

온천 배수 유입에 따른 소형 하천의 생태계 변화와 회복에 관한 연구 - 소형 하천에서 온천 배수가 부착조류 군집에 미치는 영향 -

정연태 · 문연자 · 김미연 · 최민규 · 길봉섭¹

(원광대학교 환경과학연구소, ¹원광대학교 생명과학부)

적 요 - 본 연구는 온천 배수의 유입이 소형 하천의 부착조류군집에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 전북 고창군 석정온천에 발원하는 하천과 그 주변의 소형 하천을 대상으로 1996년 2월부터 1998년 9월까지 계절별로 조사하였다. 온천 배수의 유입이 직접 일어나는 지점에서는 저온기에 남조의 *Oscillatoria*와 *Phormidium*이 중심이 된 독특한 남조피막이 형성되었다. 특히, 부착조류의 출현 및 군집구조는 온천 배수의 영향 하천과 비영향 하천간에 뚜렷한 차이를 보였는데, 전체적으로 조사시기에 상관없이 규조의 높은 종 출현(전체의 58%)과 남조강의 높은 생물량(전체의 67%)이 대조적이었으며, 전자는 하천의 하류에 주로 분포하고, 후자는 집중적으로 상류에 분포하였다. 이러한 현상은 동계에 뚜렷하였으나, 계절이 전환되면서 보이지 않았다. 녹조와 유글레나류 등은 계절 및 지점에 큰 영향을 보이지 않았다. 대부분의 환경요인들은 하천방향을 따라 강하게 감소하였으나, 질산성 질소는 하천방향에 따라 다소 증가하였다. 본 조사하천은 온천 이용이 저온기에 집중됨으로서, 배출지점에 남조피막과 같은 독특한 하천생태계가 형성되지만, 하천방향에 따라 비영향 하천의 유입, 남조피막과 하천퇴적물과의 상호작용 등에 의한 화학물질의 빠른 감소로 하천의 하류로 갈수록 심한 오염현상은 발견되지 않았으나, 온천배수의 지속적인 유입이 이루어진다면, 하천의 퇴행적 천이가 빠르게 진행될 것으로 예상되었다.

서 론

최근 휴식이나 치료 등의 목적으로 도시근교나 하천의 상류부근 등에 많은 온천이 개발되고 있다. 우리나라 온천은 깊은 지하의 마그마나 화산활동 등에 의해 생성되는 자연온천과는 달리 대부분 특정지역에 인위적으로 천공, 펌프 및 가열 등의 과정을 거쳐 사람이 사용하게 하는 이른바, 냉천이다(Kim 1998). 일반적으로 온천수 또는 온천배수가 직접 유입되는 하천은 연중 높은 수온과 다양한 무기물 및 높은 영양염을 유지하고 있어, 친온성 남조류나 박테리아 등의 서식에 적합한 생태학적 조건을 제공한다(Stockner 1968; Lamberti & Resh 1983).

친온성 남조류는 대개 45°C에서 최적 성장을 보이지만, 90°C 이상의 높은 수온에서도 성장 가능하며, 박테리아 및 소형무척추동물 등과 함께 독특한 남조피막(cyanobacterial mat)을 형성하고, 일반하천에 비해 높은 1차 생산력 및 엽록소 농도를 보인다(Castenholtz 1969; Kim 1998). 일부 규조의 경우, 35°C 이상의 수온에서도

분포하는 종이 있지만(Stockner 1968), 대개 피막을 형성하는 종은 단세포성 *Synechococcus*와 사상체 *Oscillatoria*, *Phormidium* 등이다. 이들은 피막의 표면에서 가장 활발한 성장을 보이며, 계절, 빛 및 수량 등에 강하게 의존하여 성장, 천이된다(Stockner 1968; Castenholtz 1969). 일부 종들은 질소를 고정하기도 하고(Dugdale 1967), 다양한 색과 수 cm 이상의 피막을 형성하며, 대개 봄과 가을에 성장하고, 여름과 겨울동안 박테리아에 의한 혐기적 분해나 강우에 의해 하류로 이동하면서 소멸된다(Stockner 1968). 자연 온천과 그 유역 하천에서 조류피막 형성은 이미 잘 알려져 왔으나(Castenholtz 1967, 1968, 1969), 국내에서는 왕궁온천 유역에서 *Oscillatoria* 피막에 대한 생태학적 연구(Kim 1998)를 포함한 온천 유역 하천에서 담수조류의 단편적인 분포 조사인 부곡온천(정 1981), 석정온천(최 1998) 등의 연구가 있을 뿐이다.

저자들은 높은 수온 및 많은 영양염을 함유한 온천 배수의 배출이 불쾌한 악취는 물론 수질 악화 및 하천의 퇴행적 천이를 가져올 가능성이 높아, 온천 배수가 유역 하천의 수질 및 부착조류 군집에 미치는 영향을

파악하는 생태학적 조사가 필요하다고 판단하였다. 주요 조사내용은 온천 배수의 영향하천, 비영향 하천, 혼합 지점등의 부착조류 출현분포 및 군집변화, 이화학적 환경요인 분석, 환경요인과 조류와의 상관 등이다.

재료 및 방법

1. 조사기간 및 지점

조사기간은 1997년 2월부터 1998년 9월까지 계절별로 총 8회를 실시하였으며, 조사지점은 전북 고창군에 위치하는 석정온천에서 발원되는 조사 중심 하천과 여기에 유입되는 소형 지천 등을 대상으로 하고, 온천 배수 영향을 직접 받는 3개 지점(지점 1, 2 및 3, 이하 영향지점), 온천 배수 영향을 받지 않는 2개 지점(지점 4 및 6, 이하 비영향 지점), 그리고 2개 혼합지점(지점 5 및 7) 등 총 7개 지점을 선정하였고(Fig. 1), 조사지점의 개황은 다음과 같다.

지점 1은 하천의 최상류 부분으로 온천 배수의 배출구가 노출되어 있으며, 배출구의 직경은 약 15 cm 정도이고, 하루에 배출되는 양은 11,000톤이다. 배출되는 온천 배수는 겨울철에 집중 유입되며, 흰색 수증기와 함께 악취가 심하다. 하폭은 40~50 cm, 하상은 모래 또는 작은 자갈이 흩어져 있으며, 그 위를 침전물이 덮고 있다. 수심은 12~15 cm 정도이고 배출구에서 유속은 약 35 cm/sec이다. 가을을 제외하고 하천 측면의 가장자리에서 남조피막이 관찰되었으며, 주변에는 수변 및 수생식물들이 잘 번식하고 있었다. 지점 2는 배출구로부터 약 120 m 떨어진 곳으로 하폭은 40~50 cm 이고, 하상은 작은 자갈과 굵은 모래로 되어 있다. 하천 주변에 작은 수생식물이 서식하며 가을을 제외하고 하천의 가장자리나 자갈 상부 또는 측부에 남조피막이 관찰되었다. 지점 3은 온천 배수 배출지점으로부터 약 400 m 떨어진 곳으로 하폭은 앞 조사 지점과 비슷하다. 하상은 굵은 모래와 자갈로 되어 있으며, 짙은 녹색의 조류피막이 형성되어 있고, 하천 양변에 수생식물도 서식하고 있었다. 유속은 25~30 cm/sec로 비교적 빠르며, 이 지점에서도 하얀 수증기가 관찰되고 있었다. 지점 4는 위의 온천 배수가 직접 유입되지 않는 비영향 하천으로 크기에서 조사하천과 매우 유사하다. 이 하천은 작은 부락을 통과하면서 생활하수가 유입되고 있으나, 동계에 조사하천과 뚜렷한 온도차를 보인다. 특히 지점 1, 2, 3 등과는 달리 동계에 수생식물이나 수변식물이 전혀 관찰되지 않으며, 유속은 5~10 cm/sec 정도이다. 지점 5는 온천 배수 배출구에서 약 1200 m 떨어진 지점으로 지점 3과 4의 합류부이다. 하폭은 약 1 m 정도이며, 하상은 대부분 자갈과 굵은 모

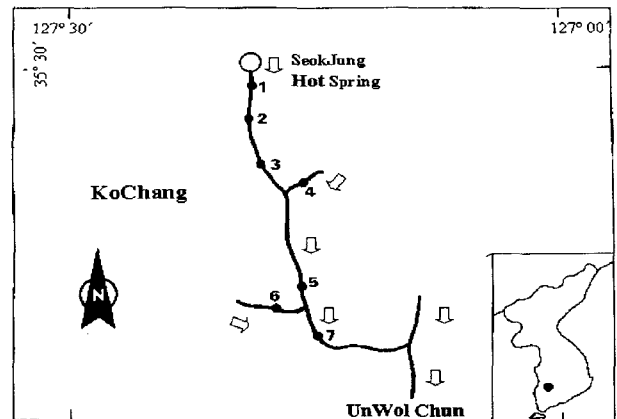


Fig. 1. A map showing the investigated stream and sampling points originating from the Seokjung hot spring 1996~1998.

래로 되어 있다. 유속은 10~15 cm/sec 정도로 비교적 느린 편이며, 겨울에 주변의 수생식물은 물론 남조피막 역시 관찰되지 않았다. 지점 6은 인근 마을의 생활하수가 흘러 조사 하천으로 유입되는 지류로서, 하폭은 1.5m이며 유속 및 유량이 매우 불안정하다. 하상은 자갈과 잔 모래로 되어있고, 동계에 수생식물과 조류피막은 관찰되지 않았다. 지점 7은 지점 5와 6이 합류되는 지점으로 하폭은 1.5~1.7m이며, 하상은 모래와 작은 자갈로 되어 있으며, 겨울철에 수생식물과 조류피막은 관찰되지 않았다.

2. 시료채집 및 분석방법

이화학적 환경 요인들의 분석은 간단한 현장측정과 실험실 내에서의 분석을 병행하여 실시하였다. 현장조사에서 pH는 pH meter (Orion Research Model SA 230)를, 수온과 전기전도도는 S-C-T meter (YSI Model 33)를 사용하여 현장에서 직접 측정하였으며, 화학적 산소요구량, 영양염 및 중금속 등은 채수하여 4°C Ice box에 보관하여 실험실로 옮긴 후, 환경오염공정시험법(환경청 1992)과 Standard methods (APHA 1985)에 따라 분석하였다. COD는 $K_2Cr_2O_7$ 산화법, NH_4-N 은 차아염소산염 공존하에서 페놀과 반응하여 생성되는 인도페놀의 청색을 630 nm에서 측정하는 흡광도법(인도페놀법), NO_3-N 은 황산산성에서 질산이온이 부루신과 반응하여 생성된 황색화합물의 흡광도를 측정하는 흡광도법(부루신법), PO_4-P 는 인산이온이 몰리브덴산 암모늄과 반응하여 생성된 몰리브덴산인 암모늄을 염화제일주석으로 환원하여 생성된 몰리브덴 청색의 흡광도를 690 nm에서 측정하는 흡광도법(염화제일주석 환원법), SO_4^{2-} 는 염화바륨-젤라틴 용액을 넣어 황산바륨에 의한 비탁액

을 만들어 600~700 nm에서 측정하는 흡광광도법을 각각 이용하였다. Ni, Mn, Fe, Cr, Zn, Cu, Pb, Cd 등의 양이온은 ICP (Varians, Liverty 100)을 이용하여 분석하였다.

시료채집은 유속이 비교적 완만한 지점을 택하여 하상의 편평한 들의 상부에서 5×5 cm를 부드러운 슬과 현장의 물을 이용하여 세척하고, 100 mL 용 플라스틱 용기에 수집한 후, formalin을 넣어 고정하고(최종농도 3~5%), 실험실로 운반하였다. 운반 후 즉시 침전법으로 상등액을 제거하고, 동정·분류 및 개체수 산정에 이용하였다. 부착조류의 동정·분류 및 개체수 산정에는 카메라가 부착된 광학현미경(Leitz) 및 도립 위상차현미경(Nikon)을 이용하였고, 분류체계는 Hirose *et al.* (1977), Hustedt (1930), Patrick & Reimer (1966)의 방법에 따랐다. 부착조류의 현존량 조사와 균집 분석을 위하여 모든 시료는 Ultrasonic homogenizer를 이용하여 균질화시킨 후, Hemacytometer를 이용하여 개체수를 산정하였다. 개체수와 출현종수를 근거로 우점도 지수(McNaughton 1967), 종 다양성 지수(Pielou 1966, 1975) 및 균등도지수(Llyod & Gherald 1974) 등을 산출하였다. 조류와 환경요인의 상관분석은 7개 조사지점에서 총 8회씩 실시한 결과를 이용하였는데, 생물요인으로는 총 출현종수, 총 개체수, 주요분류군의 종수, 개체수, 우점종의 출현 개체수, 우점도 지수, 종 다양성지수, 균등도 지수 등 25항목이었고, 환경요인은 수온, pH, 전기전도도, COD, 영양염, 중금속 등 총 16항목이었다. 한 차례 이상 유의한 상관관계 ($p < 0.05$)를 보인 요인들은 표로 나타냈다.

결 과

1. 환경요인의 시계열 변화

온천배수 영향지점의 수온은 저온기에 비영향 하천에서 유입되는 하천수로 인해 감소현상이 뚜렷하였으나, pH는 전체적으로는 중성범위로서, 수온의 증가에 강하게 의존하였다(Fig. 2). 전기 전도도는 온천배수 영향 하천에서 특히 높았으며, 조사시기를 거듭할수록 점차 증가하였고, 하천방향을 따라 감소하는 특징을 보인 반면, 비영향 지점에서는 하류의 혼합지점과 거의 유사한 수준이었다(Fig. 2). 니켈의 경우, 97년 2~6월 및 98년 2월에서만 검출되었으며, 영향 및 비영향 지점간의 다소 차이를 보였으나(Fig. 2), 아연은 97, 98년 9월을 제외한 모든 지점에서 매우 낮거나 검출되지 않았으며, 영향 및 비영향 지점간에 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 2). 구리 역시 영향 및 비영향 지점간에 다소 차이는 보이지만, 97년 9월 이후에는 거의 비슷한 수준을 보였다(Fig. 2).

황산의 경우, 전체적으로 영향지점이 비영향 지점이나 혼합지역에 비해 높게 검출되었으며, 97년 9월에 지점 1에서 80.0 µg/L로 가장 높았다(Fig. 3). 인산의 경우, 황산과 유사한 경향을 보였으며, 97년 2월, 97년 9월 및 98년 9월 등 3개 지점이 높은 수준을 보였다(Fig. 3). 질산성 질소는 조사 기간중 영향지점에서 높았으나, 큰 변화는 보이지 않았고, 하천방향을 따라 점차 감소하였다. 특히, 97년 4월과 98년 6월의 조사하천의 최하류인 지점 7에서 가장 높은 농도를 보였으며, 지점 6의 농도는 조사 기간중 가장 높은 수준을 나타냈다(Fig. 3). 암모니아성 질소는 질산성 질소의 변화와는 상반되는 특징을 보였는데, 영향지점의 농도가 비영향지점에 비해 3배 이상의 수준이었으며, 하천방향에 따라 점차 감소하였다(Fig. 3). COD는 전체적으로 온천배수 영향지점에서 높게 나타났으며, 98년 9월에 지점 1에서 최고치 46.9 mg/L를 보였다. 비영향 지점은 계절에 상관없이 영향지점에 비해 낮았다(Fig. 3).

2. 조류군집의 시계열 변화

조사기간 동안 출현된 부착조류는 미동정 15종을 포함하여 총 153종이었으며, 출현된 종은 각 조사지점별로 97년 9월의 지점 5에서 28 분류군으로 가장 많았으며, 지점 1(97년 6월, 98년 6월)과 지점 2(97년 2월)에서 6 분류군으로 가장 적었다. 출현된 종들은 분류군에 따라 규조강 91분류군(59.1%), 남조강 39분류군(26.0%), 녹조강 19분류군(12.3%), 유글레나강 3분류군(1.9%), 그리고 쌍편모조류 1분류군(0.6%)의 순으로 구성되었으며, 온천배수 영향지점보다 비영향지점이나 혼합지점에서 다양한 종이 출현되었다(Appendix).

조사 기간중 온천 배수의 혼합 지점인 지점 5(97년 9월 이후)와 지점 7(97년 6월 이후)에서 각각 높은 종 출현을 보였으며, 비영향 지점에서는 상류 수역인 지점 4가 지점 6보다 다양한 종들이 출현하였다. 특히 온천배수 직접 영향지점에서는 하류로 갈수록 부착조류 출현종의 증가를 보였다(Fig. 4). 현존량의 경우, 조사 기간중 혼합지점인 지점 5에서 98년 2월에 최고치를 나타냈으나, 전체적으로는 온천 배수 영향지점이 비영향 지점에 비해 높은 현존량을 보였다. 또한 온천 배수 영향지점에서는 저온기에 상대적으로 높은 출현을 보인 반면, 비영향 지점에서는 고온기에 현존량의 증가를 보였다(Fig. 4).

조사기간동안 온천 배수 영향 및 비영향 지점간에 종 출현의 특성을 살펴보면, 영향지점에서는 주로 남조강의 *Synechocystis thermalis*, *S. aquatilis*, *Oscillatoria formosa*, *O. amphibia*, *Phormidium tenue*, *P. ambiguum* var. *major* 등이 우점하였고, 비영향 지점에서는 규조강

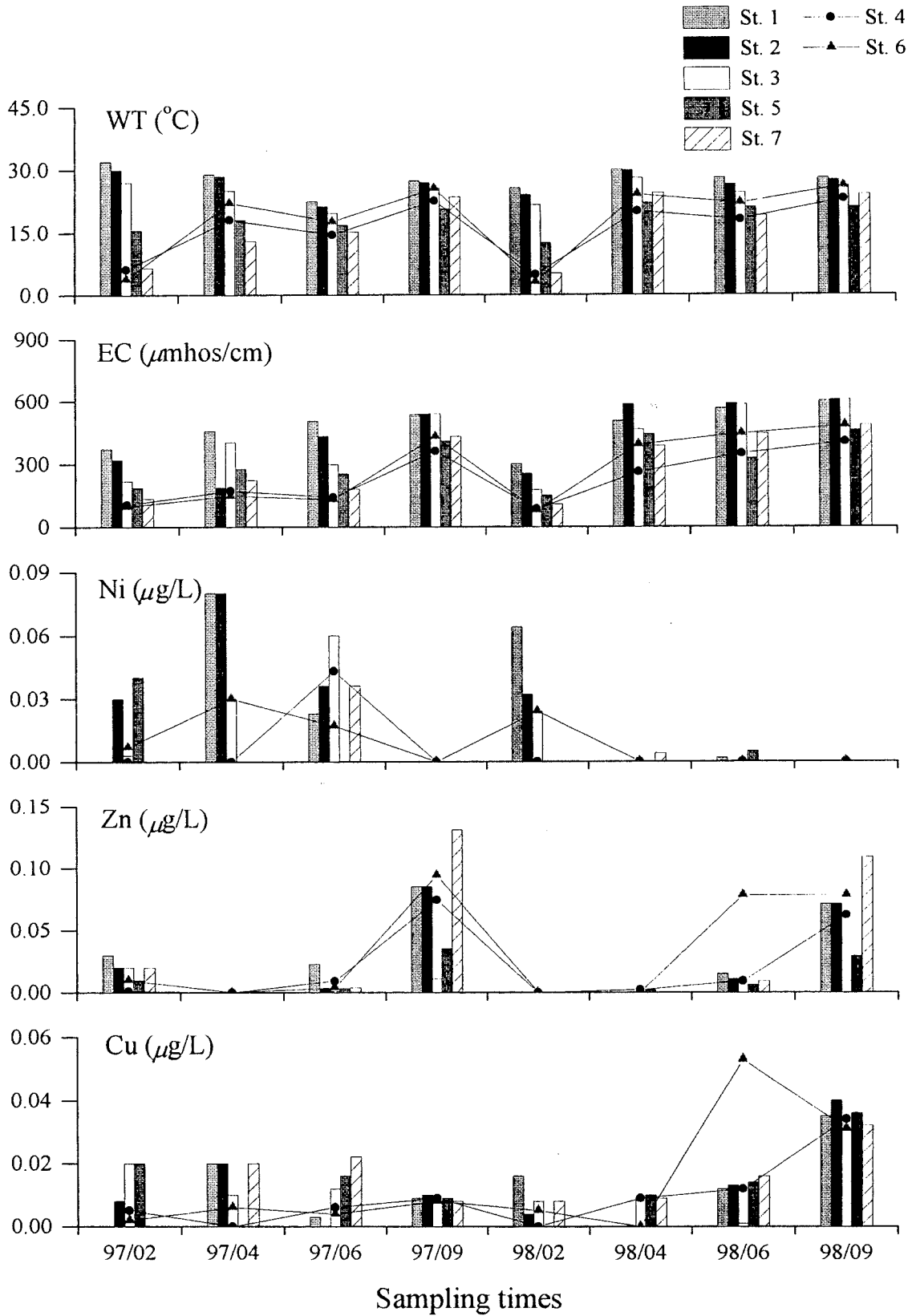


Fig. 2. Fluctuation in water temperature, electrical conductivity, nickel, zinc and copper in small thermal stream and its tributaries originating from the Seokjung hot spring 1996~1998.

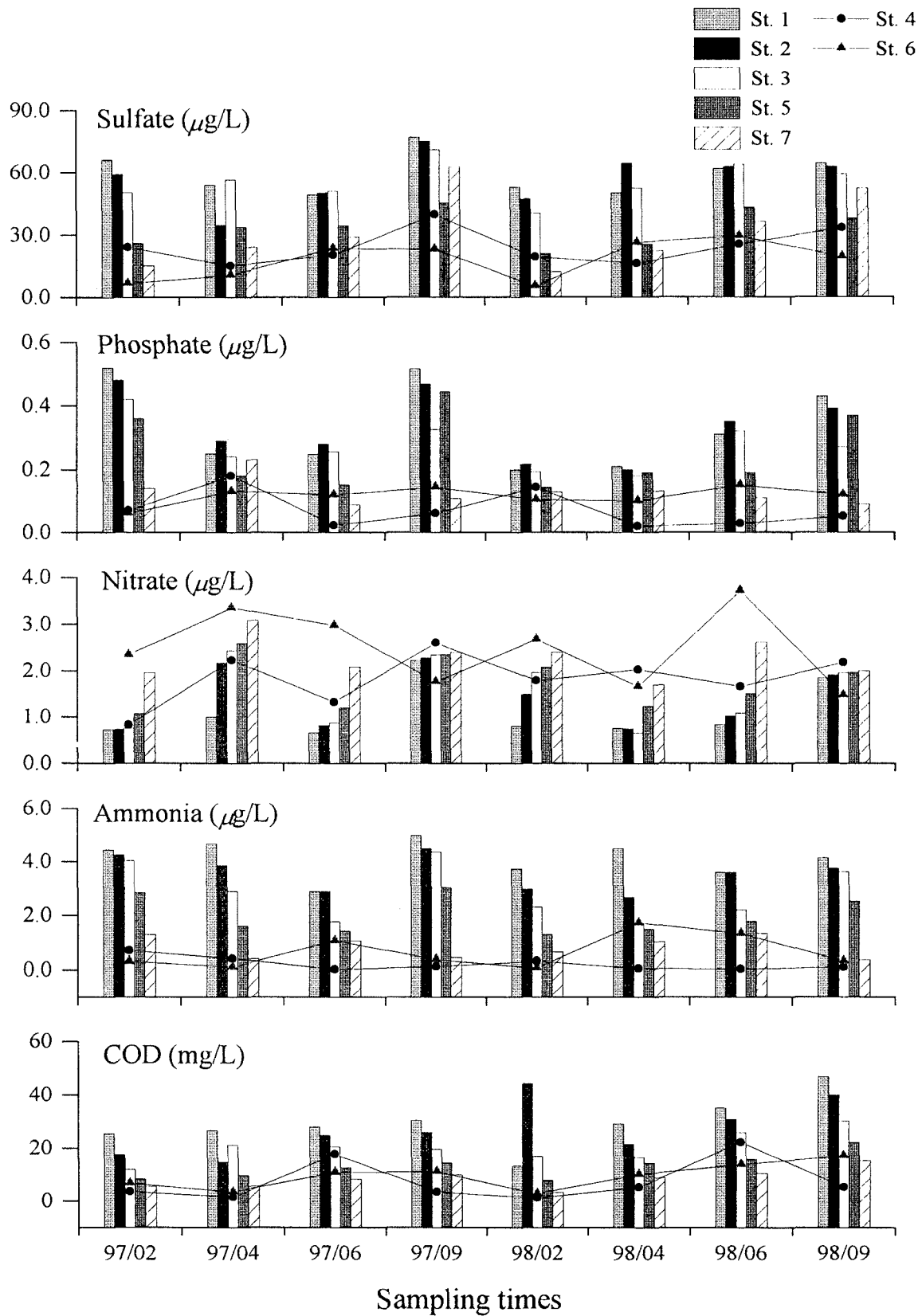


Fig. 3. Fluctuation in sulfate, phosphate, nitrate, ammonia and chemical oxygen demand in small thermal stream and its tributaries originating from the Seokjung hot spring 1996~1998.

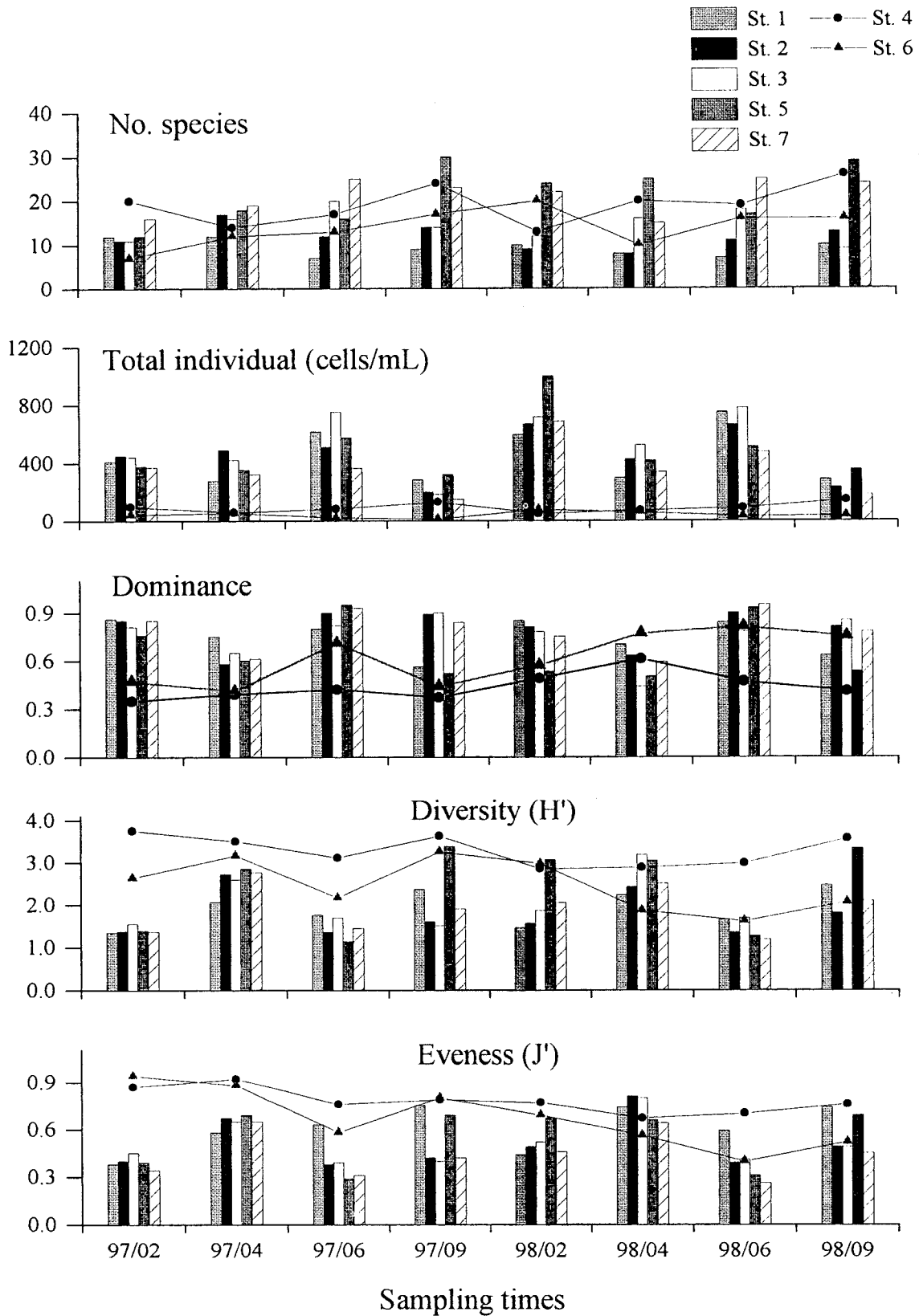


Fig. 4. Fluctuation of total number of species and individual, dominance, diversity and evenness in periphytic algal community in small thermal stream and its tributaries originating from the Seokjung hot spring 1996~1998.

Table 1. Ecological characteristics of epilithic algal community in small thermal stream and its tributaries originating from Seokjung hot spring 1997 ~ 1998

Sites	Time	Biomass	No. sp.	1st dominant species	2nd dominant species	DI	H'	J'
St. 1	97/2	409	12	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.86	1.35	0.38
	97/4	449	11	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.85	2.06	0.58
	97/6	442	11	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Synechocystis aquatilis</i>	0.81	1.76	0.63
	97/9	97	20	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium ambiguum</i> var. <i>major</i>	0.35	2.37	0.75
	98/2	376	12	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Synechocystis thermalis</i>	0.76	1.47	0.44
	98/4	43	7	<i>Oscillatoria amphibia</i>	<i>Synechocystis thermalis</i>	0.47	2.23	0.74
	98/6	369	16	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Synechocystis aquatilis</i>	0.85	1.65	0.59
	98/9	275	12	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium ambiguum</i> var. <i>major</i>	0.75	2.46	0.74
St. 2	97/2	489	17	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.58	1.38	0.40
	97/4	419	16	<i>Oscillatoria amphibia</i>	<i>Synechocystis thermalis</i>	0.65	2.73	0.67
	97/6	57	14	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.39	1.36	0.38
	97/9	352	18	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.60	1.61	0.42
	98/2	54	12	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.41	1.57	0.49
	98/4	322	19	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.61	2.42	0.81
	98/6	617	7	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.80	1.35	0.39
	98/9	510.9	12	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.90	1.80	0.49
St. 3	97/2	753.3	20	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.82	1.56	0.45
	97/4	81.2	17	<i>Oscillatoria amphibia</i>	<i>Synechocystis thermalis</i>	0.42	2.59	0.65
	97/6	575	16	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.95	1.70	0.39
	97/9	19.6	13	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.71	1.52	0.40
	98/2	362.1	25	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.93	1.87	0.52
	98/4	285	9	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.56	3.19	0.80
	98/6	198.6	14	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria subbrevis</i>	0.89	1.69	0.41
	98/9	184.2	14	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.90	1.55	0.49
St. 4	97/2	128.9	24	<i>Ulothrix valiiabilis</i>	<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>veneta</i>	0.37	3.75	0.87
	97/4	318.6	30	<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>veneta</i>	<i>Nitzschia parvula</i>	0.52	3.51	0.92
	97/6	13.5	17	<i>Homoeothrix</i> sp.	<i>Oscillatoria tenuis</i>	0.44	3.12	1.04
	97/9	146.4	23	<i>Gomphonema sphaerophorum</i>	<i>Stigeoclonium</i> sp.	0.84	3.63	0.79
	98/2	596	10	<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>veneta</i>	<i>Synedra amphicephala</i> var. <i>austriaca</i>	0.85	2.85	0.77
	98/4	670	9	<i>Homoeothrix</i> sp.	<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>veneta</i>	0.81	2.88	0.67
	98/6	717.6	12	<i>Gomphonema sphaerophorum</i>	<i>Homoeothrix</i> sp.	0.78	2.98	0.70
	98/9	47.3	13	<i>Gomphonema sphaerophorum</i>	<i>Stigeoclonium</i> sp.	0.49	3.57	0.76
St. 5	97/2	999.1	24	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.53	1.39	0.39
	97/4	75.1	20	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.57	2.86	0.69
	97/6	688.5	22	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.75	1.14	0.29
	97/9	297	8	<i>Oscillatoria amphibia</i>	<i>Stigeoclonium</i> sp.	0.70	3.38	0.69
	98/2	424	8	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.63	3.06	0.67
	98/4	521.4	16	<i>Oscillatoria amphibia</i>	<i>Synechocystis thermalis</i>	0.44	3.04	0.66
	98/6	70.1	20	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.61	1.27	0.31
	98/9	415.4	25	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.50	3.33	0.69
St. 6	97/2	55.8	10	<i>Chroococcus turgidus</i>	<i>Aphanocapsa biformis</i>	0.77	2.63	0.94
	97/4	334.9	15	<i>Melosira varians</i>	<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>veneta</i>	0.59	3.17	0.88
	97/6	751	7	<i>Gomphonema sphaerophorum</i>	<i>Oscillatoria tenuis</i>	0.84	2.16	0.58
	97/9	664.5	11	<i>Cymbella affinis</i>	<i>Melosira varians</i>	0.90	3.26	0.80
	98/2	781.5	18	<i>Stigeoclonium</i> sp.	<i>Synedra amphicephala</i> var. <i>austriaca</i>	0.78	2.97	0.69
	98/4	88.5	19	<i>Chroococcus cohaerens</i>	<i>Homoeothrix</i> sp.	0.47	1.87	0.56
	98/6	508.7	17	<i>Gomphonema sphaerophorum</i>	<i>Oscillatoria tenuis</i>	0.93	1.62	0.40
	98/9	30.7	16	<i>Gomphonema sphaerophorum</i>	<i>Cymbella affinis</i>	0.81	2.06	0.52
St. 7	97/2	474.3	25	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.95	1.37	0.34
	97/4	286	10	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.63	2.77	0.65
	97/6	227.3	13	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.81	1.46	0.31
	97/9	204.2	9	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.85	1.91	0.42
	98/2	139.8	26	<i>Synechocystis thermalis</i>	<i>Oscillatoria amphibia</i>	0.41	2.05	0.46
	98/4	350.2	29	<i>Oscillatoria amphibia</i>	<i>Synechocystis thermalis</i>	0.53	2.50	0.64
	98/6	32.2	16	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.75	1.19	0.26
	98/9	177.9	24	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Phormidium tenue</i>	0.78	2.09	0.45

Table 2. Correlation coefficients between biological and physicochemical parameters in this study

	WT	pH	EC	COD	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	SO ₄ ²⁻	Ni	Mn	Fe	Cr	Zn	Cu	Pb
No. sp. Cyanophyceae	*			***	***	*	***	***	*						
No. sp. Bacillariophyceae	**			***	***	***	***	***	*						
No. sp. Chlorophyceae				**	***		**						*		
Indiv. Cyanophyceae				**	***	***	*	**	*				*		
Indiv. Bacillariophyceae	*		*	*	*			*							
Indiv. Chlorophyceae	*														
<i>Chroococcus turgidus</i>			*					*		*					
<i>Homeothrix</i> sp.					*			*							
<i>Oscillatoria amphibia</i>									*				**		
<i>Oscillatoria formosa</i>			**	**		*		**							
<i>Phormidium ambiquum</i>			**	**	*		**	*				*	*		***
<i>Phormidium tenue</i>			*	*	*	*	*	***							
<i>Synechocystis aqualitilis</i>	**		*					*							
<i>Synechocystis thermalis</i>			*		*									*	
<i>Cymbella affinis</i>					*									***	**
<i>Gomphonema sphaerophorum</i>		*	***		**	*	*						**	**	***
<i>Melosira varians</i>		*		*	*	*		*			***				
<i>Navicula cryptocephala</i> var.	*		*	**	*			*							
<i>Synedra amphicephala</i> var.				*		*									
<i>Ulothrix variabilis</i>	*									***					
Dominant index (DI)	*		*	**	***		*	***							
Diversity index (H')	*			**	***	*	*	***							
Evenness (J')					*		*	*							

No. sp.; Total number of species, Indiv.; Total number of individual, WT; water temperature (°C), EC; electrical conductivity (μmhos/cm), COD; chemical oxygen demand (mg/L), unit of nutrients and metal; μg/L, N=56, *p<0.05, **p<0.005, ***p<0.001, Underlying asterisks means negative correlation

의 *Navicula cryptocephala* var. *veneta*, *Nitzschia parvula*, *Gomphonema sphaerophorum*, *Melosira varians*, *Cymbella affinis*, *Synedra amphicephala* var. *austriaca* 등과 남조강의 *Homoeothrix* sp., *Oscillatoria tenuis*, *Chroococcus turgidus*, *C. cohaerens*, *Aphanocapsa biformis* 등, 녹조강의 *Ulothrix variabilis*, *Stigeoclonium* sp. 등이 높게 출현되었다. 한편, 혼합지점에서는 남조강의 *Synechocystis thermalis*, *Oscillatoria formosa*, *O. amphibia*, *Phormidium tenue*와 녹조강의 *Stigeoclonium* sp.가 높은 우점율을 나타냈다 (Table 1).

한편, 온천 배수 영향 지점에서 우점도 지수는 저온기에 비교적 낮고, 고온기에 높은 특징을 보였다. 전체적으로 비영양지점이 영양지점에 비해 낮았으나, 조사를 거듭할수록 점차 증가하는 특징을 보였으며, 하천의 하류 지점이 상류지점보다 다소 높았다 (Fig. 4). 종 다양성지수는 비영양 지점에서 3 이상으로 높았으며, 혼합지점 역시 여름을 제외한 대부분의 계절에서 3에 가까운 높은 다양성지수를 나타냈다. 그러나 온천 배수 영향지점에서는 하류로 갈수록 다소 증가하는 특징을 보였다 (Fig. 4). 균등도지수는 역시 다양성지수의 변화와 매우 유사하였으며, 97, 98년 봄과 가을에 높은 수준을 보

였다 (Fig. 4).

3. 조류-환경의 관계

조사 기간동안 남조와 규조의 출현특성은 동일한 환경요인들에 대해 상반되는 특성을 나타냈으며, 조류의 현존량보다는 출현종수에 대해 보다 유의한 상관관계를 보였다 (Table 2).

조류의 출현 종수에 대해 남조의 경우, COD, 암모니아, 인산, 황산, 니켈 등에 대해 양(+)의 관계를 보였으나, 규조는 동일 항목에 대해 음(-)의 관계를 나타냈다. 그러나 이들은 질산성 질소에 대해서는 서로 반대현상을 보였다. 녹조는 규조와 유사한 특징을 보이며, COD, 암모니아, 인산 등에 대해 음의 관계를, 아연에 대해 양의 관계를 보였다. 특히, 남조의 총현존량은 암모니아에 높은 양의 관계를, 질산에 대해 높은 음의 관계를 보인 반면, 규조는 수온, 전기전도도, COD, 암모니아, 인산 등의 다양한 요인에 대해 낮은 음의 관계를 보였다. 한편, 녹조는 조사기간 중 수온에만 음의 관계를 보였을 뿐, 다른 요인들에 대해서는 유의한 관계를 보이지 않았다.

각 출현 분류군에 대해서, 남조강의 *Homoeothrix* sp.와 *Synechocystis aqualitilis*는 수온, 암모니아, 인산, 황

산 등에 대해 음의 관계를, *Oscillatoria formosa*와 *Phormidium tenue* 등은 각종 영양염 등에 대해 양의 관계를 보였다. 특히, *Phormidium ambiquum* var. *major*는 남에 대해 높은 양의 관계를, *Oscillatoria amphibia*는 아연에 대해 높은 음의 관계를 보였다. 한편, 대부분의 규조류는 남조와 상반된 특징을 보였는데, 전체적으로 암모니아에 대해 음의 관계를, *Cymbella affinia*와 *Gomphonema sphaerophprum* 등은 특히 아연과 구리에 높은 양의 관계를, 특히 후자는 전기전도도에 대해서도 높은 양의 관계를 나타냈다. 그러나 *Navicula cryptocephala* var. *veneta*는 수온, 전기전도도, COD, 암모니아, 황산 등에 대해 전체적으로 음의 관계를 보였으며, 녹조의 *Ulothrix variabilis*는 수온에만 음의 관계를, 망간에 대해서 높은 양의 관계를 보였다. 군집지수의 경우, 우점도 지수와 종다양성 지수는 수온, COD, 암모니아, 인산, 황산 등에 대해 각각 양과 음의 관계를, 균등도 지수는 암모니아 인산, 황산에 대해 음의 관계를 나타냈다.

고 찰

하천생태계에 있어 온배수 유입에 의한 부착조류의 현존량 증가(Hickman 1974; Squire *et al.* 1979; Descy & Mouvet 1984) 및 수온 감소에 의한 현존량 감소(Patrick *et al.* 1969; Patrick 1971) 등은 잘 알려진 사실이며, 온천 및 그 유역하천의 상류에는 남조류가 우점하고, 하류로 갈수록 규조류가 점차적으로 우점한다(Lamberti & Resh 1985; Kim 1998). 본 연구에서는 동계에 남조중심의 피막형성과 더불어 높은 현존량을 보이며, 다른 분류군과 뚜렷하게 구별되었으나 여름과 가을 동안에는 분명하지 않았다. 또한 규조의 경우, 동계를 제외한 모든 계절 및 지점에 상관없이 높게 출현되는 특징을 보여, 하천상류에 동계에만 높은 수온과 더불어 유기물을 함유한 온천 배수가 독특한 부착조류군집을 형성하는 주요 요인으로 판단된다.

지금까지 친온성 남조의 경우, 45~53°C의 범위에서 최적성장을 보이며, 군체 형성과 사상체의 지속적인 성장이 가능하다고 알려지고 있으나(Castenholtz 1969), 본 조사에서는 *Oscillatoria formosa*, *Phormidium tenue*, *P. ambiquum* var. *major*와 *Synechocystis aquatilis* 등이 겨울에 영향지점(수온 30°C)에 남조피막을 형성하며, 높은 현존량을 보였다. 이들은 왕궁온천의 *Oscillatoria* 피막형성(Kim 1998)과 비슷한 특징을 보였으며, 40°C 이상의 자연 온천(Castenholtz 1967, 1968, 1969)에 비해 비교적 낮은 수온에서도 형성되는 점으로 보아, 피막형성 온도가 일정하지 않으며, 다른 영양염 등과 상승작용

의 결과로서, 특히 동계에 집중적으로 온천의 이용횟수가 높아 서식조건에 유리한 몇몇 남조류의 우점이 가능함으로서 하천생태계를 매우 단순화시키는 것으로 보여진다.

각 분류군의 출현에서 남조의 *Oscillatoria formosa*, *O. amphibia*, *Synechocystis thermalis*, *Phormidium tenue* 등은 계절에 상관없이 영향 및 혼합지점에서 비교적 높은 출현을 보이지만, 남조피막을 형성하지는 않았는데, 여름철 우기 또는 온천이용의 감소에 따라 피막이 하천의 상류로부터 하류로 이동하면서 소멸되는 과정을 거치는 것으로 보인다(Stockner 1968). 또한 남조의 *Homoeothrix* sp., *Chroococcus turgidus*, *Chroococcus cohaerens*, *Aphanocapsa biformis*, *Oscillatoria tenuis* 등도 수온과 상관없이 높게 출현하며, 혼합지점에서도 우점하는 것으로 보아, 비영양 지점의 유입수가 유입됨으로서 수온저하와 함께 지속적인 조류분포가 가능한 것으로 보여진다. 규조의 경우, *Navicula cryptocephala* var. *veneta*, *Nitzschia hantzschiana* 등 소형종들이 계절에 상관없이 높은 출현을 보였으며, 특히 영향지점의 하류나 비영양 지점에서 *Navicula cryptocephala* var. *veneta*, *Synedra amphicephala* var. *austriaca*, *Nitzschia parvula*, *Gomphonema sphaerophorum*, *Melosira varians*, *Cymbella affinis*와 녹조의 *Stigeoclonium* sp.가 우점하였다. 이러한 조류군집의 출현특성은 저온기에 온천 배수의 유입이 상류지점에 남조류, 하류지점 및 비영양 지점 등에서 규조나 녹조가 우점하는 양분화된 조류군집을 형성한다는 Lamberti와 Resh(1985)의 이론과 일치하였다.

한편, 높은 수온과 많은 영양염을 포함한 온천 배수가 하천에 유입된 후, 화학물질의 감소현상은 하천의 차정 능력에 관련된 각종 물리화학적, 생물학적 요인들의 복합적인 반응에 의존된다(Boylen & Brock 1973). Kim(1998)은 왕궁온천의 유역조사에서, 하천방향에 따라 초기에 가장 빠른 속도로 감소하는 물질로는 황, 인산, 납, 카드뮴, 망간, 아연 등인 반면, 암모니아, 구리, 질산염과 철 등은 비교적 느린 속도로 감소하였다고 보고하였다. 본 조사에서도 Kim(1998)의 결과와 유사한 경향을 보였으나, 암모니아의 경우, 온천 배수의 유입이후 매우 빠른 속도로 감소하였으며, 특히 질산성 질소는 하천방향을 따라 증가하는 등 상반된 결과를 보였다. 전자의 경우, 온천 배수의 배출부분이 유속이 느리고, 하천 유량의 지속적인 유지등 후자와는 물리적인 조건이 다르기 때문에 두 하천의 단순비교는 어렵지만, 유사한 오염원에 노출된 하천고유의 생태학적 기능에 보다 다각적인 연구가 필요하다 하겠다.

본 조사하천은 동계에 하천 상류의 남조피막형성 및 하류 또는 비영향 지점에서의 구조 및 녹조 등의 높은 출현은 다양한 환경요인과의 시계열적 변화와 매우 밀접한 관계를 보였다. 하천방향에 따라 암모니아와 질산성 질소 등은 피막형성 그룹인 *Oscillatoria*와 *Phormidium*의 현존량 변화에 대해 강한 음의 관계를 보였는데, 특히 후자의 증가는 비영향 하천 - 작은 부락에서 유입되는 생활하수에 의해 형성된 - 의 영향으로 보여진다. 또한 부착조류군집에 있어서, 하천상류에서 남조피막에 의한 일시적인 우점도 지수의 증가 등이 있었으나, 전체적으로 하류로 갈수록 증가하는 높은 종다양성 지수나 균등도 지수 등으로 보아, 오염된 하천에서의 조류군집은 하류로 갈수록 조류 현존량 및 종다양성 지수 등이 증가한다는 Emiliani(1993)의 결과와 일치하였다.

하천이나 폐수에 포함된 납, 수은, 카드뮴 등과 같은 중금속제거에 조류의 이용은 매우 일반적이며, 포함된 영양염의 매우 적절한 흡수체이다(Gale and Wixson 1979; Jennett et al. 1980). 그러나 본 조사에서는 남조의 *Phormidium ambiguum* var. *major*가 납, 크롬, 아연 등에 대해 양의 관계를, *Oscillatoria amphibia*는 아연에 강한 음의 관계를 보였으며, 구조의 *Melosira varians*는 철에 대해, *Gomphonema sphaerophorum*는 전기전도도에 대해 각각 강한 양의 관계를 보였으며, 녹조는 망간을 제외한 어떤 요인에 대해서도 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 특히, 하천에서 중금속흡수는 화학종에 따라 다소 차이는 있으나 남조에 비해 녹조가 더 효과적이고, 하천바닥에 저장되어지는 양이 많다(Gale and Wixson 1979). 본 조사에서도 많은 중금속이 유입초기에 강하게 감소되지만, 이는 온천수에 포함된 각종 중금속에 대한 남조류의 종 특이적 흡수과정이라기 보다는 남조피막이 일종의 생물막(biofilm)으로서 기능과 하천 바닥의 퇴적물과의 상호작용 등에 의해 이루어졌다고 판단된다.

결론적으로 본 조사 하천은 온천 이용이 저온기에 집중됨으로서, 배출지점에 남조피막과 같은 독특한 하천생태계가 형성되지만, 하천방향에 따라 비영향 하천의 유입, 남조피막과 하천퇴적물과의 상호작용 등에 의한 화학물질의 빠른 감소로 심각한 오염현상등은 발견할 수 없었으나, 지속적인 온천 배수의 유입이 이루어진다면, 하천의 퇴행적 천이가 예상되었다.

감사의 말씀

본 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구구조 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이온분석과 현장조사에 협조하여 주신 호남농업시험장 이경보, 이덕

배 선생님과, 익명의 두 편집위원님의 전문적 조언에 다시 한번 감사드립니다.

참고 문헌

- 정 준(1981) 부곡온천을 중심으로 한 창녕군 일대의 담수조류에 대하여. 자연보전보고 3 : 369-381.
- 최환석(1998) 온천배수역 주변 하천에 서식하는 부착조류 군집에 관한 연구. 전남대 석사논문. pp.54.
- 환경청(1992) 환경오염공정시험법. 동화기술. pp. 255
- APHA(1985) Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th Ed. pp. 1134. APHA, AWWA, WPCF, Washington,
- Boylan CW & TD Brock(1973) Effects of thermal addition from the Yellowstone geyser basins in the benthic algae of the Firehole River. *Ecology* 54 : 1282-1291.
- Castenholtz RW(1967) Aggregation in a thermophilic *Oscillatoria*. *Nature* 215 : 1285-1286.
- Castenholtz RW(1968) The behavior of *Oscillatoria terebri-formis* in hot springs. *J Phycol* 4 : 132-139.
- Castenholtz RW(1969) Thermophilic blue-green algae and the thermal environment. *Bacteriol Rev* 33 : 476-504.
- Descy JP & Mouvet C(1984) Impact of the Tihange nuclear power plant on the periphyton and phytoplankton of the Meuse River (Belgium). *Hydrobiologia* 119 : 119-128.
- Dugdale VA(1967) Aspects of nitrogen nutrition of some naturally occurring populations of blue-green algae. p. 111. Proc. Symp.: Environmental requirements of blue-green algae. U.S. Dept Interior Pub.
- Gale NL, Wixson BG(1979) removal of heavy metals from industrial effluents by algae. *Dev. Ind. Microbiol.* 20 : 259-273
- Garcia de Emiliani MO(1993) Phytoplankton and environmental characteristics in a polluted stream (San Lorenzo stream, Santa Fe, Argentina). *Rev Asoc Cienc Nat Litor St Tome* 24 : 57-64
- Hickman M(1974) Effects of discharge of thermal effluent from a power station on Lake Wabamum, Alberta, Canada-The epilimnetic and epimimic algal communities. *Hydrobiologia* 45 : 199-215.
- Hirose H, M Akiyama, T Iriya, K Imahori, H Kasaki, S Kumana, H Kobayashi, E Takahashi, K Tsumura, M Hirano, & T Yamagishi(1977) Illustrations of the Japanese freshwater algae. pp. 931. Uchidarokakuho Publ Co Ltd, Tokyo.
- Horner RR, EB Welch, MR Reeley & JM Jacoby(1990) Responses of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration. *Freshwater Biology* 24 : 215-232.

- Hustedt F (1930) Bacillariophyta (Diatomeae). In Pascher A: S wasserfloramitteleuripqas. Fisher Leipzig 10, p. 466.
- Jennett JC, Hassett JM, Smith JE (1980) The use of algae to control heavy metals in the environment. *Miner. Environ.* **2** : 26-31
- Kim BH (1998) Ecological study on the cyanobacterial mat community in a thermal wastewater stream. *Wonkwang J. Environ. Sci.* **7** : 15-30.
- Lamberti GA & Resh VH (1983) Geothermal effects on stream benthos: Separate influences of thermal and chemical components on periphyton and macroinvertebrates. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **40** : 1995-2009.
- Lamberti GA & Resh VH (1985) Distribution of benthic algae and macroinvertebrates along a thermal stream gradient. *Hydrobiologia* **128** : 13-21
- Llyod M. & RJ Gherald (1974) A table for calculating the "Equitability" component of species diversity. *J Animal Ecol* **33** : 217-225.
- McNaughton SJ (1967) Relationship among functional properties of California Glassland. *Nature* **216** : 168-169.
- Patrick R (1971) The effects of increasing light and temperature on the structure of diatom communities. *Limnol. Oceanogr* **16** : 405-421.
- Patrick R, Crum B & Coles J (1969) Temperature and manganese as determining factors in the presence of diatom of blue-green algae floras in streams. *Proc Nat Acad Sci US* **64** : 472-478.
- Patrick R & Reimer CW (1966) Diatoms of the United States. Vol. 1-2, Monogr Acad Natur Sci Philadelphia, 13.
- Pielou EC (1966) Shannon's formula as a measure of species diversity. *Amer Nat* pp. 100-463.
- Pielou EC (1975) Ecological diversity. pp. 38-153 Wiley & Sons Publ.
- Squires LE, SR Rushforth & DJ Brotherson (1979) Algal responses to thermal effluent: study of a power station on the Provo River, Utah, USA. *Hydrobiologia* **63** : 1011-1017.
- Stockner JG (1968) Algal growth and primary productivity in thermal streams. *J Fish Res Board Can* **25** : 2037-2058
- Winterbourn MJ (1990) Interactions among nutrients, algae and invertebrates in a New Zealand mountain stream. *Freshwater Biology* **23** : 463-474.

Influences of Thermal Effluents on the Epilithic Algal Community in Small Stream Originating from the Seokjung Hot Spring

Yeun-Tai Chung, Yeun-Ja Mun, Mi-Yeon Kim,
Min-Kyu Choi and Bong-Seop Kil¹

(*Institute for Environmental Science and ¹Division of Life Science, Wonkwang University, 344-2, Shinyong-dong, Iksan City, Chollabuk-Do 570-749, Korea*)

Abstract – To study the influences of thermal effluents flowing from hot spring on epilithic algal community, seasonal survey was carried out at stream and its watersheds from Seokjeong hot spring in Chollabuk-Do, Korea. Totally 7 points were divided into three regions for sampling of water and epilithic algae, such as the direct effected, uneffected and the mixed region, respectively. At the discharging points of effluents, a dark-green cyanobacterial mat were remarkably constructed, mainly by two cyanobacteria, *Oscillatoria* and *Phormidium*. The mat formation were more obvious at low temperature than any other season, and even result in disappear with downstream and season. Totally, one hundred and fifty-three taxa of epilithic algae were classified with 15 unidentified species. Among the, diatoms occupied 58% of total species, whereas cyanobacteria was 67% of total biomass, comparatively. In terms of stream direction, relative abundance of cyanobacteria was only limited in the upstream in cold season, and result in this pattern disappeared with season change. Although all physicochemical variables at the discharging points, was very high, compare to other points, they were quickly decreased downstream. Among them, some heavy metals were not detected or below the detection levels at downstream. Nitrate nitrogen increased with downstream, as well as phosphorus and sulfate have a similar trend throughout, while ammonia quickly decreased in the initial period of discharging effluents. This suggest that although the thermal effluent with high temperature and organic compounds could polluted the small study stream, various contributions such as flowing water, intake of uneffected streawater and collaboration of cyanobacterial mat and stream bottom gradually induces a stable water system. [Thermal effluents, Epilithic algal community, Chemicals, Correlation].

Appendix. Systematic lists of the epilithic algae identified in Seokjung hot spring-originating stream and its drainage 1997~1998

Class	Cyanophyceae	Subfamily Melosiroideae
Order	Chroococcales	<i>Melosira</i> sp.
Family	Chroococcaceae	<i>Melosira varians</i>
	<i>Aphanocapsa biformis</i>	
	<i>Chroococcus bituminosus</i>	Subfamily Scletonemoideae
	<i>Chroococcus cohaerens</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
	<i>Chroococcus membraninus</i>	
	<i>Chroococcus minutus</i>	Order Pennales
	<i>Chroococcus turgidus</i>	Suborder Raphidineae
	<i>Dactylococcopsis raphioides</i>	Family Achnanthaceae
	<i>Merismopedium punctatum</i>	<i>Achnanthes lanceolata</i>
	<i>Merismopedium tenuissimum</i>	<i>Achnanthes linearis</i>
	<i>Synechococcus cedrorum</i>	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>
	<i>Synechococcus elongatus</i>	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>
	<i>Synechocystis aquatilis</i>	<i>Cocconeis</i> sp.
	<i>Synechocystis aquatilis</i> var. <i>minor</i>	
	<i>Synechocystis crassa</i>	Suborder Araphidineae
	<i>Synechocystis pevalekii</i> f. <i>thermalis</i>	Family Fragilariaceae
	<i>Synechocystis thermalis</i>	Subfamily Fragilarioideae
		<i>Fragilaria capucina</i>
Order	Nostocales	<i>Fragilaria construens</i>
Suborder	Oscillatoriineae	<i>Fragilaria crotonensis</i>
Family	Oscillatoriaceae	<i>Opephora martyi</i>
	<i>Lyngbya nigra</i>	<i>Synedra acus</i> var. <i>acus</i>
	<i>Oscillatoria amonea</i>	<i>Synedra amphicephala</i>
	<i>Oscillatoria amonea</i> var. <i>nongranulata</i>	<i>Synedra amphicephala</i> var. <i>austriaca</i>
	<i>Oscillatoria amphibia</i>	<i>Synedra minuscula</i>
	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Synedra radians</i>
	<i>Oscillatoria jarsorvensis</i>	<i>Synedra rumpen</i> var. <i>scotica</i>
	<i>Oscillatoria laete-virens</i>	<i>Synedra ulna</i>
	<i>Oscillatoria limnetica</i>	
	<i>Oscillatoria limosa</i>	Subfamily Diatomoideae
	<i>Oscillatoria princeps</i>	<i>Diatoma anceps</i>
	<i>Oscillatoria subbrevis</i>	<i>Diatoma vulgare</i>
	<i>Oscillatoria tenuis</i>	<i>Diatoma vulgare</i> var. <i>brevis</i>
	<i>Phormidium ambiguum</i>	<i>Meridion circulare</i> var. <i>constrictum</i>
	<i>Phormidium ambiguum</i> var. <i>major</i>	
	<i>Phormidium autumnale</i>	Subfamily Tabellarioideae
	<i>Phormidium corium</i>	<i>Tabellaria binalis</i>
	<i>Phormidium farvosum</i>	<i>Tabellaria fenestrata</i>
	<i>Phormidium papyraceum</i>	
	<i>Phormidium subfuscum</i>	Suborder Biraphidineae
	<i>Phormidium tenue</i>	Family Naviculaceae
	<i>Phormidium valderiomum</i>	Subfamily Naviculoideae
	<i>Spirulina laxa</i>	<i>Caloneis limosa</i>
	<i>Spirulina laxissima</i> f. <i>major</i>	<i>Caloneis speciosa</i>
	<i>Spirulina major</i> f. <i>major</i>	<i>Navicula canalis</i>
	<i>Spirulina</i> sp.	<i>Navicula cincta</i>
	<i>Spirulina subtilissima</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>
		<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>veneta</i>
Suborder	Nostochineae	<i>Navicula exigun</i> var. <i>capitata</i>
Family	Rivulariaceae	<i>Navicula incerta</i>
	<i>Homoeothrix</i> sp.	<i>Navicula lanceolata</i>
		<i>Navicula pupula</i>
Class	Bacillariophyceae	<i>Navicula radiosa</i> var. <i>tenella</i>
Order	Centrales	<i>Navicula rhynchocephala</i>
Suborder	Discineae	<i>Navicula</i> sp.
Family	Coscinodiscaceae	<i>Navicula viridula</i>

Appendix. Continued

<i>Navicula viridula</i> var. <i>rostellata</i>	Order	Chaetophorales
<i>Pinnularia abaujensis</i>	Family	Chaetophoraceae
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>		<i>Stigeoclonium</i> sp.
<i>Pinnularia biceps</i>		
<i>Pinnularia braunii</i> var. <i>amphicephala</i>	Order	Ulvales
<i>Pinnularia braunii</i> var. <i>krookeri</i>	Family	Hydrodictyceae
<i>Pinnularia caudata</i>		<i>Pediastrum tetras</i>
<i>Pinnularia microstauron</i>		
<i>Pinnularia nodosa</i>	Order	Chlorococcales
<i>Pinnularia subcapitata</i>	Family	Characiaceae
<i>Pinnularia subcapitata</i> var. <i>paustriata</i>		<i>Characium ambigum</i>
<i>Pinnularia sublinearis</i>		
<i>Pinnularia substomatophora</i>	Family	Scenedesmaceae
<i>Stauroneis anceps</i> f. <i>linearis</i>		<i>Scenedesmus acuminatus</i>
<i>Stauroneis phoenicenteron</i>		<i>Scenedesmus acutus</i>
<i>Stauroneis</i> sp.		<i>Scenedesmus acutus</i> f. <i>alternans</i>
		<i>Scenedesmus acutus</i> f. <i>anterniformis</i>
		<i>Scenedesmus acutus</i> f. <i>costulatus</i>
		<i>Scenedesmus quadricauda</i>
Subfamily Gomphocymbelloideae		
<i>Cymbella affinis</i>	Order	Conjugales
<i>Cymbella cesatii</i>	Suborder	Desmidiodeae
<i>Cymbella minuta</i>	Family	Desmidiaceae
<i>Cymbella minuta</i> var. <i>psudagracilis</i>		<i>Closterium acerosum</i>
<i>Cymbella minuta</i> var. <i>silesiaca</i>		<i>Closterium gracile</i>
<i>Cymbella prastata</i> var. <i>auerswaldii</i>		<i>Closterium</i> sp.
<i>Cymbella sinuata</i>		<i>Cosmarium</i> sp.1
<i>Cymbella tumida</i>		<i>Cosmarium</i> sp.2
<i>Cymbella turgidula</i>		<i>Cosmarium subcostatum</i>
<i>Gomphonema affine</i>		<i>Staurastrum</i> sp.
<i>Gomphonema angur</i>		
<i>Gomphonema angustatum</i>		
<i>Gomphonema olivaceum</i>		
<i>Gomphonema parvulum</i>	Order	Volvocales
<i>Gomphonema</i> sp.	Family	Volvocaceae
<i>Gomphonema sphaerophorum</i>		<i>Pandorina morum</i>
<i>Gomphonema truncatum</i>		
<i>Gomphonema truncatum</i> var. <i>capitatum</i>	Order	Ulotrichales
<i>Gomphonema ventricosum</i>	Family	Ulotrichaceae
<i>Gyrosigma</i> sp.		<i>Ulothrix variabilis</i>
		<i>Ulothrix zonata</i>
Family Nitzschiaceae		
Subfamily Nitzschiodeae	Order	Zygonematales
<i>Hantzschia amphioxys</i>	Family	Zygonemataceae
<i>Hantzschia virgata</i> var. <i>capitellata</i>	Subfamily	Spirogyroideae
<i>Nitzschia hantzschiana</i>		<i>Spirogyra</i> sp.
<i>Nitaschia holsatica</i>		
<i>Nitzschia linearis</i>	Class	Euglenophyceae
<i>Nitzschia palea</i>	Order	Euglenales
<i>Nitzschia parvula</i>	Family	Euglenaceae
<i>Nitzschia sublinearis</i>		<i>Phacus caudatus</i>
		<i>Phacus pleuronectes</i>
		<i>Phacus</i> sp.
		<i>Trachelomonas cylindrica</i>
Family Surirellaceae		
Subfamily Surirelloideae		
<i>Surirella angustata</i>		
<i>Surirella ovata</i>	Class	Chrysophyceae
<i>Surirella ovata</i> var. <i>pinnata</i>	Subclass	Heterochrysiophycidae
<i>Surirella tenuis</i>	Order	Ochromonales
	Family	Dinobryaceae
		<i>Dinobryon divergens</i>
Class Chlorophyceae		