

인공신경회로망을 이용한 서해안 겨울철 수조류의 발생특성 유형화

박영석 · 이후승 · 남형규 · 이기섭 · 유정철*

경희대학교 생물학과, 한국조류연구소

Patterning Waterbirds Occurrences at the Western Costal Area of the Korean Peninsula in Winter Using a Self-organizing Map

Young-Seuk Park, Who-Seung Lee, Hyung-Kyu Nam,
Kisup Lee and Jeong-Chil Yoo*

Department of Biology and The Korea Institute of Ornithology,
Kyung Hee University, Seoul 130-701, Korea

Abstract - This study focused on patterning waterbirds occurrences at the western costal area of the Korean Peninsula in winter and relating the occurrence patterns with their environmental factors. Waterbird communities were monitored at 10 different study areas, and the composition of land cover as environmental factors was estimated at each study area. Overall dabbling ducks were the most abundant with 84% of total individuals, followed by shorebird and diving ducks. Species *Anas platyrhynchos* was the first dominant species, and *Anas formosa* was the second one. Self-organizing map (SOM), an unsupervised artificial neural network, was applied for patterning wintering waterbird communities, and identified 6 groups according to the differences of communities compositions. Each group reflected the differences of indicator species as well as their habitats.

Key words : community patterns, classification, ordination, wetlands, artificial neural networks

서론

우리나라 서해안에는 강 하구나 간석지 등의 습지지역이 많이 있으며 이곳은 수조류의 서식처로서 매우 중요하다. 우리나라 전체 조류의 41%에 이르는 수조류(이 2000)는 대부분 월동하는 종이거나 통과하는 종이며, 여름철에 번식하거나 텃새인 경우는 15종에 불과하다(Won

1996). 지리적으로 우리나라는 시베리아와 만주, 몽고지역 등지에서 번식한 수금류와 섭금류를 포함한 각종 수조류의 통과지역이자 월동지로서 중요하다. 특히 서해안의 넓은 간석지와 주요 강 하구, 논, 저수지 등은 수조류에게 휴식과 취식 장소로 제공되고 있다. 우리나라의 간석지 83%가 서해안에 분포하며 (농어촌진흥공사 1996; 홍 1999), 습지환경으로 다양한 저서생물이 서식한다(김 등 1981; 신 등 1989; 김 1990; 안과 고 1992; 고 등 1997).

서해안의 습지는 1970년대에 계화도 지구와 아산호

* Corresponding author: Jeong-Chil Yoo, Tel. 02-961-0849, E-mail. jcyoo@khu.ac.kr

등의 간석지에 대한 대규모 간척 공사를 시작으로 1990년대에 시화지구 등에서 대규모 공사가 수행되었고, 그 결과 조류 서식지에 많은 영향을 주었다(이 2000). 우리나라의 습지에 도래하는 수조류의 생태적 특성에 대한 조사는 서해안의 경우 한강과 한강하구지역에서 겨울철새 조사가 여러 번 수행되었다(원 등 1986; 원 등 1993; Pae *et al.* 1995). 1990년 초반에는 서산간척지에 140,000~170,000개체 이상의 수조류가 도래한다는 보고가 있었으며(원 1990; 조 1994), 1994년 이후에는 아산호, 삼교호, 대호, 동진강하구, 영암호 등에 대한 조사보고가 있었다(Kim *et al.* 1996; Park and Yoo 1997; Kim and Yoo 1997; 이 1997; 유와 이 1998; Lee *et al.* 1999). 이후 1997년부터 환경부에서는 전국적인 동계 조류조사를 시행하고 있으며, 전국에 1,000,000개체 이상의 수조류가 월동한다는 것과 서해안지역의 중요성이 알려졌다(환경부 1997, 1999; 김 등 1999). 그러나 수조류에 대한 연구는 대부분 조사지역에서 발생하는 종의 개체수를 확인하는데 그쳤으며, 수조류의 발생 특성을 시간적, 공간적으로 분석하고 그 발생 특성을 평가한 예는 희소하다.

효율적인 생태계 관리는 현재의 생태계 상태를 정확하게 평가하고, 그 관리 대책을 수립하는 것이다. 그러나 생태계 자료는 복잡하고 비선형적이어서 전통적인 통계법으로는 분석하기 힘든 점이 많다. 생태계의 체계적 관리를 위해서는 종합적, 적응적, 자기조직적인 방법으로 복잡한 자료의 정보를 효과적으로 추출할 수 있는 생태정보학(ecological informatics) 방법이 이용된다. 최근 인공신경회로망 계산법은 복잡한 생태현상의 해석이나 환경관리를 위한 효과적인 방법론으로 생태학의 다양한 분야에서 효율적으로 적용되고 있다(Lek and Guegan 2000; Lek *et al.* 2005). 예를 들어 self-organizing map(SOM; Kohonen 1982, 2001)을 이용한 군집의 유형화 및 분류(Chon *et al.* 1996; Park *et al.* 2003a, b, c), 복잡한 인자들 간의 상호작용에 대한 유형화(Lek *et al.* 1996), 개체군 및 군집의 예측(Tan and Smeins 1996), 서식지 적합성에 대한 모델링(Paruelo and Tomasel 1997) 등 많은 연구가 진행되었으며, 최근 신경회로망을 이용한 연구는 급격히 증가하고 있는 실정이다(Reckgnagel 2003; Lek *et al.* 2005). 그러나 우리나라에서 최근 Lee *et al.* (2006a, b)이 갯벌의 서식지 특성에 대한 연구를 수행한 것을 제외하고는 수조류를 포함하는 조류의 생태학적 연구에 적용한 예는 매우 미미한 상황이다. 따라서 본 연구는 생태정보학적 기법을 이용하여 우리나라 서해안 지역에 도래하는 수조류의 시공간적 발생 특성을 유형화함으로써 우리나라 습지의 효율적인 관리 및 정책 결정을 위한 근거를 제공하고자 한다.

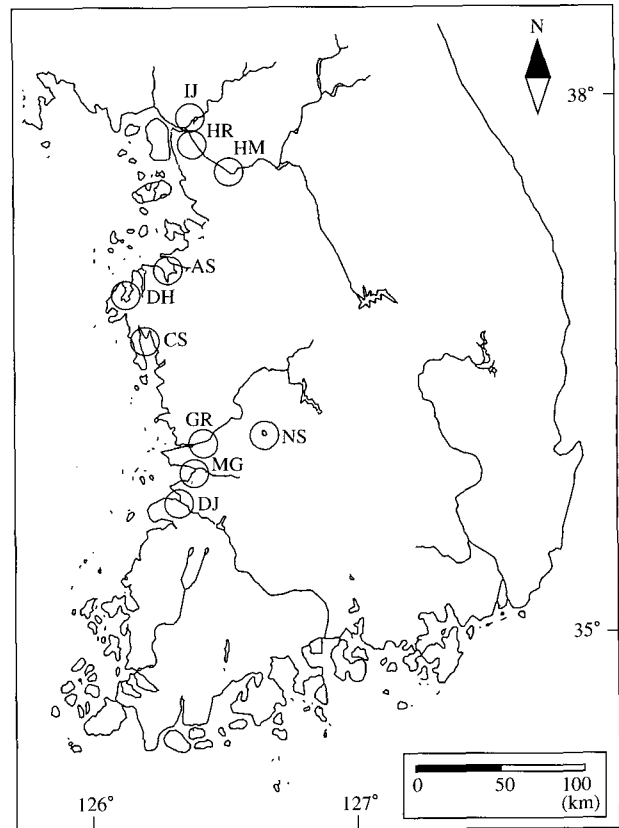


Fig. 1. Study area. HM: Main channel of Han River, HR: Low reach of Han River, II: Low reach of Imjin River, AS: Asan Bay, DH: Daeho Bay, CS: Cheonsu Bay, GR: Estuary of Geum River, NS: Nonsan Reservoir, MG: Estuary of Mangyung River, DJ: Estuary of Dongjin River.

자료 및 방법

1. 야외조사

본 조사는 우리나라 서해안 및 연안 내륙습지 10개 지역(Fig. 1)에서 1996년부터 1997년까지 월 1~2회 수행되었다. 조사지역은 행주대교에서 천호대교 사이에 이르는 한강분류, 행주대교에서 자유로 부근에 이르는 한강하류, 임진강하류, 아산만, 대호, 간월호 등을 포함하는 천수만, 금강 하구, 만경강 하구, 동진강 하구, 그리고 논산 저수지의 10개 지역에서 조사가 되었다. 대부분의 수금류는 낮 동안 수면과 배후 습지에서 관찰되기 때문에 이 지역을 중심으로 관찰하였고, 일부 오리류, 왜가리류, 섭금류, 두루미류 등은 논에서도 관찰되기 때문에 관찰 가능한 주변 논 지역에서도 조사하였다. 관찰은 망원경(Swalovski X20-60)에 삼각대를 설치하여 실시하였고, 가까이 있거나 이동 중인 조류는 쌍안경(Nikon 7X10)을

사용하여 조사하였다. 조사 과정의 오류를 최소화하기 위해 2명이 한 조가 되어 같이 조사하였다.

개체 수 파악은 카운터를 이용하였으며, 각 종의 개체군의 크기가 100개체 미만일 경우에는 1개체씩 세었으며, 100개체 이상일 경우에는 10개체 단위로 셈하였다. 또한 개체군의 크기가 1,000개체 이상일 경우에는 50에서 100개체 단위로 셈하였으며, 10,000개체 이상일 경우에는 먼저 500이나 1,000개체 무리의 크기를 확인한 후에, 500이나 1,000개체 단위로 셈하였다. 본 조사에서는 수조류를 중심으로 개체 수를 파악했으며 수조류가 관찰된 장소의 주변에서 동정 가능한 모든 종을 기입하였다. 수조류의 조사방법은 Howes and Bakewell (1989)을 참고 하였고, 조사지역 및 조사방법 등에 대한 자세한 사항은 이 (2000)에 의해 보고되었다.

월동 수조류에게 영향을 미치는 환경 요인을 분석하기 위하여 관찰 지역에서 반경 2 km 내의 모래섬, 농경지, 인공구조물, 물, 숲, 간석지 등의 토지피복도를 조사하였다. 토지피복도는 1 : 25,000 지도상에서 격자를 이용하여 면적 비율(%)을 조사하였다.

2. 수조류 군집자료 유형화

비지도학습법 인공신경회로망인 self-organizing map (SOM; Kohonen 1982, 2001)을 이용하여 조사지역별 및 시기별 각 종의 개체수로 구성된 수조류 군집 자료를 시간적, 공간적 특성으로 유형화하였다. 일반적으로 군집 자료는 변이가 크기 때문에 자료 분석 전에 전처리과정이 요구된다(Lek et al. 2005). 이를 위해 각 종의 개체수를 로그변환 하였으며, 각 인자(종)가 동등한 중요성을 가지도록 하기 위하여 각 인자들에 대하여 최소값~최대값을 이용하여 자료값이 0~1사이에 분포하게 하여 SOM에 사용하였다.

SOM은 자료탐색을 수행하므로 자료의 분류, 유형화, 시각화에 적절하다(Park et al. 2003a). 사전 가르침 없이 (자료에 대한 선형적인 지식 없이) 자기조직적으로 주어진 자료의 구성요소들 특성에 따라 자료유형을 결정할 수 있는 특징이 있다. SOM은 구조적으로 2개의 층(입력: 자료를 입력받는 곳, 출력: 계산된 자료결과를 보여주는 곳)으로 구성되며, 각 층은 노드(뉴우런)라는 계산단위체로 구성된다(Fig. 2). 입력층과 출력층은 연결강도(가중치)라는 계산값으로 연결이 된다. 이 연결강도는 모든 주어진 자료에 대하여 반복적인 계산과정을 거쳐 조절되게 되는데 이 과정을 학습과정이라 한다. 따라서 학습과정은 주어진 자료를 SOM에 반복 입력하여 입력층과 출력층 사이의 연결강도가 입력자료의 정보 특성

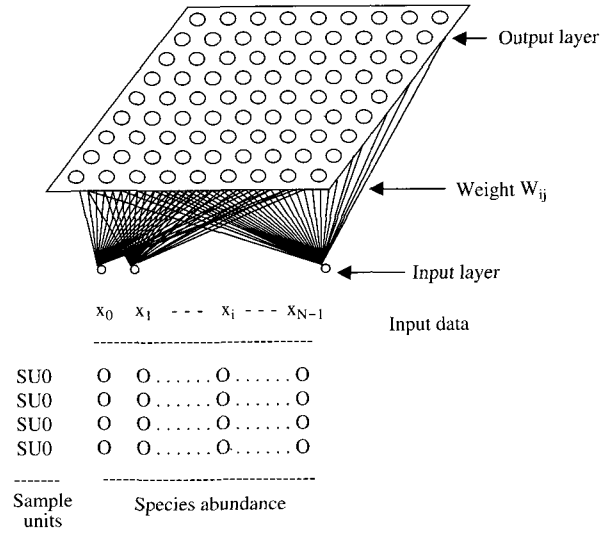


Fig. 2. Schematic diagram of a self-organizing map (SOM).

을 반영하도록 하는 과정이다. 일차적으로 출력노드 j와 입력노드 i 사이의 연결계수인 w_{ij} 와 입력 벡터 x_i (여기서는 분류군 i의 밀도)와의 차이의 Euclidean 거리합이 가장 작은 j노드가 승자 노드로 선택된다. 이후 승자 및 그에 인접한 뉴우런의 연결계수가 아래와 같이 조절된다.

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

여기서 $\eta(t)$ 는 학습률로서 반복계산 과정에서 학습효율을 조절하며, 가우시안 분포에 따라 승자노드에는 가장 높은 값을 그리고 이웃노드에는 점차 작은 값을 할당한다. SOM에 대한 자세한 방법은 Chon et al. (1996), Park et al. (2003a)의 방법을 따르며, SOM의 이론적 접근은 Kohonen (1982, 2001)을 참고한다.

결 과

1. 수조류 군집구성

서해안 및 연안 내륙 습지 10개 지역에서 관찰된 조류는 총 89종 3,444,602개체였다. 이 중 한강 본류에서는 32종 98,510개체, 한강 하류에서는 26종 41,419개체, 임진강에서는 18종 15,183개체, 아산만에서는 56종 451,278개체, 대호방조제에서는 45종 306,628개체, 천수만에서는 49종 1,817,306개체, 금강에서는 57종 335,286개체, 논산 저수지에서는 23종 16,663개체, 만경강 하구에서는 83종 195,669개체, 그리고 동진강 하구에서는 44

종 166,660개체였다. 모든 조사지역에서의 종 구성 별 월동 수조류 군집은 수면성 오리류(84%)가 가장 높은 비율을 보였으며, 그 외 잠수성 오리류, 섭금류, 기러기류, 갈매기류 등이 많이 차지하였다(Fig. 3). 가장 높은 우점도를 나타낸 종은 1,860,812개체(54%)가 관찰된 청둥오리(*Anas platyrhynchos*)였으며 다음으로 633,305개체(18%)가 관찰된 가창오리(*Anas formosa*)였다.

조사 각 지역별 우점종을 보면, 한강 본류에서는 흰죽지(*Aythya ferina*), 한강 하류에서는 큰기러기(*Anser fabalis*), 임진강 하류에서는 쇠기러기(*Anser albifrons*), 논산저수지에서는 쇠오리(*Anas crecca*)였으며, 아산만, 천수만, 대호, 금강, 만경강 및 동진강 하구 지역에서는 청둥오리가 우점종으로 관찰되었다. 각 조사 지역별로 나타나는 종수 및 개체 수는 시기별로 특징적인 양상을

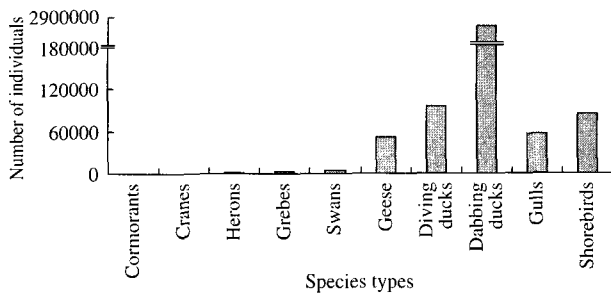


Fig. 3. Abundance differences of different waterbirds types observed at study areas during the study period.

보였으나(Fig. 4), 일반적으로 2~3월 경에 많은 종과 개체가 관찰되었다. 예를 들어 한강 본류에서는 3월 후반에 가장 많은 개체수가 관찰되었으며 2월 후반에 가장 많은 종수가 관찰되었다(Fig. 4A). 아산만에서는 2월 초에 가장 많은 개체와 종수가 관찰되었다(Fig. 4D). 대호 지역에서는 2월 후반에 가장 많은 개체수가 관찰되었으며 4월 후반에 가장 많은 종수가 관찰되었다(Fig. 4E).

2. 시공간적 유형화

SOM을 이용하여 수조류의 시공간적 발생 특성을 유형화 하였으며(Fig. 5A), Ward linkage 방법을 이용하여 SOM 출력노드를 군집분석(Cluster Analysis)하였다(Fig. 5B). 모두 6개의 그룹으로 나뉘었으며, 각 그룹은 짧은 선과 Latin 문자(I~VI)로 구분하였다. 유형은 크게 두 개의 그룹으로 나뉘는데, 상부(그룹 I, IV, V)는 아산만, 만경강하구, 동진강하구, 금강하구로 수질의 특성이 해수(Saltwater)인 지역이고, 하부(그룹 II, III, VI)는 한강, 임진강, 천수만, 대호 등 담수(Freshwater)지역이 분포하였다(Fig. 5A). 즉 수조류의 군집구성이 담수와 해수의 공간적 특성에 따라 다르게 나타남을 보였다. 그룹 I, II, III에서의 조사시기는 10월, 3월, 4월로써 이동시기(migration periods)와 일치하며 그룹 IV, V, VI에서의 조사시기는 11월, 12월, 1월, 2월로 월동시기(wintering periods)와 같았다. 따라서 SOM은 수조류의 이동 개체군(좌측

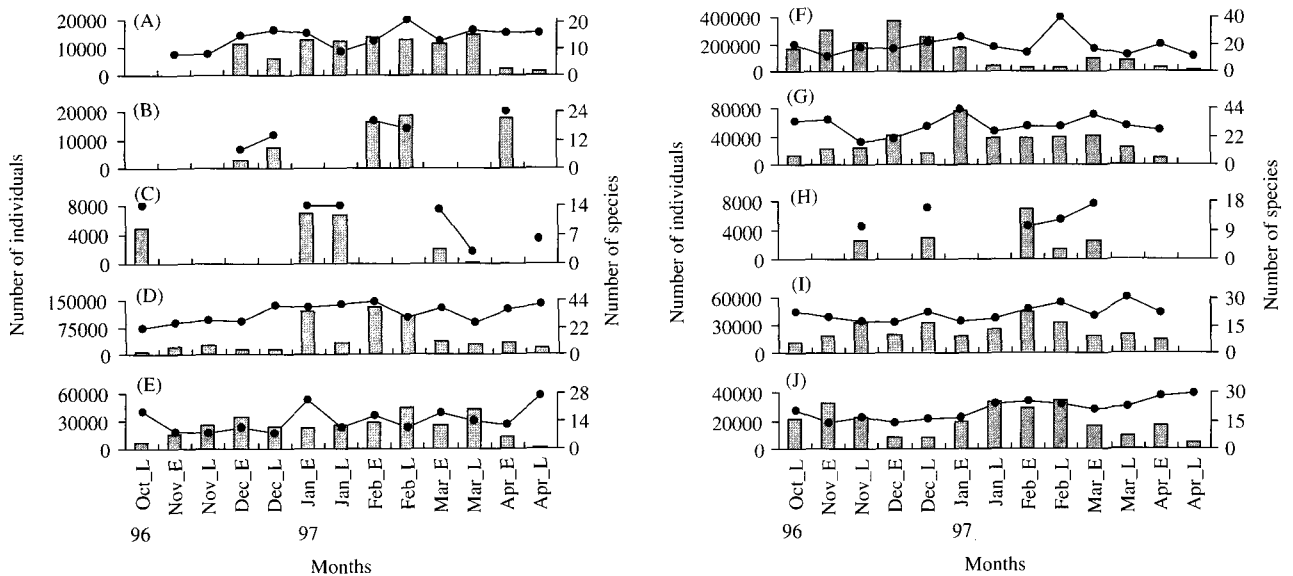


Fig. 4. Semimonthly changes (E: early month, L: late month) of the number of species and individuals of waterbirds at different study areas. (A) Main channel of Han River, (B) Low reach of Han River, (C) low reach of Imjin River, (D) Asan Bay, (E) Daeho Bay, (F) Cheonsu Bay, (G) Estuary of Geum River, (H) Nonsan Reservoir, (I) Estuary of Mangyung River, (J) Estuary of Dongjin River.

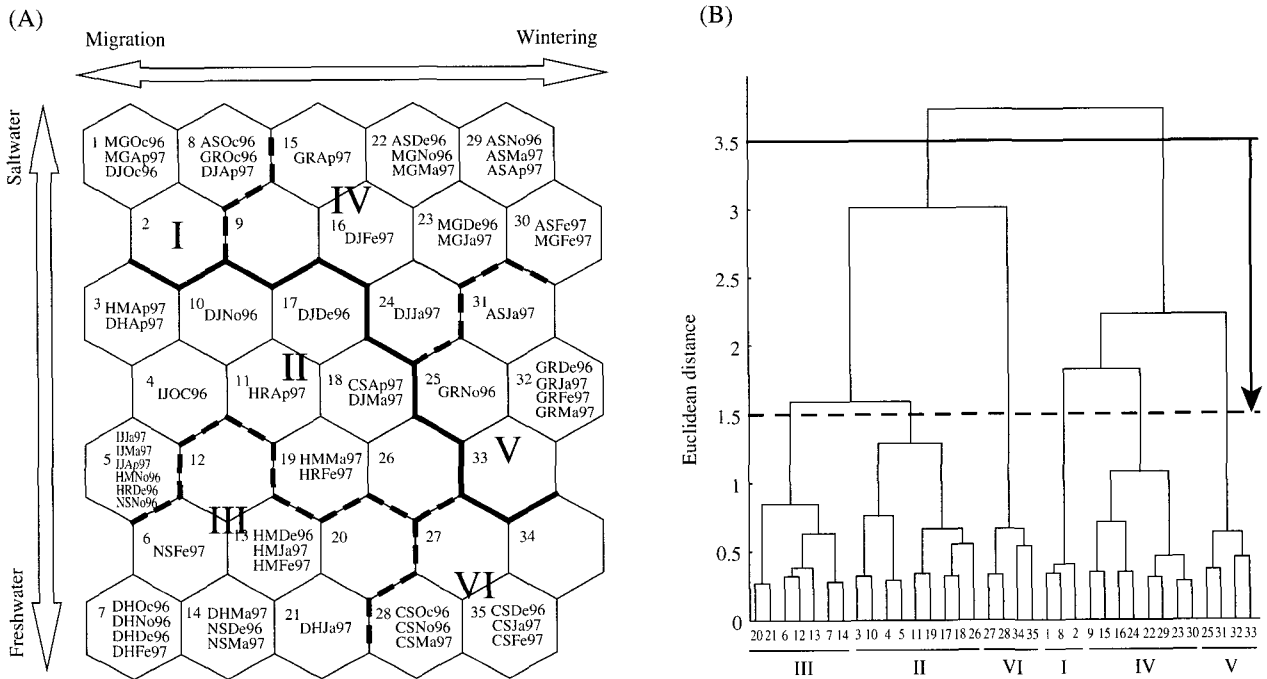


Fig. 5. (A) Classification of samples in a self-organizing map (SOM). (B) A dendrogram of a hierarchical cluster analysis using Ward linkage method for classification SOM units. The first two alphabets indicate study areas in Figure 1, two alphabets in the middle are survey months, and last two numbers are survey years.

영역)과 월동 개체군(우측영역)으로의 시기별로 뚜렷한 차이를 보여주고 있다.

Fig. 6은 SOM 학습을 위해 입력된 수조류 각 종들이 각 그룹 또는 조사지역에서 분포하는 정도를 나타낸 것으로 각 종들의 상대적인 중요도를 보여준다. 예를 들어 가창오리는 오른쪽 아래쪽, 그룹 IV에서 대표적으로 나타나는 종이지만 그룹 I 등에서는 매우 낮은 밀도를 보이거나 전혀 출현하지 않는 종이다. 반면 썩이갈매기 (*Larus crassirostris*)는 그룹 I에서 높은 밀도를 보이지만 그룹 VI에서는 매우 낮은 밀도를 보이고 있다. 도요새류와 갈매기류 등 해수에 서식하는 종은 주로 상부에 분포하고 있으며, 백로류, 논병아리류, 오리류, 기러기류 등 담수에 서식하는 종은 하부에 분포하고 있다. 그룹 I, II, III에는 통과조류인 도요새류, 물떼새류가 주로 분포하며, 그룹 IV, V, VI에는 월동조류인 오리류와 갈매기류가 분포함을 알 수 있다. 또한, 수조류의 군집구성에 있어서 2개의 상부 및 하부 그룹에서 6개의 그룹으로 나뉜 것은 수조류 군집구성이 서식지의 특성(담수 및 해수)에 따라 우선적으로 구분됨을 보여준다. 그리고 각각의 지역에서는 시기에 따라 구성이 다르게 나타남을 보여준다.

3. 환경 요인에 따른 그룹 분석

SOM에 의해 유형화 된 수조류 군집의 차이는 각 환경인자의 차이를 잘 반영해 주었다. 모든 그룹에서 수면성오리인 청둥오리, 가창오리, 흰뺨검둥오리가 높은 우점도를 보였으나 이들을 제외하고 종과 개체수를 비교한 결과 그룹 간 특성을 확인할 수 있었다. 그룹 I과 IV는 간석지와 관련이 있는 수조류 군집이 분포하는 것으로 나타났다. 그룹 I에서 수면성오리류를 제외하고 가장 많은 개체수를 차지한 종은 민물도요 (*Calidris alpina*)였고 다음으로 썩이갈매기, 붉은어깨도요 (*Calidris tenuirostris*), 흰물떼새 (*Charadrius alexandrinus*) 순이었고, 이들은 강하구를 비롯한 간석지에서 서식하는 종들이다. 그룹 IV는 민물도요, 흑부리오리 (*Tadorna tadorna*), 큰기러기, 넓적부리 (*Anas clypeata*) 순으로 나타났고 이들 역시 서식처에서 간석지가 중요한 역할을 한다. 그룹 II, III, VI는 서식지의 환경적 특성으로 물을 중요하게 이용하는 새들로 구성되었다. 수부(물)는 내륙내 수로, 강을 포함시킨 지역이며 일부 해안지역 가까이의 해수를 포함하였다. 실제 그룹 II, III, VI은 한강, 임진강, 천수만, 대호 지역과 같은 담수지역이 속하며 해수보다 담수를 선호하는 종이 많았다(Fig. 5). 그룹 V에서는 개체수가 흑부리

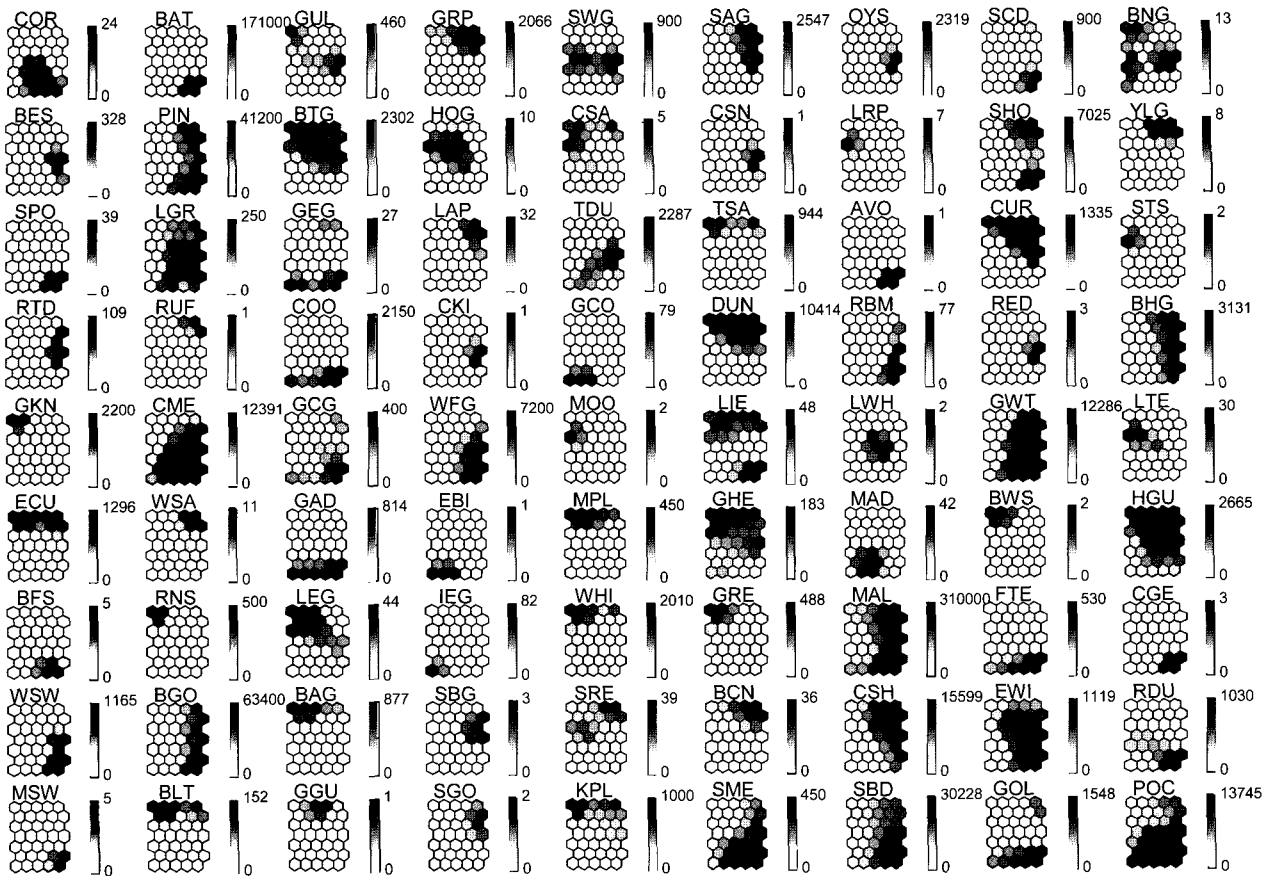


Fig. 6. Distribution patterns of each species in the trained SOM. COR: *Phalacrocorax capillatus*, BAT: *Anas formosa*, GUL: *Larus canus*, GRP: *Pluvialis squatarola*, SWG: *Anser cygnoides*, OYS: *Haematopus ostralegus*, SCD: *Arythya marila*, BNG: *Podiceps nigricollis*, BES: *Cygnus coumbianus*, PIN: *Anas acuta*, BTG: *Larus crassirostris*, HOG: *Podiceps auritus*, CSA: *Actitis hypoleucos*, CSN: *Gallinago gallinago*, LRP: *Charadrius dubius*, SHO: *Anas clypeata*, YLG: *Larus cachinnans*, SPO: *Platalea leucorodia*, LGR: *Tachybaptus ruficollis*, GEG: *Egretta alba*, LAP: *Vanellus vanellus*, TDU: *Arythya fuligula*, TSA: *Xenus conereus*, AVO: *Recurvirostra avosetta*, CUR: *Numenius arquata*, STS: *Calidris acuminata*, RTD: *Streptopelia orientalis*, RUF: *Philomachus pugnax*, COO: *Fulica atra*, CKI: *Alcedo atthis*, GCO: *Phalacrocorax carbo*, DUN: *Calidris alpina*, RBM: *Mergus serrator*, RED: *Tringa totanus*, BHG: *Larus ridibundus*, GKN: *Calisris tenuirostris*, CME: *Mergus merganser*, WFG: *Anser albifrons*, MOO: *Gallinula chloropus*, LIE: *Egretta garzetta*, LWH: *Numenius minutus*, GWT: *Anas crecca*, LTE: *Sterna albifrons*, ECU: *Numenius madagascariensis*, WSA: *Tringa glareola*, GAD: *Anas strepera*, EBI: *Botaurus stellaris*, MPL: *Charadrius mongolus*, GHE: *Ardea cinerea*, MAD: *Aix galericulata*, BWS: *Himantopus himantopus*, HGU: *Larus grgentatus*, BFS: *Platalea leucorodia*, RNS: *Calidris ruficollis*, LEG: *Egretta albamodesta*, IEG: *Egretta intermedia*, WHI: *Numenius phaepus*, GRE: *Tringa nebularia*, MAL: *Anas platyrhynchos*, FTE: *Anas falcata*, CGE: *Branta canadensis*, WSW: *Cygnus cygnus*, BGO: *Anser fabalis*, BAG: *Limosa lapponica*, SBG: *Larus schistisagus*, SRE: *Tringa erythropus*, BCN: *Nycticorax nycticorax*, CSH: *Tadorna tadorna*, EWI: *Anas penelope*, RDU: *Tadorna ferruginea*, MSW: *Cygnus olor*, BLT: *Limisa limisa*, GGU: *Larus hyperboreus*, SGO: *Anser coerulescens*, KPL: *Charadrius alexandrinus*, SME: *Mergus albellus*, SBD: *Anas poecilorhyncha*, GOL: *Bucephala clangula*, POC: *Aythya ferina*.

오리, 큰기러기, 붉은부리갈매기 (*Larus ridibundus*), 흰죽지 순으로 나타났고 특히 이들은 해안지역에서 모래섬 형태의 휴식공간이 중요한 역할을 하는 것으로 확인할 수 있었다. 그룹 VI는 농경지와 수부가 수조류 군집에 중요한 환경 요인으로 나타났으며, 청둥오리, 가창오리를 비롯한 오리류와 도요새류, 흰물떼새가 중요한 종이었다. 이들은 농경지, 수부가 중요한 환경 요인으로 작용함을 보여준다 (Fig. 7).

고 찰

1996년에서 1997년까지 서해안에서 관찰된 수조류는 총 89종 3,444,602개체였으며 수조류 군집은 수면성 오리류(84%)가 가장 높은 비율을 나타냈다 (Fig. 3). 아산만 지역에서 수조류가 가장 많이 관찰된 시기는 1월과 2월초였다. 이 (2000)는 대호 지역의 경우 96년 전후 3년간 수조류 개체수가 감소하였으며 이는 수생식물의 지

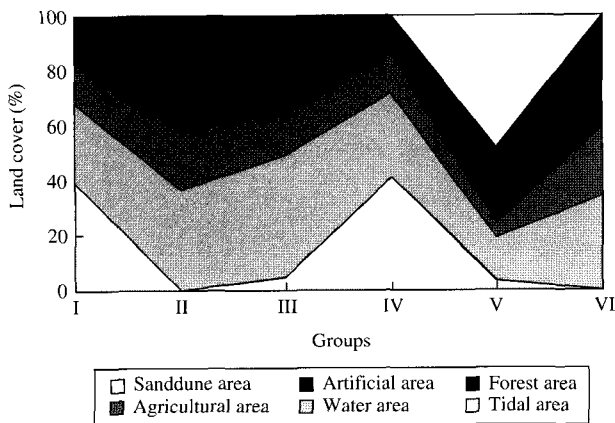


Fig. 7. Differences of land cover types at different groups.

속적인 감소에 영향을 받은 것으로 보인다고 보고되었다. 천수만 지역은 다른 9개 지역에 비해 환경 요인 중 농경지가 차지하는 비중이 크고 연도와 시기에 따라 농경지의 변화가 많은 곳이다. 벼 그루터기나 탈곡하고 남은 벼 이삭들은 추수가 끝나고 나서부터 12월까지 거의 불에 태워졌다. 이런 작업들로 인해 간월호 지역의 개체수는 12월과 1월을 기점으로 급격히 감소하는 경향을 보였다(Fig. 4). 지역별 총 개체수를 비교해본 결과 서산 간척지구인 간월호와 부남호가 있는 천수만은 가장 많은 수조류가 월동하는 지역으로 그 중요성이 평가되어야 할 것이다(Fig. 4). 금강의 경우 금강호가 건설된 이후에 나포지역을 중심으로 여러 개의 사구들이 남아있었다. 1995~96년에는 이 사구들에 다년생 초본이 거의 없거나 키가 낮은 상태여서 기러기류들이 휴식을 취하거나 구근을 취식 할 수 있는 곳이었다. 그러나 1996~97년에는 이 사구들이 키가 큰 갈대(*Phragmites communis*)와 부들(*Typha orientalis*) 등의 다년생 식물로 덮여지게 됨으로써 기러기류의 휴식처로서 구실을 하지 못하게 되었다. 논산 저수지는 1995~96년에 최대 52,300개체의 가창오리가 도래하였으나 1996~97년에는 최대 500개체로 거의 관찰되지 않았다(이 2000).

SOM은 수조류 군집을 종구성 특성에 따라 2개의 주 그룹과 6개의 세부 그룹으로 구분하였으며, 각 그룹은 수조류 군집의 시간적, 공간적 특성을 잘 반영하였다. 첫째로, 좌측 그룹(I, II, III)과 우측 그룹(IV, V, VI)은 시간적 특성을 반영하는데, 좌측 그룹의 종구성은 주로 섬급류로써 매년 봄(3~4월), 가을(9~10월)에 우리나라의 서해안을 중간기착지(Stopover site)로 이용한다. 우측 그룹의 종구성은 우리나라를 월동지(Wintering)로 하는 수조류로 주로 11월부터 도래하기 시작하여 이듬해 2월 경에 번식지로 이동한다. 따라서 SOM에서의 이 두 그

룹은 수조류의 군집구성이 시간에 따라 변화하고 있다는 것을 잘 반영해 준다. 둘째로, 2개의 주 그룹 중 상부 그룹(I, IV, V)들은 해수역 조사지역, 하부 그룹(II, III, VI)들은 담수역 조사지역으로 나타났다(Fig. 5). 해수와 담수는 근본적으로 수질의 특성에 차이가 있지만 이외에도 수조류의 먹이가 되는 어류나 해초류에도 차이를 나타낸다(Schreiber and Buger, 2001). 해수에 서식하는 수조류의 주된 취식장소는 간척지이다. 간척지는 지속적으로 어류와 패류, 갑각류 등이 분포한다. Recher (1966)와 Wenner and Beatty (1988)는 섬급류의 감소가 간척지에서의 어류와 패류 등 먹이자원의 감소와 연관된다고 보고하였다. 따라서 수질의 차이에 따른 먹이자원의 차이는 수조류의 군집구성에 영향을 줄 수 있다. Fig. 5B에서 보면, SOM의 그룹은 우선 크게 공간적으로 나뉘진 뒤에 다시 시간적으로 구분되는 것을 알 수 있다. 이는 우리나라 서해안의 수조류 종구성은 먼저 공간적 차이에 의해 구분이 되며, 각각의 해당 지역에서는 시간적 차이에 따라 종구성이 달라짐을 반영해 주었다.

수조류의 군집구성 및 분포에 영향을 주는 요인은 물리적(날씨, 서식지 환경 등) 요인과 생물적(먹이, 포식자 등) 요인이 작용한다. 먹이는 지역에 따라 수조류의 개체군 구성을 다르게 하며, 포식자는 개체군의 밀도를 조절한다. 또한 기후는 개체군의 발생과 분포에 영향을 미친다. 서해안의 경우, 가을에서 봄에 이르는 기간 동안에 관찰되는 수조류는 수질의 특성과 기온의 차이에 따라 즉, 시간적 차이에 따라 군집구성에 차이가 발생하는 것으로 알 수 있다. Collis *et al.* (2002)는 하천의 상류와 하류에 따라 수조류의 종구성이 차이가 있으며, 그 원인을 하천 수질의 차이에 따른 먹이구성의 차이로 설명하였다. 또한 최근 개체군 밀도 감소의 원인이 하류의 개발과 관련이 있다고 보고하였다. SOM의 각 그룹에서 간척지, 모래섬, 농경지와 같은 환경인자들은 새들의 휴식공간과 먹이 제공의 역할을 한다. 우리나라 서해안은 간척지와 내륙습지가 넓은 범위에 걸쳐 존재하며 다양한 저서성대형무척추동물이 있어 조류에게 중요한 생활공간을 제공하는 역할을 한다. 특히 겨울 철새에게는 다음해 번식을 위해 준비하는 월동지로서의 역할을 하며, 통과조류에게는 먹이와 휴식을 제공하는 중간기착지로서 작용한다.

현재 지구상의 야생 조류(약 9,700여 종)들 중 약 10%는 멸종위기종(endangered species)이며, 이러한 멸종위기종의 10%를 포함한 약 20% 정도의 조류는 취약종(near-threatened species)으로 분류되어있다. 인간의 적극적인 보호와 노력이 없다면 그 개체수가 빠르게 감소될 것으로 예상된다. 그러나 개발 및 매립으로 중요 철

새도래지의 면적이 점차 줄어들고 있으며, 이러한 조류 서식지의 파괴가 가장 큰 멸종위기의 원인이 되고 있다. 서해안의 일부 간석지는 간척사업에 의해 간석지가 소실되고 더불어 농경지를 형성하게 된다. 이는 간석지 보다 농경지와 수부를 주로 이용하는 VI 그룹에 나타난 종들에게는 긍정적인 효과를 보이지만 간석지를 휴식과 취식공간으로 이용하는 그룹 I과 IV에 나타난 종에게는 부정적인 영향을 끼칠 것으로 사료된다(Fig. 7). 따라서 과도한 간척사업은 종 다양성의 측면에서는 바람직하지 않다고 할 수 있다. 환경부(1999)에 의하면 최근에 간척된 영암호와 해남 지역 등에 수조류의 도래수가 증가하는 것으로 알려졌다. 서해안은 수조류의 중요한 월동지이자 통과장소라고 할 수 있으나 수조류 보호를 위해서는 근본적으로 습지에 대한 재평가와 함께 더불어 습지에 대한 체계적인 보호계획이 병행되어야 할 것이다.

적 요

본 연구는 우리나라 서해안에서 월동하는 수조류 군집의 특성 및 환경요인에 따른 분포 특성을 밝히고자 수행되었다. 수조류 군집조사는 10개 지역에서 실시되었으며, 환경요인으로 토지피복도 비율을 측정하였다. 전체 조사지역에서 종 구성은 수면성 오리류가 84%로 가장 높은 비율을 나타냈고, 그 외 잠수성 오리류, 섭금류, 기러기류, 갈매기류 등이 많이 관찰되었다. 가장 높은 우점도를 나타낸 종은 청둥오리(*Anas platyrhynchos*)였으며 다음으로 가창오리(*Anas formosa*)가 차지하였다. 비지도 학습법 인공신경회로망인 self-organizing map (SOM)을 이용한 월동 수조류 군집을 유형화 한 결과 수조류 군집은 6개의 그룹으로 구분되었다. 각 그룹은 서식지의 특성에 따라 명확히 구분되어 서식지의 공간특성을 잘 반영해 주었으며, 또한 조사 시기에 따른 군집의 차이도 잘 나타내 주었다.

사 사

이 연구는 2005년도 경희대학교 지원에 의한 결과임 (KHU-20051034).

참 고 문 헌

고철환, 박 철, 유신재, 이원재, 이태원, 장창익, 최종기, 홍재

- 상, 허형택. 1997. 해양생물학. 서울대 출판부. 654pp.
- 김진한, 박진영, 이정연, 유병호, 이길철. 1999. 철새이동경로 및 도래서식조사. 국립환경연구원. 89pp.
- 김훈수, 이경숙, 김 원, 권도현. 1981. 인천앞 및 강화도 남부일대 조간대의 갑각류의 분류 및 생태에 관한 연구. 자연보존연구보고서. 3:279-309.
- 김훈수. 1990. 한국의 간척·매립사업과 자연보존. 한국자연보존협회 자연보존. 71:22-27.
- 농어촌진흥공사. 1996. 한국의 간척. 대성인쇄공사. 의왕. 316pp.
- 신현철, 최진우, 고철환. 1989. 서해 경기 내만해역 조간대, 조하대의 저서동물군집. 한국해양학회지. 24:184-193.
- 안순모, 고철환. 1992. 서해 만경, 동진 조간대의 환경과 저서동물 분포. 한국해양학회지. 27:78-90.
- 원병오, 박진영, 김은영, 김화정. 1993. 한강의 수조류조사. 경희대학교 부설 한국조류연구소 연구보고. 4:83-94.
- 원병오, 우한정, 김상욱, 구태희, 이두표, 최동신. 1986. 한강의 월동조류. 경희대학교 부설 한국조류연구소 연구보고서. 1:81-86.
- 원병오. 1990. 한국 서해안의 섬금류조사. 경희대학교 부설 한국조류연구소 연구보고서. 3:28-50.
- 유정철, 이기섭. 1998. 한국서해안의 조류현황과 보존방안. 한국해양연구소 해양연구. 20:131-143.
- 이기섭. 2000. 한국의 서해안에 도래하는 수조류의 실태와 개체수 변동. 경희대학교 대학원 박사학위 논문. 211pp.
- 이두표. 1997. 영암호에 도래, 월동하는 수조류 군집에 관한 연구. 경희대학교 부설 한국조류연구소 연구보고. 6:55-62.
- 조삼래. 1994. 서산 A지구와 B지구 간척사업이 월동조류의 생태에 미치는 영향. 한국조류학회지. 1:83-94.
- 홍재상. 1999. 한국의 갯벌. 빛깔 있는 책들 218. 대원사. 143pp.
- 환경부, 국립환경연구원. 2002. 겨울철 조류 동시 센서스. 환경부. 275pp.
- 환경부. 1997. 전국 겨울철새 동시 센서스. 환경부. 163pp.
- 환경부. 1999. 겨울철 조류 동시 센서스. 환경부. 173pp.
- Collis K, DD Roby, DP Craig, S Adamany, JY Adkins and DE Lyons. 2002. Colony size and diet composition of piscivorous waterbirds on the lower Columbia River: implications for losses of juvenile salmonids to avian predation. Trans. Am. Fish. Soc. 131:537-550.
- Chon TS, YS Park, KH Moon and EY Cha. 1996. Patternizing communities by using an artificial neural network. Ecol. Model. 90:69-78.
- Howes J and D Bakewell. 1989. Shorebird Studies Manual. AWB Publication, Kuala Lumpur. 362pp.
- Kim HC and JC Yoo. 1997. Wintering waterbirds at Dongjin River Estuary. Bull. Korea Inst. Ornithol. 7:47-53.
- Kim WB, HS Oh and HS Park. 1996. The fluctuation of individuals and activity patterns of *Anas* species wintering on

- Cheju-Island. *Korean J. Ornithol.* 3:23-31.
- Kohonen T. 1982. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biol. Cybern.* 43:59-69.
- Kohonen T. 2001. *Self-Organizing Maps*. Third edition, Springer, Berlin.
- Lee KS, JY Park, JB Lee and JC Yoo. 1999. Wintering status of waterbirds in the three reclaimed areas of the West coast of Korea. *Bull. Korea Inst. Ornithol.* 7:1-11.
- Lee WS, YS Kwon, JC Yoo, MY Song and TS Chon. 2006a. Multivariate analysis and self-organizing mapping applied to analysis of nest site selection in black-tailed gulls. *Ecol. Model.* 193:602-614.
- Lee WS, YS Kwon, YS Park, TS Chon and JC Yoo. 2006b. Evaluation of environmental factors to predict breeding success of black-tailed gulls. *Ecol. Info.* 1:331-339.
- Lek S, M Delacoste, P Baran, I Dimopoulos, J Lauga and S Aulagnier. 1996. Application of neural networks to modeling nonlinear relationships in ecology. *Ecol. Model.* 90:39-52.
- Lek S and JF Guegan. 2000. *Artificial neuronal networks: Application to Ecology and Evolution*. Springer, Berlin.
- Lek S, M Scardi, P Verdonschot, J Descy and YS Park. 2005. *Modelling Community Structure in Freshwater Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin.
- Pae SH, JY Park, JH Kim and JC Yoo. 1995. Habitat use by wintering waterbirds at Han River estuary and Imjin River, Korea. *Korean J. Ornithol.* 2:11-21.
- Park YS, J Chang, S Lek, W Cao and S Brosse. 2003b. Conservation strategies for endemic fish species threatened by the Three Gorges Dam. *Conserv. Biol.* 17:1748-1758.
- Park YS, PFM Verdonschot, TS Chon and S Lek. 2003c. Patterning and predicting aquatic macroinvertebrate diversities using artificial neural network. *Wat. Res.* 37:1749-1758.
- Park YS, R Céréghino, A Compin and S Lek. 2003a. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecol. Model.* 160:265-280.
- Park SK and JC Yoo. 1997. Wintering waterbirds and their habitat use in Daeho Lake, 1994~5. *Bull. Korea Inst. Ornithol.* 5:33-37.
- Paruelo JM and F Tomasel. 1997. Prediction of functional characteristics of ecosystems: a comparison of artificial neural networks and regression models. *Ecol. Model.* 98:173-186.
- Recher HF. 1966. Some aspects of the ecology of migrant shorebirds. *Ecol.* 47:393-407.
- Recknagel F. 2003. *Ecological Informatics: Understanding Ecology by Biologically-Inspired Computation*. Springer-Verlag, Berlin.
- Tan SS and FE Smeins. 1996. Predicting grassland community changes with an artificial neural network model. *Ecol. Model.* 84:91-97.
- Wenner EL and HR Beatty. 1988. Macrobenthic Communities from Wetland Impoundments and Adjacent Open Marsh Habitats in South Carolina. *Estuaries.* 11:29-44.
- Won PO. 1996. Checklist of the birds of Korea. *Bull. Korea Inst. Ornithol.* 5:39-58.

Manuscript Received: March 5, 2007

Revision Accepted: April 26, 2007

Responsible Editor: Insil Kwak