

## 돌말(Epilithic Diatom) 지수를 이용한 국내 주요 하천(금강, 영산강, 섬진강)의 생물학적 수질평가

황순진<sup>†</sup> · 김난영 · 원두희<sup>\*</sup> · 안광국<sup>\*\*</sup> · 이재관<sup>\*\*\*</sup> · 김창수<sup>\*\*\*</sup>

건국대학교 환경과학과

<sup>\*</sup>(주)생태조사단 부설 두회자연환경연구소

<sup>\*\*</sup>충남대학교 생명과학부

<sup>\*\*\*</sup>국립환경과학원 환경진단연구부

## Biological Assessment of Water Quality by Using Epilithic Diatoms in Major River Systems (Geum, Youngsan, Seomjin River), Korea

Hwang, Soon-Jin<sup>†</sup> · Nan-Young Kim · Doo Hee Won<sup>\*</sup> · Kwang Kuk An<sup>\*\*</sup> ·  
Jae Kwan Lee<sup>\*\*\*</sup> · Chang Soo Kim<sup>\*\*\*</sup>

Department of Environmental Science, Konkuk University

<sup>\*</sup>Doohee Institute of Ecological Research (DIER), Korea Ecosystem Service (KES), Inc.

<sup>\*\*</sup>School of Bioscience and Biotechnology, Chungnam National University

<sup>\*\*\*</sup>National Institute of Environmental Research (NIER)

(Received 26 June 2006, Accepted 16 August 2006)

### Abstract

The purpose of this study was to assess biological river water quality by using epilithic diatoms at 40 selected sites in Geum, Youngsan, and Seomjin River systems. The sampling and analyses were performed during three seasons including January, April and June in 2005. Various water quality parameters also were analyzed. We attempted to classify the water quality condition by epilithic diatom indices (DAI<sub>po</sub> and TDI) with the results of corresponding analyses of various chemical water quality parameters. A five class system was delivered to describe the water quality condition ranged from "very good" to "very poor." We also proposed a way of classifying water quality condition by combining two diatom indices of DAI<sub>po</sub> and TDI. Our results showed that biomass of epilithic diatoms varied not only seasonally but spatially; it was not likely that winter diatoms represent average water quality condition, due to high concentration of nutrients. Water quality status assessed by diatom indices was generally worse than that assessed by BOD, indicating that BOD standard likely underestimates the biological condition of the water body. Importantly, nutrient-based diatom index (TDI) generally overestimated organic matter-based index (DAI<sub>po</sub>) at most study sites, indicating that diatoms in studied rivers were likely more affected by nutrients than organic matter. Thus, management strategy to improve river water quality in Korea is suggested to emphasize more on the nutrients than organic matters.

**keywords** : Biological assessment, Epilithic diatoms, Indices, Korean rivers, Water quality

### 1. 서론

하천생태계의 중요한 1차생산자인 부착조류는 저서동물의 먹이가 되거나 유기물의 주요 성분이 됨으로써 하천생태계의 물질대사 및 영양단계에서 차지하는 비중이 매우 크다. 이들은 서식지의 교란 후에도 다른 생물군에 비해 회복이 매우 빠르고, 수온, 초식생물의 섭식, 기질의 종류, 영양염, 유속 및 유량 등에 의해 생물량의 변화가 뚜렷하다(Allan, 1995).

부착조류 중에서 하천에 널리 분포하는 저서성 규조류는 높은 광도에도 잘 적응하는 생리적 특성을 보일 뿐 아니라 물환경 변화에 대해 민감하고 기질에 장기간 부착하여 성장함으로써 수질 변화나 오염을 나타내는 지표로 이용되며 생물학적 판정재료로 가치가 높아 하천의 수질을 평가하는데 활용성이 매우 높다(Descy, 1979; Watanabe et al., 1990). 최근 들어 하천 오염의 생물학적 진단 도구로 그 이용 빈도가 높아지고 있다(USEPA, 1999; UNESCO, 2004).

다른 생물군(저서성대형무척추동물, 어류)에 비해 저서성 규조류를 이용한 수질평가의 보편성은 상대적으로 미약하나 오수생물학에서 유기물 오염의 생물학적 진단 도구로서 이미 100 여년 전부터 인식되어 왔다. 1970년대 이후 본격

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
sjhwang@konkuk.ac.kr

적으로 유럽을 중심으로 수질오염과 수환경의 상태를 판정하는 생물학적 재료로서 저서성규조류가 이용되어 왔으며, 오염지수에 대한 연구와 개발 이후 현실적인 수질오염 평가방법으로 적용되었다(Descy, 1979; Lange-Bertalot, 1979; Watanabe et al., 1990; Kelly et al., 1998). 오늘날 전세계적으로 부착조류를 이용하는 수질평가방법을 개발하고 이용하는 사례가 늘어나고 있으며 국가의 대표적인 생물학적 수질평가방법으로 채택하는 사례도 있다(예: Chung, 2004; 프랑스, Omidia 프로그램).

우리나라는 호수보다는 강과 하천이 발달하고, 갈수기와 홍수기가 뚜렷하다. 갈수기 동안 많은 하천들에서 유량이 크게 감소하며, 대부분의 소하천은 건천화되는 특성을 보인다. 홍수기 동안 유량의 증가는 하천변이나 유역으로부터 토양의 침식을 유발하며 이때 유입되는 유사(sediment)는 하천 수질과 생태계에 큰 영향을 미친다. 이처럼 연중 우리나라 하천은 상당한 수문학적·물리학적 교란을 경험하기 때문에 BOD를 포함하는 화학적 요인만으로는 생태계의

건강성을 총체적으로 판정하기에는 크게 미흡하다. 따라서 생태계의 건전성의 평가와 서식지의 상태를 포함하는 수생태계의 종합적 판정을 위해 생물학적 수질평가의 중요성은 매우 지대하다(Davis, 1995).

본 연구는 금강/영산강/섬진강 수계의 하천에서 서식하고 있는 저서성 규조류(돌말: epilithic diatom)를 이용하여 물환경 상태를 생물학적으로 평가하였으며, 이들을 이화학적인 환경요인들과 비교분석하여 생물학적 평가방법의 적용성과 중요성을 제시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 조사 대상하천

본 연구의 조사대상 수계는 금강, 영산강, 섬진강 수계를 포함하였으며, 오염의 정도나 서식지의 특성을 고려하여 총 40개 하천의 지점을 선택하였다(Fig. 1).

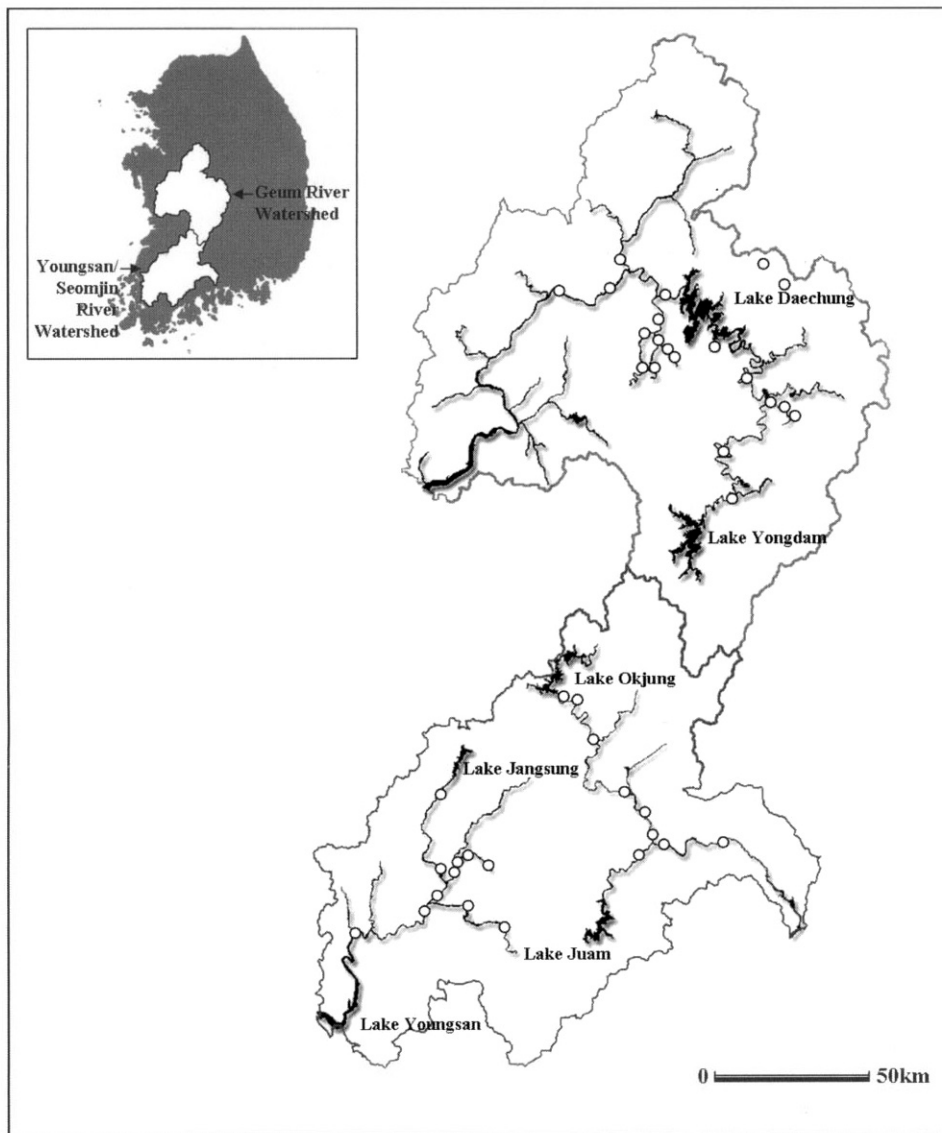


Fig. 1. A map showing the sampling station.

## 2.2. 부착조류 생물량 및 군집분석

부착조류의 생물량 분석을 위해 복수서식지 채집을 수행하였으며, 2005년 1월, 4월, 6월을 포함하여 계절별로 총 3회에 걸쳐 조사하였다. 규조류 분석을 위해 호박돌 및 자갈을 주로 채집하였고, 크기는 지름 10 cm 이내의 표면이 평평한 돌을 지점당 2-5개를 채집하여 기질 표면의 일정 면적을 칫솔로 긁어내어 수질오염공정시험법(환경부, 1997)과 Standard method(APHA, 1994)에 의하여 생물량(Chlorophyll-a)을 측정하였다. 긁어낸 일정량의 부착조류는 U.S. EPA(1995) 방법에 따라 Pleulax를 이용하여 표본을 제작한 후, 600~1,000배의 현미경 배율 하에서 가능한 종 수준까지 동정하였다.

## 2.3. 이화학적 수질항목 분석

이화학적 항목 중 수온, DO, pH 전기전도도는 현장에서 측정하였으며, 각각의 항목은 DO meter (YSI-model 58), pH meter (Horiba-D-22), Conductivity meter (Horiba- ES-51)로 측정하였다. 탁도는 실험실로 운반한 즉시 Turbidity meter (Hach-2100N)를 이용하여 측정하였다. 화학적 수질항목의 분석을 위해 조사지점의 물시료는 산으로 세척한 2 L 플라스틱 병에 담아 냉장보관하여 실험실로 운반하였다. COD, BOD, SS, TN, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, TP, PO<sub>4</sub>-P은 수질오염공정시험법(환경부, 1997)에 의해 측정하였다.

## 2.4. 수질오염지수의 계산

### 2.4.1. 유기오탁 지수(DAIpo: Diatom Assemblage Index of Organic Water Pollution)

DAIpo의 구성항목은 조사지점에서 발견된 호청수성종과 호오탁성종의 상대풍부도에 근거하고 있으며 다음 식에 의해 계산되었다. 호청수성종 및 호오탁성종에 대한 지표종 구분은 Watanabe 등(1990)이 제시한 부착조류의 구분을 따랐다. DAIpo의 범위는 0에서 100까지이며 0은 가장 오염된 상태이며 100이 가장 청정한 상태를 의미한다.

$$DAIpo = 50 + 0.5(\sum X_i - \sum S_j)$$

여기서, X<sub>i</sub>는 조사지점에서 호청수성종의 상대적 풍부도이며(%), S<sub>j</sub>는 조사지점에서 호오탁성종의 상대적 풍부도이다(%).

### 2.4.2. 영양염 지수(TDI: Trophic Diatom Index)

TDI의 계산은 Kelly 등(1995)의 방법을 따랐으며, 아래의 식과 같이 오염민감도에 대하여 가중치를 부여하고 각각의 종에 대해 지표값을 부여하여 계산에 이용하였으며 이 결과를 통해 수질을 판정하였다. TDI의 범위는 0에서 100까지이며 0이 가장 청정한 상태이고 100이 가장 오염된 상태를 의미한다.

$$TDI = ((\sum a_i \cdot s_j \cdot v_j / \sum a_i \cdot v_j) \times 25) - 25$$

여기서, a<sub>i</sub>는 종의 상대적인 풍부도이며, s<sub>j</sub>는 각 종에 대

한 지표값으로 1에서 5사이의 수로 민감도를 의미한다. v<sub>j</sub>는 각 종에 대한 오염값으로 1에서 4의 범위이며, 지표값을 의미한다.

## 2.5. 통계분석

이화학적 수질 항목과 부착조류 항목들 간의 상호관계는 Person's correlation analysis를 통해 수행되었으며, 유의수준은 P<0.05를 기준으로 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 규조류 생물지수(DAIpo 및 TDI)를 이용한 수질상태의 평가

각 수계에서 겨울(1월), 봄(4월), 여름(6월)을 포함하는 부착조류의 지수분석 결과를 Table 1, 2에서 나타내었다.

부착조류를 이용한 두 지수의 전체 평균으로 비교할 때, 금강수계가 영산/섬진강수계의 하천들보다 생물학적 수질이 좀 더 악화된 결과를 보였다. 이는 섬진강 수계의 하천들이 전반적으로 양호한 수질을 나타낸 이유라고 판단된다(수질분석 결과에서도 반영되었음. Appendix. 1, 2). 그러나 유기물과 영양염의 특성을 반영하면, 유기물에서는 금강수계 하천들이 더 악화된 결과를 보였으나 영양염에 있어서는 별 차이를 보이지 않았다. 즉, 영산강/섬진강 하천이 금강 하천들에 비해 유기물의 영향은 상대적으로 적었으나 영양염의 영향은 큰 차이가 없음을 시사한다. 모든 하천수역에서 그런 것은 아니라 할지라도 국내 전 수계에서 영양염의 잠재적 영향이 크다는 것을 반증하는 결과이다. 각 시기별로 DAIpo에서의 공간적 변이의 정도가 TDI 보다 훨씬 크게 나타난 것도 이러한 영향을 반영하는 것이라 볼 수 있다. 또한 유기물 지수의 공간적인 변이의 정도는 금강수계가 영산강/섬진강수계에서 보다 더 높게 나타났다.

계절적으로는 대부분의 경우에 있어서 다른 시기에 비해 겨울에 지수범위가 악화된 것으로 나타나, 갈수기인 겨울기간 동안의 수질의 악화상태와 일치한다. 이러한 경향은 DAIpo 보다는 TDI에서 더 명확하게 나타나 겨울동안의 영양염 증가가 높았음을 반영하였다.

두 지수에 있어 가장 악화된 값의 범위는 거의 모두 도시하천이나 하수처리방류수의 영향을 크게 받는 하천들(갑천, 유등천, 대전천, 옥천천, 광주천, 함평, 나주)로 나타났으며, 섬진강 유역의 하천들은 대체로 양호한 값을 보였다.

한 가지 특이한 사실은, 본 조사하천에서 TDI 지수 20 이하의 양호한 생물학적 수질을 보유한 지점이 하나도 없었다. BOD가 I등급인 많은 하천들에서도 TDI는 거의 모두 30을 상회하게 나타났다. 이 결과는 다음의 두 가지 원인으로 생각할 수 있다. 첫째는, 조사하천에서 출현한 저서성 규조류 종들에 대한 민감도와 가중치가 현실성을 크게 반영하지 못하였을 수 있고, 둘째는, 우리나라 하천에서 영양염의 영향이 상당히 큰 것이 원인일 수 있다. 선행연구(2004년 한강 및 낙동강 수계 하천조사)와 본 연구를 포함한 총 2년에 걸친 조사에서 우리나라의 상당부분의 하천에

**Table 1.** Values of epilithic diatom indices at study sites belonging Geum River watershed (2005)

Sites	DAIpo					TDI				
	January	April	June	Average	Standard deviation	January	April	June	Average	Standard deviation
Yongpo	54.5	86.7	87.5	76.2	18.8	54.4	33.7	39.8	42.6	10.6
Jewon	83.3	93.6	96.3	91.1	6.9	57.0	45.1	32.3	44.8	12.4
Youngdong Cheon 1	54.5	56.3	82.0	64.3	15.4	43.8	59.8	59.5	54.4	9.2
Youngdong Cheon 2	60.8	40.4	30.0	43.7	15.7	57.1	61.7	72.3	63.7	7.8
Youngdong	91.7	81.9	90.6	88.1	5.4	62.2	58.8	51.3	57.4	5.6
Okcheon	93.3	92.4	85.9	90.5	4.0	55.8	41.9	58.3	52.0	8.8
Bochung Cheon 1	93.8	95.8	93.8	94.5	1.2	28.3	35.9	39.8	34.7	5.8
Bochung Cheon 2	48.4	83.3	95.8	75.8	24.6	66.3	49.6	45.3	53.7	11.1
Okcheon Cheon	44.3	32.9	34.2	37.1	6.2	73.5	67.6	60.5	67.2	6.5
Daejon Cheon 1	63.6	37.2	75.8	58.9	19.7	87.2	66.3	70.8	74.7	11.0
Daejon Cheon 3	24.9	52.5	57.7	45.0	17.6	72.0	73.2	90.5	78.6	10.4
Yudeung Cheon 1	89.1	84.9	89.9	88.0	2.7	57.9	30.4	53.8	47.3	14.9
Yudeung Cheon 5	49.1	73.2	90.9	71.1	21.0	69.3	61.5	67.8	66.2	4.1
Gabcheon 1	41.9	17.9	49.0	36.3	16.3	70.6	65.2	60.5	65.4	5.1
Gabcheon 2	30.9	10.4	66.2	35.8	28.2	62.6	72.2	54.3	63.0	9.0
Gabcheon 4	78.7	63.5	60.1	67.4	9.9	65.4	72.3	70.0	69.2	3.5
Hyundo	89.9	92.6	96.7	93.1	3.4	61.0	32.3	28.0	40.4	18.0
Miho Cheon 6	63.3	89.6	72.8	75.2	13.3	66.7	68.3	65.0	66.6	1.6
Yeongi	70.5	83.0	11.1	54.9	38.4	65.0	63.3	75.0	67.8	6.3
Gongju 1	77.9	95.4	66.5	79.9	14.6	57.3	56.8	63.5	59.2	3.8
Avergae	65.2	68.1	71.6	68.3		61.7	55.8	57.9	58.4	
Standard deviation	21.5	27.5	24.8	20.4		11.9	14.4	15.4	11.9	

서 BOD에 비해 영양염의 영향이 상대적으로 높았고 그 결과 유기물 지수인 DAIpo에 비해 TDI가 상대적으로 수질을 나쁘게 평가한 원인으로 볼 수 있다.

두 가지 경우 모두 가능성은 있다고 판단된다. 왜냐하면 민감도와 가중치는 하천에서 관찰되는 출현종들의 상대적인 풍부도와 오염민감도를 통계적으로 규정한 수치이기 때문이다(Lenior et al. 1996), 또한 영양염을 포함하는 환경적 변이가 상당한 큰 하천에서 특징적인 지표종들만이 출현하기는 어렵고 다양한 하천에서 이들의 분포가 중복되어 나타나기 때문이다(Watanabe et al., 1990). 이는 향후 보다 넓은 범위를 포함하는 하천에서 더 많은 자료의 확보를 통해 보정되어야 할 여지가 있음을 보여주는 것이다. 그러나 현실적으로 수질분석의 결과에 기초할 때 우리나라 하천에서 영양염이 수질의 악화에 주요한 원인으로 나타나 이 결과 TDI가 높게 나타난 것이 보다 객관적인 결론이라고 판단된다.

TDI에 비해 DAIpo는 광범위한 지수 범위에 걸쳐 나타나고 있어 수질등급을 구분하는데 있어서는 DAIpo가 TDI 보다 유리한 것으로 보인다. 그러나 양호한 등급으로 구분된 하천들에서 변이가 매우 커서 아직까지는 수질등급 구분의 객관성에 좀 더 많은 자료를 필요로 한다. 따라서 두 가지 지수를 같이 이용하여 평가하는 것이 보다 바람직할 것으로 판단한다.

**3.2. 구조류 생물지수를 이용한 생물학적 수질등급의 제시**  
 물환경의 평가를 위한 정량적 평가는 평가에 이용하는

변수들의 수치(예를 들면 농도, 무게 등)를 이용하거나 이를 반영하는 지수(index)를 이용하게 된다(US EPA, 1999; Kelly et al., 1998). 예를 들면 우리나라의 이화학적 수질등급은 BOD, COD, SS 등과 같이 수질을 직접적으로 반영하는 변수에 대한 수치를 객관적, 과학적으로 구분하여 이용하고 있다(수질환경기준, 환경정책기본법, 환경부). 생물학적 혹은 생태학적 방법을 이용하는 것도 이와는 다르지 않다. 다만 정량적 기준을 어떠한 형태로 표현하는가는 그 나라의 여건과 물환경관리의 효율성 등 제반 여건을 고려하여 설정하게 된다. 즉, 수치적 등급(I, II, III, 혹은 A, B, C, D) 혹은 정성적 등급(아주 좋음, 좋음, 보통, 나쁨 등에 대한 서술적 표현)을 이용한다.

본 연구에서는 다섯 가지(I, II, III, IV, V 등급) 상태로 생물학적 등급의 구분을 시도하였으며, I은 “매우좋음~좋음”, II는 “좋음~보통”, III은 “보통~약간나쁨”, IV는 “약간나쁨~나쁨”, V는 “나쁨~매우나쁨”으로 분류하였다. 다섯 단계로 등급을 구분하는 명확한 기준은 없다. 다만 넓은 범위의 오염구배를 등급화할 때 중간등급을 전후로 같은 수의 등급구분(즉, 홀수등급구분)이 일반적으로 이용된다. 그러나 홀수의 등급구분이 반드시 좋은 것은 아니며 해당지역(혹은 국가)에서 물환경의 생물학적 상태를 평가하고 관리하는데 가장 객관적이고 편리한 방법으로 구분하는 것이 관례이다. 예를 들면, 미국의 Maine 주에서는 4단계로 생물학적 등급(서술적 등급)을 구분하고 있다(US EPA, 2002). 이처럼 등급의 구분은 다분히 주관적이며 해당 지역

**Table 2.** Values of epilithic diatom indices at study sites belonging Youngsan and Seomjin River watershed (2005)

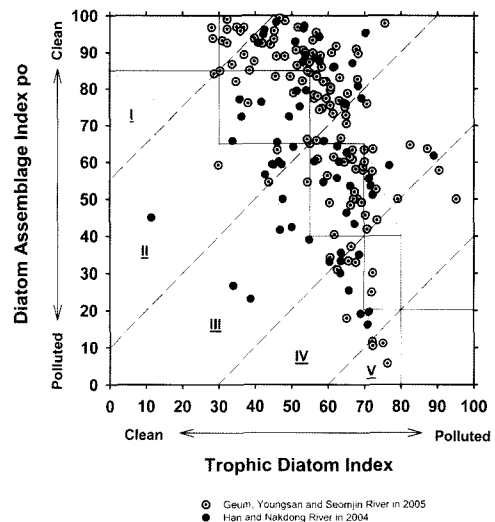
Sites	DAIpo					TDI				
	January	April	June	Average	Standard deviation	January	April	June	Average	Standard deviation
<b>Youngsan River Sites</b>										
Gwangju Cheon 1	57.0	57.8	60.0	58.3	1.6	76.3	69.6	64.5	70.1	5.9
Gwangju Cheon 2	50.0	83.8	87.2	73.7	20.6	68.1	56.8	54.9	59.9	7.1
Gwangju 1	65.9	74.6	50.0	63.5	12.5	56.9	58.5	67.0	60.8	5.5
Gwangju 2	60.7	57.4	11.6	43.2	27.4	66.7	72.1	72.1	70.3	3.1
Hwangryong river 1	89.3	82.0	84.1	85.1	3.8	36.9	34.7	28.8	33.5	4.2
Hwangryong river 3	76.0	59.2	84.4	73.2	12.8	38.1	29.9	55.0	41.0	12.8
Gwangsan	64.6	63.4	61.4	63.1	1.6	82.5	70.0	61.5	71.3	10.5
Jiseok Cheon 1	97.8	88.9	77.3	88.0	10.3	75.6	48.1	56.3	60.0	14.1
Jiseok Cheon 2	51.9	61.4	79.6	64.3	14.1	67.3	66.1	60.7	64.7	3.5
Naju	50.0	58.8	33.3	47.4	13.0	95.2	69.6	65.5	76.8	16.1
Hampyung	45.7	58.1	50.0	51.3	6.3	70.3	67.6	79.2	72.4	6.0
Average	64.5	67.8	61.7	64.7		66.7	58.5	60.5	61.9	
Standard deviation	10.2	6.9	12.5	6.8		11.0	5.8	11.8	6.7	
<b>Seomjin River Sites</b>										
Unam	96.9	82.1	93.2	90.7	7.7	34.9	53.0	31.0	39.6	11.8
Imsil	74.2	92.2	99.0	88.5	12.8	57.7	44.2	32.3	44.7	12.7
Jeoksung	96.7	83.3	85.0	88.3	7.3	36.8	45.6	38.5	40.3	4.7
Namwon	98.5	89.8	63.3	83.9	18.3	48.2	55.9	46.1	50.0	5.1
Godal	78.8	78.3	77.3	78.1	0.8	50.5	56.2	59.6	55.4	4.6
Goksung	76.7	80.4	65.0	74.0	8.0	63.1	60.8	55.0	59.6	4.2
Bosung Cheon	99.3	96.8	90.6	95.6	4.5	46.7	51.7	53.1	50.5	3.4
Gyesan	82.6	84.9	88.9	85.5	3.2	68.1	54.4	45.8	56.1	11.3
Gurye	86.4	75.4	75.0	78.9	6.5	51.5	60.7	64.7	59.0	6.7
Average	87.8	84.8	81.9	84.8		50.8	53.6	47.3	50.6	
Standard deviation	10.2	6.9	12.5	6.8		11.0	5.8	11.8	7.6	

이나 국가의 물환경상태를 판단하여 결정할 수 있다.

본 연구에서의 시도한 5단계의 등급구분은 두 지수 모두 범위가 0-100까지 이므로, 오염구배에 따른 규조류의 분포가 동일하다고 가정하여 먼저 동일한 구간을 다섯 개로 나누었다(즉, 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100). 그 다음 단계로 지점에서 계산된 각각의 지수값을 측정된 수질(BOD, TN, TP)값을 비교하여 지수값의 객관성을 평가하고 필요시 지수값을 조정하였다. 특히, 영양염의 농도는 거의 모든 하천에서 상당히 높았기 단계적인 등급구분을 지원하기 어려웠으며, 이로 인해 BOD를 지수조정에 주로 이용하였다. 마지막으로, DAIpo와 TDI 지수의 합치점을 연결하는 선을 이용하여 구분된 지수의 등급구간에 대한 객관성을 확인하였다.

5등급의 체계에 기초하여 수정된 규조류 생물지수의 범위를 Table 3과 같이 제시하였다. TDI에서 I 등급 구간(지수값 30 이하)과 V 등급(지수값 80 이상) 구간에 포함된 지점수는 전체 지점의 6% 정도밖에 포함되지 않았다. 이는 조사하천들에서 영양염의 영향이 전반적으로 크기 때문에 나타난 결과로 판단되나, 전반적으로 지수의 구분이 명료하지 않아 TDI 단독적인 이용에는 무리가 따를 수 있는 가능성도 함께 제시되었다. 따라서 TDI와 DAIpo의 조합적인 이용이 보다 TDI와 DAIpo의 단독적인 문제점을 보완할 수 있으며 객관적인 수질구분을 할 수 있다고 판단되었다. 그

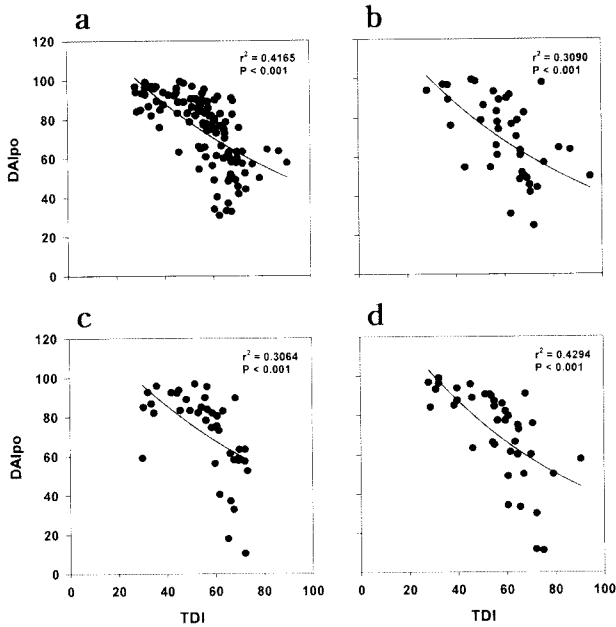
러나 TDI 지수 하나만을 이용할 경우라면, 지수를 조정하여 등급을 보다 축소하는 것이 바람직하다고 판단되었다. 이 경우 I 등급의 범위는 지수값 40까지로 확대하고 I등급과 V등급은 합하여 최종적으로 4등급의 체계로 구성하는 방안도 연구할 가치가 크다.



**Fig. 2.** The plotting of both TDI and DAIpo values according to the five class system of river water quality.

**Table 3.** Proposed classification of biological water quality by epilithic diatom indices

Class	Description of class	The range of DAIp <sub>o</sub>	The range of TDI
I	Very good ~ Good	100 ~ 85	0 ~ 30
II	Good ~ Fair	85 ~ 65	30 ~ 55
III	Fair ~ Fairly poor	65 ~ 40	55 ~ 70
IV	Fairly poor ~ Poor	40 ~ 20	70 ~ 80
V	Poor ~ Very poor	20 ~ 0	80 ~ 100



**Fig. 3.** Relationship between TDI and DAIp<sub>o</sub> values in different seasons of 2005 (a: Whole year combined, b: January, c: April, d: June).

본 연구에서는 저서성 규조류의 생물지수를 이용하여 영양염과 유기물의 두 가지 상태를 동시에 평가할 수 있는 방안으로 두 지수를 동시에 plotting하여 각각의 등급을 연결시킨 후 그래프상에서 두 지수가 교차하는 구역을 이용하여 평가하는 방법을 제시하였다(Fig. 2). TDI-DAIp<sub>o</sub>를 연계한 방법에 의한 등급구분(오른쪽으로 향한 점사선의 구역에 따른 수질의 구분)은 보다 객관적인 수질의 평가를 가능하게 하는 장점이 있다고 판단된다. 그러나 이 방법도 앞으로 더 많은 자료의 축적을 통해 객관성과 타당성이 검증될 필요성을 남겨 두고 있다. 서식지의 교란이나 유사의 축적 등과 같은 물리적인 환경의 변화는 생물학적으로 크게 영향을 미치지 때문에 고려의 대상에 포함시켜야 한다.

본 연구 결과에서 극단적인 값이나 물리적인 교란이 심한 환경을 제외하고는 TDI와 DAIp<sub>o</sub>는 서로 상당히 높은 상관성을 보여주었다(Fig. 3). 그러나 계절과 지점에 따른 변이가 상당히 컸다. 전체적으로는 상관계수(r)가 0.6을 약간 상회하였고 여름동안에 가장 밀접한 관계를 보였다(r=0.65, n=40). 공간적으로는, 수질이 악화된 지점에서 두 지수간의 상관성이 높았고, 양호하거나 보통의 수질에서는 변이의 정도가 높았다(Fig. 3). 이러한 결과는 한강과 낙동강에서 수행된 선행연구 결과(환경부, 2004)와 일치하였다. 또한 수질이 상대적으로 양호한 지역에서 Chl-a의 농도는 이화학적 요인(BOD 또는 영양염)과 상관성이 높게 나타났다.

**3.3. 저서성 규조류 생물지수와 화학적 수질의 비교**

본 연구에서 조사된 저서성 규조류 생물지수는 전반적으로 수질 및 생물량(Chl-a)과 유의한 상관성을 나타내었다(Fig. 4, 5). 그러나 이들 간의 상관성은 그리 높지 않게 나타나, 변수들의 시·공간적 변이가 큼을 반영하였다. 이러한 이유로 인해 관계식의 fitting 과정에서, 수질과 규조류 생물량 및 지수 간에 계절적 변이가 너무 크거나, 또는 경험적인 판단에 의해 극단의 값을 가진 일부 자료들은 제외시켰다. 대체로 수질상태가 매우 악화된 도시하천, 그 중에서도 겨울기간 동안의 몇 개 자료가 이에 해당하였다.

조사대상 하천과 시기를 모두 포함하는 경우, 영양염지수(TDI)가 유기물지수(DAIp<sub>o</sub>) 보다 BOD, NO<sub>3</sub>, Chl-a와의 상관성이 모두 높게 나타났으며, 그 정도는 NO<sub>3</sub>와 Chl-a에서 더 컸다. 이 결과는 DAIp<sub>o</sub>에 비해서 TDI가 영양염과 Chl-a에 의해 더 큰 영향을 받는다는 것을 의미한다. 특히, 세 가지 요인들 중에서 NO<sub>3</sub>가 두 지수와 가장 높은 상관성을 나타내어 저서성 규조류의 출현과 발달이 BOD보다는 영양염에 의해 더 큰 영향을 받는다는 것을 보여주었다. BOD는 영양염지수 뿐만 아니라 유기물지수의 변이 정도도 별로 반영하지 못하였고, 이 결과는 시·공간적 변이가 큰 데에 기인하였다.

지수들과 다른 요인들과의 관계는 계절적인 변이를 보였다. TDI의 경우 영양염인 NO<sub>3</sub>와의 상관성이 겨울과 여름에 동안에 상관성이 가장 높게 나타난 반면, Chl-a와는 봄 동안에 가장 높았다. 그러나 DAIp<sub>o</sub>의 경우는 봄 동안에 영양염과 가장 상관성이 높았던 반면, Chl-a는 겨울동안에 가장 높게 나타났다.

결론적으로, 저서성 규조류 생물지수와 BOD와 영양염을 포함하는 화학적 수질 요인들 간에 대부분 통계적으로 유의한 상관성이 나타났으나, 그 연계성 정도는 크게 높지 않았다. 그 중에서 TDI 지수는 영양염인 NO<sub>3</sub>와 가장 높은 상관성을 보였다. 또한 시간적인 변이로 인해 계절적으로 상관성의 정도가 다르게 나타났다. 이 결과는, 규조류의 출현과 발달에 대해 다른 요인들의 영향을 시사하며, 유속, 빛, 포식, 공사 등의 생물·물리·화학적 요인들의 복합적인 영향으로 판단된다(Allan, 1995). 한편으로, 특히 오염수역에서 저서성 규조류들이 부착하여 서식하고 있는 기질은 오랫동안 수중에서 있어왔기 때문에 단기적인 수질변화와 직접적인 비교가 어려운 문제점도 내포하고 있다. 또한 도시하천에서는 수질과 생물량이 시간적으로 큰 변화가 있었기 때문에 일정한 범위 내에서의 변이를 보여주지 못했다고 판단된다.

이러한 복합적인 영향으로 인하여, 이화학적 수질 항목들

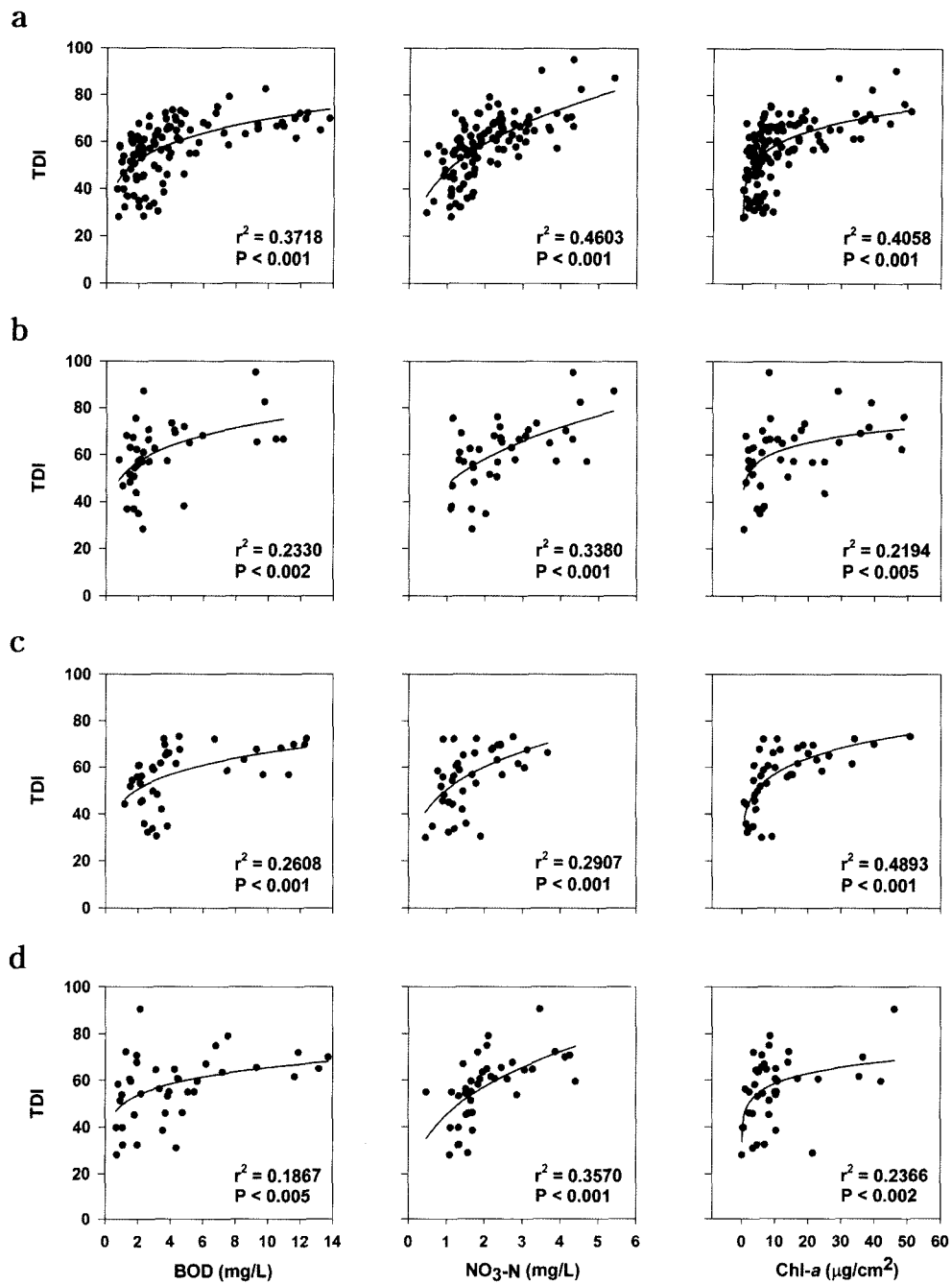


Fig. 4. Relationship between TDI and water quality parameters in different seasons at all sites (a: Whole year combined, b: January, c: April, d: June).

의 변이가 규조류 지수의 변이를 약 25~46%(Fig. 4, 5) 정도 밖에 설명하지 못하였다. 이는 규조류가 다른 생물군(예를 들면, 저서성대형무척추동물, 어류)에 비해 수질의 변화에 따른 민감도가 상대적으로 높기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 그러나 장기간의 자료의 축적을 통해 이러한 변이의 문제는 충분히 예측가능할 수 있다. 그러나 보다 엄밀하게 판단할 때, 저서성 규조류는 전반적인 생태계의 건강도를 평가하기보다는 영양염의 과도한 부하가 해당 생태계의 스트레스로 작용하는 경우의 평가에 적합하다(UNESCO, 2004). 향후 변이의 정도를 더 많이 설명하고 또한 보다 객관적인 관계를 뒷받침하기 위해서는 보다 많은 자료의 축적을 통해 자료의 객관성을 높이는 것이 필요하다.

생물학적 수질기준과 평가지표의 확립과 더불어 앞으로 반드시 고려할 사항은 기준과 지표에 대한 지속적인 관리와 모니터링이다. 이를 통하여 변화하는 생태계를 지속적으로 관리하고 필요한 기준을 수정·보완하여 최종적으로 생태계의 건강성을 확보하는 노력이 필요하다. 이를 위해서는 우리나라의 생물학적 모니터링 측정망이 수립·운영되어야 하고 생물학적 수질기준의 제정목적에 대한 측면이 제도적으로 보장되어야 한다. 이것은 생물학적 모니터링이 현행 수질측정망과 같이 생물학적 측정망으로 정기적으로 운영되어야 함을 의미하며, 국가의 수자원 관리 목표에 수체의 생태학적 건강성(총체성)이 핵심적인 부분으로 자리해야함을 강조하는 것이다.

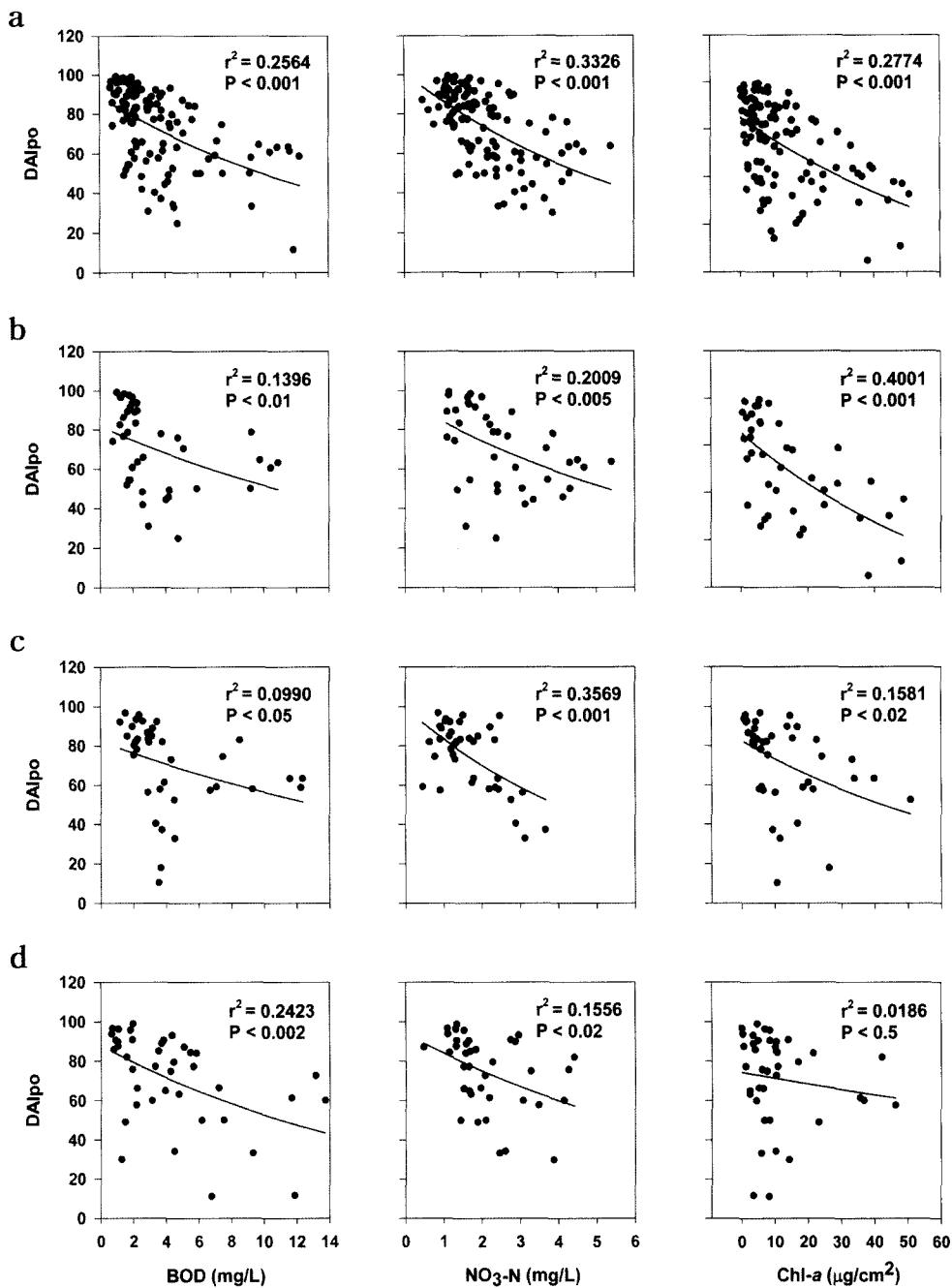


Fig. 5. Relationship between DAipo and water quality parameters in different seasons at all sites (a: Whole year combined, b: January, c: April, d: June).

#### 4. 결론

국내 주요 하천수계인 금강, 영산강, 섬진강을 대상으로 서로 다른 세 계절동안(겨울, 봄, 여름) 40개 하천(총 120개 샘플)에서 수집한 저서성 규조류를 이용하여 생물학적 수질을 평가하였다. 규조류 지수로 평가한 결과, 섬진강 수계의 지점들이 양호한 생물학적 수질을 나타냈다. 전반적으로 영양염지수는 유기물지수에 비해 동일한 지점에서 상대적으로 높은 오염도를 반영하였다. 또한 동일한 지점에서도 지수값의 계절적인 변이가 높게 났으며 이는 거의 대부분 겨울 갈수기 동안의 높은 영양염의 영향에 기인하였다. 도시하천이나 하수처리방류수의 영향을 받는 지점, 그리고 하

상이 모래와 같이 단순한 매질로 구성된 지점들에서의 지수값은 측정된 BOD 값에 비해 상대적으로 더 악화된 상태를 보여 서식지의 교란에 의한 영향을 반영하였다. 본 연구는 하천의 생물학적 수질평가에 있어 부착조류 지수가 유용한 도구가 될 수 있음을 보여주었다. 그러나, 보다 객관적인 평가를 위하여 앞으로 더 많은 자료의 축적이 필요하다.

#### 사 사

본 연구는 환경부·국립환경과학원의 물환경종합평가방법 개발 조사연구사업의 일환으로 수행되었음.



참고문헌

환경부, 수질오염공정시험법 (1997).  
 환경부/국립환경연구원, 물환경종합평가방법 개발 조사연구 (I) (2004).  
 Allan, J. D., *Stream Ecology - Structure and Function of Running Waters*, Chapman and hall, pp. 83-108 (1995).  
 APHA, AWWA, WPCF, *Standard methods for for the examination of water and wastewater*, 18th ed, American Public Health Association, Washington, DC. (1994).  
 Chung, Sang-Ok, Practical Application of French Biological Diatom Index (Indice Biologique Diatomees) in Water Quality Assessment, *Kor. J. Lim.*, **37**(4), pp. 373-377 (2004).  
 Davis, W. S., Biological Assessment and Criteria: Building on the Past. In: W. S. Davis and T. P. Simon (Eds.) *Biological Assessment and Criteria: Tools for Water Resource Planning and Decision Making*, Lewis, Boca Raton, pp. 81-96 (1995).  
 Descy, J. P., A New Approach to Water Quality Estimation Using Diatoms, *Nova Hedwigia*, **64**, pp. 305-323 (1979).  
 Kelly, M. G. and Whitton, B. A., The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers, *Journal of Applied Phycology*, **7**, pp. 433-444 (1995).  
 Kelly, M. G., Cazaubon, A., Coring, E., Dell'Uomo, A., Ector, L., Goldsmith, B., Guasch, H., Hurlimann, J., Jarlman, A., Kawecka, B., Kwadrans, J., Laugaste, R., Lindstrom, E.-A., Leitao, M., Marvan, P., Padisak, J., Pipp, E., Prygiel, J., Rott, E., Sabater, S., van Dam, H. and Vizinet, J., Recommendations for the Routine Sampling of Diatoms for Water Quality Assessments in Europe, *Journal of Applied Phycology*, **10**, pp. 215-224 (1998).  
 Lange-Bertalot, H., Pollution Tolerance of Diatoms as a Criterion for Water Quality Estimation, *Nova Hedwigia*, **64**, pp. 285-304 (1979).  
 Lenoir, A. and Coste M., Development of a Practical Diatom Index of Overall Water Quality Applicable to the French National Water Board network. In: Whitton B. A., Rott E. (eds) *Use of Algae for Monitoring Rivers II*, E. Rott, Institut fur Botanik, Universitat Innsbruck, pp. 29-45 (1996).  
 UNESCO, *Integrated watershed management- Ecohydrology and phytotechnology* (2004).  
 U.S. EPA, *Generic quality assurance project plan guidance for programs using community-level biological assessment in streams and wadeable rivers*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C. EPA 841-B-95-004 (1995).  
 U.S. EPA, *Papid Bioassessment Protocols For Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton*, 2nd eds. EPA 841-B-99-002, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C., USA (1999).  
 U.S. EPA, *Biological Assessments and Criteria: Crucial Components of Water Quality Programs*, EPA 822-F-02-006 (2002).  
 Watanabe, T., Asai, K. and Houki, A., Numerical Simulation of Organic Pollution in Flowing Waters, *Hazardous Waste Containment and treatment*, **4**, pp. 251-281 (1990).

Appendix 1. Environmental factors at study sites belonging to Geum River watershed (2005)

Sites	Date	pH	EC (μs/cm)	DO		Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Chl.a (μg/L)	NH <sub>4</sub> -N (μg/L)	NO <sub>2</sub> -N (μg/L)	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	TN (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P (μg/L)	TP (μg/L)	Si (mg/L)
				(mg/L)	(%)												
Yongpo	January	6.8	88.4	16.4	-	5.7	0.5	1.8	2.7	0.7	34.5	4.5	1.7	4.4	0.6	8.0	0.3
	April	7.9	92.3	10.4	90.3	3.2	1.8	2.9	10.4	2.3	21.4	0.6	1.2	2.2	0.3	3.6	1.5
	June	7.5	99.0	8.5	93.5	2.7	4.4	1.0	13.1	2.4	22.5	7.1	1.3	2.7	5.1	13.6	1.5
Jewon	January	6.6	301.0	14.5	-	4.2	1.0	2.2	3.5	0.2	16.9	6.2	1.4	3.7	2.8	5.8	0.2
	April	7.9	92.7	9.9	91.3	5.0	4.6	2.2	15.2	1.8	11.6	2.0	1.1	2.9	1.0	6.8	1.4
	June	7.8	105.5	7.9	94.0	5.5	8.6	1.1	12.4	2.2	26.4	10.8	1.3	3.6	4.4	27.0	1.5
Youngdong Cheon 1	January	7.8	164.7	14.1	-	5.0	1.2	1.8	2.6	0.2	247.0	26.4	3.7	7.4	13.2	21.0	0.5
	April	8.1	183.4	12.7	106.8	3.0	1.0	2.9	12.3	1.4	42.9	17.0	3.1	4.2	12.6	13.2	2.4
	June	8.3	269.0	10.3	115.1	3.1	3.2	1.6	10.2	3.9	45.9	44.4	4.4	8.5	15.1	36.5	3.8
Youngdong Cheon 2	January	7.8	188.0	14.8	-	19.4	10.0	2.0	5.3	0.9	37.2	58.3	4.7	9.8	121.4	157.4	0.3
	April	8.9	229.0	11.0	103.4	10.6	8.2	3.4	13.1	8.8	40.9	57.8	2.9	5.0	88.0	125.3	1.5
	June	8.4	297.0	10.0	117.0	5.4	7.2	1.3	10.5	10.0	40.7	59.7	3.9	6.5	88.9	126.5	3.9
Youngdong	January	8.0	69.4	15.0	-	3.9	2.3	1.9	5.9	0.4	7.8	9.2	1.8	4.2	0.6	6.5	0.1
	April	7.9	99.0	10.3	98.7	5.5	7.0	3.0	16.0	3.4	13.2	5.3	1.3	1.8	4.1	22.8	1.4
	June	8.6	120.0	9.7	116.7	10.0	11.8	0.9	12.5	3.9	40.7	16.0	1.6	3.2	16.7	51.5	2.6
Okcheon Cheon	January	7.9	73.6	13.5	-	3.8	1.2	2.0	5.6	0.2	4.6	8.7	1.7	4.2	0.6	5.8	0.1
	April	7.9	110.0	10.5	100.1	5.5	5.2	3.5	13.2	3.4	22.6	6.5	1.4	2.2	4.9	19.6	1.5
	June	7.7	134.9	8.0	96.7	7.0	8.8	0.8	14.7	3.3	25.5	14.7	1.8	3.2	15.9	45.2	2.9

Sites	Date	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	DO		Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Chl.a ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	TN (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	TP ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Si (mg/L)
				(mg/L)	(%)												
Bochung Cheon 1	January	7.8	77.5	14.1	-	3.0	0.5	2.3	5.6	0.2	22.2	2.2	1.7	4.2	0.6	1.5	0.6
	April	7.6	116.0	11.0	107.7	1.5	0.2	2.4	12.1	0.7	15.9	0.6	1.5	3.1	0.3	0.4	2.5
	June	7.2	115.1	8.3	97.3	2.0	1.8	0.7	9.6	0.7	5.6	2.5	1.1	1.8	1.3	12.0	2.1
Bochung Cheon 2	January	7.7	119.7	15.7	-	2.0	1.3	2.6	4.4	0.3	48.9	10.3	2.4	5.7	5.1	18.9	0.6
	April	8.2	174.0	12.8	123.6	4.2	3.6	2.9	11.9	2.7	13.6	7.4	1.4	2.8	4.1	18.0	2.0
	June	8.4	203.0	9.9	122.7	11.0	13.0	1.8	12.1	6.3	35.5	21.4	1.5	2.8	12.0	60.2	3.5
Okcheon Cheon	January	7.2	202.0	13.5	-	4.1	10.0	4.0	6.6	0.6	1418.7	225.3	3.3	8.9	73.3	119.7	0.5
	April	7.9	289.0	10.8	100.8	5.7	3.2	4.6	13.5	6.4	777.3	94.4	3.1	5.4	163.5	215.8	1.7
	June	7.7	309.0	8.3	96.9	7.7	13.0	4.5	11.2	13.6	588.3	92.3	2.6	5.5	147.1	233.8	3.9
Daejon Cheon 1	January	7.7	198.0	16.8	-	8.6	7.8	2.3	6.9	1.1	51.6	23.5	5.4	13.0	6.6	33.4	0.9
	April	8.8	281.0	14.1	127.9	3.7	1.4	3.8	13.2	3.6	50.3	64.1	3.7	4.7	4.1	10.8	1.4
	June	8.0	312.0	9.8	110.1	4.4	4.4	1.9	11.0	2.8	185.6	126.2	4.3	7.5	21.3	49.1	5.1
Daejon Cheon 3	January	7.7	254.0	15.1	-	4.4	8.2	4.8	12.7	0.6	1231.3	66.1	2.4	22.6	92.5	159.5	0.8
	April	9.5	313.0	16.3	159.3	2.3	2.4	4.5	11.4	9.3	80.4	118.5	2.8	4.0	44.1	70.8	0.6
	June	8.2	332.0	10.1	103.2	3.2	2.6	2.2	11.5	2.8	192.5	133.1	3.5	6.2	44.3	78.4	5.4
Yudeung Cheon 1	January	7.6	172.5	14.6	-	2.3	1.7	2.1	7.5	0.3	21.2	9.4	2.8	7.6	2.1	6.5	0.3
	April	8.3	211.0	11.1	101.9	4.0	3.6	3.1	14.2	1.6	10.0	10.7	1.9	3.8	1.8	10.0	2.2
	June	7.8	239.0	8.4	97.2	3.9	4.6	1.0	11.7	2.2	22.1	19.2	2.9	5.5	5.9	16.8	3.2
Yudeung Cheon 5	January	7.8	171.0	15.7	-	6.0	4.2	4.2	9.8	1.1	336.1	23.3	1.4	12.0	3.6	30.5	0.0
	April	8.8	231.0	12.7	121.6	3.6	4.8	4.3	18.0	8.9	93.7	41.0	1.3	2.1	1.0	28.4	0.5
	June	7.9	250.0	9.1	107.5	4.2	5.4	1.9	11.3	4.4	151.4	45.6	2.7	4.8	19.0	55.5	2.6
Gabcheon 1	January	7.3	239.0	15.6	-	4.1	4.5	2.6	9.5	1.5	530.9	73.0	3.1	9.6	36.9	63.1	0.4
	April	7.8	160.8	10.0	91.8	4.9	7.6	3.7	16.2	18.8	12.4	26.7	1.4	2.5	26.4	74.0	1.1
	June	7.7	160.1	6.6	77.3	4.4	5.8	1.5	11.5	11.4	28.1	38.8	1.9	3.6	24.3	62.6	2.8
Gabcheon 2	January	7.8	140.0	15.4	-	6.1	2.5	3.0	9.2	0.4	277.9	52.2	1.6	14.1	17.7	50.0	0.3
	April	8.8	169.1	12.5	121.9	3.9	4.8	3.6	15.0	9.8	61.7	27.6	1.2	2.2	18.7	61.2	0.8
	June	7.8	158.2	9.3	116.1	6.7	10.8	2.2	13.5	15.1	54.9	37.0	1.5	4.6	19.0	75.2	2.5
Gabcheon 4	January	7.6	372.0	11.8	-	13.8	8.5	9.3	20.9	1.6	7410.9	147.3	2.4	17.9	1006.9	1414.1	0.6
	April	7.8	545.0	12.1	125.1	8.3	13.4	12.4	14.5	38.3	10016.7	342.1	1.8	16.5	511.4	789.1	1.8
	June	7.3	475.0	8.2	100.4	7.2	11.0	13.7	15.4	11.8	9040.5	273.9	4.1	21.8	1493.8	1762.7	3.4
Hlyundo	January	7.7	86.0	13.9	-	4.0	2.3	2.3	8.3	0.2	15.3	10.9	1.3	3.9	0.6	8.0	0.1
	April	8.0	132.4	12.7	116.3	4.2	1.6	2.6	13.6	3.2	24.5	1.1	1.1	2.4	2.6	11.6	0.4
	June	7.7	140.7	12.1	127.6	1.5	2.0	0.7	10.0	2.2	28.6	6.6	1.1	2.0	2.8	10.4	0.2
Miho Cheon 6	January	7.5	456.0	12.1	-	13.0	10.8	10.9	20.4	0.9	5993.6	134.3	4.3	15.9	381.1	569.3	1.0
	April	7.7	561.0	8.5	84.0	13.5	17.0	10.8	15.9	32.7	2838.3	267.3	2.2	8.5	323.6	601.7	2.7
	June	8.1	491.0	10.2	134.8	17.7	33.8	13.1	16.4	10.3	2283.9	243.0	2.1	10.2	314.7	660.3	1.9
Yeongi	January	7.5	273.0	11.8	-	8.9	5.2	5.1	12.2	1.1	3818.4	90.1	3.7	10.4	256.2	339.4	0.5
	April	8.3	381.0	11.7	117.7	10.9	15.4	8.5	16.1	40.0	1721.9	167.6	2.3	6.0	108.8	300.6	1.5
	June	7.5	295.0	9.1	112.0	10.2	20.2	6.8	11.6	47.8	545.1	168.1	2.1	5.6	167.3	342.1	1.4
Gongju 1	January	7.6	243.0	14.3	-	6.1	5.0	3.8	11.0	1.8	2737.5	85.2	3.9	8.7	234.0	314.7	0.4
	April	7.9	329.0	10.2	97.4	11.2	12.0	9.7	15.5	50.1	1294.3	143.6	2.5	6.4	91.9	223.8	1.0
	June	7.6	251.0	9.7	116.4	9.5	14.4	7.2	14.1	70.0	283.4	141.1	2.0	4.7	103.5	250.5	0.7

Appendix 2. Environmental factors at study sites belonging to Youngsan and Seomjin River watershed (2005)

Sites	Date	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	DO		Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Chl.a ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	TN (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	TP ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Si (mg/L)
				(mg/L)	(%)												
Gwangju Cheon 1	January	7.4	212.0	15.7	-	1.8	1.2	0.9	5.2	0.3	56.8	20.5	2.3	4.7	28.7	38.5	0.2
	April	8.6	165.3	11.2	113.1	4.7	1.2	3.6	11.5	1.6	80.8	17.0	2.4	1.8	40.3	50.0	2.9
	June	9.0	237.0	9.9	124.1	10.3	5.0	3.1	6.8	2.1	141.1	121.3	3.1	3.9	116.9	156.8	3.8
Gwangju Cheon 2	January	7.4	288.0	12.1	-	13.6	6.8	5.9	15.9	1.4	1043.1	70.6	3.1	6.0	161.0	260.3	0.5
	April	8.6	273.0	10.9	117.5	15.8	18.4	11.3	16.2	48.9	2616.6	111.8	1.7	7.9	265.1	568.1	1.0
	June	7.6	295.0	7.5	98.8	8.3	10.0	5.1	8.3	13.8	2379.9	182.8	0.5	3.6	198.3	399.7	4.3
Gwangju 1	January	7.3	256.0	9.8	-	8.9	6.8	2.6	9.9	1.6	286.7	24.4	2.3	4.3	21.3	74.2	0.7
	April	9.8	217.0	13.8	138.9	21.6	30.8	7.5	16.7	77.2	80.4	29.5	0.8	1.8	7.2	142.1	0.4
	June	7.6	207.0	8.2	99.8	44.4	51.2	6.2	8.8	20.2	455.2	214.0	1.4	2.7	47.5	227.5	3.0
Gwangju 2	January	7.2	513.0	13.5	-	8.5	10.2	10.4	18.5	1.4	3459.6	634.2	2.9	7.0	1355.6	1653.8	0.6
	April	7.6	615.0	10.8	117.6	12.5	9.2	6.7	9.6	14.3	14384.3	640.5	0.9	19.1	958.7	1153.4	3.9
	June	7.3	491.0	7.7	92.9	21.5	20.8	11.9	13.4	5.8	7464.4	383.5	1.8	9.9	831.3	1018.4	4.4
Hwangryong River 1	January	7.7	110.6	14.4	-	3.7	3.2	1.7	7.5	5.4	14.0	5.5	1.1	2.6	5.6	24.1	0.1
	April	9.2	142.7	11.2	115.0	15.1	14.0	3.8	12.5	15.5	9.3	5.0	0.6	7.4	3.3	54.0	0.0
	June	8.9	154.9	10.8	130.4	7.4	9.4	5.8	9.8	37.5	240.9	110.4	1.6	3.3	5.8	103.8	2.3
Hwangryong River 3	January	8.5	165.2	14.6	-	9.4	16.2	4.8	14.9	5.6	16.1	11.8	1.1	2.4	3.3	46.9	0.1
	April	9.7	197.2	12.3	123.9	9.1	12.2	7.1	15.3	24.7	78.5	17.1	0.4	7.0	1.8	78.8	0.1
	June	7.6	156.7	8.4	97.7	21.1	20.4	5.5	10.3	23.0	432.5	131.2	1.1	2.6	18.9	122.2	2.1
Gwangsan	January	7.4	444.0	12.9	-	19.4	16.2	9.8	15.5	2.5	3144.1	637.6	4.5	11.2	817.7	1160.1	0.7
	April	7.6	431.0	8.5	85.5	18.2	22.8	11.6	12.3	38.5	6755.8	373.4	2.4	14.7	430.6	696.2	2.3
	June	7.3	307.0	6.0	70.6	32.9	37.6	11.7	13.8	19.8	3911.9	368.5	2.2	6.7	349.2	565.1	3.3
Jiseok Cheon 1	January	7.4	189.0	13.1	-	3.8	2.0	1.8	6.4	0.2	66.8	3.1	1.1	3.3	1.8	18.8	0.3
	April	7.8	29.2	10.8	103.6	12.9	5.6	3.2	11.4	2.3	7.7	1.3	0.9	3.5	4.1	20.4	2.3
	June	7.4	149.6	8.5	98.1	7.6	6.4	3.3	8.1	10.4	105.2	113.1	1.5	2.4	16.6	60.0	2.4
Jiseok Cheon 2	January	7.5	228.0	15.0	-	3.3	3.2	1.6	8.2	0.3	229.2	43.6	2.4	5.5	29.5	56.8	0.2
	April	7.7	140.3	9.9	94.9	12.6	11.4	3.9	12.0	5.2	68.3	29.5	1.7	1.8	44.1	92.5	2.1
	June	7.5	191.2	8.1	95.0	15.9	16.6	4.5	9.1	25.6	152.0	142.1	2.3	3.3	94.5	184.5	2.9
Naju	January	7.3	418.0	13.4	-	15.1	14.2	9.2	10.8	3.3	3084.0	422.0	4.3	11.0	757.9	977.8	0.7
	April	7.8	247.0	10.3	100.7	19.6	22.8	12.2	13.8	35.3	2410.6	172.6	2.3	6.5	222.0	405.5	1.9
	June	7.3	258.0	7.1	84.9	21.7	24.6	9.3	12.4	23.4	1586.7	305.1	2.5	5.1	190.6	342.8	3.0
Hampyung	January	7.5	326.0	14.6	-	21.1	22.8	4.2	11.9	6.2	2934.2	203.9	4.1	10.3	520.9	678.8	0.5
	April	7.6	259.0	7.9	78.0	21.6	23.6	9.3	14.7	26.9	1478.6	147.1	2.2	5.6	152.7	281.4	1.6
	June	7.2	208.0	5.3	61.0	33.1	32.8	7.5	9.3	16.0	1150.3	228.1	2.1	4.0	142.3	283.6	2.3
Unam	January	7.4	189.0	12.8	-	3.7	2.2	2.0	6.1	2.3	91.6	22.4	2.0	3.5	1.8	21.8	0.3
	April	8.2	160.4	9.3	94.5	7.5	8.8	2.1	9.5	9.1	34.3	18.5	1.8	2.8	3.3	29.2	0.6
	June	7.7	152.5	7.2	80.0	18.0	16.0	4.4	7.1	4.8	303.1	137.6	3.0	4.1	35.1	97.7	2.8
Imsil	January	7.5	68.9	13.6	-	1.5	1.4	0.8	4.0	0.2	7.2	3.8	1.3	1.8	1.8	8.1	0.3
	April	7.7	88.9	10.6	101.5	7.2	5.2	1.2	10.3	2.1	21.4	1.5	1.2	1.9	1.0	7.6	1.7
	June	7.9	93.7	9.8	107.3	8.4	7.8	2.0	8.0	3.4	37.6	12.5	1.3	1.9	2.0	28.5	2.5
Jeoksung	January	7.4	118.1	14.4	-	7.2	4.2	1.3	5.1	0.0	22.5	9.8	1.6	2.0	2.6	16.5	0.5
	April	8.2	137.4	9.5	97.2	7.7	6.8	2.3	9.9	5.0	51.9	14.7	0.9	3.1	8.0	26.0	1.3
	June	7.8	140.1	9.1	104.8	15.6	18.0	3.5	9.4	7.1	74.3	94.7	1.7	2.4	25.9	100.0	3.4
Namwon	January	7.4	135.6	13.1	-	4.1	2.6	1.5	5.6	0.2	59.9	13.2	1.7	3.0	2.6	18.0	0.5
	April	8.1	149.8	9.6	97.5	12.6	9.8	2.0	11.4	5.4	31.2	11.1	0.9	3.9	6.4	32.4	1.2
	June	7.5	144.8	8.2	97.2	16.5	17.8	4.8	7.5	6.6	372.0	257.1	1.7	3.1	42.8	117.6	2.8

Sites	Date	pH	EC ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	DO		Turbidity (NTU)	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Chl. <i>a</i> ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	NH <sub>4</sub> -N ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	NO <sub>2</sub> -N ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	TN (mg/L)	PO <sub>4</sub> -P ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	TP ( $\mu\text{g}/\text{L}$ )	Si (mg/L)
				(mg/L)	(%)												
Godal	January	7.4	144.3	14.3	-	2.6	1.8	1.7	4.6	0.0	37.2	24.6	2.3	3.2	22.7	42.3	0.5
	April	8.2	149.8	9.6	97.3	10.5	11.0	2.2	9.0	6.1	49.5	27.2	1.2	2.1	23.4	69.2	1.3
	June	7.5	147.1	8.2	97.6	17.8	19.6	5.7	9.0	9.7	369.1	240.8	1.7	3.0	45.2	129.9	2.9
Goksung	January	7.3	146.4	13.6	-	2.8	1.8	1.5	37.8	0.6	38.8	24.9	2.7	3.3	28.0	49.2	0.5
	April	8.1	145.2	9.7	97.4	8.8	7.6	2.1	9.7	5.4	38.2	22.2	1.3	2.3	35.7	64.4	1.4
	June	7.7	142.8	8.9	108.0	15.7	16.8	3.9	7.9	8.4	311.9	228.1	1.7	3.0	50.6	129.9	3.0
Bosung Cheon	January	7.5	79.3	14.2	-	2.1	1.8	1.0	1.5	0.2	0.3	3.3	1.2	1.4	1.8	9.7	0.6
	April	7.8	94.2	10.1	103.1	7.3	9.2	1.5	9.8	3.4	40.9	6.0	0.9	1.7	4.9	17.2	2.7
	June	7.5	119.4	9.1	109.3	16.5	11.6	3.8	9.1	3.2	615.4	107.7	1.3	2.8	54.4	116.9	3.4
Gyesan	January	7.4	122.6	13.3	-	3.1	2.2	1.2	2.5	1.1	9.3	17.2	2.2	2.6	2.6	37.0	0.5
	April	8.5	130.4	9.8	102.9	5.9	6.4	1.6	10.3	6.1	30.4	16.6	1.2	1.8	29.5	54.8	1.8
	June	7.8	133.1	9.2	113.3	13.0	12.6	3.7	8.6	6.6	290.2	179.2	1.6	2.8	46.7	106.1	3.0
Gurye	January	7.3	135.6	13.8	-	3.2	1.8	1.4	1.9	1.1	44.6	17.2	2.1	2.4	10.0	30.9	0.5
	April	8.6	127.6	10.8	106.8	5.6	6.0	2.0	10.3	5.7	33.5	13.8	1.2	2.2	14.1	37.2	1.6
	June	7.9	136.6	9.0	111.1	14.6	13.8	4.3	7.3	6.6	280.2	173.8	3.3	3.9	49.8	116.1	2.8