

동해안 석호에서 수생천이계열에 따른 식생구조의 변화

김혜영* / 김미희* / 최희경* / 양두용* /

신은주* / 이규송* / 이훈복**

Changes of Vegetation Structure according to the Hydro-seral Stages in the East Coastal Lagoons, Korea

Hyo Young Kim* / Mi Hee Kim* / Hee Kyung Choi* / Doo Yong Lyang* /

Eun-Joo Shin* / Kyu Song Lee* and Hoonbok Yi**+

요약 : 동해안에 분포하고 있는 석호의 건록화 과정을 이해하기 위하여 수생천이계열에 따른 환경요인과 식생구조의 변화를 파악하였다. 석호습지의 수생천이계열은 수체의 특성, 침수식생, 정수식생 및 발달한 목본층의 수고와 수직적인 층 구조의 발달 등을 고려하여, 노출수면 단계로부터 교목림 단계까지 7단계로 구분하였다. 천이가 진행됨에 따라 수질은 해수성으로부터 기수성으로 그리고 담수성으로 변화하였다. 또한 천이진행에 따라 수심이 점차 얕아져 수체가 사라졌고, 후기 단계에서 토양층내 유기물함량과 낙엽층이 발달하였다. 천이진행에 따라 식생변화는 노출수면 → 침수식물과 부엽식물 → 정수식물과 침수식물 → 정수식물 → 정수식물과 중생식물, 관목식생 → 교목성 중생식물의 순으로 진행되었다. 목본이 출현하는 천이 후기 단계에서는 토양기질의 배수성과 양분의 상태에 따라 서로 다른 유형의 목본식생이 발달하였다. 기질이 습하게 유지되는 지역에는 버드나무계열의 군집이, 토양이 모래로 이루어 있고 배수성이 양호한 입지에는 곰솔, 쯤보리사초 등의 중생식물과 사구성식물로 이루어진 군락이, 인위적 매립과 산림지역 토사의 매립으로 이루어진 지역에는 소나무, 아까시나무, 김의털, 강아지풀 등과 같은 인간에 의해 식재된 목본, 교란지 식물로 구성된 식물 군락이 발달하였다.

핵심용어 : 석호, 수생천이, 수생식물, 천이, 복원

Abstract : We have studied the changes of the environmental and vegetational factors according to the hydro-seral stages in the shoreline of the lagoons, Korea. We have divided seral stages into 7 stages from open water stage to the stratified forest stage considering as the characteristics of water body, dominance of submerged and emergent plant, and development of the shrub, subtree and tree layer. According to the successional stage, water depth gradually decreased and water quality changed from seawater to brackish water and from brackish water to fresh water, organic matter in a soil layer gradually increased, and the litter layer grew up. As the development of the vegetation structure, the life-form of the vascular plants changed as follows; open water → submerged plant and floating-leaved plant → emergent plant and submerged plant → emergent plant → emergent plant, mesophyte and scrub → mesophyte. In the late seral stage, the 3 different forest types were established by the water retention or drainage and nutrient accumulation of the soil layer. Salix dominant forest developed in the wetted sites, the forest type dominated by *Pinus thunbergii*, *Carex pumila* and mesophytes developed in the well drained sites causing by sand substrate, and the forest type dominated by the planted or ruderals such as *Pinus densiflora*, *Robinia pseudo-acacia*, *Festuca ovina*, *Setaria viridis* ect. developed in the sites composed of forest soil introduced by artificial reclamation.

Keywords : Lagoon, Hydrosere, Hydrophyte, Succession, Restoration

+ Corresponding authors : yih@swu.ac.kr

* 강릉원주대학교 자연과학대학 생물학과

Department of Biology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Gangwon-Do, 210-702 Korea

** 서울여자대학교 자연과학대학 환경생명과학부

Division of Environmental & Life Science, Seoul Women's University, Seoul, 139-774 Korea

1. 서 론

석호는 수심이 얇고, 해수의 영향을 받는 기수호의 특성을 갖고 있는 것이 많고, 연중 안정된 수위로 인하여 수변에 습지 식생이 잘 발달되어 있다. 석호 수변에 발달된 습지에는 담수, 해양 및 기수성 환경에 적응한 다양한 동식물이 서식하고 있어 생물 다양성이 높다고 알려져 있다(문덕수 등 2007, 엄정훈 1998). 석호는 바다와 수체교환의 정도에 따라 해수 순환의 영향을 받을 수도 있고, 전혀 영향을 받지 않을 수도 있다(Kjerfve 1994). 또한 담수의 표층과 해수의 심층으로 분리되는 경우가 많다. 표층과 심층의 수직적인 혼합이 잘 일어나지 않는 석호의 심층에서는 산소 고갈 현상이 자주 발생한다고 알려져 있다(문덕수 등 2007, 허우명 등 1999).

최근 들어 석호는 자연기수호로서의 중요성과 희귀성을 인정받고 있다. 그로 인해 석호의 보전가치와 복원의 필요성이 자주 부각되고 있다(문덕수 등 2007, 원주지방환경관리청 1997; 2008; 2009). 그러나 과거에는 석호 생태계를 개간이나 개발의 대상지로 여겨서 농경지 개간에 의한 매립, 관광 시설에 따른 산책로와 도로 건설, 수문 형성에 의한 해수 유입의 차단, 제방 축조에 의한 배수, 습지 식생의 주기적 제거, 생활 오수의 유입과 농경지 등의 비점오염원의 유입에 따른 수질 오염 등의 교란이 빈번하게 이루어져 왔다(박상덕 2002, 원주지방환경관리청 2008). 석호의 육화는 상류의 유역으로부터 토사나 유기물의 유입으로 인하여 호소가 점차 메워지고 수심이 얕아지며 수변을 중심으로 습지대가 확장되면서 일어난다(원주지방환경관리청 2008). 최근까지 호수유역에 대한 관리가 제대로 이루어지지 않아 많은 유기물이 호소내로 유입되어 왔고, 본 지역에서 빈번한 산불이나 벌목 등의 교란으로 인한 토사의 유입이 많았다. 따라서 많은 석호가 매립되거나 자연적인 천이과정에 의해 그 면적이 점차 감소하고 있는 실정이다(김일희 1996, 문덕수 등 2007, 유홍식 1996).

동해안의 석호들도 내륙의 다른 호소와 유사한 과정을 거쳐서 육지화 및 식생천이가 진행된다(원

주지방환경관리청 2008). 식생 천이란 시간에 따라 식물상의 조성과 입지환경요인의 변화에 따른 식생구조의 발달과정이라고 정의할 수 있다(Odum 1969). 넓은 지역 규모에서의 천이과정에서는 기후요인이 중요하고, 지역적으로 좁은 단위에서의 천이과정에서는 토양 기질의 종류와 특성이 중요하다고 알려져 있다(Tilman 1988). 천이 연구에서 주된 연구주제는 천이가 시작할 시점에서의 식생의 출현여부, 상이한 기질에서의 천이과정, 천이를 일으키는 원인 규명, 종조성이 어떤 기작을 거쳐서 바뀌는가? 그리고 극상이란 것이 존재하는가? 등이 라고 할 수 있다(김준호 등 2007, 이규송 1995, Connell & Slatyer 1977, Egler 1954, Odum 1969). 천이는 어떤 상태의 기질상태로부터 출발하느냐에 따라서 건생천이계열과 수생천이계열로 구분할 수 있다(김준호 등 2007). 삼림에서 교란이 후에 일어나는 천이나 방치된 목밭에서 일어나는 천이 등은 건생천이 계열에 속하고 하천이나 호소 등 수체가 있는 지역으로부터 일어나는 천이는 수생천이계열에 속한다(김준호 등 2007, 김종홍과 이도진 2002). 호소 내에서 일어나는 식생천이는 식생의 동심원적 구조와 호소의 중심부로부터 노출수면, 침수식생, 부유 및 부엽식생, 정수식생, 소택관목지 식생 및 교목림으로 이루어지는 대상 분포를 통하여 확인할 수 있다(김준호 등 2007, 김철수 2000, Wetzel 1983).

호소 및 습지의 천이에 관한 주요 연구로는 호소와 범람원에서 천이(Johnson *et al.* 1985, Van der Valk 1981, Walkr *et al.* 1986), 대형 수생 식물에 의한 육지화 속도(Carpenter 1981), 버들속의 분포(Alliende & Harper 1989, Dionigi *et al.* 1985, Niiyama 1990) 등이 이루어졌다. 국내에서 수생천이계열에 대한 연구로는 하천, 내륙늪지 및 목논 등의 담수역에서 일어나는 천이(김철수 2000, 김철수와 오경환 1999, 이창석 등 1998)와 바닷가의 염습지에서 일어나는 천이(마호섭 등 1996, 문형태 1984, 민병미 1985, 민병미와 김준호 1983, 이점숙 1990, 이충영 1991) 등이 다루어졌다. 동해안의 많은 석호에서 건육화과정이 진

행되었다. 동해안에 분포하는 18개의 석호 중 호소의 원형, 구조 및 기능을 제대로 갖추고 있는 석호는 7 - 8개에 불과하다(김혜영 2009, 원주지방환경청 2008). 따라서 동해안의 석호에 대한 보전 및 복원 방안 수립이 진행되고 있다. 보다 효과적인 석호의 보전 및 복원을 위해서 현재 가장 중요한 사항은 18개 석호에 대한 생태현황, 건육화 상태 및 호소에서 일어나는 자연적인 혹은 인위적인 천이진행에 대한 과학적인 자료의 축적이라고 할 수 있다. 다른 내륙 습지, 염습지 등에서 일어나는 수생 천이의 연구에 비해 동해안 석호습지에서는 건육화 과정에 따른 천이과정에 대하여 체계적으로 다루어진 연구가 매우 드문 실정이다.

본 연구에서는 석호의 가장자리를 중심으로 석호 주변에서 일어나는 수생천이의 단계별 환경요인과 식생구조의 변화를 파악함으로써 석호 습지의 식생천이 과정에서 일어나는 생태현상을 파악하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 천이단계의 구분 기준

천이단계는 수심, 식생구조의 분화 및 식생의 구성을 기준으로 7단계로 구분하였다. I 단계는 수

심이 1-2m이고 식생이 분포하지 않는 노출된 수면으로 이루어진 단계이고, II 단계는 수심이 1~2m 범위이고 침수식물의 피도가 70% 이상이 되는 단계이다(Fig. 1). III 단계는 수심이 0.1~1m 범위이고, 침수식물의 피도가 70% 이하이며 정수식물의 피도가 70% 이상이 되는 단계이다. IV 단계는 수심이 0~0.1m 범위이고, 정수식물의 피도가 50% 이상이 되는 단계이다. II - IV 단계까지는 초본층만 분포하는 단계이다(Fig. 1). V 단계는 관목 피도가 20% 이상, 정수식물 피도 70% 이하, 습생식물 피도 10% 이상 그리고 중생식물의 피도 10% 이상인 단계로 수심이 측정되지 않고 초본층과 관목층의 2층 구조를 이룬다. VI 단계는 아교목 피도가 50% 이상, 정수식물의 피도 70% 이하, 습생식물 피도 30% 이상 그리고 중생식물의 피도 30% 이상인 단계로 초본층, 관목층 및 아교목층의 2 - 3층 구조를 이룬다. VII 단계는 교목 피도가 50% 이상, 습생식물 피도 30% 이하 그리고 중생식물 및 임의 식물 피도 70% 이상인 단계로 산림과 마찬가지로 초본층, 관목층, 아교목층 및 교목층의 2 - 4층 구조로 분화된 단계이다(김혜영 2009, Fig. 1). Fig. 1은 상기에 언급한 각 천이단계별 특성을 나타내는 대표적인 조사 지소들의 사진자료이다.

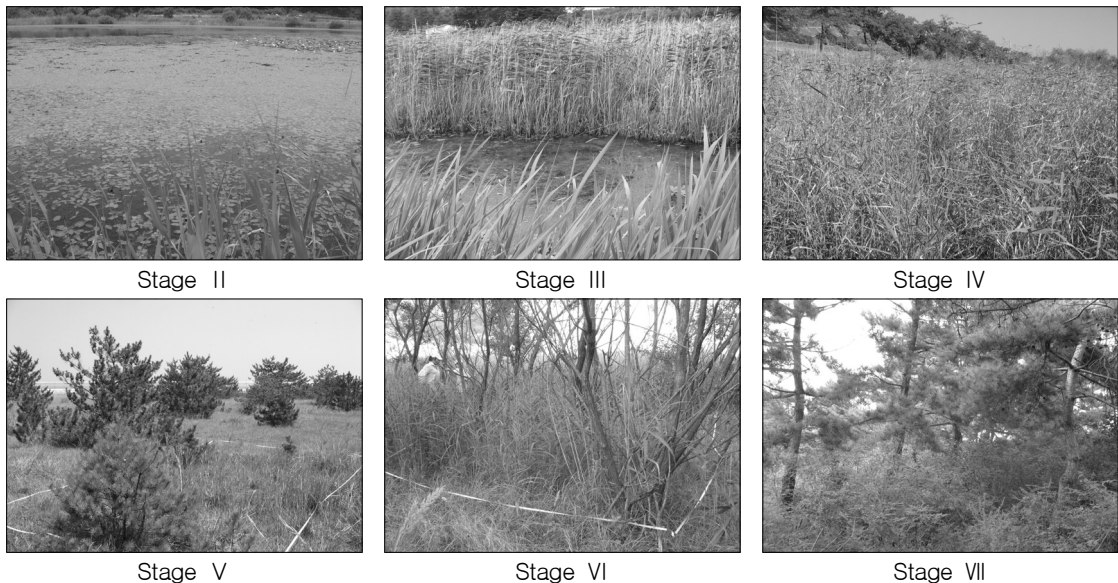


Fig. 1. Photographs for the division of vegetation successional stage in the east coastal lagoons, Korea

2.2 조사지점의 선정

동해안 석호에서 수생천이계열에 따른 수체환경, 토양입자환경 및 식생구조의 변화를 살펴보기 위해 천이상태가 다르다고 판단되는 송지호 9 지점, 천진호 1 지점, 가평리습지 1 지점, 쌍호 1 지점, 군개호 1 지점, 매호 2 지점, 향호 1 지점, 순포호 1 지점, 경포호 1 지점, 풍호 1 지점 총 19 지점을 선정하였다. 각 조사지점별 천이단계, GPS상의 위치, 우점종, 기질 및 표면의 수분상태를 Table 1

에 정리하였다. 선정된 19개 지점에서 수체환경, 토양입자환경 및 식생조사를 수행하였다. Table 1에는 I 단계의 조사지점을 지정하지 않았다. 천이 진행상 I 단계는 노출수면의 상태이기 때문에 특정 지점을 선정하기보다 동해안의 석호 수질의 대표성을 고려하여 수질을 측정하였다. 따라서 동해안의 석호를 대표하는 7개 석호(화진포호, 송지호, 영랑호, 청초호, 매호, 향호 및 경포호)에서 식물이 분포하지 않고 수면이 노출된 총 21개 조사지점의 수질을 I 단계의 수체환경요인으로 간주하였다.

Table 1. General description about the investigated 19 sites for this study

Successional Stage	Name of lagoon	GPS point (latitude/longitude)	Dominant species	Substrate	Wet condition
II	Song-ji 7	N 38° 20' 09.1" E 128° 30' 58.8"	<i>Myriophyllum spicatum</i>	Sand	Water body
II	Song-ji 8	N 38° 19' 53.2" E 128° 30' 47.7"	<i>Myriophyllum spicatum</i> ,	Sand	Water body
II	Chun-jin	N 38° 15' 09.6" E 128° 33' 20.6"	<i>Brasenia schreberi</i>	Sand	Water body
III	Song-ji 9	N 38° 19' 51.5" E 128° 30' 51.2"	<i>Phragmites communis</i>	Sand	Water body
III	Gapyung-ri	N 38° 06' 09.6" E 128° 38' 52.6"	<i>Phragmites communis</i>	Sand	Water body
IV	Song-ji 3	N 38° 20' 10.6" E 128° 31' 14.8"	<i>Phragmites communis</i>	Sand	Wet
IV	Song-ji 4	N 38° 20' 12.9" E 128° 31' 12.0"	<i>Phragmites communis</i>	Sand	Wet
IV	Sun-po	N 37° 48' 49.9" E 128° 53' 10.2"	<i>Phragmites communis</i>	Clay	Wet
V	Song-ji 1	N 38° 20' 08.0" E 128° 31' 14.6"	<i>Phragmites communis</i>	Sand	Slightly wet
V	Mae 2	N 37° 57' 07.8" E 128° 46' 16.7"	<i>Amorpha fruticosa</i>	Loamy sand	Slightly dry
V	Song-ji 10	N 38° 19' 51.1" E 128° 30' 50.2"	<i>Salix koreensis</i>	Loamy sand	Wet
VI	Song-ji 2	N 38° 20' 08.1" E 128° 31' 13.9 "	<i>Pinus thunbergii</i>	Sand	Dry
VI	Song-ji 5	N 38° 20' 16.0" E 128° 31' 07.8"	<i>Pinus thunbergii</i>	Sand	Dry
VI	Ssang	N 38° 05' 14.2" E 128° 39' 43.7"	<i>Salix koreensis</i>	Clay	Wet
VI	Gungae	N 38° 01' 47.3" E 128° 42' 36.1"	<i>Salix koreensis</i>	Clay	Slightly wet
VII	Mae 1	N 37° 56' 54.7" E 128° 46' 23.8"	<i>Pinus densiflora</i>	Loamy sand	Dry
VII	Hyang	N 37° 54' 45.0" E 128° 48' 46.8"	<i>Pinus thunbergii</i>	Loamy Sand	Dry
VII	Kyung-po	N 37° 47' 46.1" E 128° 54' 28.2"	<i>Pinus densiflora</i>	Loamy sand	Dry
VII	Pung	N 37° 44' 34.2" E 128° 57' 42.6"	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	Loamy sand	Dry

2.3 식생조사

식생 조사는 2008년 7월부터 2008년 9월에 실시하였다. 각각의 조사지점에서 초본층만 분포한 지소는 3m × 5m 크기의 방형구로 조사하였고, 초본층과 관목층이 발달한 지소는 5m × 8m 크기의 방형구로, 초본층, 관목층 및 아교목층이 출현한 지소는 10m × 10m 크기의 방형구로, 교목층이 출현한 지소는 10m × 15m 크기의 방형구로 조사하였다. 또한 모든 지소에 3m × 5m 크기의 방형구를 기본적으로 조사하여 지소간의 비교가 가능하도록 하였다. 방형구를 설치한 다음 방형구에 내에 출현하는 종조성과 종류별 피도를 기록하였다. 모든 지소에서 흉고직경 2.5cm 이상인 교목성 목본은 매목조사를 수행하였고, 흉고직경 2.5cm 이하인 교목성 목본은 기저직경을 측정하였다. 현존 식물량을 추정하기 위하여 초본과 관목은 수확법을 이용하였고, 매목조사된 목본은 상대생장법을 이용하여 현존식물량을 추정하였다. 초본 중 지하부의 발달이 미약한 침수식물과 부엽식물은 지상부 식물량을 현존식물량으로 간주하였고, 기타 초본과 관목의 지하부 식물량은 지상부 식물량의 25%로 추정하였다. 소나무와 곶솔의 식물량은 박인협과 김준선(1989)이 제시한 상대생장식으로, 그리고 버드나무의 식물량은 김태근(2006)이 제시한 원자료를 이용하여 상대생장식을 구하여 추정하였고, 기타 낙엽수의 식물현존량은 박인협(1985)이 제시한 상대생장식을 이용하여 추정하였다. 식생자료에서 얻은 자료를 이용하여 Curtis & McIntosh (1951) 방법에 따라 상대피도(RC), 상대빈도(RF)를 합산하여 중요치 백분율을 산출하였다. 종다양성지수는 (H')는 Shannon - Wiener의 식으로, 균등도 지수 (J')는 Pielou(1969)의 식으로 그리고 우점도 지수 (C)는 Simpson (1949)의 식을 이용하여 다음과 같이 계산하였다.

$$H' = - \sum (ni/N) * \ln(ni/N)$$

$$J' = H'/\ln(S)$$

$$C = \sum (ni/N)^2$$

여기에서 ni는 한 조사 지소내에서 i 종의 중요치를 의미하고, N은 모든 종의 중요치 합인 100을 나타낸다. 또한 S는 한 조사지소 내에 출현한 종수를 나타낸다.

2.4 입지 환경요인의 측정

수체의 pH, 전기전도도 및 염분도는 현장에서 채수하여 Consort C535 모델을 이용하여 측정하였다. 토양 성분 분석을 위한 시료는 2008년 7월부터 9월까지 각 조사 지소에서 무작위로 5 지점을 선정하여 낙엽층을 제거한 다음 채취하였고, 물이 있는 지점은 길이 20cm, 직경 6cm의 플라 스틱 관을 이용하여 채취하였다. 채취한 토양 시료는 2 주간 음건시킨 후 2mm 체로 쳐서 유기물 함량, 토양 pH, 전기전도도 및 염분도를 측정하였다. 유기물함량은 약 10g의 토양을 도가니에 넣어 105℃에서 24시간 건조시킨 무게와 전기로에서 4 시간 동안 600℃로 태운 무게의 차이로 구하였다. 토양의 pH와 전기전도도는 10g의 음건 토양과 증류수를 1 : 5(w/w)로 혼합하여 30분간 진탕시킨 후 여과지로 여과시킨 용액을 이용하여 측정하였다. 낙엽층 두께는 각 조사 지소에서 막대자를 이용하여 5회 이상 측정하여 그 평균값을 이용하였다.

2.5 통계분석

본 논문에서 각 단계별로 입지환경, 식생구조 및 군집속성의 비교를 위하여 사용한 기술통계는 Excel 2007을 이용하였다. 또한 천이 진행과 분화에 따른 종조성의 변화 특성을 나타내기 위하여 사용한 DCA ordination은 PC-ORD program(PC-ORD 5)을 이용하여 분석하였다. DCA ordination은 천이 V - VII 단계에 속하는 지소에서 구성 식물종의 중요치가 1 이상의 값을 가지는 종들만을 대상으로 분석하였다.

3. 결 과

3.1 입지환경의 변화

천이진행 단계에 따른 수체와 입지환경요인의 변화를 Table 2에 나타내었다. 수체환경은 천이 I 단계에서 III 단계까지만 측정되었고, 그 이상의 단계에서는 수체환경이 측정되지 않았다. 천이단계가 진행됨에 따라 수심은 알아지는 경향이 뚜렷하였고, 염분도와 전기전도도는 낮아지는 경향이 뚜렷하였다. 그러나 pH는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 수체의 pH는 석호의 속성상 기수호의 특성으로 pH 7 이상의 알칼리성을 나타내고 있다(엄정훈 1998). 토양의 pH는 천이진행에 따라 다소 감소하는 경향이 있었지만 뚜렷한 경향성은 없다고 할 수 있다. 토양의 전기전도도는 천이진행에 따라 뚜렷하게 감소하는 경향을 그리고 유기물함량은 뚜렷하게 증가하는 경향을 나타내었다. 낙엽층 두께는 천이 진행에 따라 뚜렷한 경향성이 없었는데 같은 단계 내에서도 매우 큰 편차를 나타내었다. 대체적으로 입지환경은 천이단계보다는 석호별로 해수의 영향이 다르기 때문에 조사된 지점에 미친 해수의 영향이 더 큰 것으로 보인다. 따라서 서로 다

른 지소(석호)에서 조사된 같은 천이단계들의 입지환경은 큰 편차를 나타내는 것으로 판단되었다.

3.2 식생구조의 발달

천이진행에 따른 층상구조의 발달은 II 단계에서 침수식물 1 층이, III - IV 단계에서 정수식물로 이루어진 초본층으로 이루어지는데, 이 단계에서는 때로 침수식물층과 정수식물층의 2층 구조를 형성하기도 한다. V 단계에서부터 목본층이 발달하기 시작하여 V 단계에서는 관목층과 초본층의 2층 구조가, VI 단계에서 아교목층, 관목층 및 초본층의 3층 구조가 그리고 VII 단계에서는 육상 산림생태계와 마찬가지로 교목층, 아교목층, 관목층 및 초본층의 4층 구조가 완성되는 경향이 있다(Table 3). 그러나 VI - VII 단계에서 교목층이 발달함에도 불구하고 아교목층이나 관목층의 발달이 미약하여 2 - 3층 구조를 이루는 경우도 관찰되었다. 그 이유는 교목의 밀집으로 인한 하층에서의 빛 조건의 감소 혹은 간벌이나 답압 등 인간에 의한 간섭 때문이었다. 초본층의 수고, 피도 및 생물량은 II - III 단계에서 가장 높은 값을 나타내었고, 관목층은 V단계에서 가장 잘 발달하였다(Table 3).

Table 2. Change of environmental factors according to the seral stage. Numbers in brackets mean standard deviation

Environmental factor	Seral stage						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Water body							
Water depth(m)	1.67(0.80)	0.77(0.21)	0.30(0.10)	0.05(0.04)	-	-	-
Salinity(ppt)	14.4(8.3)	2.5(1.7)	1.9(1.9)	-	-	-	-
EC(ms/cm)	24.4(12.8)	4.6(3.1)	4.0(2.7)	-	-	-	-
pH	8.10(0.3)	7.50(0.5)	8.50(0.8)	-	-	-	-
Soil							
pH	-	6.21(0.71)	5.71(0.68)	5.70(0.76)	6.19(0.29)	5.86(0.29)	5.60(0.29)
EC(μ s/cm)	-	227.0(188.5)	206.3(91.8)	112.6(114.8)	95.0(76.4)	52.6(23.4)	90.0(46.4)
Organic matter(%)	-	0.72(0.25)	1.55(0.78)	1.32(1.05)	6.55(3.71)	4.62(2.47)	8.85(4.11)
Litter depth(cm)							
	-	-	-	-	2.07(1.81)	1.40(1.31)	3.60(0.85)

Table 3. Change of the vegetation structure according to the seral stage. Numbers in brackets mean standard deviation

Factors	Seral stage						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Height(m)							
Tree layer	-	-	-	-	-	-	12.5(2.1)
Subtree layer	-	-	-	-	-	8.0(0.8)	7.0(3.0)
Shrub layer	-	-	-	-	3.1(1.1)	1.1(0.8)	1.8(2.1)
Herb layer	-	-0.8(0.2)	1.5(0.2)	1.7(0.1)	0.9(0.4)	0.6(0.5)	0.7(0.6)
Coverage(%)							
Tree layer	-	-	-	-	-	-	65.0(11.2)
Subtree layer	-	-	-	-	-	71.3(13.4)	5.0(8.7)
Shrub layer	-	-	-	-	41.7(20.1)	12.5(8.3)	25.0(32.8)
Herb layer	-	86.7(12.5)	97.5(2.5)	83.3(23.6)	95.0(4.1)	80.0(29.2)	90.0(7.9)
Stratification	0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.5(0.6)	2.8(1.0)
Basal area(m ² /ha) based on DBH	-	-	-	-	0.3(0.4)	16.3(7.6)	28.9(15.8)
Stem density(No./ha)	-	-	-	-	1500(2598)	3300(2385)	967(221)
Standing Biomass(Mg/ha)							
Herb layer	-	1.9(1.6)	6.9(3.8)	5.1(1.5)	3.4(1.5)	3.0(3.2)	1.8(2.0)
Woody layer	-	-	-	-	2.7(3.1)	48.8(20.8)	126.8(60.5)
Total	-	1.9(1.6)	6.9(3.8)	5.1(1.5)	6.0(3.6)	51.8(22.0)	128.6(58.8)

V 단계에서 나타나기 시작하는 관목층의 수고는 후기 단계로 갈수록 작아졌다. VI 단계에서 나타나는 아교목층의 수고는 VII 단계에서 작아졌다. 이것은 관목층에서 아교목층으로 아교목층에서 교목층으로 발달해가는 과정과 층상구조의 완성에 따라 임상으로 들어오는 빛이 감소하기 때문이다. 초본층의 피도는 지소에 따른 편차가 컸지만 모든 단계에서 잘 발달되어 있는 경향이였다. 관목층의 피도와 아교목층의 피도는 천이진행에 따라 점차 감소하는 경향이였다. 흉고단면적과 목본의 현존식물량은 천이진행에 따라 뚜렷하게 증가하였다(Table 3). 목본의 줄기 밀도는 아교목단계인 VI 단계에서 최고치를 나타낸 후 VII 단계에서는 자기숙음질에 의하여 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 총 현존 식물

량은 천이진행에 따라 뚜렷하게 증가하였다(Table 3). Fig. 2는 교목성 목본이 출현하는 V - VII 단계에서 목본의 흉고등급에 따른 줄기 수의 변화를 나타낸 것이다. 교목성 목본의 줄기밀도는 지소에 따른 편차가 컸는데 대체적으로 맹아발생을 하는 버드나무류가 우점하는 경우가 소나무류가 우점하는 경우보다 밀도가 높은 경향이 뚜렷하였다. V 단계의 목본은 목본이 새로이 침투하여 자라는 단계이기 때문에 역 J자형의 분포를 나타냈지만, VI 단계와 VII 단계는 중형 분포를 나타내고 있었다. VI 단계의 목본은 흉고직경 5 - 10cm 급에서 가장 높은 값을 나타내었고, VII 단계에서는 10 - 30cm 급에서 가장 높은 값을 나타내었다(Fig. 2).

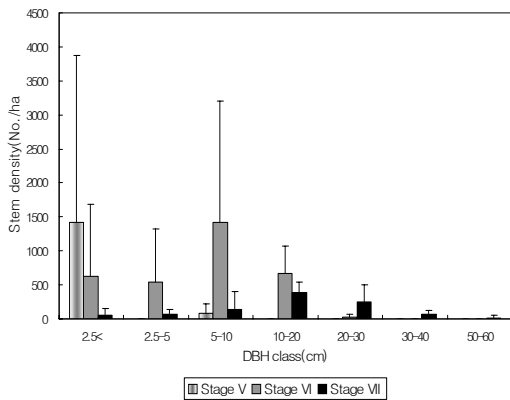


Fig. 2. Stem density according to the DBH class of the sites belong to the successional stage V, VI and VII.

3.3 군집속성의 변화

천이 진행에 따른 종풍부도는 천이단계에 따른 수습생식물과 중생식물의 변화와 밀접한 관련을 나타내었다. 수습생식물과 습생식물은 III 단계에서 최고치를 나타낸 후 천이진행에 따라 감소하는 경향

이 뚜렷하였고, 중생식물은 천이진행에 따라 지속적으로 증가하는 경향이 뚜렷하였다(Table 4). 따라서 전체 종풍부도는 수습생식물이 가장 많이 출현한 III 단계까지 증가하였다가, 수체가 사라지고 입지조건의 건조화가 진행되고 있는 IV단계에서 수습생식물의 감소와 중생식물의 낮은 침입으로 인해 감소하였다가, 중생식물의 침투가 활발해지는 천이 후기 단계로 갈수록 점차 증가하는 경향을 나타내었다(Table 4). 침수식물, 부엽식물 및 부수식물은 수체가 분포하는 III 단계까지만 분포하였고, 습생식물은 III - IV 단계에서 가장 다양한 종들이 출현하였으며, 중생식물의 본격적인 침투는 V 단계 이후에 이루어졌다. 천이 진행에 따른 종다양성 지수(H')는 종풍부도와 비슷하게 III 단계까지 증가하다가 IV - V 단계에서 감소하였다가 후기 단계인 VI - VII 단계에서 증가하는 경향을 나타내었다. 우점도 지수(C)는 II 단계와 IV 단계에서 정점을 나타내었고, 균등도지수(J')는 III 단계에서 최고치를 나타낸 후 감소하였다가 후기 단계에서 증가하는 경향을 나타내었다(Table 4).

Table 4. Change of the species richness and diversity indices according to the seral stage. Numbers in brackets mean standard deviation

Factors	Seral stage						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Species richness(No./15m ²)	-	2.7(2.1)	10.0(1.4)	6.3(6.1)	8.7(3.5)	14.3(4.1)	15.8(5.3)
Hydrophyte	-	2.7(2.1)	4.0(0.0)	2.0(1.0)	0.7(0.6)	1.0(0.8)	-
Submerged plant	-	1.3(0.6)	1.5(0.7)	-	-	-	-
Free-floating plant	-	-	0.5(0.7)	-	-	-	-
Floating-leaved plant	-	1.0(1.7)	0.5(0.7)	-	-	-	-
Emergent plant	-	0.3(0.6)	1.5(0.7)	2.0(1.0)	0.7(0.6)	1.0(0.8)	-
Hygrophyte	-	-	4.5(0.7)	3.0(3.6)	2.0(3.5)	3.3(4.3)	2.0(0.8)
Mesophyte(herbaceous plant)	-	-	1.5(2.1)	1.3(2.3)	5.0(1.7)	8.0(3.5)	11.3(5.4)
Woody plant	-	-	-	-	1.0(0.0)	2.0(0.8)	2.5(1.7)
Species diversity(H')	-	0.743 (0.770)	2.175 (0.038)	1.268 (1.186)	1.961 (0.267)	2.454 (0.255)	2.463 (0.393)
Dominance index(C)	-	0.577 (0.391)	0.137 (0.023)	0.459 (0.474)	0.171 (0.041)	0.107 (0.025)	0.114 (0.046)
Evenness index(J')	-	0.619 (0.541)	0.926 (0.043)	0.607 (0.526)	0.912 (0.045)	0.921 (0.016)	0.908 (0.013)

3.4 종조성의 변화

Table 5는 각 단계별로 출현한 모든 종의 중요치를 주요 생활형별로 합산하여 천이단계에 따른 변화를 나타낸 것이다. 천이 II 단계에서는 침수식물과 부엽식물이 절대적으로 우점하는 단계이고, III 단계에서는 정수식물이 우점하면서 침수식물이 잔존하고 습생식물이 새로이 침투하는 경향이 두드러졌다. IV 단계에서는 정수식물이 절대적인 우점종이 되고, V 단계부터 수습생식물의 우점도보다 중생식물의 우점도가 커지며, 후기 단계로 갈수록 수습생식물의 중요치가 더욱 작아지며 중생식물의 중요치가 더욱 커지는 것을 확인할 수 있다. 결론적으로 천이단계가 진행됨에 따라 침수식물에서 정수식물로, 정수식물에서 습생식물과 중생식물로, 초본식물에서 목본식물로 순차적으로 변화한다고 할 수 있다. 다만 천이가 진행되는 지소의 토양의 건조정도에 따라 침투하는 식물이 다소 달라져서 건조한 입지일수록 건조한 입지에서 우점하는 육상식물의 침투가 보다 빠르게 이루어지는 것을 확인할 수 있다(Table 5, 6).

Table 6은 고정조사구내에서 출현한 식물 중에서 적어도 한 단계에서 중요치 1이상을 나타내는 종만을 선별하여 중요치의 변화를 천이 단계별로 정리한 것이다. 천이단계별로 중요치가 가장 높은 2종씩을 선별하면, 천이 II 단계에서 이삭물수세미와 실말, III 단계에서 갈대와 붕어마름이, IV 단계에서 갈대와 물꼬챙이골이, V단계에서 갈대와 족제비싸리가, VI 단계에서 곰솔과 갈대가 그리고 VII 단계에서 물억새와 아까시나무이었다. 주요 식물의 생활형별 천이단계에 따른 우점도를 살펴보면, 침수식물은 대부분 천이 II 단계에서 높은 우점도를 나타내고 있었는데, 가장 중요치가 큰 식물은 이삭물수세미이었다. 침수식물은 천이 III 단계에서도 나타나는데 출현하는 식물은 조사지점의 담수화 정도에 따라 달라진다. 본 조사에서는 천이 III 단계에 대한 조사가 담수역에서 많이 이루어졌기 때문에 담수역의 우점 침수식물인 붕어마름이 높은 중요치를 나타내었다. 부엽식물은 수심이 일정하게 유지되는 천이 단계 II 에서 높은 우점도를 나타내

었다. 석호와 같이 기수역을 나타내는 습지의 천이에서 가장 중요한 역할을 하는 정수식물은 내염성이 강한 갈대이었다. 갈대의 중요치는 천이단계 IV에서 최대치를 나타낸 후 점차 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 물꼬챙이골은 천이단계 III - IV 단계에서 나타났는데, IV 단계에서 중요치가 다소 높게 나타났다. 정수식물 중 갈대에 비해 상대적으로 담수역에 잘 적응한 큰고랭이와 줄은 천이 IV 단계 이전에서 지소에 따라 간헐적으로 출현하였다. 습생식물 중에서 골풀류, 기장대풀, 개발나물, 부처꽃은 천이 III 단계에서 우점도가 가장 높았고, 도깨비사초와 쉽사리는 IV 단계에서 가장 높은 우점도를 나타냈으며, 조개풀, 갈풀, 물억새, 고마리 등은 VI 단계 이상에서 우점도가 높았다. 중생식물은 대부분 V 단계 이상에서 우점도가 증가하였는데, 천이가 진행되는 지소의 건조 상태에 따라 우점하는 종들이 다소 달라지는 경향이 있었다. 대체적으로 건조한 입지조건에서 우점하는 목본은 족제비싸리, 소나무, 곰솔, 아까시나무 등의 반면에 습한 입지조건에서는 버드나무가 우점하였다. 중생식물로 구분되는 초본들의 대부분도 V 단계 이상에서 중요치가 최대치를 나타내었는데, 띪는 IV - VI 단계에서, 큰김의털, 잔디, 진퍼리사초, 개솔새 등은 V - VI 단계에서, 쑥, 왕잔디, 김의털, 오리새, 개밀, 강아지풀, 주름조개풀 등은 VI - VII 단계에서 가장 높은 우점도를 나타내었다(Table 6).

Table 5. Change of the sum of importance value of the plants belong to the same life form according to the seral stage

Life form	Seral stage						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Hydrophyte							
Submerged plant	0	80	12	0	0	0	0
Floating-leaved plant	0	19	0	0	0	0	0
Emergent plant	0	1	44	77	25	17	0
Hygrophyte	0	0	30	13	2	12	18
Mesophyte(woody species)	0	0	0	0	31	29	32
Mesophyte(herbaceous species)	0	0	14	10	43	41	50
Total	0	100	100	100	100	100	100

Table 6. Change of the importance value of selected species ($IV \geq 1$) according to the seral stage

Life form	Scientific name	Korean name	Seral stage						
			I	II	III	IV	V	VI	VII
Submerged plant	<i>Myriophyllum spicatum</i>	이삭물수세미	0.0	51.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	<i>Potamogeton bertholdi</i>	실말	0.0	15.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	<i>Utricularia japonica</i>	통발	0.0	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<i>Ceratophyllum demersum</i>	붕어마름	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Floating-leaved plant	<i>Potamogeton distinctus</i>	가래	0.0	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<i>Brasenia schreberi</i>	순채	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<i>Nymphaea tetragona</i> var. <i>minima</i>	각시수련	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Emergent plant	<i>Phragmites communis</i>	갈대	0.0	0.0	38.7	61.1	24.6	14.0	0.0
	<i>Eleocharis mamillata</i>	물꼬챙이골	0.0	0.0	5.5	14.0	0.0	0.0	0.0
	<i>Scirpus fluviatilis</i>	매자기	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0
	<i>Scirpus tabernaemontani</i>	큰고랭이	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0
Hygrophyte	<i>Zizania latifolia</i>	줄	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<i>Cyperus</i> sp.	골풀과 sp.	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.6
	<i>Isachne globosa</i>	기장대풀	0.0	0.0	6.8	0.0	0.1	0.0	0.0
	<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i>	갈풀	0.0	0.0	5.4	0.1	0.0	0.1	0.0
	<i>Sium suave</i>	개발나물	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.8	0.0
	<i>Lythrum anceps</i>	부처꽃	0.0	0.0	3.8	0.0	1.7	0.0	0.0
	<i>Carex dickinsii</i>	도깨비사초	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0
	<i>Arthraxon hispidus</i>	조개풀	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	4.6	0.4
	<i>Lycopus ramosissimus</i> var. <i>japonicus</i>	헛사리	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0
	<i>Persicaria thunbergii</i>	고마리	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	4.6	0.0
	<i>Phalaris arundinacea</i>	갈풀	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	4.3
	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	물억새	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	12.8
	Mesophyte (Woody species)	<i>Amorpha fruticosa</i>	죽제비싸리	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	0.0
<i>Salix koreensis</i>		버드나무	0.0	0.0	0.0	0.0	13.4	10.3	0.0
<i>Pinus densiflora</i>		소나무	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	7.0
<i>Pinus thunbergii</i>		곰솔	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	8.8
<i>Rosa rugosa</i>		해당화	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0
<i>Robinia Pseudo-acacia</i>		아까시나무	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	10.3
<i>Carex</i> sp.		사초과 sp.	0.0	0.0	11.0	0.0	1.6	0.0	0.0
Mesophyte (herbaceous species)	<i>Belamcanda chinensis</i>	범부채	0.0	0.0	2.7	0.0	0.1	0.0	0.0
	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i>	띠	0.0	0.0	0.0	9.7	0.0	6.9	0.0
	<i>Festuca arundinacea</i>	큰김의털	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	0.0	0.0
	<i>Zoysia japonica</i>	잔디	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	9.2	0.0
	<i>Carex arenicola</i>	진퍼리사초	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	3.5	0.0
	<i>Equisetum ramosissimum</i>	개솔새	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	1.2	0.0
	<i>Achyranthes japonica</i>	쇠무릅	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.1	0.1
	<i>Chrysanthemum boreale</i>	산국	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
	<i>Artemisia princeps</i> var. <i>orientalis</i>	쑥	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	2.5	7.9
	<i>Zoysia macrostachya</i>	왕잔디	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0
	<i>Festuca ovina</i>	김의털	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	5.5
	<i>Carex pumila</i>	좁보리사초	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0
	<i>Rumex acetocella</i>	애기수영	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8
	<i>Adropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	개밀	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1
	<i>Dactylis glomerata</i>	오리새	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4
<i>Setaria viridis</i>	강아지풀	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	
<i>Oplismenus undulatifolius</i>	주름조개풀	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	
<i>Oxalis corniculata</i>	팽이밥	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	

3.5 건생천이 계열과 수생천이 계열의 분화

Fig. 3은 천이 후기 단계에서 건생천이 계열과 수생천이 계열로의 분화에 따른 종구성의 변화를 파악하기 위하여 DCA ordination을 시행한 결과이다. DCA ordination은 천이 V - VII 단계에 속하는 지소만을 선별하여 구성 식물종의 중요치가 1 이상의 값을 가지는 종들만을 대상으로 분석하였다. DCA I 축과 II 축의 아이젠치는 각각 0.924(전 분산의 56%)와 0.475(전 분산의 29%)로 I 축과 II 축으로의 분산의 집중률이 컸다. DCA I 축과 II 축 상에 출현 종들을 배열한 결과 크게 I 축의 왼쪽에 위치하고 II 축의 하단부에 위치하는 종 1그룹, I 축의 오른쪽과 II 축의 중간부위에 위치하는 종 2 그룹 그리고 I 축의 왼쪽이면서 II 축의 상단에 위치하는 종 3그룹으로 분리되는 경향이 있었다. 종 1 그룹은 다른 종들에 비해 습한 입지조건에서 우점하는 목본인 버드나무와 갈대, 매자기, 고마리, 부처꽃, 물억새, 그리고 갈풀 등의 수생식물과 습생식물이었다. 종 2그룹은 다른 종들에 비해 건조한 사질의 입지조건에서 우점하는 목본인 곰솔, 족제비싸리 그리고 해당화와 잔디, 락 등의 중생식물이나 해안가 모래땅에 잘 적응한 쯔보리사초나 진퍼리 사초와 같은 사구성 식물로 이루어진 군락(종 2그룹)

에는 곰솔, 족제비싸리, 해당화 등으로 이루어진 목본 층이 발달하고, 하층에는 잔디, 락 등의 중생식물이나 해안가 모래땅에 잘 적응한 쯔보리사초나 진퍼리 사초와 같은 사구성 식물로 이루어진 군락(종 2그룹)

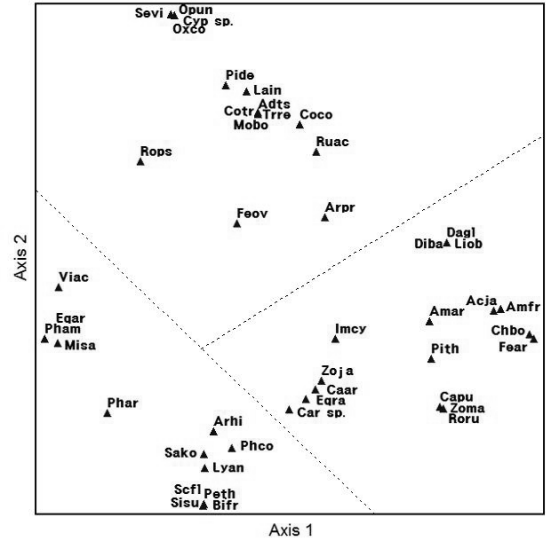


Fig. 3. DCA ordination of plant species based on the importance value(IV) data of selected species (IV ≥ 1) distributed in the seral stages from V to VII stage.

Acja: *Achyranthes japonica*, Adts: *Adropyrnon tsukushiense* var. *transiens*, Amfr: *Amorpha fruticosa*, Arpr: *Artemisia princeps*, Arhi: *Arthraxon hispidus*, Caar: *Carex arenicola*, Capu: *Carex pumila*, Car sp.: *Carex* sp., Chbo: *Chrysanthemum boreale*, Cyp sp.: *Cyperus* sp., Dagl: *Dactylis glomerata*, Egra: *Equisetum ramosissimum*, Fear: *Festuca arundinacea*, Feov: *Festuca ovina*, Imcy: *Imperata cylindrica* var. *koenigii*, Lyan: *Lythrum anceps*, Misa: *Miscanthus sacchariflorus*, Opun: *Oplismenus undulatifolius*, Oxco: *Oxalis corniculata*, Peth: *Persicaria thunbergii*, Phar: *Phalaris arundinacea*, Phco: *Phragmites communis*, Pide: *Pinus densiflora*, Pith: *Pinus thunbergii*, Rops: *Robinia pseudo-acacia*, Roru: *Rosa rugosa*, Sako: *Salix koreensis*, Scfl: *Scirpus fluviatilis*, Sevi: *Setaria viridis*, Sisu: *Sium suave*, Zoja: *Zoysia japonica*, Zoma: *Zoysia macrostachya*, Ruac: *Rumex acetocella*, Bifr: *Bidens frondosa*, Viac: *Viola acuminata*, Cotr: *Cocculus trilobus*, Amar: *Ambrosia artemisiifolia* var. *elator*, Pham: *Phytolacca americana*, Egar: *Equisetum arvense*, Diba: *Dioscorea batatas*, Liob: *Ligustrum obtusifolium*, Lain: *Lactuca indica* var. *laciniata*, Coco: *Commelina communis*, Mobo: *Morus bombycis*, Trre: *Trifolium repens*.

이 발달한다. 인위적으로 매립되어 토양이 산림토양인 양토로 이루어진 지역에는 인간에 의해 식재된 목본이나 동해안지역의 산림지역에서 천이 초기종으로 정착하는 소나무 등이 목본층을 형성하고 마을주변에서 주로 서식하는 교란지식물이나 산림에서 출현하는 초본으로 구성된 군락(종 3그룹)이 발달한다고 할 수 있다. 이 들 세 그룹은 입지조건에 따라 석호습지의 천이과정에서 같은 시기에 출현할 수 있다. 하지만 습생식물로 이루어진 식물군락은 시간이 지남에 따라 토양의 건조화와 양분의 축적에 따라 점차 산림성 목본과 초본이 우점하는 군락으로 발달해 갈 것으로 추정된다.

4. 논 의

석호에서 일어나는 식생천이도 내륙의 다른 호소와 비슷한 과정을 거쳐서 육지화 및 식생천이가 진행되므로 수생천이계열에 속한다고 할 수 있다(원주지방환경관리청 2008). 석호에서의 식생천이 과정과 내륙 호소에서 일어나는 식생천이과정과의 가장 큰 차이는 해수나 기수성을 나타내는 수체의 특성이다. 그러나 호소내에서 식생의 동심원적 구조와 호소의 중심부로부터 노출수면 → 침수식생 → 부유식생 → 정수식생 → 소택관목지 식생 → 교목림으로 이루어진 대상 분포를 한다는 것은 공통적이다(김철수 2000, 김준호 등 2007, Wetzel 1983). 호소의 가장자리에 형성된 대상 분포는 수위의 변동에 따라 형성되는 것으로 일반적으로 특정 호소지점에서 시간에 따른 수위변동에 따라 형성되는 수생천이계열과 일치한다(김철수 2000).

본 연구에서는 동해안 석호의 가장자리를 중심으로 서로 천이상태가 다르다고 판단되는 조사지점을 선정하여 수체의 특성, 침수식생, 정수식생 및 발달한 목본층의 수고와 수직적인 층구조의 발달 등을 고려하여 노출수면 단계로부터 교목림 단계까지의 7단계로 구분하여 입지환경, 식생구조 및 종조성의 변화를 파악하였다. 천이가 진행됨에 따라 수심이 점차 얕아져서 관목층이 형성되기 시작하는 일정 단계 이상에서는 수체가 사라지고, 수체의 염

분도, 전기전도도 및 pH가 해수성으로부터 기수성으로 그리고 담수성으로 점차 뚜렷하게 변화해 간다는 것을 확인할 수 있다. 또한 토양 기질의 전기전도도는 점차 감소하고, 유기물함량은 점차 증가하며, 낙엽층이 발달해 간다는 것을 확인할 수 있다(Table 2). 석호습지에서 일어나는 수생천이계열에 따른 식생구조는 초기에 침수식물의 단일 초본층 구조 → 정수식물과 침수식물의 초본 2층 구조 → 초본층과 관목층의 2층 구조 → 초본층, 관목층 및 아교목층의 3층 구조 → 초본층, 관목층, 아교목층 및 교목층의 4층 구조로의 변화를 확인할 수 있는데(Table 3), 천이초기에 비해 목본층의 발달로 인한 임상층의 빛 조건의 감소로 인하여 초본층의 수고와 피도가 다소 낮아지는 경향이 있었다. 천이진행에 따른 종풍부도는 점차 증가하는 경향이 뚜렷하였지만 생활형별로 차이를 나타내었다. 수생식물의 종풍부도는 정수식물이 우점하는 일정 단계까지 증가하다가 후기로 갈수록 감소하는 경향이 뚜렷하였는데, 특히 침수식물, 부엽식물 및 부수식물의 그 것이 뚜렷하였다. 습생식물의 종풍부도는 아교목층이 형성된 단계까지 증가하다가 산림토양으로 이루어진 교목림 단계에서 감소하는 경향이 있었다. 중생초본이나 목본의 종풍부도는 천이진행에 따라 증가하는 경향이 뚜렷하였다(Table 4).

천이단계에 따른 주요 생활형의 변화를 살펴본 결과 (Table 5, 6), 노출수면 → 침수식물과 부엽식물 → 정수식물과 침수식물 → 정수식물 → 중생식물과 정수식물의 관목식생 → 중생식물의 순으로 천이가 진행됨을 알 수 있었고, 이러한 결과는 기존의 호소에서 이루어지는 식생의 변화와 대체적으로 일치하는 결과이었다(김철수 2000, 김준호 등 2007, Wetzel 1983). 석호의 수질은 석호가 형성된 초기 혹은 바다와의 갯터짐이 활발할수록 염분도와 전기전도도가 높고, 육화가 진행될수록 담수화가 진행된다. 이러한 수질의 변화는 천이초기상태에 우점하는 침수식물의 종류에 영향을 줄 수 있는데, 해수성이 강한 지역에서는 파래나 모자반 종류의 해조류가 우점하고 점차 염분도가 낮아지면서 기수에 잘 정착한 침수식물 그리고 담수에 적응한

침수식물로 바뀔 수 있다. 실제 수체의 염분도가 다양한 석호에서 우점하는 침수식생을 살펴본 결과 그러한 경향을 확인할 수 있었다(원주지방환경관리청 2008). 이를 고려하여 염분이 높은 석호로부터 육화과정과 담수화가 동시에 진행된 석호로 수생천이가 진행된다는 가정 하에 상기의 결과를 재정리하면 노출된 해수성 수면 → 해수성 수체(해조류 혹은 *Zostera* 우점) → 기수성 수체(이삭물수세미, 실말 우점), 담수성 수체(붕어마름, 통발, 부엽식물) → 정수식물-침수식물(갈대, 이삭물수세미, 줄말) → 담수화 및 육지화 → 정수식물(갈대, 줄, 큰고랭이) → 소택관목식생(죽제비싸리, 버드나무, 곰솔, 소나무) → 토양의 산림토양화 진행 → 교목림(소나무, 인공조림식생) → 극상림(낙엽활엽수림)의 순으로 바뀌어 갈 것으로 추정할 수 있다.

석호에서 수생천이 계열에 따른 식물종의 변화 과정을 살펴보면(김혜영 2009, Table 6, Fig. 3), 수체로 이루어진 초기 단계는 실말, 통발, 가래, 순채 등 침수식물과 부엽식물이 우점하고, 수심이 얇거나 주기적인 수위변동이 있는 초, 중기 단계에서는 갈대, 부처꽃, 도깨비사초, 개발나물, 물꼬챙이골, 골풀과 같은 정수식물과 습생식물이 우점한다. 지표면에서 물이 빠진 단계에서는 토양기질의 토성에 기인한 배수성의 차이로 인한 수분보유능이나 지하수위의 차이로 인한 토양의 수분상태와 양분상태에 따라 서로 다른 유형의 목본식생이 발달할 수 있다. 기질이 습하게 유지되는 지역에는 버드나무, 갈대, 매자기, 고마리, 부처꽃, 물억새, 갈풀 등 친수성 습생식물이 우점하는 버드나무계열의 군집이 형성되고, 토양이 모래로 이루어져 있어서 배수성이 양호한 입지에는 곰솔, 죽제비싸리, 해당화, 잔디, 띠, 쯤보리사초, 진피리사초 등 해안가 모래땅에 잘 적응한 사구성이나 중생식물로 이루어진 군락이 형성되며, 인위적으로 매립이나 산림지역에서 이동한 토사의 퇴적에 의하여 산림성 토양으로 이루어진 지역에는 소나무, 아까시나무, 뽕나무, 쑥, 김의털, 개밀, 주름조개풀, 강아지풀과 같이 인간에 의해 식재된 목본, 교란지 식물 및 산림성 초본식물로 구성된 식물군락이 형성된다. 김철수(2000)의

연구에 따르면 늪의 육상화 과정은 개방수면, 침수식물, 부엽-부수식물, 정수식물, 소택림, 교목림의 과정으로 일어나며, 이 과정에서 버들류는 관목과 교목층의 개척자 역할을 하고, 늪의 육상화를 촉진한다고 하였다. 즉, 천이가 진행됨에 따라 물이 빠지기 전에는 수위의 유지 상태와 수질이 군락의 종류를 결정하지만, 물이 빠진 후에는 기질의 상태가 발달하는 군락의 종류를 결정하는 경향이 있다고 할 수 있다. 또한 물이 빠진 후에는 습한 지역이든 건조한 지역이든 낙엽층과 유기물층의 발달이 이루어지고, 토양이 보다 건조한 산림토양화로의 진행이 이루어지기 때문에 중국에는 동해안 지역의 기후패턴에 맞는 극상림으로의 수렴이 진행될 것으로 추정된다. Egler(1954)는 천이과정에서의 종 변화 과정을 설명하기 위하여 종조성 대체 모델과 초기 종 조성 모델을 제시하였다. 동해안 석호의 수생천이 계열에 따른 각 종별 우점도 변화를 살펴보면(Table 6), 수심을 유지하는 단계와 물이 빠진 단계의 속성으로 보아 물이 차있는 초기 단계에서는 종조성 대체 모델이 적용된다고 할 수 있고, 물이 빠진 단계에서는 기질 내 수분의 연속성과 동일 단계 내 기질의 이질성으로 인하여 여러 식물종이 동시에 침투하는 것이 관찰되는 것으로 보아 기질의 변화에 따라 점차 우점도가 변화하는 초기종조성 모델을 따른다고 할 수 있다. Connell과 Slatyer(1977)은 천이초기종이 후기종의 침투에 미치는 영향과 역할 그리고 각 종들의 수명이나 환경에 대한 내성에 초점을 두어 촉진모델, 억제모델 및 내성모델을 제시하였는데, 석호의 수생천이 계열에서 우점하는 주요 종들의 역할이 충분히 규명되지 못하여 특정모델을 따른다고 정리할 수는 없다. 그러나 호소의 특성상 천이초기에는 수체의 존재와 수질이 큰 영향을 미친다는 점을 고려하고, 초기에 정착한 수생식물의 사체로 인하여 점차 호소의 육화가 진행된다는 점을 고려하면 천이초기 단계에서는 촉진모델의 역할을 하는 종들이 많을 것으로 추정된다. 또한 물이 많은 입지조건을 고려하면 특정식물이 분해되면서 후기단계에 들어올 식물의 발아, 성장 및 생존에 영향을 줄 수 있는 물

질을 방출할 가능성이 높다. 그러나 일정단계 이상에서는 대체적으로 이질적인 기질을 갖는 입지에 여러 종들이 침투해와 입지조건 변화에 대한 내성이나 수명에 따라 천이가 진행되는 내성모델을 따르는 종들이 많을 것으로 판단된다. 후기단계에서 우점하는 곰솔과 소나무는 대표적인 상극작용을 하는 수종으로 알려져 있고, 인위적으로 식재한 아까시나무는 질소고정능력을 지닌 종으로 척박한 사질성 입지조건을 빠르게 비옥하게 만들어 줄 수 있을 것으로 판단된다.

식생천이가 진행되는 추진력은 자발적 요인이나 타발적 요인으로 구분할 수 있는데(김준호 등 2007, 신승춘과 박용길 2004), 석호에서의 주요한 자발적 요인은 수생식물의 사체로 인하여 호소가 시간이 지남에 따라 메워지는 것이라고 할 수 있고, 타발적 요인은 인간에 의한 매립행위, 사주나 사구의 확장으로 인한 석호의 매립, 유역 내에서 유기물의 유입에 의한 부영양화과정에 의한 매립, 유역내 토사의 유입으로 인한 유입천 부위의 육화과정 등을 들 수 있다(원주지방환경관리청 2008). 여러 요인 가운데 가장 중요한 요인은 과거 식량이 부족한 시기의 농경지 확장을 위한 매립이나 최근의 개발로 인한 인위적 매립이 석호 육화라고 할 수 있다(이민부 등 2006).

감사의 글

본 연구는 원주지방환경청의 “동해안 석호 보전 및 복원을 위한 생태계 정밀조사 및 관리방안”에 대하여 지원된 연구비의 일부에 의해 수행되었기에 이에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

김미희. 1996. 동해안 기수호 동물상의 특징. 동해안 호수보전 심포지움 자료집. pp27~38.
 김종홍, 이도진. 2002. 호소생물의 생태학. 북스힐. 서울.

김준호, 서계홍, 정연숙, 이규송, 고성덕, 이점숙, 임병선, 문형태, 조강현, 이희선, 유영한, 민병미, 이창석, 이은주, 오경환. 2007. 현대생태학. 교문사. 서울. 434p.
 김철수. 2000. 박실늪의 퇴적과 교란에 따른 수생 및 습생관속식물의 군집 동태와 생산성. 경상대학교 대학원 박사학위논문.
 김철수, 오경환. 1999. 합천 박실늪의 교란된 습지에서 식생의 회복 과정. 경상대학교 환경보전연구소보. 7: 1~17.
 김태근. 2006. 우포늪 지역에서 버드나무류의 군집 구조와 1차 생산성. 경상대학교 교육대학원 석사학위논문.
 김혜영. 2009. 동해안 석호에서 수생천이계열에 따른 식생구조의 변화와 18개 석호의 건육화 상태 평가. 강릉원주대학교 대학원 이학석사학위논문.
 마호섭, 박문수, 전권석, 정원옥. 1996. 하상 퇴적지의 식생 침입과 안정화 과정에 관한 연구-낙동강 칠서면 삼각주를 중심으로-. 경상대 부속연습림 연구보. 6: 29~38.
 문덕수, 김현주, 최미연, 정동호, 이승원. 2007. 동해안 석호의 수질 특성. 2007년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회.
 문형태. 1984. 낙동강 하구의 식생 천이에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
 민병미, 김준호. 1983. 해안염습지 갈대군락의 무기 영양소 순환과 분배. 한국식물학회지. 26: 17~32.
 민병미. 1985. 韓國 西海岸 干拓地의 土壤과 植生 變化. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
 박상덕. 2002. 경포호의 변천. 토목 50:52~56.
 박인협. 1985. 백운산지역 천연군락생태계의 삼리군락구조 및 물질생산에 대한 연구. 서울대학교 농학박사학위논문. 45p.
 박인협, 김준선. 1989. 한국산 4개 지역형 소나무 천연군락의 물질생산량 추정식에 관한 연구. 한국임학회지 78: 323-330.
 신승춘, 박용길. 2004. 기수호의 습성천이 現狀과 생태적 복원정책. 한국환경과학회지. 13: 11~17.

- 엄정훈. 1998. 동해안 석호의 수질 및 퇴적물 특성과 주변 지역 변화에 관한 연구, -매호를 사례로-. 지리환경교육 6: 95~110.
- 유홍식. 1996. 동해안 호수와 그 유역의 경관변화-경포호와 영랑호를 중심으로-. "동해안 호수 보존 심포지움 논문집", 강릉경제정의실천시민연합. pp. 9~16.
- 이규송. 1995. 珍富(江原道 平昌郡) 일대 火田 후 목밭의 植生 遷移 機構. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 이민부, 김남신, 이광률. 2006. 한반도 동해안의 자연호 분포와 지형 환경 변화. 한국지역지리학회지. 12: 449~460.
- 이점숙. 1990. 만경강과 동진강 하구 염습지의 조위 구배에 따른 염생식물의 정착에 관한 연구. 서울대 박사학위논문.
- 이창석, 박현숙, 유영한, 홍선기. 1998. 목논의 식생 천이에 관한 연구. 서울여자대학교 자연과학연구소 자연과학논문집. 10: 29~43.
- 이충영. 1991. 남강댐 상류 하중도의 초기 천이에 따른 식생 구조와 토양의 성질. 경상대학교 대학원 석사학위논문.
- 허우명, 김범철, 전만식. 1999. 동해안 석호의 부영양화 평가. 육수학회지. 32: 141~151.
- 원주지방환경관리청. 1997. 동해안 석호 수질개선 대책. 원주지방환경관리청.
- 원주지방환경관리청. 2008. 동해안 석호 보전 및 복원을 위한 생태계 정밀조사 및 관리방안 연구(I). 원주지방환경관리청.
- 원주지방환경관리청. 2009. 동해안 석호 보전 및 복원을 위한 생태계 정밀조사 및 관리방안 연구(II). 원주지방환경관리청.
- Alliende, M.C. and J.L. Harper. 1989. Demographic studies of a dioecious tree. I. Colonization, sex and age structure of *Salix cinerea*. J. Ecology. 77: 1029~1047.
- Carpenter, S.R. 1981. submerged vegetation: An internal factor in lake ecosystem succession. Am. Nat. 118: 372~383.
- Connell, J.H. and R.O. Slatyer. 1997. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. Am. Nat. 111: 1119~1144.
- Curtis, J.J. and R.P. McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie forest border region of Wisconsin. Ecology 32: 476~496.
- Dionigi, C.P., I.A. Mendelssohn and V.I. Sullivan. 1985. Fertility and disturbance gradients: A summary model for riverine marsh vegetation. Ecology 69: 1044~1054.
- Egler, F.E. 1954. Vegetation science concepts. I. Initial floristic composition a factor in old-field vegetation development. Vegetatio 4: 412~417.
- Johnson, W.B., C.E. Sasser and J.G. Gosselink. 1985. Succession of vegetation in an evolving river delta, Atchafalaya Bay, Louisiana. J. Ecology 73: 973~986.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal Lagoon Processes. Elsevier. New York. pp 1-4.
- Niiyama, K. 1990. The role of seed dispersal and seedling traits in colonization and coexistence of *Salix* species in a seasonally flooded habitats. Ecol. Res. 5: 317~331.
- Odum, E.P. 1969. The strategy of ecosystem development. Science 164: 262~270.
- Pielou, E.C. 1969. An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interspecies, New York. 165p.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. Nature 163: 688.
- Tilman, D. 1988. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. Princeton University Press. pp. 237~244.
- Van der Valk, A.G. 1981. Succession in wetlands: a Gleasonian approach. Ecology 62: 688~696.
- Walker, L.R., J.C. Zasada and F.S. Chapin. 1986.

김혜영 · 김미희 · 최희경 · 양두용 · 신은주 · 이규승 · 이훈복

The role of life history processes in primary succession on an Alaskan floodplain. Ecology 67: 1243~1253.

Wetzel, R.G. 1983. Limnology (2ed ed.). Saunders College pub., Philadelphia. 857p.

○논문접수일 : 10년 04월 15일

○심사의뢰일 : 10년 04월 18일

○심사완료일 : 10년 12월 27일