강 수계의 중류에는 대전시를 관통하는 갑천과 청주시를 지나는 미호천이 합류되며, 공주, 부여 등의 중소도시 및 농촌 지역에서 발생한 각종 오염물질들을 함유한 지류가 유입되어 금강 본류의 수질을 크게 악화시키고 있다(양과 김, 1990;

김 등 1998a; 유 등, 1999; 김, 2002). 최근에는 중부권의 발전으로 인구의 증가 및 지역적 집중화가 일어나 산림과 농경지는 감소하고, 오염 부하량이 상대적으로 큰 대

지 면적은 증가되고 있는 추세이다(김, 2002). 이로 인하여 발생된 오염물질이 금강으로 유입되면서 금강의 수질에 심각한 문제가 대두되어지고 있어 금강 수계의 수질개선에 대한 대책 마련이 필요한 실정이다. 이에 따라 금강 수계의 시·공간적인 수질변화 특성과 토지 이용도에 따른 수질 변화 특성을 분석하기 위하여 금강 수계의 주요 지점을 대상으로 하였으며, 조사 지점은 환경부에서 운영 중인 금강 수계의 수질측정망 대표지점을 기준으로 하여 83개 조사지점을 선정하였다(Fig. 1). 또한 금강 수계에서 본류에 대한 지류의 영향 분석을 위해 본류 9 지점(S2, S5, S13, S23, S24, S61, S67, S74, S81) 및 주요 9개 유입지천(T1~T9)으로 구분하여 비교·평가하였다(Fig. 2).

2. 수질자료

금강 수계의 수질자료를 분석하기 위하여 2003년 1월부터 2007년 12월까지 환경부에서 운영 관리하는 물환경 정보시스템의 월별자료를 수집하여 분석하였다. 자료 분석에 이용된 수질변수는 수온(Temperature), 용존산소량(Dissolved oxygen, DO), 생물화학적 산소요구량(Biochemical oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand, COD), 부유물(Suspended solids, SS), 총질소(Total nitrogen, TN), 총인(Total phosphorus, TP), 전기전도도(Electric conductivity, EC)로서 8가지 항목을 선정하였다. 금강 수계의 강우량은 2003년 1월부터 2007년 12월까지 기상청의 데이터를 이용하여 청주, 대전, 보은 부여, 금산 등 5곳의 평균 강우량을 사용하였다. 또한 강우량의 계절적 특성을 감안하여 5~6월의 장마전기(Premonsoon, PRE), 7~8월의 장마기(Monsoon, MON), 9~10월의 장마후기(Postmonsoon, POS)로 구분하여 분석하였다.

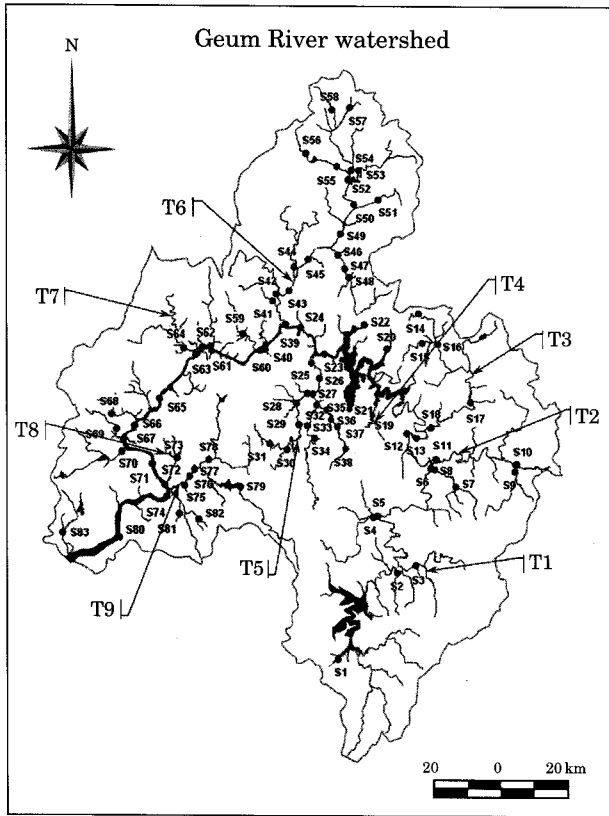


Fig. 1. The map showing the sampling sites of Geum River watershed. respectively (T1: Muju Namdae stream, T2: Yeongdong stream, T3: Bocheong stream, T4: Okcheon stream, T5: Gap stream, T6: Miho stream, T7: Yoogu stream, T8: Seokseong stream, T9: Nonsan stream).

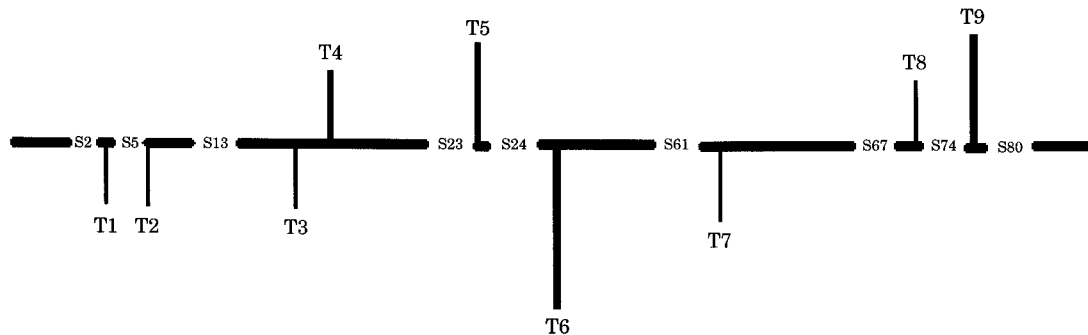


Fig. 2. The diagram of the mainstream, and tributary streams to Geum River watershed. In the diagram S and T indicate the mainstream site (S), and tributary stream (T), respectively (T1: Muju Namdae stream, T2: Yeongdong stream, T3: Bocheong stream, T4: Okcheon stream, T5: Gap stream, T6: Miho stream, T7: Yoogu stream, T8: Seokseong stream, T9: Nonsan stream).

**Table 1.** Classifications of landuse types in Geum River watershed. The forest stream, agricultural stream, and urban stream were designated as a forest, agricultural, and urban dominance of >40% total landuse, respectively.

Watershed types	Sampling sites	Total No. of sampling sites
Forest stream	S1, S2, S3, S5, S6, S9, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20, S21, S22, S23, S24, S34, S54, S56, S79	25
Agricultural stream	S4, S7, S8, S29, S30, S31, S41, S44, S49, S50, S51, S52, S53, S55, S57, S58, S59, S60, S61, S63, S64, S65, S66, S68, S69, S71, S72, S73, S74, S75, S76, S77, S78, S81, S82, S83	36
Urban stream	S25, S26, S27, S28, S32, S33, S35, S36, S37, S38, S39, S40, S42, S43, S45, S46, S47, S48, S62, S67, S70, S80	22

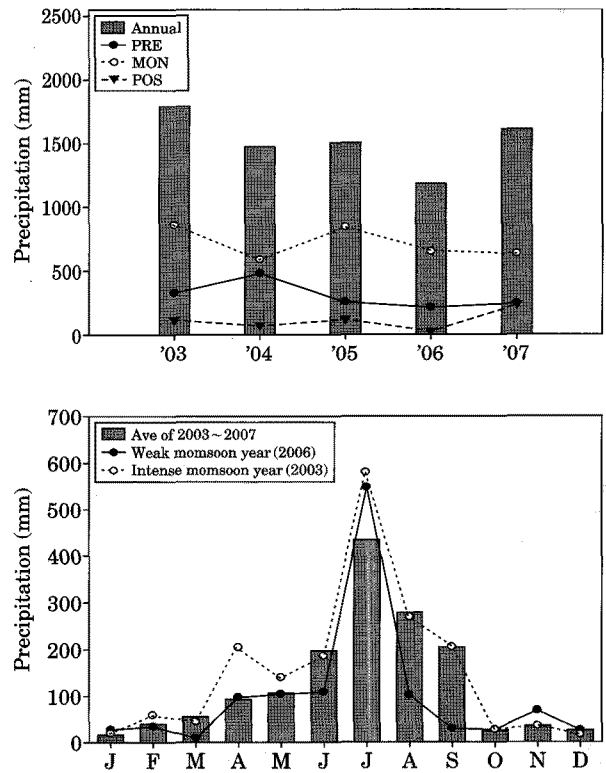
**3. 토지이용도 및 통계 분석**

금강 수계의 조사 지점 주변의 토지이용 현황이 수환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 1차적으로 현장조사를 실시하였고, 1:50,000의 지도를 이용하여 수환경에 영향을 미칠 수 있는 요소들을 조사하였다. 또한, 인공위성 사진(1:20,000)을 활용하여 조사 지점의 토지이용 유형을 산림 면적률, 농업지역 면적률, 주거·상업지역 면적률에 따라 산림형 하천(Forest stream, Fo), 농지형 하천(Agricultural stream, Ag), 도심형 하천(Urban stream, Ur)으로 구별하였고(Table 1), 각 지점별 상·하류 200m 범위에서 하안으로부터 500m 이내의 수변구역 면적을 계산하여 토지이용 유형에 따른 상대비율을 분석하였다. 인공위성 사진은 국토지리정보원(National Geographic Information Institute, NGII)에서 측량한 사진을 사용하였다. 금강 수계의 수질 변수들과 토지이용도와의 상관관계 및 조사지점 간의 유의성 검정을 위하여 PC-ord for Windows Ver. 4.25 (McCune and Mefford, 1999)를 이용한 유사도 분석(Cluster analysis)과 군집내의 핵심인자분석을 위해 주성분분석(Principal component analysis)을 실시하였다.

**결과 및 고찰**

**1. 금강 수계의 강우특성**

금강 수계의 2003년부터 2007년까지 측정된 5년 동안의 강우량을 분석한 결과, 연평균 강우량은 1,512mm이며, 대부분의 강우가 장마기인 7~8월에 집중 분포하는 것으로 나타났다. 7~8월의 강우량이 712mm로 연평균 강우량의 절반 정도가 장마기에 집중 분포하여 장마전기 및 장마후기와 뚜렷한 차이를 보였다(안, 2001; 안과 신, 2005; 강 등, 2006). 배 등(2007)의 연구결과에서 하절기 집중되어 내린 강우가当年的 총강우량을 결정한다고 보



**Fig. 3.** Total annual precipitation along with seasonal means of premonsoon (PRE), monsoon (MON), and postmonsoon (POS) and monthly precipitation with weak monsoon (2006) and intense monsoon (2003) year.

고하고 있으며, 이러한 특성이 해당 수계의 이·화학적 수질 측정값에 직접적인 영향을 준다는 결과가 폭넓게 보고되고 있다(An and Jones, 2000; An, 2001; An and Kim, 2003). 장마기 동안 강수량이 355 mm로 장마전기(143 mm)나 장마후기(122 mm)에 비해 월등히 강수량이 많음을 알 수 있었다(Fig. 3a). 연별 총 강수량은 2003년부터 2007년까지 1,000 mm 이상의 강우량을 보였으며,

특히 2003, 2005, 2007년에는 1,500 mm 이상으로 비교적 높은 강우량을 보였다. 강우량이 가장 많았던 해(2003년)의 강우량은 1,791 mm이었으나, 적었던 해(2006년)에는 1,180 mm로 611 mm 차이를 보였다. 5년 동안의 평균 월별 강우량을 비교한 결과, 특히 4~6월과 8~9월의 강우량에서 큰 차이를 보여 월별 편차가 큰 것으로 나타났다(Fig. 3b).

## 2. 토지이용도에 따른 수질 변화 특성

금강 수계의 각 지점에서 2003~2007년까지 5년 동안 측정된 8가지 수질자료를 분석한 결과(Table 2), 8개의 수질변수 중 BOD, COD, TN, TP, SS, EC 상류에서 하류로 갈수록 그 수치가 증가하는 양상을 보였다. 이는 하류로 갈수록 유속이 감소하기 때문에 입자성 영양염류의 침전율이 증가하고, 각 지류의 유입으로 인하여 수체 내에 영양염류 및 오염물질이 증가하기 때문인 것으로 사료되었다. 수온은 산림형 하천에서 가장 낮은 값을 보였으며, 도심형 하천에서 가장 높은 값을 보였다(Fig. 4a). 이는 산림형 하천의 경우 하천 주변에 식생이 잘 발달되어 수관(Canopy)을 형성하고 있기 때문에 평균 수온이 낮은 것으로 나타난 반면(최 등, 2000), 도심형 하천에서는 하천 주변에 식생 대신에 시멘트나 아스팔트로 덮여 있는 불투수층(Impermeability layer)이 많기 때문에 지표열로 인하여 수온이 높아진 것으로 사료된다. DO의 농도는 농지형 하천이 다른 하천에 비하여 낮은 값을 보였는데(Fig. 4b), 이는 농지형 하천이 BOD나 COD의 농도가 상대적으로 높기 때문에 소비되는 DO량이 감소하였기 때문인 것으로 사료된다. BOD를 기준에 의거하였을 때, 금강 수계의 수질은 전체 평균값은 2.39 mg L<sup>-1</sup>로 환경부의 하천수 수질환경기준 중 II등급(약간 좋음)에 해당하는 수준이었으나, 조사지점에 따른 편차가 큰 것으로 나타났다(Table 2). 예를 들면 상류에 위치한 S3(무주남대천) 지점의 0.71 mg L<sup>-1</sup>에서 평균 BOD값에 비하여 S26(갑천4) 지점의 경우 평균 BOD값이 6.90 mg L<sup>-1</sup>로서 약 10배 이상의 농도 차이를 보이는 것으로 나타났다. 영양염류인 TP와 TN의 평균 농도는 환경부의 하천수 수질환경기준에 의거할 때 각각 140 µg L<sup>-1</sup> 및 3.81 mg L<sup>-1</sup>로 Ib등급(좋음)과 II등급(약간 좋음) 수준으로 나타났으며 최고값이 각각 930 µg L<sup>-1</sup>과 12.75 mg L<sup>-1</sup>로 나타났다. 최고값이 나타난 지점은 S25(갑천5)와 S26(갑천4) 지점으로 이 지점은 대전시를 관통하여 금강본류에 합류하는 도심형 하천인 갑천에서 다량의 오염물질이 유입되어 금강 수계의 수질악화에 큰 원인으로 작용하고 있는 것으로 나타났

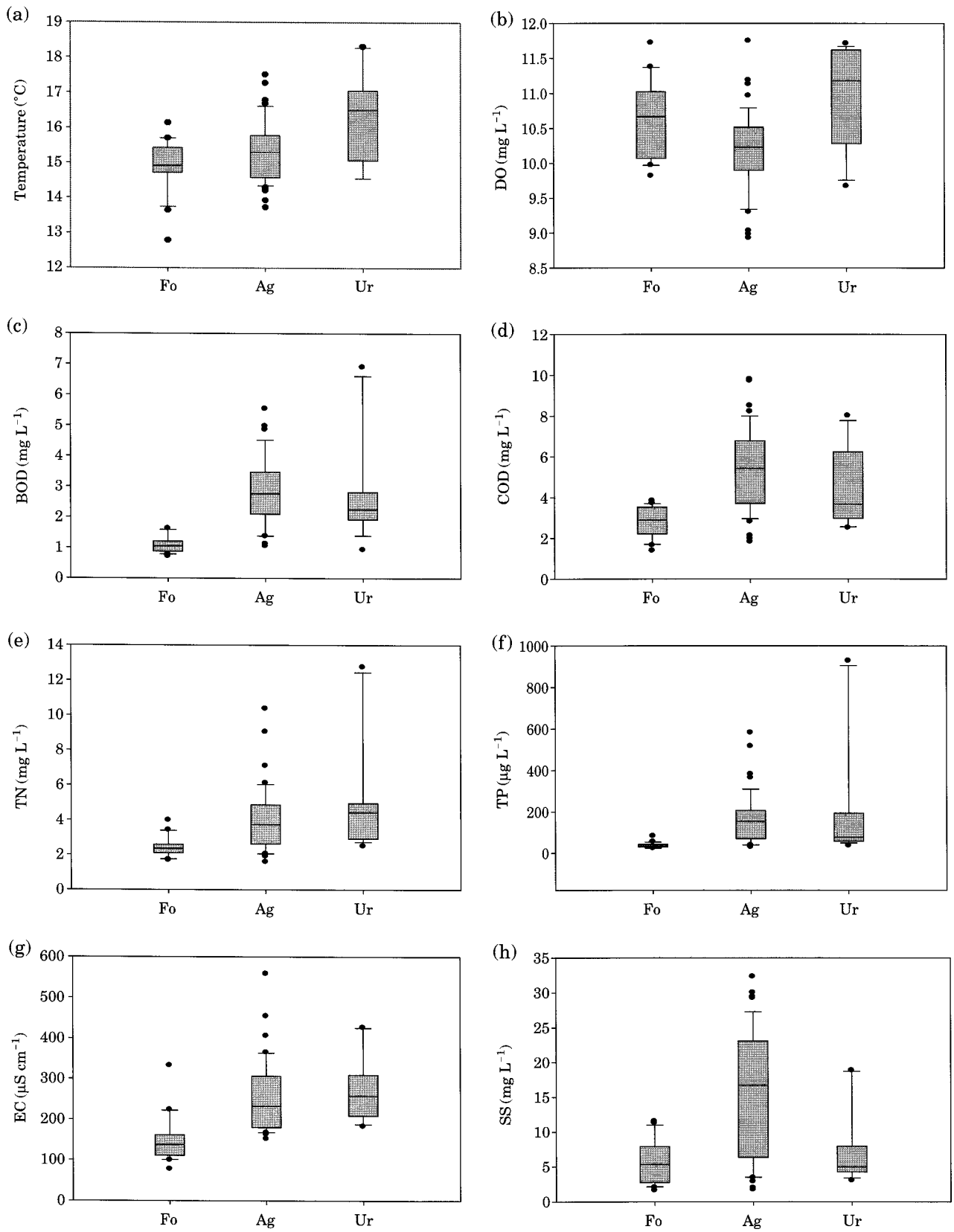
**Table 2.** Overall means ± S.D. (standard deviation) and range (minimum-maximum) of physical, chemical, and biological parameters in Geum River watershed during 2003~2007.

Parameter	Means ± S.D.	Range
Water temperature (°C)	15.40 ± 1.03	12.80 ~ 18.32
DO (mg L <sup>-1</sup> )	10.44 ± 0.66	8.93 ~ 11.75
BOD (mg L <sup>-1</sup> )	2.39 ± 1.32	0.71 ~ 6.90
COD (mg L <sup>-1</sup> )	4.51 ± 2.00	1.38 ~ 9.80
TN (mg L <sup>-1</sup> )	3.81 ± 2.09	1.59 ~ 12.75
TP (µg L <sup>-1</sup> )	140.05 ± 160.45	20 ~ 930
EC (µS cm <sup>-1</sup> )	230.03 ± 89.67	77 ~ 558
SS (mg L <sup>-1</sup> )	11.16 ± 8.36	1.6 ~ 32.3

(DO=Dissolved oxygen, BOD=Biochemical oxygen demand, COD=Chemical oxygen demand, TN=Total nitrogen, TP=Total phosphorus, EC=Electric conductivity, and SS=Total Suspended solids)

다. 또한 EC의 평균값은 230 µS cm<sup>-1</sup>이었으며, 범위는 77~558 µS cm<sup>-1</sup>로서 지점별로 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. SS의 농도도 평균 11.2 mg L<sup>-1</sup>이었으며, 범위는 1.6 mg L<sup>-1</sup>~32.3 mg L<sup>-1</sup>으로 나타나 EC와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다(Table 2).

금강유역의 수질과 토지이용 간의 상관성을 분석한 결과, BOD와 COD 및 SS의 농도는 농지형 하천이 산림형 하천과 도심형 하천에 비하여 높은 농도를 보이는 것으로 나타났다. BOD의 경우 농지형 하천의 평균 농도 값이 약 3.0 mg L<sup>-1</sup>로 산림형 하천의 평균값(1.2 mg L<sup>-1</sup>)보다 2배 이상 높은 것으로 나타났으며, 도심형 하천의 평균 농도도 2.3 mg L<sup>-1</sup>로 비교적 높은 값을 보였다(Fig. 4c). COD 농도 변화는 BOD와 비슷한 양상을 보이는 것으로 나타났다(Fig. 4d). 하천의 대표적인 부영양화 지표인 TN, TP와 EC는 농지형 하천과 도심형 하천에서 높은 농도를 보이는 것으로 나타났으며, 매우 유사한 양상을 보이는 것으로 나타났다. TN의 경우 최고값이 산림형 하천에서는 4 mg L<sup>-1</sup> 이하인 반면, 농지형 하천과 도심형 하천에서는 최고값이 10 mg L<sup>-1</sup> 이상으로 나타나 산림형 하천에 비하여 2배 이상 높은 농도를 보이는 것으로 나타났다. 도심형 하천의 경우에는 주변 도시의 생활하수와 산업 폐수로 인한 유입이 가장 큰 요인으로 나타난 연구(이 등, 1999; 오와 고, 2003)들과 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 4e). 또한 TP의 농도도 농지형 하천과 도심형 하천에서 높은 값을 나타냈는데(Fig. 4f), 이는 오염물질의 배출 구조가 비교적 단순하기 때문에 강우로 인하여 수계로 유입되는 오염물질의 부하량도 급격히 증가되기 때문에 이와 같은 결과를 보이는 것으로 사료되었다(정 등, 1997; 이 등, 1999; 박, 2003). EC는 산림형 하천에



**Fig. 4.** Changes of water quality, based on landuse patterns of forest stream (Fo), agricultural stream (Ag), and urban stream (Ur) during 2003~2007.

서 평균  $150 \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 비교적 낮은 농도를 보였으나, 농지형 하천에서  $221 \mu\text{S cm}^{-1}$ , 도심형 하천에서  $276 \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 나타나 하천이 도심화 될수록 높은 농도를 보였다(Fig. 4g). 특히 EC 농도의 최고값이 농지형 하천에서  $558 \mu\text{S cm}^{-1}$ 로 나타나 전체 평균값보다 2배 이상 높은 값을 보이는 것으로 나타났다. SS의 농도는 농지형 하천에서 확연히 높은 값을 보였는데(Fig. 4h), 이는 주변 농경지에서 발생된 부유물이 여름철 집중호우로 인하여 많은 양이 하천으로 유입되기 때문인 것으로 판단된다(한 등, 1997).

### 3. 지점별 수질 변화 특성

금강 수계 본류의 수질 분석에 따르면, 대청댐을 기점으로 상류에 비하여 하류에서 수질이 급격히 악화되며, 특히 갑천과 미호천이 합류된 이후의 지점에서 오염물질의 농도가 크게 증가하는 것으로 나타났는데, 이 구간에서의 BOD, COD, TN, TP, EC 및 SS의 농도는 다른 지류에 비해 월등히 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 다른 연구(김 등, 1998b; 임, 1999; 이 등, 2005; 안과 양, 2007; 이 등, 2010)들과 동일한 양상을 보이는 것으로 나타났으며, 금강 수계의 수질을 개선하기 위해서는 이 지류(갑천, 미호천)에 대한 오염물질 배출 구조에 대한 관리가 시급한 것으로 사료된다.

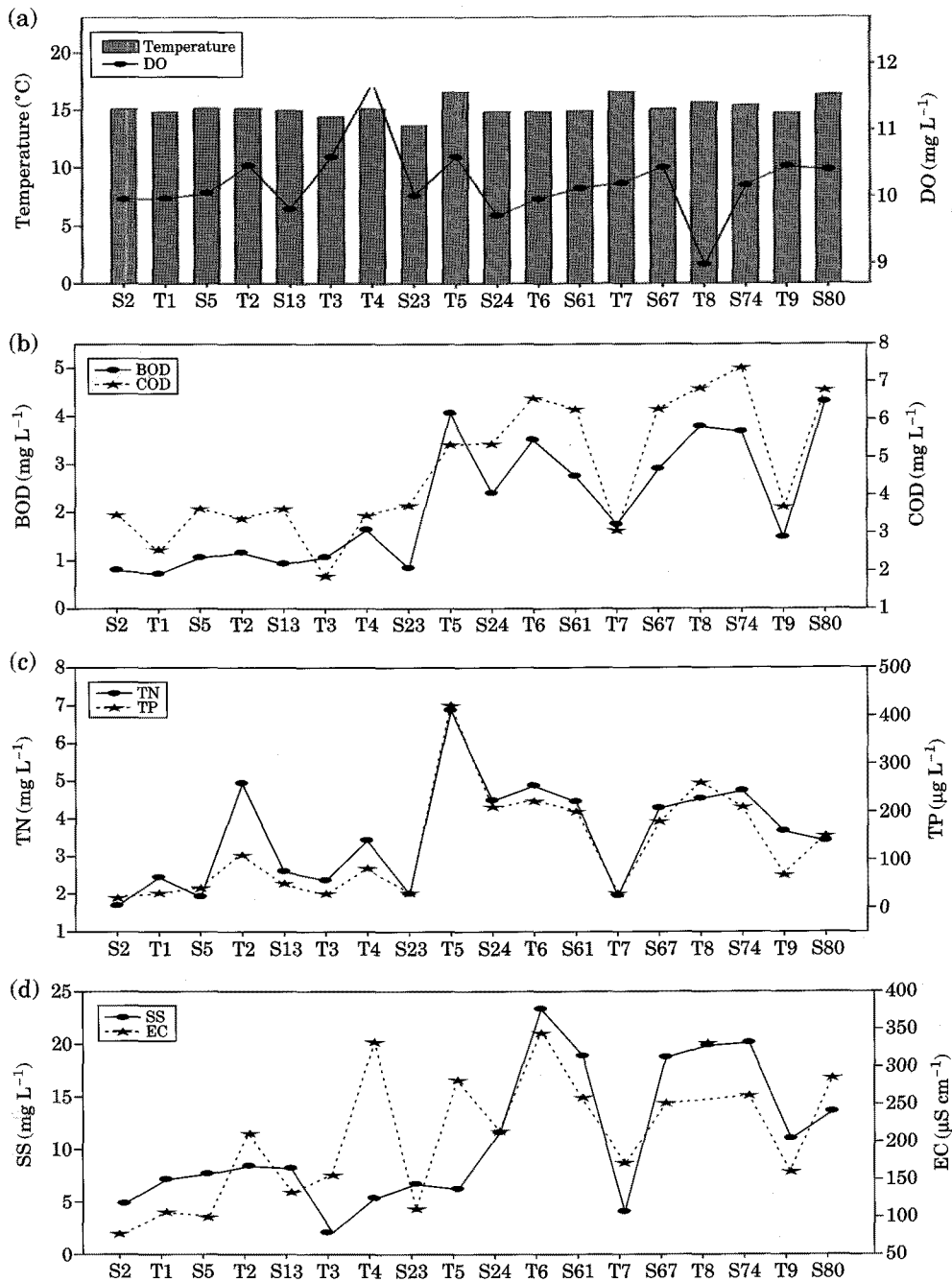
수온은 지점별로 큰 변화를 보이지는 않았지만 하류로 갈수록 점차 증가하는 양상을 보였다(Fig. 5a). DO는 T4에서 옥천천 합류 후 증가되는 것으로 나타난 반면, T8에서 부영양화 된 석성천 합류로 인하여 DO가 급격히 감소한 것으로 나타났다(Fig. 5a). 하천의 수질오염의 지표로 사용되는 BOD와 COD는 비교적 낮은 농도를 유지하다가 T5(갑천)와 T6(미호천) 지점에서 급격히 증가한 후 하류까지 비교적 높은 농도를 유지하는 양상을 보였다(Fig. 5b). 영양염류의 지표로 사용되는 TN와 TP는 상류에서는 비교적 낮은 농도를 보이다가 T5(갑천)에서 각각  $7 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $400 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 최고값을 보인 후 T6(미호천)에서 다시 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 5c). 이처럼 금강 중·하류의 수질악화는 주요 지류인 갑천과 미호천이 합류됨으로써 두 지류 유역의 점오염원으로부터 고농도의 영양염류(N, P)가 금강 수계로 유입되기 때문인 것으로 나타났다(신과 조, 2000). 또한 농경지가 많은 하류부에서도 TN, TP가 높은 농도를 보이는 것으로 나타났으며(최, 1993), EC와 SS의 농도도 영양염류의 유입이 증가되는 T5, T6 지점에서 높은 농도를 보이는 것으로 나타나(Fig. 5d), 금강의 수질 보전을 위해서 이 지역에 비점원 오염에 대한 대책마련이 시급한 것으로 사료된다.

### 4. 연별 수질 변화 특성

금강유역의 연별 수질 변화 특성에 따르면, 수온, DO, EC는 점차 증가하는 경향을 보인 반면, SS의 농도는 점점 감소하는 추세를 보였고, 나머지 수질 변수(BOD, COD, TN, TP)들은 큰 변화 양상을 보이지 않았다. 수온은 도심형 하천이 다른 하천에 비하여 높은 값을 보였으며(Fig. 6a), DO에서도 비슷한 양상을 보였다(Fig. 6b). BOD는 5년 동안 큰 변화를 보이지 않았으며, 산림형 하천의 농도는 약  $1 \text{ mg L}^{-1}$ 을 유지하여 매우 양호한 상태이나, 농지형 하천과 도심형 하천에서는  $2.5 \text{ mg L}^{-1}$  이상으로 산림형 하천에 비해 2배 이상 높은 수치를 나타냈다(Fig. 6c). 도심형 하천의 COD의 농도는 2003년에 증가하여  $4 \text{ mg L}^{-1}$ 을 넘어선 이후 2007년까지 높은 농도를 유지하는 것으로 나타났으며(Fig. 6d), 농지형 하천의 COD는 5년 동안  $5 \text{ mg L}^{-1}$  이상의 농도가 지속되면서, 산림형 하천보다 2배 정도 높은 값을 나타내 농지형 하천의 수질에 대한 관리가 필요한 것으로 사료된다. TN의 농도는 2004년 이후에 약간의 감소하는 추세를 나타냈는데, 농지형 하천의 경우에는 2007년에 다시 증가하는 양상을 나타냈다. 도심형 하천의 TN 농도는 2004년 이후  $5 \text{ mg L}^{-1}$  이상의 농도로 산지형 하천의 농도보다 2배 이상 높은 값을 유지하였으며, 농지형 하천보다도 높은 농도를 나타냈다(Fig. 6e). TP의 농도는 도심형 하천에서 2003년부터 꾸준히 증가하여 농지형 하천보다 높은 농도를 유지하였는데, 2006년에 최고값  $250 \mu\text{g L}^{-1}$ 을 기록하였다(Fig. 6f). 이는 점차 감소하는 경향을 나타낸 산림형 하천과 대조적이며, 농도 차이가 무려 4배 이상이나 높은 값을 보였다. EC의 농도는 2004년 이후부터 증가하였는데, 이후 도심형 하천의 농도가 가장 높은 값으로 나타났는데, 평균 농도가  $300 \mu\text{S cm}^{-1}$ 에 다다르면서 산림형 하천의 평균 농도보다 2배 정도 높은 것으로 나타났다(Fig. 6g). SS는 시간이 지날수록 점차 감소하는 양상을 보였으며, 농지형 하천에서 가장 높은 값으로 나타났다. 반면, 산림형 하천과 도심형 하천에서는 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 6h). 이러한 결과는 농지형 하천 주변의 농경지에서 여름철 집중강우 시 다량의 부유성 물질이 유입되기 때문으로 사료된다.

### 5. 계절별 수질변화 특성

금강 수계의 계절별 수질 변화 특성을 분석한 결과, BOD, COD, TN, TP, EC의 농도가 장마기인 7~8월에 감소하는 경향을 나타낸 반면, SS는 같은 시기에 증가하는 것으로 나타났다. 이는 여름철 집중 강우로 인하여 수체 내 오염물질이 희석 효과(Dilution effect)로 인하여



**Fig. 5.** Spatial variations of water quality along the main axis of the Geum River. The each data indicates the average of 2003~2007. In the figure S and T indicate mainstream and tributary stream, respectively.

상대적으로 농도가 낮아지기 때문인 것으로 사료되었다 (신과 조, 2000; 오와 고, 2003; 강 등, 2006). DO는 온도와 역 상관관계를 나타냈으며, 3월 이후부터 감소하기 시작해서 7~8월에 최소값을 나타냈다(Fig. 7a, b). BOD와 COD는 유사한 패턴을 나타냈는데 1월부터 5월까지 증가하는 양상을 보이다가, 6월 이후에 감소하는 것으로 나

타났다(Fig. 7c, d). TN과 TP의 농도는 장마기 감소하는 추세를 보였는데 특히 도심형 하천의 경우에 변화 폭이 크게 나타났다(Fig. 7e, f). 이는 도심지역은 아스팔트나 시멘트로 포장된 불투수층 지역이 많기 때문에 여름철 강우에 의해 도로변의 오염물질이 땅 속으로 스며들지 않고, 우수관 또는 하수관으로 통하여 하천으로 직접 유



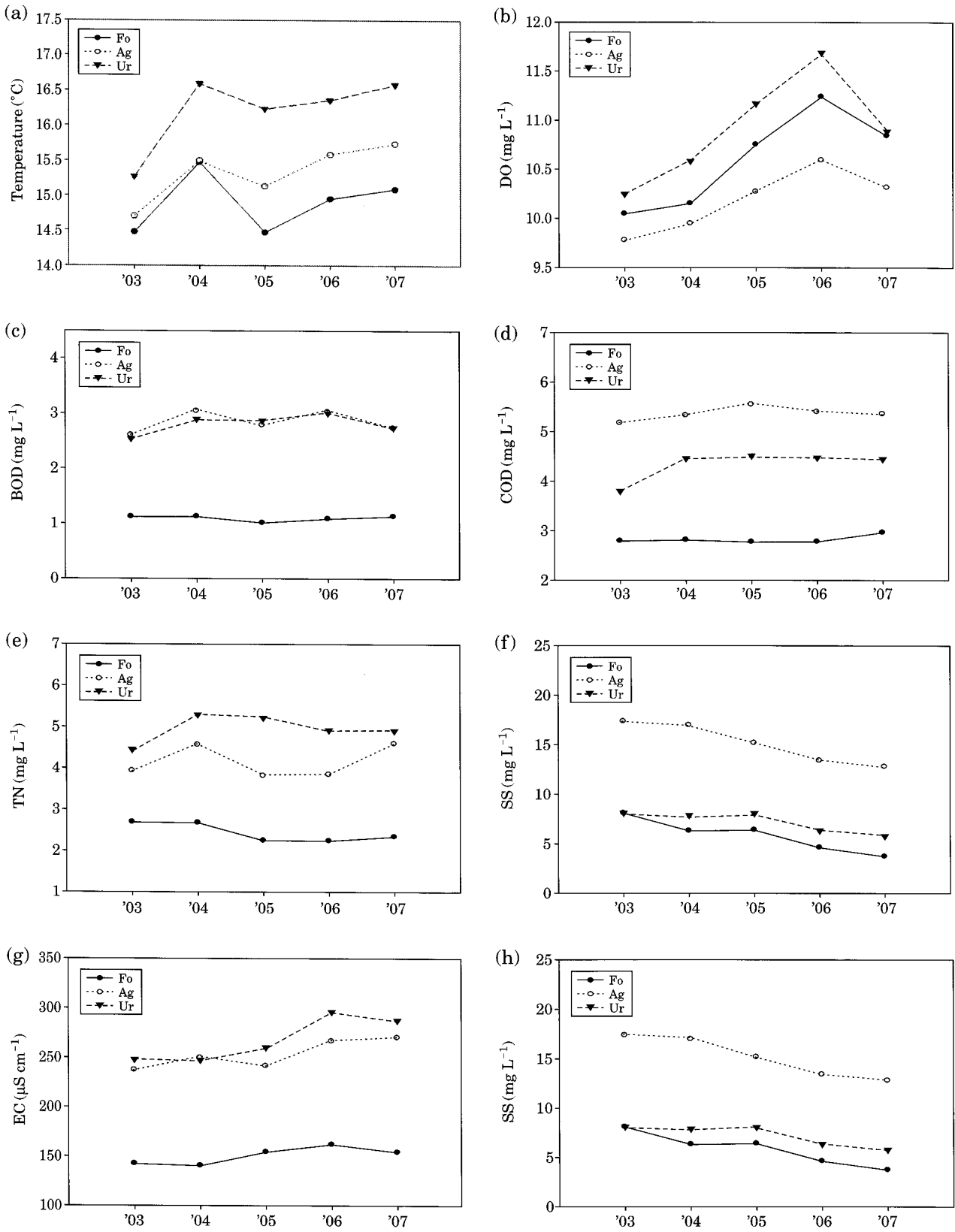
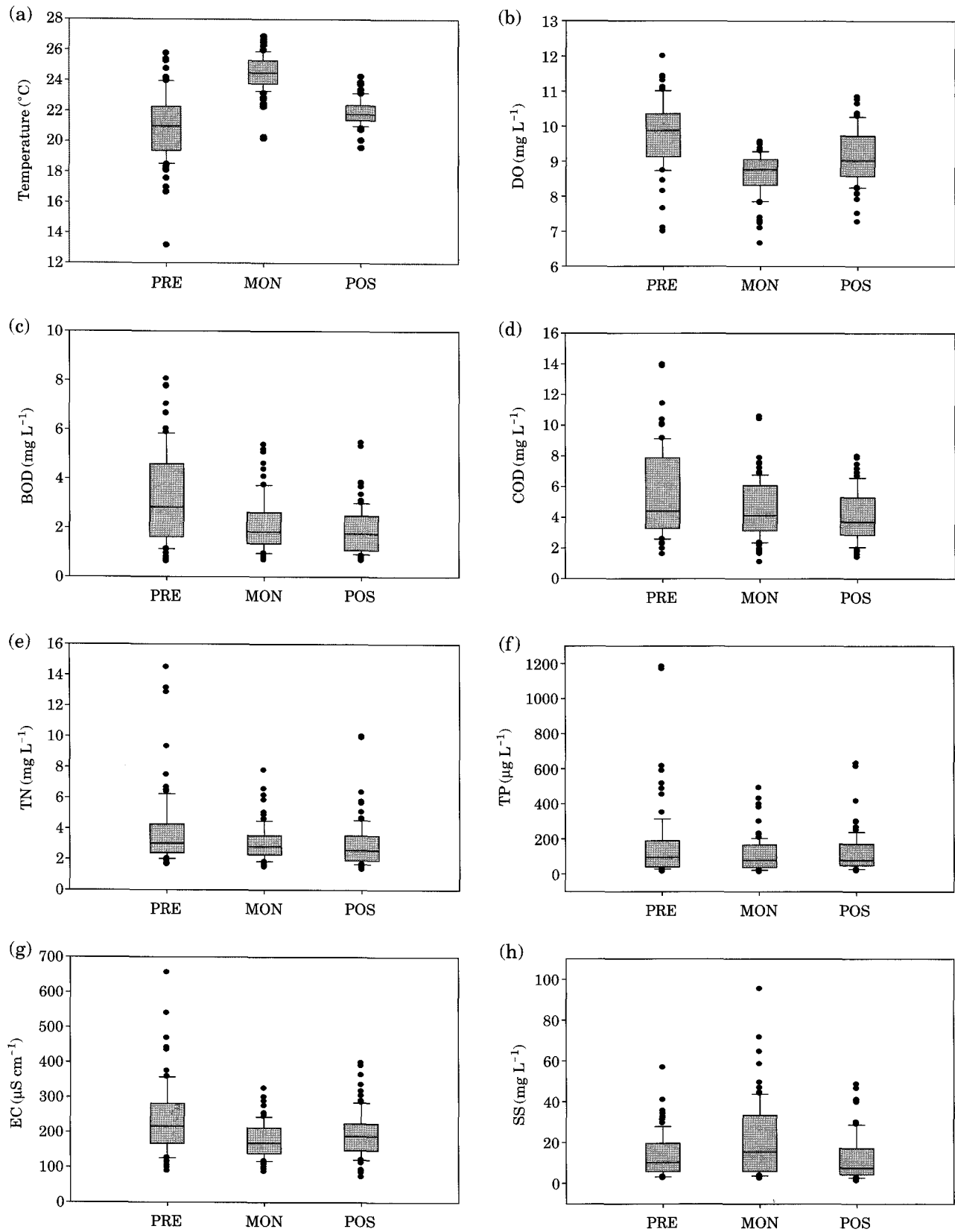


Fig. 6. Interannual variation of water quality the forest stream (Fo), agricultural stream (Ag), and urban stream (Ur).



**Fig. 7.** Seasonal mean values of water quality in the premonsoon (PRE), monsoon (MON), postmonsoon (POS) during 2003~2007.

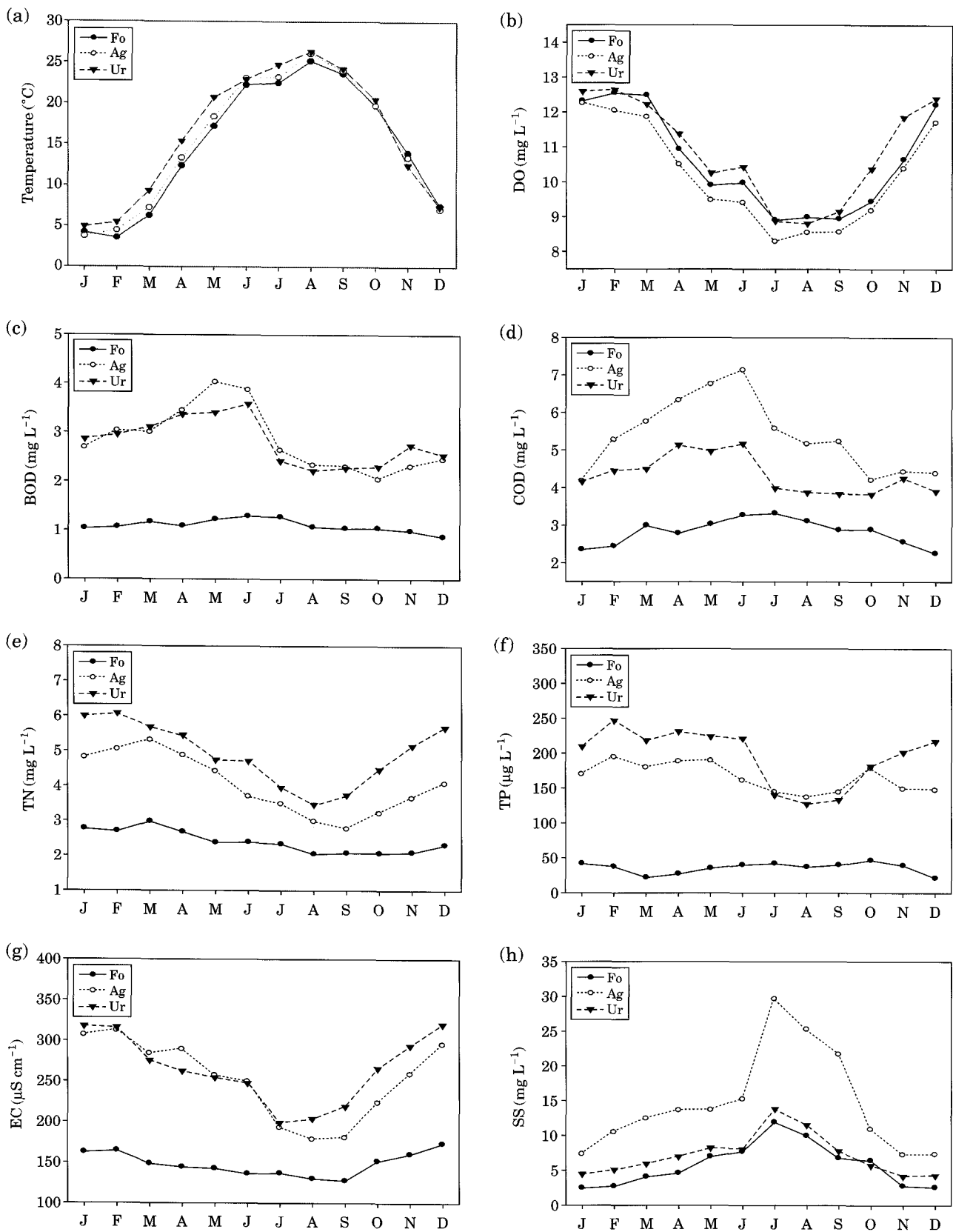


Fig. 8. Monthly variations of water quality in the forest stream (Fo), agricultural stream (Ag), and urban stream (Ur).

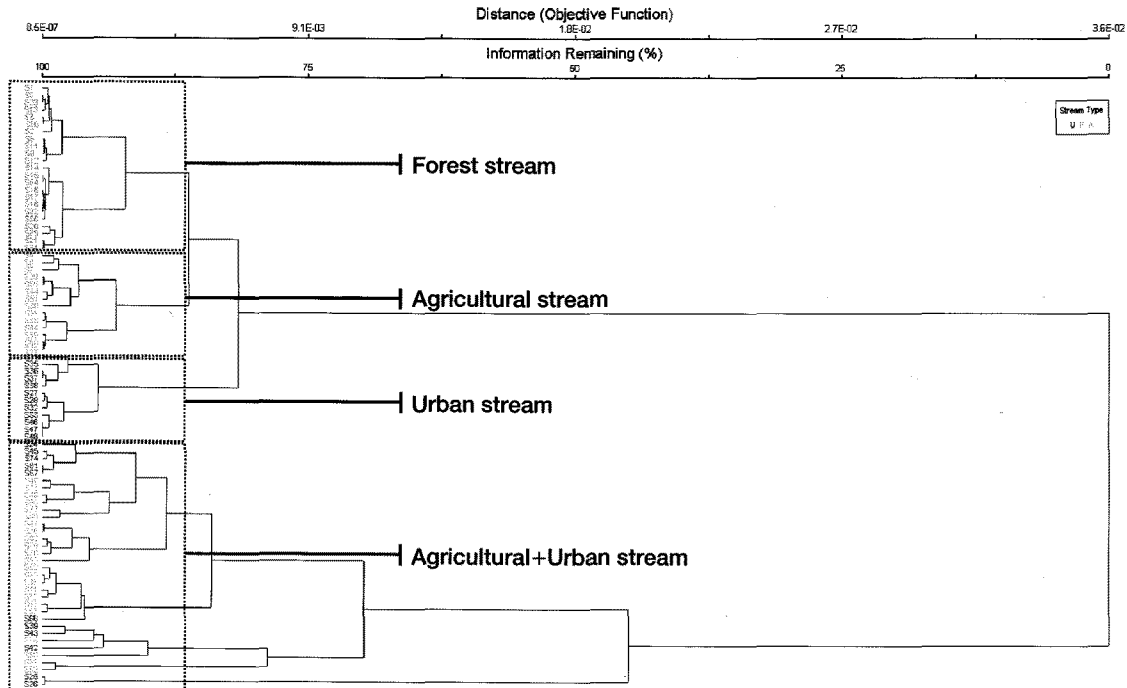


Fig. 9. The cluster analysis using the similarity values among the sampling sites in Geum River watershed.

입되기 때문이다(Novotny and Olem, 1994). 월평균 EC는 장마기에 급격히 감소한 후, 장마기 이후에 다시 증가하는 양상을 나타내었다(Fig. 7g). SS의 농도는 6월까지 점차적으로 증가하다가 장마기인 7월에 급격히 증가하면서 최고값을 기록하였다(Fig. 7h). 특히 농지형 하천의 경우 장마기에 큰 폭으로 증가하는 양상을 보였다.

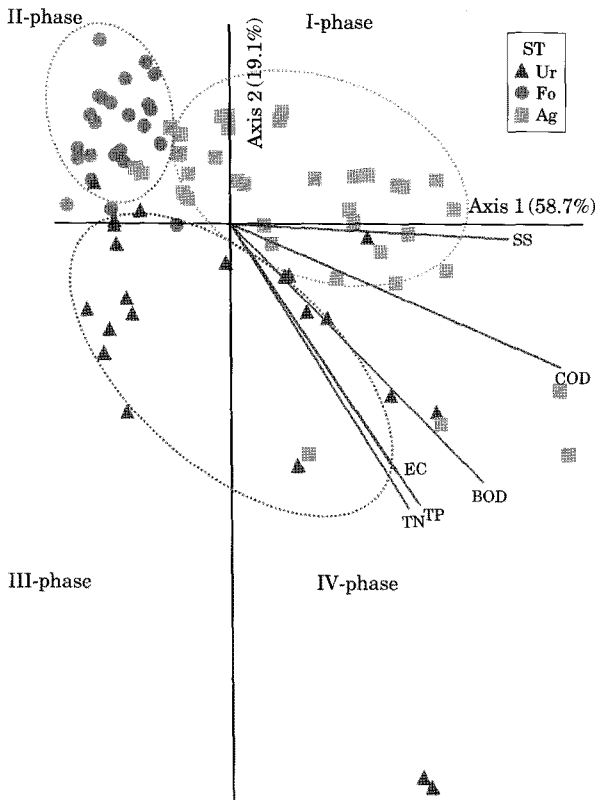
토지이용에 따른 계절별 수질 특성을 분석 결과, 온도와 DO는 차이가 미비한 것으로 나타났으나(Fig. 8a, b), BOD, COD, TN, TP, EC 및 SS의 농도에서는 팔목할만한 차이를 보여 매우 대조적인 비교가 되었다. 산림형 하천의 BOD, COD는 계절에 따른 변화의 폭이 적었으나 농지형 하천과 도심형 하천에서는 1월부터 6월까지 꾸준히 증가하다가 7월에 급격히 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 8c, d). TN과 TP의 농도는 강우로 인해 농업폐수 유입량이 많아져 증가할 것으로 예상되었으나, 장마기에 점차 감소하는 추세를 보였다(Fig. 8e, f). 이러한 현상은 도시에 위치한 공단의 공단폐수 및 인구의 집중화로 인한 생활하수 등에 다량의 N, P가 농지형 하천에 비하여 하천으로 많이 유입되기 때문에 오염도가 높아진 상태에서 장마기의 집중 강우의 영향으로 오염물질이 희석되기 때문인 것으로 사료되었다(오 등, 2003; 강 등, 2006). EC의 값은 2월 이후부터 꾸준히 감소하여 장마기에 최소값을 나타낸 후 9월 이후부터 겨울철로 갈수록 높아지는 것으로

나타났으며(Fig. 8g), 유량이 풍부한 여름철에 낮은 양상을 보였다(신과 조, 2000). 산림형 하천에서는 계절에 따른 변화의 폭이 작았으나, 농지형 하천과 도심형 하천에서는 변화 양상이 뚜렷하였다. SS의 농도는 공간별 변화가 유사한 패턴을 보였는데 장마기에 급격히 증가하는 것으로 보아 낙엽이나 농업으로 인한 부식물 및 토사가 빗물에 의해 하천으로 유입되기 때문으로 사료되었다(Fig. 8h).

6. 토지이용도에 따른 조사지점의 수질 특성

금강 수계의 지점들 간의 수질자료를 이용한 각 지점별 유사도 분석(Cluster analysis) 결과, 약 85% 유사도 수준에서 4개의 그룹을 형성하는 것으로 분석되었다(Fig. 9). S1의 22개의 산림형 하천이 I-group, S4의 13개의 농지형 하천이 II-group, S35의 10개의 도심형 하천으로 III-group, 그리고 농지형 하천과 도심형 하천이 섞여 있는 양상을 가진 IV-group으로 대별되었다. 산림형 하천과 도심형 하천의 유사성은 매우 낮았으며, 하류부에 위치한 농지형 하천의 경우 도심형 하천과 유사성이 높기 때문에 같은 그룹으로 포함되었다.

금강 수계의 수질에 영향을 주는 요인을 분석하기 위하여, 토지이용도 특성 및 수질변수 간 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)을 실시한 결과(Fig. 10),



**Fig. 10.** Principal component analysis (PCA) based on the water quality variables of biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), electric conductivity (EC), and suspended solids (SS). In the figure, forest streams (Fo) were largely separated from the urban streams (Ur) along with the intermediate positions of agricultural streams (Ag).

산림형 하천은 II-phase에 집중 분포 하였으며, 도심형 하천의 경우에는 III-phase와 IV-phase에 비교적 넓게 분포함으로써 구별되었다. I-phase에는 농지형 하천이 분포하여 산림형 하천과 도심형 하천의 중간에 위치하는 양상을 보였다. 농지형 하천의 경우 SS와 COD의 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 도심형 하천에서는 TN과 TP, EC의 영향이 큰 것으로 나타나 이에 대한 관리가 필요한 것으로 사료되었다.

**적 요**

본 연구는 금강 수계의 83개 하천 지점에서 이·화학적 수질의 시·공간적 변이를 파악하기 위하여 2003~2007년까지 측정된 환경부의 수질자료를 분석하였다. 이용된

수질 변수는 수온, 용존산소량(DO), 생물학적 산소요구량(BOD), 화학적 산소요구량(COD), 부유물(SS), 총질소(TN), 총인(TP) 및 전기전도도(EC)의 8개 항목으로 이들의 수질특성은 토지이용도, 연별, 계절별, 조사지점별로 큰 변이를 보였다. 각 지점들은 토지이용도에 따라 크게 산림형 하천(Forest stream, Fo), 농지형 하천(Agricultural stream, Ag), 도심형 하천(Urban stream, Ur)의 3가지 유형으로 구분하였다. 대부분의 수질변수들은 장마기인 7~8월 동안 집중강우로 인하여 계절적 변이 폭이 큰 것으로 나타났다. 장마기에 이은 회석현상의 지표로 이용되는 전기전도도와 영양염류인 총질소와 총인은 장마기 강우량과 역상관관계를 보이는 것으로 나타났다. BOD와 COD는 장마기에 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 전기전도도, TN, TP 농도의 최소값도 여름철 장마기에 나타났는데, 이는 집중강우로 하천 유량이 증가하여 이온 및 영양염류가 희석되었기 때문으로 사료된다. 이에 반하여 계절별 SS의 농도는 여름철 강우기 동안에 주로 유입되는 것으로 나타났다. 토지이용도에 따른 계절별 수질 특성을 분석한 결과, BOD, COD, TN, TP 및 SS의 농도에서는 팔목할만한 차이를 보였으며, 농지형 하천(Ag)이 산림형 하천(Fo)과 도심형 하천(Ur)에 비하여 BOD, COD, SS의 농도가 더 높은 것으로 나타났으며, 도심형 하천에서 TN, TP의 농도가 더 높게 나타나 수질악화가 심각한 것으로 나타났다. 결과적으로 토지 이용도는 금강 수계의 수질과 밀접한 상관성을 보이는 것으로 나타났으며, 또한 대전 및 청주의 도심에서 흘러나오는 지천인 갑천과 미호천 등 도심형 하천이 금강 수계 하류의 수질악화에 큰 영향을 주는 것으로 나타나 이런 지류부에서의 효율적인 수질관리가 시급한 것으로 사료되었다.

**인 용 문 헌**

강선아, 안광국. 2006. 영산강 수계의 이화학적 수질에 관한 시공간적 변이 분석. 한국육수학회지 39(1): 73-84.  
 김종구, 유선재, 권정노. 1998b. 금강하구둑 건설 후의 수질변화. 한국수산학회지 31(5): 685-694.  
 김종구. 2002. 통계분석 기법을 이용한 금강수계의 수질평가. 한국환경과학회지 11(12): 1281-1289.  
 김진호, 최철만, 김원일, 이종식, 정구복, 한국현, 류종수, 이정택, 권순국. 2007. 농촌유역의 수질평가를 위한 다변량분석 기법의 이용. 한국환경농학회지 26(1): 17-24.  
 김태철, 서동일, 강 호, 이상명, 오희목, 홍영표, 안승락, 백운기, 김광식, 김재철. 1998a. 금강유역 수질환경 및 자연생태. 도서출판 이화 pp. 22-37  
 박경훈. 2003. 금호강 유역의 환경특성이 하천수질에 미치는

- 영향. 한국지리정보학회지 **6**(4): 58-98.
- 박석순, 박배경, 이상호. 1994. 한강유역의 토지이용도에 따른 지천 수질 비교. 한국수질보전학회지 **10**(1): 10-16.
- 배대열, 양은찬, 정승현, 이재훈, 안광국. 2007. 대청호에서 종적 구배에 따른 영양염류 및 엽록소의 역동. 한국육수학회지 **40**(2): 285-293.
- 신재기, 조경제. 2000. 금강 하구호에서 수질의 계절변동과 오염도. 한국육수학회지 **33**(3): 251-259.
- 안광국, 신일철. 2005. 산간 계류성 하천의 계절적 수질 변동에 대한 몬순 강우의 영향. 한국육수학회지 **38**(1): 54-62.
- 안광국, 양우미. 2007. 금강수계의 수질 특성. 한국육수학회지 **40**(1): 110-120.
- 안광국. 2001. 대형 인공호에서 양이온, 음이온 및 전기전도도의 연 변화에 대한 수리수문학적 중요성. 한국육수학회지 **36**(1): 38-47.
- 양한섭, 김성수. 1990. 금강 하류역에서 수질의 시공간적 변화 특성. 한국수산학회지 **23**(3): 225-237.
- 오강호, 고영구. 2003. 광주광역시 하천수의 수질 및 오염. 한국환경학회지 **12**(3): 287-297.
- 유병철, 유선재, 조주환. 1994. 금강하구에 나타나는 황색수색대의 환경특성. 한국수산학회지 **27**(1): 97-105.
- 유선재, 김종구, 권태연, 이석모. 1999. 금강의 부영양화 현상에 관한 연구. 한국환경과학회지 **8**(2): 155-160.
- 유순주, 김창수, 하성룡, 황종연, 채민희. 2005. 금강 수계 자연 유기물 특성 분석. 한국물환경학회지 **21**(2): 125-131.
- 윤춘경, 이새봄, 정광욱, 한정윤. 2007. 농업용저수지 유역의 토지이용과 수질항목 간의 상관관계 분석. 한국육수학회지 **40**(1): 31-39.
- 이상득, 이길연, 박정규. 2005. 금강 하구의 수리 및 수질 특성에 관한 연구. 한국환경관리학회지 **11**(3): 199-208.
- 이재운, 김지연, 현길수. 2010. 시공간적 금강 유역의 수질변동 분석. 한국수처리학회지 **18**(3): 79-86.
- 이종태, 이진일, 남운규, 한규홍. 1999. 금강 수계 농업용수의 수질. 한국환경농학회지 **18**(2): 122-125.
- 임창수. 1999. 금강유역 14개 관측점의 수질자료를 이용한 수질의 다변량 분석. 한국환경과학회지 **8**(3): 331-336.
- 정광욱, 윤충경, 장재호, 김형철. 2006. 유역의 토지이용과 오염원 현황이 수질특성에 미치는 영향 분석. 한국육수학회지 **39**(1): 41-51.
- 정종배, 김목진, 김정국. 1997. 낙동강 수계 주요 농업지대 소유역의 수질 오염. 한국환경농학회지 **16**(2): 187-192.
- 최병현. 1993. 금강하류부 수질변동에 관한 연구. 전북대학교 환경공학과 석사학위논문.
- 최창현, 한강완, 조재영, 전재철, 김성조. 2000. 금강 수계 남대천유역의 수질변화와 오염부하량. 한국환경농학회지 **19**(1): 26-31.
- 한강완, 조재영, 김성조. 1997. 금강유역 농업지대의 토양 및 수질 오염. 한국환경농학회지 **16**(1): 19-24.
- An, K-G. 2001. Hydrological significance on interannual variability of cations, anions, and conductivity in a large reservoir ecosystem. *Korean Journal of Limnology* **34**: 1-8.
- An, K-G. and D.S. Kim. 2003. Response of lake water quality to nutrient inputs from various streams and in-lake fish-farms. *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.
- Arheimer, B. and R. Liden. 2000. Nitrogen and phosphorus concentrations for agricultural catchment; influence of spatial and temporal variables. *Journal of Hydrology* **227**(1-4): 140-159.
- Bolstad, P.V. and W.T. Swank. 1997. Cumulative impacts of land use on water quality in a Southern Appalachian Watershed. *Journal of American Water Research Association* **33**(3): 519-534.
- Cameron, E.M. 1996. Hydrogeochemistry of Fraser River, British Columbia: seasonal variation in major and minor components. *Journal of Hydrology* **182**: 209-225.
- Collins, R. and A. Jenkins. 1996. The impact of agricultural land use on stream chemistry in the middle Hills of the himalayas. *Journal of Hydrology* **185**: 71-86.
- Fisher, D.S., J.L. Steiner, D.M. Endale, J.A. Stuedemann, H.H. Schomberg, A.J. Franzluebbers and S.R. Wilkinson. 2000. The relationship of land use practices to surface water quality in the Upper Oconee Watershed of Georgia. *Forest Ecology and Management* **128**: 39-48.
- 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.
- Lenat, D.R. and J.K. Crawford. 1994. Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina Piedmont Streams, *Hydrobiologia* **294**(3): 185-200.
- McCune, B. and M.J. Mefford. 1999. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 4.25. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, USA.
- Novotny, V. and H. Olem. 1994. Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution. Van Nostrand Reinold, New York, pp. 1054.
- Osborne, L.L. and M.J. Wiley. 1988. Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed. *Journal of Environmental Management* **26**: 9-27.
- Smart, R.P., C. Soulsby, C. Neal, A. Wade, M.S. Cresser,

- M.F. Billett, S.J. Langan, A.C. Edwards, H.P. Jarvie and R. Owen. 1998. Factors regulating the spatial and temporal distribution of solute concentrations in a major river system in NE Scotland. *The Science of the Total Environment* **221**(2-3): 93-110.
- Tong, S.T.Y. and W. Chen. 2002. Modeling the relationship between land and surface water quality. *Journal of Environmental Management* **66**(4): 377-393.
- Turner, R.E. and N.N. Rabalais. 2003. Linking landscape and water quality in the Mississippi River Basin for 200 years. *BioScience* **53**(6): 563-572.
- 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 15 August 2010,  
Revision accepted 15 September 2010)