

북한강 상류수계인 조양강의 DAIPo와 TDI를 이용한 생물학적 수질평가

김헌년 · 박혜경¹ · 박상정¹ · 이옥민*

(경기대학교 생명과학과, ¹국립환경과학원 물환경연구부)

Biological Water Quality Assessment of Joyang-river Located at the Upper Region of North Han-river Using DAIPo and TDI. Kim, Hun-nyun, Hea-Kyung Park¹, Sang-Jung Park¹ and Ok-min Lee* (Department of Life Science, College of Natural Science, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea; ¹Water Environment Research Department, The National Institute of Environmental Research, Incheon 404-170, Korea)

A biological assessment of water quality was made at 9 sites of the Joyang-river and inflow streams located in Jeongseon-gun Gangwon-do, from June 2008 to September 2010. The investigation consisted of physico-chemical factors, biomass, and standing crops of epilithic diatoms. In addition, the community structure of epilithic diatoms was analyzed, and the water quality was assessed using DAIPo and TDI. The pH varied from 7.4~10.2 which is attributed to the Joyang-river area consisting of limestone. A total of 117 taxonomic groups of epilithic diatoms, including: 2 orders, 6 families, 23 genera, 95 species, 15 varieties, 2 forms, and 5 unidentified species, were found in the Joyang-river. 11 taxa, including *Achnanthes laterostrata* and *Cymbella delicatula* which live in neutral to alkali pH, were found. An indicator species of alkali waters, *Cymbella delicatula*, was routinely observed to have a relative frequency of over 10% in I3 and I4. In the result of the biological assessment using DAIPo, the Joyang-river was rated class A, with an average of 77.03 and inflow streams were rated class B with an average of 65.84. As for the results of TDI analysis, the Joyang-river was rated class A~B, and inflow streams were rated class A~D. Accordingly, the water quality of the Joyang-river was determined to be superior to that of inflow streams. Although the main stream showed low water quality at sites J2 and J3, correlating with a reduction in the quality of inflow stream, I1 in September 2009.

Key words : biological assessment, joyang-river, epilithic diatoms, DAIPo, TDI

서 론

한반도의 기후는 대부분의 강우가 여름에 집중되는 몬

순성 기후이다. 하지만, 최근 들어 기후변화로 인해 강우의 시기, 빈도, 강우량을 예측할 수 없게 되었으며 (Ministry of Construction and Transportation, 2005), 한 지역에 강우가 집중되는 현상을 보이고 있다. 집중 강우는 빠

* Corresponding author: Tel: 031) 249-9643, Fax: 031) 241-0860, E-mail: omlee@kyonggi.ac.kr

른 시간 내에 하천으로 유입되어 영양염의 빠른 수송과 탁수로 하천을 교란시킨다(Ford, 1990; Horne and Goldman, 1994). 하천으로의 탁수 유입은 빛의 투과량 감소와 용존산소 감소로 인해 하천에 서식하는 생물들에게 직접적, 간접적으로 영향을 준다.

집중강우와 같은 교란에 영향을 받은 생물의 반응은 수환경의 변화를 유추하는 좋은 자료가 된다. 특히, 하천에 서식하는 부착조류는 수생태계의 1차 생산자로서 먹이망에 기본이 되며(Hotzel and Croome, 1999), 짧은 생활사와 생식주기를 가짐으로 인해 인위적 영향에 대해 빠른 반응을 볼 수 있다(Domingues and Galvao, 2007; Cabecinha *et al.*, 2009). 이러한 특성으로 인해 부착조류, 특히 부착규조류는 생물학적 수질평가에 활용되고 있다(Watanabe *et al.*, 1986, 1990, 2005; Kelly and Whitton, 1995; Ponader and Charles, 2008; Feio *et al.*, 2009).

부착규조류를 이용하는 생물학적 수질평가로는 DAipo(Watanabe *et al.*, 1990, 2005)와 TDI(Kelly and Whitton, 1995)가 대표적이며, 이를 이용한 연구로는 일본(Tuji, 2003), 중국(Yuazao *et al.*, 1998; Tang *et al.* 2006), 영국(Kelly and Whitton, 1995; Kelly, 1998, 2001, 2002, 2003; Kelly and Wilson, 2004; Kelly *et al.*, 2008) 등이 있다. 국내에서는 북하천과 달천의 연구(Kim *et al.*, 2003), 남대천, 연곡천과 사천천의 연구(Kim and Lee, 2011), 낙동강의 연구(Lee, 1998), 동화습지의 연구(Kim *et al.*, 2010)와 충청남도 일대 저수지의 연구(Song *et al.*, 2011) 등이 있다.

강원도 정선군에 위치한 조양강에 대한 연구로는 저서성무척추동물 연구(Bae *et al.*, 2002a), 육상곤충 연구(Bae *et al.*, 2002b), 동강의 조류상(Cho and Choi, 2002), 어류군집의 연구(Jeon *et al.*, 2002) 등이 있으며, 수질에 대한 평가나 부착규조류에 대한 연구는 미비하다.

본 연구에서는 조양강과 유입천의 이화학적 환경요인을 조사하고, 부착규조류의 종분포 및 군집구조를 분석하였다. 이를 통하여 생물학적 수질 평가방법인 DAipo와 TDI를 산출하여 적용함으로써 북한강 상류수역인 조양강의 수질을 생물학적으로 평가하고자 하였다.

방 법

1. 조사지점 및 조사기간

본 연구에서는 강원도 정선군에 위치한 조양강 및 유입천을 대상으로 총 9개의 정점을 선정하고, 2008년 6월

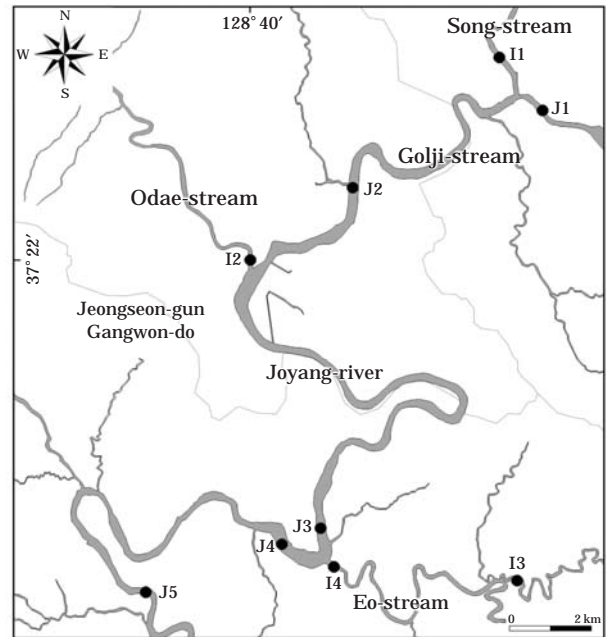


Fig. 1. Map showing the 9 sampling sites of the Joyang-river and inflow streams from Jun. 2008 to Sep. 2010.

부터 2010년 9월에 걸쳐 총 6회를 조사하였다.

조양강은 삼척군에서 발원한 골지천이 평창군 발왕산에서 시원하는 송천과 정선군 여량리에서 합류하여 흐르다가 다시 나전리에서 오대천과 합류하여 조양강을 이룬다. 이후 정선군을 흐르며 어천 등과 합류하고 정선군 내를 통과하여 동강을 이루는 한강의 최상류 지류이다(Kang, 1998). 본 연구에서는 조양강 본류 5개 정점과 유입천 4개 정점을 선정하였으며 위치는 다음과 같다(Fig. 1). 조양강 본류 5개 정점은 강원도 정선군 북면 여량리에 위치한 여량1교(J1), 북평면 장열리 장열교(J2), 정선읍 봉양리 정선제2교(J3), 봉양리 정선대교(J4), 광하리 광하대교(J5)이다. 그리고 유입천 4개 정점은 북면 유천리 송천교(I1), 북평면 나전리 나전교(I2), 정선읍 덕우리 덕산3교(I3), 정선읍 애산리 애산교(I4)이다.

2. 채집 및 분석방법

수온, pH, 용존산소(DO), 전기전도도(Conductivity)는 Horiba D-55, Orion 5-star를 이용하여 현장에서 측정하였으며, 탁도는 현장에서 채수한 시료를 실험실로 운반하여 탁도계(WTW, Turb550)를 이용하여 측정하였다. 총질소, 총인, BOD는 수질측정망을 이용하였다(Water Information System, 2008~2010).

Table 1. Physico-chemical properties determined at 9 sampling sites of the Joyang-river and inflow streams from Jun. 2008 to Sep. 2010.

Date	Site	WT (°C)	pH	DO (mg L ⁻¹)	Cond. (μS cm ⁻¹)	Turb. (NTU)	Chl- <i>a</i> (μg cm ⁻²)	AFDM (mg cm ⁻²)	BOD (mg L ⁻¹)	T-N (mg L ⁻¹)	T-P (μg L ⁻¹)
Jun. 2008	J1	27.6	9.3	11.8	197.1	2.6	16.8	4.2	0.6	1.724	15
	I1	24.5	9.1	8.2	178.0	4.1	3.3	0.8	0.4	1.791	11
	J2	25.5	9.1	9.2	188.0	13.4	9.7	2.5	1.1	1.606	26
	I2	25.7	9.1	8.9	106.5	17.2	3.2	2.0	1.0	2.330	69
	J3	29.0	9.4	10.0	166.2	14.4	1.6	0.7	0.7	2.188	59
	I3	21.6	8.3	8.5	311.4	0.5	2.7	1.1	—	—	—
	I4	25.2	8.9	12.4	287.8	1.3	90.8	12.5	0.3	2.567	2
	J4	26.9	9.4	10.4	184.4	10.3	16.0	3.2	0.8	2.140	41
J5	25.2	9.5	11.1	217.9	7.0	2.1	0.6	1.8	1.466	16	
Sep. 2008	J1	23.8	9.7	16.2	176.0	0.7	51.0	9.0	0.5	1.965	16
	I1	22.5	9.6	12.1	155.5	1.7	9.6	1.2	0.7	2.700	40
	J2	22.5	9.7	10.6	154.8	1.5	9.0	2.0	0.7	2.279	24
	I2	23.4	10.0	12.8	132.0	1.5	3.8	1.1	0.6	2.866	30
	J3	21.8	9.4	12.8	154.4	1.8	30.2	2.3	0.7	2.596	49
	I3	20.1	8.8	11.2	272.8	0.4	10.1	2.3	—	—	—
	I4	20.4	8.8	13.2	302.0	1.1	6.8	4.3	0.4	3.035	8
	J4	22.7	9.3	15.8	214.3	1.2	17.2	4.1	0.7	2.615	16
J5	22.7	9.3	12.9	174.3	1.4	9.3	1.9	0.9	2.202	67	
Apr. 2009	J1	14.4	9.3	5.7	146.0	2.7	10.1	1.7	0.9	2.486	09
	I1	16.3	9.4	10.9	191.0	2.1	15.7	3.2	0.7	3.798	17
	J2	13.9	9.3	5.6	169.8	2.2	12.9	3.1	0.7	2.326	12
	I2	15.0	9.8	6.4	113.8	3.1	5.7	1.3	0.7	2.535	30
	J3	18.4	10.1	9.3	162.0	4.2	12.6	2.9	0.4	4.560	17
	I3	15.9	9.3	6.8	282.4	0.9	3.5	1.5	—	—	—
	I4	17.0	9.2	7.8	333.0	2.1	4.1	1.5	0.3	3.188	13
	J4	18.1	9.8	8.3	192.1	1.9	7.9	3.1	1.0	2.860	11
J5	17.0	9.7	7.9	186.5	1.8	5.6	1.8	0.6	2.592	16	
Sep. 2009	J1	23.4	9.3	8.1	211.3	0.5	4.7	2.0	0.7	2.979	14
	I1	22.6	9.8	6.2	142.8	0.7	10.8	2.0	0.4	2.396	21
	J2	21.4	9.3	6.2	197.1	0.6	21.6	2.4	0.9	2.331	16
	I2	23.9	10.2	8.4	156.5	0.4	9.8	2.8	0.8	3.518	17
	J3	23.5	9.5	7.2	184.8	1.5	5.4	1.7	0.4	2.999	40
	I3	21.9	8.9	7.5	274.5	0.4	2.8	1.6	—	—	—
	I4	23.6	8.9	8.0	310.0	1.1	3.1	1.5	0.4	3.101	23
	J4	26.1	9.3	10.4	215.2	0.8	9.9	2.2	0.8	3.995	60
J5	23.9	9.2	8.1	211.9	0.7	1.3	0.7	0.4	2.730	15	
May 2010	J1	21.1	8.3	12.8	186.8	1.5	9.5	5.1	0.4	2.646	20
	I1	19.0	8.4	11.9	110.9	2.8	1.9	0.8	1.2	2.399	53
	J2	16.4	7.9	9.4	129.4	2.1	0.7	0.4	1.2	1.612	15
	I2	18.9	8.4	12.3	91.0	2.9	5.0	1.6	0.8	1.820	17
	J3	16.5	8.6	11.2	133.1	3.9	5.1	2.0	0.5	2.522	19
	I3	20.0	7.9	10.6	286.6	0.4	3.0	1.2	—	—	—
	I4	16.6	8.1	12.1	310.0	1.9	5.3	4.2	0.3	3.418	13
	J4	17.3	8.6	12.2	226.0	2.2	4.0	2.0	0.4	2.828	13
J5	20.2	8.5	13.1	166.5	2.3	1.7	0.8	0.6	2.267	13	
Sep. 2010	J1	16.2	7.5	13.0	204.2	1.7	0.7	0.8	0.3	2.778	20
	I1	14.5	7.3	13.0	108.5	31.8	1.7	0.6	0.3	2.515	46
	J2	12.4	7.5	11.8	155.5	15.1	1.0	0.7	0.7	2.574	76
	I2	15.0	7.5	14.5	143.9	0.8	2.5	0.7	0.4	2.950	43
	J3	15.2	7.4	12.2	160.0	10.9	1.6	1.0	0.4	2.299	29
	I3	12.9	7.6	11.6	314.0	0.2	0.1	0.4	—	—	—
	I4	13.4	7.6	12.3	340.0	0.6	0.1	0.3	0.4	4.188	11
	J4	14.6	7.6	14.7	259.0	4.9	3.0	1.1	0.6	2.385	29
J5	15.4	7.4	12.4	185.1	7.3	0.4	0.5	0.4	2.569	22	

부착규조류의 채집은 기질의 25 cm²를 부드러운 솔로 정량 채집하였고 (Ministry of Environment, 2007), 1%의 포르말린으로 고정하였다. 부착규조류의 분석은 U.S. EPA (1995)에 따라 시료를 세정 및 봉입 후 영구표본을 제작하여 광학현미경 (Olympus BX47, Japan)을 사용하여 1000배 하에서 수행하였다. 동정에 Chung (1993) 등을 참고하였고, Simonsen의 분류체계 (Ettl *et al.*, 1986, 1988, 1991a, b)에 따라 정리하였다. 엽록소 *a*와 AFDM (Ash-free dry matter)은 Standard methods (APHA, 1998)에 준하여 분석하였다.

부착규조류를 이용한 생물학적 수질평가를 하기 위해서 DAipo (Watanabe *et al.*, 1990, 2005)와 TDI (Kelly and Whitton, 1995)를 이용하였다.

경요인은 다음과 같다 (Table 1). 수온은 12.4~29.0°C 이고, pH는 7.4~10.2의 범위로 중성~알칼리성을 나타냈다. 이는 조양강 일대가 석회암으로 이루어져 있기 때문인 것으로 사료된다 (Kang, 1998). 탁도는 0.4~17.2 NTU로 대부분 5 이하로 조사되었지만, 2008년 6월과 2010년 9월의 경우 높은 값을 나타냈다. 이는 강우에 의한 일시적인 탁도 증가로 사료된다 (Water Information System, 2008~2010). BOD는 0.3~1.8 mg L⁻¹로 I~II 등급으로 나타났다. 총질소는 1.466~4.560 mg L⁻¹, 총인은 2~76 µg L⁻¹로 분류에 비해 유입천의 총질소와 총인의 농도가 높았으나, 유입천의 유량이 상대적으로 적기 때문에 분류에 미치는 영향은 미비하였다 (Wu *et al.*, 2012).

결과 및 고찰

1. 이화학적 환경요인

조양강 및 유입천의 9개 정점에서 조사된 이화학적 환

2. 생물량 및 유기물량

엽록소 *a*는 0.2~90.8 µg cm⁻²로 큰 변동을 보였고, AFDM은 0.3~12.5 mg cm⁻²의 범위를 보였다 (Fig. 2a). 특히 2008년 6월의 I4 정점에서 엽록소 *a*와 AFDM이 최대치를 기록한 것에 비해 총인의 농도는 2 µg L⁻¹로 나타

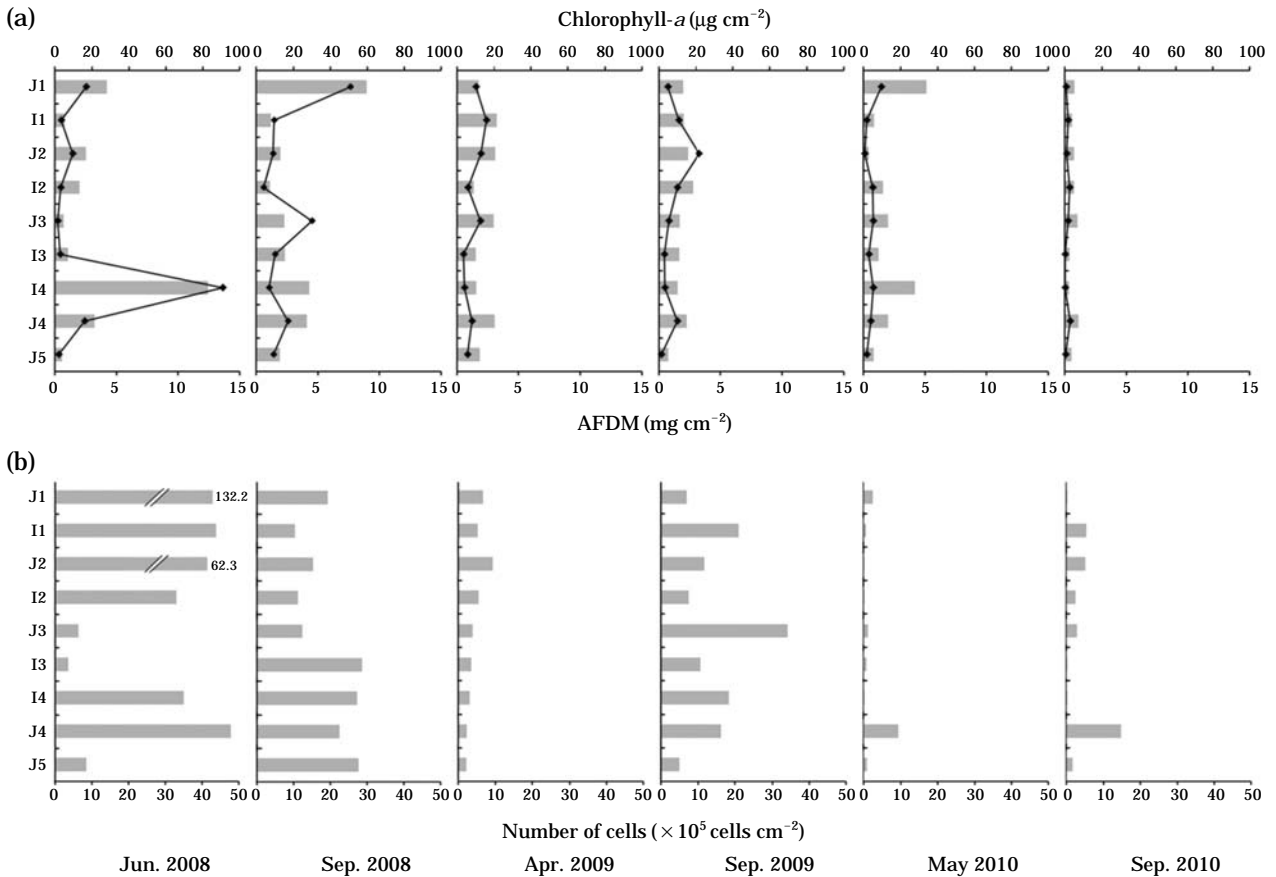


Fig. 2. Chlorophyll-*a* (a: line), AFDM (a: bar) and Number of cells (b) at the Joyang-river and inflow streams from Jun. 2008 to Sep. 2010.

났는데, 이는 조류 성장에 의한 인의 소비와 6월에 집중된 강우에 의해 인이 희석되어 낮은 농도를 보인 것으로 사료된다(Water Information System, 2008~2010).

부착규조류의 생물량은 $0.05 \sim 132.20 \times 10^5 \text{ cells cm}^{-2}$ 의 범위로 시기 및 정점에 따라 큰 변동을 나타냈다(Fig. 2b). 2008년 6월 J1 정점에서 $132.20 \times 10^5 \text{ cells cm}^{-2}$ 로 가장 높은 값을 나타냈고, 2010년 4월 I4 정점에서 $0.05 \times 10^5 \text{ cells cm}^{-2}$ 로 가장 낮은 값을 보였다.

2008년 6월의 I4정점에서 엽록소 *a*와 AFDM의 값이 큰 수치를 나타냈으나 부착규조류의 현존량이 다른 지점과 유사한 것으로 볼 때 이 시기 및 정점에서는 규조강

(Bacillariophyceae)이 아닌 남조강(Cyanophyceae)이나 녹조강(Chlorophyceae)이 급격하게 늘어난 것으로 판단된다(Cho *et al.*, 2010). 반면에 2008년 6월 J1, I1, J2, I2 정점에서는 부착규조류의 현존량에 비해 엽록소 *a*와 AFDM의 값이 상대적으로 낮았다. 이는 세포의 크기와 종에 따라 엽록소 *a* 양이 다르기 때문인 것으로 사료된다(Jiménez *et al.*, 1987; Odete and Yanada, 1993).

3. 출현종 및 우점종

조양강 및 유입천에서 출현한 부착규조류는 2목 6과

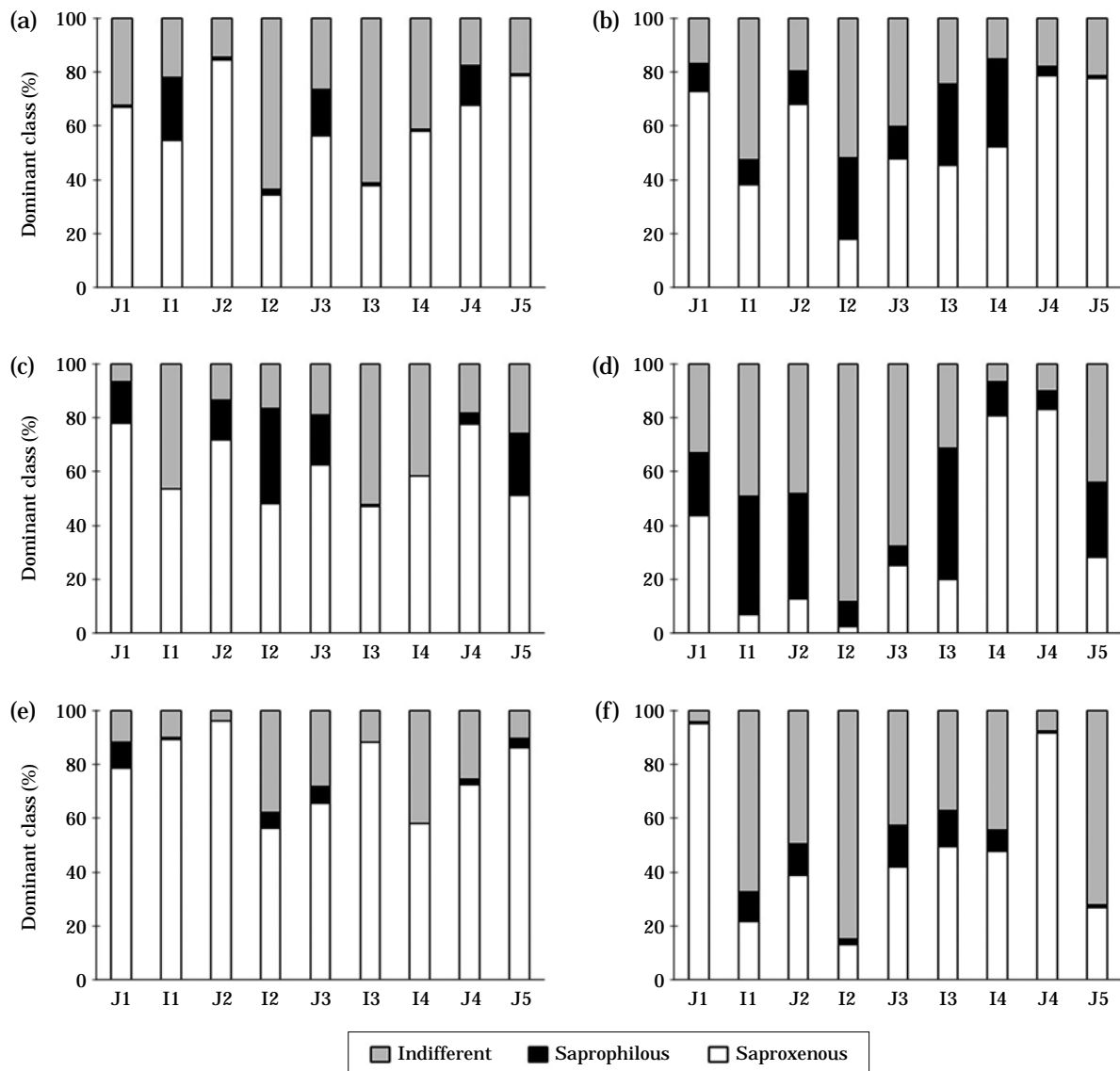


Fig. 3. Changes of dominant class at 9 sampling sites of the Joyang-river and inflow streams from Jun. 2008 to Sep. 2010 (a: Jun. 2008, b: Sep. 2008, c: Apr. 2009, d: Sep. 2009, e: May 2010, f: Sep. 2010).

23속 95종 15변종 2품종 5 미동정종으로 총 117분류군이 출현하였다. 2009년 4월 I4 정점에서 7분류군으로 가장 적게 출현하였고, 2008년 6월과 2009년 9월, 그리고 2010년 9월 J3 정점에서 28분류군으로 가장 많이 출현하였다 (Appendix).

본 연구에서 출현한 분류군은 주로 중성수역과 알칼리성 수역에 분포하는 분류군으로 구성되어 있었다. 그 중 *Achnanthes laterostrata*, *Fragilaria capucina*, *Synedra acus*는 중성수역에서 분포하는 것으로 알려져 있으며, *A. lanceolata*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *C. placentula* var. *lineata*는 중성~알칼리성 수역에 분포하는 분류군이다. 또한 *A. hungarica*, *Cymbella affinis*, *C. tumida*는 알칼리성의 수역에 분포하며, *C. delicatula*, *F. capucina* var. *mesolepta*는 석회성분이 풍부한 하천에 분포하는 것으로 보고되었다 (Chung, 1993). 또한 산성수역의 출현종은 나타나지 않았다. 특히 *C. delicatula*는 조사

기간 중 I3과 I4 정점에서 대부분 10% 이상의 상대출현빈도를 나타냈다.

Watanabe *et al.* (2005)의 기준에 따라 출현종을 구분하면 평균적으로 호청수성종이 55.70%, 호오염성종이 11.58%, 그리고 광적응성종이 32.72%의 출현빈도를 보여 상대적으로 호청수성종이 많이 출현하는 것으로 나타났다. J1 정점에서 높게 출현한 호청수성종은 J3 정점으로 갈수록 점차 줄어들었으며, J5 정점으로 갈수록 다시 증가하는 경향성을 보였다 (Fig. 3). 2009년 9월의 경우 호오염성종과 광적응성종의 출현빈도가 증가하였다. 이는 갈수기 유량 감소에 의해 영양염이 축적되어 수질이 악화되었기 때문이다 (Table 1).

부착규조류 중 우점종은 *Achnanthes convergens*, *A. minutissima*, *Cocconeis placentula* var. *lineata*, *Cymbella delicatula*, *C. silesiaca*, *Nitzschia amphibia*, *N. palea*로 7분류군 이었다 (Table 2). 본류인 J1~J5 정점은 2008년

Table 2. The percentages of dominant species at 9 sampling sites of the Joyang-river and inflow streams from Jun. 2008 to Sep. 2010.

Site	Date	Dominant species	%	Date	Dominant species	%
J1	Jun. 2008	<i>Achnanthes convergens</i>	50.7	Sep. 2008	<i>Achnanthes convergens</i>	42.0
I1		<i>Cymbella silesiaca</i>	27.8		<i>Nitzschia amphibia</i>	18.8
J2		<i>Achnanthes convergens</i>	43.5		<i>Achnanthes convergens</i>	40.4
I2		<i>Nitzschia amphibia</i>	29.4		<i>Nitzschia palea</i>	30.5
J3		<i>Achnanthes convergens</i>	30.7		<i>Achnanthes convergens</i>	35.7
I3		<i>Denticula tenuis</i>	54.7		<i>Nitzschia palea</i>	30.1
I4		<i>Achnanthes convergens</i>	26.1		<i>Achnanthes convergens</i>	47.2
J4		<i>Achnanthes minutissima</i>	46.8		<i>Achnanthes convergens</i>	43.3
J5		<i>Achnanthes convergens</i>	65.1		<i>Achnanthes convergens</i>	62.6
J1	Apr. 2009	<i>Achnanthes convergens</i>	41.0	Sep. 2009	<i>Achnanthes minutissima</i>	21.2
I1		<i>Achnanthes minutissima</i>	36.6		<i>Nitzschia palea</i>	42.1
J2		<i>Achnanthes convergens</i>	31.0		<i>Nitzschia palea</i>	29.1
I2		<i>Nitzschia palea</i>	35.0		<i>Nitzschia amphibia</i>	78.6
J3		<i>Cymbella silesiaca</i>	19.0		<i>Nitzschia amphibia</i>	21.4
I3		<i>Achnanthes minutissima</i>	32.4		<i>Nitzschia palea</i>	46.7
I4		<i>Cymbella delicatula</i>	47.4		<i>Achnanthes convergens</i>	50.9
J4		<i>Achnanthes minutissima</i>	47.4		<i>Achnanthes convergens</i>	73.6
J5		<i>Achnanthes convergens</i>	36.9		<i>Nitzschia amphibia</i>	29.8
J1	May 2010	<i>Cymbella silesiaca</i>	26.8	Sep. 2010	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	59.7
I1		<i>Achnanthes convergens</i>	57.1		<i>Nitzschia amphibia</i>	56.2
J2		<i>Achnanthes convergens</i>	52.3		<i>Nitzschia amphibia</i>	17.0
I2		<i>Nitzschia amphibia</i>	26.3		<i>Nitzschia amphibia</i>	80.7
J3		<i>Achnanthes minutissima</i>	23.9		<i>Achnanthes convergens</i>	21.1
I3		<i>Achnanthes convergens</i>	44.1		<i>Achnanthes convergens</i>	28.3
I4		<i>Achnanthes minutissima</i>	40.8		<i>Achnanthes convergens</i>	35.9
J4		<i>Achnanthes minutissima</i>	45.3		<i>Achnanthes convergens</i>	60.3
J5		<i>Achnanthes minutissima</i>	37.2		<i>Nitzschia amphibia</i>	68.0

에 모두 호청수성 종인 *Achnanthes convergens*가 우점하였으나, 2009년 9월에 호오염성종인 *Nitzschia amphibia*와 *N. palea*가 J2 정점을 포함한 3개 정점에서 우점하였다(Table 2). 유입천인 I1~I4 정점에서는 대체로 호오염성종인 *Nitzschia amphibia*, *N. palea*가 우점하는 경향을 보였다. 이는 유량에 비해 높은 영양염과 일시적으로 증가한 탁도로 인해 수질이 악화되었기 때문인 것으로 사료된다(Table 1).

4. 생물학적 수질평가

DAIpo와 TDI를 이용한 생물학적 수질평가 결과, DAIpo 지수는 18.20~95.03으로 넓은 범위를 보였고, TDI 지수는 31.58~98.17로, A~D 등급을 나타냈다 (Ministry of Environment, 2007) (Table 3).

DAIpo의 경우 본류와 유입천 모두 A~D 등급에 걸쳐 나타났으나, 비교적 유입천의 등급이 낮은 편이다. TDI의 경우 본류인 J1~J5 정점은 2009년 9월을 제외하면 모두 A~B 등급으로 수질이 양호하였고, 유입천인 I1~I4

정점은 A~D 등급에 걸쳐 나타났으며, 본류에 비해 등급이 낮게 나타났다. 생물학적 수질평가 시 대체로 TDI가 DAIpo에 비해 높은 오염 등급을 나타내는 것으로 보고되었으나 (Hwang *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2009), 조양강 및 유입천에서는 DAIpo가 TDI보다 높은 오염 등급을 나타냈다. 이는 조양강 및 유입천의 수질은 유기오염에 의한 영향이 더 큰 것으로 사료된다.

일반적으로 하류로 갈수록 오염도가 증가하는 경향을 보이지만 (Kim *et al.*, 2009), 본 연구에서는 하류보다는 유입천이 본류에 비해 생물학적 수질평가가 낮았다. 이는 유입천 유역에 존재하는 점오염원이 유입천의 유량에 비해 많기 때문인 것으로 사료된다 (Wu *et al.*, 2012). 유입천은 본류의 유량에 의해 희석되고, 조류군집의 소비로 인해 영양염의 농도가 줄어들기 때문에 본류의 수질에 미치는 영향은 크지 않다 (Aponasenkoa *et al.*, 2010). 그러나 2009년 9월의 경우 I1 정점에서 시작된 낮은 등급이 J3 정점까지 이어지는 것으로 볼 때 조양강 일대 유입천의 수질 관리가 필요한 것으로 판단된다.

Table 3. Water quality assessment using diatom indices at 9 sampling sites of the Joyang-river and inflow streams from Jun. 2008 to Sep. 2010.

Site	Date	DAIpo		TDI		Date	DAIpo		TDI	
J1	Jun. 2008	50.26	B	83.04	B	Sep. 2008	36.43	A	81.40	B
I1		63.03	C	65.61	B		60.87	C	64.36	B
J2		37.17	A	91.67	A		41.60	B	77.93	B
I2		74.76	D	66.18	B		80.05	D	43.68	C
J3		54.44	B	69.72	B		64.91	C	68.08	B
I3	Apr. 2009	24.26	A	68.47	B	Sep. 2009	35.12	A	57.65	C
I4		24.54	A	78.82	B		34.02	A	59.90	C
J4		43.05	B	76.59	B		31.25	A	87.56	A
J5		36.42	A	88.84	A		25.00	A	88.11	A
J1		42.52	B	81.21	B		61.49	C	60.00	B
I1	May 2010	44.33	B	76.87	B	Sep. 2010	80.40	D	31.58	D
J2		44.31	B	78.57	B		83.06	D	36.71	D
I2		64.05	C	56.28	C		95.03	D	46.68	C
J3		52.36	B	72.18	B		68.69	C	58.93	C
I3		14.94	A	73.24	B		62.24	C	35.71	D
I4	May 2010	15.21	A	79.15	B	Sep. 2010	28.18	A	84.10	B
J4		29.94	A	86.95	A		29.78	A	88.29	A
J5		42.47	B	64.04	B		78.43	D	50.00	C
J1		41.23	B	84.39	B		45.48	B	97.32	A
I1		39.09	A	94.41	A		86.73	D	55.31	C
J2	May 2010	45.56	B	98.17	A	Sep. 2010	73.43	D	63.40	B
I2		62.53	C	75.15	B		91.45	D	55.56	C
J3		50.89	B	79.65	B		52.79	B	63.22	B
I3		25.00	A	94.10	A		58.18	C	68.28	B
I4		18.20	A	79.02	B		43.44	B	70.09	B
J4	May 2010	34.86	A	85.33	A	Sep. 2010	30.07	A	95.53	A
J5		36.96	A	91.38	A		84.61	D	62.67	B

적 요

본 연구는 강원도 정선군에 위치한 조양강 및 유입천을 대상으로 총 9개 정점을 선정하고 2008년 6월부터 2010년 9월까지 총 6회에 걸쳐 이화학적 환경오염과 생물량 및 부착구조류의 현존량을 조사하였다. 또한 부착구조류의 군집구조를 분석하고 생물학적 평가를 통해 수질을 평가하였다.

1. 조양강 일대는 석회암으로 구성되어 pH가 7.4~10.2로 중성~알칼리성의 범위를 보였다.

2. 조양강 수계에서 출현한 부착구조류는 2목 6과 23속 95종 15변종 2품종 5미등정종으로 총 117분류군이 출현하였고, 산성수역의 지표종은 출현하지 않았으며 중성~알칼리성의 pH에서 생육하는 *Achnanthes laterostrata*, *Cymbella delicatula* 등 11분류군이 출현하였다.

3. 특히 알칼리성 수역의 지표종인 *Cymbella delicatula*는 I3과 I4 정점의 일부 시기를 제외하고 10% 이상의 상대출현빈도를 나타냈다.

4. 조양강 및 유입천에 DAIPo를 적용한 결과 조양강은 평균 77.03로 A등급을 나타냈으며, 유입천은 평균 65.84로 B 등급으로 나타났다. TDI를 이용한 생물학적 평가시 조양강은 A~B 등급을 나타냈으며, 유입천은 A~D 등급에 걸쳐 나타남으로써, 조양강 본류가 유입천보다 수질이 양호한 것으로 나타났다.

5. 본 연구에서 유입천의 수질이 조양강에 미치는 영향은 낮은 것으로 나타났으나, 2009년 9월의 경우에는 본류인 J2와 J3 정점이 유입천 I1 정점의 영향으로 수질이 저하되었다.

사 사

본 연구는 한국연구재단 기초연구사업(2011-0005974)과 「수생태 건강성 조사 및 평가」에 의해 지원되었습니다.

인 용 문 헌

APHA. 1998. Standard methods, For the examination of water and wastewater, 20th, New York, pp. 1220.
Aponasenko, A.D., V.V. Dryukkerb, L.M. Sorokovikovab and L.A. Shchura. 2010. The effect of tributaries on the environmental conditions in the enisei river. *Water Re-*

sources 37(6): 817-824.
Bae, K.S., J.D. Yeo and C.I. Choi. 2002a. Distribution and variation of the terrestrial insects in the Choyang and Dong river, Korea. *Korean Journal of Limnology* 35(5): 259-371.
Bae, K.S., J.D. Yeo and C.I. Choi. 2002b. Characteristic of Benthic Macroinvertebrate Communities in the Choyang and Dong River, Korea. *Korean Journal of Limnology* 35(5): 372-387.
Cabecinha, E., R. Cortes, J. Cabral, T. Ferreira, M. Lourenço and M. Pardal. 2009. Multiscale approach using phytoplankton as a first step towards the definition of the ecological status of reservoirs. *Ecological Indicators* 9(2): 240-255.
Cho, H.K., M.H. Jung, G.M. Kim, S.S. Shim and H.Y. Lee. 2010. Dynamics of phytoplankton and periphyton in Gwangju stream. *Korean Journal of Environmental Biology* 28(2): 69-78.
Cho, S.R. and C.I. Choi. 2002. Ecological studies en avifauna of Dong river, Korea. *Korean Journal of Limnology* 35(5): 337-343.
Chung, J. 1993. Illustration of the Freshwater Algae of Korea. Academy Book, Seoul. pp. 496.
Domingues, R. and H. Galvao. 2007. Phytoplankton and environmental variability in a dam regulated temperate estuary. *Hydrobiologia* 586(1): 117-134.
Ettl, H., G. Gartner, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1991b. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/4. Bacillariophyceae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1986. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Bacillariophyceae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1988. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/2. Bacillariophyceae, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
Ettl, H., J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer. 1991a. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3. Bacillariophyceae, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
Feio, M.J., S.F.P. Almeida, S.C. Craveiro and A.J. Calado. 2009. A comparison between biotic indices and predictive models in stream water quality assessment based on benthic diatom communities. *Ecological Indicators* 9(3): 497-507.
Ford, D.E. 1990. Reservoir Transport Peocess. *In: Thorn-ton, K.W. B.L. Kimmel and F.E. Payne (eds.), Reservoir Limnology-Ecological Perspectives.* John Wiley and Sons, Inc.
Horne, A.J. and C.R. Goldman. 1994. Limnology, 2nd ed. Mcgraw-Hill, Inc.

- Hotzel, G. and R. Croome. 1999. A Phytoplankton Methods Manual for Australian Freshwaters. LWRRDC Occasional Paper 22/99.
- Hwang, S.J., N.Y. Kim, D.H. Won, K.K. An, J.K. Lee and C.S. Kim. 2006. Biological assessment of water quality by using epilithic diatoms in major river systems (Geum, Youngsan, Seomjin River), Korea. *Journal of Korean Society on Water Quality* **22**(5): 784-795.
- Jeon, S.R., H.K. Choi and C.I. Choi. 2002. Ecological study on the fish community in the Dong river, Korea. *Korean Journal of Limnology* **35**(5): 350-358.
- Jiménez F.J., R.B. Bautista and V. Rodriguez. 1987. Relations between chlorophyll, phytoplankton cell abundance and biovolume during a winter bloom in Mediterranean coastal water. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **105**(2-3): 161-173.
- Kang, Y.P. 1998. Morphologie Karstquednas le bassin de drainage fleure Dong (Joyang) en Coree. *Journal of the Geomorphological Association of Korea* **5**(2): 131-142.
- Kelly, M.G. 1998. Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Water Research* **32**(1):236-242.
- Kelly, M.G. 2001. Use similarity measures for quality control of benthic diatom samples. *Water Research* **35**(11): 2784-2788.
- Kelly, M.G. 2002. Role of benthic diatoms in the implementation of the urban wastewater treatment directive in the river wear, North-East England. *Journal of Applied Phycology* **14**(1): 9-18.
- Kelly, M.G. 2003. Short term dynamics of diatoms in an upland stream and implications for monitoring eutrophication. *Environmental Pollution* **125**(2): 117-122.
- Kelly, M.G., S. Juggins, R. Guthrie, S. Pritchard, J. Jamieson, B. Rippey, H. Hisrst and M. Yallop. 2008. Assessment of ecological status in U.K. rivers using diatoms. *Freshwater Biology* **53**(1): 403-422.
- Kelly, M.G. and B.A. Whitton. 1995. The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *Journal of Applied Phycology* **7**(1): 433-444.
- Kelly, M.G. and S. Wilson. 2004. Effect of phosphorus stripping on water chemistry and diatom ecology in an eastern lowland river. *Water Research* **38**(6): 1599-1567.
- Kim, B.H., Y.S. Park and Y.J. Kim. 2010. Periphytic diatom communities and water environment in the Donghwa constructed wetlands. *Korean Journal of Limnology* **43**(1): 91-102.
- Kim, Y.J. and O.M. Lee. 2011. The Phytoplankton community of Namdae-stream, Yeongok-stream and of Sacheon-stream in Gangwon-do. *Journal of Korean Society of Environmental Impact Assessment* **20**(3): 281-297.
- Kim, Y.J., K.A. Sin and O.M. Lee. 2009. Water quality assessed by DAIpo and TDI of Bokha stream and Dal stream in South-han river. *Korean Journal of Environmental Biology* **27**(4): 414-424.
- Lee, J.H. 1988. Epilithic diatoms in the Naktong river and its value of the diatom assemblage index of organic water pollution (DAIpo). *Korean Journal of Limnology* **31**(1): 38-44.
- Ministry of Construction and Transportation. 2005. Standard for River Installation.
- Ministry of environment. 2007. Ecowater health research and assessment guidelines. pp. 163.
- Odeté, T. and M. Yanada. 1993. Phytoplankton carbon biomass estimated from the size fractionated Chl-*a* concentration and cell density in the Northern Coastal Waters from Spring bloom to summer. *Bulletin of the Plankton Society of Japan* **39**(2): 127-144.
- Ponader, K.C., D.F. Charles, T.J. Belton and D.M. Winter. 2008. Total phosphorus inference models and indices for coastal plain streams based on benthic diatom assemblages from artificial substrates. *Hydrobiologia* **610**(1): 139-152.
- Song, M.A., J.W. Kim, H.N. Kim, D.S. Kong and O.M. Lee. 2011. Water quality assessment using trophic status index and attached diatom index in 10 reservoirs including Ye-dang reservoir of Chungcheongnam-do. *Korean Journal of Limnology* **44**(2): 155-171.
- Tang, T., Q. Cai and J. Liu. 2006. Using epilithic diatom communities to assess ecological condition of Xiangxi river system. *Environmental Monitoring and Assessment* **112**(1-3): 347-361.
- Tuji, A. 2003. Freshwater diatom flora in the bottom sediments of lake Biwa: Part 2: Gomphonema sensulato. *Bulletin of the National Science Museum Series B (Botany)* **29**: 97-107.
- U.S. EPA. 1995. Generic quality assurance project plan guidance for programs using community-level biological assessment in stream and Wadeable rivers. U.S. Environmental protection Agency, Office of water, Washington, D.C.EPA 841-B-95-004.
- Watanabe, T., K. Asai and A. Houki. 1990. Numerical simulation of organic pollution in flowing water. *Hazardous Waste Containment and Treatment* **4**: 251-281.
- Watanabe, T., K. Asai, A. Houki, S. Tanaka and T. Hizka. 1986. Saprophilous and eury saprobic diatom taxa to organic water pollution and diatom assemblage index (DAIpo). *Diatom* **2**: 23-73.
- Watanabe, T., T. Ohtzuka, A. Tuji and A. Houki. 2005. Picture book and ecology of the freshwater diatoms. Uchida

- rokako, Tokyo.
- Water Information System. 2008~2010. Ministry of environment. <http://water.nier.go.kr>.
- Wu, N., B. Schmalz and N. Fohrer. 2012. Development and testing of a phytoplankton index of biotic integrity (P-IBI) for a German lowland river. *Ecological Indicators* **13**(1): 158-167.
- Yoon, S.A., N.Y. Kim, B.H. Kim and S.J. Hwang. 2010. Effects of an inflowing urban stream (Wonju stream) on epilithic diatom assemblages in the lower SeomRiver. *Korean Journal of Limnology* **43**(2): 232-241.
- Yuazao, Q., H. Weijian, L. Yumin and W. Liying. 1998. Evaluation of water quality of the pearl river by using diatom assemblage index (DAIpo) and river pollution index (RPIId). *Journal Tropical and Subtropical Botany* **6**: 329-335.
- (Manuscript received 13 April 2012,
Revised 21 May 2012
Revision accepted 28 June 2012)

