

상류하천에서의 인공저층을 이용한 부착조류의 생체량 측정을 위한 노출기간 평가

김 현 우 · 하 경 · 주 기 재
부산대학교 생물학과
(1997년 10월 13일 접수)

Evaluation of Exposure Times for Periphyton Biomass Estimate using Artificial Substrata in Headwater Streams

Hyun-Woo Kim, Kyong Ha, and Gea-Jae Joo
Dept. of Biology, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea
(Manuscript received 13 October 1997)

During the spring and fall of 1994 and winter of 1995, the exposure time of periphyton biomass on the artificial substrata at 10 headwater streams in the southeastern Korea was evaluated in 7-14 day interval. In the streams with low periphyton biomass (chl. a: 2-4 mg/m²) in natural rocks, biomass of artificial substrata (unglazed tile: 3.7 x 9.5 x 2 cm) exceeded that of the natural rocks after 28 days, while sites with high biomass (chl. a: 20-60 mg/m²) in natural rocks showed slower biomass accumulation after 40 days. Due to the high light input and temperature in a partially shaded mountain stream, development of periphyton biomass in spring occurred faster than that of winter. In general, development of periphyton biomass placed on artificial substrata took 4-5 weeks in spring and at least 6 weeks in winter to reach the natural level.

Key words : colonization, artificial substrata, periphyton, headwater streams

1. 서 론

하천 생태계에서 부착조류는 주요한 1차 생산자로서 먹이사슬의 기반을 이루며, 하천 생태계의 구조와 기능을 파악할 수 있는 중요한 척도의 하나이다. 하천의 부착조류에 대한 연구는 교란, 빛, 유속, 영양소와 같은 환경요인과의 관계 및 초식과 같은 생물학적 요소를 중심으로 80년대 초반 이후 꾸준히 연구되어 왔으며, 전체 연구의 50-60% 이상이 다양한 인공저층을 활용하여 여러 가지 정량적인 방법(chl. a, 회분 제외 건량, 밀도, 탄소량 등)으로 실험적 접근을 시도하고 있다(주 등, 1997; Biggs, 1988; Millie and Lowe, 1983; Stock and Ward, 1989).

하천에서 돌, 자갈 등의 자연저층에 부착한 조류(epilithon)의 생체량은 저층의 다양성(돌의 크기, 미세구조 및 종류)에 따라 2-4배 이상 차이가 날 정도로 일정하지 않아 정량적인 연구에 어려움이 많았다(Cattaneo, 1990; Lay and Ward, 1987; Tuchman and Stevenson, 1980). 이러한 문제점을 극복하기 위해 표준화된 저층 즉, 유리슬라이드, 유약을 바르지 않은 꽃병 또는 타일 등 다양한 인공저층이 활용되고 있다(APHA, 1995). 최근에는 인공저층이 부착조류 연구에

많이 활용됨으로써 초식, 유역의 교란 등 생태학적 기본원리의 적용이 가속화되고 있다.

하천과 호수에서 지난 20년간 이루어진 부착조류 연구에 있어서 Cattaneo와 Amireault(1992)는 인공저층 활용을 분석한 결과에 의하면 부착조류에 관한 70-80년대의 초기 연구 단계에서는 유리슬라이드 등이 인공저층으로 사용되어 오다가 80년대에는 재질 및 미세구조에서 있어 하천의 자연저층과 비교적 유사한 타일 또는 돌 사용이 급증하였다. 또 인공저층을 하천에 노출시켜 초식 등의 실험을 행한 결과 가장 빈번한 노출 기간은 2-4주였음을 밝혔다. 이 기간은 실험자의 편의에 따른 시간으로, 강우에 의한 부착조류의 생체량 손실을 막기 위해 선정된 시간이었으나 하천의 자연저층에 부착된 생체량 수준에 도달하는데는 거의 대부분 미흡한 시기로 분석되었다. 인공저층을 이용한 대부분의 실험은 빛이 비교적 많이 투입되는 큰 하천들에서 이루어져 왔으며, 산지하천과 같이 소하천에서의 적절한 노출시간에 대해 평가한 경우는 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 부산, 경남 인근에서 유역의 크기와 수질이 다르고 빛 투과정도가 다른 상류 하천(headwater stream)에서 가장 보편적으로 사용되는 인공저층의 하

Table 1. Summary of selected physico-chemical parameters in study sites from Feb. to Mar. 1994 (mean, n=4) *:data from spring and winter on 1995 (n=8)

Parameters unit	Channel Depth		Light	Conductivit	Alkalinity	Slope	Water	Discharge
	width	cm	input	y	CaCO ₃	%	velocity	
Sites	cm	cm	%	μS/cm	mg/l	%	cm/sec	cm ³ /sec
Tongdosa I	91	15	43	29	6	11	21	2476
Naewonsa II	132	9	56	38	5	7.2	8	403
Sangi I	133	15	87	28	4	14.3	9	1086
Bumosa II	168	11	72	25	4	9.5	29	3488
Bumosa I	194	15	55	29	5	10.7	19	3465
Sangi II	200	12	100	44	10	1.3	30	1850
Jangjunchun	201	10	31	68	14	7.0	20	1800
Bumosa III	353	27	34	40	11	11.2	61	12503
Tongdosa II	668	29	74	57	14	7.8	35	5142
Naewonsa I	930	19	56	26	5	2.0	57	27761

나인 타일을 사용하여 자연저층의 부착조류의 생체량 수준에 이르는 인공저층의 적절한 노출기간(exposure time)을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사지 개황

인공저층을 설치한 하천들은 동경 129° 05' - 129° 15', 북위 35° 13' - 35° 30' 에 위치하는 부산과 경남의 경계지역인 양산군 일대의 상류하천으로, 벌목, 산불 및 유기물 오염 등에 의한 인위적인 교란이 비교적 적은 1-3차 수계이다(Fig. 1). 경사도, 하상구조, 지질 및 유역 환경 등의 물리적 조건이 우리나라 산지하천의 일반적 특성을 보이는 낙동강 집수역인 통도사, 내원사, 산지의 지류와 수영강 집수역인 범어사, 장전천 지류등 5개 하천, 10개 지점을 조사지로 선정하였다. 본 조사대상의 하천은 상류하천들로서 개방 정도 및 계절적 빛 투입 정도가 매우 달랐으며(5-100%), 높은 경사도(> 2.0%)로 소와 여울이 빈번히 교차하는 특성을 보였다. 실험기간 동안 10개 조사지점의 알칼리도와 전기전도도는 낮은 값을 나타내어 연수의 특성을 보였으나, 수계에 따라 차이가 많았다(Table 1).

2.2 조사시기 및 방법

부착기간 평가를 위한 실험은 선정된 조사지점에서 인공저층을 사용하여 유량이 비교적 안정적이고, 입사 광의 투과도 변화가 심하지 않은 겨울(1995년 2월-3월)에 약 10-15일 간격으로 40일 동안 부착정도를 조사하였다. 또한 비교적 보존이 잘된 2차 산지하천(장전천)에서 계절적 차이에 의한 부착정도의 차이를 보기 위하여 1994년 봄과 겨울에 상대적인 빛 투과도가 20-60%인 지점에서 1주 간격으로 인공저층과 자연저층을 사용하여 적절한 노출기간 등을 평가하였다. 인공저층은 유약을 바르지 않은 타일(3.7 x 9.5 x 2 cm)을 사용하였으며, 해당 지점당 50-60개를 하상에 하천 흐름 방향으로 설치한 후 회수하여 실험실로 이동하여 생체량을 측정하였다. 부착조류의 생체량 측정은 하천의 특성을 잘 나타낼 수 있는 지소에서 무작위로 채집된 직경 5-15 cm

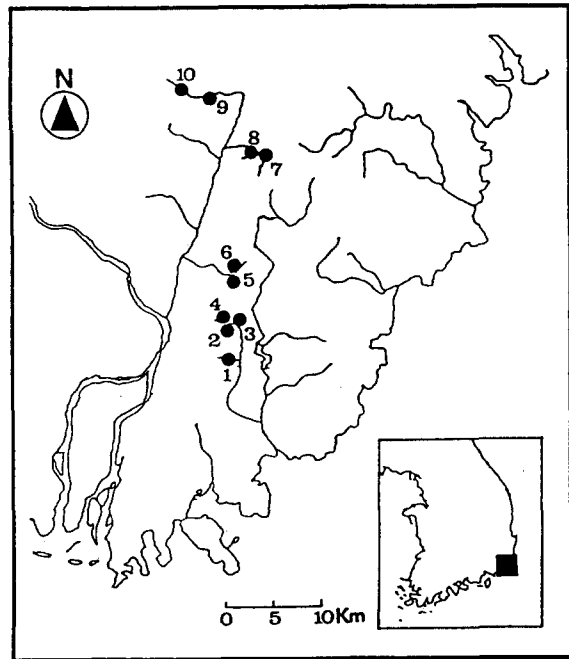


Fig. 1. The map showing the surveyed streams and location of study sites (1:Jangjunchun, 2:Bumosa II, 3:Bumosa I, 4:Buosa III, 5:Sangi II, 6:Sangi I, 7:Naewonsa II, 8:Naewonsa I, 9:Tongdosa II, 10:Tongdosa I).

의 자연 저층(돌, n=5-7)과 설치한 인공 저층(n=4)을 Wetzel과 Likens(1991)의 방법에 따라 90% alkaline acetone에 24시간 용출시킨 후 흡광도를 측정하였고, 저층의 표면적 계산은 알루미늄 호일 방법을 변형하여 간접적으로 계산하여 단위 면적당 엽록소 a(mg/m²)의 양으로 산출하였다(Joo와 Ward, 1995). 조사지점의 물리화학적 특성(유량, 하천폭, 일조량, 전기전도도, 알칼리도)은 조사기간 동안 4-8회 측정하여 평균값을 구하였다.

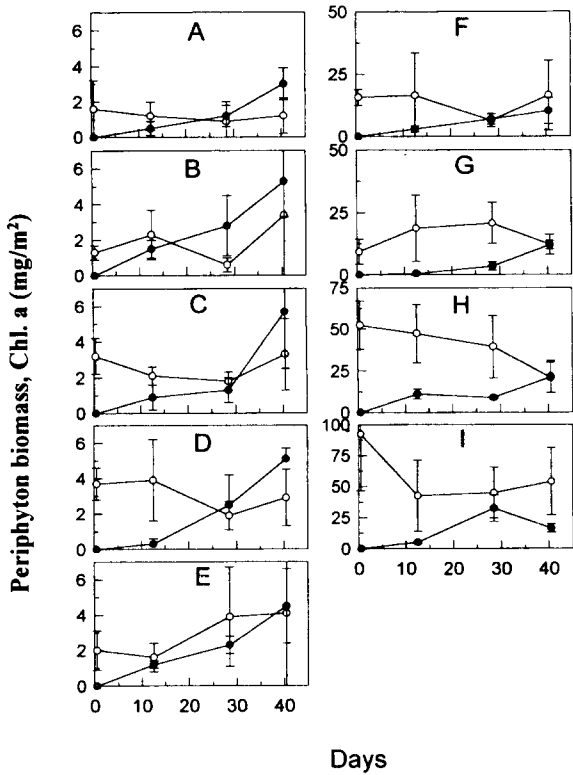


Fig. 2. Periphyton development on artificial (●) and natural(○) substrata during the study period (Day=0, Feb. 95, A:Bumosa II, B:Tongdosa I, C:Naewonsa II, D:Bumosa I, E:Sangi I, F:Bumosa III, G:Naewonsa I, H:Tongdosa II, I:Sangi II).

3. 결과 및 고찰

부착조류가 자연저층 수준으로 인공저층에 부착하는데 걸리는 시일은 자연저층의 생체량이 낮은 지역은 빨랐으나, 생체량이 높은 지역은 오래 걸렸다(Fig. 2). 범어사 II, 통도사 I, 내원사 II, 범어사 I(평균생체량: 2-4 mg/m²)에서는 약 28일 정도 경과한 후 자연저층의 생체량과 비슷한 수준을 나타내거나 초과하였다. 산지 I 지점에서는 자연저층의 평균 생체량이 낮았으나 다른 4개 지점과는 달리 12일 정도 더 걸린 40일 경에 자연저층의 생체량과 거의 같은 수준에 이르렀다. 부착조류의 생체량이 높은 하천의 경우(평균생체량: > 20 mg/m²)는 부착속도가 빠름에도 불구하고 40일이 지난 후에도 인공저층의 생체량이 자연저층의 수준에 도달하지 못하였다.

자연저층의 부착속도(mg/m²/day)는 생체량이 높은 하천들에서는 0.439 mg/m²/day(n=4)로 생체량이 낮은 하천들의 평균 부착속도 0.145 mg/m²/day(n=5)보다 약 3배 정도 빨랐다. 부착속도가 빠른 하천들에서 자연저층 수준의 생체량에 도달하는 기간이 오래 걸리는 이유는 생체량이 낮은 하천보다 자연저층의 평균 생

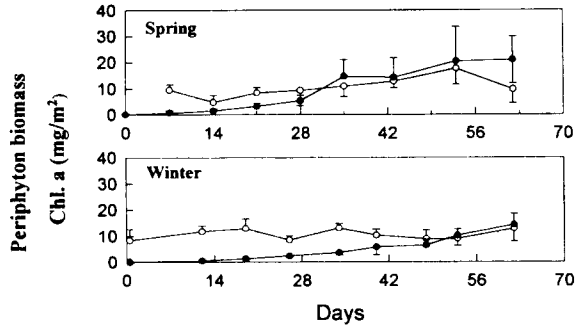


Fig. 3. Periphyton development on artificial (●) and natural(○) substrata in Jangjunchun during the spring and winter (spring; Day 0, May 14, 1994, winter; Day 0, Dec. 12, 1994, mean ± S.D., n=4-8).

체량이 10-20배 정도 높은 것이 그 원인인 것으로 사료된다. 낮은 생체량과 부착기간이 4주 이내인 5지점은 1-2차 하천으로 하천 폭이 2 m 내로 주변식생의 잎의 성숙 정도에 의한 상대적 빛 투과율이 3차 하천보다 적고 하천 주변에 오염원이 적어 영양염류의 농도가 대체적으로 낮았기 때문에 낮은 생체량을 나타낸 것으로 사료된다. 조사 수계의 상류 지점에서 부착조류의 생체량이 낮은 것을 나타낸 것은 일반적으로 1차 소비자인 초식자(다슬기)보다는 shredder 및 collector가 일반적으로 우점하는 한국의 남동부의 전형적인 산지하천에서의 먹이연쇄를 나타낸 것으로 보인다(Kim et al., 1996). 상대적으로 일조량의 투과가 비교적 높은 2-3차 하천의 조사지점에서는 주변으로부터 오염물질의 유입이 많으며 하천의 개방정도가 높아 부착조류의 생체량이 높은 것으로 사료된다(주 등, 1995).

동일 수계(장전천)내에서 인공저층의 생체량이 자연저층의 평균생체량 수준에 이르는 부착조류의 부착기간은 봄과 겨울에 뚜렷한 차이를 보여 주었다(Fig. 3). 봄에는 35일째 인공저층의 생체량(14.7 ± 1.0 mg/m²)이 자연저층의 생체량(12.9 ± 2.6 mg/m²)을 초과하기 시작했고, 이후 평균 20 mg/m²의 생체량을 유지하였다. 겨울동안의 상대적인 빛 투과도는(하천주변식생이 전혀 없는 지점에서 측정된 빛 세기 정도를 100%로 한 상대조건, 봄: 10-19, 겨울: 22-49%) 봄에 비해 높으나 수온이 낮아 인공저층의 부착조류의 생체량은 53일째에 이르러 10.2 ± 2.5 mg/m²로 자연저층(9.0 ± 2.7 mg/m²)의 수준과 유사하였다. 그리고 봄에 비해 전체적으로 엽록소 a 양은 적었으며 부착기간도 느렸다.

Rounick와 Gregory(1981)는 Oregon의 산지 하천에서 부착조류의 생체량에 미치는 물리학적 특성에 의한 영향을 평가한 결과 겨울에는 유속증가로 인해 부착조류가 떨어져 나가 생체량이 감소함을 밝힌 바 있으나, 본 실험에서 겨울에 부착기간이 느린 점은 수온에 의한 영향인 것으로 사료된다. Lyford와 Gregory(1975)는 산지하천에서 상대적 빛 투과도가 다른 두지점(하천의 벌목지점 상하류)에서의 부착조류의 부착속도를 실험한

결과, 벌목으로 인해 빛 유입이 많은 지점에서 부착속도가 2배 이상 빠른 결과를 보고하였는데, 본 실험에서는 부착기간이 빛의 강도가 강하고 수온이 증가하는 봄에는 빠르고 수온이 낮은 겨울에는 느리게 나타남으로써 수온 및 빛 유입정도가 부착조류의 생체량 증가에 복합적인 요인으로 작용하는 것으로 사료된다.

Cattaneo와 Amireault(1992)는 1975년부터 1990년까지 하천과 호수에서 다양한 인공저층(유리, 플라스틱, 돌, 타일 등)을 이용하여 부착조류의 생체량이 자연저층 수준에 도달하는 기간을 조사한 결과 하천이 호수보다 일반적으로 오래 걸렸음을 밝혔다. 하천에서 분석에 사용된 인공저층에 부착하는 정도를 결정하는 중요한 요인으로는 노출시간, 온도, 영양상태 등임을 제시하였다. 부착조류의 동태 파악을 위한 부착기간으로서 2-4주를 선정하는 경우가 가장 많은 것으로 보고되어 있으나, 본 실험 결과에서와 같이 하천 주변식생으로 인해 하상에 유입되는 빛 정도의 변화가 뚜렷한 상류하천의 경우 인공저층의 수중 노출기간은 최소한 6주 이상은 되어야 자연 저층의 생체량 수준에 도달하거나 초과하는 것으로 나타났다. 또한 동일 수계(통도사, 내원사, 및 범어사 수계)내의 짧은 구간(2-3 km)에도 부착조류의 부착기간이 매우 다름을 알 수 있었는데, 즉 하천 폭이 넓어지고 영양염류의 농도가 높은 지점인 하류로 갈수록 생체량이 높았으며 오랜 부착기간이 필요하였다. 따라서 한 수계의 공간적인 차이, 영양염류의 농도, 빛 및 초식자의 유무에 따라 생체량 및 부착기간의 차이가 나타난 것으로 보인다.

4. 결 론

1994년 장전천에서 봄과 겨울에서의 부착조류 생체량의 부착정도에 관한 인공저층의 노출평가 실험과 1995년 겨울 5개하천에서의 실험 결과를 종합해보면, 우리 나라 상류하천에서 적절한 저층의 노출기간은 최소 6주 이상인 것으로 판단된다. 따라서, 노출기간이 2주에서 4주인 경우는 부착조류가 충분히 성장하지 않아 부착조류의 동태 파악에 미흡한 기간인 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단 지정 환경기술·산업개발연구센터(RRC-IETI)의 일부지원(과제번호 96-10-01-99-A-3)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

주기재, 김현우, 하경, 1997, 하천 생태학의 발전과 우리나라 하천 연구의 현황, 한국생태학회지, 20: 69-78.
 주기재, 박성배, 김현우, 하경, 김맹기(엮음), 1995, 금정산 생태, 도서출판 금정, 314pp.
 APHA, AWWA, WEF, 1995, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. American Public Health Association,

Washington, DC.
 Biggs, B. J. F., 1988, Artificial substrate exposure times for periphyton biomass estimate in rivers, New Zealand J. Mar. and Fre. Res., 22: 507-515.
 Cattaneo, A., 1990, The effect of fetch on periphyton spatial variation, Hydrobiologia, 206: 1-10.
 Cattaneo, A. and M. C. Amireault, 1992, How artificial are artificial substrata for periphyton?, J. N. Amer. Benthol. Soc., 11: 244-256.
 Joo, G. J. and A. K. Ward, 1995, Alkaline phosphatase activity in two geologically different streams in Alabama (U.S.A.), Korean J. Ecol., 18: 316-320.
 Kim, H. W., G. J. Joo and J. H. Choi, 1996, Leaf litter processing and patterns of shredder distribution in headwater streams in Southeastern Korea, Korean J. Ecol., 19: 529-541.
 Lay, J. A. and A. K. Ward, 1987, Algal community dynamics in two streams associated with different geological regions in the southeastern United States, Archiv fur Hydrobiologie, 108: 305-324.
 Lyford, J. H. and S. V. Gregory, 1975, The dynamics and structure of periphyton communities in three Cascade Mountain streams, Verh. Internat. Verein. Limnol., 19: 1610-1616.
 Millie, D. F. and R. L. Lowe, 1983, Studies on Lake Erie's littoral algae: host specificity and temporal periodicity of epiphytic diatoms, Hydrobiologia, 99: 7-18.
 Rounick, J. S. and S. V. Gregory, 1981, Temporal changes in periphyton standing crop during an unusually dry winter in streams of the Western Cascades, Oregon, Hydrobiologia, 83: 197-205.
 Stock, M. S. and A. K. Ward, 1989, Establishment of bedrock epilithic community in a small stream: microbial (algal and bacteria) metabolism and physical structure, Can. J. Fish. Aqua. Sci., 46: 1874-1883.
 Tuchman, M. L. and R. J. Stevenson, 1980, Comparison of clay tile, sterilized rock, and natural substrate diatom communities in a small stream in southeastern Michigan, USA, Hydrobiologia, 75: 73-79.
 Wetzel, R. G. and G. E. Likens, 1991, Limnological Analyses, Springer-Verlag, New York, 391pp.