

연구논문

한강수계 상위고도 하천의 저온성 및 산악성 부착조류군집

김용진 · 공동수 · 이옥민

경기대학교 생물학과

(2011년 11월 14일 접수, 2012년 1월 31일 승인)

The Community of Cryophilic and Mountain Periphyton at High Altitude Streams in the Han-river System

Yong-jin Kim · Dong-Soo Kong · Ok-min Lee

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

(Manuscript received 14 November 2011; accepted January 31 2012)

Abstract

The community of periphyton was studied at high altitude streams of the Han-river System, including Buk-stream and Hangae-stream from October to November 2010. The study had special emphasis on the distribution of the cryophilic and mountain periphyton. In this research, 117 taxa of periphyton appeared and 80 taxa of diatom were included within these periphytons. Saproxenous taxa, such as *Achnanthes convergens* and *Hannaea arcus* var. *subarcus* were appeared in most sites, 7 sites were dominant by filamentous taxa in green and blue green algae. The DAIPo value was from 48.8 to 92.5 for the water system of this research. Most sites showed a good water quality, receiving a B class or above except the Woljeong-stream and the Daeki-stream. Cryophilic and mountain periphyton appeared 9 taxa which composed by diatoms *Cymbella affinis*, *Cymbella tumida*, *Diatoma mesodon*, *Diatoma vulgare*, *Eunotia pectinalis*, *Hannaea arcus*, *Hannaea arcus* var. *subarcus* and *Synedra inaequalis* and green algae *Ulothrix zonata*. Among these taxa, *Hannaea arcus* var. *subarcus*, found in 29 out of 33 sites, had the highest frequency of appearance. The relative frequency of *Hannaea arcus* var. *subarcus* was positively correlated with altitude($r^2=0.539$) and negatively correlated with water temperature($r^2=0.338$). As a result, *Hannaea arcus* var. *subarcus* showed the characteristics of cryophilic and mountain periphyton in the research site.

Keywords : Cryophilic and mountain algae, High Altitude Streams, Periphyton

1. 서론

담수의 부착조류는 하천과 호소의 얇은 곳에서 돌이나 식물 등에 부착해서 서식하는 단세포, 군체 또는 사상성 조류를 말한다(Graham *et al.*, 2009). 부착조류는 식물플랑크톤과 함께 수중생태계의 1차 생산자로서 중요한 역할을 하며, 기질에 장기간 부착하여 성장함으로써 수질변화나 오염을 나타내는 지표로 이용되며 생물학적 판정재료로서 가치가 높다(Descy, 1979; Watanabe *et al.*, 1990). 이들은 서식지의 교란 후에도 다른 생물군에 비해 회복이 빠르고, 수온, 초식생물의 섭식, 기질종류, 영양염, 유속 및 유량 등에 의한 생물량의 변화가 뚜렷하다(Allan, 1995).

최근 지구온난화로 대변되는 기후변화는 지구상의 전체 생태계에 직·간접적인 영향을 미치고 있으며, 수생태계는 이러한 변화와 직접적으로 관련이 있는 것으로 나타난다(Ferrari *et al.*, 2007; Komatsu *et al.*, 2007). 부착조류는 이러한 기후변화와 관련해 하천생태계의 좋은 지표생물로 연구되고 있으며, 국외의 사례로 캐나다의 극지방에 위치한 소피아하천에서 온도에 따른 부착구조의 군집 변화에 대한 연구(Antoniades and Douglas, 2002), 사상성 부착 녹조류인 *Zygnema*와 자외선량의 증가에 대한 연구(Holzinger *et al.*, 2009), 폴란드의 상위고도 수계의 부착조류 군집변화(Kownacki *et al.*, 2006) 등의 연구가 있다.

국내의 경우 기후변화와 관련된 하천의 생물연구 및 기후변화에 취약한 상위고도 수계에 대한 연구는 어류(정남일 등, 2011)와 저서성대형무척추동물(정근, 2008; 손세환 등, 2011)에서 일부 연구되었다. 부착조류의 경우 이와 관련된 직접적인 연구가 거의 이루어지지 않았으며, 기후변화에 따른 탁수 증가와 관련된 연구(윤성애 등, 2011) 등이 있다. 또한 상위고도 수계에 대한 연구는 각 하천의 상류정점이 일부 포함될 뿐 상위고도 수계를 대상으로 부착조류군집, 수온변화에 따른 군집변화 등에 관한 연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 한강 상류지역 상위고도

하천의 부착조류의 군집과 저온성 조류의 분포를 밝히고, 강원도 인제군에 위치한 한계천과 북천의 고도에 따른 부착조류 군집변화에 대하여 연구하였다. 이를 통하여 기온변화에 민감한 저온성 조류를 파악함으로써 담수생태에서 기후변화에 대한 생물 모니터링의 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 조사지점 및 조사기간

본 연구는 한강수계의 상위고도 하천 19개 정점과 설악산에서 발원하여 북한강으로 유입되는 한계천과 북천을 약 100m 고도 간격으로 14개 정점을 포함한 총 33개 정점을 대상으로 2010년 10월부터 11월 까지 조사하였다(Fig. 1-2).

상위고도 하천 중 17개 정점은 강원도(S2: 인제군 남면 금부리-우각천, S3: 홍천군 내면 명개리-개방천, S4: 홍천군 내면 명개리-내린천, S5: 인제군 기린면 진동리-방태천, S6: 평창군 진부면 척천리-척천, S7: 평창군 진부면 월정리-오대천, S8: 평창군 진부면 유천리-월정천, S9: 평창군 대관령명 황계리-송천, S10: 평창군 용평면 노동리-속사천, S11: 강릉시 왕산면 대기리-대기천, S12: 평창군 진부면 봉산리-봉산천, S13: 평창군 용평면 도사리-도사천, S14 삼척시 하장면 중봉리-당곡천, S15: 정선군 동면 호촌리-어천, S16: 정선군 사북읍 고한리-지장천, S17: 영월군 상동읍 구래리-옥동천)에 위치한 하천으로 해발고도 500m 이상의 정점을 대상으로 하였으며, 경기도(S1: 가평군 북면 화악리-화악천)와 충청도(S18: 제천시 덕산면 월악리-광천, S19: 단양군 대강면 올산리-올산천)에 위치한 해발고도 200~600m의 범위에 속하는 하천의 상류정점을 대상으로 조사하였다(Fig. 1).

북천은 설악산의 가야동계곡에서 구곡담계곡, 백담계곡을 지나 한계천 합류 후 내린천과 같이 소양강에 합류되어 소양호로 유입되는 하천으로 가야동계곡에서 소양호 유입부분까지 약 36km 이며, 7개 정점(B1: 가야동계곡, B2: 구곡담계곡, B3: 백담계

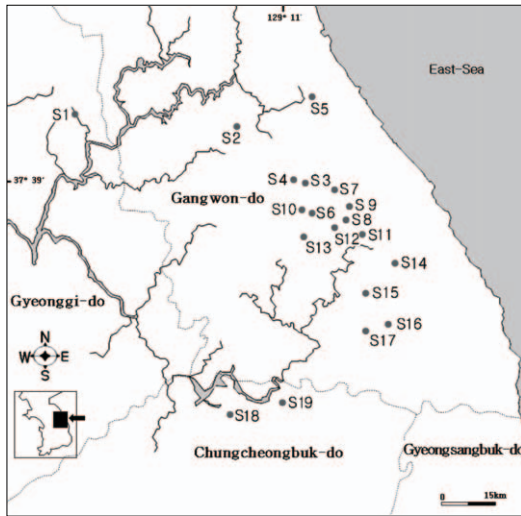


Fig. 1. A map showing the 19 sampling sites at high altitude streams in the Han-river System from October to November 2010.

곡, B4: 내가평교, B5: 만해교, B6: 원통교, B7: 리빙스턴교)을 조사하였다. 한계천은 한계령 부근에서 시작하여 한계령계곡을 지나 장수대, 옥녀탕을 거쳐 북천으로 합류하는 하천으로, 한계령부터 북천 합류 부분까지 약 16km이며, 7개 정점(H1: 한계령, H2: 자양6교, H3: 자양2교, H4: 장수6교, H5: 장수2교, H6: 한계2교, H7: 한계초교)을 조사하였다(Fig. 2).

2. 채집 및 분석방법

조사정점의 고도는 GPS(Triton, Magellan)를 사용하여 측정하였으며, 국토지리정보원(www.ngii.go.kr)의 지리정보서비스를 참고하였다. 이화학적 요인 중 수온, DO, pH, 전기전도도는 휴대용 측정기(Horiba D-55, Orion 5-star)를 이용하여 현장에서 측정하였으며, 탁도는 현장에서 채수한 시료를 냉장 보관하여 실험실로 이동 후 탁도계(WTW, Turb 550)를 이용하여 측정하였다.

부착조류의 채집은 수심 20~30cm 정도에 위치한 호박돌이나 자갈을 선택하여, 기질표면 25~100cm²의 면적을 솔 등으로 긁어내어 300ml 증류수에 희석하여 채집하였다. 채집한 시료는 Lugol's solution으로 고정하여 보관하였으며, 구조류 분석을 위한 영구표본을 제작하였다(U.S. EPA, 1995). 부착조

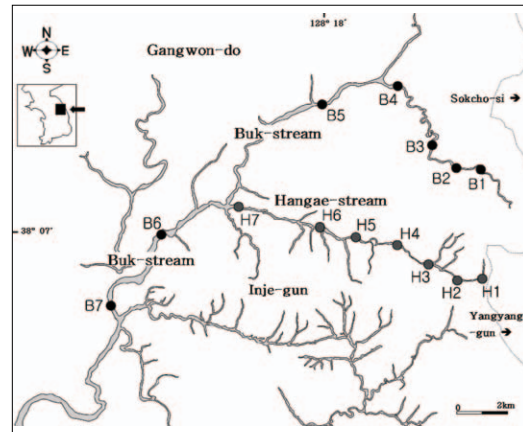


Fig. 2. A map showing the sampling sites at Buk-stream and Hangae-stream in Gangwon-do from October to November 2010.

류의 군집분석을 위해 광학현미경 및 위상차 현미경(Olympus DX41) 200~1,000배로 검경하여, Hirose 등(1977)을 참고하여 정리하였고, 정(1993) 및 Prescott(1962) 등을 참조하였다. 구조강의 경우 Simonsen의 분류체계(Ettle *et al.*, 1986, 1988, 1991a, 1991b)에 따라 분류하였다.

생물학적 수질은 유기오탁지수인 DAIPo(Diatom Assemblage Index of Organic Water Pollution)와 영양염지수인 TDI(TDI:Trophic Diatom Index)를 Watanabe 등(2005)과 Kelly와 Witton (1995)의 방법에 따라 산출하였으며, 환경부(2007)에서 제시하고 있는 4가지 등급(A: 청정, B: 양호, C: 보통, D: 불량)으로 평가하였다. 저온 및 산악성 조류는 정준(1993), Patrick과 Reimer (1966, 1975), John 등(2002) 및 Antoniadou와 Douglas(2002)를 참고하여 생태적 특징이 저온 혹은 산악에서 서식하는 것으로 분류된 조류를 대상으로 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 이화학적 환경요인 및 수변환경

이화학적 환경요인 및 수변환경 조사결과, 하폭은 1~35m의 범위로 한강수계의 상위고도 하천 19개 정점은 모두 10m이하로 하폭이 좁았으며, 한계천과 북천은 고도가 낮아지는 하류로 갈수록 대체

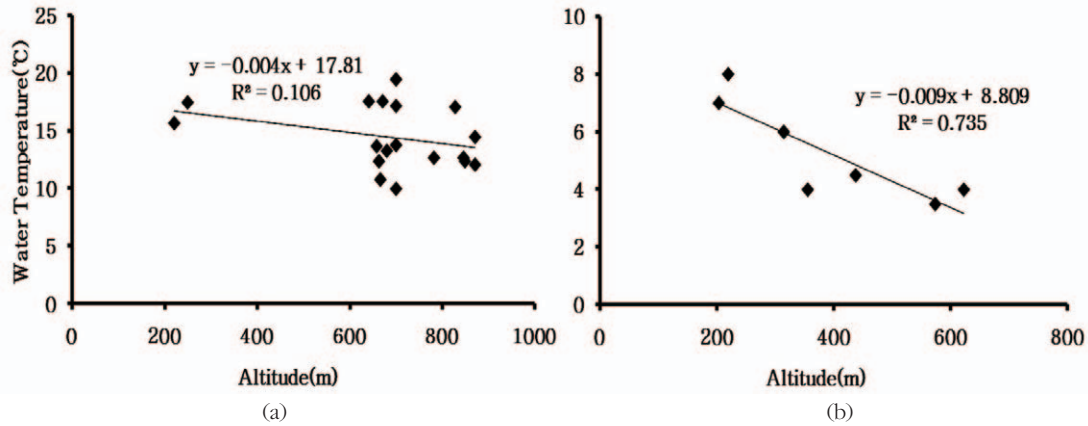


Fig. 3. Relationship between water temperature and altitude at high altitude stream in the Han-river System(a) and Buk-stream(b) from October to November 2010.

Table 1. Physicochemical environmental factors at high altitude stream in the Han-river System from October to November 2010

Site	altitude(m)	width(m)	depth(cm)	W.T(°C)	DO(mg/L)	pH	EC(μ s/cm)	Turb.(NTU)
S1	249	4	60	17.5	9.2	7.9	34.4	0.49
S2	641	3	40	17.6	10.5	8.2	36.7	1.18
S3	700	5	25	10.0	9.5	7.8	36.7	0.54
S4	666	7	40	10.8	10.7	7.5	35.7	0.73
S5	700	8	50	13.8	10.7	7.6	32.2	0.58
S6	700	5	50	19.5	8.9	9.1	48.4	1.04
S7	846	6	30	12.7	6.3	7.3	45.9	1.02
S8	663	6	30	12.4	8.4	7.2	216.8	3.47
S9	871	5	70	12.1	7.8	7.4	42.8	1.63
S10	828	4	60	17.1	8.7	7.7	33.5	0.38
S11	782	1	30	12.7	8.0	7.6	164.8	2.98
S12	700	3	50	17.2	9.5	7.8	57.0	0.79
S13	671	4	10	17.6	10.4	7.4	71.7	2.60
S14	680	3	50	13.3	7.1	6.8	30.8	0.55
S15	658	8	40	13.7	8.1	7.0	311.0	0.70
S16	849	2	50	12.4	8.5	6.8	87.6	1.49
S17	871	8	60	14.5	8.9	9.5	36.5	2.64
S18	220	2	60	15.7	9.2	7.1	34.0	0.47
S19	557	2	30	14.6	8.8	7.4	79.9	1.04

로 하폭이 넓어졌으나, 소(pool)구간 및 보의 위치에 따라 각 정점별 차이를 보였다. 수심은 10~70cm의 범위로 고도와 하폭에 관계없이 하천의 지형적인 영향을 받는 것으로 판단된다(Table 1). 수온의 경우 10월에 조사된 한강수계 19개 정점은 10.0~19.5°C의 범위로, 개방천(S3)에서 수온이 가장 낮았으며, 척천(S6)에서 가장 높았다.

11월에 조사된 북천은 3.5~8.0°C의 범위로 고도가 낮아지는 하류로 갈수록 수온이 증가하였으며, 한계천의 수온은 조사되지 않았다. 일반적으로 고위도, 상위고도로 갈수록 기온이 낮아지며, 기온의 변화는 호소보다 하천에 큰 영향을 준다(안중호와 한대호, 2010). 하지만, 이러한 고도와 수온의 관계는 하천에 수면서식환경과 물리적 구조에 따라 큰

차이를 나타내는 것으로 판단된다. 한강수계 19개 정점의 경우 고도에 따른 수온분포가 뚜렷한 경향성을 나타내지 않았으며, 해발고도 200m 수준의 고도가 낮은 화학천(S1)과 광천(S18)이 700m이상의 고도였던 척천보다 낮은 수온을 나타내기도 하였다. 북천은 고도가 높을수록 수온이 낮아지는 것으로 고도와 수온의 관계가 유의성이 높았으며 ($R^2=0.735$), 이러한 고도와 수온의 관계는 동일하천과 같이 수변식생환경 및 물리적 구조가 크게 변하지 않는 곳에서 유의한 것으로 판단된다(Fig. 3, Table 1).

용존산소(DO), 수소이온농도(pH), 전기전도도(EC) 및 탁도(Turb.)는 한강수계 19개 정점에 대해서만 조사되었다(Table 1). 용존산소는 6.3~10.7mg/L의 범위로 수온 및 고도와 상관성을 나타내지 않았으며, 국내 일반적인 하천의 농도의 범위(김용재, 2001, 2004; 박정원 등, 2004; 김용진 등, 2009)와 유사하였다. 수소이온농도는 6.8~9.5의 범위로 대부분의 정점에서 중성을 나타냈으나, 척천(S6)과 지장천(S17)은 9.0이상으로 알칼리성으로 나타났다. 전기전도도는 30.8~311.0 μ s/cm의 범위로, 월정천(S8), 대기천(S11) 및 어천(S15)을 제외한 16개 정점에서 100 μ s/cm 이하로 낮았으며, 어천에서 311.0 μ s/cm로 가장 높았다. 이런 일부 정점에서 수소이온농도 및 전기전도도의 차이는 강원도 지역의 석회암지대와 관련이 높을 것으로 사료된다. 탁도는 4NTU 이하로 대부분의 정점에서 낮게 나타났다.

2. 생물학적 수질(DAI_{po}, TDI)

생물학적 수질은 이화학적 수질과 비교해 하천의 수질을 보다 정밀하게 판단할 수 있으며, 이화학적 수질을 대표하는 BOD와 상관성이 높은 것으로 하천의 수질을 대변 할 수 있다(김용진 등, 2009).

생물학적 수질의 산출결과 한강수계 상위고도하천 19개 정점은 DAI_{po}가 48.8~92.5의 범위로 월정천(S8)과 대기천(S11)을 제외한 17개 정점에서 B등급(60이상)으로 양호한 수질을 나타냈으며, 월정천은 48.8, 대기천은 52.5로 C등급으로 나타났다.

TDI는 14.9~96.9의 범위로 14개 정점에서 B등급(55 이하)으로 양호한 것으로 나타났으며, 도사천(S13) 58.9, 어천(S15) 55.5, 올산천(S19) 69.9로 C등급의 보통수질을, 월정천(S8)과 대기천(S11)은 95이상의 높은 지수 값으로 D등급인 불량으로 나타났다(Fig. 4). 북천과 한계천의 생물학적 수질은 DAI_{po}가 67.4~97.5의 범위로 모든 정점에서 B등급 이상의 양호한 수질을 나타냈으며, TDI는 모든 정점이 40 이하로 A등급인 청천으로 나타났다(Fig. 4).

이러한 결과는 한탄강의 상류에서 중류까지 DAI_{po}가 52.7~67.7범위(김용재, 2004), 남대천의 상류가 DAI_{po}가 52.2~82.8의 범위(김용진과 이옥민, 2010), 영평천의 상류지점이 DAI_{po} 52.4~90.9의 범위(김용재, 2007)로 계절적으로 가을철에 생물학적 수질이 나빠지는 것을 고려했을 때, 상위고도 19개 하천 중 월정천과 대기천을 제외한 17개의 하천 및 북천과 한계천의 DAI_{po} 값이 일반하천의 상류에 비해 양호하였다. 하지만 월정천과 대기천의 경우 한강하류(정승원 등, 2008)의 지수 값(DAI_{po}: 25.0~56.5)과, 도시의 오염에 영향을 많이 받는 것으로 알려진 오산천(김백호 등, 2004)의 중상류의 지수 값(DAI_{po}: 30.2~56.1)과, 북하천(김용진 등, 2009)의 상류의 지수 값(DAI_{po}: 17.8~48.8) 등과 유사한 것으로 생물학적 수질이 불량한 것으로 나타났다. 또한 도사천, 어천, 및 올산천의 TDI가 55이상으로, 월정천 및 대기천과 함께 유기물 및 영양염의 유입에 의한 영향을 받은 것으로 판단되며, TDI와 DAI_{po}의 지수 값을 비교했을 때, 유기물보다 영양염의 유입에 의한 오염이 진행된 것으로 판단된다(황순진 등, 2006).

북천과 한계천은 DAI_{po}와 TDI에 의한 생물학적 수질이 모두 양호하지만, 영양염의 유입보다 유기물에 의한 영향이 보다 크게 작용한 것으로 사료되며, 해발고도 500m이상의 정점인 월정천, 대기천, 도사천, 당곡천 및 올산천보다, 해발고도 500m 이하의 화악천과 광천 및 북천과 한계천 하류정점의 생물학적 수질이 더 양호하게 나타나는 등 각 하천의 생물학적 수질은 고도와는 큰 상관성이 없는 것

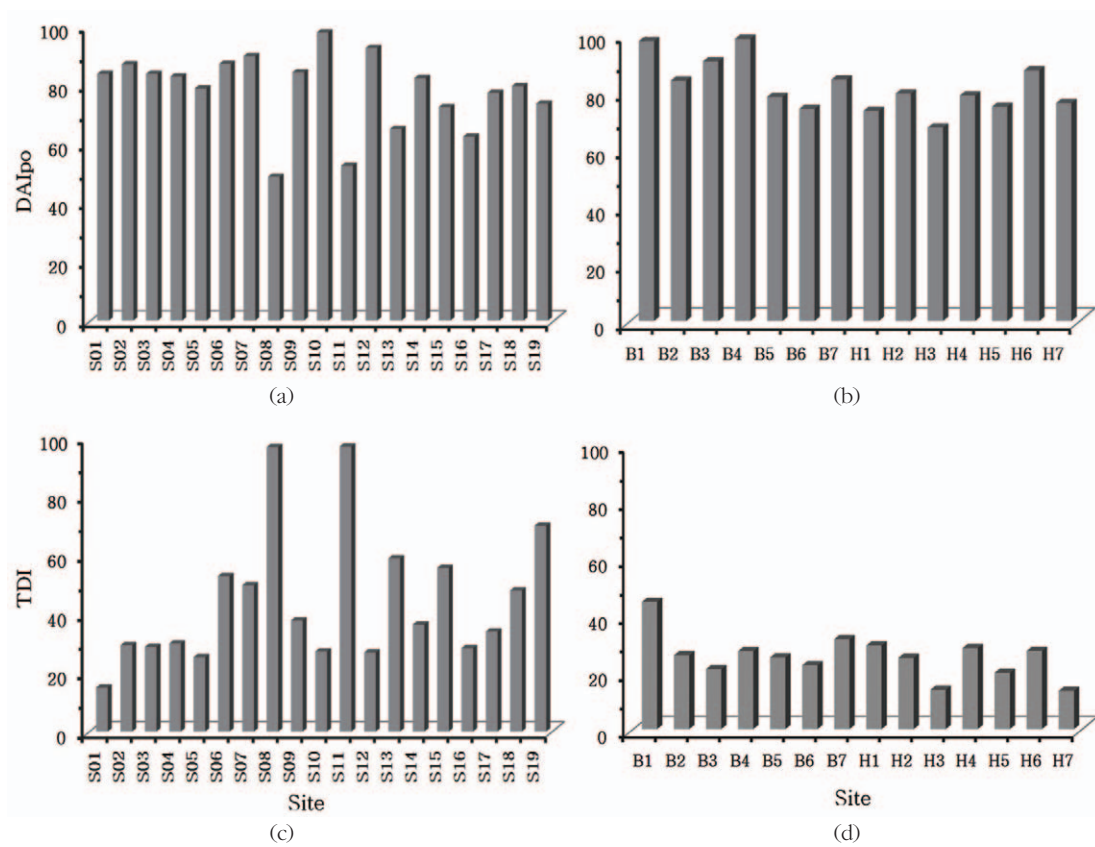


Fig. 4. DALpo(a, b) and TDI(c, d) at high altitude stream in the Han-river System, Buk-stream and Hangae-stream from October to November 2010.

으로 나타났다.

3. 부착조류 군집

1) 출현종

한강수계 상위고도하천 19개 정점과 북천 및 한계천의 고도별 조사에서 출현한 부착조류는 총 4문 4강 10목 5아목 23과 2아과 42속 100종 13변종 4미동정종으로 총 117분류군이 출현하였다(Appendix 1-2).

한강수계 상위고도 하천 19개 정점에서는 출현한 부착조류는 4문 4강 8목 5아목 17과 2아과 33속 79종 11변종 2미동정종으로 총 92분류군이 출현하였다(Appendix 1). 출현종 중 남조강의 *Chroococcus varius*, *Phormidium fragile* 및 *Phormidium ambiguum*과 녹조사상체인 *Chaetophora* 속 조

류의 경우 내린천(S4), 속사천(S10), 당곡천(S14) 및 지장천(S16)에서 우점종으로 나타났다. 특히 *Chroococcus varius*는 석조물이나 바위 등에 자주 출현하는 기중조류(Aerial algae)로 알려져 있으며(임안숙과 이옥민, 2008; 김용진 등, 2010), 본 연구에서는 평창군 지역(S10: 속사천, S11: 대기천, S12: 봉산천, S13: 당곡천)에서 주로 우점 하였다. 이러한 기중조류와 사상성 조류의 우점은 하천의 유량변화와 관련이 깊으며(김용진과 이옥민, 2011), 상위고도 및 상류수계의 부착조류 군집변화에 중요한 요인으로 작용 할 것으로 판단된다. 구조강은 호청수성 분류군(Saproxenous taxa)으로 알려진 *Achnanthes convergens*(Watanabe and Asai, 1990)가 모든 정점에서 출현하였으며, *Achnanthes minutissima*와 *Hannaea arcus* var. *subarcus*

는 대부분의 정점에서 출현하는 것으로 나타났다.

북천과 한계천에서 출현한 부착조류는 3문 3강 9목 4아목 18과 2아과 29속 50종 9변종 3미동정종으로 총 62분류군이 출현하였다(Appendix 2). 주요 출현으로 남조강의 *Phormidium subterraneum* var. *crassum*과 녹조사상체인 *Ulothrix zonata*와 *Chaetophora* sp.가 상위고도하천에서와 같이 북천의 가양동계곡(B1), 구곡담계곡(B2), 한계령(H1) 및 한계초교(H7)에서 우점종으로 나타났다. 규조강의 주요출현종도 상위고도하천과 유사한 경향을 보였으며, *Achnanthes convergens*, *Achnanthes minutissima* var. *jackii*, *Hannaea arcus* var. *subarcus* 및 *Cymbella sinuata* 등의 호칭수성 조류가 대부분의 정점에서 출현하였다.

한강수계 상위고도하천 19개 정점별 출현 분류군수는 도사천(S13)에서 29분류군으로 가장 많은 분류군이 출현하였으며, 월정천(S8)에서 11분류군으로 가장 적은 분류군이 출현하였다. 북천과 한계천의 정점별 출현분류군수는 북천의 리빙스턴교(B7)에서 21분류군으로 가장 많았으며, 한계천의 자양6교(H2)에서 8분류군으로 가장 적었다. 각 정점별 출현 분류군수는 한탄강(김용재, 2007)에서 정점별 출현분류군이 50~117분류군, 광주천(조혜경 등, 2010)에서 43~137분류군의 부착조류가 출현한 것과 비교할 때 전체적으로 매우 적은 분류군이 출현하였다.

2) 저온성 및 산악성 조류

국내에 출현하는 조류 중 생태적 특징이 저온 및 산악성으로 분류되는 조류는 규조강의 *Achnanthes laevis*, *Cymbella affinis*, *Cymbella delicatula*, *Cymbella leptoceros*, *Cymbella naviculiformis*, *Cymbella tumida*, *Diatoma mesodon*, *Diatoma vulgare*, *Eunotia pectinalis*, *Hannaea arcus*, *Hannaea arcus* var. *subarcus*, *Neidium iridis*, *Orthoseira rooseana*, *Pinnularia sudetica* 및 *Synedra inaequalis*가 있으며, 녹조강의 *Ulothrix zonata*, *Rhaphidonema nivale* 및 *Stichococcus bacillaris*, 갈색편모조강의 *Hydrurus foetidus* 및 *Uroglena volvox* 등 약 20분류군(정준, 1993; Patrick and Reimer, 1966, 1975; John et al., 2002; Antoniades and Douglas, 2002)이 출현하는 것으로 알려져 있다.

이중 본 연구에서 출현한 분류군은 규조강의 *Cymbella affinis*, *Cymbella tumida*, *Diatoma mesodon*, *Diatoma vulgare*, *Eunotia pectinalis*, *Hannaea arcus*, *Hannaea arcus* var. *subarcus* 및 *Synedra inaequalis*, 녹조강의 *Ulothrix zonata*로 9분류군의 저온성 및 산악성 조류가 출현하였으며, 이러한 분류군들은 캐나다(Antoniades and Douglas, 2002; Lauriol et al., 2006), 러시아(Potapova, 1996; Medvedeva, 2001), 폴란드(Kownacki et al., 2006) 및 볼리비아(Servant-

Table 2. List of cryophilic and mountain periphyton in this study

Class	Species	Reference
Bacillariophyceae	<i>Cymbella affinis</i>	Chung, 1993; Servant-Vildary, 1982; Lauriol et al., 2006; Medvedeva, 2001
	<i>Cymbella tumida</i>	Chung, 1993; Medvedeva, 2001
	<i>Diatoma vulgare</i>	Chung, 1993; Kim et al., 2009; Medvedeva, 2001
	<i>Diatoma mesodon</i>	Potapova, 1996; Kownacki et al., 2006; Lauriol et al., 2006; Medvedeva, 2001
	<i>Eunotia pectinalis</i>	Chung, 1993; Medvedeva, 2001
	<i>Hannaea arcus</i>	Antoniades and Douglas 2002; Round et al., 1990; Servant-Vildary, 1982; Lauriol et al., 2006; Medvedeva, 2001
	<i>Hannaea arcus</i> var. <i>subarcus</i>	Chung, 1993; Lee et al., 1992
	<i>Synedra inaequalis</i>	Chung, 1993; Medvedeva, 2001; Medvedeva, 2001
Chlorophyceae	<i>Ulothrix zonata</i>	Chung, 1993; Potapova, 1996; Medvedeva, 2001

Vildary, 1982)와 같은 국가의 고산지대 및 저온수역 하천에 출현하였다(Table 2).

Smol 등(2005)의 연구에서 기후변화에 의해 기온 및 수온이 증가하면 Fragilariaceae 과의 조류가 감소하는 것으로 나타났으며, 본 연구에서는 9종의 저온성 및 산악성 조류중 *Diatoma mesodon*, *Diatoma vulgare*, *Hannaea arcus*, *Hannaea arcus* var. *subarcus*, 및 *Synedra inaequalis* 5종이 Fragilariaceae 과의 조류이다. 특히 *Hannaea arcus*의 경우 캐나다 Sophia 강과 호수의 연구(Antoniades and Douglas, 2002)에서 주요 우점종으로 출현한 것으로 나타났다. Sophia 강과 호수는 캐나다 Cornwallis 섬의 가장 북쪽(75° 06' N, 93° 36' W)에 위치하고 있으며, 연중 수온이 4~11°C의 범위의 저온성 수계로 *Hannaea arcus*가 Sophia 강과 호수의 15개 정점에서 출현 하였다. 상관분석결과 *Hannaea arcus*는 수온과 높은 음의 상관관계($r^2=0.710$)를 나타내며 수온의 변화에 따라 우점율이 크게 변하는 것으로 나타났다.

본 연구의 경우 *Hannaea arcus*의 출현빈도가 많지 않았으나, 변종인 *Hannaea arcus* var. *subarcus*는 33개 정점 중 30개의 정점에서 출현하였다(Appendix 1-2). 북천과 한계천의 고도 및 북천의 수온과 *Hannaea arcus* var. *subarcus*의 상대출현 빈도를 분석한 결과 고도와는 양의 상관관

계($r^2=0.539$)를 나타냈으며, 수온과는 음의 상관관계($r^2=0.338$)를 나타내었다(Fig. 5). 이는 *Hannaea arcus*의 연구결과(Antoniades and Douglas, 2002)와 유사하며, *Hannaea arcus* var. *subarcus*는 *Hannaea arcus*와 같이 저온성 조류 및 산악성의 특성을 나타내는 부착조류로 판단된다.

저온성 및 산악성 조류로 출현한 *Cymbella affinis*, *Cymbella sinuata*, *Cymbella tumida*, *Diatoma vulgare* 및 *Ulothrix zonata*는 낙동강 중류(박정원 등, 2004), 경기도 용인, 안성 등 6개 호소(임안숙과 이옥민, 2007), 전남 갈곡천과 인천강(임안숙과 이옥민, 2008), 경기도 양주군의 한탄강(김용재, 2004), 경기도 여주, 이천 등의 북하천(김용진 등, 2009)의 연구와 같이 국내에서는 비교적 저지대에 위치하거나 보편적인 하천에서 출현한 것으로 나타나, 이들 조류와 수온 및 계절인 변동에 대한 연구가 필요 할 것으로 사료된다. 이외에 *Diatoma mesodon* 및 *Synedra inaequalis*는 국내 하천에서 출현빈도 또는 우점도가 낮은 편이나(조경제 등, 2010), 주로 산간 하천에서 출현하는 것으로 나타나(김용진과 이옥민, 2010; 조경제 등, 2010), *Hannaea arcus* var. *subarcus* 및 *Hannaea arcus*와 함께 저온성 및 산악성을 지표하는 부착조류로 유용하게 사용 될 수 있을 것으로 판단된다.

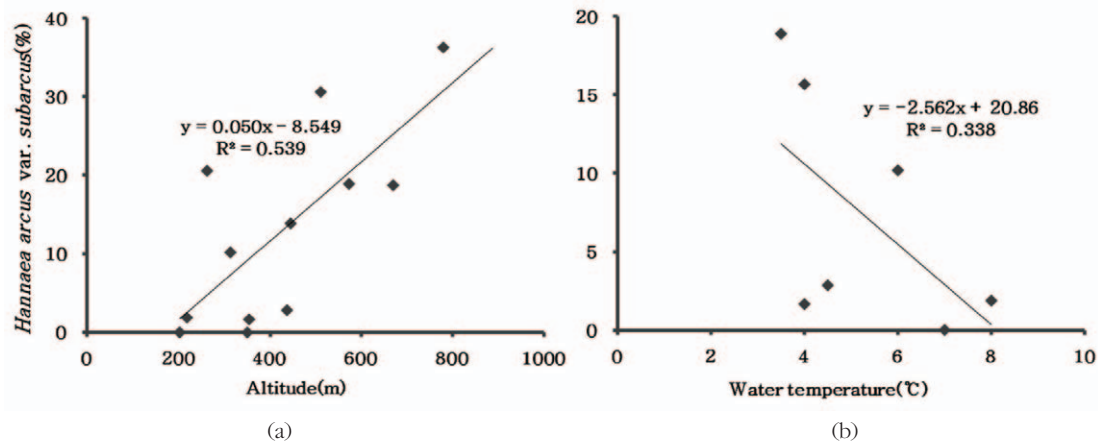


Fig. 5. Relationship between *Hannaea arcus* var. *subarcus* and altitude(a), water temperature(b) in Buk-stream(a, b) and Hanga-stream(a) from October to November 2010.

IV. 결론

한강수계 상위고도하천 19개 정점 및 북한과 한계천의 고도별 정점의 부착조류 군집에 관한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 한강수계 상위고도하천 19개 정점의 경우 고도에 따른 수온분포가 뚜렷한 경향성을 나타내지 않았으며, 북한은 고도가 높을수록 수온이 낮아지는 것으로 고도와 수온의 관계가 유의성이 높았다 ($R^2=0.735$). 이러한 고도와 수온의 관계는 동일하천과 같이 수변서식환경 및 물리적 구조가 크게 변하지 않는 곳에서 유의한 것으로 판단된다.

2) 생물학적 수질의 산출결과 한강수계 상위고도하천 19개 정점과 북한 및 한계천은 일부정점을 제외한(월정천, 대기천) 대부분의 정점에서 B등급 이상의 양호한 수질을 나타냈으며, 생물학적 수질과 고도와는 큰 상관성이 없는 것으로 나타났다.

3) 전체 출현종은 117분류군의 부착조류가 출현하였으며, 규조강이 80분류군으로 가장 다양한 분류군이 출현하였다. 또한 대부분의 정점에서 호청수성 규조인 *Achnanthes convergens*가 출현하였으며, 일부정점에서는 녹조강과 남조강의 사상성조류가 우점 하였다.

4) 출현분류군 중 저온성 및 산악성 조류는 규조강의 *Cymbella affinis*, *Cymbella tumida*, *Diatoma mesodon*, *Diatoma vulgare*, *Eunotia pectinalis*, *Hannaea arcus*, *Hannaea arcus* var. *subarcus*, 및 *Synedra inaequalis*, 녹조강의 *Ulothrix zonata* 총 9분류군이 출현하였다.

5) *Hannaea arcus* var. *subarcus*는 고도와는 양의 상관관계($r^2=0.539$), 수온과는 음의 상관관계($r^2=0.338$)를 나타내었으며, 저온성 및 산악성 조류의 특성을 가장 잘 나타내었다.

6) 저온성 및 산악성 조류의 추가적인 연구를 통하여 기후변화에 따른 각 하천별 부착조류의 군집 변화를 예측 할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2010년 한강수계 관리위원회의 환경 기초 조사연구 사업(1330-1333-406-260)에 의해 지원되었습니다.

참고문헌

- 국토지리정보원, 2010, <http://ngii.go.kr>.
- 김백호, 최환석, 김미연, 윤형빈, 2004, 부착규조 군집과 유기오탁지수를 이용한 오산천의 수질평가, 대한위생학회지, 19(2), 45-50.
- 김용재, 2001, 신천의 부착규조 군집을 이용한 유기오탁 판정, 한국육수학회지, 34(3), 199-205.
- 김용재, 2004, 한탄강의 돌 부착조류 군집의 시, 공간 동태, Algae, 19(1), 15-22.
- 김용재, 2007, 도시화 정도에 따른 포천천과 영평천의 돌 부착규조 군집변화, 한국육수학회지, 40(3), 468-480.
- 김용진, 김옥진, 이옥민, 2010, 국내 8기 석조문화재의 기중조류 분포 및 생물오염도 평가, 보존과학회지, 26(3), 259-268.
- 김용진, 신경애, 이옥민, 2009, 남한강 지류인 북한천과 달천의 부착규조를 이용한 생물학적 수질평가, 환경생물, 27(4), 414-424.
- 김용진, 이옥민, 2010, 부착규조지수와 영양단계 평가를 이용한 남대천, 연곡천과 사천천의 수질평가, 한국하천호수학회지, 43(1), 117-128.
- 김용진, 이옥민, 2011, 강원도 남대천, 연곡천과 사천천의 식물플랑크톤 군집, 한국환경영향평가학회지, 20(3), 281-297.
- 박정원, 최재신, 김미경, 2004, 낙동강 중류지역의 부착규조 군집의 변화와 유기오탁지수(DAI_{po})에 의한 수질평가, 한국육수학회지, 37(1), 70-77.
- 손세환, 김진영, 조재익, 공동수, 2011, 설악산 계류의 고도별 저서성 대형무척추동물의 분포특성, 한국물환경학회지, 27(5), 680-688.

- 안중호, 한 대호, 2010, 기후변화에 따른 지표수의 수온 영향평가, 한국물환경학회지, 26(1), 133-139.
- 윤성애, 유경아, 박지형, 김백호, 황순진, 2011, 인공수로에서 고농도 탁수가 수질 및 부착 규조류 군집에 미치는 영향, 한국하천호수학회지, 44(1), 75-84.
- 임안숙, 이옥민, 2007, 경기도 6개 호소의 수질 영양단계 및 지표종에 관한연구, Algae, 22(2), 69-85.
- 임안숙, 이옥민, 2008, 국내 5기의 석조문화재에 분포하는 기증조류와 생물학적 등급에 관한 연구, Algae, 23(1), 63-69.
- 정근, 2008, 한국 북부지방의 산간 계류에 서식하는 수서곤충의 몸길이-질량 관계, 한국육수학회지, 41(3), 302-330.
- 정남일, 박배경, 김경현, 2011, 수온 증가가 한강 수계의 어류 서식지에 미치는 영향. 한국물환경학회지, 27(3), 314-321.
- 정승원, 박성환, 이진환, 2008, 한강하류의 환경학적 연구 IIX. 갈수기 부착돌말류의 유기오탁지수(DAI_{po} index)에 의한 수질평가, 환경생물, 26(3), 233-239.
- 정준, 1993, 한국담수조류도감, 아카데미출판사.
- 조경제, 이정호, 이경, 윤숙경, 2010, 한국의조류(algae), 제3권 2호 담수산 돌말류II(황갈조 식물문 돌말강 깃돌말목 헛줄돌말아목 막돌막과), 국립생물자원관.
- 조혜경, 정명화, 김규만, 심성순, 이학영, 2010, 광주천의 식물플랑크톤과 부착조류의 동태, 환경생물, 28(2), 69-78.
- 환경부, 2007, 수생태 건강성 조사 및 평가 지침안.
- 황순진, 김난영, 원두희, 안광국, 이재관, 김창수, 2006, 돌말지수를 이용한 국내 주요하천(금강, 영산강, 섬진강)의 생물학적 수질평가, 한국물환경학회지, 22(5), 784-795.
- Antoniades, D. M and Douglas, M. S. V., 2002, Characterization high arctic stream diatom assemblages from cornwallis Island, Nunavut, Canada. Can. J. Bot., 80, 50-58.
- Descy, J. P., 1979, New Approach to Water Quality Estimation Using Diatoms, Nova Hedwigia. Beih., 64, 305-323.
- Ettl, H., Gartner, G., Gerloff, J., Heynig, H., and Mollenhauer, D, 1991b, Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/4, Bacillariophyceae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., and Mollenhauer, D., 1986, Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1, Bacillariophyceae, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., and Mollenhauer, D., 1988, Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/2, Bacillariophyceae, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
- Ettl, H., Gerloff, J., Heynig, H., and Mollenhauer, D., 1991a, Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/3, Bacillariophyceae, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin.
- Ferrari, M. R., Miller, J. R. and Russell, G. L., 2007, Modeling changes in summer temperature of the Fraser River during the next century, J. Hydrol., 342, pp. 336-346.
- Graham, L. E., Graham, J. M. and Wilcox, L. W., 2009, Algae, 2nd. ed., Pearson education, San Francisco, USA.
- 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.
- Holzinger, A., Roleda, M. Y. and Lütz, C., 2009, The vegetative arctic freshwater green alga Zygnema is insensitive to experimental

- UV exposure, *Micron.*, 40, pp. 831-38.
- John, D. M., Whitton, B. A. and Brook, A. J., 2002, *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kelly, M. G. and Whitton, B. A., 1995, The trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers, *J. Appl. Phycol.*, 7(4), 433-444.
- Komatsu, E., Fukushima, T. and Harasawa, H., 2007, Modeling approach to forecast the effect of long-term climate change on lake water quality, *Ecol. Modelling*, 209, 351-366.
- Kowncki, A., Dumnicka, E., Kwandras, J., Galas, J. and Ollik, M., 2006, Benthic communities in relation to environmental factors in small high mountain ponds threatened by air pollutants, *Boreal environment res.*, 11, 481-492.
- Lauriol, B., Prévost, C. and Lacelle, C., 2006, The distribution of diatom flora in ice caves of the northern Yukon Territory, Canada: relationship to air circulation and freezing. *Int. J. Speleology*, 35(2), 83-92.
- Lee, J. H., Gotoh, T. and Chung, J., 1992, Diatoms of Yungchun dam reservoir and its tributaries, Kyung pook prefecture, Korea. *Diatom*, 7, 45-70.
- Medvedeva, L. A., 2001, Biodiversity of aquatic algal communities in the Sikhote-Alin biosphere reserve (Russia), *Cryptogamie, Algol.*, 22(1), 65-100.
- Patrick, R. and Reimer C. W., 1975, *The Diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii*, Vol. II part 1, The Academy of Natural Sciences, Philadelphia.
- Potapova, M., 1996, Epilithic algal communities in rivers of the Kolyma Mountains, NE Siberia, Russia. *Nova Hedwigia*, 63, 3-4.
- Prescott, G. W., 1962, *Algae of the western great lakes area*, Otto Koeltz Science Publishers, Germany.
- Round, F. E., Crawford R. M. and Mann, D. G., 1990, *The Diatoms*, University of Cambridge, New York, USA.
- Servant-vildary, S., 1982, Altitudinal zonation of mountainous diatom flora in Bolivia: application to the study of the quaternary, *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 25(1-2), 179-210.
- Smol, J. P., Wolfe, A. P., Birks, H. J. B., Douglas, M. S. V., Jones, V. J., Korhola, A., Pienitz, R., Ruhland, K., Sorvari, S., Antoniades, D., Brooks, S. J., Fallu, M., Hughes, M., Keatley, B. E., Laing, T. E., Michelutti, N., Nazarova, L., Nyman, M., Paterson, A. M., Perren, B., Quinlan, R., Rautio, M., Saulnier-Talbot, E., Siitonen, S., Solovieva, N. and Weckstrom, J., 2005, Climate-driven regime shifts in the biological communities of arctic lakes, *PNAS*, 102(12), 4397-4402.
- U.S. EPA., 1995, *Generic quality assurance project plan guidance for programs using community-level biological assessment in stream and wadeable rivers*, U.S. Environmental Protection Agency, Office of water, Washington, D.C. EPA 841-B-95-004.
- Watanabe, T., Asai, K. and Houki, A., 1990, Numerical simulation of organic pollution in flowing waters. *Hazardous Waste Containment and Treatment*, 4,

251-281.

Watanabe T., Ohtsuka, T., Tuji, A. and Houki,
A., 2005, Picture book and ecology of
the freshwater diatoms. ed. T.

Watanabe. Uchida-rokakuho, Tokyo.

최종원고채택 12. 02. 10

Appendix 1. Species list of periphyton at 19 sites of high altitude streams in the Han-river System from October to November 2010

Species	Site																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
PHYLUM CYANOPHYTA																			
Cl. CYANOPHYCEAE																			
Ord. Chroococcales																			
Fam. Chroococcaceae																			
<i>Chroococcus minor</i>								+						+					
<i>Chroococcus minutus</i>				+									+						
<i>Chroococcus varius</i>	++					++	+	++	++		+	+						++	
<i>Merismopedia punctata</i>													+						
<i>Synechocystis aquatilis</i>				+						+									
<i>Synechocystis aquatilis</i> var. <i>minor</i>					+		+					+			+				
Ord. Nostocales																			
Subord. Nostochineae																			
Fam. Rivuriaceae																			
<i>Calothrix fusca</i>																		+	
Fam. Scytonemaceae																			
<i>Tolypothrix robusta</i>																			+
Subord. Oscillatorineae																			
Fam. Oscillatoriaceae																			
<i>Lyngbia aerugineo-coerulea</i>				+															
<i>Oscillatoria okenii</i>												+				+			
<i>Oscillatoria profunda</i>								+								+			
<i>Oscillatoria tenuis</i>																			+
<i>Phormidium ambiguum</i>								+	+			+	+				++		+
<i>Phormidium angustissimum</i>															+	+			
<i>Phormidium fragile</i>				++	+					+		+		++			+		+
<i>Phormidium subterraneum</i> var. <i>crassum</i>	+											+							
<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i>												+							+
PHYLUM CRYSTOPHYTA																			
Cl. BACILLARIOPHYCEAE																			
Ord. Centrales																			
Subord. Coscinodiscineae																			
Fam. Thalassiosiraceae																			
<i>Cyclotella stelligera</i>				+															
Fam. Melosiraceae																			
<i>Melosira varians</i>							+	+	+	+	+								
Ord. Pennales																			
Subord. Araphidineae																			
Fam. Fragilariaceae																			
<i>Diatoma mesodon</i>						+		+				+	+						
<i>Diatoma vulgare</i>				+															
<i>Fragilaria capucina</i>				+								+							
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>capitellata</i>																+		+	+
<i>Fragilaria construens</i>																+			
<i>Synedra ulna</i>				+				+			+			+	+				+

Appendix 2. Species list of periphyton at Buk-stream and Hangae-stream in Gangwon-do from October to November 2010.

Species	Site													
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
PHYLUM CYANOPHYTA														
Cl. CYANOPHYCEAE														
Ord. Chroococcales														
Fam. Chroococcaceae														
<i>Chroococcus varius</i>														+
<i>Gloeocapsa arenaria</i>										+				
<i>Synechocystis aquatilis</i> var. <i>minor</i>						+		+						
Ord. Nostocales														
Subord. Nostochineae														
Fam. Scytonemaceae														
<i>Scytonema hofmanni</i> var. <i>symplocoides</i>		+												
Subord. Oscillatoriineae														
Fam. Oscillatoriaceae														
<i>Oscillatoria chlorina</i>							+							
<i>Oscillatoria okenii</i>							+							+
<i>Oscillatoria tenuis</i>	+				+									
<i>Oscillatoria</i> sp.									+					
<i>Phormidium subterraneum</i> var. <i>crassum</i>								++	+	+	+	+	+	
<i>Phormidium valderianum</i> var. <i>tenuis</i>					+	+								
PHYLUM CRYSTOPHYTA														
Cl. BACILLARIOPHYCEAE														
Ord. Centrales														
Subord. Coscinodiscineae														
Fam. Melosiraceae														
<i>Melosira varians</i>					+		+	+						
Ord. Pennales														
Subord. Araphidineae														
Fam. Fragilariaceae														
<i>Diatoma mesodon</i>								+		+	+			
<i>Fragilaria capitata</i>												+		+
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>capitellata</i>					+	+	+				+			+
<i>Synedra ulna</i>			+	+		+	+			+		+	+	+
<i>Synedra acus</i> var. <i>radians</i>		+												
<i>Synedra inaequalis</i>					+									
<i>Hannaea arcus</i>					+									
<i>Hannaea arcus</i> var. <i>subarcus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Tabellaria flocculosa</i>												+		
Subord. Raphidineae														
Fam. Eunotiaceae														
<i>Eunotia curvata</i>	+	+						+		+				
<i>Eunotia diodon</i>	+							+						
<i>Eunotia minor</i>		+						+						
<i>Eunotia pectinalis</i>											+			

Appendix 2. Continued

Species	Site													
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Fam. Achnantheaceae														
<i>Achnanthes convergens</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Achnanthes lanceolata</i>				+	+					+				
<i>Achnanthes minutissima</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>jackii</i>		+		+		+						+	+	+
<i>Achnanthes subbudsonis</i>					+		+							
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>		+			+	+								
Fam. Naviculaceae														
<i>Ampbora inariensis</i>						+	+							
<i>Cymbella affinis</i>						+						+	+	+
<i>Cymbella japonica</i>				+	+				+					
<i>Cymbella lacustris</i>					+		+							
<i>Cymbella minuta</i>					+					+				+
<i>Cymbella silesiaca</i>					+	+	+							
<i>Cymbella tumida</i>					+	+								
<i>Cymbella turgidula</i>							+							
<i>Gomphonema affine</i>	+	+		+				+	+		+	+		
<i>Gomphonema clevei</i>				+										
<i>Gomphonema parvulum</i>		+	+			+				+	+	+	+	+
<i>Gomphonema quadripunctatum</i>							+						+	+
<i>Navicula amphiceropsis</i>							+							
<i>Navicula bacillum</i>						+								
<i>Navicula cryptotenella</i>	+					+								
<i>Navicula decussis</i>							+							
Fam. Bacillariaceae														
<i>Denticula tenuis</i>				+										
<i>Nitzschia amphibia</i>										+				
<i>Nitzschia amphibioides</i>											+			
<i>Nitzschia palea</i>						+	+				+			
Fam. Surirellaceae														
<i>Surirella angusta</i>							+							
PHYLUM CHLOROPHYTA														
Cl. CHLOROPHYCEAE														
Ord. Volvocales														
Fam. Chlamydomonadaceae														
<i>Carteria klebsii</i>							+			+	+			+
Ord. Ulotrichales														
Fam. Ulotrichaceae														
<i>Ulothrix zonata</i>					+									++
Fam. Microsporaceae														
<i>Microspora willeana</i>				+										
Ord. Chaetophorales														
Fam. Chaetophoraceae														

