

연구논문

강원도 남대천, 연곡천과 사천천의 식물플랑크톤 군집

김용진 · 이옥민

경기대학교 생명과학과

(2011년 2월 16일 접수, 2011년 5월 15일 승인)

The Phytoplankton community of Namdae-stream, Yeongok-stream and of Sacheon-stream in Gangwon-do

Yong-jin Kim · Ok-min Lee

Department of Life Science, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea

(Manuscript received 16 February 2011; accepted 15 May 2011)

Abstract

The specie composition, stranding crops and the dominant species of phytoplankton were studied in three streams, Namdae-stream, Yeongok-stream and Sacheon-stream from May 2008 to February 2009. The water qualities of the three streams which run into estuary were also examined using phytoplankton indicators. As the result, the phytoplankton appeared 94 taxa in Namdae-stream, 79 taxa in Yeongok-stream and 73 taxa in Sacheon-stream, diatoms appeared the most in phytoplankton. Genus *Navicula* and *Cymbella* in diatoms appeared to be over 10 taxa in each stream, *N. cryptocephala*, *N. cryptotenella* and *N. gregaria*, the pollution tolerance taxa, appeared more frequent in the downstream. Due to the separation of each substrate by the rapid water velocity in the upstream, *Achnanthes minutissima*, a known periphyton, was dominant in upstream site at Namdae and Yeongok-stream. Some construction areas and sites of downstream of Namdae-stream, Yeongok-stream and Sacheon-stream were shown to be polluted because pollution tolerance taxa, such as *Cyclotella meneghiniana*, *Nitzschia palea* and *Oscillatoria limnetica*, were dominant. The total of 20 taxa phytoplankton indicators were found, composed of 16 taxa of Water pollution algae including *Oscillatoria limosa*, 2 taxa of Clean water algae *Meridion circulare* and *Staurastrum puntulatum*, 1 taxa of Toxic algae *Microcystis aeruginosa* and 1 taxa of Taste and odor algae *Fragilaria construens*. Water pollution indicators were appeared frequently in polluted sites of biological water quality(DAIpo, TDI) and of sites containing high trophic state index(TSI). Therefore, using the phytoplankton indicators can assess water quality through relation of biological water quality and trophic state index.

Keywords : Phytoplankton Indicator, Biological water quality, Trophic state index

1. 서론

하구역은 해상 퇴적물과 육상 퇴적물이 혼재되어 있으며, 파랑과 하천의 역학적인 관계에 따라 지형적인 조건이 역동적으로 변화하는 곳이다(하 등, 2009). 특히 태백산맥에서 동해를 향하여 급격하게 고도가 낮아지는 능선들에 위치한 소규모 하천은 하상경사가 급하고 유로연장이 짧다(황과 윤, 2008). 이러한 지형 및 지질의 특징으로 인해 하천은 많은 오염물질과 퇴적물을 바다까지 운반하게 되지만 하구에 사주(모래톱)가 형성되어 있을 경우 상류에서 유입된 하천수가 해양으로 원활하게 유출되지 못하고 하구역에 정체되어 수질악화의 원인이 되고 있다(권 등, 2005; 윤 등, 1999). 하구역의 수질악화는 식물플랑크톤에 직접적인 영향을 미치며, 식물플랑크톤에 의한 수화현상을 초래한다. 식물플랑크톤의 수화현상은 이들이 가진 독소뿐만 아니라 자신들의 생장도 제한되어 국부적인 산소의 고갈을 가져옴으로서 생태계의 파괴를 가져온다(이 등, 2008).

식물플랑크톤은 수계의 1차 생산자로서 군집변화는 수 환경을 영양 단계별로 지표 하는 특성을 가지고 있다(Stoermer and Ladewski, 1978). 질소와 인의 유입량이 증가하면 식물플랑크톤의 생장이 촉진되고, 과도한 식물플랑크톤의 증가는 부영양화 과정 중 수질오염의 전형적인 형태로 발전하게 된다. 따라서 식물플랑크톤은 수질을 간접적으로 평가할 수 있는 좋은 지표가 될 수 있다(Shin, 2003).

국내 하구역에 식물플랑크톤의 분포 및 현존량에 대한 연구는 대부분 한강, 섬진강, 낙동강, 금강, 영산강 등 주로 4대강을 중심으로 진행되어 왔으며(이와 양, 1997; 신과 김, 2002; 신과 전, 2002; 신 등, 2002; 김, 2003; 정 등, 2004; 신 등, 2005), 동해에 위치한 하구역에 대한 연구는 아직 미흡한 편이다. 동해 연안에 위치한 하구역은 대부분 규모가 작고 유로연장이 짧아서 수질 및 생물군집이 오염원 유입에 영향을 크게 받을 것으로 사료되나, 이에 따른 수질 및 생물상의 연구가 아직 미흡한 실정이다. 현재까지 연구된 내용은 양양 남대천의 경우 어류

(김 등, 2006), 저서생물(홍 등, 2000), 식물플랑크톤(권 등, 2005), 부착규조류(김과 이, 2010)가 연구되었으며, 연곡천의 경우 어류(김 등, 2006)와 부착규조류(김과 이, 2010)에 대하여만 조사되었으며, 사천천의 경우 부착규조류(김과 이, 2010)에 대한 연구가 유일하다.

따라서 본 연구에서는 남대천, 연곡천 및 사천천을 대상으로 식물플랑크톤의 분포와 현존량을 조사하였으며, 식물플랑크톤 지표종과 우점종의 연구를 통하여 하구역으로 유입되는 내륙하천과 하구역의 수질상태를 파악하였다. 또한 부착조류를 이용한 생물학적 수질(DAIpo, TDI)과 이화학적 수질 및 영양단계(BOD, TSI)를 식물플랑크톤 지표종과 비교 분석하여 하구에 위치한 소규모 하천의 종합적인 수질평가 방법을 찾고 이를 적용하기 위한 기초연구를 실행하였다.

II. 연구방법

1. 조사지점 및 조사기간

본 연구는 태백산맥에서 동해로 유입되는 소규모 하천인 남대천, 연곡천 및 사천천을 대상으로 2008년 5월부터 2008년 10월까지 계절별 조사를 실시하였다.

남대천은 강릉시, 평창군, 홍천군의 3군계인 두노봉에서 발원하여 양양군 현북면의 좌우측에서 각각 면옥치천, 어성전천의 준용하천과 합류한 후 북서방향으로 흘러서 양양군 서면 북평리에서 가장 큰 지류인 후천과 합류 후 유향을 북동으로 바꾸어 동해로 유입되는 지방 하천으로 유역면적 474.80 km², 유로연장 54.67 km이다. 남대천은 동해로 유입되는 하천으로 태백산맥이 위치한 지형적 특성 때문에 유속이 빠르고 풍수기 때의 유량 변화가 심하게 나타난다.

남대천 유역은 자연적으로 형성되는 모래톱으로 인해 폐쇄하구만의 형태를 띠고 있으며, 군데군데 배후 습지를 형성하고 있다. 폐쇄하구만은 주로 갈수기에 상류에서 유입된 하천수가 해양으로 원활하

게 유출되지 못하고 하구에서 정체되는 특징을 보여준다. 폐쇄하구만에서는 모래톱의 간헐적인 개폐를 통한 부분적인 해수의 침투로 정체된 하구수역에 국지적인 염분 의존형 밀도성층을 초래하게 되고, 이러한 상황 하에서 상류로부터 또는 주변 육상으로부터의 유기물 유입은 부영양화 등 하구역의 환경악화를 초래할 가능성이 높다(권 등, 2005). 조사지점은 남대천과 후천이 합류하기 전과 합류 후 동해로 유입되는 전이대 까지 총 4개 지점(N1: 범부교, N2: 내현교, N3: 양양교, N4: 낙산대교)을 조사하였다.

연곡천은 해발 1,433.5 m의 오대산 국립공원에 위치한 동대산으로부터 발원하여 소금강천과 신왕천을 지류로 하여 동해로 유입하는 지방 2급 하천이다. 유로연장은 28.7 km이고 총 유역면적은 165.98 km²이다. 하상은 주로 모래와 진흙으로 이루어져 있고, 여울에만 다소의 작은 돌과 자갈들이 있다. 하천의 양안에는 높은 제방이 있으며, 홍수 때 물길이 바뀌기도 한다. 하구는 해빈류의 영향을 받아 해안 사주가 북서 해안선 방향으로 발달하여 하구 폐쇄현상이 나타나고 있기 때문에 하구는 북동방향으로 열려 있으며, 정체 수역 및 유속이 느려 오염물질들이 축적될 수 있는 여건을 갖고 있다. 연곡천은 수 년 전 까지만 하더라도 산악지대에 위치한 지리적 조건으로 자연 그대로의 환경이 잘 보존된 지역이었으나 상류의 관광지 개발로 관광객의 잦은 왕래에 따른 수질오염이 증가하고 이에 따라 하천 생태환경의 변화를 예고한다(김 등, 2006). 조사지점은 상류부터 하류까지 3개 지점(Y1: 우정교, Y2: 가평교, Y3: 연곡교)을 조사하였다.

사천천은 사기막리와 평창군 횡계리 연곡면 삼산리의 경계를 이루는 매봉산(1,173m)의 동남쪽 계곡 사기막리 무릉담에서 발원하여, 용연동 저수지에 담수 된 후 사천진리에서 동해바다로 흐르는 준용 하천으로 길이는 11.4 km이며 유역면적은 60 km² 이고 주위에 농경지가 존재한다(김과 이, 2010). 조사지점은 하천의 상류와 하류 두 개 지점(S1: 진월교, S2: 하평교)을 조사하였다.

2. 채집 및 분석방법

식물플랑크톤의 채집은 표층수 1 L를 플라스틱 병에 담아 채집하였으며 Lugol's 용액 10 ml로 처리한 시료 1 L를 24시간 이상 정치한 후, 상등액을 제거하고 남은 시료를 균일하게 섞어준 뒤 Sedgwick-Rafter chamber에 1ml을 넣고 광학 현미경(Olympus BX47, Japan)을 이용하여 200~1,000배율로 계수하였다. 이때 각 시료 당 10 회씩 반복하여 계수한 후 평균값을 산출하였다. 각 수역에서 출현한 식물플랑크톤 중 규조강은 영구표본의 제작을 위해 채집한 시료를 세정한(U.S. EPA 1995) 후 Pleulax(Wako, Japan)를 이용하여 봉입하였고, Simonsen의 분류체계(Ettle *et al.*, 1986; 1988; 1991a; 1991b)에 따랐다. 그 외의 분류군은 Hirose 등(1977)을 참고하여 정리하였으며, 정(1993) 그리고 Prescott(1962), Patrick과 Reimer(1966, 1975) 등을 참조하였다. 지표종의 구분은 Palmer(1980)의 기준에 따라 청수조류(Clean water algae), 오염조류(Water pollution algae), 독성조류(Toxic algae) 및 이취미조류(Taste and odor algae)로 분류 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식물플랑크톤의 출현종

조사기간 동안 각 하천에 출현한 식물플랑크톤은 남대천이 3강 7목 4아목 20과 4아과 43속 84종 8 변종 2품종 총 94분류군이 출현하였고, 연곡천은 4강 10목 5아목 21과 2아과 39속 67종 11변종 1품종 총 79분류군, 사천천은 3강 6목 2아목 14과 2아과 36속 65종 7변종 1품종 총 73분류군이 출현하였다(Appendix 1-3).

일반적인 국내 연안 하구역의 식물플랑크톤 종 구성을 비교해 보면 섬진강, 한강하구와 낙동강 등에서 규조강이 가장 높은 비율로 출현하였으며(권 등, 2001; 이 등, 2002; 정 등, 2003), 본 연구에서도 남대천, 연곡천 및 사천천 모두 규조강의 출현 빈도가 높았다. 특히 *Navicula*와 *Cymbella* 속의

조류가 각 하천에서 10분류군 이상 출현하였다. *Navicula* 속의 조류는 대체로 *N. cryptocephala*, *N. cryptotenella* 및 *N. gregaria* 와 같이 오염내성이 강한 종들(정, 1993; 김 등, 2009)로 이루어져 있으며, 하루로 갈수록 출현 빈도가 높았다. *Cymbella* 속의 조류 *C. affinis*, *C. minuta* 및 *C. turgidula* 등 생육범위가 넓은 종들은 상류에서 하류까지 대부분의 정점에서 출현하였으며, *C. tumida*의 경우 빈내염성, 부영양수역 등과 오락된 곳에서 생육이 제한되는 분류군(정, 1993)으로 상류지역에서만 출현하였다. 또한 산악성 및 저온성조류(Round *et al.*, 1990; 정, 1993)로 알려진 *Hannaea arcus*와 *Synedra inequalis*가 각 하천의 상류정점에서 출현하였으며, 연곡천의 경우 중류에 해당하는 Y2 정점까지 *Synedra inequalis*가 관찰되었다.

남대천, 연곡천 및 사천천은 폐쇄성 하구의 특성상 하류정점에서도 대체적으로 담수의 성격을 띠고 있으나(권 등, 2005; 하 등, 2009; 김과 이, 2010), 남대천의 경우 *Thalassiosira bramptonia*, *Synedra fasciculata* 및 *Diploneis boldtiana* 등 기수 혹은 해양성 조류가 일부 출현하는 것으로, 남대천이 연곡천과 사천천에 비해 해수의 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다.

해수의 영향을 많이 받는다는 것은 하류정점에서 유량변동이 심하다는 것을 의미하며, 수변의 부착기질이 기층에 노출되는 빈도가 잦아진다. 이 때문에 기중조류(aerial algae)로 알려진 남조강의 *Synechocystis aquatilis*, *Tolypothrix distorta* var. *penicillata* 및 *Scytonema crispum*(정, 1993; 이 등, 2008; 김 등, 2010)가 남대천의 하류정점(N4)에서 출현한 것으로 사료된다.

2. 우점종

조사기간 동안 남대천, 연곡천 및 사천천의 식물플랑크톤 우점종은 다음과 같다(Table 2). 남대천 상류의 주요 우점종은 *Achnanthes minutissima*와 *Cocconeis placentula* var. *lineata*로 N1~N2에서 25.5~32.3%의 범위로 우점하였다. *Achnanthes*

*minutissima*는 일반적인 국내 하천에 보편적으로 출현하는 부착조류(김 2007; 김과 이, 2009)로 알려져 있으며, 상류의 빠른 유속에 의해 부착기질로부터 탈락된 것으로 판단된다. *Cocconeis placentula* var. *lineata*는 *Achnanthes minutissima*와 같이 부착조류이며, 대표적인 호청수성 규조류(Watanabe *et al.*, 2005)로 상류정점은 남대천의 부착규조류 연구(김과 이, 2010)결과와 같이 청정한 것으로 나타났다. 남대천의 하류의 주요 우점종은 *Fragilaria capucina*, *Cyclotella meneghiniana*, *Nitzschia palea* 및 *Oscillatoria limnetica*로 N3~N4에서 20.8~65.8%의 범위로 우점 하였다. *Cyclotella meneghiniana*와 *Nitzschia palea*는 오염내성종으로 *Cyclotella meneghiniana*는 5월 N4정점에서 13.5×10^3 cell/ml로 높은 현존량으로 우점하였으며, *Nitzschia palea*는 8월과 10월에 우점 하였다. 남조강의 *Oscillatoria limnetica*는 10월 N4에서 우점 하였으며, 오염내성종으로 낙동강 하구역(정 등, 1994)에서 우점종으로 출현하였다.

연곡천은 Y1과 Y2 정점에서 *Achnanthes minutissima*와 *Synedra ulna*가 23.3~37.3%의 범위로 우점 하였으며, Y3 정점에서 *Oscillatoria limnetica*와 *Fragilaria construens* var. *venter*가 29.5~66.1%의 범위로 우점 하였다.

5월의 Y1과 Y2정점, 10월의 Y2 정점에서 *Achnanthes minutissima*가 우점 하였으며, 이것은 연곡천의 부착규조류연구(김과 이, 2010)와 유사한 것으로 남대천과 같이 빠른 유속에 의해 부착조류가 탈락된 것으로 판단된다. 또한 8월의 Y1과 Y2 정점, 10월의 Y1 정점에서 부유성 조류(Palmer, 1980; 이 등, 2002)로 알려진 *Synedra ulna*가 우점 하였으며, 이는 연곡천에 위치한 보(weir) 등에 의한 정체구간과 관련이 있는 것으로 사료된다. Y3 정점은 오염내성종 및 부영양성조류(정, 1993; 이 등, 2002)인 *Oscillatoria limnetica*와 *Fragilaria construens* var. *venter*가 우점 하였으며, 남대천의 결과와 유사하였다.

사천천은 상류와 하류의 모든 계절에서 오염내성

Table 1. Seasonal changes of dominant species of 9 sites at Namdae-stream, Yeongok-stream and Sacheon-stream from May to Oct. 2008

| Date | Site | Dominant species | % | Cells/ml |
|--------------|------|--|------|----------|
| May 2008 | N 1 | <i>Achnanthes minutissima</i> | 26.4 | 880 |
| | N 2 | <i>Achnanthes minutissima</i> | 25.5 | 1,239 |
| | N 3 | <i>Fragilaria capucina</i> | 38.6 | 3,983 |
| | N 4 | <i>Cyclotella meneghiniana</i> | 65.8 | 13,565 |
| | Y 1 | <i>Achnanthes minutissima</i> | 31.4 | 1,710 |
| | Y 2 | <i>Achnanthes minutissima</i> | 34.2 | 1,863 |
| | Y 3 | <i>Oscillatoria limnetica</i> | 29.5 | 7,093 |
| | S 1 | <i>Anabaena marospora</i> | 27.1 | 1,168 |
| | S 2 | <i>Oscillatoria limnetica</i> | 19.5 | 2,829 |
| Aug. 2008 | N 1 | <i>Achnanthes minutissima</i> | 23.5 | 2,535 |
| | N 2 | <i>Achnanthes minutissima</i> | 31.8 | 1,424 |
| | N 3 | <i>Nitzschia palea</i> | 20.8 | 534 |
| | N 4 | <i>Nitzschia palea</i> | 36.1 | 3,068 |
| | Y 1 | <i>Synedra ulna</i> | 37.3 | 2,267 |
| | Y 2 | <i>Synedra ulna</i> | 26.7 | 1,818 |
| | Y 3 | <i>Oscillatoria limnetica</i> | 44.1 | 4,557 |
| | S 1 | <i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> | 34.9 | 1,810 |
| | S 2 | <i>Melosira varians</i> | 24.6 | 8,967 |
| Oct. 2008 | N 1 | <i>Achnanthes minutissima</i> | 28.5 | 2,010 |
| | N 2 | <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> | 32.3 | 1,050 |
| | N 3 | <i>Nitzschia palea</i> | 23.2 | 1,618 |
| | N 4 | <i>Oscillatoria limnetica</i> | 34.1 | 7,409 |
| | Y 1 | <i>Synedra ulna</i> | 23.3 | 1,112 |
| | Y 2 | <i>Achnanthes minutissima</i> | 30.3 | 2,219 |
| | Y 3 | <i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i> | 66.1 | 4,015 |
| | S 1 | <i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i> | 21.4 | 1,420 |
| | S 2 | <i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i> | 27.9 | 1,482 |

종 및 부영양성종(정, 1993; 이 등, 2002)으로 알려진 *Anabaena marospora*, *Oscillatoria limnetica*, *Phormidium valderianum* var. *tenuis* 및 *Fragilaria construens* var. *venter*가 19.5~34.9%의 범위로 우점 하였으며, 공사구간으로부터 유입되는 유기오염의 영향을 받은 것으로 사료된다.

2. 현존량

세포수 계수에 의한 식물플랑크톤 현존량 측정 결과 남대천은 $2.6\sim 21.7 \times 10^3$ cells/ml의 범위로 10월 N4정점에서 가장 높았으며, 8월 N3정점에서 가장 낮은 현존량을 나타냈다. 5월과 10월은 상류에서 하류로 갈수록 현존량이 높아지는 것으로 나타났으나, 8월의 경우 상류인 N1가 하류인 N4보다 높게 나타났다. 연곡천은 $4.8\sim 24.0 \times 10^3$ cells/ml의 범위로 5월 Y3정점에서 가장 높았으며, 10월 Y1

정점에서 가장 낮은 현존량을 나타냈다. 연곡천은 남대천과 같이 대체적으로 상류에서 하류로 갈수록 현존량이 크게 증가하는 것으로 나타났으나, 10월의 경우 Y2정점에서 Y3정점보다 높게 나타났다. 사천천은 $4.3\sim 36.4 \times 10^3$ cells/ml의 범위로 8월 S2에서 가장 높았으며, 5월 S1정점에서 가장 낮은 현존량을 나타냈다. 사천천은 상류와 하류의 현존량의 차이가 비교적 크게 나타났으며, 10월의 경우 상류가 약간 높게 나타났다(Fig. 1).

Horne와 Goldman(1994)의 기준으로 5×10^3 cells/ml 이상의 개체수를 나타낼 때 수화현상이 발생한 수역으로 간주하며, 남대천, 연곡천 및 사천천 수역을 세포수 계수에 의한 현존량을 가지고 수질을 판단하였을 때, 일부 상류정점을 제외한 대부분의 정점에서 수화현상이 발생한 부영양(Eutrophic)수역으로 나타냈다. 하지만 엽록소 a(Carlson, 1977;

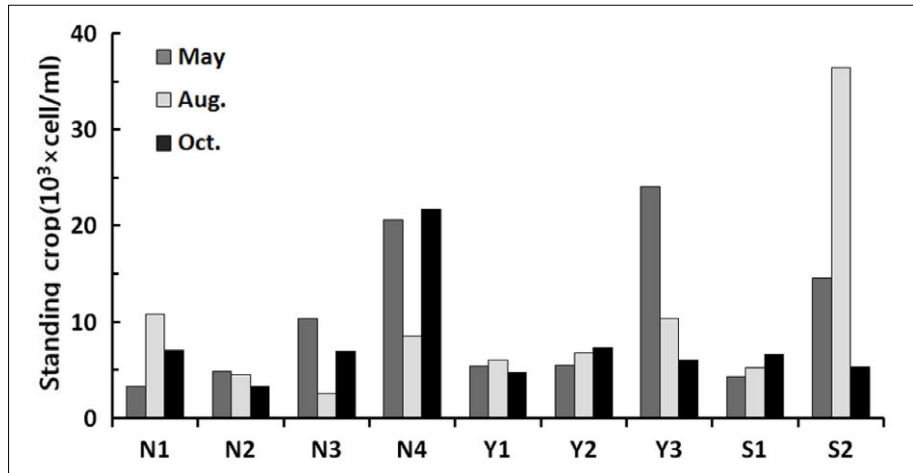


Fig. 1. The seasonal variations of the standing crop of phytoplankton at 9 sites at Namdae-stream, Yeongok-stream and Sacheon-stream from May to Oct. 2008.

Forsberg and Ryding, 1980)에 의한 수질 기준은 일부 하류 정점을 제외하고 빈중영양(Oligomesotrophic)에서 중영양(Mesotrophic)수역으로 좀 더 낮게 나타났다(김과 이, 2010). 이러한 차이는 세포의 크기에 따라 그리고 종에 따라 엽록소 a 양이 다르며(Jiménez et al. 1987, Odete and Yanada 1993), 세포수 계수 시 포함되지 못하는 미소플랑크톤의 영향으로 판단된다(Larsson and Hagatrom 1982). 따라서 현존량에 의한 수질은 세포수, 엽록소 a 및 식물플랑크톤의 출현종을 모두 고려해야 할 것으로 판단된다.

3. 지표종

Palmer(1980)에 의거하여 남대천, 연곡천 및 사천천의 출현 식물플랑크톤 중 *Oscillatoria limosa*를 포함한 16분류군의 식물플랑크톤은 오염수역을 지표 하는 분류군이며, *Meridion circulare*와 *Staurastrum puntulatum*는 청정수역을 지표 하는 분류군, *Microcystis aeruginosa*는 유해 독성 물질을 분비하는 분류군, *Fragilaria construens*는 이취미를 내는 분류군으로 총 20분류군의 지표 종이 출현하였다(Table 3).

청정수역 지표종인 *Meridion circulare*와 *Staurastrum puntulatum*는 5월에 남대천의 상

류인 N1과 N2정점과 중하류인 N3에서 출현하였으며, 8월은 각 정점의 하류(N4, Y3, S2)에서 출현하였다. 10월은 *Staurastrum puntulatum* 만이 남대천의 N2와 N3정점에서 출현하였다. 오염수역 지표종 가운데 *Oscillatoria limosa*, *Gomphonema parvulum*, *Nitzschia palea* 및 *Navicula cryptocephala*는 세 하천의 대부분의 정점과 계절에서 출현하였으며, 5월에 가장 많은 정점에서 출현한 것으로 나타났다. *Synedra acus*는 5월 N4 정점에서만 출현하였으며, *Euglena viridis*는 5월 Y2정점, *Eudorina elegans*와 *Coelastrum microporum*는 10월 Y3 정점에서만 출현 하였다. 세하천의 모든 정점에서 이러한 오염수역 지표종이 출현하였으며, 수질오염이 심화됨에 따라 수화현상이 야기 될 수 있는 수역(이 등, 2008)으로 사료된다.

독성물질을 분비하는 분류군인 *Microcystis aeruginosa*는 10월 Y3 정점에서 출현하였으며, 이취미를 내는 분류군인 *Fragilaria construens*는 8월 N4정점에서 출현하였다. *Microcystis aeruginosa*는 대청호 및 팔당호의 녹조 원인조류(박과 이, 2005; 박 등, 2005) 및 부영양화 조류(이 등, 2002)로 알려져 있는 것으로, 이에 대한 주기적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

식물플랑크톤 지표종의 결과는 정성적인 자료로

Table 3. The indicators of phytoplankton at 9 sites at Namdae-stream, Yeongok-stream and Sacheon-stream from May to Oct. 2008

| Classification | Species | Site | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| | | May | Aug. | Oct. |
| Clean water algae | <i>Meridion circulare</i> | N1, | N4, S2 | |
| | <i>Staurastrum puntulatum</i> | N1, N2, N3 | Y3 | N2, N3 |
| Water pollution algae | <i>Oscillatoria limosa</i> | N1, N2, N4, Y1, Y2, Y3, S2 | N1, N4, Y1, Y2 | N4, Y1, S2 |
| | <i>Oscillatoria tenuis</i> | N1, Y1 | N4, Y1 | |
| | <i>Cyclotella meneghiniana</i> | N4, S2 | N4, S2 | N4, S2 |
| | <i>Melosira varians</i> | N3, N4, Y3, S1 | N4, S1 | N3, N4, S2 |
| | <i>Synedra acus</i> | N4 | | |
| | <i>Synedra ulna</i> | N1, Y1, Y2, Y3, S1 | N4, Y2, S1, S2 | N3, Y1, Y3 |
| | <i>Gomphonema parvulum</i> | N1, N2, N3, N4, Y1, Y2, Y3, S1, S2 | N1, N2, N3, N4, Y1, Y2, Y3, S1, S2 | N1, N3, N4, Y1, Y2, Y3, S1, S2 |
| | <i>Navicula cryptocephala</i> | N3, N4, S1 | N2, N3, N4, S1 | N1, N3, N4, Y2, S1, S2 |
| | <i>Navicula viridula</i> | S1, S2 | | |
| | <i>Hantzschia ambioxys</i> | | N4, Y1, S2 | N4, Y2 |
| | <i>Nitzschia palea</i> | N1, N2, N3, N4, Y1, Y2, Y3, S1, S2 | N3, Y2, Y3, S1, S2 | N1, N3, Y3, S1, S2 |
| | <i>Euglena viridis</i> | Y2 | | |
| | <i>Eudorina elegans</i> | | | Y3 |
| | <i>Coelastrum microporum</i> | | | Y3 |
| <i>Ulothrix zonata</i> | N1 | N1 | S1 | |
| <i>Ankistrodesmus facaltus</i> | N1, N2, S1 | N1, N2 | | |
| Toxic algae | <i>Microcystis aeruginosa</i> | | | Y3 |
| Taste and odor | <i>Fragilaria construens</i> | | N4 | |

써, 지표종의 출현유무를 통하여 판단하기 때문에 이화학적 수질(BOD), 생물학적 수질(DAIpo, TDI) 및 영양단계(TSI)와 다소 차이가 있을 수 있다. BOD는 북하천과 달천의 연구(김 등, 2009), 섬강과 달천의 연구(김과 이, 2009)에서 생물학적 수질에 비해 하천의 오염변화를 세밀하게 반영하지 못하는 것으로 나타났다. 김과 이(2010)의 연구에서도 일부 정점을 제외하고 2 mg/L이하의 농도로 수질이 양호한 것으로 나타났으며, 세 하천에 출현한 대부분의 식물플랑크톤 지표종은 BOD와 큰 상관성을 나타내지 않았다.

생물학적 수질을 나타내는 DAIpo와 TDI는 BOD에 비해 하천의 수질을 세부적으로 판단하는 것으로 연구되었으며(김 등, 2009), 세 하천에 대한 생물학적 수질 평가 결과 하천의 오염을 잘 반영한 것으로 나타났다(김과 이, 2010). 생물학적 수질은 식물플랑크톤 지표종과 밀접한 관련이 있는 것으로, 생물학적 수질이 오염된 것으로 나타난 8월의 N4(DAIpo: 27.8, TDI: 45.8)와 10월의 S2(DAIpo:

32.9, TDI: 77.6) 정점에서 *Oscillatoria limosa* 등과 같은 오염수역 및 이취미 지표종이 6~10분류군이 출현하였다. 또한 생물학적 수질이 양호한 것으로 나타난 8월의 N2(DAIpo: 75.9, TDI: 30.7)와 N3(DAIpo: 74.2, TDI: 35.6) 정점에서 *Gomphonema parvulum* 등과 같은 오염수역 지표종이 각각 3분류군 출현하는 것으로 생물학적 수질이 오염된 정점일수록 오염수역 지표종의 출현빈도가 높은 것으로 나타났다(Table 2). 계절과 정점에 따른 생물학적 수질 변동이 심했던 남대천과 사천천의 경우 이러한 특징이 잘 나타났으며, 계절 및 정점에 따라 생물학적 수질이 큰 차이를 보이지 않았던 연곡천은 오염수역 지표종의 출현빈도 역시 큰 차이를 나타내지 않았다.

영양단계를 나타내는 TSI는 BOD보다 생물학적 수질과 상관성이 높은 것으로 나타났으며(김과 이, 2010), 생물학적 수질과 함께 식물플랑크톤 지표종과도 관련이 있는 것으로 나타났다. 5월의 남대천은 모든 정점에서 중영양 수역으로 나타났으며,

Oscillatoria limosa 등과 같은 오염수역 지표종이 11분류군 출현하였다. 10월의 남대천은 N1~N3정점에서 빈중영양 수역으로 나타났으며, *Melosira varians* 등과 같은 오염수역 지표종이 5분류군 출현하는 것으로, TSI의 영양단계가 높을수록 오염수역 지표종의 출현빈도가 높아지는 것으로 나타났다(Table 2).

따라서 식물플랑크톤 지표종을 통하여 하천의 수질을 세부적으로 파악할 수는 없지만, 정량적인 지표인 생물학적 수질과 영양단계와의 관련성을 토대로 하천의 오염도를 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 2008년 5월부터 2008년 10월까지 남대천, 연곡천 및 사천천을 대상으로 식물플랑크톤의 분포와 현존량을 조사하였으며, 식물플랑크톤 지표종과 우점종의 연구를 통하여 하구역으로 유입되는 내륙하천과 하구역의 수질상태를 파악하였다.

조사기간 동안 각 하천에 출현한 식물플랑크톤은 남대천이 94분류군, 연곡천이 79분류군, 사천천이 73분류군이 출현하였으며, 규조강이 가장 높은 비율로 출현하였다. 규조강 가운데 *Navicula*와 *Cymbella* 속의 조류가 각 하천에서 10분류군 이상 출현하였으며, *N. cryptocephala*, *N. cryptotenella* 및 *N. gregaria*와 같이 오염 내성이 강한 종들은 하류로 갈수록 출현빈도가 높았다. 남대천의 하류 정점은 기수성 및 해수성 조류로 알려진 *Thalassiosira bramptonia*, *Synedra fasciculata* 및 *Diploneis boldtiana* 등이 출현하는 것으로, 연곡천과 사천천에 비해 해수의 영향을 더 많이 받는 것으로 사료된다.

우점종은 남대천과 연곡천의 상류에서 *Achnanthes minutissima*와 같은 부착조류가 우점하였으며, 상류의 빠른 유속에 의해 부착기질로부터 탈락된 것으로 판단된다. 남대천과 연곡천의 하류정점과 사천천은 *Cyclotella meneghiniana*, *Nitzschia palea* 및 *Oscillatoria limnetica*와 같은 오염내성 종이 우점한 것으로 나타나, 도시 및 공사구간으로

부터 유입되는 유기오염의 영향을 받은 것으로 사료된다.

현존량은 Horne와 Goldman(1994)의 기준으로 일부 상류정점을 제외한 대부분의 정점에서 수화현상이 발생한 부영양수역으로 나타났으나, 이것은 엽록소 a(Carlson, 1977; Forsberg and Ryding, 1980)에 의한 수질 기준보다 높게 나타난 것으로 현존량에 의한 수질은 세포수, 엽록소 a 및 식물플랑크톤의 출현종을 모두 고려해야 할 것으로 판단된다.

Palmer(1980)에 의거하여 남대천, 연곡천 및 사천천의 출현 식물플랑크톤 중 *Oscillatoria limosa*를 포함한 16분류군의 식물플랑크톤은 오염수역을 지표 하는 분류군이며, *Meridion circulare*와 *Staurastrum puntulatum*는 청정수역을 지표 하는 분류군, *Microcystis aeruginosa*는 유해 독성 물질을 분비하는 분류군, *Fragilaria construens*는 이취미를 내는 분류군으로 총 20분류군의 지표종이 출현하였다. 또한 식물플랑크톤 지표종은 생물학적 수질(DAIpo, TDD)이 오염된 정점과 영양단계(TSI)가 높은 수역에서 오염수역 지표종의 출현빈도가 높은 것으로 나타났다. 따라서 식물플랑크톤 지표종을 통하여 하천의 수질을 세부적으로 파악할 수는 없지만, 생물학적 수질과 영양단계와의 관련성을 토대로 하천의 오염도를 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2008년 경기대학교 학술연구비(일반 연구과제2008-103)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

- 권기영, 김주경, 홍관의, 성기백, 이철호, 문창호, 2005, 남대천 하구역의 식물플랑크톤과 영양염 변동, 한국수산학회지, 38, 55-56.
- 권기영, 이평강, 박철, 문창호, 박미옥, 2001, 섬진강 하구역에서 염부경사에 따른 동·식물

- 플랑크톤의 현존량 및 종조성, 한국해양학회지, 6, 93-102.
- 김용재, 2003, 영산강의 식물플랑크톤 군집 동태, 한국조류학회지, 18, 207-215.
- 김용재, 2007, 도시화 정도에 따른 포천천과 영평천의 돌 부착규조 군집변화, 한국육수학회지, 40, 468-480.
- 김용진, 신경애, 이옥민, 2009, 남한강 지류인 북하천과 달천의 부착규조를 이용한 생물학적 수질평가, 환경생물학회지, 27, 414-424.
- 김용진, 이옥민, 2010, 부착규조지수와 영양단계 평가를 이용한 남대천, 연곡천과 사천천의 수질 평가, 한국육수학회지, 43, 117-128.
- 김치홍, 이완옥, 홍관의, 이철호, 김종화, 2006, 양양남대천의 어류상과 어류군집, 한국어류학회지, 18, 112-118.
- 박재충, 박정원, 김대현, 신재기, 이희무, 2005, 안동호의 수역별 영양상태와 평가방법간 상관성 비교, 한국육수학회지, 38, 95-104.
- 박종근, 이정준, 2005, 대청호의 식물플랑크톤 군집 변화, 한국조류학회지, 20(3), 197-205.
- 신성교, 백경훈, 송미경, 2002, 낙동강 중 하류수역에서 클로로필 a 최대농도 출현지역 평가, 한국육수학회지, 35, 21-27.
- 신용식, 이창희, 조기안, 송은숙, 2005, 국내 연안 하구역의 식물플랑크톤 생체량(Chlorophyll a) 및 수질 동향, 한국육수학회지, 38, 160-180.
- 신윤근, 김영길, 2002, 아산호의 생태학적 연구 2, 식물플랑크톤 군집 구조, 한국육수학회지, 32, 187-197.
- 신윤근, 전상호, 2002, 아산호의 생태학적 연구 1, 이화학적 특성과 영양상태, 한국육수학회지, 35, 181-186.
- 윤이용, 김대현, 이승묵, 1999, 강릉 남대천 하류의 오염물질 정체현상과 강릉수력 발전방류수의 영향, 대한환경공학회지, 21, 2221-2230.
- 이옥민, 유미선, 이병인, 임안숙, 2008, 전남 갈곡천과 인천강 하구역의 식물플랑크톤의 분포 및 현존량, 한국조류학회지, 23, 257-268.
- 이용혁, 양재삼, 1997, 금강 하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분 변화에 대한 500일간의 연속관측, 한국해양학회지, 6, 201-210.
- 이정호, 박종근, 김은정, 2002, 국내 주요 호수의 식물플랑크톤 종조성 및 영양단계 평가, 한국조류학회지, 17, 275-281.
- 정승원, 이진환, 유종수, 2003, 한강하류의 환경학적 연구 V, 식물플랑크톤 군집 대발생의 특징, 한국조류학회지, 18, 255-262.
- 정승원, 이진환, 허희권, 2004, 한강 하류의 환경학적 연구 VI, 부영양 요인의 통계적 해석, 한국육수학회지, 37, 78-86.
- 정준, 1993, 한국담수조류도감, 아카데미출판사, 서울, 496.
- 정준, 김한순, 김용재, 1994, 낙동강 하구둑의 식물성플랑크톤 군집 구조, 한국육수학회지, 27, 33-46.
- 하경혜, 최광희, 김종욱, 2009, 강릉 연곡천 하구의 지형 특성과 염도 분포, 한국지형학회지, 16, 89-100.
- 홍재상, 서인수, 이창근, 윤상필, 전래홍, 2000, 양양 남대천 하구역의 여름철 대형저서동물 군집의 생태학적 특성, 한국수산학회지, 33, 230-237.
- 황상일, 윤순옥, 2008, 한반도 중부 동해안 석호 및 주변 유역의 지형특성과 하구부 퇴적환경, 한국지형학회지, 15, 17-33.
- Carlson R.E., 1977, A trophic status index for lakes, *Limnology and Oceanography*, 22, 361-369.
- 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.
- Forsberg C. and Ryding V.H., 1980, Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes, Archives of Hydrobiology, 89, 189-207.
- Hirose H. M., Akiyama T., Imahori K., Kasaki H. Kumano S., Kobayasi H., Tajahashi E., Tsumura T., Hirano M. and Yamagishi T., 1977, Illustrations of the Japanese freshwater algae, Uchidarokakuho Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan, 932.
- Home A. J. and Goldman C. R., 1994, Limnology, McGraw-hill, Inc. New york, 457-475.
- Jiménez F. J., Bautista R. B. and Rodriguez V., 1987, Relations between chlorophyll, phytoplankton cell abundance and biovolume during a winter bloom in Mediterranean costal water, J, Exp, Mar, Bio, Ecol, 105, 161-173.
- Lasson U. and Hagatrom A., 1982, Fractionated phytoplankton primary production in Baltic eutrophication gradient, Marine Biology, 67, 57-70.
- Odete T. and Yanada M., 1993, Phytoplankton carbon biomass estimated from the size-fractionated Chl-a concentration and cell density in the Northern Costal Waters from Spring bloom to summer, Bulletin of the Plankton Society of Japan, 39, 127-144.
- Palmer C. M., 1980, Algae and water pollution. Castle Publication Ltd., UK, 213.
- Patrick R. and Reimer C. W., 1975, The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii, 11(1), The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, 213.
- Prescott G. W., 1962, Algae of the western great lakes area, Otto Koeltz Science Publishers, Germany, 976.
- Round F.E., Crawford R.M. and D.G. Mann, 1990, The Diatoms, 747.
- Shin J. K., 2003, Seasonal dynamics of aquatic environment and phytoplankton in Pyeongtaek reservoir, Korea, Algae, 18, 145-156.
- Stoermer E. F. and Ladewski T. B., 1978, Phytoplankton association in Lake Ontario during IFYGL (International Field Year for the Great Lakes), Univ. Michigan, Great Lakes Res, Div. Publ., 64.
- 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, T Ohtsuka, A Tuji and A Houki, 2005, Picture book and ecology of the freshwater diatoms, Uchida roka-kuho, Tokyo. 666.

Appendix 1. Species list of phytoplanktons at 4 sites in Namdae-stream from May to Oct. 2008

| | May 2008 | | | | Aug. 2008 | | | | Oct. 2008 | | | |
|--|----------|----|----|----|-----------|----|----|----|-----------|----|----|----|
| | N1 | N2 | N3 | N4 | N1 | N2 | N3 | N4 | N1 | N2 | N3 | N4 |
| Phylum CYANOPHYTA | | | | | | | | | | | | |
| Cl. CYANOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | |
| Ord. CHROOCOCCALES | | | | | | | | | | | | |
| Fam. Chroococcaceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Synechocystis aquatilis</i> | | | | + | | | | + | | | | + |
| <i>Merismopedia glauca</i> | | | + | | | | | | | + | | |
| Ord. NOSTOCALES | | | | | | | | | | | | |
| Subord. NOSTOCHINEAE | | | | | | | | | | | | |
| Fam. Scytonemataceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scytonema crispum</i> | | | | + | | | | | | | | |
| <i>Tohyotbrix distorta</i> var. <i>penicillata</i> | | | + | | | | | | | | | + |
| Fam. Nostocaceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Anabaena marospora</i> | | | + | | | | | | | + | | |
| Subord. OSCILLATORIINEAE | | | | | | | | | | | | |
| Fam. Oscillatoriaceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oscillatoria limnetica</i> | | | | + | | | | | | | | + |
| <i>Oscillatoria limosa</i> | + | + | | + | + | | | + | | | | + |
| <i>Oscillatoria tenuis</i> | + | | | | | | | + | | | | |
| <i>Phormidium subterraneum</i> var. <i>crassum</i> | | | + | + | + | + | + | + | + | + | + | |
| <i>Phormidium tenuis</i> | + | | + | + | + | | | + | + | + | + | |
| <i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> | + | | | + | | + | + | + | | | | + |
| <i>Lyngbya birgei</i> | | | + | | | | | + | | + | | + |
| Phylum CHRYSOPHYTA | | | | | | | | | | | | |
| Cl. BACILLARIOPHYCEAE | | | | | | | | | | | | |
| Ord. CENTRALES | | | | | | | | | | | | |
| Subord. COSCINODISCINEAE | | | | | | | | | | | | |
| Fam. Thalassiosiraceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Cyclotella meneghiniana</i> | | | | + | | | | + | | | | |
| <i>Cyclotella stelligera</i> | | | | | + | | | | | | | + |
| <i>Thalassiosira bramptonia</i> | | | | | + | | | | | | | |
| Fam. Melosiraceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Melosira varians</i> | | | + | + | | | | + | | + | + | |
| Ord. PENNALES | | | | | | | | | | | | |
| Fam. Diatomaceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Fragilaria capitellata</i> | + | | | + | | | + | | | | | |
| <i>Fragilaria capucina</i> | | + | + | | + | + | | + | + | | | |
| <i>Fragilaria construens</i> | | | | | | | | + | | | | |
| <i>Fragilaria construens</i> var. <i>binodis</i> | | | | | | + | | | | | | + |
| <i>Hannaea arcus</i> | + | | + | | | | | | | | | |
| <i>Meridion circulare</i> | | | + | | | | | + | | | | |
| <i>Synedra acus</i> | | | | + | | | | | | | | |
| <i>Synedra fasciculata</i> | | | | | | | | | | | + | |
| <i>Synedra rumpens</i> | | | | | | | | + | + | | | |
| <i>Synedra rumpens</i> var. <i>familiaris</i> | | | | | + | + | | | | | | + |
| <i>Synedra ulna</i> | | | | | + | | | + | | | + | |
| <i>Tabellaria flocculosa</i> | | | + | | | | + | | | | | |
| Subord. RAPHIDINEAE | | | | | | | | | | | | |
| Fam. Eunotiaceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Eunotia arcus</i> | | | + | | | | + | | | | | |
| Fam. Achnantheaceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Achnanthes convergens</i> | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| <i>Achnanthes exigua</i> | | + | | | | | | + | | | | |
| <i>Achnanthes lanceolata</i> | | + | + | | | | + | | | | | |
| <i>Achnanthes lanceolata</i> var. <i>rostrata</i> | | | | | | + | | + | + | | + | |
| <i>Achnanthes minutissima</i> | + | + | + | + | + | + | + | | | + | | |

Appendix 1. Continued

| | May 2008 | | | | Aug. 2008 | | | | Oct. 2008 | | | |
|--|----------|----|----|----|-----------|----|----|----|-----------|----|----|----|
| | N1 | N2 | N3 | N4 | N1 | N2 | N3 | N4 | N1 | N2 | N3 | N4 |
| <i>Chaetophora pisiformis</i> | | | + | + | + | | + | + | + | | | |
| Ord. CHLOROCOCCALES | | | | | | | | | | | | |
| Fam. Oocystaceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Ankistrodesmus facaltus</i> | + | | | | | + | | | | + | | |
| Fam. Scenedesmaceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus acutus</i> f. <i>costulatus</i> | + | | + | | | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus acutus</i> f. <i>tetradesmiformis</i> | + | | | | | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus brasiliensis</i> | | | | | + | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus spinosus</i> | | | | | | | | | | | + | |
| Ord. OEDOGONIALES | | | | | | | | | | | | |
| Fam. Oedogoniaceae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Oedogonium sociale</i> | | | | + | + | | | + | + | | + | + |
| Ord. ZYGNEMATALES | | | | | | | | | | | | |
| Fam. Zygnemataceae | | | | | | | | | | | | |
| Subfam. Mougeotioideae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Mougeotia viridis</i> | + | + | + | | + | | | | + | | | |
| Subfam. Spirogyroideae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Spirogyra hollandiae</i> | | | | + | | | | | | | | |
| <i>Spirogyra nova-angliae</i> | | | + | | | | | | | | + | + |
| Fam. Desmidiaceae | | | | | | | | | | | | |
| Subfam. Penieae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Penium margaritaceum</i> | | + | | | | | | | | | | |
| Subfam. Closteriacea | | | | | | | | | | | | |
| <i>Closterium ebrenbergii</i> | + | + | | | | | | + | | | | + |
| Subfam. Cosmarieae | | | | | | | | | | | | |
| <i>Cosmarium retangulare</i> | | | | | | | | | + | | | |
| <i>Cosmarium undulatum</i> | + | | | | | + | | | + | | | |
| <i>Staurastrum puntulatum</i> | | + | + | + | | | | | | + | + | |
| Total | 23 | 19 | 34 | 27 | 26 | 17 | 24 | 41 | 25 | 12 | 27 | 30 |

Appendix 2. Species list of phytoplanktons at 3 sampling sites of Yeongok-stream from May to Oct. 2008

| | May 2008 | | | Aug. 2008 | | | Oct. 2008 | | |
|--|----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|
| | Y1 | Y2 | Y3 | Y1 | Y2 | Y3 | Y1 | Y2 | Y3 |
| Phylum CYANOPHYTA | | | | | | | | | |
| Cl. CYANOPHYCEAE | | | | | | | | | |
| Ord. CHROCOCCALES | | | | | | | | | |
| Fam. Chroococaceae | | | | | | | | | |
| <i>Synechocystis aquatilis</i> | | + | | | | | + | | |
| <i>Microcystis aeruginosa</i> | | | | | | | | | + |
| <i>Chroococcus bituminosus</i> | | + | | | + | + | | | |
| Ord. NOSTOCALES | | | | | | | | | |
| Subord. NOSTOCHINEAE | | | | | | | | | |
| Fam. Rivuriaceae | | | | | | | | | |
| <i>Calothrix fusca</i> | + | + | | | + | + | + | + | |
| <i>Gloetrichia longiarticulata</i> | | | | | | | | + | |
| Fam. Scytonemataceae | | | | | | | | | |
| <i>Scytonema crispum</i> | + | | | + | + | | | | + |
| <i>Tolypothrix distorta</i> var. <i>penicilata</i> | | | | | | | + | | |
| Subord. OSCILLATORIINEAE | | | | | | | | | |
| Fam. Oscillatoriaceae | | | | | | | | | |
| <i>Oscillatoria limnetica</i> | + | | + | + | + | + | + | | + |
| <i>Oscillatoria limosa</i> | + | + | + | + | + | | + | | |
| <i>Oscillatoria tenuis</i> | + | | | + | | | | | |

Appendix 2. Continued

| | May 2008 | | | Aug. 2008 | | | Oct. 2008 | | |
|--|----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|
| | Y1 | Y2 | Y3 | Y1 | Y2 | Y3 | Y1 | Y2 | Y3 |
| <i>Phormidium subterraneum</i> var. <i>crassum</i> | + | | + | | | | | | |
| <i>Phormidium tenue</i> | | | | | | + | | | |
| <i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenue</i> | | + | | | | | + | | |
| <i>Lynghya birgei</i> | | | + | | | + | + | | + |
| Phylum CHRYSOPHYTA | | | | | | | | | |
| Cl. BACILLARIOPHYCEAE | | | | | | | | | |
| Ord. CENTRALES | | | | | | | | | |
| Subord. COSCINODISCINEAE | | | | | | | | | |
| Fam. Thalassiosiraceae | | | | | | | | | |
| <i>Cyclotella stelligera</i> | | | | | | | | + | |
| <i>Thalassiosira bramaputrae</i> | | | | | | | | | + |
| Fam. Melosiraceae | | | | | | | | | |
| <i>Melosira varians</i> | | | + | | | | | | |
| Ord. PENNALES | | | | | | | | | |
| Fam. Diatomaceae | | | | | | | | | |
| <i>Fragilaria capitellata</i> | + | | | | | | | + | |
| <i>Fragilaria capucina</i> | + | | + | | | | | | + |
| <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> | + | + | + | | | | | + | |
| <i>Fragilaria construens</i> var. <i>venter</i> | | | | | | + | + | + | + |
| <i>Hannaea arcus</i> | + | + | | + | + | | | | |
| <i>Synedra inaequalis</i> | + | + | | + | + | | | | |
| <i>Synedra rumpens</i> | | + | | + | | | | + | |
| <i>Synedra rumpens</i> var. <i>familiaris</i> | | + | | | | | | | |
| <i>Synedra ulna</i> | + | + | + | + | + | | + | | + |
| <i>Tabellaria flocculosa</i> | | | + | | | | | | |
| Subord. RAPHAIDINEAE | | | | | | | | | |
| Fam. Eunotiaceae | | | | | | | | | |
| <i>Eunotia diodon</i> | | | + | + | | | | | |
| <i>Eunotia minor</i> | | | | | | + | | | |
| Fam. Achnantheaceae | | | | | | | | | |
| <i>Achnanthes convergens</i> | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| <i>Achnanthes lanceolata</i> var. <i>rostrata</i> | | | | + | | + | + | + | |
| <i>Achnanthes minutissima</i> | + | + | | | | + | + | + | + |
| <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Fam. Naviculaceae | | | | | | | | | |
| <i>Amphora copulata</i> | | | | | + | | | + | + |
| <i>Amphora inariensis</i> | | + | + | | | | | | |
| <i>Cymbella affinis</i> | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| <i>Cymbella delicatula</i> | | | | | | | + | | + |
| <i>Cymbella lacustris</i> | | | + | | | | | | + |
| <i>Cymbella minuta</i> | + | | + | + | + | | + | + | + |
| <i>Cymbella tumida</i> | | | | | | | + | | |
| <i>Cymbella turgidula</i> | | | | | | | | | + |
| <i>Gomphonema acuminatum</i> | | | | + | | | | | |
| <i>Gomphonema augur</i> | | | | | | | | + | |
| <i>Gomphonema clevei</i> | | | | | | | + | | + |
| <i>Gomphonema gracile</i> | | + | | | | | | | + |
| <i>Gomphonema parvulum</i> | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| <i>Gomphonema truncatum</i> | | | + | | | | | | |
| <i>Gomphonema quadripunctatum</i> | + | + | + | | + | | | | |
| <i>Navicula bacillum</i> | | | | | + | | | | |
| <i>Navicula capitatoradiata</i> | | | + | | + | + | + | + | + |
| <i>Navicula cincta</i> | | | | | + | | | | |
| <i>Navicula cryptocephala</i> | | | | | | | | + | |
| <i>Navicula cryptotenella</i> | + | | | | | | + | | |

Appendix 2. Continued

| | May 2008 | | | Aug. 2008 | | | Oct. 2008 | | |
|--|----------|----|----|-----------|----|----|-----------|----|----|
| | Y1 | Y2 | Y3 | Y1 | Y2 | Y3 | Y1 | Y2 | Y3 |
| <i>Navicula decussis</i> | | | | | | + | + | | + |
| <i>Navicula gregaria</i> | | | | | + | | | | |
| <i>Navicula minima</i> | | | | | | | | | + |
| <i>Navicula neoventricosa</i> | | | | | | + | | | |
| <i>Navicula nipponica</i> | | | | | + | | | | |
| <i>Navicula viridula</i> var. <i>rostrata</i> | | | | | | + | | | |
| Fam. Nitzschiaceae | | | | | | | | | |
| <i>Denticula tenuis</i> | | | | | | | | | + |
| <i>Hantzschia amphioxys</i> | | | | + | | | | + | |
| <i>Nitzschia amphibia</i> | + | | | | | | + | | |
| <i>Nitzschia palea</i> | + | + | + | | | + | | + | + |
| <i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>tabellaria</i> | | | + | | | | | | |
| Phylum EUGLENOPHYTA | | | | | | | | | |
| Cl. EUGLENOPHYCEAE | | | | | | | | | |
| Ord. EUGLENALES | | | | | | | | | |
| Subord. EUGLENINAE | | | | | | | | | |
| Fam. Euglenaceae | | | | | | | | | |
| <i>Euglena viridis</i> | | + | | | | | | | |
| Phylum CHLOROPHYTA | | | | | | | | | |
| Cl. CHLOROPHYCEAE | | | | | | | | | |
| Ord. VOLVOCALES | | | | | | | | | |
| Fam. Volvocaceae | | | | | | | | | |
| <i>Eudorina elegans</i> | | | | | | | | | + |
| Ord. ULOPRICHALES | | | | | | | | | |
| Fam. Microsporaceae | | | | | | | | | |
| <i>Microspora willeana</i> | + | | | | | | | | + |
| Fam. Chaetophoraceae | | | | | | | | | |
| <i>Chaetophora pisiformis</i> | + | | + | | | | | | |
| Ord. CHLOROCOCCALES | | | | | | | | | |
| Fam. Coelastraceae | | | | | | | | | |
| <i>Coelastrum microporum</i> | | | | | | | | | + |
| Fam. Oocystaceae | | | | | | | | | |
| <i>Oocystis parva</i> | | + | + | + | | | | | |
| Fam. Scenedesmaceae | | | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus acutus</i> f. <i>costulatus</i> | | + | | | | | | | |
| <i>Scenedesmus arcuatus</i> | + | + | | | + | | | + | |
| <i>Scenedesmus spinosus</i> | | + | + | | | | | | |
| <i>Scenedesmus spinosus</i> var. <i>bicaudatus</i> | | | + | | | | | | + |
| Ord. OEDOGONIALES | | | | | | | | | |
| Fam. Oedogoniaceae | | | | | | | | | |
| <i>Oedogonium sociale</i> | + | + | | | | | + | + | + |
| Ord. ZYGNEMATALES | | | | | | | | | |
| Fam. Zygnemataceae | | | | | | | | | |
| Subfam. Mougeotioideae | | | | | | | | | |
| <i>Mougeotia viridis</i> | | | + | + | + | | | | + |
| Subfam. Spirogyroideae | | | | | | | | | |
| <i>Spirogyra bollandiae</i> | | | | | | | | | + |
| Fam. Desmidiaceae | | | | | | | | | |
| Subfam. Cosmarieae | | | | | | | | | |
| <i>Cosmarium undulatum</i> | | | | | | + | | | |
| <i>Staurastrum puntulatum</i> | | | | | + | | | | |
| Total | 24 | 26 | 28 | 18 | 23 | 19 | 24 | 22 | 32 |

Appendix 3. Species list of phytoplanktons at 2 sampling sites of Sacheon -stream from May to Oct. 2008

| | May 2008 | | Aug. 2008 | | Oct. 2008 | |
|---|----------|----|-----------|----|-----------|----|
| | S1 | S2 | S1 | S2 | S1 | S2 |
| Phylum CYANOPHYTA | | | | | | |
| Cl. CYANOPHYCEAE | | | | | | |
| Ord. CHROOCOCCALES | | | | | | |
| Fam. Chroococaceae | | | | | | |
| <i>Synechocysis aquatilis</i> | + | | + | | | |
| <i>Merismopedia glauca</i> | | + | | + | | |
| Ord. NOSTOCALES | | | | | | |
| Subord. NOSTOCHINEAE | | | | | | |
| Fam. Scytonemataceae | | | | | | |
| <i>Scytonema crispum</i> | | | | | + | |
| Fam. Nostocaceae | | | | | | |
| <i>Anabaena marospora</i> | + | + | | | | |
| Subord. OSCILLATORIINEAE | | | | | | |
| Fam. Oscillatoriaceae | | | | | | |
| <i>Oscillatoria limnetica</i> | + | + | | | | |
| <i>Oscillatoria limosa</i> | | + | | | | + |
| <i>Pbormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i> | + | | + | + | | |
| <i>Lyngbya birgei</i> | | + | | + | | + |
| Phylum CHRYSOPHYTA | | | | | | |
| Cl. BACILLARIOPHYCEAE | | | | | | |
| Ord. CENTRALES | | | | | | |
| Subord. COSCINODISCINEAE | | | | | | |
| Fam. Thalassiosiraceae | | | | | | |
| <i>Cyclotella meneghiniana</i> | | + | | + | | + |
| <i>Cyclotella stelligera</i> | | | + | | + | |
| <i>Thalassiosira bramaputrae</i> | | | | + | | |
| Fam. Melosiraceae | | | | | | |
| <i>Melosira varians</i> | + | | + | + | | + |
| Ord. PENNALES | | | | | | |
| Fam. Diatomaceae | | | | | | |
| <i>Fragilaria capucina</i> | | + | | + | | |
| <i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> | | | | | | + |
| <i>Fragilaria construens</i> var. <i>binodis</i> | | | + | | + | + |
| <i>Fragilaria pinnata</i> | | + | | | | |
| <i>Hannaea arcus</i> | + | | | | | |
| <i>Meridion circulare</i> | | | | + | | |
| <i>Synedra inaequalis</i> | | | | | + | |
| <i>Synedra ulna</i> | + | | + | + | | |
| <i>Tabellaria flocculosa</i> | + | | | + | | + |
| Subord. RAPHDINEAE | | | | | | |
| Fam. Eunotiaceae | | | | | | |
| <i>Eunotia arcus</i> | | | + | | + | |
| <i>Eunotia minor</i> | + | | | | | |
| Fam. Achnanthaceae | | | | | | |
| <i>Achnanthes convergens</i> | + | + | + | + | + | + |
| <i>Achnanthes exigua</i> | | + | | + | | |
| <i>Achnanthes lanceolata</i> | + | + | | | | |
| <i>Achnanthes lanceolata</i> var. <i>rostrata</i> | | | + | + | + | + |
| <i>Achnanthes minutissima</i> | + | + | | + | | |
| <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> | + | + | + | + | + | + |
| Fam. Naviculaceae | | | | | | |
| <i>Ampthora copulata</i> | | | | + | | + |
| <i>Cymbella affinis</i> | | + | | + | | |
| <i>Cymbella cuspidata</i> | | + | | | | |
| <i>Cymbella delicatula</i> | + | | | + | | |
| <i>Cymbella lacustris</i> | | | + | | | |
| <i>Cymbella mesiana</i> | | | | | + | |

Appendix 3. Continued

| | May 2008 | | Aug. 2008 | | Oct. 2008 | |
|--|----------|----|-----------|----|-----------|----|
| | S1 | S2 | S1 | S2 | S1 | S2 |
| <i>Cymbella minuta</i> | + | + | + | + | + | + |
| <i>Cymbella sinuata</i> | + | + | | | | |
| <i>Cymbella turgidula</i> | | | + | | | + |
| <i>Diploneis ovalis</i> | | + | + | | | + |
| <i>Diploneis subovalis</i> | | + | | + | | + |
| <i>Gomphonema clevei</i> | | | | + | + | + |
| <i>Gomphonema parvulum</i> | + | + | + | + | + | + |
| <i>Gomphonema quadripunctatum</i> | | | | | | + |
| <i>Gyrosigma acuminatum</i> | + | | | + | | |
| <i>Navicula bacillum</i> | | | + | | + | |
| <i>Navicula capitatoradiata</i> | | | + | + | + | + |
| <i>Navicula cryptocephala</i> | + | | + | | + | + |
| <i>Navicula cryptotenella</i> | + | + | + | + | + | |
| <i>Navicula decussis</i> | | | | | + | |
| <i>Navicula goeppertiana</i> | | | + | | | |
| <i>Navicula lanceolata</i> | | | | | + | |
| <i>Navicula pupula</i> | | | | + | | |
| <i>Navicula viridula</i> | + | + | | | | |
| <i>Navicula viridula var. rostrata</i> | | | | | + | |
| <i>Pinnularia viridis</i> | | + | | | | |
| Fam. Nitzschiaceae | | | | | | |
| <i>Bacillaria paradoxa</i> | | | | + | | + |
| <i>Hantzschia amphioxys</i> | | | | + | | |
| <i>Nitzschia amphibia</i> | | | | + | + | + |
| <i>Nitzschia clausii</i> | | | | + | | + |
| <i>Nitzschia dissipata</i> | | + | | | | |
| <i>Nitzschia frustulum</i> | | + | | | | |
| <i>Nitzschia levidensis</i> | | | | | | + |
| <i>Nitzschia palea</i> | + | + | + | + | + | + |
| Fam. Surirellaceae | | | | | | |
| <i>Surirella angusta</i> | | + | | + | | + |
| <i>Surirella minuta</i> | + | | + | | | |
| Phylum CHLOROPHYTA | | | | | | |
| Cl. CHLOROPHYCEAE | | | | | | |
| Ord. ULOPRICHALES | | | | | | |
| Fam. Ulotrichaceae | | | | | | |
| <i>Ulothrix zonata</i> | | | | | + | |
| Fam. Chaetophoraceae | | | | | | |
| <i>Chaetophora pisiformis</i> | | | + | | + | |
| Ord. CHLOROCOCCALES | | | | | | |
| Fam. Oocystaceae | | | | | | |
| <i>Ankistrodesmus facaltus</i> | + | | | | | |
| Fam. Scenedesmaceae | | | | | | |
| <i>Scenedesmus acutus f. costulatus</i> | | + | | | | |
| <i>Scenedesmus arcuatus</i> | | + | | | | + |
| <i>Scenedesmus arcuatus var. capitatus</i> | + | | | | | |
| Ord. OEDOGONIALES | | | | | | |
| Fam. Oedogoniaceae | | | | | | |
| <i>Oedogonium sociale</i> | | | | + | | + |
| Ord. ZYGNEMATALES | | | | | | |
| Fam. Zygnemataceae | | | | | | |
| Subfam. Mougeotioideae | | | | | | |
| <i>Mougeotia viridis</i> | | + | | + | | + |
| Subfam. Spirogyroideae | | | | | | |
| <i>Spirogyra nova-angliae</i> | + | | | | | |
| Total | 25 | 30 | 23 | 34 | 23 | 29 |