

저서성 대형무척추동물의 자연적 교란에 대한 영향

곽인실 · 송미영¹ · 전태수^{1*}

(한양대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹부산대학교 자연과학대학 생명과학부)

The Effects of Natural Disturbances on Benthic Macro-invertebrate. Kwak, Inn-Sil, Mi-Young Song¹ and Tae-Soo Chon^{1*} (Department of Life Science, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea, ¹Division of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea)

Community dynamics of benthic macroinvertebrates in response to natural disturbances (flooding and water temperature) were investigated in the Suyong and Soktae Streams in Busan from October 1997 to September 1998. Oligochaeta and Chironomus, organic polluted indicators, were dominant and various taxa were observed at the study sites. The density and biomass of two dominant taxa increased in warm months while the indicators were washed away in the flooding season. From October to February when the water temperature was less than 15°C, Oligochaeta appeared to be dominant at the Soktae Stream. In contrast various taxa were collected at the Suyong stream. The densities of Oligochaeta and Chironomus increased at the Soktae and the Suyong streams in March. Due to the big flooding in April, the density of dominant taxa decreased abruptly. The community structure showed differences patterns in the flooding season at two streams from June to August. In the Soktae stream, the density increased in August. The reverse patterns were observed in the Suyong stream, washing out in June followed by slow recovery of densities in the following months. Density and biomass showed relatively higher correlations in most taxa. CCA (Canoncial Correspondence Analysis) showed that taxa was different response to different environmental factors.

Key words : biomass, community dynamics, flooding, water temperature

서 론

하천생태계의 환경변화는 궁극적으로 그 서식처에 생존하는 생물상에 변화를 초래하기 때문에 생물군집에 대한 시공간적 분석은 환경변화의 영향을 감지할 수 있는 주요 척도가 되고 있다. 생물군집은 자연적 환경교란 (Power *et al.* 1988; Resh *et al.* 1988) 뿐만 아니라 공해를 포함한 인위적인 변화에 대해서도 종특이성을 나타내기 때문에 환경을 평가하는데 적절히 이용될 수 있다. 이에

많은 연구에서 환경교란을 평가하기에 저서성 대형무척추동물이 좋은 지표생물임을 보고하였다 (Minshall and Peterson, 1985; Hellowell, 1986).

우리나라의 유수환경인 강은 인위적인 교란뿐만 아니라 자연적인 교란요인에 크게 노출되어져 있다. 즉, 집중강우라는 단기적이고 강한 교란에 하천 전체가 노출되어져 있는 것이다. 이미 강이나 하천에서 강우 (flooding)는 가장 큰 교란요인으로 주목을 받아 많은 연구가 이루어졌다 (Sousa, 1984; Resh *et al.*, 1988; Grimm and Fisher, 1989; Dudley *et al.*, 1990; Reice *et al.*, 1990; Stanly and

* Corresponding author: Tel: 051) 510-2261, Fax: 051) 581-2962, E-mail: tschon@pusan.ac.kr

Fisher, 1992; Boulton and Lake, 1992b). 특히, 강우와 연관되어진 하상의 은닉유속 (shear velocity)과 하상불안정 (substrate instability)의 증가, 하상표면 (substrate surface)의 유실은 저서성 대형무척추동물 (benthic macroinvertebrates)에게 불리한 서식환경을 제공한다 (Boulton *et al.*, 1992a; Cobb *et al.*, 1992; Lancaster and Hildrew, 1993; Scarsbrook and Townsend, 1993; Flecker and Feifarek, 1994; Robertson *et al.*, 1995). 교란 발생 후 저서성 대형무척추동물 군집은 빠르게 회복되는 것으로 알려졌으며 이러한 능력에 대해 수리학적 (hydrodynamics), 형태적 (body shape), 생리적 특성 (trait)을 연구하기도 하였다 (Statzner and Holm 1982, 1989, Waringer 1989). 교란에 대한 회복 (recovery)에 대해 군집구조와 기능이 교란 전의 상태로 돌아가는 것으로 정의하였으며 (Wallace, 1990), 회복되는 속도는 은닉처에 생존한 개체의 분산 (Brooks and Boulton, 1991), 하류로의 포류 (Williams and Hynes, 1976)와 성충의 산란에 의해 (Gray and Fisher, 1981) 영향을 받는 것으로 보고 되었다. 두 번째 자연적인 교란요인으로는 사계절이 뚜렷한 온도의 급격한 변화를 들 수 있겠다. 온도변이는 저서성 대형무척추동물의 서식여부와 풍부도에 영향을 미치며 생활사는 온도에 크게 영향을 받는다고 보고되었다 (Magnuson *et al.*, 1979; Neil, 1979; Vannote and Sweeney, 1980; Cossins and Bowler, 1987). 특히, 생산성 (productivity)은 온도가 가장 높은 여름에 크게 나타나며 (Benke, 1993) 이 시기 동안 특정 종의 출현을 제한시킨다고 하였다 (Vannote and Sweeney, 1980; Matthers, 1987; Cech *et al.*, 1990).

일반적으로 군집 동태를 통한 환경변화 해석은 풍부도나 밀도변이로 설명하였다. 우리나라의 경우 몬순기후에 노출되어 홍수시기와 함께 기온이 상승하여 환경 교란요인이 중첩되는 특성을 지니고 있다. 따라서 일반적인 기온효과(생산성 증가)나 강우효과(출현종 유실)로 군집동태를 설명하기는 어려운 점이 있다. 또한 저서성 대형무척추동물을 대상으로 한 생산성 연구는 많은 실내외 실험을 필요로 하여 많은 시간과 노력을 요하는 단점도 있다. 이런 강우로 인한 유실로 생산성을 설명하기 어려운 단점을 보완하는 방법으로 생체량 측정을 통하여 해석이 가능한 지를 시도하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 도심의 오염하천과 오염에 대해 비교적 양호한 하천을 대상으로 강우와 기온변화가 저서성 대형무척추동물에 미친 영향을 풍부도와 생체량 (biomass)을 통하여 살펴보고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지의 상태

부산에 위치한 수영강과 석대천의 저서성 대형 무척추동물에 대한 연구는 전 등에 의해 장기간 이루어졌다 (권 1991; 강 등, 1995; 전 등, 1996; 윤과 전, 1999; 전 등, 2000). 수영천은 전체적으로 오염이 되었거나 진행되고 있는 상태이며 β -중부수성을 나타내었다 (Chon and Kwon, 1991). 수영천의 조사지점은 YA, YB, 그리고 YC 세 곳을 정하였다 (Fig. 1). 창기 (YB)지역은 3차 하천이지만 상수원으로 보호되기 때문에 상대적으로 오염이 덜 되었다. 가장 하류에 위치한 YC 지역은 4차 하천으로 주거지역과 농지에서 나오는 각종 오염원의 유입과 갈수기에는 낙동강으로부터 1일 10만 톤 가량의 물이 유입 (수영천 및 회동 저수지 유량 유지를 위하여 물금지역에서 인공수로를 통해 노포동 지역으로 강물 유입; 부산시

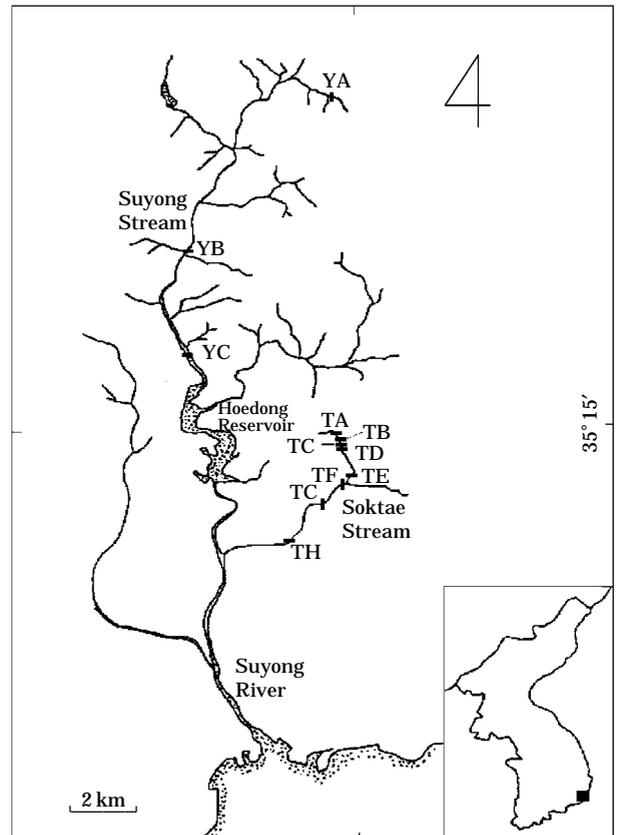


Fig. 1. The sample sites of benthic macroinvertebrates collection in Suyong River from October 1997 to September 1998.

명장 정수사업소, 1996)되어 간헐적인 유량 급증에 의해 서식처 교란을 받는 곳이다.

수영천보다 하류에 위치한 석대천은 주거지를 관통하여 다양한 오염원에 노출되어 있는데, 하류로 갈수록 오염정도가 β -중부수성에서 α -강부수성으로 증가한다. 하류로 유입되는 가정오수의 양은 일일 17,000 m³에 달하는 것으로 보고하였다 (Kwon and Chon, 1991). 석대천은 다양한 오염원에 노출되어 있어 TA에서부터 TE, TH까지 8곳을 정하여 저서성 대형무척추동물 군집의 변이를 조사하였다 (Fig. 1). 최상류인 TA는 1차 하천으로 대체로 깨끗하며 유기 오염원의 영향을 받지 않았으나 여름철 주민의 세탁 및 세척과 주변 실로암 공원묘지의 확장 공사로 인한 토사의 유입, 주변 농지 정비로 인한 하상구조 변화 등의 인위적인 교란이 잦았다. TE지점은 2차 하천으로 농경지와 축산농가에서 나오는 유기물질에 의해 간헐적으로 오염되었다. 최하류인 TH지점은 3차 하천으로 주변 주거 밀집지역으로부터 흘러나오는 가정 오수로 인해 심하게 오염되었다.

2. 조사방법과 분류 (Identification) 및 자료분석

생물과 환경조사는 1997년 10월부터 1998년 9월까지 월별정기조사 하였다. 각 조사지점의 저서성 대형무척추동물은 Surber net (30 × 30 cm²; mesh size: 400 μ m; APHA 1985)을 사용하여 3반복 정량채집 하였다. 일반적인 수서곤충의 분류는 윤 (1988)과 Brigham *et al.* (1982), Merritt and Cummins (1984), Pannak (1978)과 Quigley (1977) 등을 참조하였다. 특히 깔따구과는 Merritt과 Cummins (1984)와 Wiederholm (1983)의 검색표에 의해 분류하였으며, 빈모류는 Brigham *et al.* (1982)과 Brinkhurst (1986)에 따랐다. 또한 현미경 (Olympus SZH 10) 하에서 총 개체수를 구하였고, 생체량 (biomass)은 표본에서 물기를 제거한 후 젖은 무게 (wet weight)를 측정하였다. 강우량은 기상청 (www.kma.go.kr)의 자료를 이용하였다.

환경데이터 매트릭스와 출현 생물종의 데이터 매트릭스와의 상관관계를 파악하고자 CCA (Canonical Correspondence Analysis)를 실시하였다. CCA는 다변량분석 방법의 일종으로 생태학에 광범위하게 사용된다. 먼저, 환경변수에 대한 각 샘플간의 다변량 회귀를 상호적으로 계산하는 단계를 지속적으로 실행하여 안정화시킨 다음 단순화시켜 두 축에 의해 시각화하여 환경변수와 생물종 데이터와의 관계를 보여준다. 본 연구에서는 Hill reciprocal averaging algorithm을 도입하여 드물게 출현한 종의

weight를 조절하여 우점한 종의 풍부도에 의한 영향을 고려하였으며 Jacobi algorithm을 통하여 각 변수들에 대한 점수를 동시에 계산하여 중요하게 영향을 주는 축을 추출할 수 있도록 구성하였다. 통계소프트웨어로는 MVSP 3.0을 사용하였다.

결 과

1. 강우와 기온 동태

기온은 1월에 최저기온 3.1°C, 8월 최고기온 24.8°C을 보였고, 12월에 최저수온 8.0°C, 최고수온은 8월에 22°C를 기록하여 기온에 비해 수온의 변이가 덜하였다 (Fig. 2). 수온은 크게 3단계로 15°C 이하인 시기 (10월부터 2월까지, I단계), 15°C에서 20°C 이하인 시기 (3월부터 5월까지, II단계) 그리고 20°C 이상인 시기 (6월에서 9월까지, III단계)로 구분되었다.

월별 누적강우를 보면 우기가 잘 나타났다. 10월부터 3월까지의 강우는 100 mm 이하였으며 (예외, 11월은 280mm) 4월에서 5월까지의 강우는 200 mm 이상이었고 특히 6월 (450 mm)과 8월 (350 mm)은 여름 집중 강우시기로 경계를 구분할 수 있었다 (Fig. 2). 조사기간 동안 20°C 이상의 기온과 수온 및 350 mm 이상의 강우가 수반된 시기는 6월과 8월로 나타났다.

2. 군집동태

전체적으로 오염이 심하였던 석대천은 깔따구류 (Chironomidae)와 빈모류 (Oligochaeta)가 우점하였고 상대적으로 오염이 약했던 수영천은 깔따구류와 하루살이류 (Ephemeroptera)가 주로 출현하였다. Fig. 3A와 Fig. 4A는 석대천과 수영천의 전 지점에서 조사기간 동안 출현한 주요분류군의 월별 총 밀도 (total density)를 나타낸 것이다. 석대천의 출현밀도는 수영천의 대략 8에서 10배 가량 높게 나타났다.

수온이 15°C 이하인 시기 I단계 동안 수온의 증가로 출현밀도가 서서히 증가되는 양상이 두 하천에서 모두 나타났다. 석대천에서는 빈모류가 우점을 이루었으며 상대적으로 소수의 깔따구류가 출현하였다. 반면 수영천은 다양한 분류군의 출현을 보여 빈모류, 깔따구류, 하루살이류 및 복족류가 조사되었다. 또한 군집구성은 전년도 강우 영향을 받은 97년 10월은 다양하였으나 이후 서서히 단순해지는 양상이 I단계 동안 두 하천에서 지속적으로 보였다. 그러나 두 하천의 군집구성에는 뚜렷한 차이

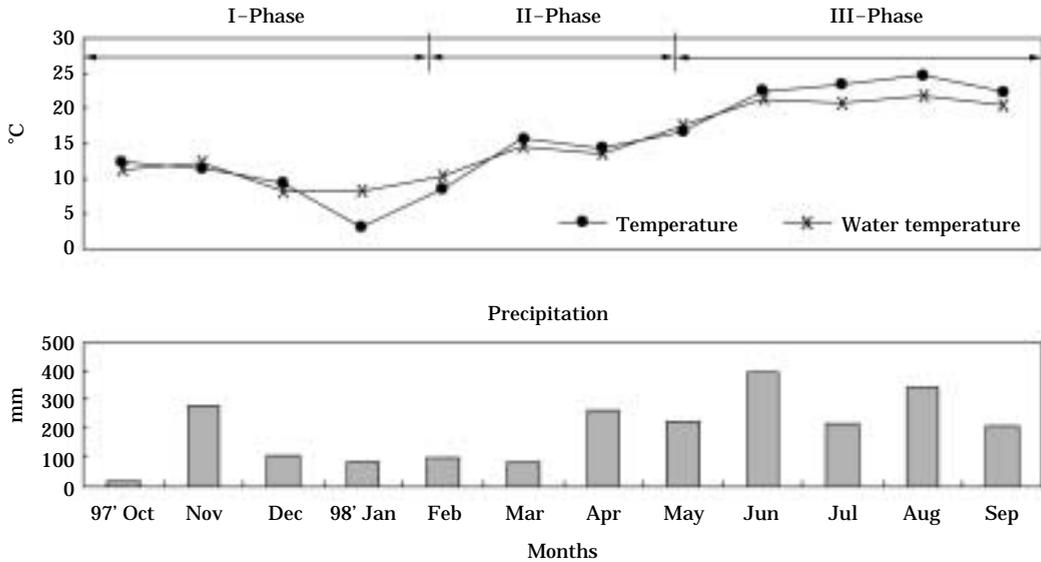


Fig. 2. Monthly variation in precipitation and temperature in Suyong River from October 1997 to September 1998.

를 보였다. 석대천은 11월부터 빈모류가 우점을 차지한 것이 I단계에 유지되었고 1월부터 깔따구류의 출현이 점차 증가되는 패턴을 보였다. 반면 수영천은 12월까지 하루살이류와 빈모류가 우점을 이루었으나 1월부터 빈모류는 급격히 감소하고 깔따구류가 다수 출현하였다.

수온이 15°C에서 20°C 이하인 II단계의 4월과 5월에는 강우가 작용하여 복잡한 군집동태를 보였다. 3월 석대천과 수영천에서 깔따구류의 출현이 크게 증가하였다. 그러나 4월과 5월은 강우로 두 하천에서 밀도감소가 나타났으나 군집구성에는 차이가 있었다. 먼저, 석대천은 빈모류와 깔따구류의 감소가 동시에 나타났으며 5월부터 하루살이류의 출현이 크게 나타났다. 수영천은 3월 깔따구류의 큰 증가로 조사시기 동안 가장 높은 풍부도를 보였으나 4월과 5월은 강우로 인해 급격한 감소가 발생하였다. 그럼에도 불구하고 하루살이류는 II단계동안 출현 풍부도가 지속적으로 유지되었다.

6월 이후 지속된 20°C 이상의 수온을 보인 III단계에 두 하천의 출현밀도 동태는 대조적이었다. III단계는 6월과 8월의 큰 강우가 수온상승과 함께 작용하는 시기가 포함되어 있다. 석대천 6월은 큰 강우에도 불구하고 수온의 증가로 깔따구류가 크게 증가하였으나 수영천은 큰 강우로 모두 유실되는 대조적인 양상을 보였다. III 단계 동안 석대천은 6월 이후 풍부도가 급격히 감소되는 양상을 보였으나 수영천은 6월의 큰 유실 이후 점차 풍부도가 회복되는 양상을 보여 대조적이었다. 언급한 II단계 강우로 석대천에서는 빈모류와 깔따구류가 동시에 감소

되었으나 III단계 집중강우에는 깔따구류는 크게 감소하였으나 빈모류는 오히려 증가되거나 유지되었다. 수영천은 수질 변화에 대해 석대천과 달리 초기강우인 II단계에 빈모류와 깔따구류가 증가되어 수질개선보다는 서식처가 교란 받고 있음을 보였고 집중강우시기인 III단계에 풍부도가 회복되면서 빈모류가 사라지는 양상을 보였다. 9월 석대천은 빠르게 복족류와 하루살이류가 다수 출현하는 등 회복되는 것으로 조사되었으나 수영천은 하루살이류와 깔따구류의 풍부도가 감소하였다.

3. 생체량 (biomass) 동태 및 출현군집과 환경과의 연관성

전체적으로 생체량과 풍부도의 동태는 매우 유사한 양상을 보였다 (Figs. 3, 4). 월별 군집동태와 생체량 동태와의 상관성을 살펴보았다 (Zar, 1998). 석대천은 거머리류 ($r = 0.412, F = 2.401, 0.1 < P < 0.2$)를 제외한 깔따구류 ($r = 0.981, F = 104.263, P < 0.001$), 하루살이류 ($r = 0.957, F = 45.512, P < 0.001$), 복족류 ($r = 0.927, F = 26.397, P < 0.001$) 그리고 빈모류 ($r = 0.887, F = 16.699, P < 0.001$)가 생체량과 풍부도의 상관성이 높게 나타났다. 오염이 비교적 덜한 수영천도 거머리류 ($r = 0.373, F = 2.190, 0.2 < P < 0.5$)를 제외한 복족류 ($r = 0.953, F = 41.553, P < 0.001$), 깔따구류 ($r = 0.945, F = 35.364, P < 0.001$), 빈모류 ($r = 0.896, F = 18.231, P < 0.001$) 그리고 하루살이류 ($r = 0.688, F = 5.410, 0.01 < P < 0.02$)가 생체량과 풍부도의 상관성이 다소 높게 나타났다. 수영천 하루살이류의 상관

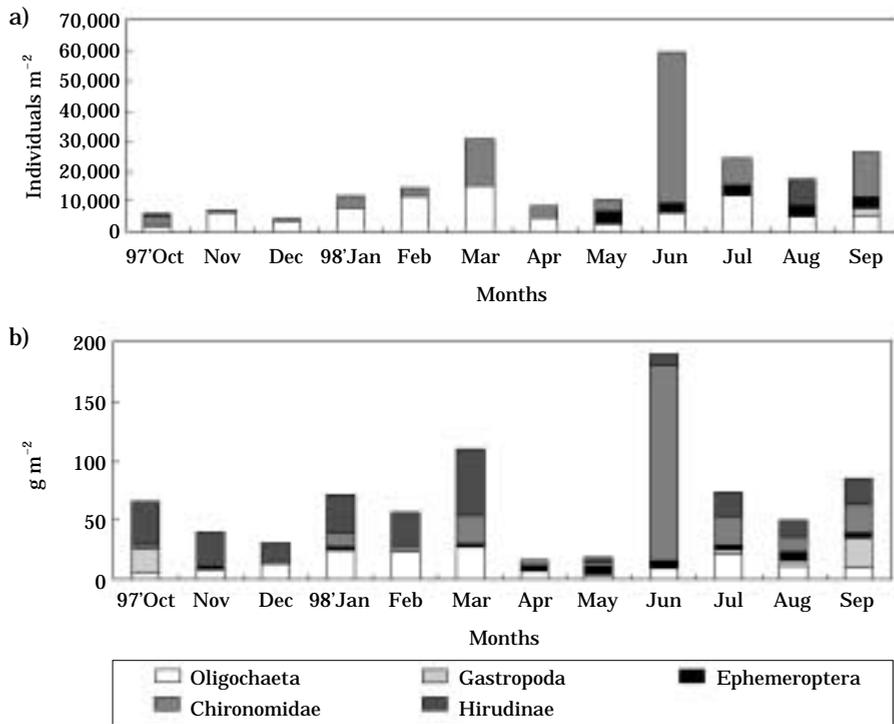


Fig. 3. Monthly variation in density and biomass of the selected taxa in Soktae Stream.

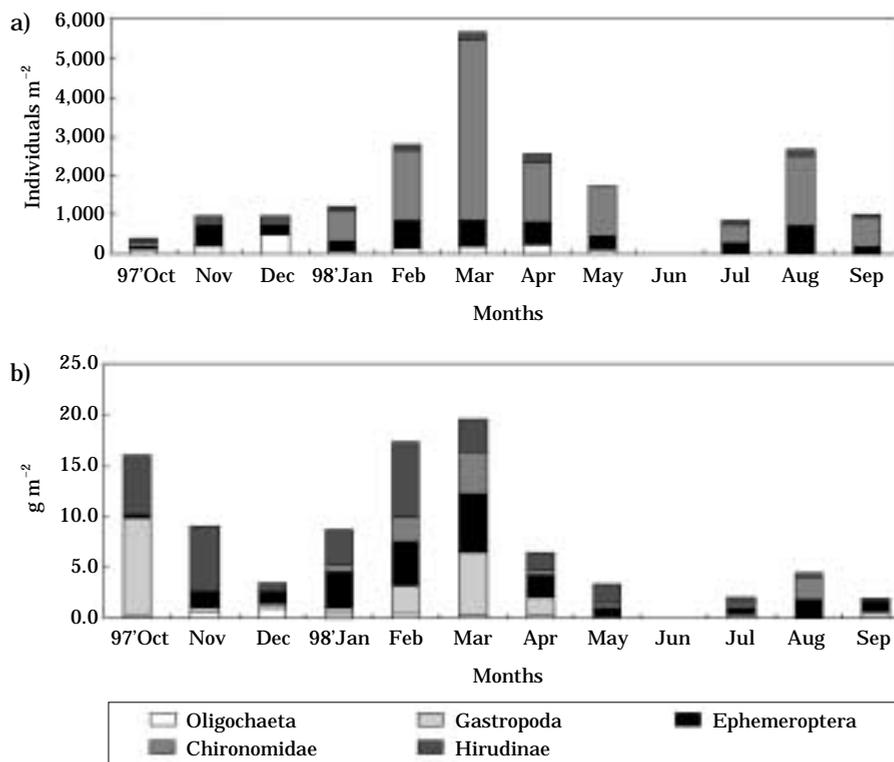


Fig. 4. Monthly variation in density and biomass of the selected taxa in Suyong Stream.

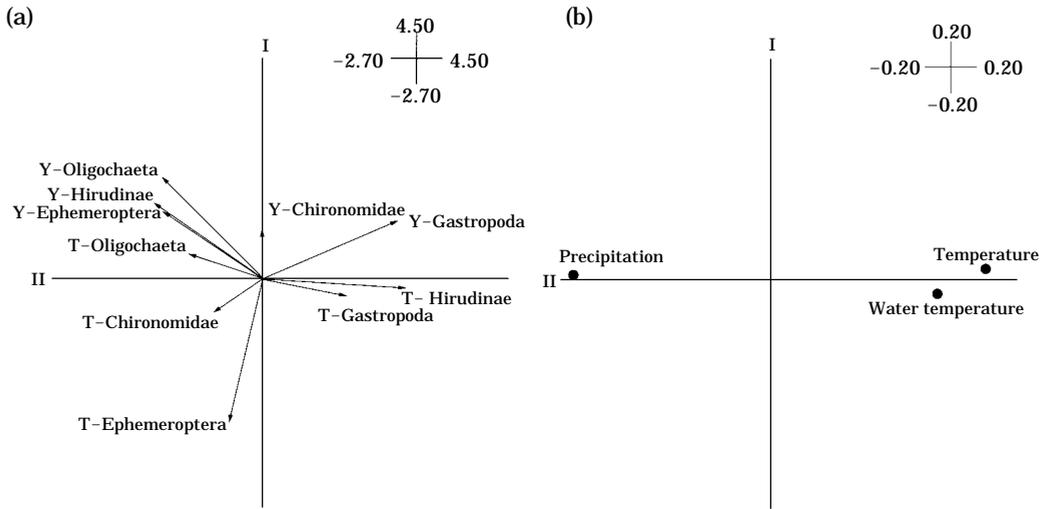


Fig. 5. Bi-plots of benthic macroinvertebrates corresponding with environmental factors by CCA.

성이 석대천에 비해 낮았던 것은 유충과 노숙유충의 생체량에 차이가 큰 하루살이과 (Ephemeridae)가 나타난 것에 기인하였다.

I단계 두 하천의 풍부도 증가시 거머리류의 개체수는 적었으나 생체량은 높았다. 특히, 석대천의 10월은 풍부도는 낮았으나 거머리류와 복족류의 생체량이 높았다. II 단계 강우로 인한 풍부도와 생체량이 급감하여 유실효과는 뚜렷하였다.

먼저 석대천은 4월과 5월의 강우로 유실되었음에도 불구하고 하루살이류, 복족류가 출현하여 수질변화가 있었음을 시사하였다. 또한, III단계의 집중강우로 인한 풍부도 감소는 급격하였으나 생체량의 구성은 거머리류, 복족류, 하루살이류, 깔따구류와 빈모류로 다양하였다. 집중강우 후인 9월은 풍부도는 다소 증가되었으나 군집이 회복되고 있음을 파악하기 어려우나 생체량은 다양한 분류군이 전년도 10월과 유사하게 나타나 회복되고 있음을 보였다. 다른 예로, 수영천 10월의 풍부도는 낮았으나 거머리와 복족류가 기여하여 생체량은 매우 높았다 (Fig. 4). I 단계 풍부도 증가시 석대천에서는 하루살이류와 복족류가 출현하지 않았으나 수영천에는 이 두 분류군의 풍부도와 생체량이 크게 증가하였다. 또한 III단계 집중강우로 석대천의 풍부도가 감소할 때 수영천은 오히려 증가되어 두 하천 간에 강우에 따른 효과가 다르게 반영되었다.

풍부도와 환경을 대상으로 CCA를 실시한 결과 Axis I 과 Axis II에 의해 95.74% (Eigenvalues: Axis I; 3.261 (85.68%), Axis II; 0.211 (10.06%)) 해석력이 있었다. Axis I에 의해 강우량은 좌측에 위치하였으며 수온과 기온은

우측에 놓여 다른 경향을 나타내었다 (Fig. 5). 석대천의 복족류와 거머리류, 수영천의 복족류는 우측에 나머지는 좌측에 위치하였다. 따라서 복족류는 기온 및 수온과 상관성이 있음을 시사하였다. Axis II에 의해 수영천의 분석 대상 분류군 전부가 양의 값을 나타낸 반면 석대천은 빈모류를 제외한 분류군이 음의 값을 보여 두 하천 간에 출현한 생물군이 환경과의 반응에 차이가 있음을 나타내었다.

고 찰

강우, 수온 및 기온에 따른 생물군집의 반응을 오염된 도심하천과 비교적 덜 오염된 하천을 대상으로 비교하였다. 조사시기인 1997년 10월부터 1998년 9월은 수온 15°C와 20°C를 경계로 I단계에서부터 III단계로 나뉘었고 강우에 의해 강우 전과 집중 강우기로 나눌 수 있었다. 기존의 생태적인 관점에서 우리나라는 사계절이 뚜렷하다고 하여 식물상은 계절조사가 일반적으로 이루어진다. 하천의 경우도 계절조사가 이루어지는 경우가 많다. 하천에 서식하는 생물에 중요한 요인인 수온의 변동을 보면 봄과 가을은 매우 짧다. 또한 강우는 봄과 함께 시작되며 가을이 되면 약해지는 특성을 가진다. 따라서 강우의 교란을 받는 하천에서 수온의 증가가 저서생물 생산성의 증가에 기여하기에 어려운 구조를 이루고 있었다. 따라서 하천을 대상으로 한 연구는 계절조사를 통한 자료수집 뿐 아니라 정기적인 조사 및 강우 전과 후를

통한 군집출현을 조사하는 것은 매우 중요하다.

저서성 대형무척추동물을 대상으로 한 기존의 군집동태는 풍부도를 바탕으로 이루어졌다. 군집구성의 변화와 풍부도의 변동을 통해 수질과 서식처의 변화를 유추하고 파악해 나갔다. 그러나 교란을 받은 환경의 회복여부를 판단하기에 풍부도만으로 설명하기에는 다소 무리가 따랐다. 이런 점에서 생물 생체량의 변동은 성장 또는 성숙이 내포하고 있어 회복여부를 판단하기에 좋은 지표가 될 수 있었다. CCA분석 결과 먼저 강우와 수온이 생물군집에 미친 영향은 상반되는 것으로 나타났으며 또한 출현한 생물군집의 반응은 하천에 따라 차이를 보였다. 따라서 동일한 시기에 가해진 환경요인이라도 지형적인 위치에 따라 그 효과는 달라질 수 있으며 동일한 분류군일 지라도 서식여부는 지형적인 특성에 따라 달라짐을 보여주었다.

적 요

부산에 위치한 수영천과 석대천을 1997년 10월부터 1998년 9월까지 월별 정기 조사하여 강우, 수온 및 기온에 따른 군집동태를 연구하였다. 조사하천에서 깔따구류와 빈모류가 우점하여 저서성 대형무척추동물이 다양하게 출현하지 않았다. 수온의 증가는 두 우점군의 풍부도와 생체량을 증가시키는 역할을 하는 반면 잦은 강우는 유실효과를 유발하였다.

온도가 15°C 이하였던 10월과 2월 동안 석대천은 빈모류가 수영천에서는 다양한 분류군의 출현을 보였다. 온도가 크게 올라간 3월에 석대천과 수영천은 빈모류와 깔따구류의 증가가 나타났다. 그러나 4월에 큰 강우가 작용하여 석대천과 수영천에서 우점을 이루었던 빈모류와 깔따구류가 감소하였다. 집중강우와 기온상승이 이루어진 6월 이후 석대천은 강우로 오히려 증가되고 8월에 감소된 반면에 수영천은 크게 유실되고 서서히 증가되는 양상을 보여 하천 간에 차이가 뚜렷하였다. 생체량의 변동과 풍부도 동태는 매우 유사한 양상을 보여주었다. CCA분석 결과, 수온과 기온은 복족류와 상관성이 높았으며 생물분류군의 환경에 대한 반응은 두 하천에 따라 다르게 나타났다.

사 사

This study was supported by Korea Science and Engineering Foundation (KOSEF; Project Number R08-

2003-000-10163-0).

인 용 문 헌

- APHA, AWWA and WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and waste (16th ed.).
- Benke, A.C. 1993. Concepts and patterns of invertebrate production in running waters. *Verhandlungen der Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*. **25**: 15-38.
- Boulton, A.J., C.G. Peterson, N.B. Grimm and S.G. Fisher. 1992a. Stability of an aquatic macroinvertebrate community in a multiyear hydrologic disturbance regime. *Ecology*. **73**: 2192-2207.
- Boulton, A.J. and P.S. Lake. 1992b. The ecology of two intermittent streams in Victoria, Australia. III. Temporal changes in faunal composition. *Freshwater Biology*. **27**: 123-138.
- Brighnam, A.R., W.U. Brighnam and A. Gnika. 1982. aquatic insects and Oligochaeta of North and South Carolina. *Midwest Aquatic Enterprise*.
- Brinkhurst, R.O. 1986. Guide to the Freshwater Aquatic Microdrile Oligochaetes of North America. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*. **84**, 259pp.
- Brooks, S.S. and A.J. Boulton. 1991. Recolonization dynamics of benthic macroinvertebrates after artificial and natural disturbances in an Australian temporary stream. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. **42**: 295-308.
- Cech, J.J., S.J. Mitchell, D.T. Castleberry and M. Mckenroe. 1990. Distribution of California stream fishes: influence of environmental temperature and hypoxia. *Environmental Biology of Fishes*. **29**: 95-105.
- Chon, Tae-Soo, Young Seuk Park, Kyong Hi Moon and Eui Young Cha. 1996. Patternizing communities by using an artificial neural network. *Ecological Modelling*. **90**: 69-78.
- Chon, T.-S. and T.S. Kwon. 1991. Ecological studies on benthic macroinvertebrates in the Suyong River. *Korean Journal of Limnology*. **24**: 165-178.
- Chon, T.-S., Y.S. Park and E.Y. Cha. 2000. Patterning of community changes in benthic macroinvertebrates collected from urbanized streams for the short time prediction by temporal artificial neural networks. *In*: S. Lek and J.F. Guegan (Editors), *Artificial Neural Networks in Ecology and Evolution*. Springer-Verlag.
- Cobb, G.G., T.D. Galloway and J.F. Flannagan. 1992.

- Effects of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **49**: 1788-1795.
- Cossins, A.R. and K. Bowler. 1987. Temperature biology of animals. Chapman and Hall, London.
- Dudley, T.L., C.M. D'antonio and S.D. Cooper. 1990. Mechanisms and consequences of interspecific competition between two stream insects. *Journal of Animal Ecology*. **59**: 849-866.
- Flecker, A.S. and B. Feifarek. 1994. Disturbance and the temporal variability of invertebrate assemblages in two Andean streams. *Freshwater Biology*. **31**: 131-142.
- Gray, L.J. and S.G. Fisher. 1981. Postflood recolonization pathways of macroinvertebrates in a lowland Sonoran Desert stream. *American Midland Naturalist*. **106**: 249-257.
- Grimm, N.B. and S.G. Fisher. 1989. Stability of periphyton and macroinvertebrates to disturbance by flash floods in a desert stream. *Journal of the North American Benthological Society*. **8**: 293-307.
- Hellawell, J.M. 1986. Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. Elsevier, London. 546 pp.
- Kang, D.H., Chon, T.-S. and Y.-S. Park. 1995. Monthly changes in benthic macroinvertebrate communities in different saprobities in the Suyong and Soktae streams of the Suyong river. *Korean J. Ecol.* **18**: 157-177.
- Kwon, T.S. 1991. Distribution and abundance of benthic macroinvertebrate communities in the Suyong river and multivariate analysis on their relationships with some environmental factors and organic pollutions. Ph.D. Pusan National University.
- Lancaster, J. and A.G. Hildrew. 1993. Characterizing in-stream flow refugia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50 (in press).
- Magnuson, J.J., L.B. Crowder and P.A. Medvick.. 1979. Temperature as an ecological resource. *American Zoologist*. **19**: 331-343.
- Matthers, W.J. 1987. Physiochemical tolerance and selectivity of stream fishes as related to their geographic ranges and local distributions. Pages 111-120 in W.J. Merritt R.W. & K.W.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins 1984. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. Hunt Publishing Company, Dubuque. 722p.
- Minshall, G.W. and R.C. Peterson. 1985. Towards a theory of macroinvertebrate community structure in stream ecosystems. *Archiv fur Hydrobiologie*. **104**: 49-76.
- Neil, W.H. 1979. Mechanisms of fish distribution in heterothermal environments. *American Zoologist*. **19**: 305-317.
- Pennak, R.W. 1978. Fresh-water Invertebrates of the United States. John Wiley & Sons, Inc., New York. 803pp.
- Power, M.E., R.J. Stout, C.E. Cushing, P.P. Harper, F.R. Hauer, W.J. Matthews, P.B. Moyle, B. Statzner and I. R. Wais De Badgen. 1988. Biotic and abiotic controls in river and stream communities. *Journal of the North American Benthological Society* **7**: 456-479.
- Quigley, M. 1977. Invertebrates of streams and rivers. Edward Arnord (publishers) Ltd., Colchester. 84pp.
- Reice S.R., R.C. Wissmar and R.J. Naiman. 1990. Disturbance regimes, resilience and recovery of animal communities and habitats in lotic ecosystems. *Environmental Management* **14**: 647-659.
- Resh, V.H., A.V. Brown, A.P. Covich, M.E. Gurtz, H.W. Li, G.W. Minshall, S.R. Reice, A.L. Sheldon, J.B. Wallace and R.C. Wissmar. 1988. The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* **7**: 433-455.
- Robertson, A.L.J. Lancaster and A.G. Hildrew. 1995. Stream hydraulics and the distribution of macrocrustacea: a role for refugia? *Freshwater Biology*. **33**: 469-484.
- Scarsbrook M.R. and C.R. Townsend. 1993. Stream community structure in relation to spatial and temporal variation: a habitat templet study of two contrasting New Zealand stream. *Freshwater Biology*. **29**: 395-410.
- Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*. **15**: 353-391.
- Stanly, E.H. and S.G. Fisher. 1992. Intermittency, disturbance, and stability in stream ecosystems. Pages 271-280. In: R.D. Robarts and M.L. Bothwell (editors). Aquatic ecosystems in semi-arid regions: implications for resource management. National Hydrology Research Institute Symposium Series 7, Environment Canada, Saskatoon, Saskatchewan.
- Statzner B. and T.F. Holm. 1982. Morphological adaptations of benthic invertebrates to stream flow—an old question studied by means of a new technique (Laser Doppler Anemometry). *Oecologia*. **53**: 290-292.
- Statzner B. and T.F. Holm. 1989. Morphological adaptations of shape to flow: microcurrents around lotic macroinvertebrates with known Reynolds numbers at quasi-natural flow conditions. *Oecologia*. **78**: 145-157.
- Vannote, R.L. and B.W. Sweeney. 1980. Geographic an-

- alysis of thermal equilibria: a conceptual model for evaluating the effect of natural and modified thermal regimes on aquatic insect communities. *American Naturalist* **115**: 667-695.
- Wallace, J.B. 1990. Recovery of lotic macroinvertebrate communities from disturbance. *Environmental Management* **14**: 605-620.
- Waringer, J.A. 1989. Resistance of a cased caddis larva to accidental entry into the drift: the contribution of active and passive displacements. *Freshwater Biology* **21**: 411-420.
- Wiederholm, T. 1983. Chironomidae of the Holartic Region. Keys and Diagnoses. (Part 1. Larvae). *Ent. Scand. Suppl.* **19**, 457pp.
- Williams, D.D. and H.B.N. Hynes. 1976. The ecology of temporary streams I. The fauna of two Canadian streams. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie* **61**: 761-787.
- Youn, B.J. and T.S. Chon. 1999. Effect of Pollution on Communities of Chironomidae (Diptera) in Sokdae Stream a Tributary of the Suyong river. *Korean J. Limnol.* **32**: 24-34.
- Yun, I.B. 1988. Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea Vol. 30. (Aquatic insects), Ministry of Education, Seoul. 840pp.
- (Manuscript received 28 November 2003,
Revision accepted 28 February 2004)