

해안녹화식물 선발을 위한 식생 피복도 모니터링

Monitoring of Vegetation Coverage for Selecting Plants for Beach Revegetation

김동엽* · 임상준** · 권혁민*** · 임재홍****

Kim, Dongyeob · Im, Sangjun · Kweon, Hyuck-Min · Yim, Jaehong

Abstract

This study was carried out to select suitable plants for beach revegetation as a preliminary study for quantifying the effect of decreasing sand movement. After planting some herbal plants in field, monitoring of temporal change of vegetation coverage which was index of the growth rate was conducted. Through literature reviews, 24 candidate plants for beach revegetation were selected, then seven species of them, *Peucedanum japonicum* Thunb., *Dianthus japonicus* Thunb. ex Murray, *Sedum oryzi-folium* Makino, *Sedum takesimense* Nakai, *Sedum spectabile* Boreau, *Farfugium japonicum* (L.) Kitam., *Aster spathulifolius* Maxim. were picked through salinity tolerance experiments in laboratory. Seven species selected by salinity tolerance experiments and two additional herbal plants, *Prunella vulgaris* var. *lilacina* Nakai and *Linaria vulgaris* Mill., not the candidates, were nine final species which were planted in the beach around Osan port, Uljin, Korea. The changes of vegetation coverage of each species were investigated from photos periodically taken for about a year using image processing methods. As a result of the monitoring, *Sedum takesimense*, *Dianthus japonicus* and *Aster spathulifolius* were observed with high coverages during the whole monitoring while *Prunella vulgaris* var. *lilacina* and *Linaria vulgaris* were observed with low coverage during the same period. Consequently, *Sedum takesimense*, *Dianthus japonicus* and *Aster spathulifolius* were concluded as the most suitable plants for beach revegetation. Further study to quantify the effects of decreasing sand movement by the selected species is needed.

Keywords : decreasing sand movement, salinity tolerance, *Sedum takesimense*, *Dianthus japonicus*, *Aster spathulifolius*

요 지

본 연구는 식물의 비사저감효과를 정량화하기 위한 기초연구로서 해안녹화에 적합한 식물을 선발하기 위해서 실시되었다. 이를 위해서 몇몇 초본식물을 현장식재한 후 식물 생장의 지표로서 시기별 식생 피복도 모니터링을 실시하였다. 문헌조사를 통하여 24종의 해안녹화식생 후보군을 선정하여 식생포지에 생육한 후, 내염성실험을 실시하여 갯기름나물, 갯패랭이, 땅채송화, 섬기린초, 좁은잎해란초, 큰평의비름, 털머위, 해국 등 7종을 선정하였다. 현장식재실험은 내염성실험에서 선정된 7종과 일반 초화류인 꿀풀과 좁은잎해란초 등 2종을 추가한 총 9종에 대하여 경상북도 울진 오산항 부근 해안가에 식재 포장을 설치하여 실시되었다. 각 식물별로 약 1년 동안 정기적으로 촬영된 사진을 이미지 프로세싱 기법으로 처리하여 최종적으로 피복도를 계산하여 시기별 변화 양상을 파악하였다. 그 결과, 섬기린초, 갯패랭이, 해국 등이 연중 높은 피복도를 나타낸 반면 꿀풀과 좁은잎해란초는 거의 모든 개체가 고사하여 매우 낮은 피복도를 나타내었다. 결론적으로 섬기린초, 갯패랭이, 해국 등이 해안녹화에 적합한 종으로 판단되었다. 추후 본 연구에서 선정된 식물들의 비사저감효과를 정량화하기 위한 공동을 이용한 추가적인 연구가 요구된다.

핵심용어 : 비사저감, 내염성, 섬기린초, 갯패랭이, 해국

1. 서 론

해안에서 발생하는 비사는 바람과 모래의 마찰에 의한 것으로서 해안 침식, 도로 퇴적, 경작지 매몰, 해안 보안림 매몰 등의 원인으로 작용한다. 이러한 비사 발생을 억제하는 것은 해안선 유지 및 확보 측면뿐만 아니라 주변 환경오염

방지 측면에서도 중요하다.

모래의 비산을 막기 위한 방법으로는 방풍림을 조성하는 방법, 지피 식물로 조기에 피복하는 방법, 그리고 지하수 조절에 의한 토양 수분을 관리하는 방법 등이 있다(한국농촌공사 새만금사업단, 2006). 특히, 해안가에서는 지피 식물을 이용하여 피복하는 것, 즉 초본식물을 이용하여 녹화하는 방

*정회원 · 서울대학교 산림과학부 박사과정 (E-mail : hendrix7@snu.ac.kr)

**정회원 · 교신저자 · 서울대학교 산림과학부 부교수 · 공학박사 (E-mail : junie@snu.ac.kr)

***정회원 · 경주대학교 철도건설환경공학과 부교수 · 공학박사 (E-mail : hmkweon@kyongju.ac.kr)

****하이젠(주) 대표이사 · 농학박사 (E-mail : econuri@paran.com)

법이 현장 특수성을 살리고 주변 환경과도 조화를 이루는 효과적인 방법이다. 또한, 이 방법은 해안가의 식물 생태계를 직접 복원한다는 점에서 생태적으로 가치가 있으며, 비용 측면에서도 다른 방법에 비해서 효율적이다.

그러나 해안가는 일반적으로 식물이 성장하기에 열악한 환경이다. 그러므로 해안녹화를 초기에 달성하기 위해서는 대상지에 적합한 식물을 선정하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 해안녹화용 식물이 구비해야 할 일반적인 조건으로는 양분과 수분에 대한 요구도가 작고, 온도의 급격한 변화에 내성이 크며, 바람 피해에 대한 저항력이 크고, 마지막으로 울폐도가 클 것 등이 있다(오구균과 김도균, 2007).

해안녹화식물의 비사저감에 관한 외국의 연구사례를 살펴보면 Nordstorm 등(1990)은 식물의 지표피복형 뿌리가 비사저감에 효과적이라는 것을 실험적으로 증명하였으며, Wasson과 Nanninga(1986)은 식물의 피복도, 바람의 속도, 모래 이동율의 관계를 현장 조사를 통하여 밝혀내었다. Musick 등(1996)은 식물의 구조가 비사발생에 미치는 영향을 밝히기 위하여 식생 모조품을 이용하여 풍동실험을 한 결과 측면피복(lateral cover) 즉, 지표 피복도(surface coverage)가 비사발생에 큰 영향을 미친다는 것을 밝혔다. 한편, 柳鳴과 上岡(2003)는 식물이 해변의 지형변화에 미치는 영향을 알기 위하여 현지조사를 수행한 결과, 식물이 있는 해변은 지반고가 상승한 반면 식물이 없어진 해변은 지반고가 하강하는 것으로 나타났다.

국내의 경우에는 비사방지대책에 대하여 권혁민(1997,

1999), 권혁민 등(2004)은 식생에 의한 해안선보호 사례를 보고한 바 있다. 또한, 한국농촌공사 새만금사업단(2006)은 새만금 간척지에 염생식물 현장 생육시험과 함께 비산먼지의 확산을 예측하기 위한 CFD 시뮬레이션을 이용하기도 하였다. 하지만, 해안녹화에 적합한 초본식물의 선정에 관한 연구는 여전히 부족한 실정이다.

이에 따라 본 연구는 해안녹화에 적합한 초본식물을 선발하는 것을 목적으로 실시되었다. 이를 위하여 문헌조사와 내염성실험을 통해 선별된 몇몇 초본식물을 해안가에 직접 식재한 후, 식생 피복도를 지속적으로 모니터링한 결과를 토대로 해안녹화용 초본식물을 선발하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구수행 절차

본 연구는 그림 1과 같은 순서로 실시되었다. 먼저 문헌 조사를 통하여 해안녹화에 적합한 후보식물군을 선정하고, 식생 생산포지를 조성하여 생육하였다. 그 후, 후보식물에 대하여 바닷물로 처리한 내염성 실험을 실시하였다. 최종적으로 내염성 실험에서 좋은 결과를 보인 식물들을 선정하여 직접 현장에 식재한 후, 피복도 모니터링을 실시하였다.

2.2 후보식물 선정 및 생산포지 조성

먼저 문헌조사를 통하여 해안녹화용 후보식물들을 선정하

표 1. 해안녹화용 후보식물 목록

국명 (학명)	과명	성상	생육지
갯기름나물 (<i>Peucedanum japonicum</i> Thunb.)	산형과	속근초	바닷가, 냇가
갯까치수염 (<i>Lysimachia mauritiana</i> Lam.)	앵초과	이년초	바닷가
갯메꽃 (<i>Calystegia soldanella</i> (L.) Roem. & Schultb)	메꽃과	다년초	바닷가 모래땅
갯방풍 (<i>Glehnia littoralis</i> F. Schmidt ex Miq.)	산형과	다년초	바닷가 모래땅
갯씀바귀 (<i>Ixeris repens</i> (L.) A. Gray)	국화과	다년초	바닷가 모래땅
갯완두 (<i>Lathyrus japonicus</i> Willd.)	콩과	다년초	바닷가 모래땅
갯패랭이 (<i>Dianthus japonicus</i> Thunb. ex Murray)	석죽과	다년초	바닷가
기린초 (<i>Sedum kantschaticum</i> Fisch. & Mey.)	돌나물과	다년초	산지 바위 곁
돌나물 (<i>Sedum satmentosum</i> Bunge)	돌나물과	다년초	약한 습지
두메부추 (<i>Allium senescens</i> L. var. <i>senescens</i>)	백합과	다년초	바닷가
땅채송화 (<i>Sedum oryzifolium</i> Makino)	돌나물과	다년초	바닷가 바위 곁
반디지치 (<i>Lithospermum zollingeri</i> A. DC.)	지치과	다년초	햇볕이 잘 쬐고 건조한 풀밭 또는 모래땅
별노랑이 (<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>japonica</i> Regel)	콩과	다년초	산지의 습지
부처꽃 (<i>Lythrum anceps</i> (Koehne) Makino)	부처꽃과	다년초	습지 및 냇가
사철쭉 (<i>Artemisia capillaris</i> Thunb.)	국화과	다년초	냇가의 모래땅
섬기린초 (<i>Sedum takesimense</i> Nakai)	돌나물과	다년초	산지
왕잔디 (<i>Zoysia macrostachya</i> Franch. & Sav.)	벼과	다년초	바닷가 모래땅
참골무꽃 (<i>Scutellaria strigillosa</i> Hemsl.)	꿀풀과	다년초	바닷가 모래땅
큰뽕의비름 (<i>Hylotelephium spectabile</i> (Boreau) H.Ohba)	돌나물과	다년초	산지
타래붓꽃 (<i>Iris lactea</i> var. <i>chinensis</i> (Fisch.) Koidz.)	붓꽃과	다년초	산지
털머위 (<i>Farfugium japonicum</i> (L.) Kitam.)	국화과	다년초	바닷가 숲 속
통보리사초 (<i>Carex kobomugi</i> Ohwi)	사초과	다년초	바닷가 모래땅
해국 (<i>Aster spathulifolius</i> MAX.)	국화과	다년초	바닷가
해란초 (<i>Linaria japonica</i> Miq.)	현삼과	다년초	바닷가 모래땅

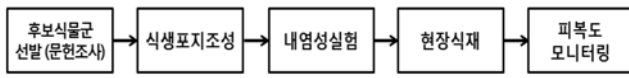


그림 1. 연구의 흐름

표 2. 바닷물 처리 농도에 따른 가시적 평가

식물명	바닷물 처리 농도 (%)			
	0	33	66	100
갯기름나물	5	5	5	5
갯까치수염	5	5	5	4
갯메꽃	5	5	5	4
갯방풍	5	5	5	5
갯씀바귀	5	5	5	4
갯완두	5	3	2	1
갯패랭이	5	5	5	4
기린초	5	5	5	5
돌나물	5	5	5	4
두메부추	5	5	5	4
땅채송화	5	5	5	5
반디지치	5	5	5	4
벌노랑이	5	5	4	3
부처꽃	5	5	4	3
사철쭉	5	4	3	2
섬기린초	5	5	5	5
왕잔디	5	5	5	5
참골무꽃	5	5	4	3
큰평의비름	5	5	5	5
타래붓꽃	5	5	4	3
털머위	5	5	5	4
통보리사초	5	5	5	4
해국	5	5	5	5
해란초	5	5	4	3

였다. 선정 기준으로서 해안가에서의 생존 가능성, 조기녹화를 위한 빠른 생장 능력, 비사저감을 위한 지상부 체적 및 표면적 크기 등이 고려되었다. 선정된 후보식물은 총 24종으로서 표 1과 같다. 선정된 후보식물들은 돌나물과에서 5종, 국화과에서 4종, 콩과와 산형과에서 각각 2종 그리고 앵초과, 메꽃과, 석죽과, 백합과, 지치과, 부처꽃과, 벼과, 꿀풀과, 붓꽃과, 사초과, 현삼과에서 각각 1종씩 선정되었다. 한편, 해안녹화용 식물 후보군으로 선정된 식물들은 경북 포항시 청하면에 소재한 3,290 m² 크기의 식생포지에서 생육되었다.

2.3 내염성 실험

현장식재실험에 이용될 해안녹화식물을 선발하기 위해 후

보식물로 선정된 24종에 대해서 바닷물을 이용한 내염성 실험을 실시하였다. 처리 용액의 농도는 바닷물 100% 용액, 66% 용액, 33% 용액, 0% 용액 등 4수준으로 처리하였으며, 관수는 2일 간격으로 3회 실시하여 최종적으로 7일 후에 관찰되는 잎의 염분피해 여부를 정성적으로 평가하였다.

내염성실험을 실시한 결과는 표 2와 같다. 내염성에 대한 평가 점수는 1부터 5까지 5등급으로 분류하여 부여하였으며 1은 '완전 고사'이며, 5는 '피해가 없음'을 나타낸다. 갯기름나물, 갯방풍, 기린초, 땅채송화, 섬기린초, 왕잔디, 큰평의비름, 해국 등은 강한 내염성을 나타내었다. 반면, 갯완두, 누리장나물, 사철쭉 등은 내염성이 약한 것으로 나타났다.

2.4 현장식재실험

현장식재실험은 해안녹화식물이 현장조건에 적응하여 생장하는 정도와 시기별 토양면의 피복 정도를 분석하기 위하여 시행하였다. 현장식재실험은 경상북도 울진군 원남면 오산리에 위치한 오산항 부근 해변에서 실시하였다. 실험포장의 토양 특성은 표 3과 같다. 실험포장의 토양은 pH가 5.7, 유기물 함량이 2.0% 정도인 우리 나라의 일반적인 밭 토양(조성진 등, 2002)과 비교하여 식물이 자라기에 매우 불리한 조건이다. 특히, 이곳은 pH가 최대 9.0으로 매우 높아서 몇몇 강알칼리성 선호수종과 염생식물을 제외하고는 대부분의 식물이 생존하기 어려운 것(국립산림과학원 산림토양정보시스템)으로 생각된다.

실험대상종은 내염성실험 결과와 형태적 특성을 고려하여 갯기름나물, 갯패랭이, 땅채송화, 섬기린초, 좁은잎해란초, 큰평의비름, 털머위, 해국 등 7종과 함께 해안녹화식물 후보군에는 선정되지 않은 일반 초화류인 꿀풀(*Prunella vulgaris* var. *lilacina* Nakai)과 좁은잎해란초(*Linaria vulgaris* Mill.) 등 2종을 선정하였다. 선정된 총 9종의 식물은 경상북도 울진군 원남면 오산리에 위치한 오산항 부근 해변가에 식재되었다.

식재포장은 2 m×2 m 크기로 조성하였으며, 모든 종에 대하여 포장 내에 각각 100본씩을 식재하였다(그림 2). 식재 작업은 2007년 10월 4일에 실시하였으며, 이후 정기적으로 각 식물의 생육특성을 조사하고 디지털 카메라로 촬영하여 SigmaScan Pro 5.0(Systat Software Inc.)를 이용한 이미지 프로세싱 방법으로 피복정도를 분석하였다. SigmaScan은 사진 파일에서 특정 색상, 채도, 명도 값의 범위에 해당되는 픽셀(pixel)을 선택할 수 있는 기능을 제공한다. Prucell(2000)은 콩의 캐노피(canopy) 피복도를 산정하는데 SigmaScan의 이 기능을 이용하여 색상(hue)은 25~130, 채도(saturation)는 10~75의 값을 가지는 픽셀을 캐노피 영역으로 간주하였으며, 경우에 따라 보다 정확한 캐노피 영역을 선정하기 위해 각 값을 ±5% 정도 조정하여 적용하였다. 본 연구에서도

표 3. 현장식재실험 포장의 토양 특성

깊이 (cm)	유기물 함량 (%)	유효인산 (mg/kg)	pH	EC (S/m)	NH ₄ ⁺ -N (ppm)	NO ₃ ⁻ -N (ppm)	Ca ²⁺ (cmol/kg)	Mg ²⁺ (cmol/kg)	K ⁺ (cmol/kg)	Na ⁺ (cmol/kg)
0~15	0.35	2.0	7.9	0.045	0.00	7.33	0.79	0.32	0.07	0.43
15~30	0.15	2.0	6.8	0.06	11.88	8.24	0.79	0.29	0.14	0.38
30~45	0.35	2.0	9.0	0.02	14.63	1.84	1.30	0.33	0.09	0.50



(a) 포장 배치도



(b) 포장내 식재 모습

그림 2. 현장식재실험 포장

Prucell(2000)의 기준값을 이용하여 캐노피 영역을 선정하였으며, 최종적인 피복도는 선택된 픽셀 개수를 전체 포장 영역 내의 픽셀 개수로 나누어 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3과 4는 식재 1년 후의 초종별 생존 개체수와 초장(높이)을 나타낸 것이다. 꿀풀, 좁은잎해란초, 털머위는 대부분의 개체가 고사하였으며 특히, 꿀풀의 경우 모든 개체가 고사하였다. 이외의 종들은 대부분 양호한 생존율을 보였으며, 섬기린초의 경우 모든 개체가 생존하였다. 초장의 경우, 갯패랭이의 꽃대가 평균 25 cm 정도로 가장 큰 생장을 보였으나, 대부분의 개체는 평균이 5 cm 내외인 것으로 나타났다.

식물별 피복도는 2007년 10월 4일, 10월 15일, 11월 9일, 12월 16일, 2008년 3월 26일, 4월 3일, 4월 15일, 6월 15일, 9월 18일 등 총 9회에 걸쳐서 측정되었다. 9종의 식물에 대한 시기별 피복도를 조사한 결과는 그림 5와 같다. 2007년 10월 4일 식재한 이후 9개 식물 모두 2007년 12월 16일까지는 전반적으로 피복도가 감소하는 경향을 나타내었다. 2007년 12월 16일을 기준으로 하였을 때 피복도가 비교적 높은 식물은 갯패랭이, 털머위, 섬기린초 등이었다.

2008년 3월 26일 측정에서는 갯패랭이, 섬기린초, 해국을 제외한 6개 식물은 모두 3% 이하의 피복도를 보였다. 이러한 피복도의 양상은 식물종에 따라서는 겨울철에는 지상부가 존재하지 않는 생태적 특성으로 인한 것이라고 판단된다. 또한, 2008년 2월말 해일로 인하여 바닷물이 식물이 식재된 플롯에 침입하여 발생한 염해로 인하여 꿀풀, 털머위, 좁은잎해란초의 경우에는 대부분의 개체가 고사된 것으로 생각된다. 그 이유는 2008년 9월 18일까지도 지상부의 피복도가 1% 이하로 측정되었고 지상부가 거의 존재하지 않았기 때문이다.

2008년 9월 18일에 높은 피복도를 보이는 식물은 섬기린초, 갯패랭이, 해국 등이다. 특히, 이 종들은 2007년 12월 16일에도 높은 피복도를 보이고 있어서 겨울철의 생육도 양호하므로 전체적으로 다른 종들에 비해서 현장에 잘 적응하고 있으며, 그에 따라 높은 피복도를 나타내고 있다고 판단된다.

이상의 현장식재실험 결과, 생존율과 피복도가 가장 높은 식물은 섬기린초, 갯패랭이, 해국 등으로 나타났고, 그러므로 이 식물들은 다른 식물들에 비해 해안녹화에 적합할 것으로

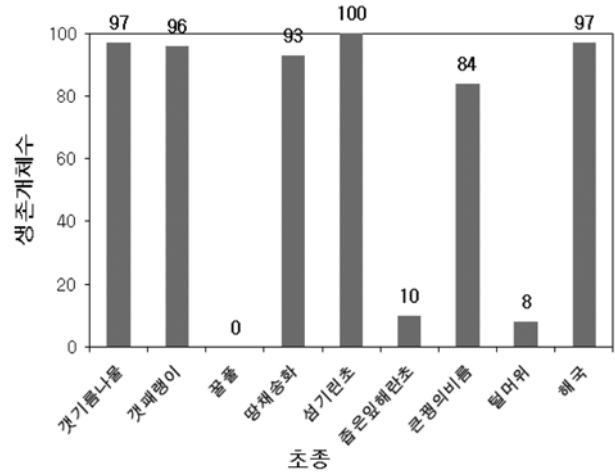


그림 3. 초종별 생존 개체수

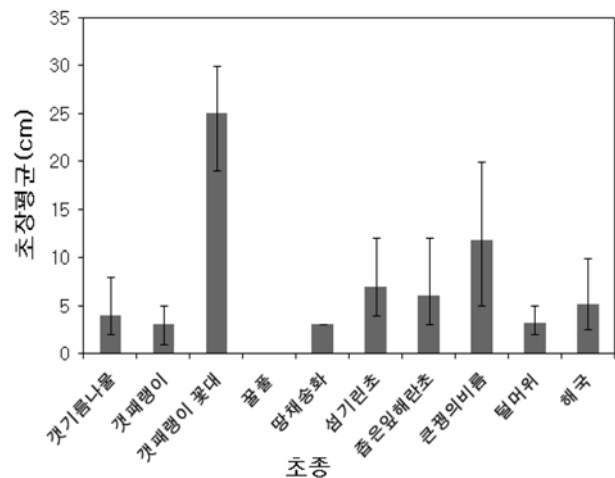


그림 4. 초종별 초장

판단된다. 반면, 일반 초화류인 꿀풀과 좁은잎해란초는 대부분의 종이 고사하여 해안녹화에 적합하지 않을 것으로 생각되었다.

4. 결 론

본 연구는 해안녹화에 적합한 초본 식물을 선발하고자 하는 목적으로 수행되었다. 이를 위해서 문헌연구를 통하여 후보식물군을 선정하여 생산포지에서 생육한 후, 내염성실험 및 현장식재실험을 차례로 실시하여 해안녹화에 적합한 식물을 단계적으로 선정하였다. 그 결과, 문헌조사를 통하여 총

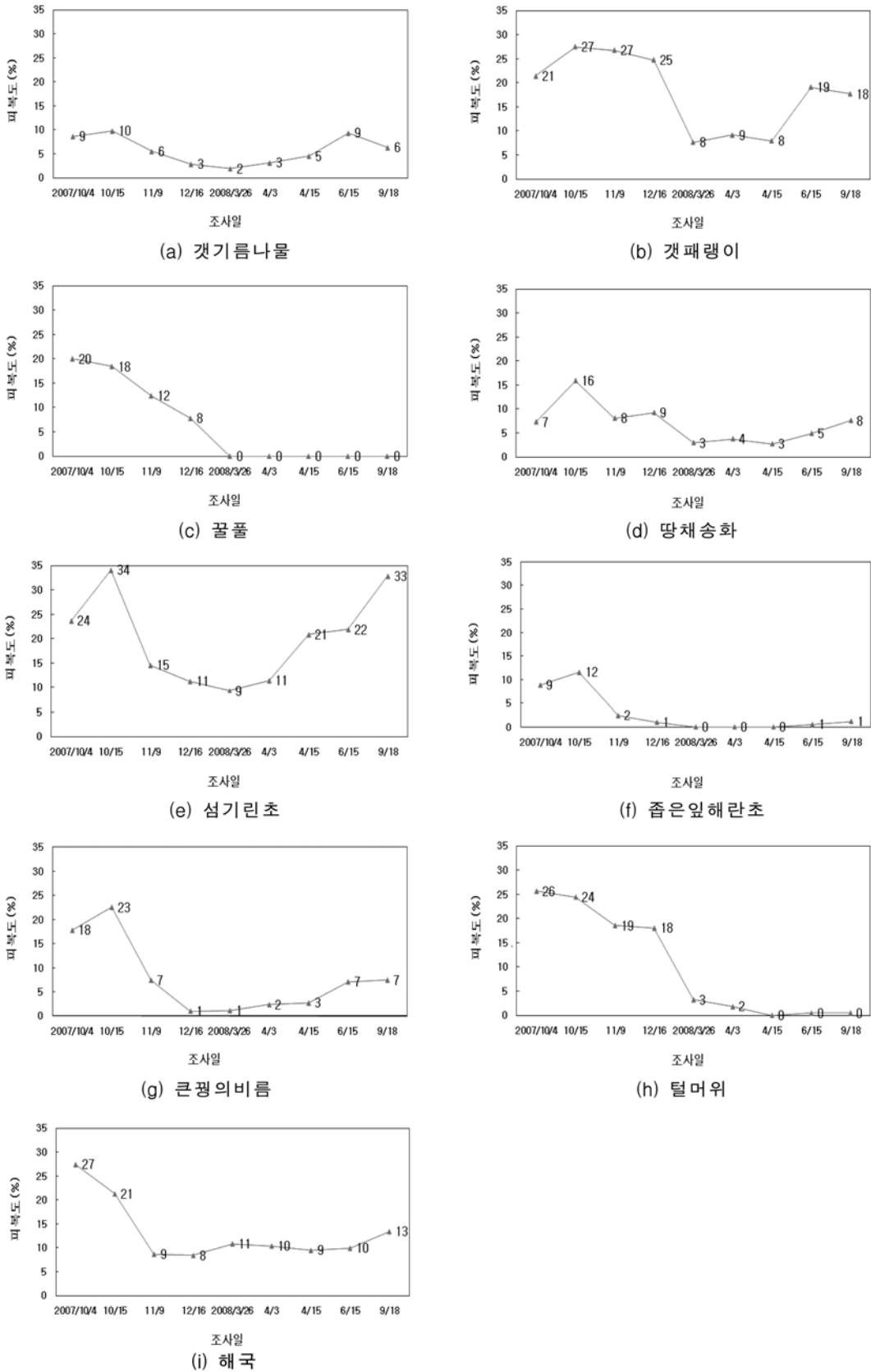


그림 5. 시기별 피복도 변화

24종의 초본 식물을 해안녹화식물 후보군으로 선정하였으며, 식생포지에서 생육하면서 내염성 실험을 실시하여 9종의 식물에 대하여 현장식재실험을 실시하였다. 최종적으로 현장식재실험에서 섬기린초, 갯패랭이, 해국 등이 높은 생존율과 피복도를 보여 해안녹화에 적합한 식물로 선발되었다.

선발된 식물들은 공통적으로 비교적 넓은 면적의 잎을 가

지고 있었지만, 이러한 특징이 생육능력에 미치는 영향에 대한 분석은 본 연구의 범위를 넘어서는 것이다. 또한, 모니터링 기간이 1년 남짓으로 그리 길지 않고, 다양한 연구 대상지에서 실시하지 못한 점이 본 연구의 한계라고 할 수 있다. 하지만, 본 연구는 해안녹화식물의 비사저감효과를 정량화하기 위한 기초연구로서 연구대상종을 선발한 것에 의의가 있

다고 할 수 있다. 그러므로 향후 선발된 해안녹화식물의 비사저감효과 규명을 위한 본격적인 연구들이 요구된다. 식물이 공기유동에 미치는 영향을 해석적으로 분석하고, 식물의 항력계수를 산정하기 위한 풍동실험 연구와 더불어 현장에서 집사기 등을 이용하여 직접 식물의 비사저감량을 측정하는 연구가 함께 진행되어야 한다. 또한, 다양한 조건의 대상지에서의 해안녹화용 식물에 대한 현장식재 후 지속적인 성장량 모니터링도 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

국립산림과학원 산림토양정보시스템 http://www.kfri.go.kr/book/forest/soil/html/qualitas_02.jsp
 권혁민(1997) 친수성 연안 구조물. **항만**, 한국항만협회, 제21권, 제2호, pp. 75-85.
 권혁민(1999) 21세기형 연안역 구상(I) -면적방호방식에 의한 환경친화적 연안공간 구성-. **한국수자원학회지**, 한국수자원학회, 제32권, 제2호, pp. 43-51.
 권혁민, 김인호, 이정렬, 이화경, 우승룡, 류간성(2004) 미국 플로리다주의 沿岸域 防災에 관한 調査報告書. **항만**, 한국항만협

회, 통권90호, pp. 28-57.
 오구균, 김도균(2007) **생태녹화공학**. 광일문화사.
 조성진, 박천서, 엄대익, 김문규, 김성조, 김재정, 김현구, 김형욱, 양창술, 육창수, 임수길(2002) **사정 토양학**. 향문사.
 한국농촌공사 새만금사업단(2006) **식생을 이용한 비산먼지대책 현장시험**. 연구보고서, 새만금친환경조사연구 05-20-09.
 柳鳴慎一, 上岡智志(2003) 植物が後賓地形變化におよぼす影響に關する現地調査. (日本)海岸工學論文集, 第50卷, pp. 621-625.
 Musick, H.B., Trujillo, S.M., and Truman, C.R. (1996) Wind-tunnel modelling of the influence of vegetation structure on saltation threshold. *Earth Surface Processes and Landforms, British Society for Geomorphology*, Vol. 21, pp. 589-605.
 Nordstorm, K.F., Psuty, N.P., and Carter, R.W.G. (1990) *Coastal dunes: form and process*. Wiley, England.
 Prucell, L.C. (2000) Soybean canopy coverage and light interception measurement using digital imagery. *Crop Science, The Crop Science Society of America*, Vol. 40, pp. 834-837.
 Wasson, R.J. and Nanninga, P.M. (1986) Estimating wind transport of sand on vegetated surfaces. *Earth Surface Processes and Landforms, British Society for Geomorphology*, Vol. 11, pp. 505-514.

(접수일:2010.3.31/심사일:2010.4.26/심사완료일:2010.6.15)