한국환경농학회지 제22권 제2호 (2003)
Korean Journal of Environmental Agriculture Vol. 22, No. 2, pp. 79-86

4개 간척 지구에 분포하는 식생과 토양 염류농도

이승헌* · 지광재 · 안 열 · 노희명[1)]
농업기반공사 농어촌연구원, [1)]서울대학교 농업생명과학대학
(2003년 1월 30일 접수, 2003년 3월 14일 수리)

Soil Salinity and Vegetation Distribution at Four Tidal Reclamation Project Areas

Seung-Heon Lee*, Kwang-Jae Ji, Yeoul An and Hee-Myong Ro[1)] (Rural Research Institute, Korea Agricultural and Rural Infrastructure Corporation, Ansan 425-170, Korea, [1)]College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea)

ABSTRACT : This research was conducted to present reference data to be used as newly reclaimed tidal land management. We investigated vegetation succession at 4 reclaimed/reclaiming project areas and discussed relationship with soil and vegetation through investigation and analysis soil chemical characteristics at 2 areas. 14 families 58 kinds were investigated. Vegetation were various at Dea-Ho conservation plot and Seok-Mun National Industrial Area which are maintaining naturally. Vegetation were simple at Hong-Bo and Dongjin and ManKyong river areas which effected sea water. Common species that were investigated at 9 sites were *Suaeda asparagoides*, *Aster tripolium*, *Phragmites australis*, *Suaeda maritima*, *Suaeda japonica*, *Carex scabrifolia*. As soil desalinization progressing, soil classified at first saline-sodic soil, the next saline soil and then normal soil. Chenopodiaceae revealed at about 30 dS/m of soil ECe and existed to 10 dS/m of soil ECe. At about 20 dS/m of soil ECe, *Aster tripolium*, *Calamagrostis epigeios*, and *Sonchus brachyotus* revealed and then non -halophytes and commom plants at inland revealed at low soil ECe of about 10 dS/m. However it was not to progress vegetation succession and soil desalinization at the same time, owing to input of seeds or plants etc from out-ecosystem. So for promotion of vegetation at newly reclaimed tidal land, we proposed that it was very effective to plant artificially halophytes or suitable species through soil test.

Key words: reclaimed land, halophyte, electrical conductivity, desalinization, vegetation sucession.

서 론

해안은 육상과 해양의 물리적, 화학적 및 생물학적 요인이 복잡하게 얽혀있고, 조수간만에 의하여 시간과 공간적으로 환경의 변화가 심하며 토양의 높은 염분농도로 인하여 식물의 분포가 제한되는 독특한 지역이다. 그런데 이러한 해안염습지의 염분토양에서 발아, 생장, 생식 등의 전생활사를 마칠 수 있는 식물을 염분이 없는 곳에서 생육하는 중생식물(glycophytes)과 비교하여 염생식물(halophytes)이라고 한다. 일반적으로 해안염생식물 군락은 높은 토양염류로 말미암아 소수종으로 구성되고, 해수의 영향을 주로 받는 해안성 염습지와 해수와 담수가 섞이는 기수성 염습지에 따라 차이를 보이나, 지형의 고도, 토양의 염도구배, 해수의 침수시간과 빈도, 토성, 지하수위 등의 국지적인 환경요인에 따라 독특한 성대구조(zonation)을 이룬다[1)].

해안성 염습지에서 영향을 미치는 환경요인은 조수, 토양함수량, 염농도, 생물 상호작용 등이며 내륙성 염습지에서 영향을 미치는 환경 요인은 지형, 생물 상호작용, 토양함수량, 염분농도 등이다. 염생식물의 기능은 첫째, 퇴적물내 유기탄소, 인산 등의 생물학적 펌프 기능을 하면서 연안 생태계의 1차 생산자 기능을 한다. 둘째, 염생식물 뿌리와 줄기는 퇴적층의 고형화 및 안정화를 유도하여 육지의 침식을 보호하며 해풍에 의해 야기되는 비사현상을 방지한다. 셋째, 유기오수의 정화에 매우 효율적으로 하수를 정화하는 기능을 한다. 넷째 무척추동물을 포함하는 다양한 생물이 서식하는 생태계의 보고로서 환경보전적 측면에서의 종다양성을 보전하는 사회문화적 의미를 가진다. 다섯째 염생식물의 독특한 경관은 자연학습지, 해안생태관광지, 방목용 초지 등 생태적 경관 가치를 부여한다[2)].

*연락저자:
Tel: +82-31-400-1804 Fax: +82-31-409-6055
E-mail: shyi@karico.co.kr

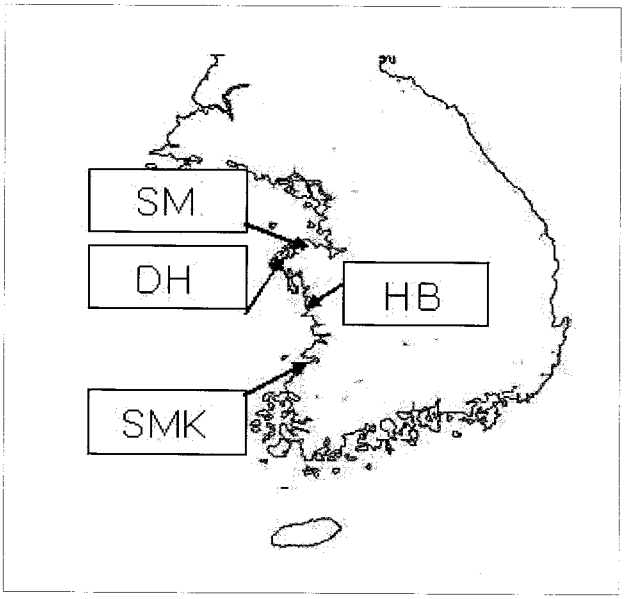

Fig. 1. Location of the Survey sites.

간척지의 농경지화는 제염이 진행된 이후에 이루어져야 하는데 작물재배가 가능한 정도로 제염이 진행되기 전까지는 다양한 식물종, 특히 염생식물의 발생이 많다. 간척지의 식생은 제염정도와 밀접한 관계가 있을 것으로 보이는데 제염정도와 식생간의 관계에 대한 연구는 거의 없는 실정이다[3].

본 연구에서는 제염진행과 이에 따른 토양 변화 및 식물분포에 미치는 영향을 분석하여 제염에 따른 천이 계열을 예측하고 식물의 토양환경에 대한 반작용을 밝혀 간척 후 생물적 무생물적 변화과정을 추정하여 이용 및 활용방안을 수립할 수 있는 기초 자료를 확보하고자 방조제 체절전후 시기에 자연식생이 존재하는 9개 지점에서 식생분포 특징을 조사하고 2개 지점에 대해서는 토양과 식생간의 관계를 검토하였다.

재료 및 방법

조사지역

조사대상은 간척후의 대상 지역으로 충남 당진군에 위치한 석문(SM), 대호(DH)지구와 간척후 해수유통을 시키고 있는 홍보(HB)지구, 그리고 현재 간척시행중인 새만금(SMK)지구의 동진강과 만경강 하구를 대상으로 하였다. 대호지구는 농업기반공사 산하 농어촌연구원의 대호간척지 시험포장내에 식생보전구(0.25 ha)에서 조사하였으며 석문지구는 석문국가공단예정 부지내와 석문공구내에서 각각 조사하였으며 홍보지구는 홍성공구 하류와 보령공구 하류 그리고 보령공구내 빙도 주변에서 새만금지구는 동진강 하류 1개 지점과 만경강 하류 2개 지점 총 9개 지점에서 실시하였다. 조사시기는 식생조사의 경우는 계절별 변이를 작게 하고 동일시기 조사를 위하여 2002년 7월과 8월중에 실시하였다. 토양시료는 방형구가 설치되어 있는 대호시험포내 식생보전구에서 9개 방형구에서 0~20 cm 부근의 토양에 대해 1개 방형구에 1개의 혼합 시료 9점을 채취하였고 가장 식생이 다양한 석문지구에서는 대표식생 9종에 대해 1개 식물종에 대해 3개 지점에서 방형구와 동일한 방법으로 총 27개 혼합 시료를 채취하여 결과는 각 식물종에 평균하였다.

토양분석

토양 화학성은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양화학분석법[4]에 준하여 토양시료를 음지에서 풍건하여 2 mm 체를 통과하도록 분쇄한후 토양포화침출액을 조제한 후 pH는 Fisher AR15(USA)과 EC는 TOA, CM 20S(Japan)로 측정하였으며 수용성양이온은 포화추출액을 적당히 희석하여 Inductively Coupled Plasma, JY38S(France)로 분석하였다.

결과 및 고찰

식생 조사 결과

방조제 체절후 일정기간 자연상태를 잘 유지한 대호 시험포내 식생보전구와 석문 국가공단 예정 부지에서의 출현 종수가 다양하게 분포하였으며 체절후 해수를 유통시키고 있는 홍보지구나 체절이 되지 않은 만경강, 동진강 하구의 식생은 10여종 정도로 단순한 식생이 발견되었다. 9개 조사지점에서 가장 빈도가 높게 출현한 종은 벼과, 명아주과, 국화과에 속하는 나문재(*Suaeda asparagoides* (Miq.) Makino), 갯개미취(*Aster tripolium* L.), 갈대(*Phragmites australis* Trin.), 해홍나물(*Suaeda maritima* Dum.), 칠면초(*Suaeda japonica* Dum.), 천일사초(*Carex scabrifolia* Steud.) 등이었다.

본 연구의 결과에서는 9개 조사지점에서 총 11목 14과 46속 49종 8변종 1품종 총 58종류가 조사되었다.

군락의 다양성을 나타내는 Shannon지수(H'), 균등도지수(J')에서도 식생보전구를 설치한 대호시험포와 석문국가공단 예정부지에서 군락의 다양성이 높았고 해수의 영향을 직접 받고 있거나 체절 후 해수를 유통시키고 새만금지구 만경강, 동진강 하구와 홍보지구에서는 군락다양성 지수가 낮았다. 석문지구의 석문공구의 경우는 내부개답 공사가 진행중이고 제염을 위해 담수상태를 유지하고 있어, 군락을 이루고 있는 경우는 갈대 1종밖에 없었으나 다양성은 높게 나타났다.

Min의 연구에 의하면 간척 후 시간의 경과에 따른 식물종의 증가는 토양 전기전도도와 함수량에 의해 주로 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 전기전도도에 따라 제1군은 지채, 퉁퉁마디, 칠면초, 갯질경, 나문재 등이고 제2군은 갯미취, 갈대, 천일사초, 갯잔디, 비쑥, 갯눈쟁이, 버들명아주, 제3군은 강아지풀, 산조풀, 사데풀, 띠, 제4군은 벌노랑이, 자귀풀, 토끼풀 등이다. 토양함수량의 변화에 따른 식물종은 제4군으로 분류되는데 제1군에는 침수지역으로 지채와 부들이며 제2군에는 침수지역부터 건조지역으로 갈대, 천일사초, 칠면초, 갯잔디, 퉁퉁마디 등이며 제3군에는 중간지역으로 갯개미취, 모새달, 띠, 갯질경, 비쑥, 산조풀, 강아지풀, 나문재, 사데풀, 자귀풀, 벌노랑이 등이며 제4군에는 갯눈쟁이, 버들명아주, 토끼풀, 좀

Table 1. Flora on 9 different sites at 4 tidal reclamation project areas

Scientific name	Korean name	Sites								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
PANDANALES	부들목									
TYPHACEAE	부들과									
Typha laxmanni Lepech.	꼬마부들			0		0				
Typha angustifolia L.	애기부들					0				
GRAMINALES	벼목									
GRAMINAE	벼과									
Calamagrostis epigeios (L.) Roth	산조풀	0	0							
Phragmites australis Trin.	갈대	0	0	0		0		0	0	0
Phacelurus latifolius (Steud.) Ohwi	모새달							0	0	0
Zoysia sinica Hance	갯잔디		0					0		
Digitaria sanguinalis (L.) Scop.	바랭이	0	0							
Imperata cylindrica var. *koenigii* (Retz.) Durand et Schinz	띠		0							
Agropyron tsukushiense var. *transiens* (Hack.) Ohwi	개밀		0		0					
Miscanthus sinensis Anders.	참억새		0							
Bromus japonicus Thunb.	참새귀리		0							
Bromus remotiflorus (Steud.) Ohwi	꼬리새		0							
Puccinellia nipponica Ohwi	갯꾸러미풀	0	0							
Poa sphondylodes Trin.	포아풀		0	0						
Beckmannia syzigachne (Steud.) Fernald	개피		0							
Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.	돌피			0	0	0				
Festuca arundinacea Schreb	큰김의털	0								
CYPERACEAE	사초과									
Scirpus planiculmis Fr. Schm.	새섬매자기	0		0		0	0			
Scirpus triangulatus Roxb.	송이고랭이							0		
Carex scabrifolia Steud.	천일사초		0			0		0	0	0
Fimbristylis ferruginea var. *sieboldii* (Miq.) Ohwi	갯하늘지기	0								
Cyperus microiria Steud.	금방동사니					0				
ORCHIDALES	난초목									
ORCHIDACEAE	난초과									
Spiranthes sinensis (Pers.) Ames	타래난초		0							
POLYGONALES	마디풀목									
POLYGONACEAE	마디풀과									
Rumex crispus L.	소리쟁이		0			0				
Persicaria perfoliata Gross	며느리배꼽		0							
Persicaria hydropiper (L.) Spach	여뀌			0						
Polygonum aviculare L.	마디풀			0						
CENTROSPERMALES	중심자목									
CHENOPODIACEAE	명아주과									
Suaeda asparagoides (Miq.) Makino	나문재	0	0		0	0	0	0	0	0
Suaeda maritima Dum.	해홍나물	0	0	0	0	0	0			
Suaeda japonica Dum.	칠면초				0	0		0	0	0
Salicornia herbacea L.	퉁퉁마디	0	0		0	0				
Chenopodium ficifolium Smith	좀명아주		0	0	0					
Chenopodium bryoniaefolium Bunge	청명아주			0						
CARYOPHYLLACEAE	석죽과									
Melandryum oldhamianum for. *roseum* (Nak.) T. Lee.	갯장구채		0							
Spergularia marina Griseb.	갯개미자리			0						
ROSALES	장미목									
ROSACEAE	장미과									
Duchesnea chrysantha (Zoll. et Morr.) Miq.	뱀딸기		0							
Rosa multiflora Thunb.	찔레꽃		0							
Potentilla paradoxa Nutt.	개소시랑개비			0						
LEGUMINOSAE	콩과									
Trifolium pratense L.	붉은토끼풀	0								
Amphicarpaea edgeworthii var. *trisperma* Ohwi	새콩		0							
Medicago denticulata Willd.	개자리		0							
Glycine soja S. et Z.	돌콩		0							
Robinia pseudoacacia L.	아까시나무		0							

Table 1. (continued)

Scientific Name	Korean Name	Sites 1[a]	2	3	4	5	6	7	8	9
MYRTALES	도금양목									
ONAGRACEAE	바늘꽃과									
Oenothera biennis L.	겹달맞이꽃		0			0				
PRIMULALES	앵초목									
PLUMBAGINACEAE	갯질경이과									
Limonium tetragonum (Thunb.) A.A. Bullock	갯질경		0	0		0				
GENTIANALES	용담목									
ASCLEPIADACEAE	박주가리과									
Metaplexis japonica (Thunb.) Makino	박주가리	0	0							
PLANTAGINALES	질경이목									
PLANTAGINACEAE	질경이과									
Plantago major var. *japonica* (Fr. et Sav.) Miyabe	왕질경이	0								
CAMPANULALES	초롱꽃목									
CAMPANULACEAE	국화과									
Artemisia princeps var. *orientalis* (Pamp.) Hara	쑥			0	0					
Artemisia scoparia Waldst. et Kitamura	비쑥									0
Artemisia fukudo Makino	큰비쑥									0
Erigeron canadensis L.	망초		0		0		0			
Erigeron annuus (L.) Pers.	개망초	0	0			0				
Aster subulatus Michx. var. *sandwicensis* A.G. Jones	큰빗자루국화					0	0			
Aster tripolium L.	갯개미취	0	0	0	0	0	0	0		0
Gnaphalium japonicum Thunb.	풀솜나물		0							
Lactuca indica var. *laciniata* Hara	왕고들빼기		0							
Sonchus asper (L.) Hill	큰방가지똥			0						
Sonchus brachyotus A.P. DC.	사데풀	0	0	0		0				
Total		16	36	17	10	18	6	8	5	8

[a]1, Dae-Ho Experiment conservation plot; 2, Seok-Mun National Industrial Area; 3, Seok-Mun Seok-Mun section; 4, Hong-Bo Hong-Seong section; 5, Hong-Bo Bong-Ryong section; 6, Hong-Bo Bong-Ryong Bing-Do; 7, Dongjin river; 8, ManKyong river Southern area; 9, ManKyong river Northern area.

Table 2. Summary of flora on 9 different sites

Regime	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Order	6	9	7	3	7	3	3	2	3	11
Family	7	12	9	3	8	3	4	3	4	14
Genus	15	33	15	8	14	4	7	4	6	46
Species	14	31	16	8	17	5	8	5	8	49
Variety	2	4	1	2	1	1				8
Forma		1								1
Kinds (Total)	16	36	17	10	18	6	8	5	8	58

보리사초 등으로 건조지역에 분포한다고 보고되었다[5].

토양제염과 식생천이와의 관계

금회 조사에서는 대호 시험포 내에 식생 천이 과정을 체계적으로 모니터링하기 위하여 보전구로 유지하고 있는 포장 내에서 8 m 간격으로 1 m × 1 m의 방형구 9개를 설치하고 2002년 7월에 식생조사와 토양의 화학성을 조사한 결과는 Table 4, 5와 같다.

식생조사 결과 상대피도가 큰김의털이 18.93%로 가장 높았고 명아주과인 나문재와 해홍나물이 0.11%로 가장 낮았고, 상대빈도는 갯하늘지기가 14.63%로 가장 높았고 명아주과가 2.44%로 가장 낮았으며, 중요치는 큰김의털, 갯하늘지기, 갈대 순으로 높았고, 염생식물인 퉁퉁마디, 나문재, 해홍나물 등이 낮았으므로 제염이 상당히 진행된 것으로 판단되었다. 그리고 제염이 상대적으로 덜 진행된 4, 5번 지점의 방형구가 전체 피도는 낮게 나타나고 있지만 출현종은 다양하게 나타나고 있는 특징을 보였는데 이는 고염상태에서는 초장이 크거나 잎의 면적이 넓은 종에 의한 우점보다 왜생종이 분포하기 때문인 것으로 생각된다. 갯벌 지역의 염생식물의 천이 과정은 주로 초기에는 1년생 명아주과 식물인 칠면초(*Suaeda japonica* Makino), 해홍나물(*Suaeda maritima* Dum.), 나문재(*Suaeda asparagoides* Makino), 퉁퉁마디(*Salicornia herbacea* L.) 등이 자라다가 이후 2년생 식물로 천이하며 제염이 진행되면서 습지에는 갈대(*Phragmites communis* Trin.)가 건지에는 자생 갯잔디가 자리를 잡으며 최종적으로 다년초와 잡목들로 천이가 이루어진다고 보고되어 있다[6].

Lee 등의 선행연구에서 대호지구 식생 보존구내에 식생

Table 3. Diversity index of plant community at survey sites

Site	Community	Shannon Index (H′)	Evenness Index (J′)
1[a)]	Quadrats	2.38	0.88
2	*Calamagrostis epigeios*(산조풀)	1.46	0.75
	Sonchus brachyotus(사데풀)	1.71	0.71
	Limonium tetragonum(갯질경)	1.17	0.84
	Suaeda maritima(해홍나물)	0.82	0.59
	Imperata cylindrica var. *koenigii* (띠)	1.02	0.74
3	*Phragmites australis*(갈대)	1.59	0.72
4	*Suaeda maritima*(해홍나물)	1.22	0.88
	Suaeda japonica(칠면초)	0.68	0.62
	Salicornia herbacea(퉁퉁마디)	1.01	0.92
	Chenopodium ficifolium(좀명아주)	1.42	0.88
	Erigeron canadensis(망초)	1.70	0.78
5	*Salicornia herbacea*(퉁퉁마디)	0.76	0.69
	Suaeda asparagoides(나문재)	1.53	0.74
	Suaeda japonica(칠면초)	0.57	0.82
	Aster tripolium(갯개미취)	0.65	0.94
	Phragmites australis(갈대)	1.25	0.78
6	*Salicornia herbacea*(퉁퉁마디)	0.64	0.93
	Suaeda asparagoides(나문재)	0.00	-
7	*Scirpus triangulatus*(송이고랭이)	0.00	-
	Zoysia sinica(갯잔디)	0.84	0.61
	Suaeda japonica(칠면초)	0.00	-
	Phragmites australis(갈대)	0.54	0.78
	Carex scabrifolia(천일사초)	0.60	0.87
8	*Suaeda japonica*(칠면초)	0.00	-
	Phragmites australis(갈대)	0.00	-
	Carex scabrifolia(천일사초)	0.62	0.90
9	*Suaeda japonica*(칠면초)	0.41	0.60
	Carex scabrifolia(천일사초)	0.46	0.66
	Phragmites australis(갈대)	0.65	0.59
	Aster tripolium(갯개미취)	1.20	0.87

[a)]1, Dae-Ho Experiment conservation plot; 2, Seok-Mun National Industrial Area; 3, Seok-Mun Seok-Mun section; 4, Hong-Bo Hong-Seong section; 5, Hong-Bo Bong-Ryong section; 6, Hong-Bo Bong-Ryong Bing-Do; 7, Dongjin river; 8, ManKyong river Southern area; 9, ManKyong North area.

천이과정을 1996년 8월부터 1998년 8월까지 3년간 조사한 결과에서는 1996년 8월의 경우 명아주과 일년생 초종이 주를 이루었고 국부적으로 제염이 진행된 곳은 갯잔디와 톨페스큐와 같은 초종이 우점을 이루고 있었고 배수가 불량하여 토양 수분함량이 항시 포화 상태인 곳은 갈대가 무성하였다. 1997년 3월에는 월동후 일년생 초종들은 모두 고사한 상태로 되어 있으며 1996년에 보이지 않았던 식물들이 4월 말 나타나기 시작하였고 특히 국부적으로 붉은 토끼풀이 무성히 자라고 있었다. 6월말에 전년도에 자라던 1년생 초종이 다시 번식하기 시작하여 초장 40 cm 이상의 군락을 이루고 있었고 제염의 지표가 되는 이러한 염생식물의 색깔 또한 전년도에 비해 붉은 색에서 초록색이 강하게 나타났다. 또 개망초, 갯댑싸리, 갯질경이, 사데풀 등의 초종도 부분적으로 군락을 이루고 있었다. 8월 말에는 갯질경 군락이 만화되어 있었고 특히 레드클로바 군락이 갯질경 군락에 의해 잠식당하는 양상을 보이고 있었다. 그리고 개망초 군락 또한 영역을 확대하고 있었다. 9월 중순의 경우 장마기가 지나고 기온이 하강하면서부터 1년생 초종의 경우 하절기 번무하였던 식생이 점점 개화결실 후 고사하기 시작하였고 극심한 가뭄으로 인한 염분 상승으로 일부 지역에서는 명아주과 식물의 분포면적이 확대되는 지점도 있었다. 그리고 식물의 색 또한 매우 붉으며 초장은 5~10 cm 정도로 생육도 불량하였다. 1998년의 경우도 1997년과 비교하여 큰 차이는 없었지만 내염성식물인 명아주과의 군락이 점점 줄어들고 일반 육상식물의 출현이 더욱 많아졌다. 특히 대표적 중성식물로 알려진 강아지풀이 군락을 이루기 시작한 것으로 보고 되었다[7].

염농도(salinity)는 토양의 포화침출액에 대한 전기전도도(EC)로 평가되어지는데(단위는 mmhos/cm 또는 dS/m), 토양에 존재하는 다양한 이온종 중에서 특히 Na^+ 이온은 토양 입자간 반발력 증가를 통해 입단형성을 저해하여 투수성과 경운성을 나쁘게 하는 등 토양 물리성 악화에 가장 큰 영향을 미친다. 따라서 ESP(exchangeable sodium percentage) 와 SAR (sodium adsorption ratio)과 같은 Na^+의 지표를 측정하여 Na^+의 상태를 기술하고 있다[8].

2002년 7월 9개 소방형구내에서 표토에 대해 혼합토양을 채취하여 염류토양분류의 지표가 되는 토양포화추출액의 전기전도도(EC)와 수용성 양이온을 정량한 후 SAR을 구한 결과 4, 5, 9번 방형구는 염류-나트륨성 토양(saline-sodic soil)으로 분류되고 그 외 방형구는 일반토양(nomal soil)으로 분류될 정도로 제염이 진행된 상태였다.

Lee등의 선행 연구에서 1997년 대호 간척지내의 식생보전 포장에서 식생별로 A 에서 G 까지 7개 그룹으로 구분하고 토양 시료를 채취하여 토양의 이화학성을 분석한 결과에 따르면 A 그룹을 명아주과인 나문재, 퉁퉁마디, B 그룹을 갯개미취, 개망초, C 그룹을 강아지풀, D 그룹을 갈대, E 그룹을 갯질경, F 그룹을 토끼풀, G 그룹을 갯잔디, 톨페스큐가 각각 우점하는 그룹으로 구분하였고, 이에 대한 식생과 토양과의 관계를 검토한 결과 천이과정은 초기에는 A 그룹이 우점하다가 이후 B 그룹이 등장하였고 기타 그룹의 식생은 거의 동시기에 출현하여 경쟁하는 양상을 나타냈고 토양은 전체적으로 pH는 7.0~8.0 범위였고, 전기전도도는 A 그룹을 제외한 나머지 그룹은 모두 표토는 평균 10 dS/m 이하, 심토는 평균 20 dS/m 이하였다. SAR 값은 A 그룹이 자라는 토양은 염류-나트륨성 토양의 특징을 나타내었고 기타의 그룹은 염류토양의 특징을 나타내었다. 즉 간척지에서 식생 천이과정과 토양의 제염정도의 관계는 명아주과 식물 외의 식생의 출현은 전기전도도 평균 10 dS/m 이하, SAR은 15 이하에서 이루어지는 것으로 보고되었다[7].

Table 4. Plant community of Dae-ho experiment conservation plot

Quadrats	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Relative Coverage (%)	Relative Frequency (%)	Importance Value	Species Rank
Trifolium pratense (붉은토끼풀)	60	30				10				11.14	7.32	9.23	6
Sonchus brachyotus (사데풀)	30	50				20	30	5		15.03	12.20	13.62	4
Calamagrostis epigeios (산조풀)	20	40			20					8.91	7.32	8.12	7
Phragmites australis (갈대)	10		70	30	10	20				15.59	12.20	13.90	3
Plantago major var. *japonica* (왕질경이)	10									1.11	2.44	1.77	11
Festuca arundinacea (큰김의털)			20	20		30	60		40	18.93	12.20	15.57	1
Fimbristylis ferruginea var. *sieboldii* (갯하늘지기)			20		10	10	10	60	10	13.36	14.63	13.99	2
Digitaria sanguinalis (바랭이)				30	20			20	10	8.91	9.76	9.34	5
Scirpus planiculmis (새섬매자기)				5	1					0.67	4.88	2.77	9
Suaeda asparagoides (나문재)				1						0.11	2.44	1.27	14
Suaeda maritima (해홍나물)				1						0.11	2.44	1.27	14
Salicornia herbacea (퉁퉁마디)					20					2.23	2.44	2.34	10
Aster tripolium (갯개미취)					5			10		1.67	4.88	3.27	8
Metaplexis japonica (박주가리)						10				1.11	2.44	1.77	11
Puccinellia nipponica (갯꾸러미풀)									10	1.11	2.44	1.77	11
Total Coverage	130	120	110	87	86	100	100	95	70	100.00	100.00	100.00	-
Total Species	6	4	4	7	8	7	4	5	5	-	-	-	-

Table 5. Soil characteristics of quadrats at Dae-ho experiment conservation plot

Quadrats		1	2	3	4	5	6	7	8	9	AVG.
pH		8.4	8.3	8.2	7.9	7.8	7.9	8.0	8.0	8.1	8.1
ECe (dS/m)		0.90	1.28	1.51	4.55	4.98	2.52	1.55	2.33	5.47	2.79
SP (%)		37.72	37.58	37.08	37.22	36.57	35.33	38.00	40.91	33.71	37.12
Souble Cations (mmol/L)	Mg^{++}	0.86	1.61	1.24	4.41	4.36	2.11	2.07	3.09	6.19	2.88
	Ca^{++}	1.20	2.04	1.76	3.85	4.28	2.81	3.27	4.14	6.86	3.36
	Na^{+}	5.74	7.31	9.83	35.20	37.73	18.93	8.83	15.84	43.62	20.34
	K^{+}	1.27	0.79	0.96	2.71	3.30	1.51	1.06	1.40	3.29	1.81
SAR		5.67	5.41	8.03	17.32	18.15	12.06	5.41	8.33	17.08	10.83

선행 연구결과와 금번 연구결과를 종합하면 토양의 제염은 염류-나트륨성 토양에서 염류토양으로 그리고 최종적으로 일반 토양으로 변화하는 것을 알 수 있으며 우리나라 간척지의 경우는 간척초기에는 해수의 영향을 받아 염류-나트륨성 토양에서 1가인 나트륨 이온이 먼저 제염되어 염류토양으로 그리고 전체적인 제염 진행과 함께 일반 토양으로 진행되는 것을 알 수 있으며 식생의 경우는 염생식물이나 내염성식물이 초기에 정착하다가 일반 식물로 천이하는 과정을 거치지만 토양제염과 함께 동시에 식생의 천이가 일어나는 것은 아니며, 외부에서 종자 등의 식물이 유입될 확률이 있어야하므로, 초기간척지의 식생을 조기에 정착하기 위해서는 토양검정을 통해 적정 염도에서 정착할 수 있는 식생의 인공식재 내지

Table 6. Soil characteristics and vegetation at Seok-Mun national industrial area

Vegetation		*Miscanthus Sacchariflorus* (물억새)	*Sonchus brachyotus* (사데풀)	*Setaria gluca* (금강아지풀)	*Calamagrostis epigeios* (산조풀)	*Aster tripolium* (갯개미취)	*Salicornia herbacea* (퉁퉁마디)	*Limonium tetragonum* (갯질경)	*Suaeda maritima* (해홍나물)	*Suaeda asparagoides* (나문재)
Plant Height(cm)		196.3	85.3	64.3	120.3	80.0	26.7	19.3	31.3	60.3
pH		8.4	7.5	8.2	7.9	7.8	8.0	7.9	7.9	7.4
ECe (dS/m)		3.24	6.40	8.32	8.81	16.60	18.84	19.35	30.00	38.20
SP (%)		50.0	52.9	44.5	57.7	48.67	50.60	45.49	51.93	59.6
Souble Cations (mmol/L)	Mg^{++}	5.04	9.82	13.93	16.19	36.45	38.97	38.39	77.17	97.33
	Ca^{++}	4.00	5.43	9.86	6.80	11.66	30.08	16.37	42.03	12.39
	Na^{+}	24.38	51.53	69.28	74.27	152.20	179.43	175.08	298.52	374.96
	K^{+}	2.01	3.29	3.15	3.67	7.50	11.60	8.10	19.05	16.29
SAR		11.25	18.70	19.95	21.51	30.06	31.34	33.51	38.32	50.07

종자 산파를 통해 촉진시키는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

Table 6는 석문 국가공단 예정부지에서 식생별로 토양을 채취하여 토양의 화학적 성질을 조사한 결과이다. 석문지구의 경우는 1991년에 방조제가 체절되었고 국가 공단 예정부지는 현재 개발 계획이 확정되지 않아 좋은 간척초기 식생 천이 지역으로 지속적 조사를 수행하기에 적합한 지역으로 판단된다. 2002년 10월 대부분이 1년생인 초종이 개화후 결실의 단계에 있었으며 차량으로 접근 가능 지역만을 조사하여 건조지 중심의 조사였다. 앞의 Table 1과 Table 6에서 검토한 식물종의 차이는 석문지구의 경우 식생조사 당시 선행강우가 있어 토양조사는 10월에 식생조사는 7월에 실시하여 장마이후 식생조사 당시 생육이 약했던 식물종이 10월에 번무하게 되어 나타난 결과이다. 향후 토양 염도와 식물종의 계절별 변이에 대한 추가 검토가 필요하다.

조사결과 일반적으로 식생이 정착할 수 없는 고염분 상태에서도 해홍나물이나 나문재등의 명아주과 염생식물이 군락을 이루고 있었으며 염도(ECe)가 10 dS/m 이하인 지점에서 물억새, 사데풀, 금강아지풀, 산조풀 등이 출현하였다. 대호 식생 포장의 천이과정과 비교하면 초기 명아주과의 출현은 염도(ECe)가 30 dS/m 전후에서 출현하고 10 dS/m 까지 지속되고 20 dS/m전후에서 갯개미취, 산조풀, 사데풀 등이 출현하고 10 dS/m 이하에서 일반육상에서 볼 수 있는 종들이 출현한다. 이는 Min[5]의 연구 결과에서와 같이 제1군인 퉁퉁마디, 칠면초, 갯질경, 나문재 등에서 제2군인 갯개미취, 갈대, 천일사초, 갯잔디, 비쑥, 갯는쟁이, 버들명아주, 제3군인 강아지풀, 산조풀, 사데풀, 띠, 제4군인 벌노랑이, 자귀풀, 토끼풀 등으로 천이 단계와 유사한 결과임을 알 수 있다.

요 약

토양 제염이 토양 화학성 변화와 식물 분포에 미치는 영향을 분석하여 간척농경지의 효율적인 관리방안에 대한 기초자료를 확보하고자 본 연구를 실시하였다. 방조제 체절전후 자연식생이 존재하는 9개 지점에서 식생분포 특징을 조사하고 2개 지점에 대해서는 토양과 식생간의 관계를 검토하였다. 9개 조사지점에서 11목, 14과, 46속, 49종, 8변종, 1품종등 총 58종류의 식생분포가 관찰되었고 자연상태를 잘 유지한 대호 식생보전구와 석문 국가공단 예정 부지에서의 출현종수가 다양하게 분포하였으며 해수를 유통시키고 있는 홍보지구나 만경강, 동진강 하구의 식생은 10여종정도로 단순하였다. 9개 조사지점에서 가장 빈도가 높게 출현한 종은 벼과, 명아주과, 국화과에 속하는 나문재(*Suaeda asparagoides* (Miq.) Makino), 갯개미취(*Aster tripolium* L.), 갈대(*Phragmites australis* Trin.), 해홍나물(*Suaeda maritima* Dum.), 칠면초(*Suaeda japonica* Dum.), 천일사초(*Carex scabrifolia* Steud.) 등이었다. 토양의 제염에 따라 염류-나트륨성(Saline-sodic) 토양에서 염류(Saline)토양으로 그리고 최종적으로 일반 토양으로 변화하였다. 명아주과의 식생은 염도(ECe)가 30 dS/m 전후인 토양에서 출현하여 10 dS/m까지 지속되고, 20 dS/m전후에서 갯개미취, 산조풀, 사데풀 등이 출현하였으며 10 dS/m 이하에서는 일반육상에서 볼 수 있는 식생종들이 출현하였다. 그러나 토양제염과 동시에 식생의 천이가 일어나는 것은 아니며, 외부에서 종자 등의 식물이 유입될 확률이 있어야하므로, 초기간척지의 식생을 조기에 정착하기 위해서는 토양검정을 통해 적정 염도에서 정착할 수 있는 식생의 인공식재 내지 종자 산파를 통해 촉진시키는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림부 농촌개발시험연구비에 의해 연구되었다.

참 고 문 헌

1. Im, B. S., http://www.me.go.kr/hongbo/20010026/lecture9.html.
2. Choi, B. G. (1998) A study on the use of halophytes on the reclaimed land in landscape architecture, *Korean J.*

Landscape Architecture 26(3), 278-287.

3. Kang, B. H. and Shin, S. I. (1998) Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique saline Stress, *Korean J. Environ. Agric.* 17(1), 26-33.
4. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA. (2002) Method of Soil and plant analysis, sangrocksa, p.103-134.
5. Min B. M. (1986) Changes of soil and vegetation in coastal reclaimed lands, West Coast of Korea, Ph.D. Thesis, Seoul National University, Dept. of Botany, Seoul, p.109-111.
6. 신공항 건설 공단 (1998) 인천국제공항 식재기반 조성 학술용역 보고서, p.184.
7. Lee S. H., An Y., Yoo S. H, and Lee, S. M. (2000) Changes in early stage vegetation succession as affected by desalinization process in Dae-Ho reclaimed land, *Korean J. Environ. Agric.* 19(4), 364-369.
8. Rural Development Corporation (1996) Tidal Land Reclamation Of Korea, Dae-sung Publication, p.315.