

수영강의 수영천 및 석대천의 저서성 대형무척추동물의 부수성에 따른 월별 군집 변이

강다형 · 전태수 · 박영석

부산대학교 자연과학대학 생물학과

Monthly Changes in Benthic Macroinvertebrate Communities in Different Saprobities in the Suyong and Soktae Streams of the Suyong River

Kang, Da Hyeung, Tae-Soo Chon and Young-Seuk Park

Department of Biology, College of Natural Sciences, Pusan National University

ABSTRACT

Monthly changes in communities of benthic macroinvertebrates collected in the Suyong and Soktae stream of the Suyong river were investigated from September 1993 to August 1994. The total number of species collected during the study period ranged from seven to seventy six species according to pollution levels at the study sites. Monthly changes in species richness appeared differently in different taxonomic assemblages. In chironomids differences in species richness responding to different levels of saprobity were shown consistently as time proceeded. In Ephemeroptera species richness at the relatively clean sites responded sensitively to slight enrichment. In connection with species richness the monthly changes in densities in taxonomic assemblages also appeared to effectively represent environmental impacts. Species diversity generally represented the pollution status also, however the monthly variations at the study sites appeared to be relatively high. The clustering analysis showed that the communities collected at polluted sites were grouped closely, and the communities collected at the relatively clean sites were clustered to the same stream although the degree of community association was low. Through the Principal Component Analysis, the impact of pollution was reflected in a great degree in overall community variations.

Key words: Benthic macroinvertebrates, Community change, Species diversity, Species richness, Suyong river

서 론

생물군집의 해석은 종합적 생태계 관리의 개념에 입각하여 최근 매우 중요시되고 있다. 생태

이 논문은 1993년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

계에 대한 실질적이고도 다면적인 평가를 위해서는 이화학적 방법과 생물적 방법의 상호 보완이 필요하다(Tittizer and Kothé 1979). 생물군집 중 저서성 대형무척추동물은 다양한 종으로 구성되어 있어서 광범위한 환경 영향에 반응하고, 정주성(sedentariness)과 상대적으로 긴 생활사를 가지기 때문에 오염원 근처에서의 장, 단기적인 환경 영향을 종합적으로 감지할 수 있는 지표성을 가지고 있다(Hellawell 1986). 또한 지역이 다르더라도 군집 중 구성에 공통성이 있어 객관적 평가 기준이 될 수 있는 가능성이 있다(Hynes 1960, Hawkes 1979, Tittizer and Kothé 1979).

수영강은 1970년대 후반부터 이화학적 조사(원 등 1979)가 수행되었고, 이(1989)는 조류(藻類)의 군집 분석을 통해 생태적 수질 평가를 시도하였다. 권과 권(1991) 및 권과 전(1991)은 수영강 주요 조류의 저서성 대형무척추동물에 대한 군집 구성을 밝혔는데, 주로 β -mesosaprobity 및 oligosaprobity로 나타난 상류지역에서는 하루살이 및 *Cricotopus*속, *Polyperidulum*속 등의 깔따구류가 많이 출현하였고, polysaprobity로 나타나 오염이 심한 하류에는 *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Chironomus* sp. 1 등이 많이 채집되었다고 보고하였다. 최근 권과 전(1993)은 저서성 대형무척추동물 군집분석을 바탕으로 종 다양도 및 생물지수를 조사하여 생물학적 수질평가를 시도하였다. 이들은 생물지수가 수영강의 부수성을 반영하였고, 경우에 따라 각 지수가 환경 영향을 특징적으로 나타내기 때문에 이화학적 지수와 보완되어 생물 군집이 수영천 생태계를 종합적으로 이해할 수 있는데에 기여할 수 있음을 시사하였다. 그러나 상기 조사는 주로 계절에 따른 개괄적 조사이었으므로, 채집 간격을 좁히어 부수성 정도에 따른 군집변이 양상을 보다 자세히 살펴 볼 필요성이 있었다. 군집 반응의 다양성, 실험여건 등을 고려해 수영강 조류의 일부를 택해 중요 분류군의 월별 출현 및 군집 유형 등을 본 조사에서 파악하고자 하였다.

조사방법

수영강은 경남 양산군에서 발원하여 길이 28.5 km, 유역 면적이 199.5 km²이며 부산의 중심지를 관통하는데, 전체적 개관은 권과 전(1991)에 언급되어 있다. 상류에서 하류로 갈수록 적절하게 군집변이가 나타날 수 있도록 오염정도에 따라 수영천, 석대천(지도상에는 양평천으로 표기됨) 및 수영강 하류의 9개소를 조사지점으로 정하였다(Fig. 1).

수영천은 하류 지점들에 비해 비교적 청정하기 때문에(권과 전 1993), 군집상이 다양할 것을 고려하여 임곡(Im Gog; YIG), 창기(Chang Ki; YCK) 및 신천(Shin Chon; YSC) 세 곳을 택하였다. 이 곳들은 3 ~ 4차 계류에 위치하고 수영천 중류를 대표할 수 있는데, 수심이 10 ~ 20 cm이며 주위에 농경지가 있다. 각 조사지점의 전체적인 여건이 비슷하나 YIG 및 YSC지점은 조사기간 동안 하천 정비공사 등의 영향으로 하상이 다소 교란되고 토사유입이 있었다. YSC지점은 YIG지점과 YCK지점에 비해 다소 먼 곳에 위치하는데, 이 곳이 전반적으로 수영천 중류의 특징을 가지고 있으면서도 장차 개발될 가능성이 있고 회동 저수지 상류쪽 입구에 위치한 지형적 중요성을 가지고 있어서 택하였다.

수영천보다 하류에 위치한 석대천은 상류에서 하류로 갈수록 오염이 점차로 심해진다(권과 전 1991). 상류의 1차 계류에 위치한 사등골(Sa Deung Kol; TSD)은 비교적 청정한 곳이고 수심은 대체적으로 10 cm 이하이며 인근에 실로암 공원 묘지가 있다. 2차 계류에 있는 고촌(Ko Chon; TKC)은 수심이 10 ~ 15 cm이고 근처에 채소류 등의 농작물이 재배된다. 하류의 3차 계류에 있는 하반송(Ha Pan Song; THP)과 4차 계류의 중리(Chung Li; TCL)는 수심이 20 cm 내외이며 인근에 밀집한 주택가나 소규모 공장으로부터 오폐수의 유입으로 심하게 오염되어 있다. 수

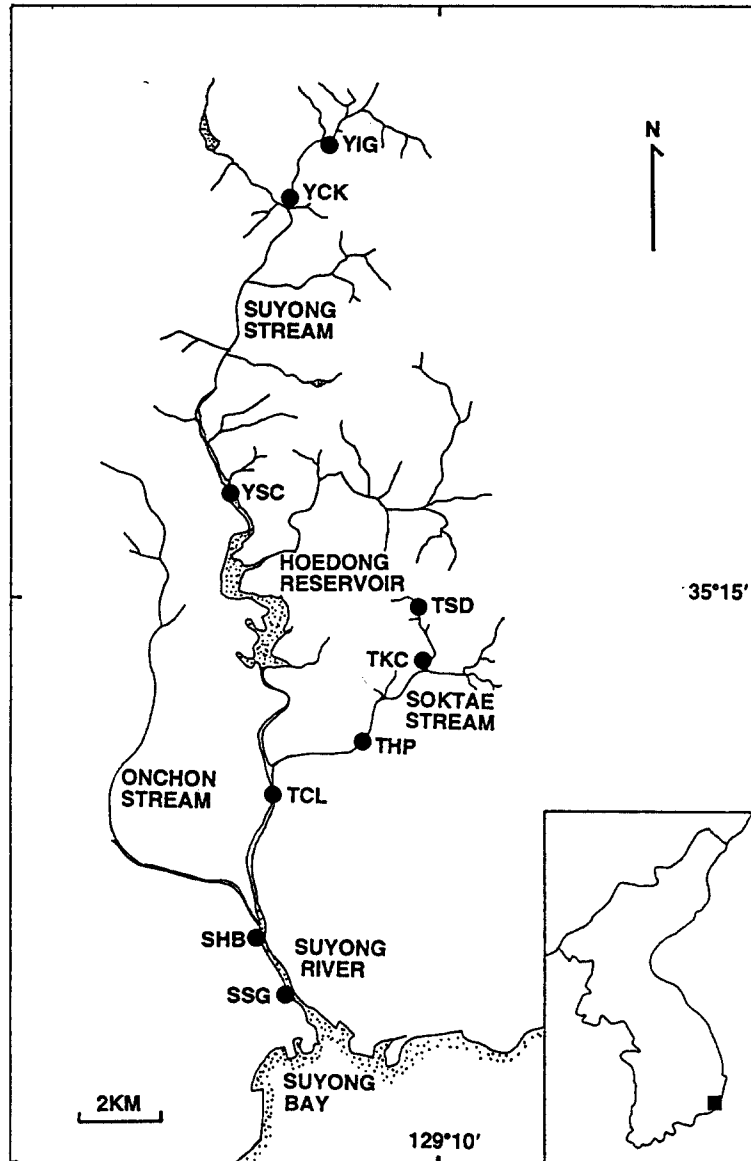


Fig. 1. Map of the study area.

영강의 상, 하류 전체에 대한 군집 변이의 개관을 위해 최하류에 있는 합류(Habryu; SHB) 및 수영교(Suyong Gyo; SSG)를 추가하였는데 이 지점들도 상류 지천으로부터 영향을 받아 오염이 심한 편이다. 수심은 대개 2 m이며 염도가 높고 하상은 펄과 잔모래로 구성되어 있는데 SHB 지점은 온천천과의 합류지점으로 하천폭이 커지는 곳이며, 최하류에 있는 SSG 지점은 수영만 부근에 위치하고 있다.

상기 조사지점에 대해 1993년 9월부터 1994년 8월까지 월별로 생물조사를 실시하였다. Surber 식 계류용 정량 채집망(30 × 30 cm², 망목 = 0.2 ~ 0.5 mm; APHA *et al.* 1985)을 사용하여 깊

이가 약 15 cm 되게 하상 퇴적물을 채취하였다. 채집은 하천을 횡단하여 하천의 크기에 따라 3 ~ 6 m 간격으로 3회 반복하였으나 상류의 하폭이 좁은 곳은 중단하여 채취하였다. 수심이 깊은 SHB 및 SSG지점에서의 채집은 권과 전(1991)의 방법을 따랐다. 채집된 수서곤충의 동정과 분류는 주로 Merritt와 Cummins(1984) 및 윤(1988)에 의거하였고, 깔따구류는 별도로 Wiederholm(1983)의 검색표에 따랐다. 빈모류는 Brinkhurst(1986 및 저자와의 교신)와 Brigham 등(1982)에 따라 분류하였고, 복족류는 권(1990)을, 기타 무척추동물은 주로 Pennak(1978), 岡田(1964, 1965), 및 Klemm(1985) 등을 참고하였다. 생물조사와 병행하여 각 조사 지점에서 기온, 수온, 탁도, pH, DO, BOD, 전기전도도(Ciba-Corning, M90) 등을 조사하였는데 자세한 방법은 권과 전(1991)을 따랐다. 각 지점별로 채집된 생물 군집에서 우점종을 구하고 우점도(McNaughton 1967)와 다양도(Shannon and Wiener 1949, Pielou 1977)를 계산하였다. 조사된 저서성 대형무척추동물군집의 채집 밀도를 자연대수로 변환한 후 완전연결방법(Norusis 1986)에 따라 cluster 분석하고 Principal Component Analysis(PCA)를 실시하여 군집 변이 유형을 검토하였다.

결과 및 고찰

1. 이화학적 지수

Table 1은 조사기간 동안 각 지점의 평균적인 이화학적 환경조사 결과이다. 전체적으로 탁도, BOD, DO, 전기전도도 등이 조사지점의 오염상태를 반영하였다. 수영천의 세 조사지점은 최상급은 아니나 비교적 청정하여 BOD를 기준하여(Sládeček 1979), 평균적으로 β -mesosaprobity를 나타내어 약간의 유기물 오염이 있음을 시사하였다. 석대천은 상류에서 하류로 갈수록 오염이 심하였는데 상류인 TSD지점과 TKC지점은 β -mesosaprobity로 나타나고 하류에 있는 THP, TCL지점은 polysaprobity로 나타났다. 수영만 근처의 SHB, SSG지점도 오염이 심하여 polysaprobity로 나타났다.

탁도는 석대천 TSD지점에서 평균 3.8 NTU(Nephelometric Turbidity Units)로 나타나 1.9

Table 1. Environmental measurements at the study sites in the Suyong and Soktae streams, and in the lower reach of the Suyong river from September 1993 to August 1994

Site	Discharge ^a (m ³ /sec)	Turbidity ^a (NTU)	pH ^a	BOD ^a (ppm)	DO ^a (ppm)	Conductivity ^b (mS/cm)
YIG	0.20(0.11)	2.17(3.12)	7.09(0.81)	3.58(4.32)	8.88(2.06)	0.14(0.04)
YCK	0.12(0.09)	0.96(0.83)	7.11(0.87)	3.31(3.32)	9.14(1.88)	0.16(0.05)
YSC	1.48(1.12)	2.50(1.90)	7.59(0.82)	3.78(5.84)	8.41(1.98)	0.23(0.04)
TSD	0.03(0.06)	3.79(4.92)	7.28(0.64)	2.81(3.45)	9.08(2.40)	0.13(0.01)
TKC	0.10(0.18)	1.94(1.92)	7.30(0.64)	3.60(4.27)	8.32(2.76)	0.29(0.10)
THP	0.80(0.51)	19.39(12.99)	7.08(0.57)	39.59(26.49)	5.01(3.31)	0.55(0.20)
TCL	1.20(1.05)	26.55(19.86)	6.97(0.69)	36.15(23.78)	5.21(3.92)	0.72(0.23)
SHB	-	16.73(4.90)	6.76(0.77)	30.08(20.53)	3.57(3.89)	12.19(8.37)
SSG	-	13.88(4.70)	6.82(0.58)	34.71(23.42)	4.00(4.15)	13.62(9.86)

^a Data are means (\pm 1SD) of 9 ~ 12 measurements at each site.

^b Data are means (\pm 1SD) of 4 ~ 7 measurements at each site.

NTU로 나타난 하류의 TKC지점보다 상대적으로 높게 나타났다. TSD지점은 수심이 낮고 하폭이 좁아 외부 영향을 쉽게 받을 수 있고 인근에 자연 삼림이 아닌 공원묘지가 있어서 토사 유입의 영향이 있기 때문에 여겨진다. 수영강 하류의 SHB, SSG지점의 탁도는 상류에 있는 석대천의 THP와 TCL지점에 비해 상대적으로 낮게 나타났는데, 이는 오수처리장치의 가동이나 수영만 해수의 영향 등으로 간주해 볼 수 있겠으나 하구의 환경 여건에서는 탁도의 변이 요인이 많기 때문에 보다 자세한 조사가 요구된다 하겠다.

pH는 전체적으로 중성에 가까웠고 BOD는 하류로 갈수록 높아 조사 지점의 오염도를 반영하였다. 수영천의 세 지점의 BOD는 평균 3.3 ~ 3.8 ppm으로 나타나 비교적 유사하였으나 약간 오염된 상태를 나타내었다. 석대천의 TSD지점은 평균 2.8 ppm으로 나타나 수영천 세 지점보다도 다소 낮았고, TKC지점은 수영천 지점과 유사한 수준이었다. 석대천 하류인 THP, TCL지점은 매우 높아 평균 36.2 ppm에서 39.6 ppm이었고 수영강 하류인 SHB 및 SSG지점에서도 이와 유사하게 월등히 높게 나타났다. DO는 BOD와는 반대로 하류로 갈수록 대체적으로 낮은 수치를 보였다. 전기전도도(電氣傳導度)도 조사지점에 따라 전반적인 오염 상태를 반영하였다. 석대천 상류인 TSD는 0.13 mS/cm이었으나 하류로 갈수록 증가하여 오염이 심한 THP와 TCL 지점은 0.55 ~ 0.72 mS/cm을 나타내었다. 수영천은 상대적으로 낮았으나 YSC지점이 상류 지점보다 다소 높은 경향을 보였다. 수영만 해수의 영향권에 있는 수영강 하류는 12 mS/cm 이상으로 매우 높았다.

위의 환경 지수들 중 탁도, BOD 및 DO를 대상으로 염도의 영향이 있는 수영강 하류를 제외한 다른 조사지역에 대해서 Tukey test(Zar 1984, Norusis 1986)를 한 결과 유의수준 0.05에서 석대천 하류의 THP 및 TCL 지점과 기타 상류지점들의 두 무리로 나누어졌다. 전기전도도는 유의수준 0.05에서 위의 상, 하류 두 무리 외에 TKC와 THP지점이 한 무리로 나타났다. 통계적으로는 크게 보아 환경 지수는 석대천 하류의 오염된 곳과 나머지 지점들로 구분지어지고 수영천이나 석대천 상류지점 간에는 별 차이가 없이 나타났다. 그러나 실제 야외 채집지에서의 현장 관찰과 청결감(amenity)에 의거할 때 수영천에서는 YCK지점이 다른 지점들보다는 미세하나마 청정하고, 석대천의 TKC지점은 상류의 TSD지점보다는 오염이 약간 더 진행된 인상을 주었다. 통계적으로는 유의한 차가 나타나지 않았으나 조사치의 평균값에서 다소 이러한 경향성을 보였다 (Table 1).

권과 전(1991)이 1989 ~ 1990년에 조사한 결과와 비교하였을 때, 조사지점의 평균적인 부수성은 유사하게 나타났다. 그러나 환경지수는 평균값에서 상대적으로 양호하게 나타났다. 권과 전(1991)에서는 탁도의 경우 수영천의 YIG 및 YCK지점에서 8.9 ~ 14.1 NTU, 석대천 하류인 THP지점에서 평균 27.9 NTU로 나타났으나, 본 조사에서는 각각 1.0 ~ 2.2 NTU 및 19.4 NTU로 낮게 나타났다. BOD도 권과 전(1991)은 수영천 중요지점에서 1.6 ~ 2.5 ppm, 석대천 상류지점에서 6.3 ~ 6.8 ppm, 오염이 심한 하류에서 23.5 ~ 27.9 ppm으로 보고하였으나, Table 1에서 보는 바와 같이 본 조사에서는 이보다 다소 낮게 나타났다. BOD에 대해서 권과 전(1991)의 결과와 본 조사를 합하여 Tukey test를 하였을 때 유의수준 0.05에서 앞의 경우와 같이 석대천 하류의 THP 및 TCL지점과 나머지 조사지점들의 두 무리로 조사년도에 관계없이 묶이어나타나, 이전의 환경지수와는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 앞으로 이를 이전 조사에서의 채집 군집과 연계하여 비교, 검토해 볼 필요가 있다고 사료된다.

2. 중요 분류군의 전체적 출현 경향

1993년 9월부터 1994년 8월까지 조사기간 동안 출현한 저서성 대형무척추동물은 총 5문 8강 19목 58과 98속 132종이었다. 주로 파리목, 하루살이목, 날도래목, 잠자리목 등의 곤충류와 빈모류, 거머리류, 복족류, 갑각류 및 다모류 등이 채집되었다. 특히 깔따구과를 포함한 파리목의 종수가 제일 많았는데, 깔따구류는 염도가 높은 하류를 제외한 전 조사지점에서 출현하였다. 권과전(1991)에 비해 전반적으로 조사횟수가 많아 추가로 채집된 종이 있었는데 *Caenis* sp. 1, *Ephemera strigata*, *Ecdyonurus* sp. 1, *Epeorus* sp. 1, *Ameletus* sp. 1 등과 *Tanytarsus* sp. 1을 포함한 수종의 깔따구류 등이 있었다. 자세한 종 구성의 비교는 앞서 언급한 환경 조사와 더불어 앞으로 검토하고자 한다.

Table 2는 조사기간 동안 각 지점에서 출현하는 저서성 무척추동물을 중요 분류군 별로 묶어 종 풍부도와 상대적 출현밀도(백분율)를 나타낸 것이다. 출현 정도를 고려하여 중요 분류군은 깔따구류, 깔따구류를 제외한 기타 파리류, 날도래류, 하루살이류 및 기타 곤충류, 그리고 빈모류 및 빈모류를 제외한 기타 무척추동물로 나누었다. 깔따구류는 종 풍부도나 출현 밀도에서 월등히 높아 파리류에서 별도로 분리하였다. 강도래류도 청정한 하천에서 나타나는 중요 분류군이나(Hawkes 1979, Hellawell 1986, Spellerberg 1991), 본 조사에서 일부 장소에서 3종만 출현하고 밀도가 낮아 생략하였다.

조사기간 동안 채집된 총 종수는 β -mesosaprobity를 나타낸 석대천 상류와 수영천 조사지점에서 높았는데, TSD지점에서 총 76종이 출현하여 수영천 세 지점보다 상대적으로 높았다. 수영천 조사지점 내에서는 YCK지점에서 총 72종이 출현하여 69종과 64종이 각각 채집된 YIG나 YSC지점 보다 종 풍부도가 상대적으로 높았다. 석대천에서는 오염정도에 따라 종 풍부도에 차이가 크게 나타나 TSD지점에서 매우 높았던 반면 TKC에서는 51종, 오염이 심한 하류의 THP, TCL지점에서는 18 ~ 20종으로 작게 채집되어 종 풍부도가 장소에 따라 다양하게 나타났음을 알 수 있었다. 수영강 하류의 SHB, SSG지점도 7 ~ 11종으로 낮게 출현하였다. 특히 TKC에서는 앞에서 언급하였듯이 이화학적 환경지수는 통계적으로 상류의 TSD지점과 유의한 차이가 나지 않으나 종 풍부도는 TSD지점보다 현저히 낮아 이화학적 지수가 별로 다르지 않더라도 생태적으로는 군집 구성이 다르게 나타날 수 있음을 시사하였는데, 다른 생물지수와 비교하여 더 검토해 볼 필요가 있다고 사료된다. 청정한 곳에서 채집되는 강도래류는 석대천의 TSD지점과 수영천의 YCK지점 두 곳에서 출현하였는데 이 두 지점은 앞서 언급한 바와 같이 다른 상류 지역보다 종 풍부도도 높아 상대적으로 더 청정한 곳임을 확인 할 수 있었다.

각 분류군에 따른 전체적 종 풍부도의 변이도 석대천에서 잘 나타났는데, 상류의 TSD지점에서는 다른 지점에 비해 중요 분류군이 고부 출현하였고 깔따구류 및 기타 곤충류나 무척추동물이 상대적으로 많이 채집되었다. 이보다 종 풍부도가 낮은 하류의 TKC지점에서는 하루살이류, 날도래류 등의 종수가 감소하고 기타 곤충류 및 빈모류 등의 종수는 증가하여, 분류군별로 종 풍부도에 차이가 나타나 상류의 TSD지점에 비해 군집상의 변동이 있었음을 시사하였다. 오염이 심한 THP와 TCL에서는 깔따구류의 상대적 종 풍부도가 60%로 급격히 늘고 빈모류의 종수도 증가한 반면 다른 분류군에서는 매우 낮았다. 해수의 영향을 받는 수영강 하류의 조사지점은 다모류, *Psychoda* sp. 1을 포함한 파리목 및 빈모류가 주로 출현하였다.

상대적 출현 밀도는 수영강 하류 조사지점을 제외하고는 깔따구류가 공통적으로 높았다(Table 2). 수영천 세 조사지점에서는 72 ~ 88%로 매우 높았고 석대천 TSD지점에서는 47%로

상대적으로 낮았으나 하류로 갈수록 깔따구류의 상대적 출현 밀도는 다시 높아졌다. 석대천의 TSD지점에서는 날도래류를 포함한 기타 곤충류의 출현 밀도가 상대적으로 높게 나타났다. TKC지점에서는 깔따구류 외에 빈모류가 많이 나타났고 기타 무척추동물의 채집 개체수도 높았다. 오염이 심한 THP지점과 TCL지점은 TKC지점에 비해 기타 무척추동물의 채집 밀도가 낮았고 깔따구류나 빈모류의 소수 특정 종이 많이 출현하였다. 수영강 하류에서는 기타 무척추동물의 출현 개체수가 매우 높았는데, 이는 다모류가 압도적으로 많이 출현하였기 때문이었다.

본 조사에서 채집된 종 풍부도와 출현 밀도는 전반적으로 조사장소의 부수성을 반영했으며 이 화학적 환경조사 결과와도 대체적으로 부합하였다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 TKC지점은 상류나 하류 지점과 구별되는 군집 구성을 나타내어 중간 정도의 오염 상태를 나타낸 경향을 보인 반면, BOD의 경우 이보다 청정한 곳으로 간주되는 다른 조사지점과 큰 차이가 없어(Table 1), 앞으로 생물지수와 연계하여 보다 정밀한 검토가 요구된다 하겠다.

3. 종 풍부도의 월별 변이

Fig. 2는 중요 분류군의 월별 채집 종 수의 변이를 나타낸 것이다. 앞서 언급한 바와 같이 비교적 청정한 편인 수영천의 3개 조사지점은 종 풍부도가 전반적으로 높았는데, YCK 지점에서 다른 곳에 비해 상대적으로 더 높게 나타났다. 월별로는 '93년 11월에 낮았는데 하천 공사의 영향

Table 2. Percents of densities (number of individuals per 1 m²) and species in major taxa collected at the study sites in the Suyong and Soktae streams, and in the lower reach of the Suyong river from September 1993 to August 1994

Taxa*	Site									
	YIG	YCK	YSC	TSD	TKC	THP	TCL	SHB	SSG	
Species	Chi	49.28	43.06	51.56	39.47	33.33	60.00	61.11	0.00	0.00
	Dip	10.14	9.72	9.38	13.16	9.80	15.00	16.67	42.86	36.36
	Eph	11.59	15.28	6.25	9.21	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00
	Tri	4.35	4.17	6.25	11.84	3.92	0.00	0.00	0.00	0.00
	Oin	8.70	11.11	7.81	14.47	27.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	Oli	5.80	6.94	9.38	3.95	9.80	20.00	22.22	28.57	9.09
	Msc	10.14	9.72	9.38	7.89	13.73	5.00	0.00	28.57	54.55
Total**	69	72	64	76	51	20	18	7	11	
Individuals	Chi	77.31	71.66	87.68	47.49	56.95	66.42	71.09	0.00	0.00
	Dip	0.91	3.14	0.90	7.98	0.71	9.31	1.29	5.40	0.33
	Eph	3.13	10.70	0.11	8.80	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
	Tri	0.73	5.05	7.38	17.79	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00
	Oin	9.01	6.02	1.06	16.21	9.79	0.00	0.00	0.00	0.00
	Oli	8.41	2.70	2.58	0.68	14.95	24.18	27.62	6.24	0.54
	Msc	0.49	0.73	0.29	1.05	16.84	0.08	0.00	88.37	99.13
Total***	30306	52919	30647	17990	8407	8278	13625	834	11724	

* Chi: Chironomidae, Dip: Diptera, Eph: Ephemeroptera, Tri: Trichoptera, Oin: other insects except Chironomidae, Diptera, Ephemeroptera, and Trichoptera, Oli: Oligochaeta, Msc: Miscellaneous invertebrates.

** Total number of species collected during the study period.

*** Total number of individuals (per square meter) during the study period.

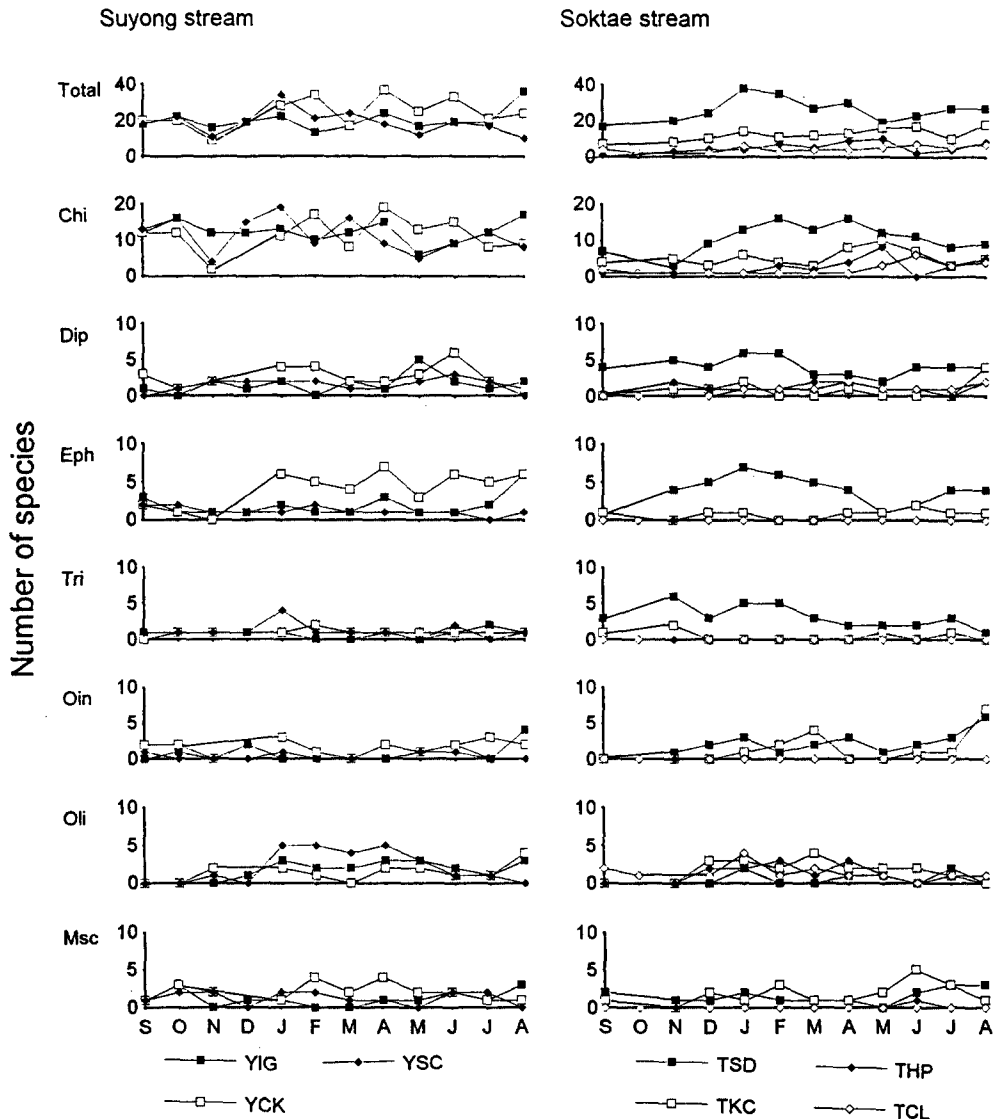


Fig. 2. Monthly changes in species richness in major taxa collected at the study sites in the Suyong and Soktae streams from September 1993 to August 1994 (Chi: Chironomidae, Dip: Diptera, Eph: Ephemeroptera, Tri: Trichoptera, Oin: Other insects except Chironomidae, Diptera, Ephemeroptera, and Trichoptera, Oli: Oligochaeta, Msc: Miscellaneous invertebrates).

으로 사료된다. 석대천에서는 종 풍부도의 구배가 월별 조사가 진행됨에 따라 일관되게 나타났는데, 오염 정도에 따라 상류의 TSD지점에서는 수영천 조사지점과 같이 높게 나타났고, TKC지점에서는 중간 정도로, 오염이 심한 THP와 TCL지점에서는 낮게 나타났는데 이로서 종 풍부도가 월별 변이에서 수질을 일관되게 반영한다는 사실을 확인할 수 있었다.

환경 영향에 따른 종 풍부도의 변이는 중요 분류군에서도 나타났는데 대체적으로 갈파구류,

파리류, 날도래류, 하루살이류 등의 변이가 컸다. 특히 석대천에서 채집된 깔따구류는 오염정도에 따라 채집 종 수의 구배가 연중 일관되게 나타났다. 깔따구류의 종 수가 많음을 고려하면 앞의 전체 군집의 종 풍부도 차이에 깔따구류가 크게 기여하였음을 알 수 있었다. 반면 깔따구류를 제외한 파리류나 날도래류 및 하루살이류는 TKC지점의 출현 종수가 오염된 곳과 비슷하게 낮아, 상류와 하류지역으로 이원화되는 경향을 보였다. 상기 분류군은 오염에 대한 내성이 약하여 낮은 오염에도 종 풍부도가 급속히 감소한 반면, 깔따구류는 종 구성이 풍부하고 오염 내성이 서로 달라 분류군 종합적으로 부수성 변이에 따라 여러 수준을 나타내어 대조가 되었다. 깔따구류의 이러한 군집 반응은 앞으로 하천의 장기적 수질 평가에 이용될 수 있음을 시사하였다. 비교적 청정한 수영천에서는 깔따구류의 종 풍부도는 변이가 컸으나 YCK지점에서 상대적으로 높은 경향을 보였다. '93년 11월에 YCK와 YSC지점에서 이례적으로 낮게 나타났는데, 이는 이 시기에 실시된 하천 정비작업의 영향이 아닌가 사료된다.

수영천에서는 깔따구류를 제외한 파리류나 날도래류의 종 풍부도는 대체적으로 월별 변이가 커 지점간에 뚜렷한 차이가 없었다(Fig. 2). 반면 하루살이류는 YCK지점의 종 풍부도가 '94년 1월 이후 일관되게 다른 곳보다 높게 나타났다. 이곳에서는 다른 곳에 비해 *Caenis* sp. 1, *Ephemera strigata*, *Cincticostella* sp. 1, *Epeorus* sp. 1, *Ameletus* sp. 1, *Serratella rufa*, *Ecdyonurus* sp. 1 등이 많이 출현하였다. 반면 YSC지점에서는 *Baetis* sp. 1이 상대적으로 많이 출현하였다. YCK지점에서 채집된 종이 대개 청정한 곳에서 출현하는 종인 반면, *Baetis rhodani* 같은 종은 다른 하루살이류에 비해 오염에 대한 내성 범위가 상대적으로 넓기 때문에(Hawkes 1979), 본 조사에서 채집된 종이 *Baetis rhodani*와 같은 종임을 확인하여야 되겠지만, 여러가지 상황을 고려할 때 YCK지점의 수질이 YSC지점보다 상대적으로 양호하다는 것을 뒷받침하여 주었다. 앞서 이화학적 환경조사에서는 수영천 세 조사지점간에 뚜렷한 차이가 없었으나, 이렇게 YCK지점에서 하루살이류의 종 풍부도가 일관되게 다른 두 지점보다 높게 나타난 사실은 이화학적 지수가 유사하더라도 생태적인 여건이 다를 수 있음을 시사한 예라고 할 수 있겠다. 석대천의 TSD지점의 월별 변이에서도 YCK지점과 비슷하게 하루살이류가 많이 나타났다. 앞서 언급한 바와 같이 본 조사에서 강도래류가 이 두 지점에서만 나타난 점으로 미루어 보아, 이 두 곳이 조사지점 중에서는 생태적으로 가장 청정하게 나타났음을 알 수 있었다. 하루살이류의 채집 종 수는 부수성 차이가 큰 석대천에서도 변이가 나타났으나 중간 정도가 없이 이원화되었다.

빈모류의 경우 종 풍부도는 석대천에서 상류의 TSD지점이 다소 낮은 경향을 띄었다(Fig. 2). 그러나 전체적으로 변이가 크고 오염 정도에 따른 일관성이 없어서, 깔따구류 등의 종 풍부도가 환경 변이에 따라 일관된 구배를 나타내는 것과 대조가 되었다. 빈모류를 제외한 기타 무척추동물은 오염이 심한 THP와 TCL지점에서는 거의 나타나지 않았고, TKC지점과 TSD지점에서 비슷한 수준을 보이다가 '94년 봄 이후부터는 TKC지점에서 더 많이 나타났다. 이때 TKC지점에서 출현한 종들은 주로 거머리류, 복족류이었는데 이는 미나리 밭을 포함한 주변 농경지의 영향이 아닌가 사료된다. 수영천에서는 빈모류의 경우 시기에 따라 YSC지점에서 상대적으로 더 많이 나타나, 하루살이류의 종 풍부도와는 반대의 경향을 보여 이 지점이 상대적으로 오염이 더 진행되었음을 시사하였다. 전체적으로 빈모류는 '94년 1월에 최대로 나타났고, 이 시기에 *Limnodrillus hoffmeisteri*, *Tubifex tubifex* 등이 채집되었다. 기타 무척추동물은 수영천에서 비교적 낮은 종 수가 채집되었으나 YCK지점에서 상대적으로 많이 출현하는 경향을 보였다.

이상에서 종 풍부도의 월별 변이는 분류군에 따라 특징적으로 달리 나타났음을 알 수 있었다. 이러한 다양한 분류군의 변이는 연속적으로 조사가 수행될 때 부분적으로 또는 전체적으로 군집

조직의 연구나 생태적 수질평가에 기여할 수 있으리라 사료된다. 특히 깔따구류는 넓은 범위에서 오염 정도에 따라 종 풍부도의 차이가 일관성을 가지고 나타나 일반적인 지표 분류군으로서의 가능성을 보여 주었고, 하루살이류 군집은 약간 오염이 있는 상태에서 수질이 더 부수화 될 때에 민감하게 변할 수 있음을 시사하였다. 나아가 군집 전체의 월별 변이 양상이나 중요 분류군 간의 종 풍부도의 비교도 생태적으로 수질을 다면적으로 진단하는 데에 도움을 줄 수 있는 가능성을 보였다.

4. 출현 밀도의 월별 변이

Fig. 3은 앞서 언급한 중요 분류군의 전체 채집 밀도(개체수/m²)의 월별 변이를 조사 장소별로 나타낸 것이다. 채집된 밀도의 변이가 매우 크기 때문에 채집 밀도를 자연대수로 변환하였다. 자연대수로 변환된 상태에서 전체 군집의 총 채집밀도는 월별 변이가 상대적으로 적고 연중 비교적 일정하게 나타났다. 수영천 3개 조사지점에서는 전체적으로 종 풍부도가 낮았던 '93년 겨울(Fig. 2)에도 출현 밀도는 크게 낮아지지 않았다. 석대천의 경우도 수영천보다 변이는 다소 컸지만 모든 지점이 일정한 수준을 같이 유지하여, 앞서 종 풍부도(Fig. 2)가 장소에 따라 일관된 차이를 보이는 것과는 대조를 이루었다.

깔따구류의 출현도는 종 풍부도와는 달리 오염 정도에 따른 차이를 크게 나타내지 않았다(Fig. 3). 다만 석대천에서 중간 정도의 종 풍부도를 나타낸 TKC지점에서의 출현 밀도가 상, 하류의 다른 장소보다 낮은 경향성을 나타내었다. 아울러 THP지점에서 6월에 밀도가 급격히 낮아졌는데 이 때 깔따구류가 아닌 *Psychoda* sp. 1이 주로 채집되어 군집구성에 급격한 변동이 있었음을 시사하였다. 이 시기에 깔따구류가 채집되지 않은 정확한 이유는 현재로서는 알 수 없었는데, 환경 변이에 따른 생활사 변이의 가능성(Resh and Rosenberg 1984)을 포함하여 앞으로 검토해 보아야 할 필요가 있다고 사료된다. 수영천의 경우 '93년 가을 하천 정비 공사의 영향이 있을 때에 YCK 및 YSC지점에서 깔따구류의 종 풍부도는 급격히 낮아 다른 달과 뚜렷한 차이를 나타냈으나(Fig. 2), 출현밀도는 자연대수로 변환된 상태에서 전체적인 월별 변이와 비교해 볼 때 크게 다르지 않았다. 이렇게 출현 밀도가 상대적으로 적게 감소되어 나타난 것은 월별 조사가 하천 공사 후 일정한 시간이 지난 다음에 수행되었기 때문에 출현 밀도가 회복세에 있었던 것이 한 이유일 수 있다고 여겨지는데, 이는 종 풍부도보다는 전체적인 출현 밀도에서 상대적으로 회복세를 빨리 나타낸다고 볼 수 있겠다. 그러나 출현 밀도가 자연대수로 변환되어 나타난 것이기 때문에 실제 변이폭은 상당히 커므로 앞으로 보다 많은 사례 연구를 통해 확인해 볼 필요가 있다고 사료된다. 그러나 이러한 종 풍부도와 월별 밀도의 병행 조사는 하천 생태계를 보다 다면적으로 이해하는데에 도움을 줄 수 있음을 본 조사에서는 시사하였다. 깔따구류를 제외한 다른 파리류의 출현 밀도는 석대천에서 비교적 일관된 밀도의 차이를 가지고 나타났는데 TKC지점에서 다른 지점에 비해 낮게 나타나는 경향을 보였다. 수영천에서는 YCK지점에서 일반적으로 높았다.

하루살이류와 날도래류의 출현 밀도는 수영천에서 월별 변이가 컸는데 대체적으로 YCK지점에서 높은 경향을 나타내었다(Fig. 3). 석대천의 경우 이 두 종류는 상류 TSD지점에서는 수영천 조사지점과 같이 높게 나타났으나, TKC지점과 오염이 심한 THP 및 TCL지점에서는 점차적으로 출현 밀도가 낮았다. 하루살이류에서는 수영천에서 '93년 가을의 하천 정비 공사의 영향이 커서 종 풍부도와 같이 출현 밀도도 매우 낮았다. TSD지점에서도 '94년 5월에 하루살이류의 출현 밀도가 급격히 떨어지는데, *Baetis* sp. 1 한 종만 채집되었다. 이 시기에 탁도가 10.8 NTU로서 다른 달에 비해 매우 높았다. Hellowell(1986)은 Nuttall과 Bielby(1973)가 고령토 채취에 따른

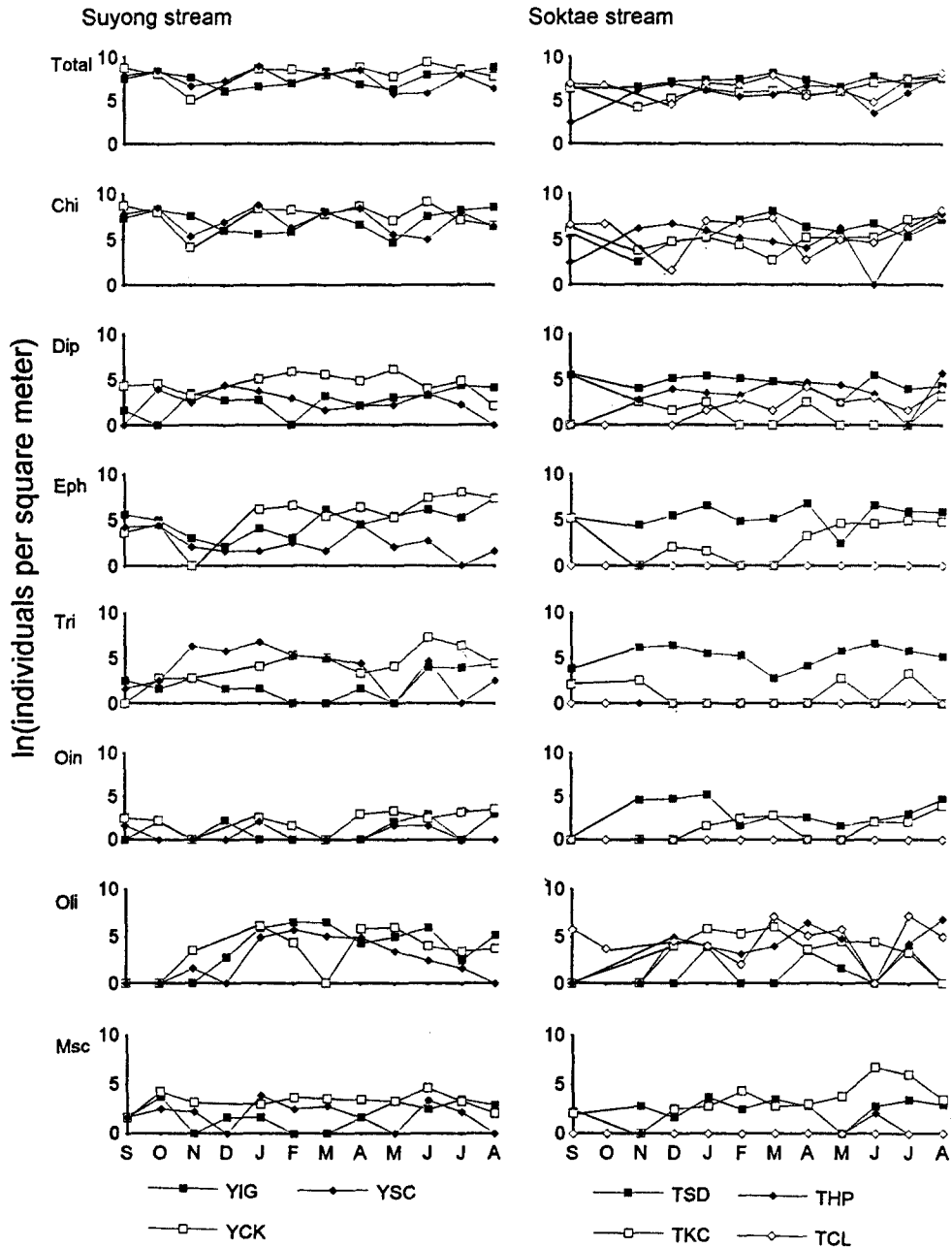


Fig. 3. Monthly changes in densities (natural logarithm of number of individuals per square meter) in major taxa collected at the study sites from 1993 to 1994 (Chi: Chironomidae, Dip: Diptera, Eph: Ephemeroptera, Tri: Trichoptera, Oin: Other insects except Chironomidae, Diptera, Ephemeroptera, and Trichoptera, Oli: Oligochaeta, Msc: Miscellaneous invertebrates).

부유물질 침적의 영향을 조사한 결과 *Baetis rhodani*는 별 영향을 받지 않았다고 하고, 이는

*Baetis*속이 주로 하상구성물 위에서 서식하기 때문에 토사로 인한 미세 입자가 하상구성물간 공간(interstitial space)에 많이 누적되더라도 별 반 영향을 받을 가능성이 없기 때문이라고 하였다. 또 부유물질에 민감한 collector-filter인 날도래류의 *Hydropsyche*속(Merritt and Cummins 1984) 등이 다른 달에는 출현했으나 5월에는 채집되지 않았다. 이러한 환경적, 생물군집적인 상황들을 종합적으로 고려할 때, 이 시기에 TSD지점에서 인근 공원묘지로부터 토사의 영향이 있었음을 간접적으로 시사한다고 하겠다.

기타 곤충류의 밀도는 석대천의 경우 상대적으로 청정한 TSD지점에서 다소 높게 나타났다. 이 경향이 겨울에 보다 뚜렷하였는데, *Eucaenops* sp. 1이나 *Capnia* sp. 1 등의 강도래류가 이 시기에 많이 출현하였기 때문이었다. 그러나 오염이 심한 하류 지점에서는 기타 곤충류가 거의 출현하지 않았다. 수영천에서는 조사지점에 따라 월별 변이 폭이 컸으나 YCK지점에서 다소 많이 채집되었다.

빈도류는 변이성이 심했으나 석대천의 경우 상대적으로 청정한 TSD지점에서 다소 낮게 출현하는 경향이 있었다(Fig. 3). TKC지점 이하 하류 장소에서는 변이가 커 출현 경향성을 찾기가 어려웠다. 수영천에서는 장소별 큰 특징은 없었으나 종 풍부도에서와 같이 '93년 12월 이후 증가하는 경향을 보였는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 *Limnodrilus hoffmeisteri*와 *Tubifex tubifex*가 많이 출현하였기 때문이었다. 기타 무척추동물의 출현 밀도는 석대천의 경우 상류지점에서는 비교적 유사한 수준으로 나타났고 오염이 심한 THP, TCL지점에서는 매우 낮았다. '94년 봄 이후 종 풍부도에서와 같이 TKC지점에서의 밀도가 TSD지점보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 이 시기에 많이 출현한 거머리류 및 복족류의 밀도가 높은 데에 기인하였다. 수영천에서는 기타 무척추동물의 출현밀도 변이가 컸으나 YCK지점에서 다소 많이 채집되는 경향을 보였다.

이러한 출현 밀도의 변이 양상은 앞의 종 풍부도와 연계하여 수질에 대한 생태적 평가를 다면적으로 고찰하는 데에 기여하리라 생각된다. 앞서 언급한 바와 같이 수영천 가을의 경우 조사지점에 따라 깔따구류의 종 풍부도가 낮게 나타났음에도 불구하고(Fig. 2), 채집 밀도는 전체적인 월별 변이와 큰 차이가 없어서 종 풍부도와 출현 밀도의 추이가 달리 나타났음을 보였다. 반면 석대천 TSD지점 같은 경우는 토사의 영향이 있었던 것으로 간주되는 '94년 5월에는 하루살이류의 종 풍부도와 출현 밀도가 같이 떨어져(Fig. 2, 3), 환경 교란요인에 따라 다양하게 생물 군집이 반응함을 볼 수 있었다. 이러한 예들은 종 풍부도와 연계하여 분류군의 출현밀도가 환경 영향을 평가하는 데에 유용한 자료가 될 수 있음을 시사하였다.

5. 우점종

Fig. 4는 전 조사지점에서 월별로 채집된 군집 중에서 1, 2차 우점종을 정한 후, 계절별로 이들이 우점종이 된 빈도를 나타낸 것이다. 염도의 영향으로 종 구성이 특이한 수영강 하류를 제외하고 우점종으로 출현한 종은 32종이었다. 오염이 심한 석대천 하류 이외의 장소에서 *Orthocladus* sp. 1이 가장 많이 우점종으로 출현하였다. 수영천에서는 *Cricotopus* sp. 2, *Conchapelopia* sp. 1 등의 깔따구류가 중요 우점종이었고, 빈도는 낮으나 *Polypedilum* sp. 1, *Tanytarsus* sp. 1, *Chironomus* sp. 1 등도 출현하였다. 석대천 TSD지점에서는 깔따구류에서 *Tanytarsus* sp. 1 등이 비교적 낮은 빈도로 우점종이 되었다. 오염이 심한 곳에 많이 출현하는 *Chironomus* sp. 1은 수영천 상류의 조사 지점에서도 우점종으로 출현하여 넓은 범위에서 잘 서식할 수 있음을 시사하였다. 깔따구류 외에는 하루살이목의 *Baetis* sp. 1이 수영천과 석대천의 TSD 및 TKC지점 등에 우점종으로 다수 출현하였고, 날도래목에서는 *Hydropsyche* sp. 1이 상대적으로 빈도는 낮으나

Species	YIG				YCK				YSC				TSD				TKC				THP+TCL			
	AU	WI	SP	SU	AU	WI	SP	SU	AU	WI	SP	SU	AU	WI	SP	SU	AU	WI	SP	SU	AU	WI	SP	SU
Ep Ameletus sp.1																								
Ep Baetis sp.1																								
● Ep Coenis sp.1																								
● Ep Serratella setigera																								
Tr Glossosoma sp.1																								
Tr Hydropsyche sp.1																								
○ Dp Antocha sp.1																								
Dp Psychoda sp.1																								
● Dp Simulium sp.1																								
○ Dp Tipula sp.1																								
● Ch Brillia sp.1																								
Ch Chironomus sp.1																								
Ch Conchapelopia sp.1																								
Ch Cricotopus sp.2																								
● Ch Cricotopus sp.3																								
○ Ch Diamesa sp.1																								
○ Ch Diamesa sp.2																								
○ Ch Dicrotendipes sp.1																								
○ Ch Endochironomus sp.1																								
Ch Eukiefferiella sp.2																								
Ch Eukiefferiella sp.3																								
Ch Eukiefferiella sp.4																								
Ch Orthocladus sp.1																								
Ch Orthocladus sp.2																								
Ch Paratricocladius sp.1																								
Ch Polypedilum sp.1																								
Ch Tanytarsus sp.1																								
● O Enchytraeus sp.1																								
O Limnodrillus hoffmeisteri																								
O Tubifex tubifex																								
○ H Erpobdella lineata																								
● G Physa acuta																								
Dominant Index (Mean)	0.8	0.6	0.5	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.8	0.6	0.8	0.7	0.6	0.6	0.7	0.5	0.7	0.7	0.6	0.7	1.0	1.0	0.9	0.9

Ep: Ephemeroptera, Tr: Trichoptera, Dp: Diptera except Chironomidae, Ch: Chironomidae, O: Oligochaeta, H: Hirudinea, and G: Gastropoda. AU: autumn, WI: winter, SP: spring, and SU: summer. ●: first dominant species only, ○: second dominant species only

Fig. 4. List and frequency of dominant species collected at the study sites in the Suyong and Soktae streams from September 1993 to August 1994. The frequency was represented by the number of months when the species was collected as the dominant species at each site in each season (□ : 1 month, ▒ : 2 months, and ■ : 3 months).

양 하천에서 우점종이 되었다.

YIG지점에서는 주로 *Orthocladus* sp. 1 등의 깔따구류가 우점종이었으나 1994년 1, 2월을 포함한 겨울에는 오염의 지표성이 강한 *Tubifex tubifex*가 우점종이 되었다(Fig. 4). 그러나 이 시기에 BOD가 평균 1.43 ppm, 탁도가 평균 2.1 NTU로서 다른 시기에 비해 크게 높지 않아 다른 요인에 의해 이 종이 우점종이 되었으리라 생각된다. *Limnodrillus hoffmeisteri*와 *Tubifex tubifex*는 수영천 및 석대천의 TKC지점에서도 주로 겨울과 봄에 우점종으로 출현하였다. TKC지점에서는 가을에 *Orthocladus* sp. 1, *Baetis* sp. 1, *Brillia* sp. 1, *Psychoda* sp. 1 등이, 겨울에 주로 *Conchapelopia* sp. 1, *Erpobdella* sp. 1, 및 빈모류 등이 우점종이 되었다.

오염이 심한 석대천의 THP지점과 TCL지점은 *Chironomus* sp. 1과 *Limnodrillus hoffmeisteri* 및 *Chironomus* sp. 1 등의 수 중만이 우점종으로 나타났다(Fig. 4). Fig. 4에는 나타나지 않았으

나 해수의 영향을 받고 오염정도가 심한 SHB지점과 SSG지점은 다모류와 *Psychoda* sp. 1이 우점종으로 나타났다. 전반적으로 오염이 심한 THP지점 이하 하류지역에서는 우점도가 대개 0.9 ~ 1.0으로 높게 나타나 소수 종이 집중하여 출현하였음을 시사하였다. 수영천 상류지역과 석대천의 비교적 청정한 곳에서는 0.4 ~ 0.8 사이로 나타났고 석대천의 TKC지점에서는 0.6 ~ 0.7로서 중간 정도로 나타났다(Fig. 4). 전체적으로 보아 오염이 심한 곳은 우점종과 수질이 일치하지만 오염이 심하지 않은 지점에서는 우점종만으로는 수질을 평가하기에는 충분하지 않은 경우가 있었는데 차후 생물 지수와 비교해 볼 필요가 있다고 사료된다.

6. 종 다양도

종 다양도를 비롯한 생물지수는 환경 영향을 대체적으로 반영하고 있었다(Fig. 5). 전체적으로 수영천 조사지점과 석대천의 상류지점에서 높았는데 석대천의 TSD지점에서 평균 3.04로 가장 높게 나타났다. 수영천 조사지점 중에서는 YCK지점이 평균 2.99로 다른 두 곳에 비해 높게

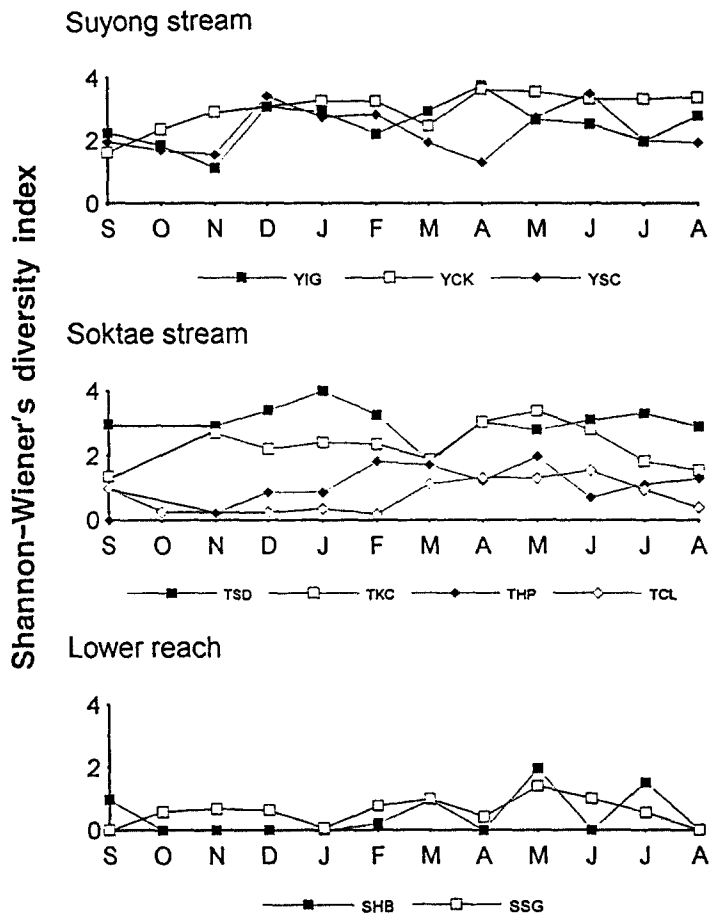


Fig. 5. Monthly changes in Shannon-Wiener's diversity indices at the study sites in the Suyong and Soktae streams, and in the lower reach of the Suyong river from September 1993 to August 1994.

나타났는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 이 두 지점에서 종 풍부도가 상대적으로 높았던 것이 한 요인으로 작용했을 것으로 여겨진다. 또 이곳에서 강도래류가 나타나고 하루살이류의 종 풍부도가 높아 수질이 좋았음을 확인할 수 있었다. 반면 TKC지점에서는 1.35에서 3.38의 넓은 범위에서 중간 정도로 나타났으며, THP지점 이하 하류지역의 오염된 곳과 다모류의 출현이 압도적으로 많은 수영강 하류의 SHB, SSG지점에서는 1 내외로써 매우 낮았는데, 수영강 하류 지점의 경우 '94년 늦은 봄에 다소 증가하였다.

종 다양도의 월별 추이는 '94년 1월을 중심으로한 겨울과 '94년 4, 5월이 높은 경향을 나타내었는데 '94년 1월 TSD지점에서 4.00으로 가장 높았다. 석대천 상류지점에서는 94년 3월에는 2.0 이하로 낮게 나타났는데 이 시기에 파리류나 날도래류의 종 수가 감소하였기 때문이었다. 또 '94년 5월에 TSD지점의 종 다양도가 TKC지점보다 낮게 나타났는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 TSD지점에서 이 시기에 탁도(10.8 NTU)가 높고 하루살이류의 종 풍부도가 감소하는 등 환경영향에 따른 군집 변이 때문이었다고 여겨진다. 권과 전(1993)도 1989 ~ 1990년의 조사에서 종 다양도가 전반적으로 환경 영향에 따라 변이 폭이 컸다고 하였고, 이는 종 다양도의 유기물 오염에 대한 과민성 및 비선형성과 불충분한 표본 추출 등에 기인할 수 있음(Riebesell 1974, Con:ell 1978, Hawkes 1979, Huston 1979, Bullock 1980, Milbrink 1983)을 고찰하였다. 본 연구에서도 종 다양도의 변이가 커서 이러한 경향성을 확인할 수 있었다.

7. 군집 유형

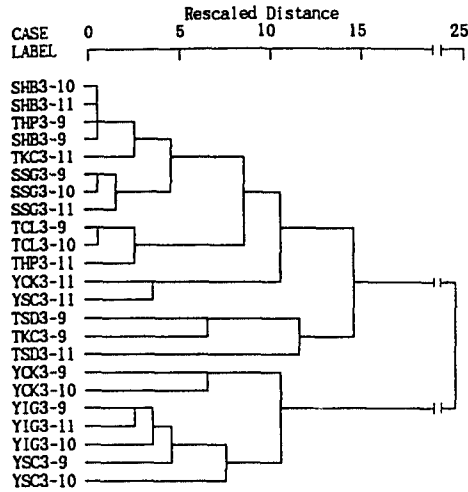
Fig. 6은 계절별로 조사된 저서성 대형무척추동물군집의 출현 밀도에 대해 cluster 분석을 한 것이다. 전체적으로 각 계절 내에서 채집된 군집은 장소 별로 묶이어나 나타났고 특히 오염정도가 심한 SHB, SSG, THP 및 TCL지점에서 채집된 군집은 군집연관성을 나타내는 상대적 군집간 거리(Fig. 6의 rescaled distance)가 짧아 무리 지어지는 경향을 보였다.

가을에는 군집 구성이 중간 정도로 나타난 TKC지점의 군집들이 흩어져 나타났다. 특히 11월 조사는 오염이 심한 곳과 상대적으로 가까웠는데 이 시기에 오염된 곳에 출현하는 *Psychoda* sp. 1이 채집되었다. 반면 9월에는 날도래류 등이 채집되어 상대적으로 수질이 양호했음을 나타내었다. 상류지점에서는 장소별로 묶이어나 나타났는데 YIG와 YSC지점에서의 군집간 연관성이 비교적 가까웠고, 상대적으로 청정한 YCK와 TSD지점에서는 군집거리가 멀게 나타났다. 겨울은 가을과 대체적으로 유사하게 나타나 오염된 곳이 가깝게 묶여졌으나, 중간 정도의 군집 구성을 가진 TKC지점은 가을에 비해 오염된 곳과 더 가까이 나타났다. 앞서 11월에 채집된 군집도 오염된 곳과 가까이 나타났으므로 늦가을과 겨울의 군집에 오염의 영향이 있었음을 간접적으로 시사하였다. 수영천과 석대천 상류의 청정한 곳도 군집거리가 멀었으나 대체적으로 장소별로 묶이어나 나타났는데 YCK와 TSD지점의 군집은 YIG지점보다 군집 연관성이 상대적으로 낮았다.

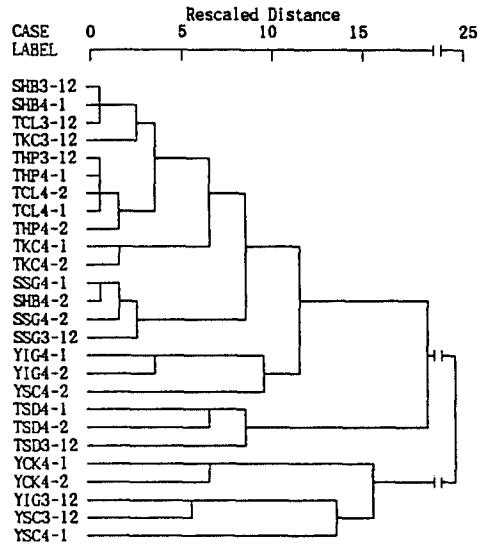
'94년 봄에도 오염정도에 따라 군집거리가 달리 나타났는데 오염이 심한 수영강 하류와 석대천 하류가 각각 가깝게 나타났으며, 겨울과는 달리 TKC지점의 군집이 4, 5월에 보다 청정한 곳과 가까이 나타났다. 상대적으로 청정한 곳인 석대천의 TSD지점 및 수영천의 YCK지점의 군집 거리는 멀었고, YIG와 YSC지점에서는 상대적으로 가깝게 나타났다. 여름인 경우도 전체적으로 봄과 유사하게 나타났다. 그러나 TKC에서의 군집거리가 상대적으로 멀게 나타났고, 깨끗한 석대천의 TSD지점 및 수영천의 YCK지점에서도 앞 계절과 마찬가지로 군집거리가 멀게 나타났다.

이상과 같은 cluster 분석을 통해 군집 간의 유사도는 전체적으로 오염의 정도에 따라 크게 결

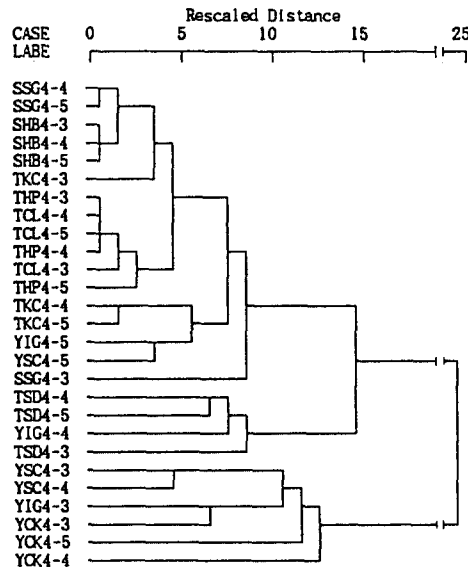
AUTUMN



WINTER



SPRING



SUMMER

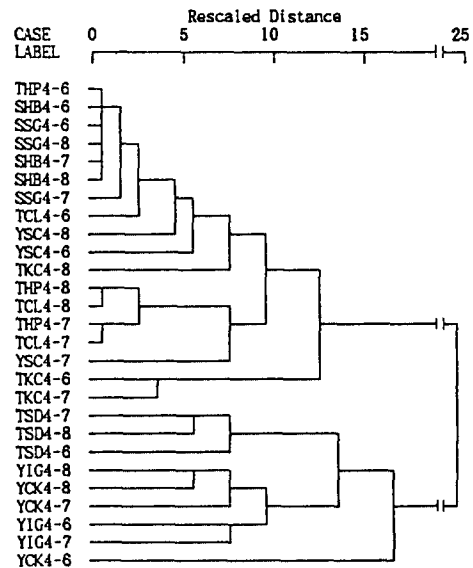


Fig. 6. Cluster analysis of benthic macroinvertebrate communities collected at the study sites in the Suyong and Soktae streams, and in the lower reach of the Suyong river from September 1993 to August 1994. The numbers appearing at the name of study sites (CASE LABEL) represent the year and month when the sampling was collected (eg. 3~10 means October in 1993).

정됨을 알 수 있었다. 이는 오염이 되었을 경우 소수의 특정종만이 출현하여 유사도를 높히는데
에 기인한다 하겠다. 또 종 풍부도가 증가하고 출현 밀도의 변이가 큰 곳은 군집거리가 멀었으나

하천별로 묶이어 나타나는 경향을 볼 수 있었다. 또한 본 조사의 KTC와 같이 중간 정도의 군집 구성이 군집 유형 결정에 중요하고, 환경 영향을 파악하는데 기여함을 볼 수 있었다. 전체적인 군집 변이에 대한 유형성을 파악하기 위해 자연대수로 전환된 출현 밀도에 대해서 각 계절별로 PCA를 시도하였다. 수영강 하류에 있는 SHB 및 SSG지점에서의 군집은 수영만에 가까와 다모류 등이 많이 출현하여 상류 지점의 군집구성과 명백히 다르므로 본 분석에서는 제외하였다. Fig. 7은 조사된 저서성 무척추동물에 대해 PCA를 실시하여 요인 I과 요인 II에 대한 위치를 나타낸 것이다. 대체적으로 요인 I과 요인 II에 의한 누적 변이가 전체 변이의 50 ~ 60%를 차지하였고, 석대천의 오염이 심한 THP 및 TCL지점의 군집 변이 효과가 크게 나타났다.

가을에는 요인 II축의 끝에 오염이 심한 석대천 하류 지점이 무리 지워졌다. 요인 I축을 따라서는 상류지점이 흩어져 나타났는데 주로 수영천 상류가 주가 되는 무리와 기타 무리로 나누어졌다(Fig. 7; 요인 I에서 IV까지 아이겐값은 각각 7.14, 3.36, 1.75, 1.08이고, 요인 II까지의 누적 변이는 전체 변이의 61.8%임). 겨울에는 요인 I끝에 석대천 하류 지점이 무리 지워졌고 요인 II축에 따라서는 수영천과 석대천 상류지점이 흩어져 나타났다(Fig. 7; 요인 I에서 IV까지 아이겐값은 각각 5.70, 4.96, 2.01, 1.65이고, 요인 II까지의 누적 변이는 전체 변이의 53.3%임). 상류 지점에서는 수영천 YSC지점에서 '93년 12월, '94년 1월에 채집된 군집이 따로 묶이어 나타났다. 요인 I축 상에서 끝 쪽에 석대천 하류지점이 위치하였을 뿐만 아니라 cluster 분석에서 오염된 군집과 가깝게 나타난 TKC지점의 12월 군집이나 오염이 심한 TCL지점의 12월 군집도 이 축에 가깝게 나타난 것을 고려할 때(Fig. 6), 요인 I축이 오염상태에 의한 변이를 나타내 줌을 시사하였다. 가을에서는 전체 변이의 19.8%를 차지한 요인 II축을 기준으로 오염된 군집이 나타났고, 반면 겨울에서는 오염된 군집이 나타난 요인 I축이 전체 변이의 28.5%를 차지한 것을 고려하면, 가을보다 겨울이 오염에 의한 변이를 상대적으로 더 크게 나타냈음을 시사하였다.

봄도 겨울과 같이 요인 I끝에 석대천 하류 지점이 무리 지워져 나타나 오염에 따른 변이가 상대적으로 컸음을 시사하였다(Fig. 7; 요인 I에서 IV까지 아이겐값은 각각 7.12, 5.11, 1.47, 1.19이고, 요인 II까지의 누적 변이는 전체 변이의 58.3%임). 요인 II축을 따라서는 수영천과 석대천 상류지점이 흩어져 나타났으나 뚜렷한 경향성은 찾기 어려웠다. 여름도 요인 I축 끝에 석대천 하류 지점들의 군집이, 요인 II축을 따라서는 상류지점의 군집이 흩어져 나타났다(Fig. 7; 요인 I에서 IV까지 아이겐값은 각각 6.60, 4.32, 1.90, 1.24이고, 요인 II까지의 누적 변이는 전체 변이의 52.0%임). 요인 I축을 따라 YSC지점에서 6, 7월에 채집된 군집들이 중간에 나타났는데, 이는 앞서 cluster 분석(Fig. 6)에서 이들이 상대적으로 오염된 군집과 가까이 위치하여, 앞 계절과 같이 여름에서도 요인 I에서 오염의 영향이 표출되었음을 알 수 있었다. 요인 II축에서는 앞의 경우와 같이 상대적으로 청정한 곳에서 채집되는 군집이 배치되었는데 끝 쪽에 YCK지점의 군집이 모여져 나타났다.

PCA를 통해서 본 조사에서 채집된 군집은 오염에 따른 변이를 전체적으로 크게 반영하였음을 알 수 있었다. 본 조사에서는 요인 II축에서 이 경향을 나타낸 가을이 요인 I축에서 이 경향을 나타낸 다른 계절보다 환경 영향성을 상대적으로 낮게 표출하였음을 알 수 있었다. 요인 I, II에 대한 누적 변이가 전체 변이에 비해 차지하는 비율이 다소 낮아 뚜렷한 경향성을 파악하기는 힘들다. 본 조사에서 여름과 겨울이 다른 계절에 비해 요인 I축에서 오염에 따른 군집 변이가 다소 다양하게 나타나고, 요인 II축에서 청정한 곳의 군집이 상대적으로 더 무리 지워지는 경향을 볼 수 있었다. 그러나 이 조사는 1년의 자료에 대해 분석을 한 것이므로 계절적인 유형성을 결정하기 위해서는 앞으로 보다 오랜 기간에 대한 자료에 대한 분석이 요구된다 하겠다.

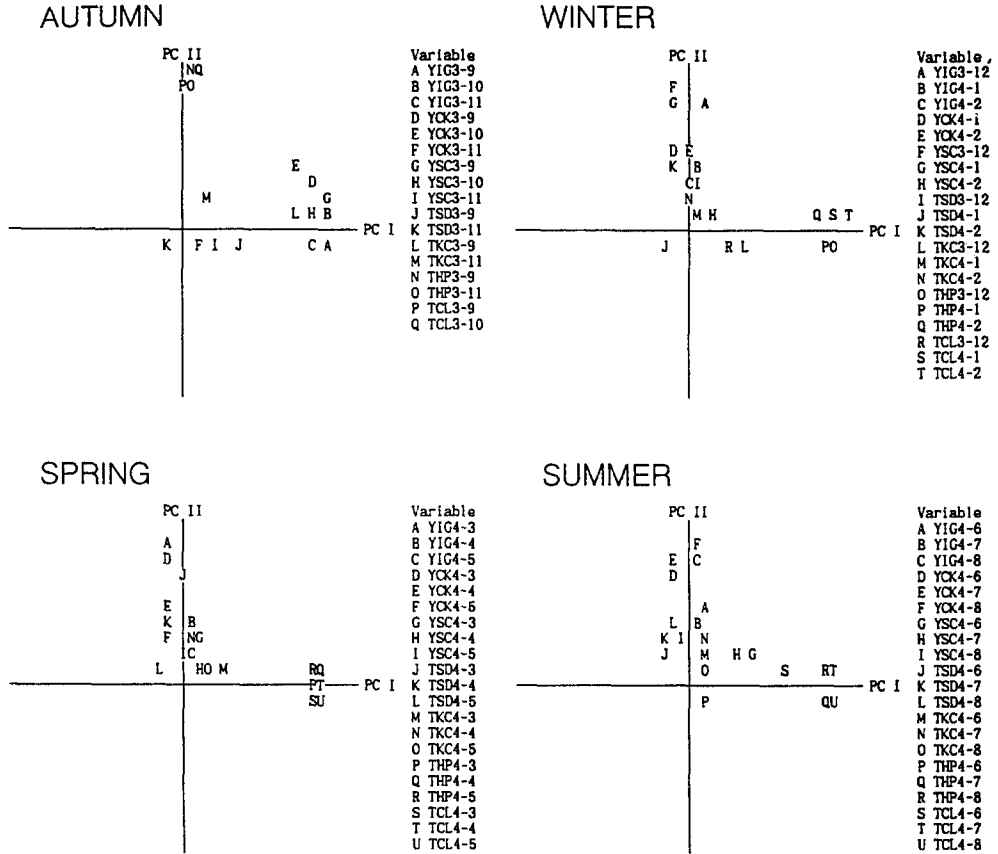


Fig. 7. Principal Component Analysis (PCA) of benthic macroinvertebrate communities collected at the study sites in the Suyong and Soktae streams in four seasons from September 1993 to August 1994. The numbers appearing at the name of study sites represent the year and month when the sampling was collected (eg. 3~9 means September in 1993) (X and Y axis stands for component I and II respectively.).

이상과 같이 월별 군집조사는, 앞으로 권과 전(1991)의 계절별 자료와 본 조사의 채집 결과를 생물 지수와 연계하여 세밀하게 비교해 볼 필요가 있으나, 군집 변동 추이를 지속적으로 추적하여 군집 동태에 대한 일관적이고 연속적인 정보를 줄 수 있음을 알 수 있었다. 각 계절별 1회 조사는 해당 계절에 대한 개략적인 군집상이나 생물 정보를 줄 수 밖에 없으나 월별 조사는 계절내의 변이를 감지할 수 있기 때문에, 앞서 언급한 바와 같이 하천 공사 같은 환경교란 효과를 지속적으로 반영해 주고, 종 풍부도나 출현 밀도의 병행적 고찰이 환경 영향을 특징적으로 나타내 주며, 깔따구류 같은 중요 분류군의 종 풍부도가 수질의 부수성에 따라 년 중 비교적 일관적인 구배를 유지하는 예 등을 보일 수 있었다. 기능군의 역할이나 이차 생산성에 관한 연구가 아니고 생물적으로 수질을 나타낼 경우 주로 계절적 조사가 수행되어져 왔다. 월별 조사로 종 풍부도와 출현도 등을 함께 고찰한 예로는 Mackay와 Kalff(1969)나 Komatsu(1975) 등과 같이 환경 교란이 없거나 극상을 유지하는 청정하천에서의 변이나, Kahl과 Golanska(1987) 등과 같이 인공

적인 하상 설치의 영향을 지속적으로 감지한 경우가 있으나, 환경 영향이 다른 조사지점을 택하여 분류군별로 년중 월별조사를 통해 종 풍부도와 출현도 및 군집 유형 등을 병렬적으로 추적한 연구는 별로 많지 않았다. 우리나라에서는 낙동강 하구에서의 저서성 대형 무척추동물 군집의 연중 변동상황(배와 윤 1989)이나 금호강 수계에서의 우점군을 결정(윤 등 1992)하는데 있어서 계절 조사보다 높은 빈도의 군집 자료가 이용된 바 있다. 앞으로 다양한 환경 영향에 대한 군집 동태의 연속적인 반응을 감지하기 위해 장기적인 월별조사가 필요하다고 여겨진다. 본 조사에서는 실험 여건 상 β -mesosaprobity와 polysaprobity를 나타내는 지점만 조사되었으나, 부수성에 대한 보다 다양한 생물적 반응을 조사하기 위하여 가능하다면 oligosaprobity나 α -mesosaprobity를 나타내는 지점도 앞으로 포함하여 조사되어야 하리라 사료된다. 또 본 연구에서는 생물 군집의 유형만 조사하였으나 이에 수반되는 환경 요인들의 영향을 계량적으로 검토해 볼 필요가 있었다. 그러나 이는 관련 환경 요인의 종합적인 측정 및 다변량 공간하에서 분석 등의 복잡한 문제가 관련되므로 별도의 연구 주제로 설정하여 검토하고자 한다.

적 요

1993년 9월부터 1994년 8월까지 수영강의 석대천과 수영천 등에서 채집된 저서성 대형무척추동물의 월별 군집 변이를 조사하였다. 조사기간 동안 채집된 총 종수는 오염 정도에 따라 장소별로 7종에서 76종이 채집되었다. 종 풍부도의 월별 변이는 분류군에 따라 특성이 있게 나타났는데, 갈따구류나 전체 군집의 종 풍부도는 오염 정도에 따라 일관된 구배를 나타냈고, 하루살이류는 비교적 청정한 곳이 미세하게 오염이 될 때 민감히 반응하였다. 분류군의 월별 출현밀도도 종 풍부도와 연계하면 환경 영향을 효과적으로 나타내 줄 수 있음을 시사하였다. 종 다양도는 환경 영향을 전반적으로 반영하고 있었으나 장소에 따라 월별 변이 폭이 다소 컸다. Cluster 분석 결과 전체적으로 오염 정도가 심한 지점에서 채집된 군집들이 가깝게 무리 졌고 비교적 청정한 곳에서는 군집 연관성은 낮았으나 대체적으로 같은 하천끼리 묶여지는 경향을 보였다. 각 계절별 주요인분석(Principal Component Analysis) 결과 오염에 따른 군집변이가 크게 반영되었음을 알 수 있었다.

인용문헌

- 岡田 要. 1964. 新日本動物圖鑑(上). 北隆館, 東京. 679p.
- 岡田 要. 1965. 新日本動物圖鑑(中). 北隆館, 東京. 803p.
- 권오길. 1990. 한국동식물도감 제 32권 동물편(연체동물 I). 문교부, 서울. 446p.
- 권태성·전태수. 1991. 수영강의 저서성 대형무척추동물군집에 관한 생태학적 연구. II. 분류와 4개 지류에서의 군집분포와 풍부도에 관한 연구. 한국육수학회지 24:179-198.
- 권태성·전태수. 1993. 수영강의 저서성 대형무척추동물군집에 관한 생태학적 연구. III. 화학 및 생물학적 지수를 이용한 수질분석. 한국육수학회지 26:105-128.
- 배경석·윤일병. 1989. 낙동강 하구의 저서성 대형무척추동물에 관한 생태학적 연구. 한국육수학회지 22:337-356.
- 원종훈·이배정·심무경·박현석. 1979. 수영강의 수질오탁과 그것이 광안리 해수욕장에 미치는 영향에 관하여. 한국육수학회지 12:267-276.

- 윤일병. 1988. 한국동식물도감 제 30권 동물편(수서곤충류). 문교부, 서울. 840p.
- 윤일병·공동수·원두희. 1992. 금호강 수계 저서성 대형무척추동물 군집의 시공간적 분포. 한국육수학회지 25:167-175.
- 이종남. 1989. 수영천의 조류상과 Saprobien system에 관한 연구. 경성대 석사학위논문, 부산. 67p.
- 전태수·권태성. 1991. 수영강의 저서성 대형무척추동물군집에 관한 생태학적 연구. I. 하류의 군집구조 및 생물지표 조사. 한국육수학회지 24:165-178.
- APHA, AWWA and WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and waste water (16th. ed.). APHA, Washington, DC. 1134p.
- Brigham, A.R., W.U. Brigham and A. Gniska (eds.). 1982. Aquatic insects and oligochaetes of North and South Carolina. Midwest Aquatic Enterprise, Mahomet. 837p.
- Brinkhurst, R.O. 1986. Guide to the freshwater aquatic microdrile Oligochaetes of North America. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 84, Dept. of Fisheries and Oceans, Canada. 259p.
- Bullock, L. 1980. The investigation of samples containing many species. I. Sample comparison. Biol. J. Limn. Soc. 3:1-21.
- Connell, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science 199:1302-1310.
- Hawkes, H.A. 1979. Invertebrates as indicators of river water quality. In A. James and L. Evison (eds.), Biological indicators of water quality. John Wiley and Wiley, Chichester, Great Britain. pp. 2:1-45.
- Hellawell, J.M. 1986. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier, London. 546p.
- Huston, M. 1979. A general hypothesis of species diversity. The American Naturalist. 113:81-101.
- Hynes, H.B.N. 1960. The biology of polluted waters. Liverpool Univ. Press, London. 202p.
- Kahl, K. and M. Golanska. 1987. Diversity and numbers of Oligochaeta against the background of other macroinvertebrates in a concrete bed of the River Widawka (Central Poland). ACTA Hydrobiol. 29:35-51.
- Klemm, J. D. 1985. A guide to the freshwater annelida(Polychaeta, Naidid and Tuficid Oligochaeta, and Hirudinea) of North America. Kendall /Hunt, Dubuque, Iowa. 198p.
- Komatsu, T. 1975. The seasonal and annual changes of benthic communities of the climax in rapids of the stream. Jap. J. Ecol. 25:160-172.
- Mackay, R. J. and J. Kalf. 1969. Seasonal variation in standing crop and species diversity of insect communities in a small Quebec stream. Ecology 50:101-109.
- McNaughton, S. J. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. Nature 216:168-169.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 1984. An introduction to the aquatic insects of North America. Hunt Publishing Company, Dubuque. 722p.
- Milbrink, G. 1983. An improved environmental index based on the relative abundance of

- oligochaete species. *Hydrobiologia* 102:89-97.
- Norusis, M.J. 1986. SPSS /PC+ advanced statistics. SPSS Inc. Chicago. 360p.
- Nuttall, P.M. and G.H. Bielby(1973). The effect of china-clay wastes on stream invertebrates. *Environ. Pollut.* 5:77-86.
- Pennak, R.W. 1978. Fresh-water invertebrates of the United States. John Wiley & Sons, New York. 803p.
- Pielou, E.C. 1977. Mathematical ecology. John Wiley & Sons, New York. 385p.
- Resh, V.H. and D.M. Rosenberg. 1984. The ecology of aquatic insects. Praeger, New York. 625p.
- Riebesell, J.F. 1974. Paradox of enrichment in competitive systems. *Ecology* 55:183-187.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana. 117p.
- Sládeček, V. 1979. Continental systems for the assessment of river water quality. *In* A. James and L. Evison (eds.), Biological indicators of water quality. John Wiley and Sons, Chichester, Great Britain. 3:1-32.
- Spellerberg, Ian F. 1991. Monitoring ecological change. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain. 334p.
- Tittizer, T.T. and P. Kothé. 1979. Possibilities and limitations of biological methods of water analysis. *In* A. James and L. Evison (eds.), Biological indicators of water quality. John Wiley and Sons, Chichester, Great Britain. 4:1-21.
- Wiederholm, T. (ed.) 1983. Chironomidae of the Holartic region keys and diagnoses. (part 1. Larvae). *Ent. Scand. Suppl.* 19, Lund, Sweden. 457p.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, London. 718p.

(1995년 2월 3일 접수)