

## 부착규조류를 이용한 달천과 섬강의 생물학적 수질평가

김용진 · 이옥민<sup>†</sup>

경기대학교 생물학과

### Assessment of Water Quality in the Sum-river and the Dal-stream using Epilithic Diatom-based Indices

Yong-jin Kim · Ok-min Lee<sup>†</sup>

Department of Biology, College of Natural Science, Kyonggi University

(Received 7 May 2009, Revised 26 June 2009, Accepted 1 July 2009)

#### Abstract

To evaluate the biological water quality, diatom-based biological indices (DAIpo and TDI) were examined in the Sum-River and the Dal-stream. Having BOD concentrations below  $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  in most sites, water quality of both rivers was good. The DAIpo and TDI values ranged from 29.8 to 91.4 and from 38.7 to 93.0 respectively. From the biological water quality assessment, DAIpo and TDI for both rivers displayed fair to fairly poor water quality levels. However, the two indices showed more polluted conditions than expected from the BOD vlaues. In addition, DAIpo, having wider range of differences, appears to be more sensitive to the change in water quality when compared to TDI values. Statistical analysis using principal component analysis showed that *Nitzschia palea* and *Diatoma vulgare* might not be the appropriate indicators due to their low correlations with other indicators.

**keywords** : Biological assessment, DAIpo, Epilithic diatom, TDI

## 1. 서론

부착조류는 식물플랑크톤과 함께 수중생태계의 1차 생산자로서 중요한 역할을 한다. 이들은 서식지의 교란 후에도 다른 생물군에 비해 회복이 빠르고, 수온, 초식생물의 섭식, 기질종류, 영양염, 유속 및 유량 등에 의해 생물량의 변화가 뚜렷하다(Allan, 1995). 하천의 수질을 측정하고 평가하기 위해서 수온, DO, BOD, TN, TP 등 가능한 많은 이화학적 환경 요인들이 측정되어야 하지만(Barbour et al., 1995), 수환경에 적응하며 살고 있는 생물군을 이용한 수질상태의 추론이 추가되어야만 환경을 가장 완전하게 평가할 수 있다(Stevenson and Pan, 1999). 부착조류는 이러한 생물군 중 수질변화나 외부 오염을 나타내는 지표로 이용되며, 특히 부착규조류는 수환경 변화에 대해 민감하고 기질에 장기간 부착하여 성장함으로써 수질변화나 오염을 나타내는 지표로 이용되며 생물학적 판정재료로 가치가 높아 하천의 수질을 평가하는데 활용성이 매우 높다(Descy, 1979; Watanabe et al., 1990).

Lange-Bertalot(1979)은 수계의 유기오탁 판정을 위한 규조류의 오염내성에 관한 연구를 보고하였으며, Watanabe 등(1986)이 호청수성종과 호오탁성종의 상대풍부도에 근거

한 유기오탁지수 DAIpo(Diatom assemblage index to the organic water pollution)를 제안하였다. 또한 이를 이용하여 하천의 정량적 수질 평가를 실시하였다(Duong et al., 2007; Watanabe et al., 1990). Kelly and Whitton(1995)은 규조류의 오염 민감도에 대하여 가중치를 부여하고, 각각의 종에 대해 지표값을 이용하여 산정하는 영양염지수인 TDI (Trophic Diatom Index)를 제안하였으며, 이를 이용한 하천의 정량적 수질평가를 하였다(Kelly, 1998). 이 밖에 부착규조류를 이용한 국외 연구에는 규조류에 기초한 TN, TP 추론모델(Ponade et al., 2007)과 환경추론모델(Ginn et al., 2007), 규조류 지표종 발굴에 관한연구(Lane and Brown, 2007) 등이 있다. 국내에서는 DAIpo를 이용하여 금호강(이정호와 정준, 1992; 정준 등, 1993), 낙동강(이정호, 1998; 이정호와 김용재, 1996), 경상북도의 신천(최재신 등, 1998) 등의 생물학적 수질평가 연구가 수행된 바 있다. 또한 부착조류의 계절적 동태에 관한 연구(김용재, 2001; 이경과 윤숙경, 2000)가 진행된 바 있으며, 영산강과 섬진강의 연구에서 DAIpo와 TDI의 값에 따른 생물학적 등급이 제시되기도 하였다(황순진 등, 2006).

조사대상 하천인 섬강과 달천은 남한강의 지류로 섬강의 경우, 남한강으로 유입되는 하천 중 가장 큰 하천으로 도시, 농장지대, 공장 등 다양한 오염원을 포함하고 있다(김기동 등, 2007). 달천은 대체로 수질이 양호한 것으로 알려져 있으나, 수안보온천에 의한 영향(허억 등, 1998)과 하류부근에

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
omlee@kyonggi.ac.kr

서 충주시를 관통하며 도시의 오염원들이 유입되고 있다.

본 연구에서는 부착구조를 이용하여 섬강과 달천의 생물학적 수질 평가를 하고자 하였으며, 이들을 이화학적 환경요인들과 비교 분석하였다. 이를 통하여 출현 지표종들과 수질과의 관계 및 출현 지표종들 간의 관계를 분석함으로써 생물학적 수질평가 방법의 적용을 위한 기초연구를 수행하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 조사지점 및 조사기간

본 연구는 남한강으로 유입되는 두 개의 큰 지류인 섬강과 달천을 대상으로 총 33개 지점을 2007년 10월부터 11월까지 조사를 실시하였다(Fig. 1). 섬강의 경우 본류의 약 60 km 구간을 대상으로 6개 지점(S1: 대관대교, S2: 횡성읍 목계리, S3: 옥산교, S4: 지정면 월송2리, S5: 문막교, S6: 강천면 강천리)과 유입천 13개 지점(SI 1: 유동교, SI 2: 황수교, SI 3: 진천교, SI 4: 중앙교, SI 5: 공근면 매곡리, SI 6: 횡성읍 읍상5리, SI 7: 원주시 관설동, SI 8: 호저면 무장2리, SI 9: 공근면 창봉리, SI 10: 서원면 추계1리, SI 11: 오상교, SI 12: 다둔교)을 조사하였다. 달천은 본류의 약 50 km 구간을 대상으로 5개 지점(D1: 청천면 이평리, D2: 칠성면 화양리, D3: 칠성면 대덕리, D4: 유주막다리, D5: 탄금대교)과 유입천인 9개 지점(DI 1: 가은읍 완장리, DI 2: 화북면 증별리, DI 3: 칠성면 쌍곡리, DI 4: 칠성면 갈읍리, DI 5: 소수면 아성리, DI 6: 괴산읍 대덕리, DI 7: 불정면 하문리, DI 8: 수안보 온천리, DI 9: 장연면 문강리)을 조사하였다.

### 2.2. 채집 및 분석방법

부착구조류는 수심 20~30 cm 정도에 위치한 호박돌이나

자갈을 채집하여 기질표면의 100 cm<sup>2</sup>의 면적을 솔 등으로 긁어내어 증류수에 희석하여 채집하였고, 수질분석을 위한 물 시료는 2 L 플라스틱 병에 담아 냉장 보관하여 실험실로 운반하였다. 수온, DO, pH, 전기전도도는 휴대용측정기(Horiba D-55, Orion 5-star)를 이용하여 현장에서 측정하였고, 탁도는 실험실로 운반한 즉시 탁도계(WTW, Turb550)를 이용하여 측정하였다. TN, TP, 엽록소-a, BOD의 분석은 Standard method(Greenberg et al., 2000) 및 수질오염공정시험법(환경부, 2000)에 준하여 분석하였으며, 일부 데이터는 물환경정보시스템(www.water.nier.go.kr, 2007)의 수질 측정 자료를 활용하였다. 부착구조류의 현존량은 부착기질에서 긁어낸 시료의 엽록소 a 측정과 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 세포수를 계수하였고, 유기물량은 AFDM(ash-free dry matter)을 Standard method(Greenberg et al., 2000)에 따라 분석하였다.

구조표본의 제작을 위해 채집한 시료를 세정환(U.S. EPA, 1995) 후 Pleulax(Wako, Japan)를 이용하여 봉입하였다. 부착구조류의 군집분석을 위해 광학현미경 및 위상차 현미경(Olympus DX5060) 200~1,000배율로 검경하였으며, Simonsen의 분류체계(Ettle et al., 1986, 1988, 1991a, 1991b)에 따라 분류하였다. TDI(Trophic Diatom Index)와 DAIPo(Diatom Assemblage Index of Organic Water Pollution)는 각각 Kelly and Whitton(1995)과 Watanabe 등(1990)의 방법에 따랐다. 통계분석은 SPSS(12.0)프로그램을 사용하여 상관분석, 요인분석 및 주성분분석을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 이화학적 환경요인

수온은 섬강이 9.5~20.2°C, 달천은 8.3~16.8°C의 범위를 나타냈으며, DO는 섬강이 6.2~9.9 mg·L<sup>-1</sup>, 달천이 7.7~12.6

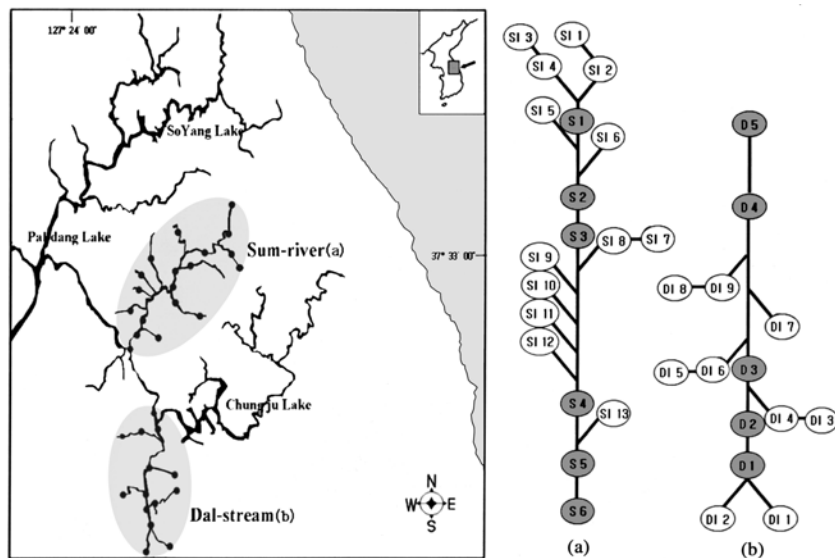


Fig. 1. A map showing the sampling sites at Sum-river (a) and Dal-stream (b) of Namhan-river from Oct. to Nov. in 2007.

mg·L<sup>-1</sup>의 범위로 달천이 약간 높았다. pH는 두 하천 모두 평균 pH 7의 중성에 가까웠으며, 전기전도도는 섬강이 63~355  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , 달천이 39~361  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 범위로 상류에서 하류로 갈수록 높아지는 경향을 나타냈다. 탁도는 섬강이 0.2~31.5 NTU이며, 달천은 0.3~7.2 NTU의 범위로써 대체적으로 낮았으며, 섬강의 SI 6지점에서 가장 높은 값을 나타냈다. 표층의 엽록소 *a*의 농도(planktonic Chl.*a*)는 지점에 따라 차이를 보였으며, 섬강은 1.1~20.7 mg·m<sup>-3</sup>이고, 달천은 0.7~10.0 mg·m<sup>-3</sup>의 범위로 섬강의 SI 13지점, 달천의 D5지점에서 각각 가장 높은 값을 나타냈다(Table 1).

영양염류인 TN, TP의 농도는 섬강의 경우 TN이 1.056~9.279 mg·L<sup>-1</sup>이고, TP가 0~0.516 mg·L<sup>-1</sup>의 범위이며, 달천의 경우 TN이 0.678~4.875 mg·L<sup>-1</sup>이고, TP가 0~0.070 mg·L<sup>-1</sup>의 범위로 섬강의 영양염이 더 풍부한 것으로 나타났다. 그리고 두 하천 모두 상류에서 하류로 갈수록 영양염의 농

도가 높아지는 경향을 나타냈다. 또한 본류에 비하여 유입천의 농도가 높게 나타났으나, 유량의 차이에 의하여 본류에 대한 영향이 적은 것으로 나타났다. BOD의 경우 섬강의 SI 8지점에서 하천의 제방공사로 인해 9.03 mg·L<sup>-1</sup>의 높은 농도를 나타내었으나, 이를 제외하고 두 하천 모두 평균 2 mg·L<sup>-1</sup> 이하로 양호한 수질을 나타냈다(Table 1). 섬강의 경우 김기동 등(2007)의 연구에서 연중 BOD농도가 평균 1.96 mg·L<sup>-1</sup>으로 연간 양호한 수질을 유지하는 것으로 나타났다.

### 3.2. 생물량, 유기물량, DA<sub>Ipo</sub> 및 TDI

섬강과 달천의 생물량, 유기물량, DA<sub>Ipo</sub> 및 TDI의 분석 결과는 다음과 같다(Fig. 2). 부착조류의 생물량을 나타내는 부착기질의 엽록소 *a* 농도는 섬강이 0.4~57.2  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 이고, 달천이 0.2~40.1  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 의 범위로 섬강의 SI 13과 달천의 DI 9지점에서 가장 높은 농도로 나타났다. 한탄강의 연구

**Table 1.** Physicochemical environmental factors at Sum-river and Dal-stream from Oct. to Nov. in 2007

Site	W.T. (°C)	DO (mg·L <sup>-1</sup> )	pH	Con. ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	Tur. (NTU)	p.Chl. <i>a</i> * (mg·m <sup>-3</sup> )	TN (mg·L <sup>-1</sup> )	TP (mg·L <sup>-1</sup> )	BOD (mg·L <sup>-1</sup> )
S 1	17.3	8.1	7.03	98	0.9	2.8	1.584	ND	0.73
S 2	18.9	8.9	7.69	95	2.0	3.8	1.963	0.003	1.08
S 3	18.0	8.2	7.59	149	1.8	3.6	2.314	0.003	1.28
S 4	11.0	9.0	7.39	210	1.8	6.0	5.711	0.147	2.22
S 5	12.4	8.2	7.84	202	1.9	7.2	4.816	0.109	1.87
S 6	9.5	8.1	7.58	143	3.0	3.2	4.787	0.086	1.90
SI 1	13.2	8.3	8.29	104	0.4	2.3	2.632	ND	0.64
SI 2	11.7	9.9	7.69	84	0.5	1.5	2.830	ND	0.83
SI 3	12.2	8.0	7.96	70	0.2	1.3	1.160	ND	0.55
SI 4	10.2	9.1	8.01	63	0.2	1.1	2.014	0.001	0.61
SI 5	17.5	7.9	7.77	114	0.7	2.8	2.339	ND	0.91
SI 6	19.9	7.3	6.08	176	31.5	6.7	2.886	0.035	2.96
SI 7	10.6	8.6	7.54	160	0.5	1.8	3.307	0.010	1.39
SI 8	20.2	8.5	7.07	355	5.0	11.2	9.280	0.516	9.03
SI 9	12.4	7.0	7.69	87	0.5	1.6	1.538	ND	0.14
SI 10	13.7	6.3	8.19	75	0.7	1.5	1.999	0.018	0.85
SI 11	12.8	6.2	7.55	77	0.3	1.7	3.423	0.010	0.36
SI 12	13.6	6.7	7.80	144	1.3	9.6	1.056	0.044	1.66
SI 13	12.6	8.6	8.86	217	2.1	20.7	4.156	0.053	1.63
D 1	8.6	11.3	7.43	95	0.7	0.9	0.678	0.014	1.35
D 2	10.1	9.0	7.38	73	0.8	1.8	2.211	0.013	0.65
D 3	15.6	9.5	6.11	175	2.4	3.0	2.200	0.007	1.05
D 4	16.7	8.5	7.75	185	2.3	3.2	2.611	0.006	1.28
D 5	15.2	12.6	8.05	182	7.2	10.0	2.856	0.070	2.32
DI 1	9.1	10.8	7.76	91	0.3	0.8	3.225	0.013	0.69
DI 2	8.3	10.7	7.66	42	0.6	0.7	1.042	0.008	0.69
DI 3	13.6	9.2	7.22	39	0.3	1.0	0.810	ND	0.61
DI 4	16.8	9.6	5.85	135	1.4	2.0	3.780	0.004	0.85
DI 5	14.6	8.7	6.38	143	2.6	5.5	2.793	0.068	1.03
DI 6	16.7	8.9	6.24	141	1.7	2.0	2.216	0.007	1.39
DI 7	16.5	8.9	6.34	221	2.2	6.2	3.181	0.033	1.68
DI 8	15.1	7.8	7.92	240	1.3	6.3	3.282	0.034	1.15
DI 9	16.2	7.7	7.83	316	0.7	7.6	4.875	0.011	1.13

\*: Planktonic Chl.*a*

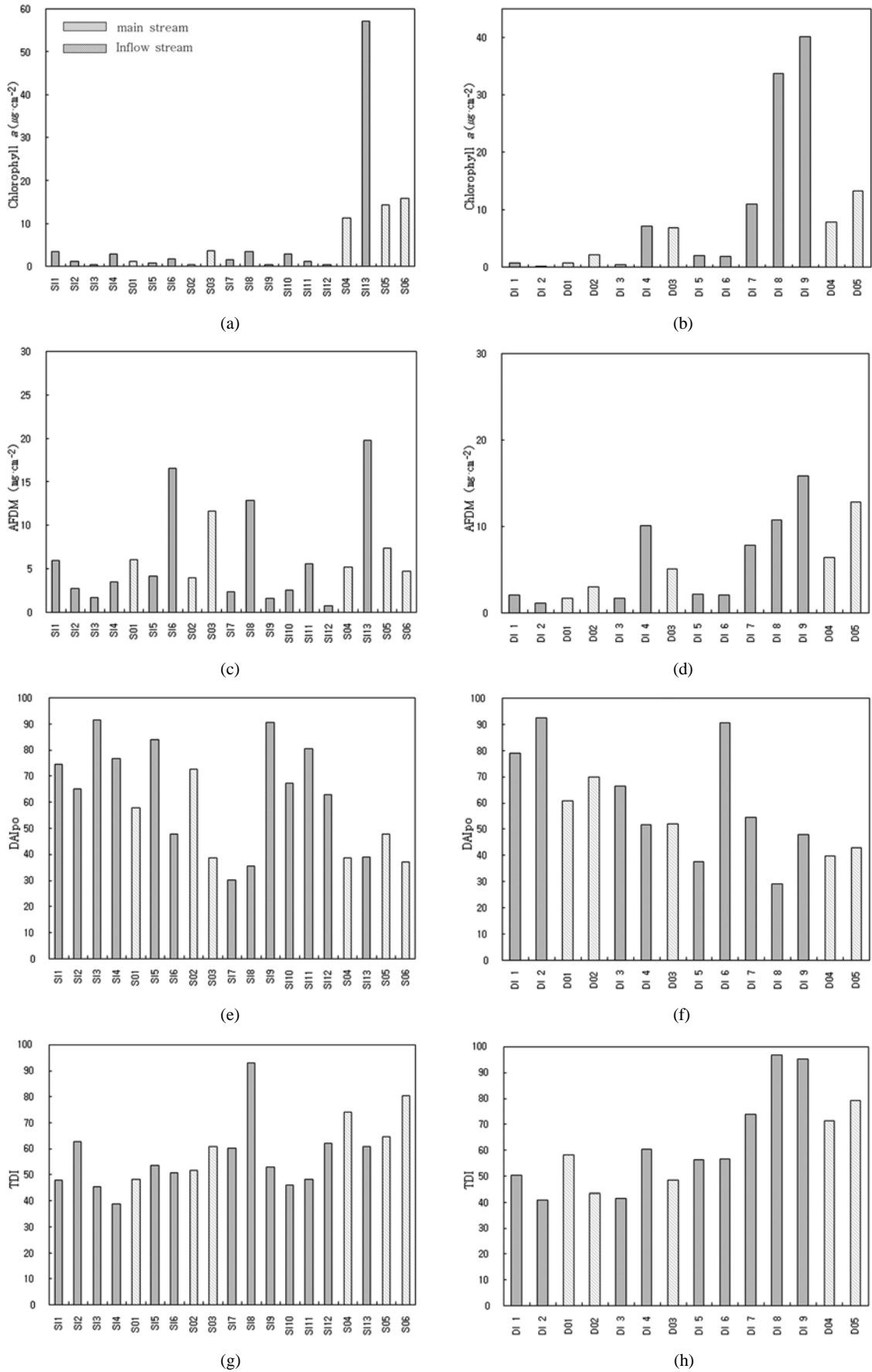


Fig. 2. Chl.a (a,b), AFDM (c,d), DAIPo (e,f) and TDI (g,h) at Sum-river and Dal-stream from Oct. to Nov. in 2007.

(김용재, 2004)에서 엽록소-*a*의 범위가 13.4~304.2  $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ 인 것과 비교하면 본 조사수역이 대체로 생물량이 적은 것으로 판단된다. 유기물량을 나타내는 AFDM(ash-free dry matter)의 농도는 섬강이 0.8~19.8  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 이고, 달천이 1.2~15.9  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 의 범위로 나타났다. 본 수역의 AFDM과 엽록소-*a*를 비교하면, 섬강의 일부 지점을 제외하고는 두 값이 서로 유사한 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 유기물량의 많은 부분이 부착조류에 의한 것으로 사료된다.

섬강의 경우 DAIPo는 30.2~91.4이고, TDI는 38.7~93.0의 범위로 나타났으며, 달천의 DAIPo는 28.9~92.5이고, TDI가 40.9~96.8의 범위로 나타났다(Fig. 2). 섬강은 제방공사 구간이었던 SI 8에서 TDI가 가장 높았으며, DAIPo는 SI 7지점이 가장 낮게 나타났다. 달천은 DI 8지점에서 TDI가 가장 높았으며, DAIPo는 가장 낮게 나타났다. 이러한 두 하천의 지수 값은 황순진 등(2006)의 연구에서 제시된 5단계의 등급 중 대체적으로 II~III에 해당하는 것으로 좋음에서 약간 나쁨의 상태를 의미한다. 영산강과 섬진강의 연구에서 영산강은 TDI가 33.5~76.8이고, DAIPo가 43.2~88.0의 범위로 나타났으며, 섬진강의 TDI는 39.6~59.6이고, DAIPo는 74.0~95.6의 범위로 나타났다(황순진 등, 2006). 한탄강의 연구에서는 DAIPo의 범위는 26.6~67.6로 나타났다(김용재, 2004). 따라서 국내의 다른 하천과 비교하여 볼 때 섬강과 달천의 DAIPo와 TDI의 변화의 폭이 큰 것으로 나타났다.

섬강과 달천의 BOD농도와 DAIPo와 TDI값을 비교할 때, 대체로 DAIPo와 TDI가 BOD에 비해 오염된 값으로 나타났다(Table 1, Fig. 2). 이러한 결과는 낙동강의 연구(박정원 등, 2004; 이정호, 1998)와 한탄강의 연구(김용재, 2004)에서도 DAIPo가 BOD에 비해 대체적으로 오염된 값을 나타냈으며, 이는 DAIPo와 같이 부착규조를 이용한 지수가 외부의 영향(오염하천의 유입과 오염원의 유입)에 따른 변화가 큰 것으로 판단된다.

또한 DAIPo와 TDI를 비교하면 본 연구의 결과에서 전반적으로 TDI가 DAIPo보다 오염된 수치를 나타냈다(Fig. 2). 예를 들면 DI 6의 경우 TDI는 56.7이고 DAIPo는 90.5로

나타났다. 이는 TDI의 민감도와 가중치가 하천에서 출현하는 종들의 상대적인 풍부도와 오염민감도를 통계적으로 규정한 수치이기 때문에(Lenoir and Coste, 1996) 일부 군집의 변화에 크게 영향을 받지 않지만, DAIPo의 경우 분류군의 변화, 특히 지표종 군집의 변화는 그 지수 값에 영향을 주게 되며, 이는 오염하천과 오염원의 유입에 대해 보다 민감하게 작용한 것으로 사료된다. 전체적으로 TDI에 비해 DAIPo는 광범위한 지수 범위에 걸쳐 나타남으로 수질등급을 구분하는데 있어서는 DAIPo가 TDI보다 유리하다(황순진 등, 2006). 그러나 DAIPo는 이러한 오염원의 유입이 있는 구간의 수질관별에 있어서 다소 불안정하기 때문에 수질등급을 구분하는데 있어서 TDI를 병행하여 사용함으로써 DAIPo를 보완하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

### 3.3. 통계분석

통계분석은 각 수질자료를 토대로 서로 상관되어 있는 수질변수들 간의 상관분석을 수행하였고, 이중 상관성이 높은 자료를 중심으로 요인분석과 주성분분석을 수행하였다.

수질항목간의 상관관계 조사 결과 BOD와 TP의 상관계수가 0.949로 가장 높았으며, TP와 TN의 상관계수는 0.813으로 높은 상관관계를 나타냈다(Table 2). DAIPo의 경우 요인분석과 주성분 분석 시 변수간의 거리를 확인하기 위해 100-X의 형식으로 나타내었는데, TDI와 상관계수 0.663으로 나타남으로써 두 규조지수간의 상관성이 높은 것으로 나타났다. 부착기질의 엽록소 *a*와 표층의 엽록소 *a*가 상관계수 0.730의 높은 상관성을 나타냈다.

수질항목과 규조지수 등 총 13개 항목을 이용하여 주성분분석을 하였으며, 주성분의 수는 고유값(Eigenvalue)이 1.0이상의 값을 갖는 주성분 축만을 고려하여 4개의 인자를 추출하였다(김경아 등, 2007). 제 1인자의 기여율은 45.1%, 제 2인자의 기여율 15.6%, 제 3인자의 기여율 12.4%, 제 4인자의 기여율 8.3%로 4개의 인자를 모두 추출하여 전체 수질의 약 73.0%를 설명할 수 있다.

요인분석은 Varimax법으로 회전시켜 인자분석을 하였다

**Table 2.** Correlation comparisons of factors of water quality at Sum-river and Dal-stream from Oct. to Nov. in 2007

	WT	DO	pH	EC	Tur	Chl. <i>a</i>	pChl. <i>a</i> <sup>1</sup>	TN	TP	AFDM	DAIPo <sup>2</sup>	TDI	BOD
WT	1.000	-0.358	-0.421	0.464	0.407	0.025	0.276	0.232	0.245	0.504	0.241	0.273	0.399
DO		1.000	-0.191	-0.159	-0.191	-0.111	-0.219	-0.093	-0.037	-0.210	-0.058	-0.125	-0.032
pH			1.000	-0.123	-0.399	0.336	0.187	-0.044	-0.080	-0.012	-0.122	0.012	-0.176
EC				1.000	0.213	0.586	0.682	0.781	0.627	0.702	0.693	0.858	0.679
Tur					1.000	-0.039	0.216	0.126	0.134	0.461	0.221	0.010	0.332
Chl. <i>a</i>						1.000	<b>0.730</b>	0.381	0.066	<b>0.709</b>	0.479	0.556	0.054
pChl. <i>a</i> <sup>1</sup>							1.000	0.508	0.457	<b>0.714</b>	0.511	0.472	0.480
TN								1.000	<b>0.813</b>	0.547	0.553	<b>0.693</b>	<b>0.760</b>
TP									1.000	0.295	0.390	0.512	<b>0.949</b>
AFDM										1.000	0.553	0.500	0.408
DAIPo <sup>2</sup>											1.000	<b>0.663</b>	0.429
TDI												1.000	0.522
BOD													1.000

1: Planktonic Chl.*a*, 2: DAIPo(100-X)

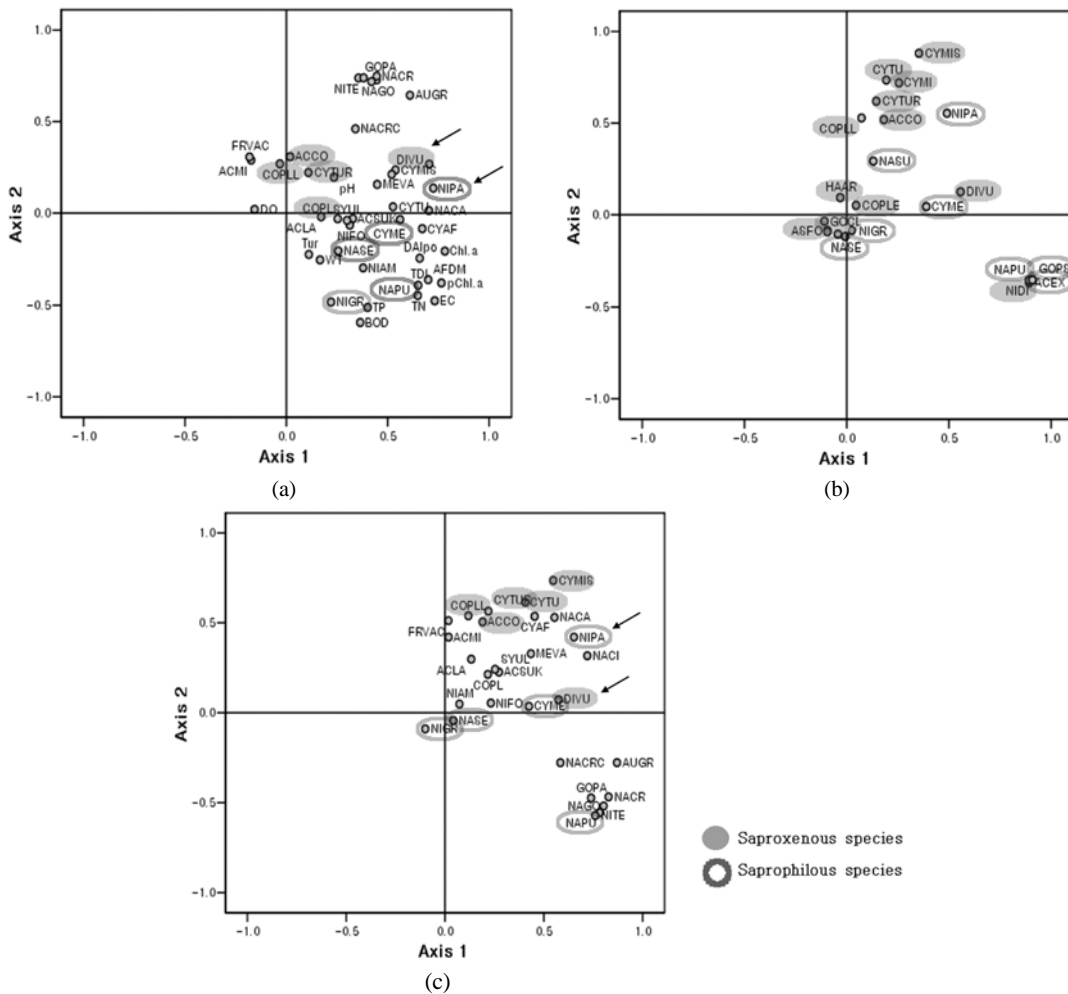
**Table 3.** Rotated component matrix by factor analysis at Sum-river and Dal-stream from Oct. to Nov. in 2007

	Component			
	1	2	3	4
WT	0.178	0.215	0.730	0.321
DO	-0.082	-0.025	-0.135	-0.898
pH	0.175	-0.087	-0.781	0.435
EC	<b>0.705</b>	0.599	0.213	0.024
Tur	0.123	0.038	0.786	0.152
Chl.a	<b>0.942</b>	-0.049	-0.211	0.089
p Chl.a*	<b>0.751</b>	0.307	0.034	0.272
TN	0.437	<b>0.808</b>	0.031	0.003
TP	0.105	<b>0.970</b>	0.051	0.040
AFDM	<b>0.809</b>	0.161	0.367	0.201
DAIpo(-)	<b>0.685</b>	0.344	0.198	-0.181
TDI	<b>0.650</b>	0.542	-0.013	-0.055
BOD	0.149	<b>0.917</b>	0.257	0.042

\*: Planktonic Chl.a

(Table 3; 김경아 등, 2007). 직교 회전된 결과에서 추출된 4개의 주성분 중 제 1요인은 전기전도도, 염류소 *a*, AFDM, DAIpo 및 TDI가 0.7 이상의 높은 부하량을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 두 하천에서 유기물의 중요요인 부착조류인 것으로 판단되고, 이는 규조지수와 높은 상관성을 갖고 있는 것으로 규조류가 부착조류의 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 제 2요인은 BOD, TN, TP로 이 수계의 BOD는 TN, TP와 같은 영양염류의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

주성분분석을 통한 각 변수간의 관계를 확인하기 위하여 수질환경요인과 출현분류군간의 관계, 지표종간의 관계 및 우점종(Appendix) 간의 관계를 도표로 나타냈다(Fig. 3(a)~(c)). 수질환경요인과 출현분류군간의 관계를 나타내는 Fig. 3(a)에서는 BOD, TN, TP를 중심으로 오염지표종이 수질인자 주변에 밀집되어 있고, 청수성 종은 수질인자에서 멀리 밀집되어 있는 것을 확인할 수 있다. 그러나 오염지표종인 *Nitzschia palea*와 청수성 지표종인 *Diatoma vulgare*는 다른 지표종과 상관성이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서



**Fig. 3.** Principal component analysis plots of diatom community and water quality factors (a), Indicator species (b) and Dominant species (c) at Sum-river and Dal-stream from Oct. to Nov. in 2007. ACCO: *Achnathes convergens*, COPLU: *Cocconeis placentula* var. *lineata*, CYMI: *Cymbella minuta* var. *silesiaca*, DIVU: *Diatoma vulgare*, NIDI: *Nitzschia dissipata*, CYME: *Cyclotella meneghiniana*, NAPU: *Navicula pupula*, NASE: *N. seminulum*, NIPA: *Nitzschia palea*, NIGR: *N. gracilis*

규조지수 산출시 *Nitzschia palea*와 *Diatoma vulgare* 같은 종들의 재검토가 필요한 것으로 사료된다.

DAIpo의 산정 시 사용되는 지표종이 지수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 청수성 지표종 12종과 오염 지표종 8종의 상대 출현빈도를 이용하여 주성분분석을 하였다(Fig. 3(b)). 그 결과 섬강과 달천에 출현한 지표종은 오염종과 청수종이 혼재되어 나타났다. 연구 지점의 30종의 우점분류군 간의 주성분 분석 결과(Fig. 3(c)), *Nitzschia palea*와 *Diatoma vulgare*를 제외한 지표종들이 오염종과 청수 지표종 간에 서로 명확히 구분되어 나타났다. 이러한 결과로 미루어보면 DAIpo 산정 시 대상수계에서 지표종으로 분류된 소수의 종이 우점할 때 DAIpo에 큰 영향을 미치지 않지만, 보편종이 우점하고 지표종의 우점도가 낮게 나타날 경우는 지수에 영향을 미칠 것으로 판단되었다. 따라서 DAIpo 산정 시 일정 우점도 이상을 나타내는 지표종을 사용하는 방법이 보다 정확한 결과를 얻을 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

부착규조를 이용한 섬강 및 달천의 생물학적 수질평가와 이화학적 수질 출현 지표종 및 우점종의 관계에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 섬강과 달천의 이화학적 수질은 대체로 양호한 편이며, 하천의 하류와 일부 구간은 오염된 지류의 유입에 의해 영향을 받고 있다.
- 2) 두 하천의 생물학적 수질지표(DAIpo, TDI)는 이화학적 수질지표와 비교할 때 하천의 오염도를 높게 평가하였고, DAIpo지수는 대체로 TDI보다 수질의 변화에 대하여 더 큰 변동 폭을 나타냄으로써 수질의 변화에 대하여 민감한 것으로 사료된다.
- 3) 분류군 간의 주성분분석(Principle Component Analysis) 결과 오염지표종인 *Nitzschia palea*와 청수성 지표종인 *Diatoma vulgare*는 다른 지표종과 상관성이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 규조지수 산출시 *Nitzschia palea*와 *Diatoma vulgare* 같은 종들의 재검토가 필요한 것으로 사료된다.
- 4) DAIpo 산정 시 지표종의 우점도가 낮게 나타날 경우 지수 산정에 불리한 영향을 미치는 것으로 나타났으며 따라서 일정 우점도 이상을 나타내는 지표종을 지수 산정에 사용하는 것이 보다 정확한 결과를 얻을 것으로 사료된다.

#### 사 사

본 연구는 국립문화재연구소(09B011Y-00140-2009)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

김경아, 김예진, 송미정, 지기원, 유평중, 김창원(2007). 다변

- 량 통계분석을 이용한 낙동강 상수원수의 수질변화 특성조사. 수질보전 한국물환경학회지, **23**(6), pp. 814-821.
- 김기동, 서정범, 서용찬(2007). 섬강, 원주천, 매지천 그리고 주요 유입지천의 수질조사. 한국환경분석학회지, **10**(4), pp. 191-196.
- 김용재(2001). 신천의 부착규조 군집을 이용한 유기오탁 판정. 한국유수학회지, **34**(3), pp. 199-205.
- 김용재(2004). 한탄강의 돌 부착조류 군집의 시, 공간 동태. *Algae*, **19**(1), pp. 15-22.
- 물환경정보시스템(2007). <http://water.nier.go.kr>.
- 박정원, 최재신, 김미경(2004). 낙동강 중류지역의 부착규조 군집의 변화와 유기오탁지수(DAIpo)에 의한 수질평가. 한국유수학회지, **37**(1), pp. 70-77.
- 이경, 윤숙경(2000). 전남 광양의 수어천 수역에 있어서 식물플랑크톤과 부착조류 군집의 계절적 변화. 한국유수학회지, **33**(1), pp. 38-50.
- 이정호(1998). 낙동강의 부착규조와 유기오탁지수(DAIpo). 한국유수학회지, **31**(1), pp. 38-44.
- 이정호, 김용재(1996). 낙동강 수계 댐호의 부착규조 및 영양단계 평가. 환경생물학회지, **14**(1), pp. 18-28.
- 이정호, 정준(1992). 금호강의 오탁도에 따른 부착규조의 정점별 변화. 한국유수학회지, **25**(1), pp. 31-40.
- 정준, 최재신, 이정호(1993). 부착규조 군집의 유기오탁 지수(DAIpo)에 의한 금호강의 수질평가. 환경생물학회지, **11**(1), pp. 43-58.
- 최재신, 김한순, 강만도(1998). 신천의 부착 규조군집의 계절적 동태. 한국유수학회지, **31**(3), pp. 234-240.
- 허역, 전태성, 조일환, 박동기(1998). 중원 온천지역의 온천 폐수로 인한 수질영양평가 : 수안보온천 폐수가 유입되는 달천강의 수질현황. 건국자연과학연구지, **9**(1), pp. 191-202.
- 환경부(2000). 수질오염공정시험방법.
- 황순진, 김난영, 원두희, 안광국, 이재관, 김창수(2006). 돌말 지수를 이용한 국내 주요하천(금강, 영산강, 섬진강)의 생물학적 수질평가. 수질보전 한국물환경학회지, **22**(5), pp. 784-795.
- Allan, J. D. (1995). *Stream Ecology-Structure and Function of Running Waters*, Chapman and Hall, London.
- Barbour, M. T., Stribling, T. B., and Karr, J. R. (1995). *Multimetric approach for establishing bio-criteria and measuring biological condition. In biological Assessment and Criteria: Tools for water Resource Planning and Decision Making*, Lewis Publishers, USA.
- Descy, J. P. (1979). New Approach to Water Quality Estimation Using Diatoms. *Nova Hedwigia. Beih.*, **64**, pp. 305-323.
- Duong, T. T., Feurtet-Mazel, A., Coste, M., Dang, D. K., and Boudou, A. (2007). Dynamics of diatom colonization process in some rivers influenced by urban pollution(Hanoi, Vietnam). *Ecological Indicators*, **7**(4), pp. 839-851.
- Ettl, H., Gartner, G., Gerloff, J., Heynig, H., and Mollenhauer, D. (1991a). *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/4. Bacillariophyceae*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., and Mollenhauer, D. (1986). *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1. Bacillariophyceae*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., and Mollenhauer, D. (1988). *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/2. Bacillariophyceae*, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.

- Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., and Mollenhauer, D. (1991b). *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3. Bacillariophyceae*, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
- Ginn, B. L., Cumming, B. F., and Smol, J. P. (2007). Diatom-based Environmental inferences and model comparisons from 494 Northeastern North America Lakes. *J. Phycol.*, **43**(4), pp. 647-661.
- Greenberg, A. E., Clesceri, L. S., and Eaton, A. N. (2000). *Standard method for the examination of water and wastewater*, 21st. ed., American Public Health Association, Washington, D.C., USA.
- Kelly, M. G. (1998). Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Wat. Res.*, **32**(1), pp. 236-242.
- Kelly, M. G. and Whitton, B. A. (1995). The trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J. Appl. Phycol.*, **7**(4), pp. 433-444.
- Lane, C. R. and Brown, M. T. (2007). Diatoms as indicators of isolated herbaceous wetland condition in Florida. *Ecological Indicators*, **7**(3), pp. 521-540.
- Lange-Bertalot, H. (1979). Pollution tolerance of diatom as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwig. Beih.*, **64**, pp. 285-304.
- Lenoir, A. and Coste, M. (1996). Development of a Practical Diatom Index of Overall water Quality Applicable to the French National Water Board network. *Use of Algae for Monitoring Rivers II*, B. A. Whitton and E. Rott (eds.), Institut fur Botanik, University Innsbruck, Austria, pp. 29-45.
- Ponade, C. K., Charles, D. F., and Belton, T. J. (2007).

**Appendix.** Dominant species list at Sum-river and Dal-stream from Oct. to Nov. in 2007

Site	Dominant species (%)	Site	Dominant species (%)
D 1	<i>Achnanthes convergens</i> (25.3) <i>Fragilaria vaucheriae</i> var. <i>capitellata</i> (10.7)	S 1	<i>Melosira varians</i> (27.3) <i>Fragilaria vaucheriae</i> var. <i>capitellata</i> (10.6)
D 2	<i>Achnanthes convergens</i> (28.7) <i>Achnanthes minutissima</i> (25.9)	S 2	<i>Achnanthes convergens</i> (46.4)
D 3	<i>Achnanthes convergens</i> (15.4) <i>Achnanthes minutissima</i> (15.4) <i>Nitzschia palea</i> (11.4)	S 3	<i>Melosira varians</i> (40.3) <i>Achnanthes convergens</i> (23.3)
D 4	<i>Nitzschia palea</i> (25.3)	S 4	<i>Melosira varians</i> (38.3) <i>Navicula seminulum</i> (20.4) <i>Navicula viridula</i> var. <i>rostellata</i> (10.8)
D 5	<i>Navicula goeppertiana</i> (48.4) <i>Nitzschia palea</i> (13.2)	S 5	<i>Cocconeis placentula</i> (36.8)
DI 1	<i>Achnanthes convergens</i> (44.1) <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (18.1)	S 6	<i>Nitzschia palea</i> (42.2) <i>Nitzschia amphibia</i> (16.6)
DI 2	<i>Achnanthes convergens</i> (75.2)	SI 1	<i>Achnanthes convergens</i> (41.5)
DI 3	<i>Achnanthes convergens</i> (33.8) <i>Achnanthes minutissima</i> (29.0)	SI 2	<i>Melosira varians</i> (30.8) <i>Achnanthes convergens</i> (16.2)
DI 4	<i>Navicula cryptotenella</i> (12.6) <i>Cyclotella stelligera</i> (12.6)	SI 3	<i>Achnanthes convergens</i> (80.4)
DI 5	<i>Cocconeis placentula</i> (82.4)	SI 4	<i>Achnanthes convergens</i> (41.0) <i>Achnanthes minutissima</i> (17.0) <i>Fragilaria vaucheriae</i> var. <i>capitellata</i> (10.4)
DI 6	<i>Achnanthes convergens</i> (74.9)	SI 5	<i>Achnanthes convergens</i> (60.0)
DI 7	<i>Achnanthes convergens</i> (35.8) <i>Nitzschia palea</i> (20.1)	SI 6	<i>Achnanthes convergens</i> (20.8) <i>Nitzschia palea</i> (20.8)
DI 8	<i>Nitzschia amphibia</i> (49.7) <i>Navicula seminulum</i> (41.8)	SI 7	<i>Nitzschia palea</i> (49.7) <i>Melosira varians</i> (16.0)
DI 9	<i>Nitzschia amphibia</i> (84.5)	SI 8	<i>Nitzschia amphibia</i> (47.6) <i>Nitzschia gracilis</i> (31.9)
		SI 9	<i>Achnanthes convergens</i> (70.7)
		SI 10	<i>Achnanthes convergens</i> (31.3) <i>Achnanthes minutissima</i> (16.7) <i>Fragilaria vaucheriae</i> var. <i>capitellata</i> (12.5)
		SI 11	<i>Achnanthes convergens</i> (30.9) <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (22.5) <i>Melosira varians</i> (21.9)
		SI 12	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (25.5) <i>Achnanthes convergens</i> (10.3) <i>Navicula cryptotenella</i> (10.3)
		SI 13	<i>Navicula viridula</i> var. <i>rostellata</i> (42.1) <i>Nitzschia palea</i> (26.2)



- Diatom-based TP and TN inference models and indices for monitoring nutrient enrichment of New Jersey streams. *Ecological Indicators*, **7**(1), pp. 79-93.
- Stevenson, R. J. and Pan, Y. (1999). Assessing environmental condition in rivers and streams with diatom. *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*, E. F. Stoermer and J. P. Smol (eds.), Cambridge Univ. Press, England. pp. 11-40.
- 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., Asai, K., and Houki, A. (1990). Numerical simulation of organic pollution in flowing waters. *Hazardous Waste Containment and Treatment*, **4**, pp. 251-281.
- Watanabe, T., Asai, K., Houki, A., Tanaka, S., and Hizuka, T. (1986). Saprophylic and eury saprobic diatom taxa to organic water pollution and diatom assemblage index(PAIpo). *Jpn. J. Diatomol.*, **2**, pp. 23-73.