

전라북도의 변산반도 국립공원과 선운산 도립공원 하천의 수환경과 부착규조류 군집의 계절적인 변화

박경우 · 김운삼 · 박정원¹ · 전경희 · 김미경^{2,*}

(영남대학교 생물학과, ¹국립공원관리공단 국립공원연구원, ²영남대학교 해양과학연구센터)

Seasonal Variations of Water Environments and Benthic Diatom Communities in Streams across Byeonsan-Bando and Seonunsan Parklands in Jeollabukdo, Korea. Park, Kyung-Woo, Yun-Sam Kim, Jung-Won Park¹, Kyung-Hee Jeune and Mi-Kyung Kim^{2,*} (Department of Biology, Yeungnam University; ²Marine Science Research Center, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea; ¹National Park Research Institute, Korea National Park, Seoul 121-717, Korea)

To compare the different water environments in the Jigsaw stream (st. 1, 2) and Jujin stream (st. 3, 4) crossing over the Byeonsan-Bando and Seonunsan parklands, the physico-chemical factors and the species compositions of epilithic diatoms were analyzed from March 2009 to February 2010. The mean values of conductivity (681.1 $\mu\text{S cm}^{-1}$), suspended solids (27.83 mg L^{-1}), biological oxygen demand (3.15 mg L^{-1}), total nitrogen (3.24 mg L^{-1}), total phosphorus (0.24 mg L^{-1}) and chlorophyll-*a* (12.99 mg m^{-3}) in Jujin stream were significantly higher than each element in Jigsaw stream. Eighty taxa were classified into 73 species and seven varieties belonging to 24 genera, eight families, three suborders and two orders in Jigsaw stream. Eighty eight taxa were classified into 81 species and seven varieties belonging to 22 genera, seven families, three suborders and two orders in Jujin stream. Biological water quality assessments revealed that Jigsaw stream was β - α -oligosaprobic and Jujin stream was β -mesosaprobic. Dominant and diversity indices were indicated from 0.25~0.81 and from 1.73~4.14 in Jigsaw stream, respectively, and from 0.29~0.64 and from 2.72~4.02 in Jujin stream, respectively. Jujin stream was more eutrophic than those of Jigsaw stream. The different water environments between the two streams could be due to the different ecosystems of the neighboring basins of each stream crossing over in the mountain. Further studies should investigate the water environments of two streams by continuous and regular monitoring to analyze the different ecosystem mechanisms.

Key words : ecosystem, epilithic diatom, water environments, stream

서론

하천에서 담수 조류는 수계 생태계의 가장 중요한 1차 생산자로서 수중 생태계의 근간을 이루고 있다. 특히 부

착조류는 수중의 물리화학적 서식환경의 변화에 따라 빠른 반응을 나타내고, 넓은 생태적 적응 범위를 가지기 때문에 유용한 지표 생물로 이용되어 왔다(Hutchinson, 1967; Wetzel, 1975; Harris, 1986).

우리나라 유일의 반도공원으로 변산반도 국립공원은

* Corresponding author: Tel: 053) 810-3863, Fax: 053) 813-0726, E-mail: mkkim@ynu.ac.kr

전라북도 부안군 변산면과 상서면을 포함하고 있으며, 미선나무 등 희귀동식물이 서식하고 있으며 자연생태계가 잘 보존되어 있어 생태관광지로서 뿐만 아니라 학술적 가치가 뛰어난 곳이다. 변산반도 국립공원의 중심 하천인 직소천은 주변이 크고 작은 산들로 둘러싸여 있으며, 하폭이 좁고, 유량이 적으며, 갈수기 현상을 나타내고 있는 유로연장 15.4 km의 산간계류형 소하천이다(Kim *et al.*, 1992).

직소천의 수생태에 관한 연구는 Jung *et al.* (1991)의 식물플랑크톤 계절적 천이에 대한 연구, Kim *et al.* (1992)에 의한 부착규조 군집 특성에 대한 연구 및 Choi *et al.* (1994)에 의한 식물플랑크톤과 부착규조 군집에 대한 연구 등이 수행되어 345 분류군의 담수조류상이 보고되었지만, 최근 연구는 미비한 실정이다.

주진천은 전북 고창군 고수면 은사리 칠성마을 수량동 명매기샘에서 발원하여 선운산 도립공원을 지나 서해로 유입되고 있는 유로연장 31 km의 소하천으로, 아직 이화학적 수환경과 부착조류 군집에 대한 조사가 수행된 바가 없는 실정이다.

특히 최근에 하천의 자연생태계의 건강성을 유지하기 위해 하천에 인접한 유역 단위의 통합 환경관리의 중요성이 날로 강조되고 있고, 하천에 미치는 직접적인 영향권에 있는 유역환경의 통합적인 자연 환경평가 및 관리가 필요한 시점이다(Jung and Park, 2004). 즉, 하천 주변의 유역환경인 공원의 생태계 건강성이 하천의 수질환경에 직접적으로 영향을 미친다고 사료된다.

이에 본 연구는 우리나라 공원을 대표하는 변산반도 국립공원과 선운산 도립공원을 조사지로 선정하여 두 공원을 가로 지르는 두 하천의 수환경과 부착규조 군집의 계절적인 변화를 비교하여, 두 하천에 인접한 유역 환경의 생태계 건강성이 두 하천의 수환경에 미치는 연관성을 분석함으로써 하천의 수질환경 분석 항목이 공원의 건강성을 판정하는 지표로서 역추정할 수 있는 평가기준으로 활용할 수 있는 근거를 밝히고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사 시기 및 조사 정점

본 조사는 변산반도 국립공원과 선운산 도립공원을 흐르고 있는 직소천과 주진천을 대상으로 2009년 3월부터 2010년 2월까지 계절별로 1회씩 실시하였다(Fig. 1).

조사 정점은 두 하천 모두 상, 하류 두 지점을 선정하였으며, 직소천의 정점 1은 두 개의 소하천이 합류하는 곳

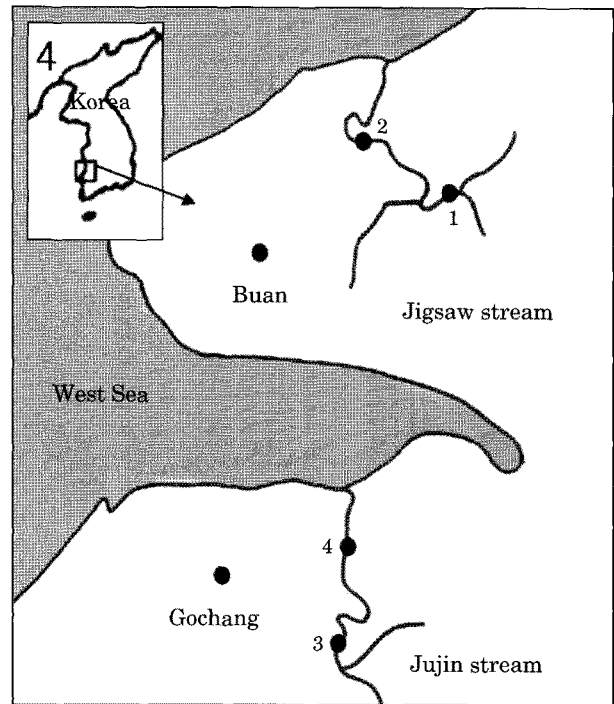


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the Jigsaw and Jujin streams.

으로 수심이 낮고, 주변은 소규모의 마을이 위치하고 있다. 정점 2는 부안댐 하류 1 km에 위치하고 있으며 수량이 풍부하고, 하상은 모래와 돌로 구성되어 있는 곳이다.

주진천의 정점 3은 상류에 부유물질과 높은 탁도가 나타났고, 정점 4는 연중 높은 탁도와 해수의 영향을 받고 있는 곳이다.

2. 수질분석 방법

수질분석을 위하여 pH는 Multi meter (Thermo Orion 3 star), 전기전도도는 Conductivity meter (LF191-WTW), DO는 DO meter (Horiba D-55 DO meter), 탁도는 Turbidimeter (DRT-15CE)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 총인과 총질소의 측정은 자외선 흡광도법과 아스코르빈산 환원법을 이용하여 측정하였으며, 생물화학적 산소 요구량(BOD)은 잉클러 아지드화나트륨법을 이용하여 분석하였다. 부유물질(SS)은 유리섬유 여지법을 이용하였다(APHA, 1985). 엽록소 *a*의 농도는 현장에서 채수한 시료를 냉장 처리한 후, 200 mL의 시료를 Whatman GF/C Filter로 여과하고, 아세톤(90%)을 넣어 마쇄한 후, 4°C 암상태로 12시간 이상 정처하여 색소를 추출한 후 파장 630 nm, 645 nm, 663 nm와 750 nm 파장에서 흡광도를 측정하여 산출하였다(APHA, 1998).

3. 조류채집 및 동정 분류 방법

조류채집은 유속이 비교적 완만한 정점을 택하여, 수심 10~30 cm에 있는 돌 중에서 3~4개를 채집하여 솔로 수면과 평행한 부분을 5×5 cm 굵어 부착조류를 채집한 후, 증류수를 이용하여 폴리에틸렌 용기에 100 mL로 정량 채집 하였다. 수질 분석을 위한 시료 채집은 수심이 약 15 cm되는 곳에서 멸균된 4L 플라스틱 통에 담아 ice box에 넣어 실험실로 운반하였다. 부착조류의 현존량(cells · cm⁻²)은 잘 혼합된 시료 1 mL를 취해 Sedgwick-Rafter chamber에서 계수하여 APHA(1995)에 의거하여 산정하였다. 동정과 사진촬영을 위한 시료는 Permanganate method (Hendey, 1974)에 의하여 세정한 후, Pleurax로 봉입하여 영구 표본을 제작하였으며, 동정된 규조는 Simonsen(1979) 체계에 따라 분류하였다(Jung, 1993).

부착규조류 군집의 상대빈도 등을 구하기 위하여 임의로 선정된 현미경 하의 시야에서 300개 이상의 피각을 계수하였으며, 각 종의 상대빈도를 계산한 후, 각 종의 현존량을 산정하였다. 출현종의 현존량을 기본 자료로 하여 Shannon weaver(1963)의 종 다양성 지수, Shimpson(1928)의 우점도 지수를 구하였다.

부착조류의 생체량을 측정하기 위해 부착 기질의 염록소 *a*는 부착조류의 정량시료 100 mL 중 일부를 Whatman GF/C Filter로 여과하고, 아세톤(90%)을 넣어 마쇄한 후, 4°C 암상태로 12시간 이상 정지하여 색소를 추출한 후 식물플랑크톤 염록소 *a*와 동일한 방법(APHA, 1998)으로 실험하였으며, 최종 농도를 먼적당 무게로 환산하였다. 또한 부착조류의 유기물을 측정하기 위하여 유기물량 측정(Ash-Free Dry Matter)을 실시하였다.

4. 통계 분석

통계 분석은 SPSS Ver.18.0를 이용하였으며, 구조 군집과 환경인자 간의 상호 유연관계를 알기 위해 Spearman rank correlation coefficient를 사용하였다. 이 방법은 환경인자간의 시·공간적 변화량을 등위화하여 각 인자간의 상관계수(r_s)를 구하고, 그 유의성을 결정하는 방법으로 다음의 계산에 의해 결정되어 진다.

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum Di^2}{n(n^2 - 1)}$$

여기서 Di 는 두 인자간 등위화된 수치의 차이이며, n 은 등위화된 수치의 개수이다. 유의성 검정은 $p=0.05$ 수준에서 판정하였다. 또한 다변량 분석 방법 결과, 주성분 분석을 통한 상호간에 상관성을 갖는 여러 종류의 특성치들

그룹화하여, 요인분석은 Varimax 직각 회전방식을 사용하여 부착규조류 군집에 미치는 환경 인자들의 요인을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 직소천 및 주진천의 물리·화학적 특성 비교

변산반도 국립공원 수역의 평균 수온변화는 5.7~22.4°C였으며, 주진천은 3.2~25°C로 이전 조사 결과와 유사한 값을 나타내었으며(Baik, 1995), 국내 일반적인 하천의 경향성을 나타내고 있었다(Baik, 1995; Park *et al.*, 2004). pH의 경우 두 수역 모두 강우가 많았던 6월과 9월에 중성(pH 7)을 나타내고 있었으며, 2월과 3월에는 약알칼리성을 띄는 경향이 나타났다.

직소천은 약산성에서 중성의 분포 양상을 보였으나 대부분의 수역에서는 중성을 나타내고 있었다. 또한 이 결과는 Baik(1995)에 의한 직소천 수계의 이화학적 연구에서 나타난 6.2~8.3의 수치와 비슷한 경향을 나타냈으며, 특히 3월에 비교적 높은 알칼리성을 나타나는 결과는 백의 선행연구와 일치하고 있었다(Wui *et al.*, 1991; Baik, 1995). 주진천은 중성에서 알칼리성의 분포(7.16~8.3)를 나타냈으나, 2월과 3월에는 직소천처럼 비교적 높은 알칼리성을 나타내고 있었으며, 6월과 9월에는 중성을 나타내고 있었다.

조사기간 동안 용존산소량은 직소천이 1.93~12.97 mg L⁻¹의 범위를 나타냈으며, 주진천은 4.6~9.91 mg L⁻¹의 범위로 나타났다. 두 수역 모두 수온이 증가하는 6월에 용존산소량이 떨어지고, 수온이 낮아지는 2월에 용존산소량이 증가하는 모습을 볼 수 있었다.

조사기간 동안 BOD는 직소천이 0.6~1.9 mg L⁻¹의 범위로 β-빈부수성 수역을 나타냈으며, 이는 백의 선행 연구(Baik, 1995)와 일치하였다. 주진천은 1.7~7.4 mg L⁻¹의 범위로 변화의 폭이 넓었으며, 6월에 7.4 mg L⁻¹로 아주 높게 나타났는데, 이는 여름철 많은 피서객을 통한 외부 오염 물질의 증가로 인하여 일시적으로 BOD가 증가한 것으로 판단된다. BOD는 상류에서 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였는데, 이는 하천의 흐름이 시간이 경과함에 따라 유기물의 유입량이 증가했기 때문인 것으로 판단된다.

조사기간 동안 전기전도도는 직소천의 경우 64.15~324 μS cm⁻¹의 범위를 나타냈으며, 주진천은 180.9~1,637 μS cm⁻¹로 나타났다. 주진천 정점 4는 572.4~1,637 μS cm⁻¹로 매우 높은 값을 나타냈다. 이는 서해안의 해수의 유입에 따른 영향으로 판단되며 여름철이 가장 낮은

Table 1. Physico-chemical factors in the Jigsaw (st. 1, 2) and Jujin (st. 3, 4) streams from March 2009 to February 2010.

Date	Sites	WT. (°C)	DO (mg L ⁻¹)	Tur. (NTU)	pH	Con. (μS cm ⁻¹)	SS (mg L ⁻¹)	BOD (mg L ⁻¹)	T-N (mg L ⁻¹)	T-P (mg L ⁻¹)	Chl- <i>a</i> (mg m ³)
Mar. 2009	1	10.4	8.8	0.4	7.50	107	3.3	1.0	3.857	0.006	3.7
	2	10.8	13.0	20.2	8.19	324	4.7	1.6	1.154	0.013	9.53
	3	11.5	8.0	29.3	8.30	388	4.2	3.3	4.139	0.131	3.2
	4	11.2	4.6	132.9	8.15	1027	9.0	3.5	3.946	0.097	5.4
Jun. 2009	1	22.4	7.3	2.5	6.82	113	7.1	1.9	1.483	0.013	6.8
	2	19.4	7.5	0.8	7.19	102	5.2	1.4	2.353	0.012	6.5
	3	23	7.2	79	7.50	244	17.6	3.8	2.389	0.105	6.5
	4	25	6.4	124.5	7.46	572	153.6	7.4	6.481	0.088	31.8
Sep. 2009	1	20.9	5.3	0.7	6.24	68	2.1	0.6	0.342	0.017	4.21
	2	22.2	1.9	2.5	7.35	64	3.5	0.7	0.844	0.019	10.53
	3	25.2	5.3	31.7	7.16	181	4.8	1.7	1.114	0.027	26.6
	4	25	4.0	47.2	7.45	1138	6.5	1.7	1.439	0.058	16
Feb. 2010	1	7	12.8	0.5	7.80	80	2.7	0.9	1.328	0.096	4.59
	2	5.7	11.7	2.4	6.96	71	1.6	1.1	0.769	0.096	2.46
	3	3.5	8.4	7.6	8.27	261	9.2	1.7	3.168	0.62	8.23
	4	3.2	9.9	22.9	7.93	1637	17.5	2.1	3.247	0.81	6.19

이유는 강우로 인한 염분의 희석으로 다른 계절에 비해 낮은 염도를 나타낸 것으로 사료된다.

조사기간 동안 부유물질은 직소천은 1.6~7.1 mg L⁻¹의 범위를 나타냈고, 주진천은 4.2~153.6 mg L⁻¹로 매우 높게 나타났다. 특히 정점 4번 수역은 6월 153.6 mg L⁻¹로 아주 높게 나타났는데, 이는 하천 주변 뺨에서 유입된 퇴적물 때문인 것으로 판단된다.

조사기간 동안 영양염류의 변화는 TN이 직소천에서 0.34~3.86 mg L⁻¹의 범위로 9월을 제외한 전 계절에서 중영양 단계를 나타냈다. 이는 3월과 6월 주변 농지에서 사용한 비료가 하천에 유입되어진 점과 하천 인접한 곳에 영향으로 사료되어진다. 주진천은 1.11~6.48 mg L⁻¹의 범위로 9월을 제외한 모든 계절에서 부영양 단계를 나타내고 있었다(Forsberg and Ryding, 1980; Dodds *et al.*, 1998).

조사기간 동안 TP는 직소천에서 0.006~0.096 mg L⁻¹의 범위로, 갈수기인 2월을 제외하고 빈영양 단계를 나타내고 있었다. 주진천은 0.027~0.131 mg L⁻¹의 범위로 중영양 단계에서 부영양 단계를 나타내고 있었다(Forsberg and Ryding, 1980; Doods *et al.*, 1998). 주진천의 영양염이 높게 나타난 것은 수변 농가에서 유입되는 오염원뿐만 아니라 정점 4 주변에 산재되어 있는 인근 유역환경의 오염원이 유입되어진 결과라고 판단된다.

조사기간 동안 식물플랑크톤의 엽록소 *a*의 농도는 직소천이 1.2~10.53 mg L⁻³의 범위이며, 주진천은 3.2~31.8 mg L⁻³의 범위를 나타내었다. 엽록소 *a* 농도는 장마기인 6월보다 장마 후인 9월에 높은 농도를 보였는데 이는 여

름 장마로 인해 유입된 영양염이 증가하여 식물플랑크톤이 증식하였기 때문인 것으로 판단된다. 엽록소 *a* 농도 기준에 의한 하천의 영양단계 구분은 직소천에서는 빈영양으로, 주진천에서는 중영양단계로 평가되었다(Forsberg and Ryding, 1980) (Table 1).

2. 조류상 비교

1) 출현종 및 현존량

본 조사에서 직소천에 출현한 규조류는 총 2목 3아목 8과 21속 73종 7변종으로 총 80분류군이 출현하였고, 중심규조목(Centrales)은 1아목 2과 4속 7종, 우상규조목(Pennales)은 2아목 6과 17속 66종 7변종으로 분류되었다. 6월의 정점 1에서 35종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 3월 정점 1과 2에서 각각 20종으로 가장 적은 종이 출현하였다(Fig. 2a).

주진천에 출현한 규조류는 총 2목 3아목 7과 22속 81종 7변종으로 총 88분류군이 출현하였다. 중심규조목(Centrales)은 1아목 2과 6속 11종, 우상규조목(Pennales)은 2아목 5과 16속 70종 7변종으로 분류되었다. 6월 정점 3에서 36종으로 가장 많은 종이 출현하였으며, 9월 정점 4에서 13종으로 가장 적은 종이 출현하였다.

직소천에서 산정된 부착조류 현존량은 총 194.8×10^4 cells cm⁻²였으며, 봄의 정점 1에서 48.2×10^4 cells cm⁻²로 가장 높은 현존량을 보였으며, 겨울의 정점 2에서 8.5×10^4 cells cm⁻² 가장 낮게 나타났다(Fig. 2b). 정점 1은 봄철 가장 높은 현존량을 나타내며 겨울로 갈수록 현존량이 낮아지는 경향을 나타내고 있었으며 (48.2 cells cm⁻² →

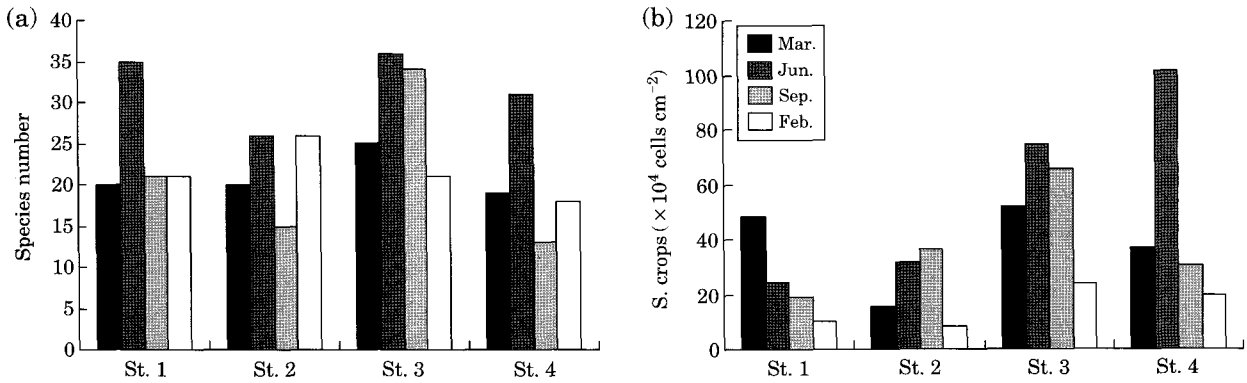


Fig. 2. Species numbers (a) and standing crops (b) of epilithic algae in the Jigsaw (st. 1, 2) and Jujin (st. 3, 4) streams.

19.4 cells cm⁻²), 정점 2는 정점 1과 다르게 봄에서 가을로 갈수록 점차 현존량이 높아지는(15.8 cells cm⁻² → 36.6 cells cm⁻²) 경향을 보이고 있었다. 주진천의 부착조류 현존량은 총 405 × 10⁴ cells cm⁻²였으며, 여름의 정점 4에서 101.6 × 10⁴ cells cm⁻²로 가장 높은 현존량을 보였으며, 겨울의 정점 4에서 19.9 × 10⁴ cells cm⁻²가 가장 낮게 나타났다 (Table 8).

주진천은 두 정점 모두 여름철에 가장 높은 현존량을 나타냈으며, 겨울철에 가장 낮은 현존량을 나타내고 있었다. 계절 간 두 지역의 현존량을 비교 해보면, 주진천이 직소천의 현존량 보다 높게 나타난 것을 알 수 있었다. 또한 엽록소 a와 현존량에 의한 주진천의 수질은 모든 조사 정점이 부영양상태를 나타내었다.

2) 우점종

6월의 직소천의 정점 1에서는 보편적인 생육종인 *Achnanthes minutissima*가 32.7%로 우점하였고, 그 외의 계절에서는 *Fragilaria capucina* var. *mesolepta*가 26.8%, *Gomphonema clevei*가 59.6%, *F. capucina*가 17.6%로 모두 호청수종이 우점을 하였으며, 또한 호청수종인 *A. altergracillima*가 24.9%, *A. convergens* 10.4%, *Navicula cryptotenella* 14.8%로 아우점 하는 등 정점 1은 전 조사기간 동안 호청수종이 우점과 아우점 하고 있었다(Watanabe et al., 2005). *A. minutissima*는 6월 32.5% 우점하였으며, 9월 9.6% 아우점 하는 등 빈번하게 나타났다. *A. minutissima*는 하천에 보편적인 생육종이나 섬강과 달천의 연구(Kim and Lee, 2009), 한탄강의 연구(Kim, 2004) 등에서 하천의 상류구간에서 출현하거나 호청수성종과 유사한 출현 경향을 나타내는 것으로 알려져 있다. 정점 2는 6월을 제외한 기간에는 호청수종인 *A. altergracillima*가 20.7~69.3% 우점하였으며, 6월 또한 호청수종인 *A. convergens*가 43.7%로 우점하였다.

주진천은 3월과 6월에 정점 3에서 광적응종인 *Nitzschia fonticola*가 18.1~37% 우점하였으며, 9월에는 *N. inconspicua*가 20.1%, 2월에는 *N. minima*가 14.8%로 광적응종이 우점하고 있었다. 또한 6월과 2월에 광적응종인 *N. inconspicua*가 각각 14.8%, 14.0%로 아우점하였으며, 3월에 호오염종인 *N. subminuscula*가 26%, 9월에는 광적응종인 *Navicula minima*가 17.1% 아우점하고 있었다. 정점 4에서는 3월에는 호청수종인 *N. cryptotenella*가 41.4%, 6월에는 호오염성종인 *N. mutica*가 39.7%, 2월과 9월에는 광적응종인 *A. brevipes*와 *Navicula yuraensis*가 각각 27.6%, 18.7%로 우점하고 있었으며, 아우점 또한 광적응종인 *N. halinae*, *N. inconspicua*, *N. yuraensis*, *A. brevipes*가 나타났다(Table 2).

직소천과 주진천의 호청수종(saproxenous taxa), 호오염종(saprophilous taxa), 광적응종(indifferent taxa)의 계절적 변동은 다음과 같다. 직소천은 전체적으로 호청수종 비율이 높게 나타났는데, 6월 정점 1을 제외 하고는 50% 이상으로 나타났다. 호오염종의 비율은 0~8.3%로 나타났으며, 광적응종은 20.8~39.8%로 나타나 β-빈부성의 비교적 청정한 수역으로 나타났다. 반면 직소천은 광적응종이 전체적으로 비율이 높게 나타났는데, 3월 정점 4를 제외한 모든 조사기간 동안 50% 이상을 나타내고 있었다. 호청수종은 3월 정점 4에서 51.7%로 높게 나타났지만 그 외 조사 기간에는 0~12.4%로 낮은 비율을 나타내고 있었고, 호오염성종은 1.7~50%로 나타나 β-중부성의 비교적 오염된 하천으로 나타났다.

3) 군집지수

직소천의 다양도 지수의 변화는 1.73~4.14의 범위로 변화의 폭이 컸다. 2월의 정점 2에서 4.14로 높게 나타난 것은 우점종인 *A. altergracillima*가 다른 정점에 비해 우점율이 낮았으며, 다른 출현종들이 0.2~9.6%로 전 출

Table 2. Dominant and subdominant species (%) of epilithic diatom assemblages at each station in the Jigsaw (st. 1, 2) and Jujin (st. 3, 4) streams from March 2009 to February 2010.

Date	Sites	Dominant species	Subdominant species
Mar. 2009	1	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (26.8%)	<i>Achnanthes alteragracillima</i> (24.9%)
	2	<i>Achnanthes alteragracillima</i> (26.9%)	<i>Tabellaria flocculosa</i> (13%)
	3	<i>Nitzschia fonticola</i> (37%)	<i>Navicula subminuscula</i> (26%)
	4	<i>Navicula cryptotenella</i> (41.4%)	<i>Navicula halinae</i> (11.5%)
Jun. 2009	1	<i>Achnanthes minutissima</i> (32.5%)	<i>Navicula cryptotenella</i> (14.8%)
	2	<i>Achnanthes convergens</i> (43.7%)	<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>rumpens</i> (13.2%)
	3	<i>Nitzschia fonticola</i> (18.1%)	<i>Nitzschia inconspicua</i> (16.8%)
	4	<i>Navicula mutica</i> (39.7%)	<i>Nitzschia inconspicua</i> (24.6%)
Sep. 2009	1	<i>Gomphonema clevei</i> (59.6%)	<i>Achnanthes minutissima</i> (9.6%)
	2	<i>Achnanthes alteragracillima</i> (69.3%)	<i>Anomoeoneis vitrae</i> (8.9%)
	3	<i>Nitzschia inconspicua</i> (20.1%)	<i>Navicula minima</i> (17.1%)
	4	<i>Achnanthes brevipes</i> (27.6%)	<i>Navicula yuraensis</i> (26.4%)
Feb. 2010	1	<i>Fragilaria capucina</i> (17.6%)	<i>Achnanthes convergens</i> (10.4%)
	2	<i>Achnanthes alteragracillima</i> (20.7%)	<i>Tabellaria flocculosa</i> (9.5%)
	3	<i>Navicula minima</i> (14.8%)	<i>Nitzschia inconspicua</i> (14%)
	4	<i>Navicula yuraensis</i> (18.7%)	<i>Achnanthes brevipes</i> (14.8%)

Table 3. Diversity and dominance indices of the epilithic diatom communities in the Jigsaw (st. 1, 2) and Jujin (st. 3, 4) streams from March 2009 to February 2010.

Seasons	Index	Stations			
		St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
Mar. 2009	Dominance	0.52	0.4	0.63	0.49
	Diversity	3.18	3.32	2.72	3.08
Jun. 2009	Dominance	0.47	0.6	0.35	0.64
	Diversity	3.49	2.75	3.68	2.75
Sep. 2009	Dominance	0.69	0.78	0.37	0.54
	Diversity	2.39	1.73	3.69	2.81
Feb. 2010	Dominance	0.42	0.25	0.29	0.34
	Diversity	3.61	4.14	4.02	3.74

현 종들이 고른 분포를 나타냈기 때문이라고 판단된다. 9월의 정점 1에 1.73으로 비교적 낮게 나타났는데, 이는 우점종과 아우점종의 구성비가 78.2%로 대부분을 차지하고 있었으며, 출현종 수 또한 15종으로 다소 출현종이 낮았기 때문이라고 생각된다. 우점도 지수의 범위는 0.25~0.78로써 9월 정점 2에서 0.78로 가장 높았고, 2월 정점 2에서 0.25로 가장 낮게 나타났다.

주진천의 다양도 지수의 변화는 2.72~4.02로 나타났다. 대부분의 정점이 3을 넘는 높은 수치를 보였는데, 이는 우점종과 아우점종의 낮은 구성비율과, 총 출현 종들이 많았던 것으로 판단된다. 우점도 지수의 변화는 0.29~0.64의 범위로, 2월 정점 3에서 0.29로 가장 낮았으며, 6

월 정점 2에서 0.64로 가장 높았다(Table 3). 따라서 두 하천의 부착조류의 군집분석 결과, 직소천은 주진천에 비해 다양도 지수는 높고, 우점지수는 낮은 성향을 띠며 따라 직소천의 하천이 주진천에 비해 비교적 청정한 하천을 유지하고 있는 것으로 판단이 된다.

4) 부착조류의 생물량 및 유기물량

직소천의 엽록소 *a*의 농도는 0.31~1.61 $\mu\text{g cm}^{-2}$ 범위로 봄철 정점 2에서 1.61 $\mu\text{g cm}^{-2}$ 로 가장 높게 나타났으며, 가을에 두 지점 모두 0.31 $\mu\text{g cm}^{-2}$ 로 가장 낮게 나타났다. 주진천의 엽록소 *a*의 농도는 0.08~2.65 $\mu\text{g cm}^{-2}$ 범위로 나타났으며, 봄철 정점 4에서 1.61 $\mu\text{g cm}^{-2}$ 로 가장 높게 나타났으며, 겨울철 정점 2에서 0.08 $\mu\text{g cm}^{-2}$ 로 가장 낮게 나타났다. 계절별로 직소천은 3월 엽록소 *a*의 농도가 가장 높았다가 차츰 줄어드는 경향을 나타냈으며, 주진천은 6월에 높게 나타나는 경향을 보였다(Fig. 3a). 부착 조류의 엽록소 *a*의 농도는 양산천과 수영강(1.8~38.8 mg cm^{-2}) (Ha *et al.*, 1997), 한탄강(13.4~304.2 $\mu\text{g cm}^{-2}$) (Kim, 2004), 달천과 섬강(0.2~57.2 $\mu\text{g cm}^{-2}$) (Kim *et al.*, 2009)에 비해 전반적으로 낮은 농도 범위를 나타냄에 따라 본 조사 정점은 다른 수역에 비해서 상대적으로 유기물 잔존량과 타 생물체가 적은 것으로 판단된다.

유기물량(AFDM)의 농도는 직소천의 경우, 0.13~1.48 mg cm^{-2} 범위로 나타났으며, 주진천은 0.39~2.6 mg cm^{-2} 범위로 나타났다(Fig. 3b). 두 수역의 생물량과 유기물량의 경향성은 직소천은 가을철 조사를 제외 하고는 비슷한 경향을 나타낸 반면, 주진천은 생물량과 유기물량의 경향

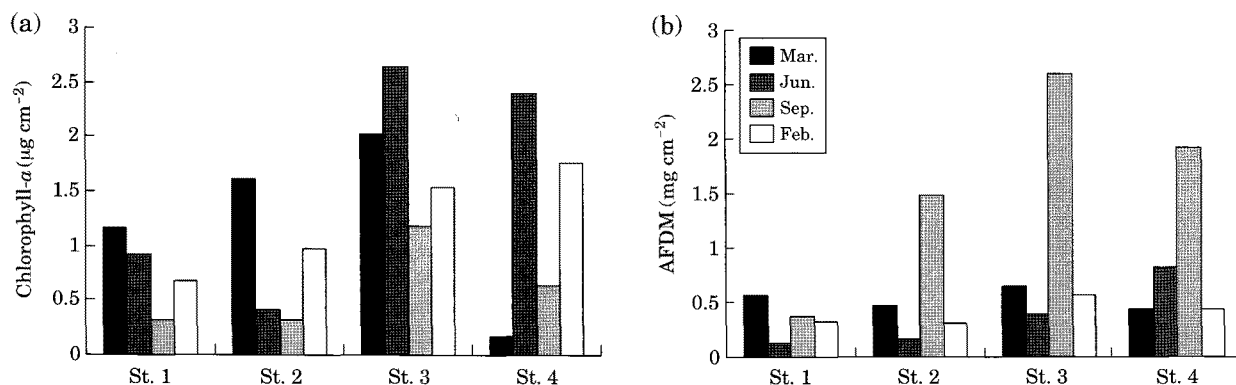


Fig. 3. Amounts of chlorophyll-a (a) and AFDM (b) of epilithic algae in the Jigsaw (st. 1, 2) and Jujin (st. 3, 4) streams.

Table 4. Correlation comparison of water quality in the Jigsaw streams from March 2009 to February 2010.

	WT	pH	Tur	Con	SS	DO	BOD	TN	TP	Chl-a	S. crops
WT		-.518	-.192	-.201	.515	-.858**	.064	-.165	-.692	.498	.412
pH	N.S		.597	.637	.123	.545	.229	.305	.095	.405	.007
Tur	N.S	N.S		.961**	.241	.422	.442	-.192	-.210	.543	-.268
Con	N.S	N.S	**		.366	.489	.554	.036	-.312	.471	-.150
SS	N.S	N.S	N.S	N.S		-.121	.834*	.255	-.567	.518	.269
DO	**	N.S	N.S	N.S	N.S		.352	.112	.539	-.360	-.573
BOD	N.S	N.S	N.S	N.S	*	N.S		.200	-.239	.237	-.088
TN	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S		-.344	-.193	.718*
TP	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S		-.498	-.707*
Chl-a	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S		.217
S. crops	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	*	*	N.S	

N.S: Non significance, * $P < 0.05$, ** $P < 0.0$

이 반대로 나타나는 결과를 나타내었다. 이러한 결과는 직소천의 경우 전체 유기물 중에 부착조류가 차지하는 비율이 높았으며, 주진천은 경우 부착조류의 생체량이 적음에도 불구하고 높은 유기물량이 높은 것은 인접 환경의 빨퇴적물에서 기원된 또 다른 유기물 및 생물체가 함유된 것으로 사료된다.

5) 통계분석

통계분석은 각 수질 자료를 이용하여 수질요인들 간의 상관 분석을 수행하였고, 이중 상관성이 높은 자료를 중심으로 계절적 요인 분석을 실시하였다. 직소천 수질 요인들의 상관 분석 결과, 부착 조류 현존량과 수질 인자간의 상관 분석 결과 영양염류인 TN은 0.72로 높은 상관성을 나타냈다. 직소천의 부착조류의 현존량은 영양염류 중 TN의 영향을 받는 것으로 사료된다. 그 외 물리화학적 환경에서는 전기전도도와 탁도의 상관성이 상관계수 0.96로 가장 높게 나타났으며, 부유 물질은 BOD와 높은 상관성(0.83)을 나타냈다(Table 4).

주진천 상관 분석 결과, 부착 조류 현존량은 BOD와 상관계수 0.8으로 가장 높게 나타났다. 그 외 물리화학적 환경에서는 부유 물질과 BOD의 상관성이 상관계수 0.9로 가장 높았다(Table 5).

직소천의 수질항목 간의 요인분석 결과, 고유값(Eigen value)이 1.0 이상의 값을 갖는 변수를 중심으로 수질에 미치는 여러 개의 독립적인 요인들의 변화를 그룹화(Kim et al., 2007)한 것으로 직소천의 수환경에 우선적으로 미칠 수 있는 제1요인들은 탁도, 전기전도도, 부유물질 등이 나타났다.

요인 분석을 통한 주요 인자에 대한 적교 회전된 결과에서 인자부하량이 0.7 이상을 기준으로 살펴보면, 제1요인으로는 탁도, 전기전도도, 부유물질, BOD, 엽록소 a로 나타났으며, 제2요인은 DO, TP로 나타났다(Table 6).

주진천의 요인분석 결과, 제1요인으로는 부착조류의 현존량, BOD, 부유물질, 엽록소 a, 수온으로 나타났다. 이는 부착조류의 현존량이 BOD의 영향을 받고 있다는 상관 분석과 같은 결과를 나타내고 있었다. 제2요인은 TN으로

Table 5. Correlation comparison of water quality in the Jujin streams from March 2009 to February 2010.

	WT	pH	Tur	Con	SS	DO	BOD	TN	TP	Chl-a	S. crops
WT		-.874**	.143	-.319	.358	-.477	.285	-.201	-.670	.683	.693
pH	**		-.167	.015	-.293	.476	-.139	.346	.482	-.755*	-.551
Tur	N.S	N.S		.133	.562	-.502	.750*	.535	-.525	.238	.537
Con	N.S	N.S	N.S		.001	.009	-.136	-.010	.425	-.073	-.492
SS	N.S	N.S	N.S	N.S		-.020	.899**	.773*	-.157	.676	.716*
DO	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S		-.058	.245	.808*	-.378	-.220
BOD	N.S	N.S	*	N.S	**	N.S		.843**	-.342	.415	.797*
TN	N.S	N.S	N.S	N.S	*	N.S	**		.051	.144	.418
TP	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	*	N.S	N.S		-.353	-.616
Chl-a	N.S	**	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S		.624
S. crops	N.S	N.S	N.S	N.S	*	N.S	*	N.S	N.S	N.S	

N.S: Non significance, *P<0.05, **P<0.01

Table 6. Rotated component matrix (SPSS Ver. 18.0) by factor analysis in the Jigsaw stream from March 2009 to February 2010.

	Components			
	1	2	3	4
WT	.175	-.896	-.373	.114
pH	.573	.527	.295	-.418
Tur	.776	.443	-.289	-.230
Con	.853	.411	-.081	-.128
SS	.752	-.366	.028	.495
DO	.154	.929	.234	.208
BOD	.725	.115	.058	.660
TN	.212	-.167	.961	.022
TP	-.577	.711	-.103	.108
Chl-a	.711	-.298	-.396	-.373
S. crops	.185	-.721	.592	-.285

Table 7. Rotated component matrix (SPSS Ver. 18.0) by factor analysis in the Jujin streams from March 2009 to February 2010.

	Components			
	1	2	3	4
WT	.751	-.539	.258	.056
pH	-.650	.592	-.169	-.390
Tur	.668	.339	-.618	-.023
Con	-.268	.166	-.447	.814
SS	.773	.531	.173	.260
DO	-.502	.536	.625	.032
BOD	.785	.602	-.018	-.068
TN	.389	.902	-.013	-.072
TP	-.713	.423	.340	.413
Chl-a	.764	-.176	.269	.417
S. crops	.920	.085	.246	-.207

나타났으며 (Table 7), 이 수계의 영양염류는 TP보다 TN의 영향을 크게 받는다고 판단된다.

요인 분석을 통한 각 변수간의 관계를 확인한 결과, 직

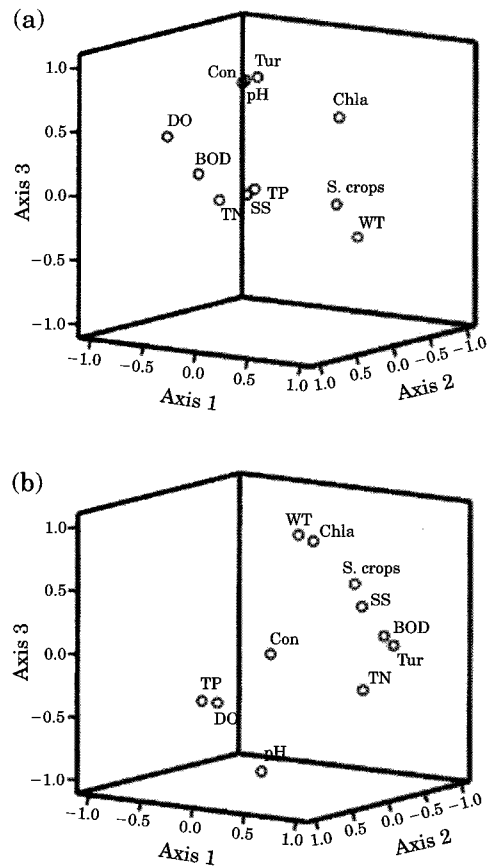


Fig. 4. Principal component analysis plots of water quality factors in the Jigsaw (a) and Jujin (b) streams from March 2009 to February 2010.

소천의 부착조류 현존량은 각 수질인자에서 멀리 떨어져 있는 것을 확인할 수 있다 (Fig. 4a). 그러나 주진천은 부착조류 현존량은 부유물질, BOD와 탁도 등에 밀집되어 영향을 받고 있는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 4b).

본 연구 결과, 변산반도 국립공원 내를 흐르는 직소천

Table 8. List of epilithic algal species and total standing crops observed in the Jigsaw (st. 1, 2) and Jujin (st. 3, 4) streams from March 2009 to February 2010. (unit: cells cm⁻²)

Species names	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
<i>Achnanthes alteragracillima</i>	131,036	345,405		
<i>A. biasoletiana</i>				40,244
<i>A. brevipes</i>			5,005	120,054
<i>A. coarctata</i>				1,782
<i>A. convergens</i>	35,206	144,764		
<i>A. exigua</i>			4,874	15,394
<i>A. exigua</i> var. <i>elliptica</i>			1,484	
<i>A. hungarica</i>	1,369	3,788		
<i>A. inflata</i>	1,145			
<i>A. lanceolata</i>	6,354	614	13,359	3,564
<i>A. minutissima</i>	98,922	55,318	25,785	1,782
<i>A. rupestoides</i>	2,290			
<i>A. septentrionalis</i>				1,782
<i>A. sp.</i>	3,667	2,367		
<i>Amphora</i> sp.				13,457
<i>A. gomphonemacea</i>		24,717		
<i>A. vitrae</i>		40,239		
<i>Asterionella formosa</i>		444		
<i>Aulacoseira ambigua</i>		8,580		6,137
<i>A. distans</i>		20,413	5,293	
<i>A. granulate</i>			8,748	2,566
<i>Bacillaria paradoxa</i>			3,355	
<i>Caloneis silicula</i>			1,484	
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	18,775	1,361		
<i>C. stauroneiformis</i>				4,254
<i>Cyclostephanos comta</i>				4,254
<i>C. dubius</i>		4,586	4,453	
<i>Cyclotella atomus</i>	443	614	12,882	10,263
<i>C. meneghiniana</i>	1,771	1,236	27,598	13,308
<i>C. pseudostelligera</i>				1,782
<i>C. stelligera</i>	12,254	22,232		
<i>Cymbella affinis</i>	9,658	6,920	66,321	
<i>C. aspera</i>	573			
<i>C. delicatula</i>	917	3,106		
<i>C. gracilis</i>		7,251		
<i>C. japonica</i>	3,436	5,208		
<i>C. lacustris</i>	3,436	947		
<i>C. leptoceros</i>	2,255	1,843	1,484	
<i>C. lunatum</i>	1,329	614		
<i>C. minuta</i>			1,484	
<i>C. naviculiformis</i>		3,455	1,323	
<i>C. obscurum</i>	4,429			
<i>C. silesiaca</i>	34,180	1,850	3,743	6,036
<i>C. sinuata</i>	1,718			
<i>C. tumida</i>	3,178	614	4,131	
<i>Diploneis marginestrianta</i>				1,782
<i>D. subovalis</i>				1,006
<i>Eunotia binulnaris</i>		614		
<i>E. minor</i>	443			
<i>Fragilaria capucina</i>	40,775	7,102	5,293	1,782
<i>F. capucina</i> var. <i>gracilis</i>	34,198	18,342		
<i>F. capucina</i> var. <i>mesolepta</i>	127,701		19,296	4,254
<i>F. capucina</i> var. <i>rumpens</i>		41,775		
<i>F. construens</i> var. <i>binodis</i>	443	1,229		

Table 8. Continued.

(unit: cells cm⁻²)

Species names	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
<i>F. elliptica</i>		614	80,679	21,708
<i>F. nanana</i>		19,763		
<i>F. pinnata</i>			1,484	8,909
<i>F. vaucheriae</i>			2,647	
<i>Gomphonema acuminatum</i>		1,850		
<i>G. clavatum</i>			1,323	
<i>G. clevei</i>	125,053	4,824	42,052	
<i>G. gracile</i>		1,236	1,871	
<i>G. lagenula</i>		15,003		
<i>G. minutum</i>	1,145			
<i>G. parvulum</i>	26,075	12,506	9,131	9,884
<i>G. pumilum</i>	28,760			
<i>G. quadripunctatum</i>	10,502		1,323	
<i>G. truncatum</i>		3,011	1,323	
<i>G. vastum</i>		947		
<i>Gyrosigma scalproides</i>	573			
<i>Hantzschia amphioxys</i>				4,254
<i>Melosira varians</i>			52,474	27,796
<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i>	443			13,163
<i>Navicula angusta</i>		3,100		25,524
<i>N. capitata</i>	443		1,484	
<i>N. cohnii</i>			1,484	
<i>N. cryptocephala</i>	20,104	2,472	8,748	4,254
<i>N. cryptotenella</i>	38,600	7,769	2,807	153,146
<i>N. cuspidata</i>			3,194	
<i>N. decussis</i>	2,297			
<i>N. gregaria</i>	49,293	1,702	70,996	81,853
<i>N. halinae</i>				42,541
<i>N. minima</i>	1,145		154,357	
<i>N. mutica</i>			46,438	408,559
<i>N. peregrina</i>	886		1,484	
<i>N. perminuta</i>				4,254
<i>N. pupula</i>			16,170	28,655
<i>N. rhynchocephala</i>		27,189		
<i>N. schroeteri</i> var. <i>symmetrica</i>			1,871	9,055
<i>N. stroemii</i>			1,871	2,566
<i>N. subminuscula</i>	2,214		212,942	1,782
<i>N. thienemannii</i>			30,465	
<i>N. tripunctata</i>				12,473
<i>N. ventralis</i>	443			
<i>N. viridula</i> var. <i>rostellata</i>	9,734		123,534	4,254
<i>N. yuraensis</i>				123,727
<i>Neidium ampliatum</i>	573		3,743	
<i>Nitzschia acicularis</i>			1,484	
<i>N. amphibia</i>	3,661		144,948	31,560
<i>N. clausii</i>			3,743	
<i>N. constricta</i>				1,782
<i>N. diversa</i>	25,581			
<i>N. filiformis</i>				23,164
<i>N. fonticola</i>	36,529	2,457	337,351	
<i>N. frustulum</i>	5,025			
<i>N. greclis</i>	443			
<i>N. inconspicua</i>	1,718		315,763	300,250
<i>N. intermedia</i>			1,871	
<i>N. palaeceae</i>	886			24,946

Table 8. Continued.

(unit: cells cm⁻²)

Species names	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
<i>N. palea</i>	17,714		125,076	22,451
<i>N. paleacea</i>			14,972	
<i>N. parvuloides</i>	443	3,686		
<i>N. perminuta</i>			3,743	3,848
<i>N. subacicularis</i>			1,484	15,394
<i>N. sublinearis</i>				30,183
<i>N. tryblionella</i>			6,876	8,909
<i>N. tryblionella</i> var. <i>victoriae</i>			3,743	36,921
<i>Reimeria sinuata</i>	1,329			
<i>Stephanodiscus hantzschia</i>		614		
<i>S. invistatus</i>				8,909
<i>Surirella angusta</i>			2,969	
<i>S. brebissonii</i>				1,782
<i>S. minuta</i>	4,026		10,616	
<i>Synedra acus</i>				1,782
<i>S. ulna</i>	22,396	5,247	2,807	1,782
<i>Tabellaria flocculosa</i>	2,688	33,377		
<i>Thalassiosira bramaputrae</i>			1,323	

과 선운산 도립공원의 주진천은 부분적으로 인위적 영향을 받는 계류수으로써 수심이 낮으며, 지역적으로 유량이 적어 외부의 영양염류의 유입에 대해 BOD지수가 민감하게 반응하여 확연한 차이를 나타냈으며, 생물군집 또한 영양염류에 의하여 호오염성의 빈도 및 현존량 증가를 보이는 것으로 나타났다.

직소천은 상류 수역 뿐만 아니라 하류 수역 또한 이화학적 및 생물학적 수질이 비교적 양호하였으나, 주진천은 전 계절 중영양에서 부영양화 단계에 있는 하천으로써 영양염이 매우 높게 나타났다. 따라서 두 하천의 유역환경이 공원 생태계임을 감안할 때, 직소천에 인접한 변산반도 국립공원의 생태계가 주진천에 인접한 선운산의 도립공원의 유역환경에 비해 건강성이 높다고 판정이 된다.

결론적으로 하천의 수환경 및 부착조류의 군집 구조는 두 하천의 유역환경인 공원 생태계 보존을 위한 환경영향 평가 항목으로 채택이 될 수 있는 객관적인 근거가 된다고 판단이 되며, 현재 국가관리 공원의 생태계 건강성 평가는 고등 동식물의 군집분석을 통한 제한된 평가기준에 머물고 있어 추후 공원 내, 하천의 수환경 변수 및 부착조류 군집분석이 공원의 건강성 평가항목으로 보강되어 하천-하천 유역환경-수목환경을 통합적으로 연계한 환경영향 평가시스템이 필요하다고 사료된다.

적 요

본 연구는 변산반도 국립공원과 선운산 도립공원을 흐

르는 하천을 대상으로 2009년 3월부터 2010년 2월까지 이화학적 수질 분석을 통한 영양단계 및 부착규조류 군집 조사를 실시하였다. 직소천은 조사기간 내내 BOD가 2 mg L⁻¹ 이하의 농도로써 양호한 것으로 나타난 반면, 주진천은 1.7~7.4 mg L⁻¹ 범위로 계절적 큰 차이를 보이며 부분적 3급수 이상의 수질을 나타냈다. 영양단계의 판정은 직소천은 일부 수역의 중영양 단계를 제외하면 대부분 빈영양 단계를 나타냈으며, 주진천은 중영양에서 부영양 단계로 나타났다.

부착규조의 군집 조성은 직소천의 부착규조류 군집은 총 80분류군으로 2목, 3아목, 8과, 21속, 73종 3변종으로 구성되어 있었고, 우점종은 *Fragilaria capucina* var. *mesolepta*, *Gomphonema clevei*, *F. capucina* 등으로 호청수종이 우점을 하였으며 계절적 전 구간에서 높은 빈도로 호청수종이 우점하며 β-빈부성의 비교적 청정한 수역으로, 이화학적 수질 분석과 같은 비교적 양호한 것으로 나타났다. 반면 주진천은 총 88분류군으로 2목, 3아목, 7과, 22속, 81종, 7변종으로 구성되어 있었고, 우점종으로 *Navicula minima*, *Nitzschia fonticola*, *N. inconspicua*와 같은 폭 넓은 환경에서 나타나는 종들은 계절별로 2회 이상 우점하였으며, *Navicula mutica*, *N. subminuscula*, *Nitzschia amphibia*, *N. palea* 등 오염된 수역에서 호오염성 종들이 전 조사기간 고르게 나타났다. 또한 *Cyclotella atomus*, *C. meneghiniana*, *Navicula pupula* 등과 같은 호오염성 종들도 낮은 빈도이지만 빈번히 출현하여 β-중부성의 오염된 하천으로 이는 앞선 이화학적 분석결과와 마찬가지로 주진천은 부영양화 단계인 것으로 판단되어 앞으로 주

기적인 관리가 요구되고, 현재 국가관리 공원의 생태계 건강성 평가는 고등 동식물의 군집분석을 통한 제한된 평가 기준에 머물고 있어 추후 공원 내, 하천의 수환경 변수 및 부착조류 군집분석이 공원의 건강성 평가항목으로 보강되어 하천-하천 유역환경-수목환경을 통합적으로 연계한 환경영향 평가시스템이 필요하다고 사료된다.

사 사

본 연구는 2009년도 환경부(국립환경연구원)의 <수생태계 건강성 조사 및 평가> 사업으로 수행되었습니다. 또한 본 논문 심사를 위해 고견을 주신 익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

인 용 문 헌

- APHA, AWWA and WEF. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. APHA, Washington D.C. 1100 pp.
- Baik, S.K. 1995. Water quality in Jikso stream, Chullabuk-do, Korea. *Wonkwang Journal of Environmental Science* 4: 33-41.
- Choi, M.K., B.H. Kim, Y.T. Chung, J.B. Lee and I.S. Wui. 1994. The flora of the freshwater algae in Pyonsanbando Nat. Park. *Wonkwang Journal of Environmental Science* 3: 1-29
- Choi, M.K., B.H. Kim, H.S. Choi, K.B. Lee, D.B. Lee and Y.T. Chung. 1997. Ecological studies on the epilithic algal community in the Seomjin river system. *Wonkwang Journal of Environmental Science* 6: 1-27.
- Choi, H.I., N.H. Kim, Y.J. Kang, H.J. Choi, Y.P. Kim, D.H. Jo and D.H. Seol. 2007. A study on the water quality of Wolchulsan National Park. *Journal of Environmental Research Chosun University* 20: 1-16.
- Dodds, W.K., J.R. Jones and E.B. Welch. 1998. Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. *Water Research* 32: 1455-1462.
- Forsberg, O. and S.O. Ryding. 1980. Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish water receiving lakes. *Arch. Hydrobiology* 89: 189-207.
- Ha, K., S.B. Park, H.W. Kim, J.S. Kim and G.J. Joo. 1997. Physicochemical characteristics and chlorophyll-*a* distribution of the epilithon in headwater streams in Pusan and Kyongsangnam-do Province. *Korean Journal of Limnology* 30: 393-403.
- Harris, G.P. 1986. Phytoplankton Ecology - Structure, Function and Fluctuation. Chapman & Hall, New York, U.S.A. 384 pp.
- Hendey, N.I. 1974. The permanganate method for cleaning freshly gathered diatom. *Microscopy* 32: 423-426.
- Jung, J. 1993. Illustration of the freshwater algae of Korea. Academybook. Seoul. 496 pp.
- Jung, S.G. and K.H. Park. 2004. An integrated watershed environmental assessment and classification of the Mid-Nakdong River Region. *Environmental Impact Assessment* 13: 137-151.
- Kim, B.H., M.K. Choi, K.C. Choi, I.S. Wui and Y.T. Chung. 1992. Ecological study on the epilithic diatom community in Chickso stream, Chollabuk-do, Korea. *Wonkwang Journal of Environmental Science* 1: 49-63.
- Kim, G.A., Y.G. Kim, M.J. Song, K.W. Ji, P.J. Yu and C.W. Kim. 2007. Evaluation of water quality characteristics in the Nakdong River using multivariate analysis. *Atmosphere and Environment* 23: 814-821.
- Kim, M.K., S.H. Lee and C.H. Lee. 2007. Changes of dominant species of phytoplanktons and hydrological causes of water bloom in the lake Unmun, Cheongdo-gun, Gyeongsangbuk-do. *Algae* 22: 261-271.
- Kim, Y.J. 2004. Temporal and spatial dynamics of an epilithic algal community in the Hantan River. *Algae* 19: 15-22.
- Kim, Y.J., K.A. Shin 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: 414-424.
- Kim, Y.J. and O.M. Lee. 2009. Assessment of water quality in the Sum-river and the Dal-stream using epilithic diatom-based Indices. *Atmosphere and Environment* 25: 606-614.
- Kratzer, C.R. and P.L. Brezonik. 1981. A Carlson-type trophic state index for nitrogen in florida lakes. *Wat. Res. Bull. Assn.* 17: 713-715.
- Lee, K.B., B.H. Kim, D.B. Lee, J.D. Kim and M.K. Choi. 2000. Ecological studies on the epilithic algal and change of agricultural irrigation water quality in the Seomjin River. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 19: 276-283.
- Lee, J.H. and Y.J. Kim. 1996. Epilithic diatoms and trophic states of dam lakes in the Nakdong River system. *Korean Journal of Environment Biology* 14: 18-28.
- Lim, A.S. and O.M. Lee. 2007. Water trophic states and biological indicators of phytoplankton at six reservoirs in Gyeonggi-do. *Algae* 22: 69-85.

- Park, J.W., J.H. Choi and M.K. Kim. 2004. Variations of epilithic diatom community and an assessment of water quality by DAIPo in the middle reaches of the Nakdong River. *Korean Journal of Limnology* **37**: 70-77.
- Rim, C.S., J.K. Shin and K.J. Cho. 2000. The trend and assessment of water pollution from midstream to downstream of the Kum River. *Korean Journal of Limnology* **33**: 51-60.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Illinois Univ. Press, Univ. 177 pp.
- Shin, J.K., J.L. Cho, S.J. Hwang and K.J. Cho. 2000. Eutrophication and water pollution characteristics of the Kyongan Stream to Paltang Reservoir. *Korean Journal of Limnology* **33**: 387-394.
- Simonsen, R. 1979. The diatom system: Ideas on phylogeny. *Bacillaria* **2**: 9-71.
- Simpson, E.H. 1928. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 1-688.
- Watanabe, T., T. Ohtsuka, A. Tuji and A. Houki. 2005. *Picture Book and Ecology of the Freshwater Diatoms*. ed. T. Watanabe. Uchida-rokakuho, Tokyo. 666 pp.
- Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. W.B. Saunders Co. Philadelphia. London & Toronto. 743 pp.
- Wui, I.S., Y.T. Chung, B.H. Kim and M.K. Choi. 1991. Seasonal variation of phytoplankton community in Pyonsanbando National Park, Korea. *Korean Journal of Limnology* **24**: 239-250.
- Yi, H.H., Y.S. Shin, S.R. Yang, N.I. Chang and D.H. Kim. 2007. Size-structure and primary productivity of phytoplankton from major lakes in Sumjin and Yeongsan Watershed. *Korean Journal of Limnology* **40**: 419-430.

(Manuscript received 29 September 2010,
Revision accepted 31 May 2011)