

소하천 수질평가를 위한 부착생물 조사

신재기* · 조경제**

한국수자원공사 수자원연구소*, 인제대학교 환경시스템학부**

Periphyton Survey for the Evaluation of Water Quality in a Small Stream before the Construction of an Artificial Lake

Shin, Jae-Ki* · Cho, Kyung-Je**

Water Resources Research Institute, KOWACO, Taejon 305-390, Korea*

Division of Environmental Science and Engineering, Inje University, Kimhae 621-749, Korea**

Abstract

The dynamics of physico-chemical factors and biomass of epilithic attached algae was determined by bimonthly sampling in the Kyecheon and Yudongchon situated in the upper part of Som River from March 1998 to February 1999. Among environmental factors, average of NH_4 , NO_3 , SRP and SRSi concentration ranged 8.9~86.6 $\mu\text{g N/l}$, 663.9~2,018.1 $\mu\text{g N/l}$, 0~15.0 $\mu\text{g P/l}$ and 1.6~2.6 mg Si/l, respectively. The contents of chlorophyll-a and organic matter per unit area, which ranged from 21.1 to 231.8 mg/m^2 and ranged from 5.2 to 52.6 g/m^2 , respectively, showed very high in the spatial and temporal variations. Both were high in February and May and low in March seasonally. The fluctuation of epilithic biomass related the concentration of NH_4 , SRP and current velocity. In relationship between biomass and current velocity, >200 and 100~200 mg chl-a/m^2 corresponded to <0.2 and <0.8 m/s, respectively. The evaluation of water quality with chl-a and organic matter of periphyton resulted on over eutrophic condition. Periphytic algae in a small stream were more effective as indicator of water quality than planktonic algae. More researches on periphytic algae in relation to water quality evaluation are needed.

Keyword: Ash-free dry matter(AFDM), Chlorophyll-a, Current velocity, Epilithon, Inorganic nutrient, Water quality assessment

I. 서론

소하천(계류)은 호소화됨에 따라 수표면적, 수심 및 정체성의 증가 등 수문학적 조건을 포함한 지형학적 변화를 수반하게 되어 유수에서 정수생태계로 전환되는 과정을 겪게된다. 이러한 과정은 생태계의 구조와 기능적 측면에서 서식환경의 차이를 초래할 뿐만 아니라 담수 후 춘계~추계의 성층화, 하계의 탁수유입 및 상·하류간의 영양염 농도 등 계절에 따른 이화학적 수환경 특성의 뚜렷한 차이를 보이게 된다.¹⁾ 또한 우리나라의 경우 호소는 유역에 산재된 오염원의 대책 수립이 미흡하여 담수 후 수질의 오염도가 날로 증가하여 오염양상은 구조류(가을~봄철)와 남조류(여름철)를 비롯한 식물플랑크톤의 발생량 또는 그 수준과 밀접한 관련성을 보이고 있다.^{2,3)}

인공호는 생활, 발전 및 하천유지 등 각종 용수를 포함한 수자원의 효율적인 다목적 이용을 위하여 개발되고 있다. 이러한 호소는 하천의 중·상류부에 댐을 축조하여 형성됨으로 인해 호소의 형태와 수자원 이용의 구조적 문제점 및 유역의 제반조건에 따라 수질오염의 전개양상이 다양하게 나타나고 있다. 현재까지는 수자원의 양적인 확보를 위하여 수량에 치중되어 왔으나 호소의 부영양화를 비롯한 환경문제가 심화됨으로 인해 최근 들어 다각적인 수질관리에 대한 많은 노력이 기울여지고 있다. 담수 후 수질의 점진적인 악화는 여러 경우로 볼 수 있으나 강우의 계절적 편중에 의한 자연적인 요인과 점 또는 비점오염원의 영향이 큰 비중을 차지하고 있으며 특히 최근에는 환경기초시설을 지속적으로 확충함에도 불구하고 수질 향상에 대한 기대효과는 매우 부족한 것으로 나타나고 있다.²⁾

계류는 수심이 얇고 어느정도 유속을 유지하는 서식환경으로서 부착생물의 미소생태계가 잘 발달되어 있다. 부착생물 중 다양한 기질에 부착하여 생물막을 형성하는 부착조류는 수중생태계에

서 식물플랑크톤 및 수생식물과 더불어 주요한 유기물 생산자로서 먹이연쇄의 기반을 이루고 있어 하천의 물질대사 측면에서 그 기여도가 크다.^{4,8,16)} 부착조류 중에서 하천의 돌부착조류는 광합성의 광포화점이 높아 고광에도 잘 적응하는 생리생태적 특성을 보일 뿐만 아니라 수온, 초식생물(저서동물, 수서곤충, 어류 등)의 섭식, 기질의 종류, 유속 및 유량 등에 의해 생물량 증감의 계절적인 특성이 뚜렷하다.^{10,17)} 이러한 환경요인에 대해 안정된 조건이라면 생장에 요구되는 수중 영양염의 이용도가 커 그 농도에 의한 영향이 생물량 유지에 지배적일 수 있다.^{13,14,19)} 또한 부착조류는 수환경의 이화학적 변화에 대해 민감한 특성을 보이면서 기질에 장기간 부착함으로써 수질오염의 지표생물로 가치가 높아 육수생태학에서 하천의 건강성을 평가하는데 널리 활용되고 있다.^{7,12,23,26)}

국내의 경우, 인공호 개발 전·후에 실시된 기존의 환경영향평가 중 생태계 조사에서 담수조류의 종조성과 분포 등 현황 파악에만 치중되었을 뿐 수질을 포함한 수환경 예측의 환경생태학적 접근방식은 매우 미흡하였다. 따라서 본 연구는 인공호 건설 전에 부착조류 중심으로 수환경을 평가함에 있어 이화학적 결과와 상호 관련성을 파악하여 유용한 생물학적 기초자료로 이용될 것으로 기대하며 담수 후 호소의 수질오염 전개양상을 추정할 수 있는 생태학적 지표로 활용하고자 하였다.

II. 연구방법

계천과 유동천은 강원도 횡성군 갑천면, 청일면을 통과하는 하천이며 남한강 지류인 섬강의 상류부에 해당한다(Fig. 1). 하천의 경사는 완만하고 하상은 돌과 자갈로 덮였으며 부착조류가 번무하는 전형적인 소하천이다. 조사지점의 유형은 건기와 우기에 따라 큰 차이를 보이지만 유수 폭이 12

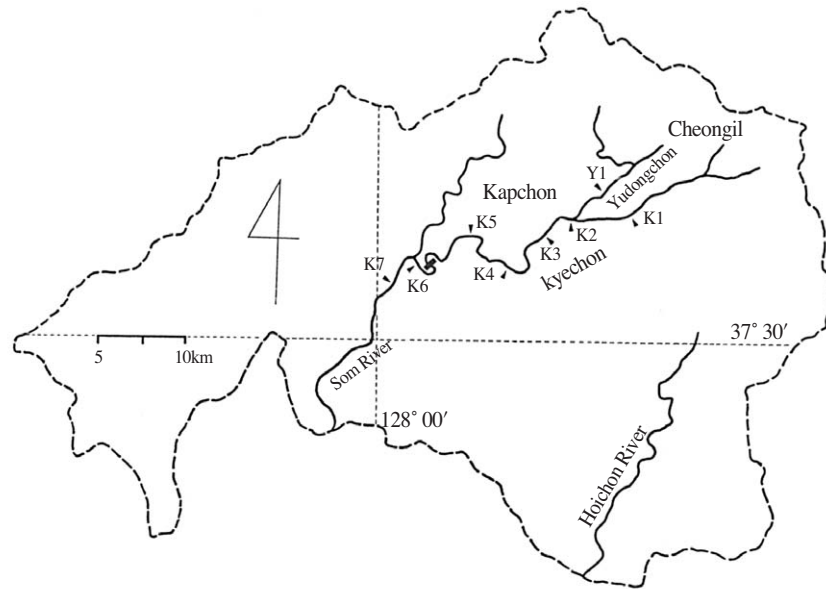


Fig. 1. Map Showing sampling stations for water quality and periphytic algae in the Kyecheon and Yudongcheon from March 1998 to February 1999. Black bar indicates Hoengsong multipurpose dam. Three stations will be included in the reservoir by impounding of water from 2000s.

~34 m, 깊이가 14~54 cm범위인 평지로서 여름철 우기를 제외하고는 비교적 유량이 적은 곳으로 우리나라에서 흔히 볼 수 있는 소하천이다.

본 연구는 담수조류 중 하상에 깔려있는 돌을 기질로 하여 서식하는 부착조류(epilithon)의 생물량, 수중 영양염(N·P·Si) 및 수문인자를 중심으로 이루어졌다. 조사지점은 계천의 상·하류에서 7개, 유동천에서 1개로 총 8개 지점으로 하였고 조사주기는 격월간격으로 하였다. 조사일시와 횟수는 1998년 3월 27일, 5월 29일, 7월 30일, 9월 9일, 11월 27일 및 1999년 2월 7일로서 총 6회였다.

수질은 Rump and Krist⁽²⁾와 APHA⁽⁵⁾의 방법에 따라 분석하였고 부착조류 시료는 유속측정 지점 주변에서 반듯한 3~5개의 돌 상부표면을 치솔로 깨끗이 긁어내어 정용하였다. 정용한 시료는 chl-a과 유기물(ash-free dry matter, AFDM) 함량을 정량하는데 사용하였고 일부는 Lugol 용액으로 고정하여 조류를 검경하는데 사용하였다. Chl-a는

시료를 유리섬유여과지(Whatman GF/C)로 여과한 후 chl-a와 불활성 색소를 동시에 측정할 수 있는 Lorenzen⁽⁸⁾의 방법으로 정량하였다. AFDM은 550°C 전기로에서 2시간 태웠을 때 그 감량으로 계산하였다.⁽⁵⁾ 조류현존량은 단위면적(m²)당 chl-a 함량으로 총생물량을, AFDM으로 유기물량을 추정하였다. 부착조류 조사와 동시에 하천에서 수온과 DO(YSI 57 meter), pH(Orion 230A), 전기전도도(Conduktometer LF191, WIW), 유속(Valeport 104, U.K.) 및 유량 등을 측정 기록하였다. 규조류를 검경하기 위하여 산(HNO₃, K₂Cr₂O₇)처리 후 Pleurax 봉입제로 영구표본을 만들어 동정하였다.⁽⁵⁾ 규조류는 시료당 500~1,000개체를 2회 계수 후 평균값을 이용하여 종별 상대도수를 백분율로 산출하였다. 남조류와 녹조류 등은 다른 전처리 없이 현미경으로 검경하였는데, 점액질 또는 유기물과 섞여있어 정량 관찰이 어려워 출현종을 관찰하는데 그쳤다. 규조류는

Jensen¹⁵⁾을, 규조류 이외 다른 분류군은 Hirose, et al.¹¹⁾문헌을 참고하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 수질환경

계천과 유동천 상하류에서 부착조류를 조사할 때 시공간적 수질환경을 요약하여 나타낸 것은 Table 1 및 Fig. 2와 같다. 수온은 평균값이 17~25.7°C범위로 2월에 낮았고 7월에 가장 높았다. DO는 평균값이 8.4~17.1 mg O₂/l범위였고 수온과 역상관관계로 대부분 포화수준을 보였다. pH는 각 정점별 큰 차이는 없었고 상류에서 하류로 갈수록 다소 감소하는 경향을 보였다. 이때 평균값은 6.4~8.4이었고 7월과 11월에 높았다. 전기전도도는 평균값이 93~115 μS/cm범위로 평균은 102

μS/cm였고 5월에 조금 컸다. TN은 5월에 3.3 mg N/l로 가장 높았고 9월에 1.7 mg N/l로 가장 낮았으며 연평균값은 2.5mg N/l수준이었다. NH₄와 NO₃의 평균농도 범위는 각각 8.9~86.6 μg N/l, 664~2,018 μg N/l였으며 NH₄는 5월에 NO₃는 3월에 높았다(Table 1). TP와 SRP(soluble reactive phosphorus)의 평균농도 범위는 9.3~231 μg P/l, <0.1~15.0 μg P/l로서 TP는 TN이 높은 5월에 높았고 SRP는 9월에 가장 높았다(Fig. 2). 5월에 NH₄가 높았던 것은 춘계 강우에 의한 주변 오염원으로부터 유출된 것으로 추정되었고 반면에 SRP는 유량이 많은 시기인 9월에 다소 높았는데 주된 요인은 토양이 유실되어 유입된 영향으로 볼 수 있었다. SRSi(soluble reactive silicon)는 평균농도로 볼 때 1.58~2.63 mg Si/l범위로서 5월에 가장 낮았으며 다른 시기에는 2.0 mg Si/l이상이었다. 결과적으로 무기영양염 중 NO₃와 SRSi는 연중 풍부

Table 1. Seasonal variation of environmental parameters in the Kyecheon and Yudongchon from March 1998 to February 1999. Values shown are average and standard deviation of each parameter.

Parameters\Seasons	1998					1999
	March	May	July	September	November	February
Water temperature(°C)	8.3±1.3	22.1±0.8	25.7±2.0	22.9±1.9	5.0±0.7	1.7±0.6
Dissolved oxygen(mg O ₂ /l)	9.7±1.4	8.4±0.6	10.4±0.4	9.2±0.3	17.1±3.6	16.4±0.6
pH	6.3±0.4	7.8±0.7	8.1±0.4	7.4±0.3	8.4±0.3	7.5±0.2
Conductivity(μS/cm)	-	115±10.4	93.5±5.1	96.6±5.1	92.8±9.9	98.3±13.6
Epilithic algal chl-a(mg/m ²)	21.1±12.3	101.3±68.2	46.3±14.9	77.0±29.4	84.1±58.1	231.8±364.9
Pheo-pigment(mg/m ²)	7.4±5.1	22.6±17.0	41.7±18.2	56.0±37.3	29.1±19.3	51.3±72.6
Phytoplanktonic chl-a(μg/l)	-	2.5±1.1	0.4±0.2	1.8±0.1	0.6±0.3	0.2±0.1
Ash-free dry matter(g/m ²)	5.2±2.0	22.9±14.0	13.7±3.7	17.3±2.3	29.3±17.8	52.6±65.7
Total nitrogen(μg N/l)	2,302.1±239.5	3,366.0±324.5	-	1,683.0±373.2	2,152.3±387.7	2,845.0±666.8
Ammonium(μg N/l)	9.8±6.8	86.6±40.8	26.4±5.3	23.3±5.0	27.7±8.2	8.9±0.6
Nitrate(μg N/l)	2,018.1±146.1	1,310.8±77.8	845.1±47.6	663.9±73.8	1,009.3±69.8	1,067.2±88.7
Total phosphorus(μg P/l)	50.1±10.9	231.8±14.1	-	25.4±6.6	9.3±2.3	13.7±3.4
SRP(μg P/l)	<0.1	4.8±2.1	13.1±1.1	15.0±1.8	5.6±1.4	5.6±1.4
SRSi(mg Si/l)	-	1.58±0.22	2.51±0.24	2.63±0.23	2.31±0.23	2.00±0.26
BOD(mg O ₂ /l)	0.42±0.28	0.56±0.20	-	0.84±0.43	-	-
COD(mg O ₂ /l)	1.29±0.10	1.68±0.28	-	1.41±0.18	-	-
Depth of water(m)	-	0.20±0.05	0.22±0.05	0.27±0.03	0.19±0.02	0.15±0.03
Water current(m/s)	-	0.35±0.16	0.61±0.24	0.64±0.28	0.51±0.21	0.38±0.22
Discharge(m ³ /s)	-	1.21±0.89	3.18±2.90	3.17±1.59	1.45±0.59	0.70±0.41

하여 결핍현상은 관찰되지 않았고 반면에 NH₄는 정점간에 차이가 컸으나 SRP는 계절적인 차이가 매우 컸다. BOD와 COD 평균농도는 각각 1.0 mg O₂/l, 2.0 mg O₂/l이하였다. 평균 수심은 0.15~0.27 m로 하계에 다소 깊었고 동계에 얕았으며 그 차

이는 0.12 m였다. 시기별 평균유속은 0.35~0.64 m/s범위로서 9월에 가장 빨랐고 2월에 가장 느렸다. 유량은 0.29~9.09 m³/s범위였고 7월과 9월에 평균유량이 각각 3.18 m³/s와 3.17 m³/s로 다른 시기에 비해 풍부하여 계절적 영향이 관찰되었다.

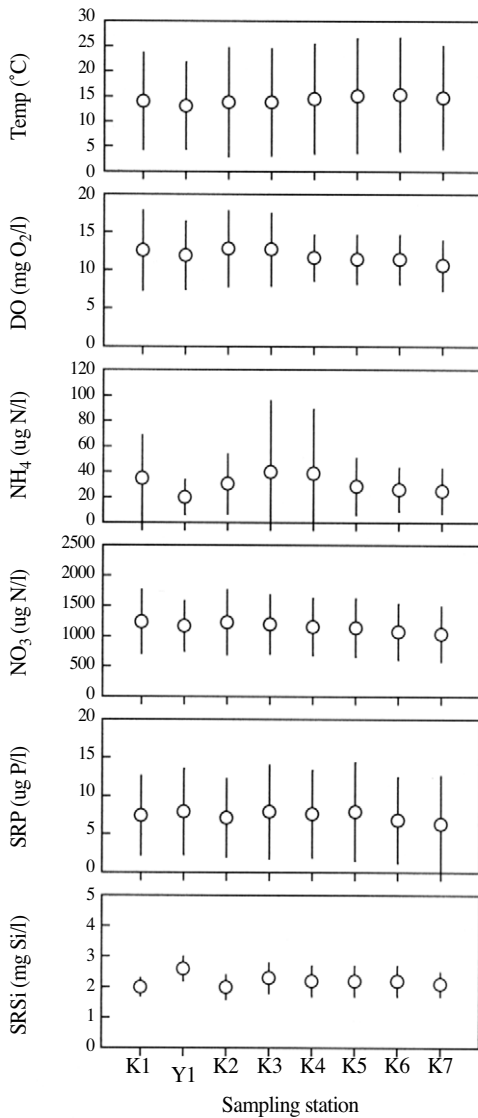


Fig. 2. Spatial distribution of major physico-chemical factors in the Kyecheon and Yudongchon from March 1998 to February 1999. Vertical bars indicate standard deviation of six samplings.

2. Chl-a 및 유기물 함량

부착조류 단위면적당(m²) 생물량 변동은 공간적 또는 계절적(4~1,100 mg chl-a범위)으로 차이가 매우 컸다. 계절별 평균값은 21.1~231.8 mg chl-a/m²범위였고 5월과 9월에 높았다(Table 1, Fig. 3). 조사 정점간 비교에서는 K1, K2 및 K5가 98년 5월과 99년 2월에 높았는데 K1과 K2는 사상체 녹조류 *Ulothrix* sp.가 K5에서는 규조류 *Cymbella affinis*, *C. tumida*가 기질표면에 최대 1.5 cm정도 두껍게 조류막을 형성하여 번무하였던

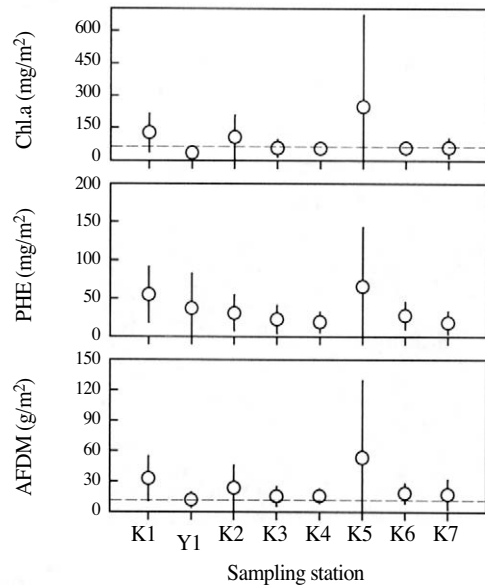


Fig. 3. Spatial distribution of chlorophyll-a, pheo-pigment (PHE) and ash-free dry matter(AFDM) content of epilithic algae in the Kyecheon and Yudongchon from March 1998 to February 1999. Vertical bars indicate standard deviation of six samplings.

시기에 해당한다. 따라서 이들 조류는 다른시기에는 관찰되지 않거나 그 빈도가 낮아 냉온성 조류로 볼 수 있었다.²⁾ 부착조류 생물량은 NH₄의 농도가 높은 K3~K4의 하류에 위치한 K5에서 현저한 증가를 보였는데(Figs. 2, 3), K5는 담수 후 유속이 급감하는 지점으로 볼 수 있어 현 시점에 부착조류의 생물량이 월등히 증가하는 결과로 비추어 볼 때 다른 지점보다도 이 부근에서 담수조류의 발생량이 많아질 것으로 예상된다.

작열감량으로 본 유기물 함량은 평균이 52~52.6 g AFDM/m²범위로 연평균값은 23.5 g AFDM/m²였다(Table 1). 부착조류의 유기물 함량은 조류에 의한 것외에도 미생물과 저서생물 등 다른 성분에서 유래하는 그 양을 많이 포함하고 있으나 색소함량과 그 경향이 유사한 것으로 나타났으며 불활성 색소가 많은 경우에 그 수치가 더욱 컸다.

3. 주요 종조성

조사기간 중 부착성 미세조류 군집은 각 조사

시기마다 규조류가 대부분을 차지했고 남조류와 녹조류는 규조류에 비해 관찰빈도가 높지 않았다. 부착조류의 우점 기준은 규조류의 경우 상대 빈도 5%이상, 다른 분류군은 관찰표본(slide)에서 1/2이상 차지하는 것으로 보았으며 이 기준에 의해 정리한 것은 Table 2와 같다. 전 조사기간에 절대 우점하여 관찰된 규조류는 *Achnanthes*, *Cymbella*, *Gomphonema* 및 *Navicula*의 4속으로 구성되었으며 대부분 이들 규조류가 계절적으로 계천과 유동천의 유수생태계에서 우점종으로 분류되었다. *Achnanthes*속 규조류 중 *A. linearis*와 *A. minutissima*는 매년 조사시기마다 가장 풍부하였고 그 외 *A. altergracillima*, *A. convergens* 및 *A. hungarica*는 3월에 우점하였으며 다른 시기에는 중요종으로 볼 수가 없었다. *Cymbella*속 규조류는 9월~11월 및 2월에 많은 양이 관찰되었고 그 대표종으로는 *C. affinis*, *C. sinuata*, *C. ventricosa* 및 *C. tumida* 였으며 *C. ventricosa*는 9월에, *C. affinis*와 *C. tumida*는 2월에 더욱 많은 양이 관찰되었다. *Gomphonema*속은 3월에 *G. olivaceum* var. *minutissima*가, 9월에 *G. parvulum*이 각각 풍부하

Table 2. Dominant attached algal flora at each seasons in the Kyecheon and Yudongchon from March 1998 to February 1999.

Dominant species\Seasons	March 98	May 98	July 98	September 98	November 98	February 99
<i>Achnanthes altergracillima</i>	+					
<i>Ach. convergens</i>	+					
<i>Ach. hungarica</i>	+					
<i>Ach. linearis</i>	++	++	++	+	++	+
<i>Ach. minutissima</i>	++	++	++	++	++	+
<i>Cymbella affinis</i>		+	+		+	++
<i>Cym. tumida</i>					+	++
<i>Cym. sinuata</i>		+	+	+		
<i>Cym. ventricosa</i>		+	+	++		
<i>Gomphonema olivaceum</i>	+					
var. <i>minutissima</i>						
<i>Gom. parvulum</i>				+		
<i>Navicula protracta</i>	++					
<i>Nav. rhyncocephala</i>		+				
<i>Ulothrix sp.</i>						++

++: Predominant, +: Dominant.

였다. *Navicula*속은 *N. protracta*와 *N. rhyncocephala* 2종이었으며 *N. rhyncocephala*는 5월에 많았고 *N. protracta*는 3월에 *Achnanthes linearis*, *A. minutissima*와 함께 가장 우점한 것으로 조사되었다. 99년 2월에 K1~K2구간에서 사상체 녹조류 *Ulothrix sp.*가 대량 번무하여 하천을 덮었고 사상체의 최장길이는 0.8 m에 달하였다.

4. 수문인자

부착조류 생물량 변동은 수온, 일사량, 영양염, 기질 종류 및 섭식 등 다양한 환경요인에 노출되어 그 영향을 직·간접적으로 받는다.^{9,21,24,27} 또한 수문학적 측면으로 보면 건기와 우기에 따른 유량의 변동 폭이 매우 커 부착조류 생물량도 차이가 크며 특히 유속의 분포에 따라 더욱 뚜렷하다.^{19,20,25} 본 연구는 지역을 달리하여 하천의 상·하류에서 계절에 따른 생물량과 수문인자간의 상호 관련성을 파악하고자 총 48회 조사하였다. 부착조류 생물량과 유속 및 유량간의 분포를 나타낸 것은 Fig. 4, 5와 같다. 유속이 느리고 유량이 상대적으로 빈약할 때 chl-a 생물량은 많았고 불

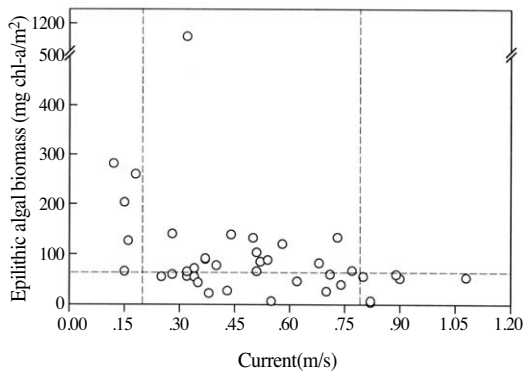


Fig. 4. Relationship between epilithic algal biomass and current velocity in the Kyecheon and Yudongchon from March 1998 to February 1999. The vertical and horizontal lines indicate 0.2 m/s(left), 0.8 m/s(right) and 84 mg chl-a/m², respectively.

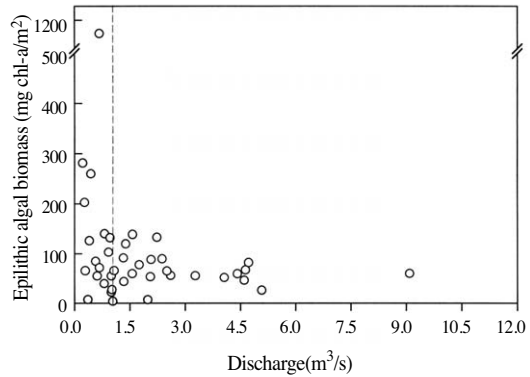


Fig. 5. Relationship between epilithic algal biomass and discharge in the Kyecheon and Yudongchon from March 1998 to February 1999. Dotted line indicates 1.0 m³/s.

활성 색소량은 적은 것으로 조사되었다(Figs. 4, 5). 부착조류 생물량은 유량보다도 유속에 관련성이 더 컸다. 99년 2월의 경우를 제외하고는 전체 평균농도가 94 mg chl-a/m²으로 볼 때 그 이상인 100~200 mg chl-a/m²(15%), >200 mg chl-a/m²(6%) 경우 유속이 각각 < 0.8 m/s, < 0.2 m/s에 해당하였다(Fig. 4). 계천 및 유동천과 같은 수심이 얇은 소하천에서 부착조류 생물량은 다른 환경요인과 함께 유속이 중요한 요인으로 작용할 것으로 판단된다.

5. 수질평가

부착조류를 조사한 결과로서 생물량을 중심으로 수질을 평가해 보았다. Chl-a가 1.7, 21.0 및 84.0 mg/m², AFDM이 1.5, 4.8 및 15 g/m²을 각각 빈영양, 중영양 및 부영양 상태로 구분하는 기준⁶)을 적용할 때 계천의 경우 평균값이 각각 93.6 mg chl-a/m²과 23.5 g AFDM/m²으로서 부영양을 훨씬 초과한 것으로 나타났다(Table 3). 반면에 부유성 chl-a의 평균농도는 1.1 g/l(0.2~2.5 g/l 범위)로서 연중 빈영양에 해당하여 현저하게 상반되는 결과를 보였다(Table 1). 따라서 댐 건설전 수심이 얇은 유수생태계의 수질을 평가함에 있어

Table 3. The Assessment of water quality status by epilithon survey in a small stream.

Water status\Factors	Chl-a	AFDM	Conductivity
	(mg/m ²)	(g/m ²)	(μ S/cm)
Unenriched	1.7 (0.5~3)	1.5	87
Moderately enriched	21.0 (3~60)	4.8	106
Enriched	84.0 (25~260)	15	271
Kyechon(this study)	93.6 (4.2~1,106)	23.5	99

부유성보다는 부착성 조류를 조사하는 것이 당시의 수환경 진단뿐만 아니라 담수 후 수질을 예측하고 평가함에 있어 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 본다.

IV. 결론

계천·유동천(섬강 상류)에서 98년 3월부터 99년 2월에 걸쳐 격월 간격으로 유속 및 유량을 포함한 이화학 요인과 부착조류의 생물량 변동을 조사하였다. 환경요인 중 NH₄, NO₃, SRP 및 SRSi의 평균농도는 각각 8.9~86.6 g N/l, 663.9~2,018.1 g N/l, 0~15.0 g P/l 및 1.6~2.6 mg Si/l 범위였다. 부착조류 생물량과 유기물의 단위면적당 함량은 각각 21.1~231.8 mg chl-a/m², 5.2~52.6 g AFDM/m² 범위로서 시공간적 변동 폭이 매우 컸으며 계절적으로는 2월과 5월에 높았고 3월에 가장 낮았다. 부착조류의 생물량의 증감은 NH₄와 SRP 영양염의 농도 및 유속과 관련성이 컸다. 생물량 및 유속 분포로부터 >200 mg chl-a/m², 100~200 mg chl-a/m²의 경우 각각 <0.2 m/s, <0.8 m/s에 해당하였다. Chl-a와 유기물 함량으로 본 수질평가에서 부영양 상태를 초과한 것으로 평가되었다. 소하천에서 부착성 조류는 부유성 조류보다 수질을 평가함에 있어 더욱 효과적이었으며 향후 이에 대한 환경생태학적 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 본다.

참고문헌

1. 신재기, 1998, 황성 다목적댐 건설 사후 환경 영향조사 보고서-생태계부문, 한국수자원공사, pp. 29-54.
2. 신재기, 조경제, 오인혜, 1999, 대청호에서 수환경 요인과 담수조류의 변동, 한국환경생물학회지 17: 529-541.
3. 조경제, 신재기, 광승국, 이옥희, 1998, 담수산 *Stephanodiscus*속 규조류의 오염지표성 평가, 한국육수학회지 31: 204-210.
4. Allan, J.D., 1995, Stream Ecology-Structure and function of running waters, Chapman and Hall, pp. 83-108.
5. APHA, 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater, 16th edition, American Public Health Association, Washington, D.C.
6. Biggs, B.J.F., 1995, The contribution of disturbance, catchment geology and land use to the habitat template of periphyton in stream ecosystems, Freshwater Biol., 22: 209-231.
7. Bold, H.C. and M.J. Wynne, 1985, Introduction to the algae, 2nd ed., Prentice-Hall Inc. New Jersey, 720pp.
8. Bott, T.L., 1983, Primary productivity in streams, In: Barnes, J.R. and G.W. Minshall (eds.) Stream Ecology, Plenum, New York, pp. 29-53.
9. Dodds, W.K., R.E. Huston, A.C. Eichen, M.A. Evans, D.A. Gudder, K.M. Fritz and L. Gray, 1996, The relationship of floods drying, flow and light to primary production and producer biomass in a prairie stream, Hydrobiologia 333: 151-159.
10. Hili, W.R., M.G. Ryon and E.M. Schilling, 1995,

- Light limitation in a stream ecosystem : Responses by primary producers and consumers, *Ecology* 76: 1297-1309.
11. Hirose, H., M. Akiyama, T. Iriya, K. Imahori, H. Kasaki, S. Kumana, H. Kobayashii, E. Takahashi, K. Tsumura, M. Hirano and T. Yamagishi, 1977, Illustrations of the Japanese freshwater algae, Uchidarokakuho Publ. Co. Ltd, Tokyo, 927pp.
 12. Home, A.J. and C.R. Goldman, 1994, *Limnology*, 2th ed., McGRAW-Hill, pp. 226-264.
 13. Horner, R.R. and E.B. Welch, 1981, Stream periphyton development in relation to current velocity and nutrients, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 449-457.
 14. Horner, R.R., E.B. Welch and R.B. Veenstra, 1983, Development of nuisance periphytic algae in laboratory streams in relation to enrichment and velocity, In: Wetzel, R.G.(ed.) *Periphyton of Freshwater Ecosystem*, Dr W. Junk Publishers, The Hague, pp. 121-134.
 15. Jensen, N.G., 1984, The pennate diatoms: A translation of Hustedt's "Die Kieselalgen, 2. Teil" published by Jensen, N.G. Strauss & Cramer GmbH, 918pp.
 16. Lamberti, G.A., 1993, Grazing experiments in artificial streams, *J. N. Am. Benthol. Soc.* 12: 337-343.
 17. Lamberti, G.A. and A.D. Steinman, 1997, A comparison primary production in stream ecosystems, *J. N. Am. Benthol. Soc.* 16: 95-104.
 18. Lorenzen, C.J., 1967, Determination of chlorophyll and pheo-pigments : Spectrophotometric equations, *Limnol. Oceanogr.* 12: 343-346.
 19. McIntire, C.D., 1966, Some effects of current velocity on periphyton communities in laboratory streams, *Hydrobiologia* 27: 559-570.
 20. Murphy, M.L. and J.D. Hall, 1981, Varied effects of clear-cut logging on predators and their habitat in small streams of the Cascade Mountains, Oregon, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 137-145.
 21. Roos, P.J., 1983, Dynamics of periphytic communities, In: Wetzel, R.G. (ed.) *Periphyton of Freshwater Ecosystem*, Dr W. Junk Publishers, The Hague, pp. 5-10.
 22. Rump, H.H. and H. Krist, 1988, *Laboratory manual for the examination of water, wastewater, and soil*, VCH Verlagsgesellschaft, Publ, New York, NY(USA), 190pp.
 23. Sand-Jensen, K., 1983, Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities, In: Wetzel, R.G. (ed.) *Periphyton of Freshwater Ecosystem*, Dr W. Junk Publishers, The Hague, pp. 64-71.
 24. Tait, C.K., J.L. Li, G.A. Lamberti, T.N. Pearsons and H.W. Li, 1994, Relationships between riparian cover and the community structure of high desert stream, *J. N. Am. Benthol. Soc.* 13: 45-56.
 25. Traaen, T.S. and E.-A. Lindstrom, 1983, Influence of current velocity on periphyton distribution, In: Wetzel, R.G. (ed.) *Periphyton of Freshwater Ecosystem*, Dr W. Junk Publishers, The Hague, pp. 97-99.
 26. Watanabe, T. and K. Asai, 1990, Numerical simulation using diatom assemblage of organic pollution in streama and lakes. *Rev. Inquiry and Research* 52: 99-139.
 27. Whitton, B.A., 1975, *River Ecology*, Univ. of California Press, Berkeley CA., pp. 81-105.