

수서곤충 군집분석에 있어서 최적표본크기의 결정 - 방태천 모형

윤일병 · 배연재* · 노태호 · 이성진 · 박재홍
고려대학교 생물학과, 서울여자대학교 생물학과*

Determination on the Optimal Sample Size in the Aquatic Insect Community Analysis - Pangtae Creek Model

Yoon, Il Byong, Yeon Jae Bae*, Tae Ho Ro, Sung Jin Lee and Jae Heung Park

Department of Biology, Korea University, Seoul 136-701, Korea

*Department of Biology, Seoul Women's University, Seoul 139-774, Korea

ABSTRACT

A model study was conducted to determine the optimal sample size for the analysis of the aquatic insect community in a stream reach of the Pangtae Creek, Kangwon-do in October 1995 and May 1996. The results showed that the required minimum sample size varied and depended on the purposes of the community analysis. According to the Species:Area Curve method, at least 16 Surber samplings (30×30 cm) were required in a stream reach in each spring and fall survey. The species diversity index did not vary significantly as the sample size increased. Based on the coefficient of variation analysis, the minimum sample sizes of 10 were required in order to compare seasonal differences of the community in the study area. Considering the static community structure of aquatic insects, including both species numbers and individual numbers of aquatic insects, 11 and 7 samplings were optimal sizes for the fall and spring survey, respectively. We concluded that 12 Surber samplings from 3 riffle-pool sequences (4 samplings at each riffle-pool sequence) would be required in a stream reach (length 1 km) to obtain reliable as well as cost efficient data. Our model showed that the optimal sample size should be determined by interactions between minimum sample size, the degree of data reliability, and cost efficiency.

Key words: Aquatic insects, Community analysis, Minimum sample size, Data reliability, Cost efficiency, Optimal sample size.

서 론

종의 다양성에 대한 인식과 해석은 군집생태학의 중심적인 부분으로 받아들여지고 있으며, 개체수에 대한 연구는 현대 개체군 및 군집 생태학의 시발점으로 여겨진다 (Bagon *et al.* 1986). 군집의 정적인 구조와 동적인 기능을 밝히는 데 요구되는 정량적인 채집방법은

그 과정이나 기법에 있어서 객관성과 투명성이 보장되어야 한다. 그리고 채집과정에 대한 설계를 하기 위해서는 도구의 선정 및 적합성, 채집자의 숙련 정도, 표본 추출 방식 그리고 표본의 크기 등이 고려되어야 한다 (Pielou 1974, Southwood 1978).

담수생태학 연구에 있어서 채집과정이 모두 효율적인 것은 아니며, 때로는 비용과 시간이 많이 소모되는 과정을 통해 얻어진 결과들이 아무런 예측능력 또는 객관성

*본 연구의 야외조사는 1995. 9~1996. 8 동안 한국자연보존협회의 점봉산 일대 자연자원 종합학술조사에 의한 지원으로 수행되었음.

이 없는 대략적인 특정값으로만 파악되는 경우를 볼 수 있다. 특히 채집 횟수 및 표본의 크기에 따른 오류가 생태적인 분석에 있어 가장 중요한 요인으로 작용할 수 있다 (Morin 1997).

일반적으로 표본의 크기가 커질수록 더욱 결과를 해석하는데에 용이할 것으로 생각 할 수 있겠으나, 실질적으로 필요 이상의 표본을 채집하는 것은 시간과 비용의 낭비를 초래한다 (Brewer and McCann 1982). Brewer and McCann (1982)은 Species : Area Curve를 이용하여 표본크기와 누적되는 종수를 비교하여 이를 최소의 표본크기 결정을 위한 도구로서 제시하였다. 군집 수준에서 표본면적과 표본추출과정이 종다양성에 미치는 영향에 대한 연구가 하천생태계에서 최근 보고된 바 있으나 (Vinson and Hawkins 1996), 지금까지 표본크기와 이에 대한 영향을 규명하는 연구는 대부분 개체군 수준에서 많이 진행되어 왔다 (Resh 1979). 특히 하천 생태계에서의 연구는 채집도구와 물리적 환경의 영향을 다룬 보고들이 주를 이루고 있다 (e.g. Elliott 1977, Kroger 1972, Mason 1976, Resh 1979). 우리나라의 경우 아직까지 유수생태계에서 이러한 연구가 이루어지지 않았으며, 과거 일본과 구미에서 사용되어 오던 전통적인 채집기구와 방법을 답습하여 왔을 뿐 국내 유수생태계에서의 수서곤충 군집 분석에 요구되어지는 최소표본크기 또는 적정표본크기에 대한 모형이 연구되지 않았다 (배 1996).

유수생태계의 군집은 계절적·미소환경적 차이와 서식처의 균질성 여부에 따라 출현종수와 개체수가 다른 분포양상을 보인다. 그러나 대부분의 야외조사에서는 이러한 점들을 충분히 고려하지 않고 획일적인 표본크기 및 채집횟수를 활용함으로써 객관적인 결과의 획득에 어려움이 있다. 따라서 유수생태계의 정량적 채집은 보다 과학적인 분석방법을 통해 보완·발전되어야 한다. 채집방법의 선택은 연구자의 축적된 경험과 지식에 의해 주관적으로 결정되지만, 그 결과에 대한 신뢰성은 객관적인 접근방법에 의해서만 보장되므로 이에 대한 보다 구체적이고 실질적인 연구가 매우 시급하다. 이러한 의미에서 채집횟수 및 그에 따른 표본크기의 결정을 위한 분석적 모델의 개발 및 제시는 그 의미가 매우 크다 하겠다.

본 연구는 강원도에 위치한 남한의 대표적인 청정수계인 방태천을 모형으로 표본크기에 따른 출현종수와 다양도지수의 변화 그리고 출현종수와 개체수 변화간 상관관계를 파악하고, 이를 근거로 각 조사자료를 잘 설

명할 수 있는 최소 표본크기를 산출하였다. 또한 계절적 차이를 보이는 출현종수에 대한 변이계수 (coefficient of variation)를 산출함으로써 군집의 계절적 변동을 비교하는데 요구되어지는 최소 표본크기를 제시하며, 자료의 신뢰성과 비용 (소요시간 및 노동력)의 변화율에 따른 최적 표본크기의 결정을 위한 모형을 도출하였다.

방 법

조사지역

방태천은 강원도 인제군에 위치한 점봉산 (1,424.4m)에서 발원하여 기린면 진동리를 지나며 남서쪽으로 흘러 인제군 현리에서 내린천으로 유입되는 총유로 연장 약 35 km의 하천이다. 이 일대의 삼림은 인간의 간섭을 거의 받지 않은 자연림을 이루고 있으며, 하천의 전구간에 걸쳐서 청정한 수질과 다량의 열목어가 서식하는 곳으로 잘 알려져 있다 (한국자연보존협회 1995). 조사는 하천의 공간적 구역체계 (Allan 1995)에 따라, 방태천 분류중 방동초등교 진동분교에서 쇠나드리까지 상류에서 하류 방향으로 약 5 km 구간의 전 조사구역 (stream section)을 약 1 km에 해당하는 5개 하천구역 (stream reach)으로 나누어 실시하였으며, 각 조사지점은 물리적 특성 (유속 및 저질의 조성)이 유사한 곳으로 방태천의 전반적인 환경 상태를 잘 대변할 수 있는 곳을 선정하였다.

채집 및 분석

야외조사는 1차 조사를 1995년 9월 29일~10월 1일 (가을)에, 2차 조사를 1996년 5월 16일~5월 18일 (봄)에 실시하였다. 채집은 한 하천구역 (stream reach)에서 야외조사 경험이 풍부한 2인이 한 지점 (riffle-pool sequence)을 선정하고 Surber sampler (30×30 cm, 망목 0.2 mm)로 유속이 빠른 곳 (riffle)과 느린 곳 (pool)에서 각각 2회씩 총 4회 정량채집을 실시하여 이를 전 조사구역의 5지점에서 반복수행 (5 replicates) 하였다. 따라서 전체적으로 20회의 Surber sampling을 실시한 것이다. 이는 지금까지 우리나라에서 실시하여온 전통적인 수서곤충 채집방법을 고려한 것이며, 이 방법에 대한 적합성도 아울러 검증하여 보고자 하였다. 모든 채집물은 플라스틱병 (높이 14 cm, 지름 8 cm)에 담은 후 Kalhe's 용액으로 고정하여 실험실로 가져 왔으며, 3~5일

후 수서곤충을 골라서 80% ethanol에 보존하였다. 종의 동정은 McCafferty (1981), Kawai (1985), Merrit and Cummins (1996), 윤 (1988, 1995) 등을 참고하였다. 특히 Chironomidae의 경우 채장, 채색, 구기형태, 촉각형태, 강모형태 등의 특징을 고려하여 분류하였다 (Wiederholm, 1983).

실험실에서 분리·동정된 모든 표본은 종별로 개체수를 기록하였다. 본 연구결과에서 제시되는 종수와 개체수는 수치의 변환없이 Surber sampler 면적당 (30×30 cm) 나타난 본래의 값을 의미한다. 모든 통계적 처리와 회귀분석은 SAS (SAS Institute Inc. 1989)를 이용하였으며, Species:Area Curve 분석은 Brewer and McCann (1982)의 분석방법에 따라 실시하였다. 종다양도 지수는 Margalef (1958)의 정보이론에 의하여 유도된 Shannon-Weaver function (H')을 Lloyd와 Ghelardi가 변형시킨 공식 (Pielou 1966)을 사용하였다.

$$H' = -\sum[(n_i/N) \cdot \log_2(n_i/N)]$$

(n_i : i 종의 개체수, N : 총개체수)

출현종수에 대한 변이계수 (Coefficient of variation; C.V.)는 Resh (1979)의 방법에 따라 계산하였다.

$$C. V. = s (100/x)$$

(s : standard deviation of the sample, x : mean)

결과 및 고찰

종수와 최소표본크기

본 연구를 통하여 채집된 종수는 총 90종으로 1차 조사에서 72종, 2차 조사에서 61종이 출현하여 가을에 실시된 1차 조사에서 11종이 더 많이 출현하였다 (Table 1). 1차 조사에서 나타난 결과를 볼 때, 표본크기가 증가함에 따라 새로 추가되는 종은 점점 감소하는 것으로 나타났다 (Fig. 1a). 또한 각 표본크기에 따른 종수의 변이 역시 표본크기가 커질수록 감소하여 결국에는 변이의 범위가 자료의 평균값에 대해 매우 적은 오차를 보이는 경향을 나타냈다. 각 자료들의 분포는 $y=15.20+5.75x-0.15x^2$ 으로 회귀분석 모형이 표본크기와 종수의 상관관계를 비선형으로 잘 설명하는 것으로 나타났다 ($R^2=0.997$). 이 회귀모형을 이용하여 표본크기의 변화에 대한 종수 누적치의 변화를 기울기 (Δ species no./ Δ

sample size)로 표시할 수 있는데, 표본크기가 작을 때에는 기울기가 급경사를 이루고 표본크기가 커짐에 따라 점점 경사가 완만해지는 경향을 나타냈다. 그리고 최종적으로 기울기가 0에 가깝게 유지되는 것으로 분석되었다 (Fig. 1a). 2차 조사의 결과에서도 표본크기가 증가함에 따라 새로 추가되는 종이 점점 감소하는 것은 1차 조사 결과와 유사하였다 (Fig. 1b). 그리고 각 표본크기에 따른 종수의 변이 역시 표본크기가 커질수록 감소하였다. 각 자료들의 분포를 2차 곡선회귀모형으로 분석하면 $y=14.80+4.67x-0.12x^2$ 이었으며 회귀분석 모형은 관측된 자료값과 잘 일치하였다 ($R^2=0.983$). 표본크기의 증가율에 대한 종수의 누적증가율은 표본의 크기가 증가함에 따라 그 변화율이 감소하는 경향을 나타냈다 (Fig. 1b).

종수를 고려한 표본크기의 적합성을 논할 때 Species:Area Curve를 이용한다 (Brewer and McCann 1982). 이 방법은 주로 군집을 설명하기에 충분한 수의 종을 획득하기 위한 표본의 크기를 결정하는 데에 이용된다. Species:Area Curve를 이용하면 주어진 표본크기의 백분증가율에 대해 종수의 백분증가율이 동일한 시점의 표본크기를 결정할 수 있는데, 이때의 표본크기가 그 군집을 설명하는데 요구되는 최소표본크기로 이용된다. Brewer and McCann (1982)에 설명된 방법에 따라 표본크기가 1% 증가할 때 종수 증가율도 1%가 되는 표본크기를 구하면, 1차 조사에서는 15.75 그리고 2차 조사에서는 15.22로 나타났다 (Fig. 1). 본 연구의 경우, 표본추출 단위는 1회의 Surber sampler에 의한 채집이므로 실제적으로 적합한 표본크기는 1, 2차 조사 모두 16회인 것으로 나타났다.

정량적 방법에 기초한 군집구조의 연구에 있어서 적합한 표본의 크기는 연구목적에 따라 유연성을 가진다. 따라서 최소로 요구되어지는 표본크기는 여러가지 조건을 고려하여 결정되어야 한다. 예를 들어 Species:Area Curve 방법은 군집을 이루는 구성원 종류 및 종수만을 파악하고자 하는 연구의 최소표본크기 결정방법으로 적합하다. 그러나 각종의 개체수가 함께 고려되어야만 하는 군집의 기능을 파악하고자 하는 연구에는 적합하지 않는 것으로 생각된다. 이러한 관점에서 볼 때, 군집분석의 목적에 따라 적절한 최소표본크기를 산출하기 위해서는 표본크기에 따른 개체수의 변화 및 종수의 변화 그리고 이들간의 상관관계를 규명할 필요가 있다.

Table 1. Species list of aquatic insects in the Pangtae Creek during the study period

Species name	Oct. 1995	May 1996
<i>Ameletus montanus</i>	○	⊙
<i>Baetiella japonica</i>	○	⊙
<i>Baetiella tuberculata</i>	○	⊙
<i>Baetis thermicus</i>	○	⊙
<i>Baetis fuscatus</i>	○	⊙
<i>Baetis</i> sp. 1	○	⊙
<i>Baetis</i> sp. 2	○	⊙
<i>Baetis</i> sp. 3		⊙
<i>Baetis</i> sp. 4	○	⊙
<i>Ephemera separigata</i>	○	⊙
<i>Ephemera strigata</i>	○	⊙
<i>Cincticostella castanea</i>	○	⊙
<i>Cincticostella tshernovae</i>	○	⊙
<i>Drunella aculea</i>	○	⊙
<i>Drunella cryptomeria</i>	○	
<i>Drunella lepnevae</i>	○	⊙
<i>Drunella triacantha</i>		⊙
<i>Ephemerella keijoensis</i>		⊙
<i>Ephemerella notofascia</i>		⊙
<i>Serratella setigera</i>	○	
<i>Uracanthella rufa</i>		⊙
<i>Cinygmula</i> KUa		⊙
<i>Ecdyonurus bajkovae</i>	○	⊙
<i>Ecdyonurus dracon</i>	○	⊙
<i>Ecdyonurus kibunensis</i>	○	⊙
<i>Iron aesculus</i>	○	⊙
<i>Epeorus curvatulus</i>	○	
<i>Epeorus latifolium</i>	○	⊙
<i>Heptagenia kihada</i>		⊙
<i>Rhithrogena na</i>	○	⊙
<i>Paraleptophlebia chocolata</i>	○	⊙
<i>Anisogomphus maacki</i>	○	
<i>Davidius lunatus</i>	○	⊙
<i>Sweltsa nikkoensis</i>	○	⊙
<i>Sweltsa</i> KUa	○	
Chloroperlidae sp.	○	
<i>Amphinemoura</i> KUa	○	
<i>Nemoura</i> KUb	○	
<i>Nemoura</i> sp.	○	
<i>Kamimuria</i> KUa		⊙
<i>Neoperla quadrata</i>	○	
<i>Paragnetina flavotincta</i>	○	
<i>Archynopteryx</i> KUa	○	
<i>Isoperla</i> KUa		⊙
<i>Megarcys ochracea</i>	○	
<i>Stavsolus</i> KUa		⊙
<i>Taenionema</i> KUa		⊙
<i>Stenelmis</i> sp.	○	
Elmidae sp.		⊙
Scirtidae sp.	○	⊙
Arcticidae sp.		○
Ceratopogoniidae sp.		○ ⊙
Chironomidae sp. 1		○ ⊙
Chironomidae sp. 2		○ ⊙
Chironomidae sp. 3		○ ⊙
Chironomidae sp. 4		○ ⊙
Chironomidae sp. 5		○
Chironomidae sp. 7		○ ⊙
Chironomidae sp. 8		○ ⊙
Chironomidae sp. 9		○ ⊙
<i>Dixa</i> sp.		○
Simuliidae sp.		○ ⊙
<i>Antocha</i> KUa		○ ⊙
<i>Antocha</i> sp.		○ ⊙
<i>Dicranota</i> KUa		○ ⊙
<i>Hexatoma</i> KUC		○ ⊙
Limnioninae sp.		○
Tipulidae sp.		○
<i>Arctopsyche ladogenis</i>		○
<i>Cheumatopsyche</i> KUb		○ ⊙
<i>Hydropsyche</i> KUa		○ ⊙
<i>Hydropsyche</i> KUb		○ ⊙
<i>Hydropsyche</i> KUC		○ ⊙
<i>Hydropsyche</i> KUE		○ ⊙
<i>Glossosoma</i> KUa		○ ⊙
<i>Goera japonica</i>		○ ⊙
<i>Hydatophylax nigrovittatus</i>		○
<i>Neophylax ussuriensis</i>		○
<i>Psilotreta kisoensis</i>		○ ⊙
<i>Stenopsyche bergeri</i>		○ ⊙
<i>Stenopsyche griseipennis</i>		○
<i>Apsilochorema</i> KUa		○
<i>Rhyacophila articulata</i>		○
<i>Rhyacophila clemens</i>		○
<i>Rhyacophila nigrocephala</i>		○ ⊙
<i>Rhyacophila retracta</i>		○
<i>Rhyacophila shikotsuensis</i>		○ ⊙
<i>Rhyacophila sibirica</i>		○ ⊙
<i>Rhyacophila</i> KUa		○
<i>Rhyacophila</i> KUb		○
Number of species		72 61
Total number of species		90

종수와 개체수간 상관관계

본 연구의 결과로서 나타난 각 표본크기에 있어서의 출현종수 및 개체수 그리고 각각의 변이는 Fig. 2에 나타났다. 1차 조사시 나타난 표본크기별 평균종수는 35~70의 범위였고, 개체수의 경우는 표본크기별 평균값은 478~3813의 범위였다. 2차 조사의 경우 평균종수

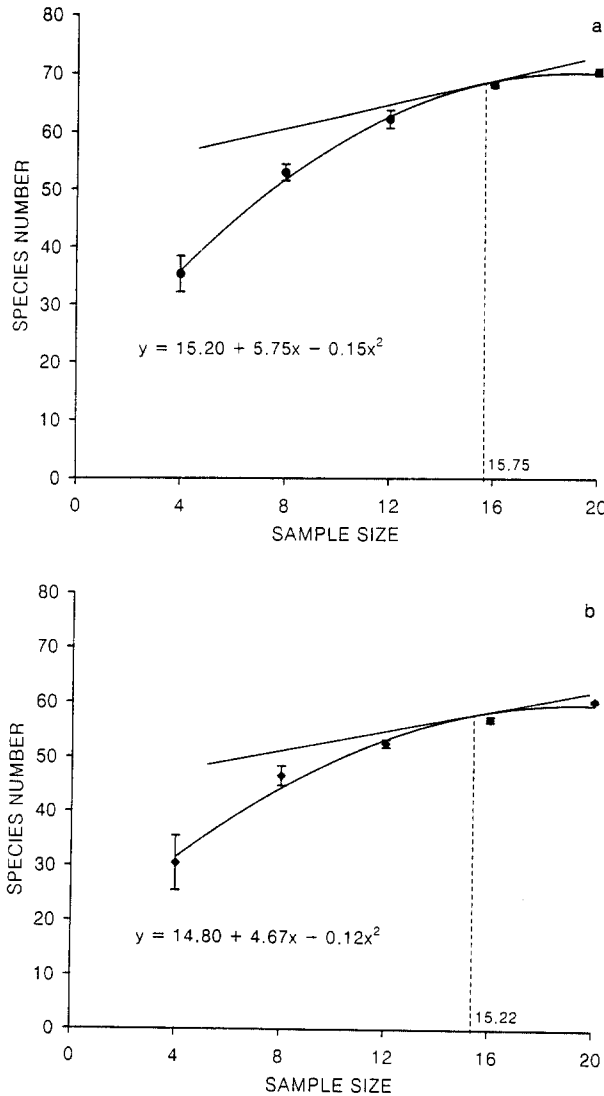


Fig. 1. The relationship between the number of species and the sample size in (a) Oct. 1995, and (b) May 1996. Species:Area Curve - the linear line indicates that a 1% increase in sample size adds as much as 1% to the species list.

는 31~61의 범위였고, 평균개체수는 228~1976의 범위였다. 두 조사시기에 나타난 결과 모두에서 출현종수는 표본의 크기가 적을 때에는 급격히 증가하다가 그 증가량이 점차 감소하여 한정적으로 최대값을 갖는 경향을 보이는 반면에, 개체수는 표본크기가 증가함에 따라 증가량도 커지거나 (1차 조사) 증가량이 일정한 (2차 조사) 추세를 보였다 (Fig. 2). 이는 곧 생물군이 존재하는 한 표본크기가 무한히 증가하면 개체수 역시

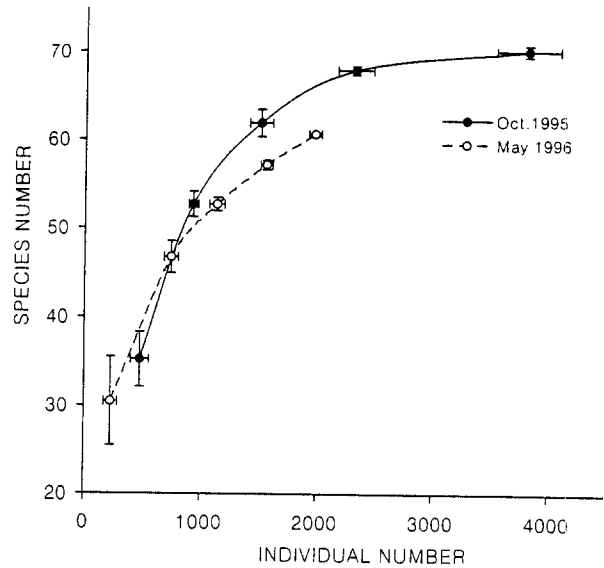


Fig. 2. The relationship between the individual abundance and the number of species in the aquatic insect community sampled from the Pangtae Creek.

무한히 증가한다는 것을 의미한다. Vinson and Hawkins (1996)는 채집면적이 증가할수록 ① 종수는 개체수가 일정할 경우 증가하는 경향을 나타내고, ② 개체수는 종수가 일정할 경우에 감소한다는 결과를 제시하였다. 이러한 결과는 본 연구의 결과와도 부합한다. 종수의 경우, 자료값에 대한 변이는 표본크기가 적을 때에는 크고 표본크기가 증가할수록 감소하는 추세를 보이는 반면에 개체수의 경우에는 표본크기가 증가할수록 증가하거나 그 증가폭이 일정하게 유지되는 추세를 보였다. 이는 표본의 크기가 커짐에 따라 종수는 변이의 폭이 매우 작은 한정적인 값에 이르며, 표본채집의 횟수가 증가되더라도 종수가 증가할 가능성이 매우 적다는 것을 나타낸다. 그러나 개체수는 1, 2차 조사 모두에서 표본크기가 커질수록 불안정하게 변동하거나 변이 폭이 일정하게 유지되는 경향을 보였다. 1차 조사의 경우에는 표본크기의 증가에 따라 개체수가 큰 폭으로 증가하며 변이 역시 증가하는 양상을 보였지만 2차 조사의 경우에는 표본크기의 일정증가에 따라 개체수의 증가 및 변이도 거의 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 각 조사시기의 계절적 요인에 기인하는 것으로 생각된다. 가을에 수행된 1차 조사에서 방태천의 수서곤충군집은 이미 개체군 구성원의 수적 회복이 상당히 진행된 안정적 상태인데 반해, 이듬해

봄에 수행된 2차 조사의 경우에는 많은 종류의 수서곤충류가 이미 우화 및 산란활동을 왕성히 시작하였으므로 군집내의 각 개체군에서 수적 변동이 매우 심하였다. 이는 곧 계절에 따른 출현종수의 변동을 의미한다 하겠다. 박과 조 (1995)는 방태천 전수역의 7개 지점에서 2년에 걸쳐 동절기를 제외한 계절적 비교를 위해 총 6회의 조사를 실시하여 총 151종의 수서곤충류의 분포를 보고한 바있다. 이는 봄과 가을에 각 1회씩 조사된 본 연구 (총 90종)의 결과에 비해 월등히 많으나, 각 조사기간별 출현한 종수는 10~37종 (6월)에서 29~58종 (9월)으로 본 연구의 결과 [61종 (5월)과 72종 (10월), Table 1]에 비해 현저히 적은 종수를 보이고 있다. 그러나 계절에 따른 종수의 차이는 박과 조 (1995)의 보고와 일치하였다. 이러한 계절적인 요인의 작용에 따른 종수 및 개체수 현존량의 변동을 고려한다면, 각 조사시기에 따라서도 표본의 크기는 달라져야 할 것으로 생각되며, 이러한 점을 고려하지 않고 무한정 표본크기를 크게 한다면 채집에 소요되는 시간, 인적 자원 등의 비용에서 많은 낭비를 가져올 가능성이 있다.

표본크기와 다양도지수

군집분석에 많이 이용되는 군집지수의 가장 좋은 예로서 다양도지수 (H')를 들 수 있다. 다양도지수는 각 종의 개체수 현존량에 의해 그 값이 달라지므로 Fig. 2에서 보여진 표본크기 증가에 따른 개체수 증가에 대한 영향을 파악하기 위해서는 표본크기가 다양도지수에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보면 된다. 본 연구에서 나타난 각각의 표본크기에 있어서 평균 다양도지수는 1차 조사의 경우에는 3.92~4.14, 2차 조사의 경우에는 3.27~3.35이었으며 각 평균값에 대한 변이폭은 표본크기가 작을수록 큰 것으로 나타났다 (Fig. 3). 즉 다양도지수는 작은 표본크기 (1~3회)에서는 증가하다가 일정한 표본크기 (4회) 이상에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 1, 2차 조사 모두에서 표본크기의 변화에 따른 다양도지수의 변화는 매우 작았으며, 궁극적으로는 다소 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 3). 이러한 감소양상은 표본크기가 커짐에 따른 특정종 (가을: *Baetis fuscatus*, *Cincticostella tshernovae*, *Simuliidae* sp.; 봄: *Baetis fuscatus*, *Paraleptophlebia chocolata*, *Chironomidae* sp. 3)들의 개체수가 폭발적인 증가를 보인 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 그러나 비록 표본크기가 증가함에 따라 개체수가 증가하여 (Fig. 2) 다양도지수에 약간의 변화를 일

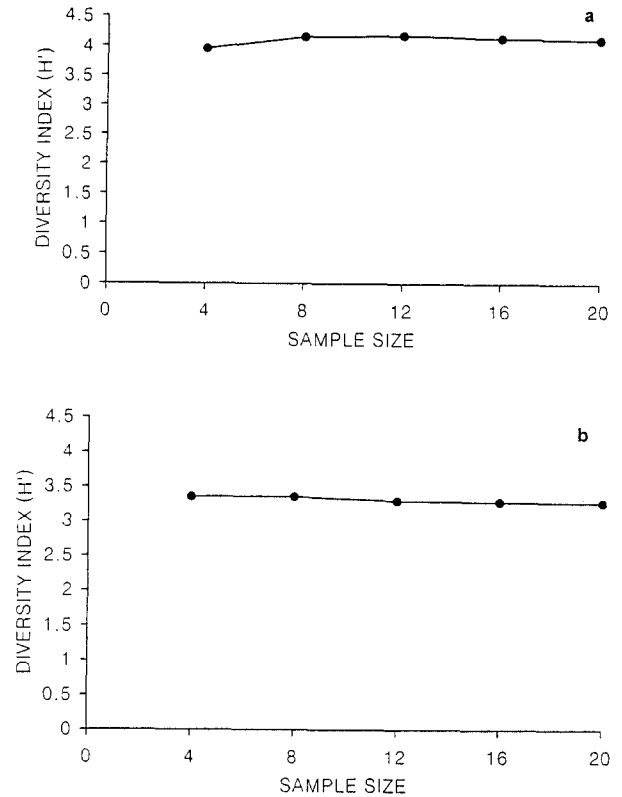


Fig. 3. The mean values and standard deviations of the species diversity index (H') for the sample size in (a) Oct. 1995, and (b) May 1996.

으키는 하였지만 그 변화는 매우 작고 거의 일정한 수준을 유지하며 선형을 이루고 있다 (Fig. 3). 따라서 방태천의 경우에는 표본크기가 증가하여도 각 종의 출현개체수는 비교적 일정한 비율로 나타나며, 개체수의 증가가 다양도지수에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 일정수준 이상의 표본크기에 대해 다양도지수가 독립적이라는 것을 보여주며, 이는 곧 지나친 표본크기 증가에 따른 개체수의 증가는 군집의 특성을 비교·분석하는데에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 설명한다. 이러한 의미에서 판단할 때 표본크기의 결정에 있어 개체수보다는 종수가 주요한 요인으로서 고려되어야 할 것으로 생각되나, Brewer and McCann (1982)의 방법에 의해 산출된 16회의 표본크기는 과다한 것으로 판단된다. 왜냐하면 표본채집에 드는 비용과 효율적인 면을 고려할 때 개체수는 최적표본크기를 도출하는데에 상당한 영향을 미치므로 이를 전혀 배제하여서는 안되기 때문이다.

시기별 군집비교와 최소표본크기

지금까지는 따로 독립된 두 조사에서의 군집특성을 연구하기 위한 표본크기의 결정에 영향을 미치는 요인에 대하여 고찰하였다. 그렇다면 시·공간적으로 서로 연관이 있는 조사를 수행함에 있어서 자료값의 신뢰성 및 비용을 고려하여 최소로 요구되는 최적의 표본크기는 어떻게 산출될 수 있는가? 문제에 답하기 위해서는 각 조사에서 얻어진 자료들의 종수에 대한 변이계수 (coefficient of variation) (Resh 1979)를 살펴보아야만 할 것이다. Fig. 4는 표본크기의 증가에 따른 종수의 변이계수를 나타낸 것이다. 각 표본크기에 따른 변이계수를 역지수함수로 도식화하면 1차 조사의 경우 $y=135.52x^{-1.48}$ 이었고 2차 조사의 경우 $y=835.71x^{-2.28}$ 로 나타났다. 이들 각 함수의 결정계수 (R^2)는 1차 조사와 2차 조사 각각 0.986과 0.910으로 실제값과 높은 일치성을 나타내었다.

1, 2차 조사 모두에서 표본의 크기가 증가함에 따라 각 표본에 따른 종수의 변이계수차는 점차 줄어드는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 1차 조사와 2차 조사간의 변이계수의 차를 보면 표본크기가 작을 때에는 서로간에 큰 차이를 보였지만 표본의 크기가 커질수록 이들간의 차가 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 감소의 추세는 이들이 동일한 변이계수를 가질 때까지 계속되었으며, 이후에는 변이계수차가 약간 증가하다가 결국에서 서로 거의 평행에 가깝게 변이계수차를 유지하였다 (Fig. 4). 따라서 만약 채집에 적합한 표본크기가 두 변이계수 곡선이 교차하는 점의 표본크기 (약 10회)보다 작다면 각 조사의 출현종수 평균에 대한 변이도가 상당히 크고, 또한 두 조사간의 변이계수차도 크기 때문에 두 조사간의 의미있는 비교가 어려울 뿐만 아니라 각 조사에 대한 신뢰도 역시 떨어진다. 이와 반대로 교차점의 표본크기보다 많은 표본의 채집을 수행하였다면 변이계수가 5% 미만으로 매우 낮아지므로 두 조사간의 비교와 각 조사의 채집결과는 매우 높은 신뢰도를 갖는다. 그러나 이 경우에는 필요이상의 비용을 낭비할 가능성도 내포하고 있다. 따라서 채집시기가 다른 두 개 이상의 자료를 이용하여 결과를 서로 비교하기 위해서는 종수에 대한 신뢰도와 비용을 고려할 때 변이계수가 동일하거나 최소한일 때의 표본크기에서 비교·분석하여야 할 것으로 생각된다.

Fig. 1에 나타난 결과와 이를 이용한 방태천에서의

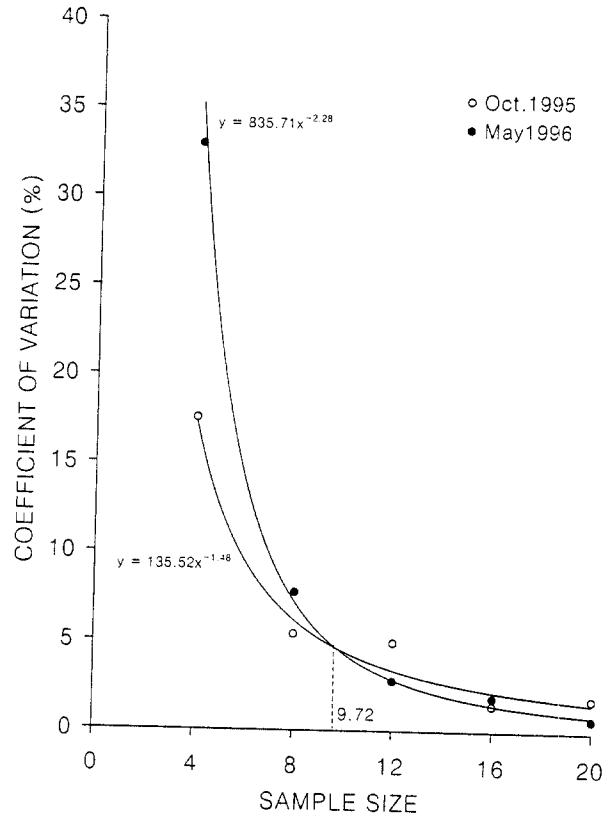


Fig. 4. Coefficient of variation (C.V. = $s(100/x)$; where x is the mean and s is the standard deviation of the number of species in the Pangtae Creek, as a function of sample size.

충분한 종수를 확보하기 위한 최소 표본크기 16에서의 변이계수의 값은 1차 조사와 2차 조사에 있어 각각 다른 것으로 나타났다 (Fig. 4). 그러나 표본크기 16의 변이계수값은 두 곡선이 교차하는 변이계수값 (5%) 미만이고 두 조사간의 변이계수차도 매우 작기 때문에 방태천에서 수행된 두 조사를 비교함에 무리가 없을 것으로 사료된다. 그러나 표본크기 16회는 두 조사의 변이계수 곡선의 교차점의 표본크기 10회보다 큰 값이다. 따라서 표본크기 10회에서의 다양도지수는 16회에서의 다양도지수와 비교할 때 큰 차이가 없다는 점 (Fig. 3)과, 그리고 비용과 효율성을 고려한다면 오히려 표본크기 10회가 더욱 적절한 것으로 생각된다.

정적(static) 군집분석을 위한 최적표본크기

Fig. 5는 각 조사시기에 있어 총 종수 및 총 개체

수에 대한 표본크기의 증가에 따른 종수와 개체수의 누적량 변화율을 보여준다. 1차 조사에서 종수 누적량의 변화율을 보면 표본크기가 작을 때에는 누적량이 매우 높지만 표본크기가 증가함에 따라 누적량의 변화율이 감소하고 개체수 누적량의 변화율은 이와 반대로 표본의 크기가 증가함에 따라 증가하였으며, 표본크기가 약 11인 지점에서 서로 교차하였다 (Fig. 5a). 2차 조사에서 종수 누적량의 변화율은 1차 조사와 같이 표본크기가 작을 때에는 누적량이 매우 많지만 표본크기가 증가함에 따라 역지수함수적으로 누적량의 변화율이 감소하는 양상을 보였다. 그러나 개체수 누적량의 변화율은 일정한 비율을 보였으며, 표본크기가 약 7인 지점에서 서로 교차하였다 (Fig. 5b).

Fig. 5a와 5b에서 보여지듯이 종수 누적량의 변화율 곡선과 개체수 누적량의 변화율 곡선이 만나는 교차점 (O)을 기준으로 왼쪽의 R 지역은 종수의 변화율이 매우 높은 곳으로 표본크기가 분석에 충분한 종수를 포함하지 못해 자료의 신뢰도가 낮은 경우를 나타낸다. 또한 C 지역은 종수의 변화율에 비해 개체수의 변화율이 매우 높기 때문에 이러한 표본크기는 효율적인 면에서 부적당하며 시간과 노동력의 과다지출이 이루어진다. 이러한 점을 고려하여 볼 때 교차점 (O)이 가장 적절한 표본크기로 결정되어진다. 따라서 본 연구의 조사를 근거로 방태천에서의 조사시기에 따른 표본의 크기는 가을에는 11회, 봄에는 7회 정도가 적절한 것으로 생각된다.

최적표본크기의 결정 - 방태천 모형

위의 일련의 분석결과에서 각각의 군집분석 목적에 따라 적정 표본크기가 다소 다르게 나타났다. 그러나 먼저 종수만을 고려하여 산출된 표본크기 16회는 군집연구의 또다른 주요관심인 개체수를 전혀 고려하지 않았으므로 완전한 것으로 보기는 어렵다. 반면에 총 종수 및 총 개체수에 대한 표본크기의 증가에 따른 종수 및 개체수 누적 변화율로서 산출된 최적표본크기는 각 계절적인 요인, 효율적인 면, 그리고 분석에 충분한 종수의 확보라는 측면을 모두 고려하였다는 점에서 매우 유용할 것으로 사료된다. 그러나 종수 및 개체수 누적 변화율로서 산출된 최적표본크기는 각 조사시기의 분석에는 매우 효율적인 표본크기이지만 2차조사시기의 최적 표본크기가 약 7회로서 (Fig. 5b), 변이계수 곡선모형에서 제시한 표본크기 10회를 (Fig. 4) 충족시키지 못하므로 조사시기간의 군집비교에는 부적합할 수 있다. 따라

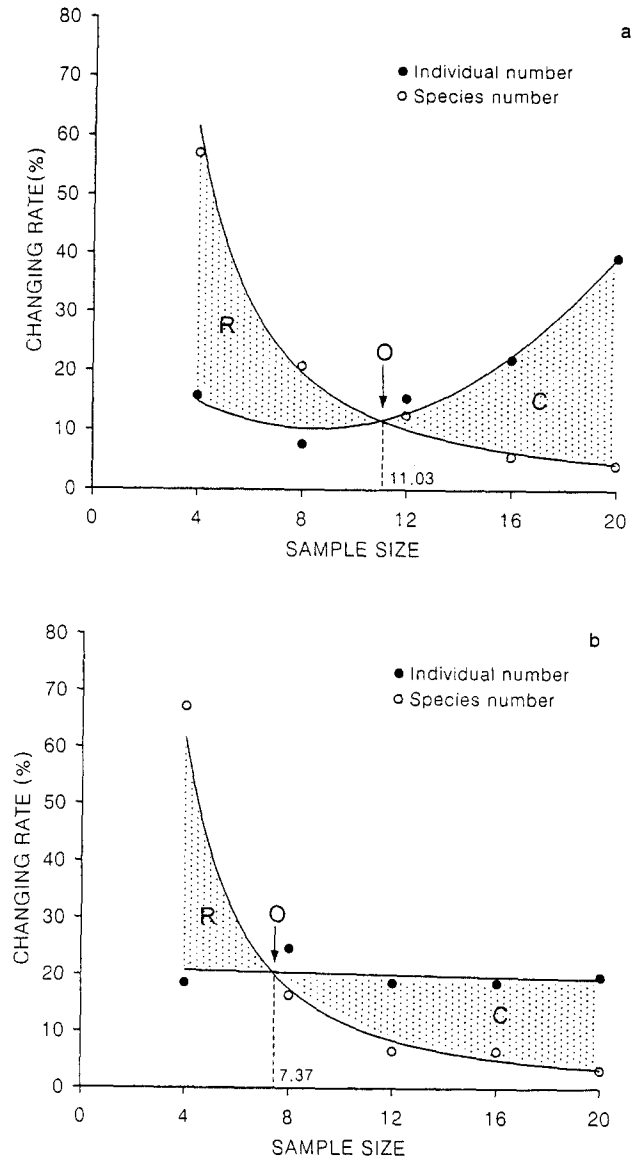


Fig. 5. The changing rates (%) of the cumulative species number and the individual number (i.e. species or individual no's newly collected at each sample/total species or individual no's) to the sample size in (a) Oct. 1995, and (b) May 1996. O indicates the optimal sample size. R and C represent the area of the insufficient sample sizes which affect the reliability of data, and the cost expensive sample sizes, respectively.

서 이러한 점을 모두 고려해 볼 때, 방태천에서 가을과 봄에 조사를 수행하여 그 결과를 비교·분석코자 한다

면 각각 표본크기 11회 정도의 조사가 요구된다 하겠다. 본 연구의 조사에서는 4회의 채집을 반복해서 수행하였으므로 표본크기 11회를 포함하는 3회의 반복 즉, 총 12회의 채집이 최적표본크기로 판단된다. 따라서 군집수준의 조사에 신뢰도를 충족시켜 주고 비용면에서도 경제적인 표본의 크기는 12이며, 만약 시·공간적으로 군집을 비교·분석하려면 약 1 km에 해당하는 한 하천구역 (stream reach)에서 최소한 3개의 지점 (riffle-pool sequence)을 조사하여야 할 것이다.

Resh (1979)는 변이계수 및 일련의 분석을 통한 생산력 연구에서 충분한 개체수를 확보하기 위해서는 그 연구대상이 과상형 (clumped) 분포를 보이는 종류일 경우 비과상적 또는 균일적으로 분포하는 종류를 대상으로 할 때에 필요한 표본크기보다 더 큰 표본크기가 필요하다고 주장하였다. 이는 곧 개체군 수준에서의 연구에서 적정표본크기를 결정하는 데에는 각 종의 분포 특성을 고려하여야 한다는 것이다. 이러한 점을 군집수준에서의 연구에 응용한다면 서식처의 특성에 따라 표본의 크기를 달리해야 한다는 것으로 표현할 수 있을 것이다. 만약 조사지역의 서식처가 균일하다면 이곳에서 요구되는 적정표본크기는 균일하지 않은 지역에서의 적정표본크기보다 감소할 것이기 때문이다. 이러한 점을 감안하여 적정표본크기를 산출하기 위해서는 예비조사가 필수적이다. 따라서 군집분석을 위한 표본채집의 결과가 최소한의 객관성을 확보하기 위해서는 ① 서식처 유형의 파악, ② 예비조사를 통한 적정표본크기에 대한 분석, ③ 적합한 채집도구와 표본추출방식의 선택, 그리고 ④ 얻어진 결과들에 대한 신뢰성 높은 해석이 요구된다.

본 연구의 결과로 도출된 최적표본크기인 12가 모든 하천의 조사에 유효한 최적표본크기를 나타내는 것은 아니며, 채집도구의 크기 (예: 50×50 cm vs. 30×30 cm Surber net)에 따라라도 변화될 수 있다. 야외조사를 수행할 때 조사지점의 선정 및 표본크기의 결정은 조사목적과 조사자의 경험에 따라 다를 수 있는 매우 주관적인 요소이다. 하지만 표본크기를 결정함에 있어서 최소한의 객관성을 부여하기 위해서는 본 연구에서 보인 바와 같이 각 조사 자료가 지니는 변이의 정도 및 산출되는 여러 자료간의 변이계수차, 충분한 종수 및 개체수의 확보, 그리고 비용과 효율성의 측면 등을 충분히 고려하여 표본크기를 결정하여야 할 것이다. 따라서 본 연구결과를 기초로 하여 다양한 하수 (stream order)과 수질환경에 적용할 수 있는 최적표본크기를 결정하고 이를 일반화하기 위하여 보완적이고 지속적인 연구가

요구된다 하겠다.

적 요

강원도 소재 방태천의 한 하천구역에서 수서곤충 군집분석에 있어서의 최적표본크기를 결정하기 위한 모형을 얻고자 1995년 가을과 1996년 봄에 야외조사를 실시하였다. 결과에 따르면 군집분석의 목적에 따라 요구되어지는 최소표본크기가 달라져야 하는 것으로 파악되었다. Species:Area Curve 방법을 활용하면 방태천의 경우, 가을과 봄의 조사에서 각각 요구되어지는 최소표본크기는 한 하천구역에서 16회의 Surber sampling (30×30 cm) 이었다. 종다양도지수는 표본크기가 증가하는 것과는 관계없이 큰 변화를 보이지 않았다. 변이계수 분석의 결과로 계절별 군집구조의 차이를 비교하기 위하여 필요한 최소표본크기는 10회인 것으로 나타났다. 종수와 개체수가 같이 고려된 수서곤충의 정적 (static) 군집구조를 분석하기 위한 최적표본크기는 가을과 봄에 각각 11회와 7회였다. 위의 세가지 분석을 통하여 방태천의 경우, 신뢰도를 충족시켜 주고 비용면에서도 경제적인 표본의 크기는 12회로, 한 하천구역 (stream reach: 1km 구간)에서 3개의 지점 (riffle-pool sequence)을 선정하여 각 지점에서 4회의 Surber sampling이 필요한 것으로 나타났다. 본 연구의 모형에 의하면 최적표본크기는 군집분석 목적에 따라 달라지는 최소표본크기, 자료의 신뢰도 그리고 비용의 효율성간의 상관관계에 의해서 결정되어야만 하는 것으로 파악되었다.

인 용 문 헌

- 박정호, 조규송. 1995. 강원도 방태천 수서곤충 군집의 생태학적 특성. 한국육수학회지. 28: 309-322.
- 배연재. 1996. 한국 수서곤충 연구의 현황과 과제. '96 한국육수학회 심포지움 강연록. pp. 63-71.
- 윤일병. 1988. 한국동식물도감 제30권 동물편 (수서곤충류). 문교부, 서울. 840 p.
- 윤일병. 1995. 수서곤충검색도설. 정행사. 서울. 262 p.
- 한국자연보존협회. 1995. 방태산 북사면 일대 종합학술조사 연구보고서. 자연보존협회연구보고서 35호. 258 p.
- Allan, J.D. 1995. Stream ecology: Structure and function of running waters. Chapman & Hall. London. 388 p.

- Bagon, M., J.L. Harper, and C.R. Townsend, 1986. Ecology: Individuals, populations and communities. Blackwell Scientific, Oxford. 876 p.
- Brewer, R. and M.T. McCann. 1982. Laboratory and field manual of ecology. Saunders College Publishing. New York. 269 p.
- Elliott, J.M. 1977. Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. 2nd ed. Freshwater Biol. Assoc. Sci. Publ. 25. Ambleside. 160 p.
- Kawai, T. 1985. An illustrated book of aquatic insects of Japan. Tokai Univ. Publ. Tokyo. 411 p.
- Kroger, R.L. 1972. Underestimation of standing crop by the Surber sampler. Limnol. Oceanogr. 17: 475-478.
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. Gen. Syst. 3: 36-71.
- Mason, J.C. 1976. Evaluating a substrate tray for sampling the invertebrate fauna of small streams, with comments on general sampling problems. Arch. Hydrobiol. 78: 51-70.
- McCafferty, W.P. 1981. Aquatic entomology. Jones and Bartlett, Boston. 448 p.
- Merritt, R.W. and K.W. Cummins. 1996. An introduction to the aquatic insects of North America. 3rd ed. Kendall/Hunt. Dubuque. 862 p.
- Morin, A. 1997. Empirical models predicting population abundance productivity in lotic systems. J. N. Am. Benthol. Soc. 16: 319-337.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological succession. J. Theor. Biol. 13: 131-144.
- Pielou, E.C. 1974. Population and community ecology - principle and methods. Gordon and Breach, New York. 424 p.
- Resh, V.H. 1979. Sampling variability and life history features: Basic considerations in the design of aquatic insect studies. J. Fish. Res. Board Can. 36: 290-311.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT User's guide, Version 6, 4th Edition, Vol. 1, Cary.
- Sowthwood, T.R.E. 1978. Ecological methods. Chapman and Hall, London. 391 p.
- Vinson, M.R. and C.P. Hawkins. 1996. Effects of sampling area and subsampling procedure on comparisons of taxa richness among streams. J. N. Am. Benthol. Soc. 15: 392-399.
- Wiederholm, T. 1983. Chironomidae of the holartic region. Part 1. Larvae. Entomol. Scand. Suppl. No. 19. 457 p.

(1998년 5월 10일 접수)