

인공신경망을 이용한 남한의 저서성 대형 무척추동물 군집 유형

곽인실 · 류광순¹ · 전태수* · 박영석²

(부산대학교 자연과학대학 생명과학부 609-735,

¹중화인민공화국 심양대학교 생명기술연구소 110-044,

²임업연구원 산림환경부 130-012)

Community Patterning of Benthic Macroinvertebrates in Streams of South Korea by Utilizing an Artificial Neural Network. Kwak, Inn Sil, Guangchun Liu¹, Tae-Soo Chon* and Young-Seuk Park² (Division of Biological Sciences, Pusan National University, Pusan 609-735, KOREA. ¹Department of Agriculture, Shenyang University, P.R. China. ²Department of Forest Environment, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-012, Korea)

A large-scale community data were patterned by utilizing an unsupervised learning algorithm in artificial neural networks. Data for benthic macroinvertebrates in streams of South Korea reported in publications for 12 years from 1984 to 1995 were provided as inputs for training with the Kohonen network. Taxa included for the training were 5 phylum, 10 class, 26 order, 108 family and 571 species in 27 streams. Abundant groups were Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Coleoptera, Odonata, Oligochaeta, and Physidae. A wide spectrum of community compositions was observed: a few tolerant taxa were collected at polluted sites while a high species richness was observed at relatively clean sites. The trained mapping by the Kohonen network effectively showed patterns of communities from different river systems, followed by patterns of communities from different environmental disturbances. The training by the proposed artificial neural network could be an alternative for organizing community data in a large-scale ecological survey.

Key words : Benthic Macroinvertebrates, Artificial Neural Network, Community Pattern, Environmental Disturbance, Species Diversity, Streams of Korea

서 론

광범위하게 출현하는 하천의 저서성 대형무척추동물 군집은 정주성 및 종다양성 등으로 인해 하천의 수질상태를 생태적으로 나타낼 수 있는 좋은 지표가 된다(Hynes, 1968; Resh and Rosenberg, 1984; Hellowell, 1986). 전통적으로 군집자료는 주로 다변량 분석법에 의한 Clustering이나 Ordination 방법 등에 의해 분류되었다(Legendre *et al.*, 1985; Bunn *et al.*, 1986; Ludwig and Reynolds, 1988; Quin *et al.*, 1991; 오와 전, 1991; 윤, 1998).

그러나 많은 종으로 구성된 군집은 장소나 시간에 따라 비선형적 양상으로 복잡하게 나타난다. 기존의 통계적 기법은 주로 선형적인 자료를 대상으로 하고 있으므로 (Legendre and Legendre, 1985), 복잡한 비선형 자료를 그룹 짓는 데는 제한이 따른다. 최근 비선형적인 자료의 정보를 추출하여 효과적으로 패턴인식 할 수 있는 인공 신경회로망이 개발되어 전산-전자 분야에서 음성이나 문자인식 등의 복잡한 자료를 자동으로 학습하는데 이용되고 있다(Hecht-Nielsen, 1987, 1990; Zurada, 1992; Haykin, 1994). Chon *et al.* (1996, 2000a)은 비지도학습 인공신경회로망인 Kohonen망을 군집 분류에 적용하여

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

저서성 대형무척추 동물의 군집 유형화에 인공신경회로망이 효과적으로 이용될 수 있음을 보여 주었다. 나아가 군집동태도 시간유형 인공신경회로망(temporal artificial neural network)을 통해 단기 예측할 수 있다고 보고하였다(Chon *et al.*, 2000b).

본 연구는 장기간에 걸쳐 다양한 장소에서 수집된 우리 나라 하천의 저서성 대형무척추동물 군집자료를 인공신경회로망에 적용하여 적절히 유형화 할 수 있는가를 시도하고, 이를 이용하여 대규모 군집자료를 효과적으로 체계화할 수 있는지를 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

1. 인공신경망

군집자료를 유형화하기 위하여 비지도학습 인공신경회로망의 방법 중 가장 널리 사용되는 코호넨망(Kohonen, 1989)을 사용하였다. 코호넨망은 M^2 의 출력뉴런으로 이루어진 출력층(output layer)과 N 의 입력뉴런으로 이루어진 입력층(input layer)으로 구성되며(Fig. 1), 외부로부터 받은 벡터형 입력패턴은 자기조직(self-organization)적인 최적화 과정을 거쳐 유형화하게 된다(Wasserman, 1989). 본 연구에서는 입력층과 출력층의 크기는 각각 65(N)뉴런과 81($M^2 = 9 \times 9$)뉴런을 이용하였다. 출력뉴런 j 와 입력뉴런 i 는 연결계수(weight) w_{ji} 로 서로 연결이 되어 있으며, 연결계수는 일련의 계산 반복과정을 거쳐 적응적으로 변화하게 되는데 이 과정을 학습이라 한다. 연결계수는 초기에는 무작위적으로 작은 수로 설정이 된다. 입력벡터(x)가 주어지면 출력층 뉴런(j) 각각에 대하여 입력값(x_i ; 분류군 i 의 밀도)과 연결계수(w_{ji})의 차이의 합($d_j(t)$)이 다음 식과 같이 계산된다(Kohonen, 1989).

$$d_j(t) = \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - w_{ji}(t))^2$$

계산된 값 $d_j(t)$ 중에서 가장 작은 값을 가진 뉴런 j 가 승자뉴런(winning neuron)으로 선택된다. 이후 승자 및 그 이웃뉴런은 연결계수와 입력벡터 사이의 차이를 감소시킬 수 있도록 연결계수를 다음과 같이 수정함으로써 학습하게 된다.

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta(t)(x_i - w_{ij}(t))Z_j$$

여기서 Z_j 는 승자와 그 이웃뉴런은 1로, 나머지 뉴런은 0으로 할당되어, 승자 및 그 이웃뉴런 연결계수의 조

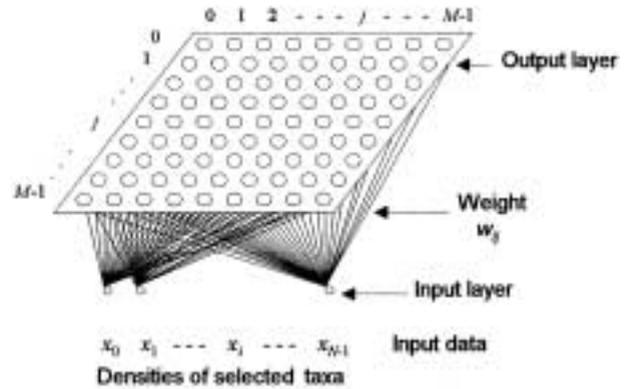


Fig. 1. Schematic diagram of the Kohonen network (Adapted from Chon *et al.* 1996).

정을 가능하게 한다. $\eta(t)$ 는 학습률로서 반복계산 과정에서 학습효율을 조절하는데, 학습시간 t 에 따라 선형적으로 감소하게 하였다. 선행 학습결과를 토대로 본 연구에서는 0.1~0.4 범위의 값을 사용하였다. 이웃뉴런의 크기를 나타내는 $r(t)$ 는 학습초기에는 $(M-1)/2$ 의 정수 값을 사용하여 학습진행 과정동안 점차 감소하여 0으로 변하게 하였다. 자세한 학습방법은 Chon *et al.* (1996, 2000c)의 방법을 따랐다. 코호넨망의 세부적인 알고리즘은 Lippmann (1987), Kohonen (1989), Hecht-Nielsen (1990), Zurada (1992) 등을 참고하였다.

2. 군집자료

1984년부터 1995년까지 12년간 14편의 국내 주요 전문학술지(Table 1)에 출판된 군집 밀도자료를 코호넨망에 학습시켰다. 각 논문에서 발췌하여 학습에 사용된 자료의 조사지점은 <부록 1>에 수록하였다. 총 27개 하천이 보고되었으며, 이들은 1:100,000의 축적의 지도에서 대체적으로 2~3차 하천이었다(Fig. 2). 한강수계에서 가장 많은 조사가 이루어져 11개 지류 하천에 대한 논문이 출간되었다. 기타 섬진강이나 낙동강 등의 수계에서는 1~3개 지류에서 조사가 이루어졌다. 자료수집은 군집자료가 정량채집된 자료의 논문만을 대상으로 하였으며, 이들 대부분 Surber망으로 채집된 것이었고, 일부 하류지역에서는 Corer 또는 Eckman grab 등으로 채집된 경우도 있었다. 수집된 자료의 각 군집밀도는 전체적으로 1 m²에 대한 출현개체수로 환산하여 이용하였다. 조사횟수가 많은 한강, 섬진강은 별도로 학습시켰다.

연구자에 따라 조사횟수가 다소 차이가 나타났으나 대부분 계절별 조사였다(Table 1). 연 1회 조사를 수행한 경우에는 조사한 시점에 따라 한 계절별 조사로 간주하

Table 1. Summary of selected publications reporting community composition of benthic macroinvertebrates in Korea from 1984 to 1995.

Source and Authors ¹⁾	Sampling method	Unit	River	Tributary	Stream	No. of samplings	Environments ³⁾		
							BOD	pH	Pollution level
KJL, 17(3,4). Yoon <i>et al.</i> , 1984	Surber	/m ²	Masan	Samho	-	-	-	6.2~6.8	M
KJE, 17(3). Lee <i>et al.</i> , 1994	Surber	/0.5 m ²	Han	Imjin	Gokneung	4	1.1~8.5	6.9~7.8	L, M
KJL, 28(4). Bae <i>et al.</i> , 1995	Surber Grab	/m ²	Han	Namhan	Lower reach	1	-	-	L
KJL, 26(3). Bae, 1993	Surber	/m ²	Han	Imjin	Gokneung	4 (annual)	0.5~7.2	6.8~8.0	L, M
KJL, 26(3). Bae & Yoo, 1993	Surber	/m ²	Han	-	Wooyi	4 (annual)	0.3~9.4	6.5~10.4	L, M
KJL, 24(1). Ra <i>et al.</i> , 1991	Surber	/m ²	Youngsan	-	Kwangju	4 (annual)	-	-	L
KJL, 22(4). Yoon <i>et al.</i> , 1989	Surber (0.25 m ²) ²⁾	/m ²	Somjin	Posung	-	1	-	-	L
KJL, 22(2). Ra <i>et al.</i> , 1989	Surber	-	Somjin	Posung	Isa	4 (annual)	-	-	L
KJL, 28(2). Sim <i>et al.</i> , 1995	Surber	/11 m ²	Han	Bukhan	Chojong	4 (annual)	-	-	L
KJL, 26(4). Cho <i>et al.</i> , 1993	Surber	-	Somjin	-	Tongbok	4 (annual)	-	6.6~6.8	L
KJL, 28(3). Park & Cho, 1995	Surber	/6 m ²	Han	Bukhan	Pangtae	4	-	6.0~6.9	L
KJL, 25(1). Bae & Park, 1992	Surber	/m ²	Han	-	Yangjae etc.	-	0.6~11.4	5.7~8.1	L, M, H
KJL, 27(2). Lee, 1994	Eckman	/m ²	Nakdong	-	Low reach	4	1.2~3.9	6.6~7.4	L
KJL, 17(3-4). Yoon <i>et al.</i> , 1984	Surber	/m ²	Jaeju	-	Oedo, Guanhgyryong	3	-	6.8~9.1	L
KJE, 8(1). Kim <i>et al.</i> , 1985	Corer	/m ²	Kum	-	Lower reach	-	-	-	M
KJL, 24(1). Kim, 1991	Corer	/188.6 m ²	Mankyong	-	Lower reach	4	-	6.65~7.45	
KJE, 16(4). Oh and Chon, 1991	Surber	/m ²	Nakdong	-	Paenae	4	0.9	5.9~6.9	L
KJL, 24(3). Chon & Kwon, 1991	Surber	/1.2 m ²	Suyong	-	Onchon	2	3.8~60	6.1~7.0	L, M, H

¹⁾KJL; Korean Journal of Limnology, KJE; The Korean Journal of Ecology. ²⁾Samplings were partially conducted in 0.25 m² unit.

³⁾BOD and pH are expressed in total ranges during the survey period, while pollution level was judged by the authors based on the reported conditions in publications (L; low, M; medium, H; high).

였고, 월별 조사 또는 계절 당 2회 이상의 조사가 수행된 경우는 수행한 횟수의 평균을 입력 자료로 하였다. 연구자에 따라 분류체제가 차이가 있었는데 명백한 오류가 아니면 연구자가 논문에 기재한 동정 및 분류에 따랐다. 갈따구류의 경우 종 수준의 분류가 대다수 논문에서 이루어져 있지 않아 갈따구과에 속하는 것으로 간주하였고, 오염내성이 크며 다수의 연구자가 보고한 *Chironomus* 속은 갈따구과에서 분리하여 학습자료로 사용하였다.

군집유형화를 위해 사용한 입력패턴은 65 (M)개 분류군으로 구성된 총 125개 군집자료를 이용하였다. 학습에 포함된 분류군은 대체적으로 과 (科) 수준에서 이용하였

으며 출현빈도 및 출현밀도가 낮은 경우는 학습자료에서 제외하였다. 입력자료의 밀도는 값의 변이가 매우 크기 때문에 이를 자연로그로 변환하였으며, 이를 다시 각 분류군의 최대값을 기준으로 0.01~0.99의 범위에서 정규화하였다.

결 과

1. 군집구성

조사된 전체 하천에서 저서성 대형무척추동물은 5분

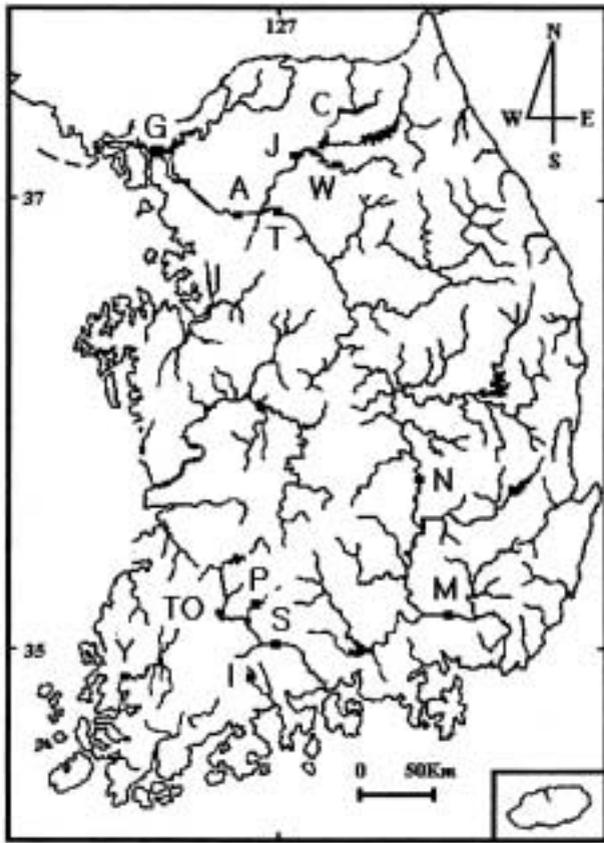


Fig. 2. Streams used for patterning benthic macroinvertebrates data in South Korea from 1984 to 1995. The character in the map represents the name of the sampled streams. A: Chojong, J: Jungryang, W: Wangsuk, T: Tan, A: Anyang, G: Gokneung, N: Nakdong River, M: Masan River, S: Somjin River, I: Isa, P: Posung, Y: Youngsan River and TO: Tongbok.

10강 26목 108과 571종이 보고되었으며 압도적으로 곤충이 많이 출현하였다. 전체적으로 파리류 (156종), 하루살이류 (91종), 날도래류 (89종), 강도래류 (46종), 딱정벌레류 (60종), 잠자리류 (49종) 순으로 나타났고, 기타 무척추동물로서는 빈모류 (17종), 복족류 (13종)가 다수 종 출현하였다. 이들 중 높은 종풍부도를 보인 분류군은 Ephemerelellidae (알락하루살이과), Baetidae (꼬마하루살이과), Hydropsychidae (줄날도래과), Heptageniidae (납작하루살이과), Hirudinae (거머리류), Tubificidae (실지렁이과), Perlodidae (그물강도래과), Chironomidae (갈따구과)였다 (Table 2).

한강 수계 (배와 박, 1992; 배와 유, 1993; 배, 1993; 이 등, 1994; 심 등, 1995; 박과 조, 1995)에서는 전체적으로 146종이, 낙동강 배내지류 (오와 전, 1991)에서는 126종

이, 섬진강 동북 및 이사지류에서는 117종이 (나 등, 1989; 윤 등, 1989; 조 등, 1993), 영산강 (나 등, 1991)에서는 75종이 보고되었다. 한강 수계에서 다른 곳보다 많은 종이 채집된 이유는 앞서 언급한 바와 같이 부분적으로 채집지점이나 채집횟수가 많았음에 기인하였다. 유기물 오염 등의 환경교란에 따라 종풍부도는 큰 차이를 나타내는 것으로 알려져 있다 (Cummins, 1964; Hildrew and Townsend, 1976; Reice, 1980; Hellawell, 1986). 본 자료의 결과에서도 이를 확인 할 수 있었다. 한강수계에서 상류로부터 하류로 내려올수록 환경오염이 심해지며 BOD가 높아지고 (예, 배와 유, 1993) 종풍부도가 급속히 감소되는 경향이 나타났는데, 종 수가 많은 곳에서부터 적은 곳으로 조사 하천의 서열화가 가능했다 (Fig. 3A).

가장 다양한 군집 구성을 보인 지점은 북한강 상류인 조종천 및 방태천으로 각각 158 및 146종이 출현하였다 (박과 조, 1995) (Fig. 3A). 이 지점에서는 주로 청정한 하천에서 관찰되는 하루살이류, 날도래류, 강도래류 및 파리류 (Chironomidae 포함)가 채집된 반면 오염된 곳에서 많이 관찰되는 *Chironomus* sp.는 이 하천에서 기록되지 않았다. 조종천에서 가장 많이 출현한 속은 *Hydropsyche* (줄날도래속), *Serratella* (범꼬리하루살이속) 및 *Epeorus* (부채하루살이속)이었으며 기타 여러 분류군이 다양하게 채집되었다고 보고되었다 (박과 조, 1995).

중간정도로 오염된 곳은 한강 수계에서 곡릉, 우이, 경안, 곤지암 및 북하천으로 이에 속하는 군집은 환경교란을 다소 받아 종풍부도가 감소하여 40에서 100여종이 출현하였는데, 청정한 곳에 출현하는 종과 오염된 곳에서 나타나는 종이 함께 채집되었다. 앞서 청정한 곳에서 출현한 *Serratella*속과 *Epeorus*속 등이 소수 채집되었고, *Hydropsyche*, *Baetis*, *Chironomus* 등이 다수 출현한 것으로 보고되었다 (배와 유, 1993; 배, 1993; 이 등, 1994).

기타 오염이 심한 하천에서는 종풍부도가 낮아져 30여 종 이하가 출현하였다. 탄천, 중량천, 안양천 및 왕숙천 등에서 채집된 군집은 환경교란을 많이 받아 종다양도가 현저히 낮아 각각 14, 13, 17 및 28종만이 보고된 반면 밀도는 매우 높게 나타났다 (배와 박, 1992). 다수 출현한 분류군은 오염내성이 있는 *Chironomus*속 및 *Oligochaeta*와 *Lymnaeidae* (Gastropoda) 등이었다 (배와 박, 1992; 배와 유, 1993).

한강수계를 제외한 다른 하천에서도 하천의 오염 정도에 따라 종풍부도의 차이가 뚜렷하게 나타났다 (Fig. 3A). 예로, 배내천 (낙동강 지류 (오와 전, 1991))은 종풍부도가 높은 반면 교방천 (마산지역 하천 (윤 등, 1984))에서 매우 낮았다. 환경교란에 따른 전체적인 출현양상은

Table 2. List of families abundantly collected at different sample sites in streams of in South Korea from 1984 to 1995. The numbers in parenthesis indicate density (ind./m²).

River	Stream	Taxa
Suyong	Dong	Tubicidae (534)
Suyong	Onchon	Perlodidae (61) Chironomidae (53)
Han	Chojong	Hydropsychidae (2517) Ephemereillidae (2671) Heptageniidae (1407) Limnioniidae (400) Baetidae (265) Chironomidae (239)
Han	Pangtae	Ephemereillidae (273) Simuliidae (110) Chironomidae (105) Hydropsychidae (96) Heptageniidae (95) Glossosomatidae (94) Limnephilidae (92)
Han	Gokneung	Baetidae (1831) Hydropsychidae (1813) Ephemereillidae (1144) Chironomidae (223) Heptageniidae (148) Nepidae (134)
Han	Kyongan	Chironomidae (784) Hydropsychidae (170) Baetidae (140) Coenagrionidae (90) Pleuroceridae (42)
Han	Gonjiam	Hydropsychidae (699) Heptageniidae (388) Ephemereillidae (190)
Han	Anyang	Lymnaeidae (378) Coenagrionidae (292) Platycnemididae (104)
Han	Wangsuk	Chironomidae (290) Pleuroceridae (24)
Han	Jungryang	Chironomidae (7409) Tubicidae (180)
Han	Wooyi	Chironomidae (239) Baetidae (165) Hirudinidae (106)
Han	Bokha	Baetidae (198) Hydropsyidae (88) Chironomidae (68)
Han	Tan	Chironomidae (1531) Tubicidae (484) Lymnaeidae (232)
Youngsang	Sanjang	Chironomidae (46) Baetidae (7) Elmidae (1) Ephemereillidae (60) Heptageniidae (88)
Youngsang	Chungsim	Chironomidae (42) Baetidae (10) Ephemereillidae (70) Heptageniidae (116)
Masan	Samho	Psychodidae (80) Tabanidae (12) Tendipedidae (1820)
Masan	Kyopang	Tendipedidae (20) Ephemereillidae (14)
Somjin	Tongbok	Hydropsychidae (2690) Ephemereillidae (1305) Chironomidae (892) Baetidae (493) Hepageniidae (278)
Somjin	Isa	Hydropsychidae (3485) Ephemereillidae (1883) Heptageniidae (1371) Chironomidae (1013) Baetidae (584) Elmidae (472)
Somjin	Posung	Hydropsychidae (279) Ephemereillidae (10) Chironomidae (80) Baetidae (41) Elmidae (70)
Nankdong	Paenae	Chironomidae (1520) Baetidae (42)

한강수계와 유사하였다. 낙동강 수계의 비교적 청정한 배내천에서는 126종이 출현하여 높은 종풍부도를 나타내었는데, 다양도 등의 군집지수는 한강의 조종-방태천과 유사하였다. 이곳에서 출현한 주요 분류군은 하루살이류, 날도래류, 강도래류였다. Chironomidae에서는 주로 *Diamesa* (뱃갈따구속), *Lasia*, *Orthocladus* (깃털따구속), *Rheocricotopus*속 등이 채집되었다. 하루살이류에는 *Ecdyonurus* (참납작하루살이속), *Heptagenia* (납작하루살이속), *Ameletus* (피라미하루살이속), *Paraleptophlebia* (두갈래하루살이속), *Epeorus* 등이 많이 출현하였고, 기타 강도래류인 *Capnia*, *Klotina*, *Neoperla*속과 날도래류인 *Lepidostoma*속이 채집되었다(오와 전, 1991).

섬진강의 3개 지류인 동북, 보성 및 이사천의 군집구성은 대체적으로 유사하였으며 100여종이 출현하여 비

교적 청정한 수계의 군집구성을 보였다. 동북 및 보성천에서는 하루살이류인 *Serratella rufa* (등줄하루살이)와 *Pseudocloeon*속이 많이 출현하였다(나 등, 1989; 조 등, 1993). *Pentaneura* (Diptera)속이 동북천 및 이사천에서 우점종인 반면 보성천에서는 *Chironomus*속이 많이 출현하였다(나 등, 1991).

영산강은 광주천 등 3개 지류에서 조사되었는데 채집된 전체 종 수는 75종으로 다소 낮았다. 하루살이류인 *Epeorus*, *Ecdyonurus* (참납작하루살이속), *Cincticostella* (민하루살이속), *Emphinemura*속 등이 출현하였다.

오염된 하천 수계로는 마산과 제주도 지역의 하천이 포함되었는데, 마산의 삼호, 교방 및 혜원천에서는 전반적으로 환경교란의 영향을 크게 받아 종 수는 37로 낮았고 군집구성은 서로 유사하였으며, 이곳에서는 *Tendipes*

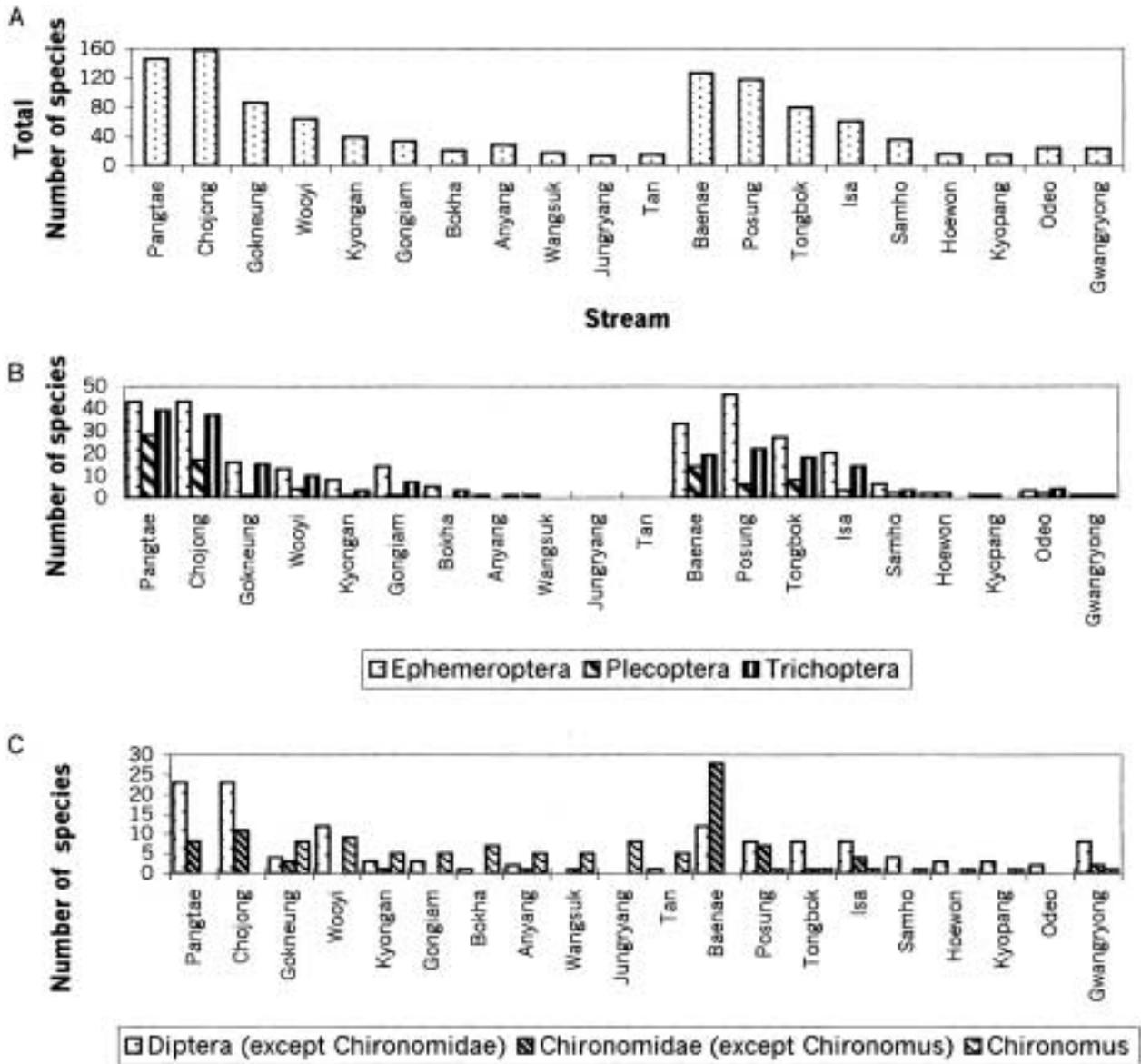


Fig. 3. The number of species in benthic macroinvertebrates collected in streams of South Korea from 1984 to 1995. A. Total number of species, B. Number of species in Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera C. Number of species in Chironomus, Chironomidae (except chironomus) and Diptera.

(Diptera)속이 주로 많이 출현하였다. 제주도의 두 하천에서는 종 풍부도가 낮았는데 외도지류에는 24종이, 광령지류에서는 20종이 출현하였다. 딱정벌레인 *Deronectes*속, 하루살이류인 *Baetis*속, *Choroterpes*속, 날도래류인 *Stenopsyche*(각날도래류)속 및 *Rhyacophila*(몰날도래류)속 등이 출현하였다.

다소 청정한 하천에 서식하는 강도래류, 날도래류, 하루살이류(이하 EPT로 칭함)는 오염이 많이 진행된 하천에서는 출현되지 않았다(Fig. 3B). 강도래류는 상대적

으로 소수 종이 출현하며 오염이 진행되면 급격히 출현하지 않는 것으로 나타났다. 날도래류도 이와 유사한 경향을 보이나 오염에 내성이 상대적으로 높은 줄날도래과의 출현으로 오염에 의해 감소되는 경향이 다소 둔해졌다. 하루살이류와 파리류는 언급한 두 분류군에 비해 오염 정도에 따라 다소 서서히 감소되는 것으로 보였다(Fig. 3B, C).

*Chironomus*는 오염이 진행되는 하류로 갈수록 출현이 증가되는 경향이 나타났다. 반면 깔따구과(*Chirono-*

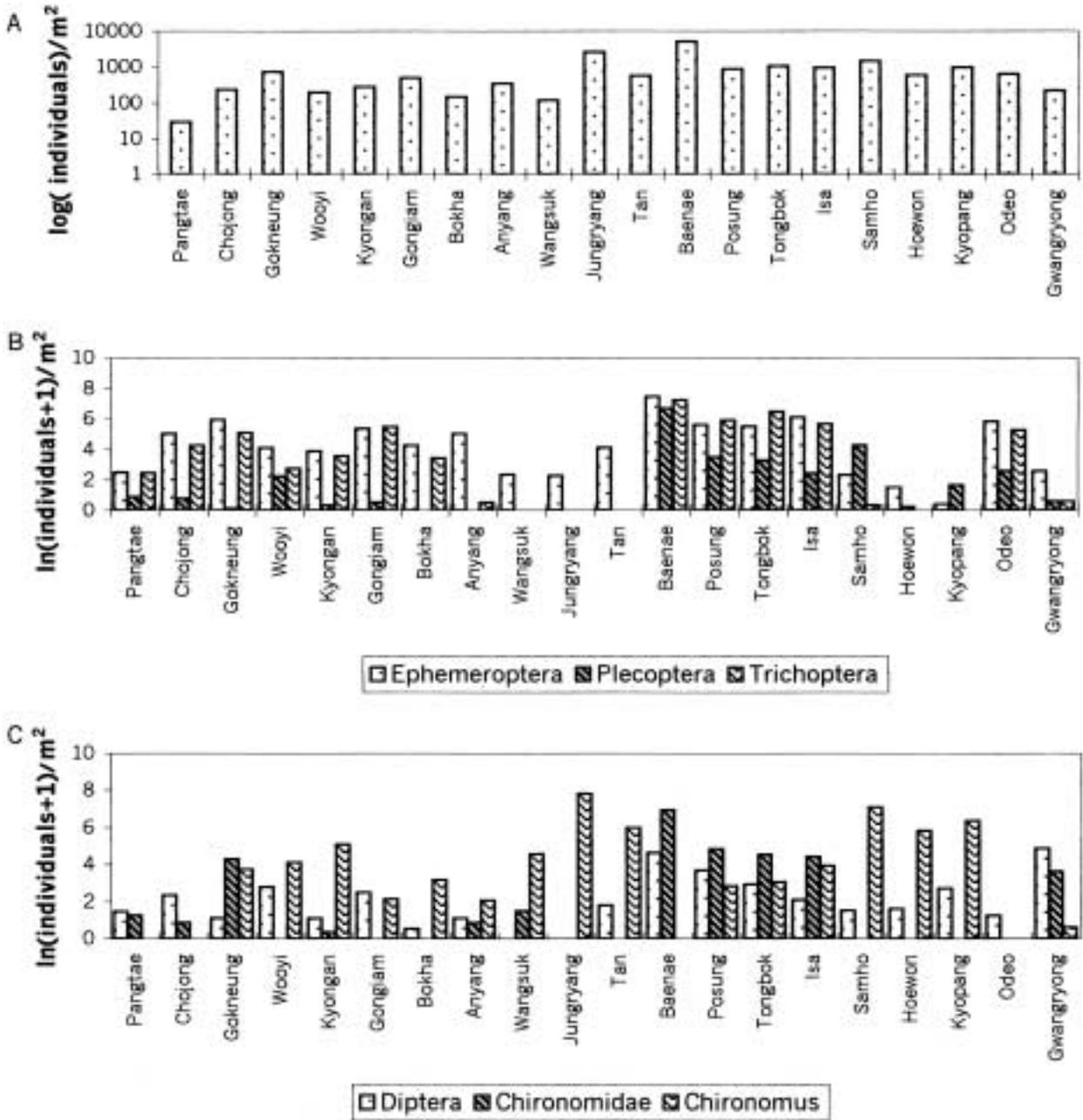


Fig. 4. The density of benthic macroinvertebrates collected in streams of South Korea from 1984 to 1995. A. Total densities B. Mean densities in Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera C. Mean densities in *Chironomus*, *Chironomidae* and *Diptera*.

*mus*를 제외한 경우를 칭함)는 EPT가 나타내는 경향과 유사하게 오염이 진행되는 하천으로 갈수록 감소되는 경향을 보였다. 그러나 내성이 EPT에 비해 다소 높았는데, 예로써 왕숙천의 EPT는 매우 낮게 나타났으나 깔따구과 및 *Chironomus*속이 다수 보고되었다. 깔따구과는 종에 따라 적응력에 차이가 나지만 일반적으로 적응력이

다양하여 오염된 수환경에서부터 청정한 하천까지 널리 분포한다는 보고와 일치하였다 (Rosenberg, 1992; Armitage *et al.*, 1995; 윤과 전, 1999).

기타 수계에서도 한강수계와 유사한 경향을 나타내었는데 오염이 덜 된 배내천과 보성천의 EPT구성은 높았다. 배내천에서는 날도래류가 풍부하고 보성천에서는 하

A

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0		41, 58	35, 37, 38, 39, 52, 67		77, 79		(Masan River) 91, 92, 94, 99 100, 108	102	
1	97		51, 54, 59		46, 48	45, 57, 66	96, 103		109
2			49, 50	28	(Somjin River) 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 29, 31, 47, 111, 113	23			53, 55, 60, 80
3	32		24, 25, 26, 30, 33, 34	88	56, 124	(Han River) 0, 1, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 83, 107, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123	89, 90, 93, 106		
4				87	(Han River) 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 110, 112, 116				
5	44			36, 81	40, 68, 84, 85, 86				95, 101, 104
6	61	27, 64		105	63	62, 76			
7						65, 82	42, 78		
8	43		98						

B

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	41		40, 67, 76		68	64	50, 59	2, 3, 4, 5 6, 47	52
1									
2			86		84, 85			0, 1 46, 48	56
3	53, 55 60, 81							83	69, 70, 71 72, 73, 74 75
4			44		80		66		43, 49
5	42, 78								
6				65, 82					45
7	63, 77, 79						58		
8				61	62	54	51		57

C

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	27	114, 117	111, 116		7, 9		8, 18		16, 19
1	115								
2				110					
3	26						30		24
4									
5	25								23
6							29		113
7	32		28						22
8	33, 34				17		21	10, 11, 12 13, 14, 15 20, 31, 112	

Fig. 5. The map trained by the Kohonen network for patterning the occurrence of benthic macroinvertebrates collected in streams of South Korea from 1984 to 1995 A. Total rivers B. The Han River C. The Somjin River.

루살이류가 풍부하게 나타났던 것으로 보고되었다. 배내천에서는 *Chironomus*는 보고되지 않고 깔따구류가 크게 출현하였으나 보성천에서는 소수 *Chironomus*가 출현하였으며 깔따구류도 다수 조사되었다(나 등, 1989).

밀도(밀도+1)을 자연로그로 전환)는 오염에 따른 일정한 경향을 보이지는 않았으나, 한강수계에서 종풍부도가 높을 경우 다소 낮게 나타났다(Fig. 4A). 기타 수계에서는 이러한 일관성을 보기가 어려웠다. 강도래류는 한강 수계에서는 소수 출현하였으나 기타 수계의 청정하천 곳에서 높은 밀도로 보고되었다. 하루살이류는 청정하천에서부터 하류로 갈수록 종풍부도가 낮아진 것과 달리 밀도는 다소 증가되는 경향을 보였고 하류에서도 소수 출현하였다(Fig. 4B). 날도래류는 하루살이류와 강도래류의 중간정도의 출현 밀도를 보였고 일관된 경향성을 파악하기가 힘들었다. *Chironomus*는 EPT가 급감하는 하천에서 높은 밀도로 출현하는 경향이 나타났다(예, Fig. 4B, C의 삼호 및 혜원천). 깔따구과는 종풍부도에 비해 출현 밀도는 상대적으로 높지 않았다. 오염된 곳에서는 소수 종이 대량 출현하였다.

2. 코호넨망을 이용한 유형분석

수집된 전 자료를 코호넨망에 입력 후 학습을 통하여 유형화하였다(Fig. 5). 학습은 대체적으로 500~1,000번의 반복과정을 거쳐 수렴되었다. 각 번호에 따른 조사지명과 유형화 된 뉴런의 위치는 Appendix 1에 실었다. 학습된 결과의 그림에서 조사지류가 많았던 한강 수계가 넓은 범위를 차지하였다(예, 뉴런(5(x축)), 3(y축)), (2, 0), (4, 4), (6, 7), (5, 7)) (Fig. 4A). 또 섬진강 수계는 뉴런(4, 2), 낙동강 배내천은 뉴런(8, 1), 마산지역은 주로 뉴런(6, 0)에 표현되어 일차적으로 한강, 낙동강, 섬진강 등 주요 수계에 따라 군집이 묶여짐을 보였다. 이는 우리나라의 저서성 대형무척추동물 군집구성이 하천에 따라 달리 나타남을 시사하였다.

나아가 환경교란에 따른 군집구성의 경향이 학습지도에서도 반영되어 나타났다. 종풍부도가 높았고 비교적 청정한 한강의 조종 및 방태천은 뉴런(5, 3)에 집중되었으며 종풍부도가 낮았던 안양, 왕숙, 중량 및 탄천은 별도로 뉴런(5, 6), (5, 7), (6, 7)에 모여져 나타났다(Fig. 5A). 종풍부도가 중간정도였던 한강의 곡릉천은 뉴런(2, 1), (2, 2) 등에 위치하였다. 마산지역은 환경교란이 심해 종풍부도가 낮았던 곳인데 뉴런(6, 0), (6, 1), (7, 1)에 집중되어 나타났다. 이로써 코호넨망은 2차원의 학습결과 그림에서 1차적으로는 하천별, 2차적으로는 유기물 오염 정도에 따라 계층별로 유형화됨을 보였다.

나아가 인공신경회로망이 동일 수계내의 군집변이를 보다 세밀하게 인식해 낼 수 있는지를 살펴보았다. 한강 수계의 군집만을 별도로 코호넨망에 입력하여 학습하였는데(Fig. 5B), 다양한 종이 출현한 조종천이 뉴런(7, 0)과(7, 2), 방태천이 뉴런(8, 3)에 집중되어 나타났다(Fig. 5B). 반면 중간 정도 오염되었던 하천들은 각 하천별로 소수 무리를 이루어 흩어졌다. 예로, 곡릉천은 뉴런(6, 8)을 중심으로 그 주위에 흩어져 나타났다. 반면 오염이 심했던 왕숙천과 탄천은 뉴런(0, 3)과(0, 7)에 뚜렷하게 모여졌다.

섬진강 수계의 군집에 대해서도 별도로 학습하였는데, 비교적 높은 종풍부도를 보인 보성천은 뉴런(7, 8)에 무리를 형성하였다. 중간정도의 오염상태를 보인 동북천은 뉴런(1, 0)과(2, 0) 주변에 모이기는 하였으나 앞서 한강 수계에서 살펴본 것과 같이 전체적으로 흩어져 나타났다. 이사천은 동북천과 가까운 뉴런(4, 0)과(6, 0)에 다수 무리 지어졌다(Fig. 5C).

고 찰

우리 나라 하천에 출현하는 저서성 대형무척추동물 군집을 인공신경회로망을 통하여 유형화 한 결과, 군집 구성은 일차적으로 하천의 지리적 위치에 따라 차이가 나타났으며 이차적으로 환경영향에 따라 군집이 세분되어 유형화됨을 알 수 있었다. 특히 조사지점이 많았던 한강수계에서는 지천에 따라 환경교란을 반영한 군집유형이 잘 표출되었다.

같은 수계내의 군집을 학습한 결과 청정하천과 오염하천은 뚜렷이 무리를 짓는 반면 중간정도 오염을 보인 하천은 무리를 짓는 경향이 다소 약함을 볼 수 있었다. 이는 중간 정도로 교란된 상태의 군집구성이 다양하기 때문인 것으로 여겨지는데, 앞으로 실제 군집이 어떻게 구성되는지를 생물, 생태적으로 조사해 보아야 할 것으로 여겨진다.

본 연구에서 코호넨망은 군집유형 양상을 시각적으로 쉽게 나타낼 수 있음을 보여 주었다(Fig. 5). 자료를 입력하여 학습시킨 신경망은 새로운 자료를 입력하여 재인(recognition) 할 경우 별도의 학습 없이 기존의 어느 무리와 유사한지를 판별할 수 있는 강점이 있다(Chon et al., 1996; Chon et al., 2000a). 많은 군집을 전통적인 클러스터링(clustering)을 통하여 분류할 경우, 분지의 정도에 따라 무리화가 복잡하여 일관된 경향성을 파악하기 어렵다(Chon et al., 1996). 또한 다변량분석의 경우는 새로운 자료를 추가할 때 전체를 처음부터 다시 분

석해야 하는 단점이 있다. 나아가 인공신경회로망은 학습대상에 따라 융통성 있게 훈련시킬 수 있으므로 생태계별로 유형화도 가능하다. 즉, 우리 나라 전체 수계를 동시에 학습시킬 수도 있고, 수계별로 한강형, 낙동강형의 군집구성을 유형화하고 이를 인식시켜 수생태계를 효율적으로 관리 할 수 있을 것이다. 이러한 유형 방법론은 앞으로 생물자원 조사 및 생태적 수질 관정에 관련된 우리 나라 전체 유형을 조감하고 생물자료 평가법을 개발하는데 좋은 정보를 제공할 수 있으리라 사료된다. 국가적인 종다양성 보전이나 생태지도 작성에는 광대한 군집자료를 처리해야 하는데 본 연구에서 사용한 인공신경망은 대량자료의 유형화를 위한 하나의 대안이 될 것으로 사료된다.

본 연구에서는 우리 나라에서 저서성 대형무척추동물 조사가 본격적으로 실시된 후부터 1990년대 중반까지의 12년동안 출판된 논문을 대상으로 택하였다. 이는 1995년 이후 전체적으로 수서곤충에 대한 논문이 증가하고 하천 환경여건도 많이 변하였기에 별도의 연구 주제로 다룰 필요가 있었다. 1995년 이후 최근까지의 유형에 대해서는 앞으로 추가 연구가 필요하며 전체적인 군집이 본 연구와 같이 수계나 환경교란 정도에 따라 구분될 수 있는지 고찰해 볼 필요가 있었다.

본 연구에서 난제는 조사자에 따라 방법론이 달랐다는 점이었다. 표본 채취법, 조사횟수 등이 다르기 때문에 조사된 하천에 따라 균질하게 군집이 대표되기 어려웠다. 또한 일부 수계에만 채집이 집중되었기 때문에 종다양도를 표현하는 정밀도도 달랐다. 나아가 Surber망으로 채집된 조사와 Corer 등으로 채집한 조사는 정밀도 등에서 다소 차이가 날 수 있었는데, 우리 나라 여건에 맞도록 앞으로 적절히 환산할 수 있도록 하면 좋으리라 여겨진다. 그러나 본 조사의 경우 군집내의 분류를 정확하게 하기 보다는 전체적인 군집구성 양상을 파악하고자 하는 것이므로 주요 분류군의 출현양상을 나타내는 데는 큰 무리가 없었다고 여겨진다. 앞으로 보다 정밀한 조사를 위해서는 전국 규모의 전체적인 조사는 동정 및 분류에 대하여 동일한 기준을 적용하여야 할 필요가 있다고 여겨진다.

적 요

1995년까지 우리 나라의 주요 하천을 대상으로 하여 출판된 논문에서 저서성 대형무척추 동물의 주요 분류군 출현현황을 종합적으로 고찰하고 인공신경회로망을 이용하여 유형분석을 하였다. 한강 수계의 11개 지류를

포함한 총 27개 하천에서 5문 10강 26목 108과 571종이 보고되었으며 주로 파리류, 하루살이류, 날도래류, 강도래류, 딱정벌레류, 잠자리류, 빈모류, 복족류 등이 출현하였고 주요 출현분류과는 Ephemerelellidae, Baetidae, Heptageniidae, Hydropsychidae, Chironomidae, Hirudinae, Tubificidae, Perlodidae 등이었다.

하천의 군집구성은 환경교란 정도에 따라 세 그룹으로 나뉘어졌고 환경교란에 따라 군집의 종풍부도가 영향을 받았으며 Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera 및 Diptera 내의 Chironomidae에서는 환경교란이 클수록 종풍부도가 많이 감소되었다. 반면 Chironomus속은 교란이 커질수록 종풍부도가 증가되었다. 전 자료를 대상으로 코호넨망에 입력하여 유형화하였을 때 일차적으로 한강, 낙동강, 섬진강 등 주요 수계에 따라 군집이 묶여졌고 다음으로 환경교란에 따라 무리화되었다. 비교적 청정하거나 오염이 심한 곳의 군집은 비교적 무리화가 잘된 반면 중간 정도로 오염된 곳은 세부 군집으로 묶여져 흩어져 나타났다.

사 사

본 연구는 환경부 G7 프로젝트 “국내 여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발” 연구의 일환으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- Armitage, P.D., P.S. Cranston and L.C.V. Pinder. 1995. The Chironomidae: biology and ecology of non-biting midges. Chapman & Hall publishers, 572pp.
- Bae, K.S. and S.B. Park. 1992. Benthic invertebrate community and relation with environmental factors at the ecosystem of tributary streams in Han River. *Korean Journal of Limnology*. **25**: 41-57.
- Bae, K.S. and B.T. Yoo. 1993. Water environment and ecological dynamics of aquatic animal community in Wooyi Stream. *Korean Journal of Limnology*. **26**: 245-261.
- Bae, K.S. 1993. Community structure and ecological dynamics of benthic macroinvertebrates according to the micro-habitats in Gokneung Stream. *Korean Journal of Limnology*. **26**: 263-280.
- Bae, K.S., H.J. Kim and J.Y. Kim. 1995. Distribution characteristics of benthic macroinvertebrates in the Han River Water System. *Korean Journal of Limnology*. **28**: 475-486.
- Bunn, S.E., D.H. Edward and N.R. Loneragan. 1986. Spa-

- tial and temporal variation in the macroinvertebrate fauna of streams of the northern jarrah forest, Western Australia: community structure. *Freshwater Biology*. **16**: 67-91.
- Cho, Y.G., S.K. Baik, J.S. Kim and C.H. Ra. 1993. Studies on the aquatic insect community in the Tongbok Stream. *Korean Journal of Limnology*. **26**: 285-292.
- 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, K.H. Moon and E.Y. Cha. 1996. Patterning communities by using an artificial neural network. *Ecol. Model.* **90**: 69-78.
- Chon, T.-S., Y.S. Park and J.H. Park. 2000a. Determining temporal pattern of community dynamics by using unsupervised learning algorithms. *Ecol. Model.* **132**: 151-166.
- Chon, T.-S., Y.S. Park and E.Y. Cha. 2000b. Patterning of community changes in benthic macroinvertebrates collected from urbanized streams for the short time prediction by temporal artificial neural networks. In: Artificial Neural Networks in Ecology and Evolution (Lek S. and J.F. Guegan eds). Springer-Verlag, Berlin.
- Chon, T.-S., I.S. Kwak and Y.S. Park. 2000c. Pattern recognition of long-term ecological data in community changes by using artificial neural networks: Benthic macroinvertebrates and chironomids in a polluted stream. *Korean Journal of Ecology*. **23**: 89-100.
- Cummins, K.W. 1964. Factors influencing the microdistribution of larvae of the caddisflies *Pycnopsyche lepidae* (Hagen) and *Pycnopsyche guttifer* (Walker) in a Michigan stream (Trichoptera: Limnephilidae). *Ecological Monographs* **34**: 271-295.
- Haykin, S. 1994. Neural Networks. Macmillian College Publishing Company. New York.
- Hecht-Nielsen, R. 1987. Counterpropagation networks. Proc. of the Int. Conf. on Neural Networks. II. 19-32. IEEE Press, New York.
- Hecht-Nielsen, R. 1990. Neurocomputing. Addison-Wesley, New York, 433 pp.
- Hellawell, J.M. 1986. Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management. Elsevier, London. 546 pp.
- Hildrew A.G. and C.R. Townsend. 1976. The distribution of two predators and their prey in an iron rich stream. *Journal of Animal Ecology* **45**: 41-57.
- Hynes, H.B.N. and M.J. Coleman. 1968. A simple method of assessing the annual production of stream benthos. *Limnol. Oceanogr.* **13**: 569-573.
- Kim, C.S. 1991. Study on the zoobenthos and inhabited environment in estuary of Man Kyong River. *Korean Journal of Limnology*. **24**: 17-26.
- Kim, J.-H., K.-J. Cho and C.S. Kim. 1985. Energy flow of benthic community at the intertidal zone of Kum river estuary. *Korean J. Ecol.* **8**: 7-14.
- Kohonen, T. 1989. Self-organization and Associative Memory. Springer-Verlag. Berlin, 312 pp.
- Lee, D.K. 1994. Ecological study on the aquatic insect community in Nakdong Estuary. *Korean Journal of Limnology*. **27**: 109-126.
- Lee, S.K., K.C. Shim, J.Y. Kim, C.M. Kim and N.K. Chang. 1994. Pollutant loading and changes of the self-purification capacity with season in Gokneung Stream Ecosystem. *Korean Journal of Ecology*. **17**: 355-366.
- Legendre, P., S. Dallot and L. Legendre. 1985. Succession of species within a community: chronological clustering, with applications to marine and freshwater zooplankton. *Am. Nat.*, **125**: 257-288.
- Lippmann, R.P. 1987. An introduction to computing with neural nets. IEEE Acoustics, Speech and Signal Processing Magazine April: 4-22.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds. 1988. Statistical Ecology: A Primer of Methods and Computing. John Wiley and Sons, New York, 337 pp.
- Oh, Y.N. and T.S. Chon. 1991. A study on the benthic macroinvertebrates in the middle reaches of Paenae Stream, a tributary of the Nakdong River, Korea. I. Community analysis and biological assessment of water quality. *Korean Journal of Ecology*. **14**: 345-360.
- Park, J.H. and K.S. Cho. 1995. Ecological characteristics of the aquatic insect community of Pangtae Creek in Kangwon-do. *Korean Journal of Limnology*. **28**: 309-322.
- Quinn, M.A., S.E. Halbert and L. Williams III. 1991. Spatial and temporal changes in aphid (Homoptera: Aphididae) species assemblages collected with suction traps in Idaho. *J. Econ. Entomol.* **84**: 1710-1716.
- Ra, C.H., S.K. Baik, Y.G. Cho and S.O. Hwang. 1989. Aquatic insect community structure in the Posong River system and Isa Stream in Chonnam, Korea. *Korean Journal of Limnology*. **22**: 95-110.
- Ra, C.H., S.K. Baik and Y.G. Cho. 1991. Seasonal variation of aquatic insects community in main valley of Mt. Mudung, Kwangju, Korea. *Korean Journal of Limnology*. **24**: 1-10.
- Reice, S.R. 1980. The role of substratum in benthic macroinvertebrate micro-distribution and litter decomposition in a woodland stream. *Ecology* **61**: 1275-1282.

- Resh, V.H. and D.M. Rosenberg. 1984. The ecology of aquatic insects. Praeger publishers, 625 pp.
- Rosenberg, D.M. 1992. Freshwater biomonitoring and Chironomidae. Proceeding of the 11th international symposium on Chironomidae (eds.; W.J. van de Bund and M.H.S. Kraak). *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* **26** Nr 2-4: 101-121.
- Sim, H.S., K.S. Cho and J.K. Choi. 1995. The study of aquatic community in Chojong Stream. *Korean Journal of Limnology*. **28**: 199-208.
- Wasserman, P.D. 1989. Neural computing: Theory and practice. Van Nostrand Reinhold, New York, 230 pp.
- Yoon, B.J. 1998. Comparative analysis on communities of Chironomidae (Diptera) and Other Benthic Macroinvertebrates in Polluted Urban Streams of the Suyong River, South Korea, with an Application to Water Quality Assessment. Ph. D. Dissertation, Pusan National University, 257 pp.
- Yoon, B.J and T.S. Chon. 1999. Effects of pollution on communities of chironomidae (Diptera) in the Soktae Stream a tributary of the Suyong River. *Korean Journal of Limnology*. **32**: 24-34.
- Yoon, I.B., Y.J. Bae and S.D. Yeo. 1984. A study on the aquatic macroinvertebrate community structure of principal streams in Masan City. *Korean Journal of Limnology*. **17**: 35-44.
- Yoon, I.B., Y.J. Bae and A.S. Yang. 1984. A study on the aquatic insect community in the streams of Bugcheju, Cheju Island. *Korean Journal of Limnology*. **17**: 63-72.
- Yoon, I.B., K.S. Bae and Y.B. Choi. 1989. Community structure and ecological dynamics of the aquatic insect according to the micro-habitats in the Main Posung River. *Korean Journal of Limnology*. **22**: 321-335.
- Zurada, J.M. 1992. Introduction to Artificial Neural Systems. West Publishing Company. New York, 683 pp.

Appendix 1. List of sample sites for collecting macroinvertebrates in South Korea from 1984 and 1995 and the location of patterned neurons trained by the Kohonen network. Numbers in brackets indicates location in the X and Y axis respectively in the map shown in Fig. 4.

Number	River	Stream	Site	Coordinate of Neuron	Number	River	Stream	Site	Coordinate of Neuron
0	Han	Chojong	H CJ1	[5][3]	50	Han	Gonjiam	HGJ3	[2][2]
1	Han	Chojong	H CJ2	[5][3]	51	Han	Gokneung	HGNC1	[2][1]
2	Han	Chojong	H CJ3	[4][4]	52	Han	Gokneung	HGNC2	[2][0]
3	Han	Chojong	H CJ4	[4][4]	53	Han	Gokneung	HGND	[8][2]
4	Han	Chojong	H CJ5	[4][4]	54	Han	Gokneung	HGNE1	[2][1]
5	Han	Chojong	H CJ6	[4][4]	55	Han	Gokneung	HGNE2	[8][2]
6	Han	Chojong	H CJ7	[4][4]	56	Han	Gokneung	HGNM1	[4][3]
7	Somjin	Isa	SIS1	[4][4]	57	Han	Gokneung	HGNM2	[5][1]
8	Somjin	Isa	SIS2	[4][2]	58	Han	Gokneung	HGNM3	[1][0]
9	Somjin	Isa	SIS3	[4][4]	59	Han	Gokneung	HGNM4	[2][1]
10	Somjin	Posong	SPS1	[4][2]	60	Han	Gokneung	HGNW	[8][2]
11	Somjin	Posong	SPS10	[4][2]	61	Han	Jungryang	HJR1	[0][6]
12	Somjin	Posong	SPS11	[4][2]	62	Han	Jungryang	HJR2	[5][6]
13	Somjin	Posong	SPS2	[4][2]	63	Han	Jungryang	HJR3	[4][6]
14	Somjin	Posong	SPS3	[4][2]	64	Han	Kyongan	HKA1	[1][6]
15	Somjin	Posong	SPS4	[4][2]	65	Han	Kyongan	HKA2	[5][7]
16	Somjin	Posong	SPS5	[4][2]	66	Han	Kyongan	HKA3	[5][1]
17	Somjin	Posong	SPS6	[4][2]	67	Han	Kyongan	HKA4	[2][0]
18	Somjin	Posong	SPS7	[4][2]	68	Han	Kyongan	HKA5	[4][5]
19	Somjin	Posong	SPS8	[4][2]	69	Han	Pangtae	HPT1	[5][3]
20	Somjin	Posong	SPS9	[4][2]	70	Han	Pangtae	HPT2	[5][3]
21	Somjin	Posung	SC11	[4][2]	71	Han	Pangtae	HPT3	[5][3]
22	Somjin	Posung	SC12	[4][2]	72	Han	Pangtae	HPT4	[5][3]
23	Somjin	Posung	SC21	[5][2]	73	Han	Pangtae	HPT5	[5][3]
24	Somjin	Posung	SC22	[2][3]	74	Han	Pangtae	HPT6	[5][3]
25	Somjin	Posung	SC31	[2][3]	75	Han	Pangtae	HPT7	[5][3]
26	Somjin	Posung	SC32	[2][3]	76	Han	Tan	HT1	[5][6]
27	Somjin	Posung	SD1	[1][6]	77	Han	Tan	HT2	[4][0]
28	Somjin	Posung	SD2	[3][2]	78	Han	Tan	HT3	[6][7]
29	Somjin	Posung	SE1	[4][2]	79	Han	Tan	HT4	[4][0]
30	Somjin	Posung	SE2	[2][3]	80	Han	Wangsuk	HWS1	[8][2]
31	Somjin	Posung	SR1	[4][2]	81	Han	Wangsuk	HWS2	[3][5]
32	Somjin	Posung	SR2	[0][3]	82	Han	Wangsuk	HWS3	[5][7]
33	Somjin	Posung	SW1	[2][3]	83	Han	Wooyi	HWY1	[5][3]
34	Somjin	Posung	SW2	[2][3]	84	Han	Wooyi	HWY2	[4][5]
35	Han	Gokneung	GK1	[2][0]	85	Han	Wooyi	HWY3	[4][5]
36	Han	Gokneung	GK2	[3][5]	86	Han	Wooyi	HWY4	[4][5]
37	Han	Gokneung	GK3	[2][0]	87	Jaeju	Gwangryong	JG	[3][4]
38	Han	Gokneung	GK4	[2][0]	88	Jaeju	Oedo	JO	[3][3]
39	Han	Gokneung	GK5	[2][0]	89	MaSan	Hoewon	MH1	[6][3]
40	Han	Anyang	HAY1	[4][5]	90	MaSan	Hoewon	MH2	[6][3]
41	Han	Anyang	HAY2	[1][0]	91	MaSan	Hoewon	MH3	[6][0]
42	Han	Anyang	HAY3	[6][7]	92	MaSan	Hoewon	MH4	[6][0]
43	Han	Bokha	HBH1	[0][8]	93	MaSan	Kyopang	MK1	[6][3]
44	Han	Bokha	HBH2	[0][5]	94	MaSan	Kyopang	MK2	[6][0]
45	Han	Bokha	HBH3	[5][1]	95	MaSan	Kyopang	MK3	[8][5]
46	Han	Chojong	H CJ1	[4][1]	96	MaSan	Kyopang	MK4	[6][1]
47	Han	Chojong	H CJ2	[4][2]	97	MaSan	Samho	MMS1	[0][1]
48	Han	Gonjiam	HGJ1	[4][1]	98	MaSan	Samho	MMS2	[2][8]
49	Han	Gonjiam	HGJ2	[2][2]	99	MaSan	Samho	MMS3	[6][0]

Appendix 1. Continued.

Number	River	Stream	Site	Coordinate of Neuron	Number	River	Stream	Site	Coordinate of Neuron
100	MaSan	Samho	MMS4	[6][0]	113	Somjin	Tongbok	STB4	[4][2]
101	MaSan	Samho	MMS5	[8][5]	114	Somjin	Tongbok	STB5	[5][3]
102	MaSan	Samho	MMS6	[7][0]	115	Somjin	Tongbok	STB6	[5][3]
103	MaSan	Samho	MMS7	[6][1]	116	Somjin	Tongbok	STB7	[4][4]
104	MaSan	Samho	MS41	[8][5]	117	Somjin	Tongbok	STB8	[5][3]
105	MaSan	Samho	MS42	[3][6]	118	Yongsang	Kwangju	YKJSA1	[5][3]
106	MaSan	Samho	MS43	[6][3]	119	Yongsang	Kwangju	YKJSA2	[5][3]
107	Nakdong	Paenae	NP	[5][3]	120	Yongsang	Kwangju	YKJBA	[5][3]
108	Suyong	Dongchon	SDC	[6][0]	121	Yongsang	Kwangju	YKJYA	[5][3]
109	Suyong	Onchon	SOC	[8][1]	122	Yongsang	Kwangju	YKJSE1	[5][3]
110	Somjin	Tongbok	STB1	[4][4]	123	Yongsang	Kwangju	YKJSE2	[5][3]
111	Somjin	Tongbok	STB2	[4][2]	124	Yongsang	Kwangju	YKJSE3	[4][3]
112	Somjin	Tongbok	STB3	[4][4]					