

새만금 간척지구 내 안서 포구 일대의 식생 분포에 대한 연구¹

김은규^{2*} · 정영상³ · 정형근² · 주영규⁴ · 천소을⁵

Vegetation Distribution of Intertidal Zone and Estuary Area on Anseo Port in Saemangeum Reclamation Zone¹

Eun-Kyu Kim^{2*}, Yeong-Sang Jung³, Hyeung-Geun Jeong², Young K. Joo⁴, Soul Chun⁵

요약

간척이 식생 분포에 미칠 영향을 분석하기 위하여 새만금 간척지구 내 안서 포구 앞 조간대와 기수 지역에서 2003년부터 2004년에 걸쳐 식생과 토양특성을 분석하였다. 이 지역의 조간대와 기수 지역에 출현한 식생은 모두 염생식물로, 조간대는 3종의 염생식물이 출현하여 단순하였고, 만조대와 기수 지역은 각각 9종과 8종이 출현하여 조간대에 비하여 다양하였다. 식물종은 조간대에서 해홍나물(*Suaeda maritima*), 갯질경(*Limonium tetragonum*) 및 칠면초(*Suaeda japonica*)가, 기수 지역의 비침수 지역에서는 해홍나물, 갯질경 및 갯개미취(*Aster tripolium*)가, 기수 지역의 침수 지역에서는 갯뚫싸리(*Kochia scoparia* var. *littorea*)가 우점하였다. 토양화학성을 분석한 결과, 조간대 내에서 식물종의 출현은 토양의 전기전도도(electrical conductivity, EC), Na⁺ 및 Cl⁻의 농도가 상대적으로 낮은 지역에서 이루어졌다. 식물종 간의 EC 농도는 동일지역 내에서는 유사하였으나, 서로 다른 지역에서는 동일종 간에도 뚜렷한 차이를 보여, 식물종의 출현 유무는 토양환경의 차이에 의해 결정되었다. 조간대 및 기수 지역에서 식물종의 출현은 토성과 토양화학성에 따라 다르므로써, 식생의 분포는 토양환경의 영향을 받고 있음을 시사하였다.

주요어 : 간척, 토양특성, 염생식물

ABSTRACT

This study was carried out targeting the intertidal zone and estuary area of Anseo port in Saemangeum reclamation zone from 2003 to 2004, to analyze how reclamation affects the distribution of vegetation and soil properties. The plant growing in these survey areas was all halophytes: the vegetation on the intertidal zone consisted of simply 3 species of halophyte, and vegetation on the high tide zone and estuary area consisted of 9 and 8 species respectively, showing a more varied aspect than the intertidal zone. As for the plant species distribution, the predominant species for the intertidal zone were *Suaeda maritima*, *Limonium tetragonum* and *Suaeda*

1 접수 6월 12일 Received on Jun. 12, 2007

2 연세대학교 환경공학과 Department of Environmental Engineering, Yonsei University, Wonju(220-710), Korea

3 강원대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture and Life Science, Kangwon National University, Chuncheon(200-701), Korea

4 연세대학교 응용과학부 생물자원공학과 Department of Bioresources and Technology, Yonsei University, Wonju(220-710), Korea

5 연세대학교 기초과학연구소 Institute of Basic Science, Yonsei University, Wonju, (220-710), Korea

*교신저자, Corresponding author(kss114@dreamwiz.com)

japonica; the predominant species for the slope zone of estuary were *Suaeda maritima*, *Limonium tetragonum* and *Aster tripolium*, and the predominant species for the inundation zone of estuary was *Kochia scoparia* var. *littorea*. At the analysis result of soil chemical properties, it was discovered that the appearance of the plant species was made at some spots on the intertidal zone whose electrical conductivity(EC), Na^+ , and Cl^- were relatively lower. EC of between the plant species was similar in the same zone, however EC was distinctively different between the same species in the different zone. Our study found out that whether the occurrence of the plant species is possible or not was decided by the difference in soil properties. This study results suggest that the distribution of vegetation is influenced by soil environment in that the appearance of the plant species on the intertidal zone and estuary area is differentiated by soil texture and soil chemical properties.

KEY WORDS : RECLAMATION, SOIL PROPERTIES, HALOPHYTE

서론

간척은 인위적인 환경변화 유발 요인 중의 하나로, 해수의 유입을 차단시킴에 따라 일련의 환경적 변화를 일으킨다. 간척 후 간척지에 나타나는 대표적인 변화는 기존의 조간대를 구성하던 저서 생물들이 사라지고, 식물이 새롭게 발생하여(Drijver, 1982), 간척 이전과는 전혀 다른 생물상을 구성하게 된다는 점이다. 염류토양인 간척지에 형성되는 식생은 주로 염생식물(김철수, 1971; Joenje, 1974)이나, 간척경과 년 수에 따라 중성 식물도 출현하여 식생이 변화하게 된다(Min and Kim, 2000; Bonis *et al.*, 2005). 간척에 의해 형성된 초기의 식물사회는 일반 육상생태계와 비교하여 매우 짧은 시간 동안에 급속한 식물종의 변화를 보이며 이러한 변화는 시간의 경과와 함께 간척지 토양의 물리·화학적 특성의 변화에 기인한다(민병미와 김준호, 1997a; 1997b; Amiaud *et al.*, 1998; Bouzillé *et al.*, 2001). 따라서 간척지 식생의 변화에 대한 연구는 인위적인 염류토양 환경에 새롭게 정착하고 변화하는 식물종을 이해할 수 있는 중요한 기초자료가 된다.

새만금 간척공사는 기존의 갯벌을 염류토양화 시키며, 이로 인해 간척초기에 형성되는 강한 염류토양에는 식생의 발생이 제한적이게 된다. 따라서 염류토양 및 식생 관리를 위해서는 식생의 분포와 토양특성에 대한 기초자료의 축적이 필요하다. 이에 간척 대상지 내에서 출현식물을 기록하고 분포지 환경을 분석하여 염류토양에서 식생의 출현 및 분포와 토양환경 간의 관계를 연구하고자 하였다. 이를 위해 새만금 간척 대상 지구 중 식생이 출현한 안서 포구 조간대 및 기수 지역에서 2003년부터 2004년 사이에 출현 식생과 토양환경을 분석하였다.

재료 및 방법

1. 조사지의 개황

조사대상 지역은 새만금 간척대상 지역 중 35°50' N~35°40'S, 126°30'W~126°40'E 사이의 전북 부안군 하서면 장신리와 백련리 사이의 율포마을 안서 포구에 위치한 조간대 및 조간대와 닿은 소규모 기수 지역이다(Figure 1).

안서 포구의 조간대는 간척 공사 이전에는 어업이 이루어지던 곳으로 조사 시점 당시에도 해수의 정기적인

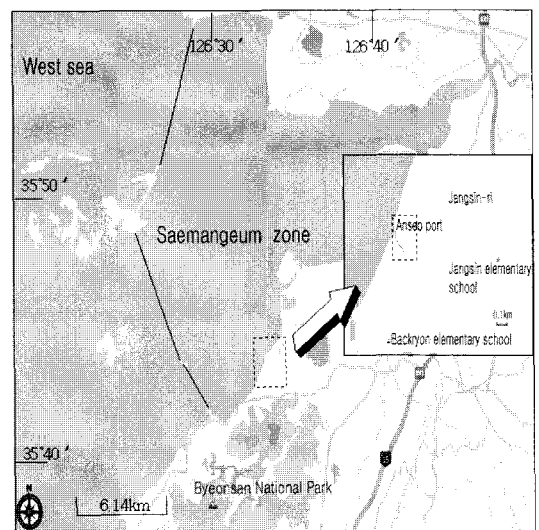


Figure 1. Map of Anseo port and estuary area in Saemangeum reclamation zone.

유입이 있으며 만조대를 거쳐 육상생태계로 연결되는 곳이다. 이 지역의 기수 지역은 새만금 지역의 대표적 기수 지역인 만경강 및 동진강 하구와 달리 길이가 짧아 식생의 조사가 편리하며, 조간대와 닿아 있고, 조간대와 기수 지역의 출현 식생이 서로 달라 두 지역 간의 비교 연구가 가능한 곳이다. 따라서 간척 후 간척된 조간대에 출현할 식생의 연구에도 적합할 것으로 예상되는 장소 중의 하나이다. 조간대는 식생 발생의 특성에 따라 3개 지역으로 구분되었다. 즉, 기수 지역과 가까운 만조대 지역(제 1지역, zone 1), 조간대 중 식생 분포지와 비분포지가 공존하며 육지 쪽으로는 사구지대와 연결된 곳(제 2지역, zone 2), 그리고 바다 쪽을 향하여 식생이 출현하지 않은 식생 비분포지(제 3지역, zone 3)이다(Figure 2). 기수 지역은 침수의 특성에 따라 비침수 지역(기수지역 하천사면, 제 4지역, zone 4)과 침수 지역(제 5지역, zone 5)의 2개 구역으로 구분되었다(Figure 3). 안서 포구 지역의 기후 조건은 부안 지역 기상관측소의 기후조사 결과에 의해 분석하였다(기상청, 2005). 2003년도 1월~12월 사이의 연간 강수량은 1,850mm이었고, 월 평균 강수량은 7월이 563mm로 최대를 나타내었고, 연평균 기온은 12.8℃ 이었고, 1월에 최저 -1.7℃에서 8월에 최고 24.7℃로 나타났다. 2004년도 1월~12월 사이의 연간 강수량은 1,391mm이었고, 월 평균 강수량은 8월이 269 mm로 최대를 나타내

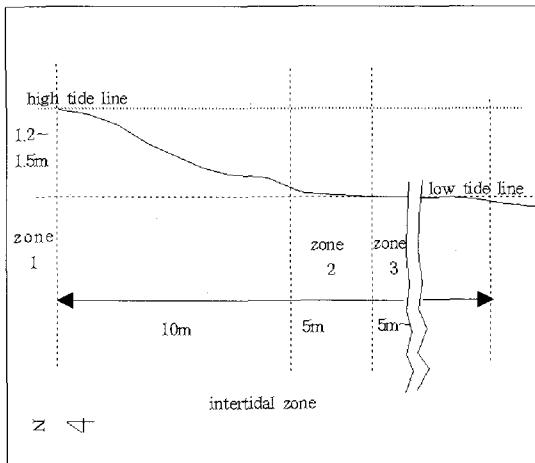


Figure 2. Intertidal zone of Anseo port was districted for 3 zones by the characteristics of plant distribution

- zone 1: high tide zone
- zone 2: plant stand + bare soil
- zone 3: bare soil

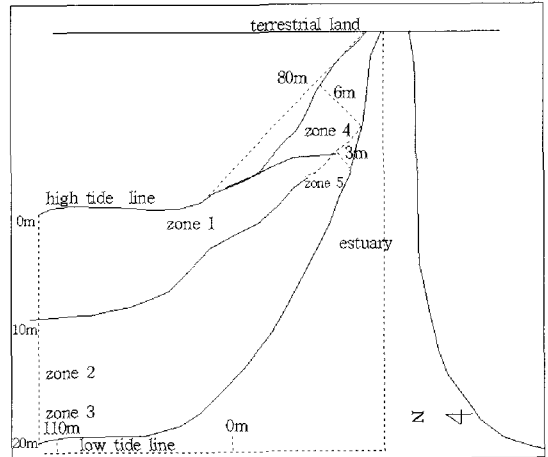


Figure 3. Estuary area of Anseo port was districted for 2 zones by the characteristics of inundation

- zone 4: slope zone of estuary
- zone 5: periodically inundation zone of estuary

었고, 연평균 기온은 13.2℃ 이었고, 1월에 최저 -1.3℃에서 8월에 최고 26.2℃로 나타났다.

2. 식생 분포 및 환경요인 분석

안서 포구 조간대와 기수 지역의 현장 예비 답사는 2003년 7월에 실시하였고, 본 조사는 2003년 8월과 2004년 9월에 실시하였다. 식물종에 대한 동정 및 분류는 출현한 모든 종을 대상으로 이창복(1999)과 이영노(2002)에 의하여 실시하였다. 토양시료는 직경 3m 이상의 균질한 식분 또는 밀생하며 뚜렷한 대상분포를 보이는 균질한 식분을 선택한 후 5개 이상의 지점에 0.25×0.25m 방형구를 설치하고(Min and Kim, 1999) 식생을 채취한 후 방형구 안의 전 면적에서 표면의 유기물 층을 제거하고 깊이 10cm까지 채취한 후 혼합하였다. 혼합된 시료는 비닐봉투에 밀봉한 후, 실험실로 운반하여 풍건 후 2mm체를 통과시켜 분석에 사용하였다. 식생 분포지와 비분포지의 토양특성을 비교하기 위하여 식생이 출현하지 않은 조간대(zone 2 및 3)의 토양시료도 분석하였다. pH(1:5, w/v)와 전기전도도(electrical conductivity, EC)는 토양시료 10g을 증류수 50ml와 혼합하고 30분간 진탕한 후 각각 pH meter(Cole-Parmer Chemcadet)와 전기전도도계(HANNA HI 7031)로 측정하였다(농업과학기술원, 2000; Janzen, 1993). Na⁺는 Mehlich III 추출액(추출액 A + 추출액 B의 혼합액; 추출액 A: 1.5M NH₄F

+0.1M EDTA, 추출액 B: NH₄NO₃ + CH₃COOH + 10%(v/v) 질산)을 사용하여 풍건시료 3g에 추출액 30 ml를 넣고 5 분간 진탕한 후 여과하여 다성분을 동시에 추출한 후 atomic adsorption spectrophotometer (Perkin-Elmer 2380)로 589.2nm에서 분석하였다 (Knudsen *et al.*, 1982; Tran and Simard, 1993). Cl⁻은 EC를 측정한 후 상등액 10ml를 취하여 AgNO₃ 적정법으로 분석하였다(USSL, 1954). 토성은 풍건시료 10g에 증류수 30 ml와 30% 과산화수소수(H₂O₂) 25 ml를 첨가한 후 90°C 가열판에서 유기물을 분해한 후 분산제(5% sodiumhexametaphosphate)를 넣고 18 시간 진탕한 후 피펫 법으로 분석하였다(Sheldrick and Wang, 1993).

3. EC와 식생 간의 군집 분석

식생의 분포와 토양 EC 간의 관계를 분석하기 위하여 2003년도에 측정된 대표적 식생 분포지의 EC에 대

하여 군집분석(SAS, 2000)을 실시하였다.

4. 토양화학성에 대한 통계 분석

식생의 분포와 토양의 pH, Na⁺ 및 Cl⁻ 간의 관계를 분석하기 위하여 2003년도에 측정된 각 식생 분포지의 토양특성에 대하여 ANOVA General Liner Model (GLM) 분석을 실시하였고, Na⁺, Cl⁻ 및 EC 간의 상관성을 분석하기 위하여 Pearson 상관분석을 실시하였다(SAS, 2000).

결과 및 고찰

1. 식생

조사지역인 안서 포구의 만조대, 조간대 및 기수 지역 모두에서 염생식물이 출현하였고, 출현 식물종은 Table 1로, 분포특징은 Figure 4, 5 및 6으로 나타났다.

Table 1. Vegetation of intertidal zone and estuary area of Anseo port in Saemangeum reclamation zone in 2003 and 2004

Studied zone No.	Location	Family	Scientific name	Korean name	Year		
					2003	2004	
1	high tide zone	Chenopodiaceae	<i>Suaeda glauca</i>	나문재	0		
			<i>Salsola komarovii</i>	수송나물	0		
			<i>Suaeda maritima</i>	해홍나물	0		
			<i>Chenopodium virgatum</i>	버들명아주	0		
			<i>Chenopodium glaucum</i>	취명아주	0		
			<i>Kochia scoparia</i> var. <i>littorea</i>	갯넙싸리	0	0	
			<i>Limonium tetragonum</i>	갯질경	0	0	
2	intertidal zone	Polygonaceae	<i>Polygonum bellardi</i> var. <i>effusum</i>	큰옥매듭풀	0		
			Compositae	<i>Artemisia scoparia</i>	비쭉	0	
				Chenopodiaceae	<i>Suaeda maritima</i>	해홍나물	0
4	slope zone of estuary	Chenopodiaceae	<i>Suaeda japonica</i> *		칠면초		0
			<i>Limonium tetragonum</i>	갯질경	0	0	
		Chenopodiaceae	<i>Suaeda maritima</i>	해홍나물	0	0	
			<i>Chenopodium virgatum</i>	버들명아주	0	0	
			<i>Suaeda glauca</i>	나문재		0	
5	inundation zone of estuary	Compositae	<i>Aster tripolium</i>	갯개미취	0	0	
			<i>Artemisia scoparia</i>	비쭉	0	0	
		Plumbaginaceae	<i>Limonium tetragonum</i>	갯질경	0	0	
			<i>Puccinellia nipponica</i>	갯꾸러미풀	0	0	
5	inundation zone of estuary	Gramineae	<i>Zoysia sinica</i>	갯잔디		0	
			Polygonaceae	<i>Polygonum bellardi</i> var. <i>effusum</i>	큰옥매듭풀		0
				<i>Kochia scoparia</i> var. <i>littorea</i>	갯넙싸리	0	0
Total		Chenopodiaceae	<i>Suaeda japonica</i>	칠면초	0	0	
						12	11

*occurred in 2004

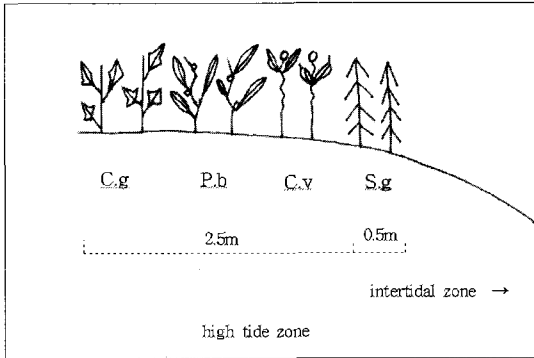


Figure 4. Profile diagram of high tide zone (zone 1) vegetation on Anseo port in Saemangeum reclamation zone

- C.g: *Chenopodium glaucum*
- P.b: *Polygonum bellardi* var. *effusum*
- C.v: *Chenopodium virgatum*
- S.g: *Suaeda glauca*

기수 지역과 가까운 만조대(zone 1)에는 2003년도에 4과 7속 9종의 식물종이 출현하였다. Figure 4는 만조대의 식생에 대한 단면 모식도로 2003년도에 만조대에는 나문재(*Suaeda glauca*)가 좁게 대상분포를 하였고, 만조대와 육상생태계의 경계 지역에는 취명아주(*Chenopodium glaucum*), 큰옥매듭풀(*Polygonum bellardi* var. *effusum*) 및 버들명아주(*Chenopodium virgatum*)가 좁은 대상분포 양상을 보였으며, 소수의 갯질경과 수송나물(*Salsola komarovii*)이 총생분포 하였다. 2004년도에는 이 지역의 만조대에서 대부분의 식생이 사라지고 소수의 갯넙싸리와 갯질경만 출현하였다. 이 지역에 부유성 잔재물이 많은 것으로 보아 만조시 이 지역까지 침수역이 확대된 것으로 보이며, 식생의 변화는 침수역의 확대 때문인 것으로 추정된다.

Figure 5는 만조시 침수되는 조간대인 제2지역의 식생에 대한 단면 모식도로, 2003년에 2과 2속 2종(해홍나물과 갯질경)이 좁은 지역에서만 밀생으로 분포하였다. 식생의 분포와 동시에 식생이 분포하지 않는 곳도 있어 식생 분포지와 비분포지가 명확하게 구분되어 있었다. 이 지역에는 식생의 잔재가 보이지 않아 식생의 발생이 이루어진지 오래되지 않은 곳으로 판단되며 2004년도에는 칠면초가 새롭게 출현하였다. 식생의 분포 순서는 바다를 향하여 갯질경, 해홍나물, 칠면초 순이며, 칠면초에는 침수 흔적과 함께 줄기에 따개비가 부착되어 있어, 칠면초가 침수에 강한 종임을 알 수 있었다(Hong, 1958; 김철수와 송태근, 1983). 출현한

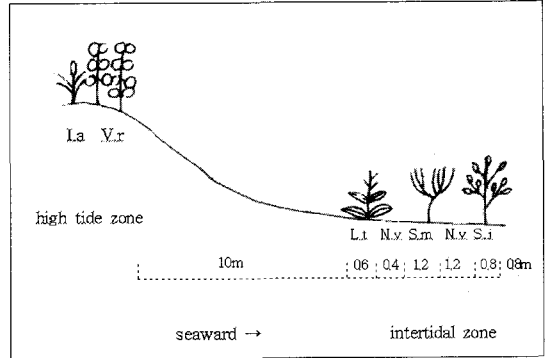


Figure 5. Profile diagram of intertidal zone (zone 2) vegetation on Anseo port in Saemangeum reclamation zone

- I.a: *Ischaemum antheophoroides*
- V.r: *Vitex rotundifolia*
- L.t: *Limonium tetragomum*
- S.m: *Suaeda maritima*
- S.j: *Suaeda japonica*
- N.v: bare soil

식물종 3종은 모두 기수 지역에 출현한 종(해홍나물, 갯질경 및 칠면초)과 같으므로 기수 지역에서 유입된 것으로 보인다. 조간대에서 육지 쪽으로는 사구지대와 연결되어 있고 사구지대에는 순비기나무(*Vitex rotundifolia*)와 갯쇠보리(*Ischaemum antheophoroides*)가 출현하였다.

Figure 6은 기수 지역의 경사면과 침수 지역에 형성된 식생에 대한 모식도이다. 제방과 가까운 곳에는 갯개미취가 분포하였고, 이어서 해홍나물과 갯질경의 혼생 식분이 분포하며, 침수 지역에는 갯넙싸리 식분에 소수의 칠면초가 총생으로 분포하였다. 기수 지역 중 비침수 지역인 제 4지역에는 2003년도에 4과 6속 6종이 출현하였고, 2004년도에는 5과 8속 9종이 출현하였다. 비침수 지역에 2004년도에 새로 출현한 종 중 나문재와 큰옥매듭풀은 만조대에서 사라진 것으로 환경이 불리한 곳에서 사라진 대신 적절한 환경에서 출현한 것으로 판단된다. 침수 지역인 제 5지역에는 2003, 2004년도에 모두 1과 2속 2종이 출현하여 식생의 변화가 없었다. 이는 침수환경에 의해 다른 식물종의 출현이 제한되었기 때문으로 추정된다.

새만금 간척지구 내의 대표적 기수 지역인 만경강과 동진강 하구역에 대해 조사된 기존의 연구에 의하면, 지형이 낮고 조수의 침입 횟수가 잦은 저위 염습지에는 칠면초, 통통마디, 갈대 및 천일사초 또는 갯잔디군락

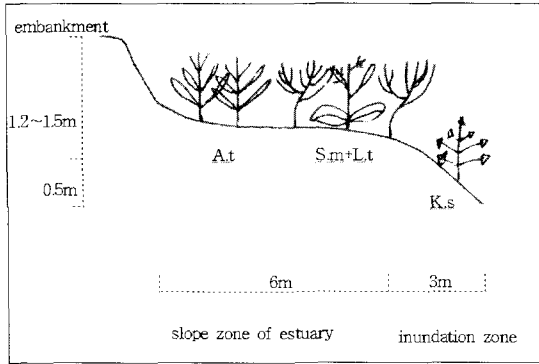


Figure 6. Profile diagram of slope zone of estuary(zone 4 and 5) vegetation on Anseo port in Saemangeum reclamation zone

- A.t.: *Aster tripolium*
- S.m.: *Suaeda maritima*
- L.t.: *Limonium tetragonum*
- K.s.: *Kochia scoparia* var. *littorea*

이 분포하고, 저위와 고위 염습지 사이의 중위 염습지에는 가는갯능쟁이, 갯개미취 또는 갯잔디군락이, 지형이 높고 조수의 영향이 거의 없는 고위 염습지에는 나문재와 모새달군락이 분포하고, 통통마디군락은 만경강에서는 드물게 출현한다고 하였다(이점숙, 1990; 임병선 등, 1995). 김창환 등(2006a)은 만경강 하구역의 조간대의 저위염습지에는 칠면초군락이 우점하고, 대상분포에 따른 식생의 종조성은 제방쪽인 만조대 부근으로 올수록 해홍나물, 칠면초, 갯개미취, 비쭉, 천일사초 및 갈대 순으로 대상분포한다고 하였고 이들 중 외에 장소에 따라 모새달, 갯잔디 및 쇠치기풀군락을 보고하였다. 김창환 등(2005)은 동진강 하구역 일대의 저위염습지에서는 칠면초가 분포하고, 만조대 부근에서는 칠면초, 해홍나물, 천일사초, 갯잔디, 갈대, 비쭉 및 모새달 등이 군락을 형성하고, 이들 중외에 나문재, 새삼매자기, 가는갯능쟁이 및 갯개미취를 보고하였고, 일부지역에서는 통통마디와 갯질경 등이 분포한다고 하였다.

이에 비하여 안서 포구의 조간대 식생은 해홍나물, 갯질경 및 칠면초의 3종으로 만경강 및 동진강 하구 기수 지역과는 출현종과 출현시점이 달랐다. 즉, 칠면초는 만경강과 동진강 하구의 조간대에서 이미 출현하였고(임병선과 이점숙, 1986) 이들 지역의 일부 하구역 염습지에서 우점하였으나(이점숙, 1988; 1989) 안서 포구의 조간대에서는 2004년도에 출현하여 번성하기

시작한 점과, 해홍나물은 만경강 및 동진강 하구역의 만조대 부근에서 출현하였으나(김창환 등, 2005; 김창환 등, 2006a) 안서 포구에서는 기수 지역 뿐 아니라 조간대에도 출현한 점이다. 또한 갯질경은 동진강 하구역에서 출현하고(김창환 등, 2005), 통통마디는 만경강과 동진강 하구역에서 출현하였으나, 안서포구에서는 갯질경만 출현하였다. 따라서 안서 포구의 조간대와 만경강 및 동진강의 조간대에 해당하는 저위 염습지의 공통종은 칠면초이고, 이들 3개 기수 지역의 공통종은 해홍나물, 칠면초 및 갯개미취이다. 만경강과 동진강 하구역 염습지 일부에서 우점한 칠면초가 안서 포구의 조간대에서 2004년도에 출현하여 번식하기 시작한 것은 안서 포구 조간대가 기수 지역과 달리 칠면초가 출현 할 수 있는 조건이 아니었으나, 칠면초가 출현할 수 있게 환경의 변화가 발생하였음을 시사하는 것으로 해석된다. 안서 포구의 만조대에서는 수송나물, 버들명아주, 취명아주, 갯대싸리, 갯질경 및 큰옥매듭풀이 출현하였으나(Table 1) 만경강 및 동진강 하구의 만조대에는 출현하지 않아 이들 지역 간에 식생 분포의 차이가 있음을 보였다. 또한 안서 포구 지역에서 갯질경, 해홍나물 및 칠면초가 발생한 조간대 상부의 사구지대에는 갯쇠보리, 순비기나무가 출현하여(Figure 5)(이우철과 전상근, 1983) 만경강 및 동진강 하구역의 식생과 뚜렷한 차이를 보였다.

2. 토양특성과 식생

안서 포구의 만조대, 조간대 및 기수 지역의 토양특성은 Table 2로 나타냈다. 토성은 전체적으로 모래함량이 많아 식생 분포지와 비분포지의 표토는 양질사토(loamy sand, LS) 및 사토(sand, S)로, 만조대의 표토는 사토로 구분되었다. 기수 지역 중 침수 지역의 표토는 사질양토(sandy loam, SL)로 구분되었다.

식생의 분포는 지역에 따라 달라 사토 지역인 만조대에는 나문재, 수송나물 및 버들명아주 등이 출현하여 나문재도 사토에서 출현이 가능함을 보였다. 양질사토 및 사질양토인 조간대와 기수 지역은 해홍나물, 갯질경, 갯개미취 및 칠면초가 출현하여 만조대와 다른 분포를 보임으로서(Table 1) 토성도 식물종의 출현과 분포에 영향을 끼치는 것으로 판단된다(김창환 등, 2006b). 김철수(1983)는 염생식물군락을 형성하고 있는 식물종들은 생육의 특징에 따라 알맞은 입지적인 조건에서 자생하고 있어 점토질의 염생식물군락에는 해홍나물, 갯개미취 등이 대표적으로 순군락 또는 혼군락을 이루고, 갯질경은 사질점토의 건조지대에서 잘 자란

Table 2. Surface soil properties of intertidal zone and estuary area on Anseo port in Saemangeum reclamation zone in 2003

Studied zone No.	Location	Plant	Soil texture	pH	Na ⁺ (cmol/kg)	Cl ⁻ (mg/kg)
			USDA			
1	high tide zone	<i>Suaeda glauca</i>	S	8.40 cd	1.0 b	0.0 d
		<i>Suaeda maritima</i>	LS	8.66 bcd	0.9 b	49.6 cd
2	intertidal zone	<i>Limonium tetragonum</i>	SL	8.80 bc	1.5 b	49.6 cd
		bare soil	LS	8.30 d	2.2 b	168.4 b
3	intertidal zone	bare soil	LS	8.25 d	5.5 a	460.9 a
4	slope zone of estuary	<i>Suaeda maritima</i>	LS	9.36 a	2.9 b	31.9 cd
		<i>Limonium tetragonum</i>	S	8.94 ab	1.6 b	35.5 cd
		<i>Aster tripolium</i>	LS	9.02 ab	2.7 b	56.7 c
5	inundation zone of estuary	<i>Kochia scoparia</i> var. <i>littorea</i>	SL	8.64 bcd	6.3 a	148.9 b

1) LS, loamy sand; SL, sandy loam; S, sand

2) Within the same test method values with the same letter in row are not significantly different at the 0.05 probability by LSD test

다고 하였는바, 안서 포구의 조간대와 기수 지역이 일부는 침수가 되며 모래함량이 비교적 많은 양질사토 및 사질양토입에 비추어 해홍나물, 갯개미취 및 갯질경 등은 함수량과 모래 함량이 많은 토양에서도 적응이 잘 되는 것으로 판단된다. 또한 칠면초는 만조시 침수된 저지대부터 만조대 이상의 건조한 지역까지 생육범위가 광역일 뿐 아니라 장기간의 침수상태에서도 생육이 가능한 대표적 호염성 식물이라고 한바(김철수, 1983), 안서 포구 지역에서는 칠면초가 발생한 곳이 조간대의 침수 지역과 기수 지역 중 침수 지역에 국한되고 만조대 부근에서는 출현하지 않음에 비추어 이 지역에서는 칠면초가 처음으로 조간대의 침수 지역에 출현하는 현상으로 보인다.

pH는 기수 지역의 해홍나물과 갯개미취 분포지에서 각각 9.3과 9.0으로 가장 높았고, 조간대의 식생 분포지에서 8.4~8.8의 범위를 보여, 만경강과 동진강 하구역 기수 지역의 칠면초, 통통마디, 갯개미취 및 나문재군락의 저토(15~20cm)에서 측정된 7.1~7.3 보다 높았다(이점숙, 1990; 임병선 등, 1995). 김창환 등(2006b)은 만경강 하구 염습지 염생식물군락에서 칠면초군락, 통통마디군락, 갯개미취군락 및 나문재군락에서 각각 8.4, 9.0, 8.3, 및 8.3을 기록하여 본 연구 지역인 안서 포구의 조간대 및 기수 지역의 pH와 비슷한 결과를 나타냈고, 서해안 제부도 조간대의 갯질경과 칠면초 분포지에 대한 pH 범위도 각각 8.1을 기록하여(안영희와 신경미, 2006) 조간대의 식생 분포지에 대한 pH는 유사한 범위를 갖는 것으로 나타났다. 매우 다양한 염생식물의 출현이 높은 토양염도와 알칼리성 환

경 하에서 이루어지고 있으나(Gururaja *et al.*, 2004), 염생식물이 출현한 염류토양의 다양한 pH에 근거할 때(Evans, 1953; Dodd and Coupland, 1966; 이점숙, 1988) 염생식물은 넓은 범위의 pH에서 출현이 가능하며(Gillham, 1957) pH는 염생식물의 분포에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 보인다(Bolen, 1964).

Na⁺은 조간대 중 식생 비분포지(zone 3)와 기수 지역 중 갯딴짜리가 출현한 침수 지역(zone 5)이 만조대(zone 1)와 조간대 중 식생 분포지(zone 2) 및 기수 지역의 비침수 지역(zone 4) 보다 높았다. 이들 지역은 주기적인 해수 유입에 의해 Na⁺농도가 높은 것으로 판단된다(정영상 등, 2002). 식생 비분포지(zone 3)의 Na⁺농도는 5.5cmol/kg으로, 갯딴짜리를 제외한 해홍나물, 갯질경, 나문재 및 갯개미취 분포지의 0.9~2.9cmol/kg보다 높아 Na⁺ 농도가 식생 출현의 제한요소로 작용하고 있음을 보였다(오계철, 1986; Läuchli and Epstein, 1990; Qadir and Schubert, 2002). 만조대에 출현한 나문재 분포지의 Na⁺농도는 갯질경, 해홍나물(zone 4), 갯개미취 및 갯딴짜리 분포지에 비하여 낮았는데 이는 이점숙(1990)과 임병선 등(1995)의 결과와 일치하는 현상으로, 나문재가 다른 염생식물에 비하여 비교적 낮은 토양 염농도에서 출현하고 있음을 나타낸다. 그러나 건조지대에 출현한 나문재는 높은 토양 염농도와 고 또는 중 정도의 지하수위 상태하의 점질토 사막에도 분포하여(Lihong *et al.*, 2006), 만조대 및 기수 지역 하구역 외의 다양한 환경에서 분포할 수 있음을 보였다. 조간대 중 제 2지역의 해홍나물과 갯질

경 분포지는 각각 0.9cmol/kg 및 1.5cmol/kg으로 나타나 같은 지역 중 식생 비분포지의 2.2cmol/kg에 비하여 Na^+ 농도가 낮았다. 그러나 제 2지역의 식생 비분포지(2.2cmol/kg)는 식생 발생이 전혀 없는 제 3지역(5.5cmol/kg)에 비하여 낮았다. 이상의 결과는 조간대 내에서 식생의 출현은 Na^+ 농도가 비교적 낮아 토양 염농도가 낮은 지역에서 이루어지고 있음을 시사한다(Penfonund and Hathaway, 1938; Chapman, 1939; Evans, 1953).

Cl^- 는 조간대의 식생 비분포지인 제 3지역에서 460.9mg/kg으로 가장 높았다. 나문재 분포지에서는 Na^+ 농도와 같이 가장 낮았고, 제 2지역에서도 식생 비분포지(168.4mg/kg)가 해홍나물과 갯질경 분포지(49.6mg/kg)에 비하여 높아 Cl^- 의 농도가 식생 출현의 제한 요소로 작용하고 있음을 보였다(Chapman, 1939; 김철수, 1971; Rhoades *et al.*, 1989; Hernandez Bastida *et al.*, 2004). 기수 지역 중 비침수 지역(zone 4)의 Cl^- 농도는 조간대에 비하여 낮은 농도를 보였으나, 기수 지역 중 침수 지역인 갯뚝짜리 분포지(zone 5)는 148.9mg/kg으로, 비침수 지역(zone 4)에 분포하는 해홍나물, 갯질경 및 갯개미취 분포지인 31.9~56.7 mg/kg에 비하여 높았는데 이는 Na^+ 농도와 같이 해수의 주기적인 유입에 기인하는 것으로 판단된다.

식생 분포지 및 비분포지의 EC 농도는 Figure 7로 나타났다. 조간대 및 기수 지역에서 높은 EC 농도를 보이는 곳은 식생 비분포지인 조간대(제 2지역 중 식생이 출현하지 않은 지점과 제 3지역)와, 식생 분포지 중에는 기수 지역 중 침수 지역의 갯뚝짜리 분포지(zone 5)이었고, 가장 낮은 곳은 만조대의 나문재 분포지(zone 1)이었다. 기수 지역 중 비침수 지역(zone 4)에서는 해홍나물 분포지의 EC 농도가 높았고, 갯질경과 갯개미취 분포지는 낮은 농도로 서로 비슷하였다. 조간대(zone 2)의 해홍나물과 갯질경 분포지의 EC 농도도 비슷하여 같은 분포지에서는 EC 농도가 유사함을 보였다. 그러나 기수 지역의 비침수 지역에 출현한 갯질경과 해홍나물 분포지(zone 4)의 EC 농도는 조간대의 같은 식생 분포지(zone 2)보다 낮아 지역적인 차이를 보였다. 이것은 식물종별 EC 농도는 동일 지역 내에서는 식물종 간에 차이가 작으나, 출현장소를 달리하는 동일 식물종 간에는 지역적인 차이가 발생하고 있음을 의미한다. 따라서 간척완료 이전의 조간대에서 식물종의 출현 유무는 식물종별 특성보다는 지역적인 토양환경의 차이에 의해 결정됨을 시사한다(Chapman, 1940; Vince and Snow, 1984; Armstrong *et al.*, 1985; Olff *et al.*,

1997). 이러한 현상은 비슷한 고도(soil elevation)의 환경특성을 갖는 곳에 출현한 염생식물군락 간의 토양 화학성이 유사하나, 다른 고도를 갖는 군락에서는 토양 화학성에 차이가 나타나는 이점숙(1990) 및 임병선 등(1995)의 결과와 같으며, 염생식물의 분포는 침수조건을 결정하는 고도 및 지형(Grey, 1992) 뿐 아니라 토양 염농도의 변화와 같은 토양특성의 공간적 변이와 관계 있음을 시사한다(Odum, 1988; Grace and Jutila, 1999; Bockelmann *et al.*, 2002; Silvestri *et al.*, 2005).

대부분의 염류토양에서 주된 염(salt)은 NaCl이며 고농도의 Na^+ 가 식물에게 섭취되었을 때 세포질 내에 독성을 일으키며(Muhammad, 2004), Cl^- 또한 식물 독성이 있음(Läuchli and Epstein, 1990)을 고려 할 때 안서 포구 조간대와 기수 지역의 토양 내 Na^+ , Cl^- 및 EC 농도는 식생 비분포지가 식생 분포지에 비하여 높아 조간대 내에서 식생의 출현은 EC, Na^+ 및 Cl^- 의 농도가 비교적 낮은 지역에서 이루어지고 있음을 보였다(Adams, 1963; Bertness, 1991a; Bertness *et al.*, 1992; Shumway and Bertness, 1994; Srivastava and Jefferies, 1995).

각 식생 분포지의 Na^+ , Cl^- 및 EC의 농도는 그 크기가 서로 일치하는 경향을 보여 식생을 분포지의 Na^+ ,

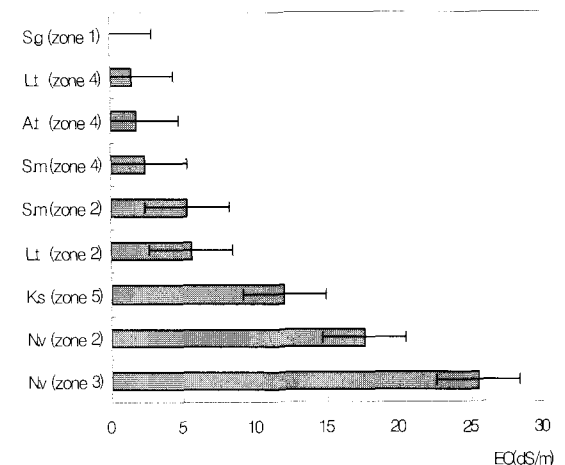


Figure 7. EC value of each plant stand and bare soil of intertidal zone and estuary area on Anseo port in Saemangeum reclamation zone

S.g: *Suaeda glauca* L.t: *Limonium tetragonum*
 A.t: *Aster tripolium* S.m: *Suaeda maritima*
 K.s: *Kochia scoparia* var. *littorea* N.v: bare soil

Table 3. Pearson correlation coefficients for soil chemical properties of intertidal zone and estuary area on Anseo port in Saemangeum reclamation zone

	Na ⁺	Cl ⁻	EC
Na ⁺	1.0		
Cl ⁻	0.66	1.0	
EC	0.81**	0.94***	1.0

** indicate significance at 0.01 level,

*** indicate significance at 0.0005 level

Cl⁻ 및 EC농도에 의해 분류하면 기수 지역 중 침수 지역의 갯뺨싸리>조간대의 해홍나물 및 갯질경>기수 지역의 해홍나물>기수 지역의 갯질경과 갯개미취>만조대의 나문재 분포지 순이다. 이는 Na⁺와 EC 및 Cl⁻와 EC농도가 높은 상관성을 갖기 때문으로 해석된다 (Table 3).

이상의 결과에서, 안서 포구 앞의 초기 간척지에 형성될 식물상은 기존의 조간대에 출현한 해홍나물, 갯질경 및 칠면초 외에 기수 지역과 만조대에 출현한 나문재, 갯개미취, 갯뺨싸리, 갯꾸러미풀, 비쭉, 버들명아주 및 큰옥매듭풀 등이 출현할 가능성이 있는 것으로 예측된다. 연구 대상지인 조간대와 기수 지역에서 식물종의 출현과 분포를 결정하는 것은 Na⁺, Cl⁻ 및 EC농도이므로, 초기 간척지 내에서도 이들의 농도에 의해 식물종의 출현, 분포 및 유지가 결정될 것으로 예측된다(김준호와 민병미, 1983). 새만금 간척지구 내 만경강(김철수와 임병선, 1988) 및 동진강 하구역에 출현한 통통마디가 본 연구 대상지의 조간대와 만조대 및 기수 지역에서는 발생하지 않아 앞으로 이 지역의 간척지에 출현 할 식생 변화의 추이가 주목된다.

3. EC와 식생 간의 군집 분석

식생 분포와 토양 EC 간의 관계를 분석하기 위하여 제1, 2, 4 및 5지역에 출현한 7개의 식생 분포지와 제2 및 3지역의 2개의 식생 비분포지에서 측정된 EC에 의해 군집분석을 실시하고 그 결과를 Figure 8로 나타냈다. 분석 결과 식생 분포지는 EC에 의해 뚜렷하게 구분되어 조간대의 해홍나물과 갯질경 분포지(zone 2), 만조대의 나문재 분포지(zone 1)와 기수 지역 중 비침수 지역의 갯질경과 갯개미취 분포지(zone 4), 기수 지역 중 침수 지역의 해홍나물 분포지(zone 4), 기수 지역 중 침수 지역의 갯뺨싸리 분포지(zone 5)와 조간대의 식생 분포지 중 식생 비분포지(zone 2) 및 조간대의 식

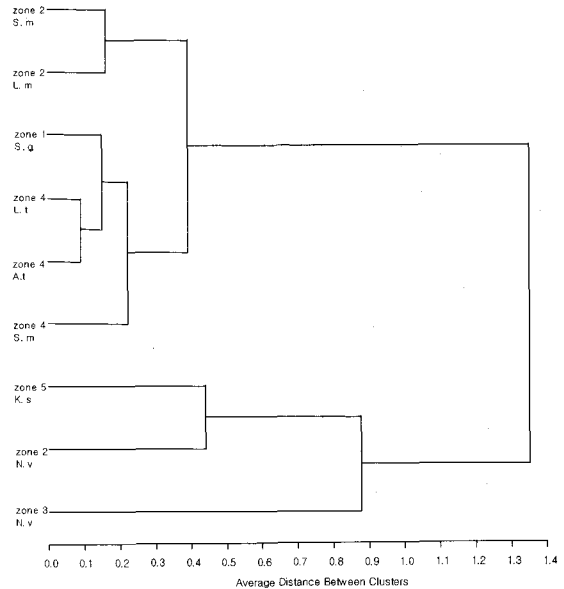


Figure 8. Diagram of EC cluster analysis for seven plant stand and two bare soil area where intertidal zone and estuary area on Anseo port in Saemangeum reclamation zone in 2003

S.m: *Suaeda maritima* L.t: *Limonium tetragonum*
 S.g: *Suaeda glauca* A.t: *Aster tripolium*
 K.s: *Kochia scoparia* var. *littorea*
 N.v: bare soil

생 비분포지(zone 3)의 5개 군으로 분류되었다. 이 결과는 식생 분포지 별로 토양 내 EC의 농도가 차이를 나타내는 결과로, EC 농도의 차이는 침수와 같은 환경적 스트레스에 기인하며(Bertness, 1991b), 토양 내 EC의 농도가 식생 분포의 제한 요소로 작용하고 있음을 의미한다(Flowers *et al.*, 1977; Watkinson and Davy, 1985).

적요

간척이 식생의 출현과 분포에 미칠 영향을 분석하기 위하여 새만금 간척지구 내 안서 포구의 조간대와 기수 지역에서 2003년부터 2004년에 걸쳐 식생과 토양특성을 분석하였다. 조간대와 기수 지역에서 모두 염생식물이 출현하였으나 식생 분포지 별로 토성과 토양화학성이 달라 식생의 분포는 토양환경의 영향을 받고 있음을 시사하였다.

식생은 조간대에서는 단순하였으나, 만조대와 기수 지역은 조간대에 비하여 다양하였다. 조간대에 식생이 단순한 것은 EC의 농도가 높아 출현 식물종을 제한하였기 때문이며 이는 해수의 유입에 기인하는 토양화학적 성분과 침수 스트레스 때문인 것으로 판단된다. 사토(sand) 지역인 만조대에는 나문재, 수송나물 및 버들명아주 등이 출현하였고 양질사토(loamy sand) 및 사질양토(sandy loam)인 조간대와 기수 지역은 해홍나물, 갯질경, 갯개미취 및 칠면초가 출현하여 토성도 식물종의 출현과 분포에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 따라서 안서 포구 지역에서 간척초기의 조간대에는 조간대 우점종인 해홍나물, 갯질경 및 칠면초의 우점이 예상되며, 기수 지역의 우점종인 갯개미취와 갯넙싸리의 침입도 예상된다. 2003년과 2004년도의 연차적인 식생의 변화는 만조대에서 두드러졌고 조간대에서는 칠면초의 출현이 있어 식생 분포가 간척에 의해 영향을 받을 수 있음을 시사하였다. 토양의 Na^+ , Cl^- 및 EC의 농도는 식생 비분포지가 식생 분포지에 비하여 높아 조간대 내에서 식생의 분포는 이들의 농도가 비교적 낮은 지역에서 이루어졌다. 식물종별 EC농도는 동일 지역 내에서는 식물종 간에 차이가 작았고, 출현장소를 달리 하는 동일 식물종 간에는 지역적인 차이가 크게 나타나 식물종의 출현 유무는 지역적인 토양환경의 차이에 의해 결정되었다. 따라서 안서 포구 일대의 간척지에서 식생의 출현과 분포는 간척지 토양 내 EC, Na^+ 및 Cl^- 농도의 영향을 받을 것으로 예측된다.

인용문헌

- 가상청(2005) <http://www.kma.go.kr>.
- 김준호, 민병미(1983) 해변 염생식물 군집에 대한 생태적 연구(III). 한국식물학회지 25(2): 53-71.
- 김창환, 이경보, 김재덕, 조태동, 김문숙(2005) 전북 동진강 하구역 일대의 염습지 식물상 및 식생에 관한 연구. 한국환경과학회지 14(9): 817-825.
- 김창환, 이경보, 조두성, 명현(2006a) 전북 만경강 하구역 일대의 염습지 식물상 및 식생에 관한 연구. 한국환경생태학회지 20(3): 289-298.
- 김창환, 조두성, 이경보, 최승열(2006b) 만경강 하구역에 분포하는 염생식물의 개체군 형성전략에 관한 연구. 한국환경생태학회지 20(3): 299-310.
- 김철수(1971) 간척지 식물군락 형성과정에 관한 연구. 한국식물학회지 14(4): 27-33.
- 김철수(1983) 염생식물군락의 분포. 자연보존 41: 31-36.
- 김철수, 송태근(1983) 해변 염생식물군집에 대한 생태학적 연구(IV). 한국생태학회지 6(3): 167-176.
- 김철수, 임병선(1988) 한국 서남해안 간사지 식생에 관한 연구. 한국생태학회지 11(4): 175-192.
- 농업과학기술원(2000) 토양 및 식물체 분석법. 농촌진흥청, 103-104, 126-129쪽.
- 민병미, 김준호(1997a) 서해안 간척지 토양의 토성과 탈염. 한국생태학회지 20(2): 133-143.
- 민병미, 김준호(1997b) 서해안 간척지 토양의 탈염 특성. 한국생태학회지 20(4): 275-283.
- 안영희, 신경미(2006) 제주도 갯벌 식생과 소산식물상에 관한 연구. 한국환경생태학회지 20(1): 52-69.
- 오계철(1986) 한반도 중서부 해안 염습지에 대한 ordination 방법의 적용. 한국과학재단.
- 이영노(2002) 원색 한국식물도감. 교학사, 서울.
- 이우철, 전상근(1983) 한국 해안식물의 생태학적 연구. 한국생태학회지 6(3): 177-186.
- 이점숙(1988) 만경강 하구 염습지 식생분포에 관한 연구. 한국환경생물학회지 6(1): 1-10.
- 이점숙(1989) 만경강과 동진강 하구 염습지의 조위 구배에 따른 염생식물의 정착에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 이점숙(1990) 만경강 하구 생태계의 구조와 기능에 관한 연구-만경강과 동진강 하구 염습지의 식생 구조에 미치는 환경요인. 군산대학 자연과학연구 5: 211-228.
- 이창복(1999) 대한 식물도감. 향문사, 서울.
- 임병선, 이점숙(1986) 염습지 환경변화에 대한 통통마디와 칠면초의 적응. 한국환경생물학회지 4(2): 15-25.
- 임병선, 이점숙, 김하송, 광애경, 임현민(1995) 만경강과 동진강의 염생식물군락 분포. 목포대학교 연안환경연구소 12: 11-28.
- 정영상, 주진호, 윤세영(2002) 간척지에서 토양과 관개수의 염류도와 염류도 관리. 강원대학교 농업과학연구소, 31쪽.
- Adams, D. A. (1963) Factors influencing vascular plant zonation in North Carolina salt marshes. Ecology 44(3): 445-456.
- Amiaud, B., J. B. Bouzillé, F. Tournade, and A. Bonis(1998) Spatial patterns of soil salinities in old embanked marshlands in western France. Wetland 18: 482-494.
- Armstrong, W., E. J. Wright, S. Lythe, and T. J. Gaynard(1985) Plant zonation and effects of the spring-neap tidal cycle on soil aeration in a Humber salt marsh. Journal of Ecology 73: 323-339.
- Bertness, M. D.(1991a) Interspecific interactions among high marsh perennials in a New England salt marsh. Ecology 72: 125-137.
- Bertness, M. D.(1991b) Zonation of *Spartina patens* and *Spartina alterniflora* in a New England salt marsh. Ecology 72(1): 138-148.

- Bertness, M. D., L. Gough, and S. W. Shumway(1992) Salt tolerance and the distribution of fugitive salt-marsh plants. *Ecology* 73: 1842-1851.
- Bockelmann, A. C., J. P. Bakker, R. Neuhaus, and J. Lage (2002) The relation between vegetation zonation, elevation and inundation frequency in a Wadden Sea salt marsh. *Aquatic Botany* 73: 211-221.
- Bolen, E. G. (1964) Plant ecology of Spring-Fed marshes in western Utha. *Ecological Monographs* 34(2): 143-166.
- Bonis, A., J. B. Bouzillé, B. Amiaud, and G. Loucougaray (2005) Plant community patterns in old embanked grasslands and the survival of halophytic flora. *Flora* 200: 74-87.
- Bouzillé, J. B., E. Kerneis, A. Bonis, and B. Touzard (2001) Vegetation and ecological gradients in abandoned salt pans in western France. *Journal of Vegetation Science* 12: 269-278.
- Chapman, V. J. (1939) Studies in salt-marsh ecology sections IV and V. *Journal of Ecology* 27(1): 160-201.
- Chapman, V. J. (1940) Studies in salt-marsh ecology sections VI and VII. Comparison with marsh on the coast of North America. *Journal of Ecology* 28(1): 118-151.
- Dodd, J. D. and R. T. Coupland(1966) Vegetation of saline areas in Saskatchewan. *Ecology* 47(6): 958-967.
- Drijver, C. A. (1982) Cumulative ecological consequences of diking projects in the Wadden Sea area. Papers in international symposium on polders of the world volume II, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Netherlands, pp. 653-664.
- Evans, L. T. (1953) The ecology of the halophytic vegetation at Lake Ellesmere, New Zealand. *Journal of Ecology* 41(1): 106-122.
- Flowers, T. J., P. F. Troke, and A. R. Yeo(1977) The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 28: 89-121.
- Gillham, M. E. (1957) Coastal vegetation of Mull and Iona in relation to salinity and soil reaction. *Journal of Ecology* 45(3): 757-778.
- Grace, J. B. and H. Jutila(1999) The relationship between species density and community biomass in grazed and ungrazed coastal meadows. *Oikos* 85: 398-408.
- Grey, A. J. (1992) Saltmarsh plant ecology: zonation and succession revisited. In: Allen, J. R. L. and K. Pye (eds.), *Saltmarshes: Morphodynamics, Conservation and Engineering significance*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 63-70.
- Gururaja, R. G., A. K. Nayak, A. R. Chinchamatpure, A. Nath, and V. R. Babu(2004) Growth and yield of *Salvadora persica*, a facultative halophyte grown on saline black soil. *Arid Land Research and Management* 18: 51-61.
- Hernandez Bastida, J. A., N. Vela De Oro, and R. Ortiz Silla (2004) Electrolytic conductivity of semiarid soils(Southeastern Spain) in relation to ion composition. *Arid Land Research and Management* 18: 265-281.
- Hong, W. S(1958) Investigation report on plant communities on Yongzong Island. *Korean Journal of Botany* 1(2): 7-15.
- Janzen, H. H. (1993) Soluble salts. In: Carter, M. R. (ed.), *Soil sampling and methods of analysis*, Lewis Publishers, London, pp. 161-165.
- Joenje, W. (1974) Production and structure in the early stages of vegetation development in the Lauwerszee-polder. *Vegetatio* 29: 101-108.
- Knudsen, D., G. A. Peterson, and P. F. Pratt(1982) Lithium, Sodium, and Potassium. In: Page, A. L. (ed.), *Methods of soil analysis Part 2 chemical and microbiological properties*(2nd ed.), American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin USA, pp. 225-246.
- Läuchli, A. and E. Epstein(1990) Plant responses to saline and sodic conditions. In: Tanji, K. K. (ed.), *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71, Agricultural Salinity Assessment and Management*, American Society of Civil Engineers, New York, pp. 113-137.
- Lihong, X., H. Liu, X. Chu, and K. Su(2006) Desert vegetation patterns at the northern foot of Tianshan Mountains: The role of soil conditions. *Flora* 201: 44-50.
- Min, B. M. and J. H. Kim(1999) Plant community structure in reclaimed lands on the west coast of Korea. *Korean Journal of Plant Biology* 42(4): 287-293.
- Min, B. M. and J. H. Kim(2000) Plant succession and interaction between soil and plant after land reclamation on the west coast of Korea. *Korean Journal of Plant Biology* 43(1): 41-47.
- Muhammad, A. (2004) Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora* 199: 361-376.
- Odum, W. E. (1988) Comparative ecology of tidal freshwater and salt-marshes. *Annual Review of Ecology and Systematics* 19: 147-176.
- Oloff, H., J. De Leeuw, J. P. Bakker, R. J. Platerink, H. J. Van Wijnen, and W. De Munck (1997) Vegetation succession and herbivory in a salt marsh: changes induced by sea level rise and silt deposition along an

- elevational gradient, *Journal of Ecology* 85: 799-814.
- Penfound, W. T. and E. S. Hathaway(1938) Plant communities in the marshlands of southeastern Louisiana, *Ecological Monographs* 8(1): 1-56.
- Qadir, M. and S. Schubert (2002) Degradation process and nutrient constraints on sodic soils, *Land Degradation and Development* 13: 275-294.
- Rhoades, J. D., N. A. Manetghi, P. J. Shouse, and W. J. Alves(1989) Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations, *Soil Science Society of America Journal* 53: 433-439.
- SAS(2000) *The SAS system for Windows*, SAS Institute, USA.
- Sheldrick, B. H. and C. Wang(1993) Particle size distribution. In: Carter, M. R. (ed.), *Soil sampling and methods of analysis*, Lewis Publishers, London, pp. 499-511.
- Shumway, S. W and M. D. Bertness(1994) Patch size effects on marsh plant secondary succession mechanism, *Ecology* 75: 564-568.
- Silvestri, S., A. Defina, and M. Marani(2005) Tidal regime, salinity and salt marsh plant zonation, *Estuarine coastal and shelf science* 62: 119-130.
- Srivastave, D. S. and R. L. Jefferies(1995) Mosaics of vegetation and soil salinity: a consequence of goose foraging in an arctic salt-marsh, *Canadian Journal of Botany* 74: 75-83.
- Tran, T. S. and R. R. Simard(1993) Mehlich III -Extractable Elements. In: Carter, M. R. (ed.), *Soil sampling and methods of analysis*, Lewis Publishers, London, pp. 43-49.
- US Salinity Laboratory Staff(1954) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, USDA Handbook No. 60.
- Vince, S. W. and A. A. Snow(1984) Plant zonation in an Alaskan silt marsh. I. Distribution, abundance, and environmental factors, *Journal of Ecology* 72: 651-667.
- Watkinson, A. R. and A. J. Davy(1985) Population biology of salt marsh and sand dune annuals, *Vegetatio* 62: 487-497.