

임해매립지 조경수목의 피해현황 및 요인분석¹

최일홍² · 황경희² · 이경재³

Injuries of Landscape Trees and Causes in the Reclaimed Seaside Areas¹

Il-Hong Choe², Kyung-Hee Hwang², Kyong-Jae Lee³

요 약

본 연구에서는 임해매립지에 식재된 조경수목의 피해도와 식재환경으로서 그 영향요인을 분석하고자 하였다. 중부권역과 남부권역의 8개 임해매립지에 식재된 총 42종 1,233주의 수목피해도와 총 6수종 130주의 가지길이 생장량을 조사하였고, 토양의 염분함량, 토양경도, 토양산도, 배수시설 설치여부 등의 토양환경 요인과 해안으로부터의 이격거리 등 임해매립지에서의 식재 환경요인을 분석하였다. 분석결과, 상록침엽수종의 평균 피해도는 32%로 낙엽수종의 평균 피해도 52%보다 낮았다. 피해도가 낮은 수종은 해송, 섬잣나무, 가이즈까향나무, 아왜나무, 동백나무, 후박나무 등이었고, 피해도가 높은 수종은 단풍나무, 목련, 배롱나무, 감나무, 계수나무, 마가목, 왕벚나무, 소나무, 모과나무, 자귀나무, 느티나무 등이었다. 임해매립지 식재수목의 피해는 토양염분의 영향보다는 강한 해풍, 높은 토양경도, 척박한 토양의 영향이 큰 것으로 판단된다. 수목이 피해를 받는 토양 염분농도 0.03% 이하를 유지하기 위해서는 갯벌토양에서 뿌리분까지 최소 1.7m의 성토가 필요한 것으로 분석되었으며, 토심 77cm까지 뿌리가 뻗어있는 것으로 조사된 근권층의 토양경도는 4.5kg/m²로 높았다. 토양산도도 총 25개 시료 중 22개 시료가 pH 3.72~5.85의 산성토양으로 분석되었다. 동일 수종의 경우, 해안에서 이격거리가 큰 경우, 배수시설이 설치되어 있는 경우에 그 피해도가 낮게 나타났다.

주요어 : 수목피해율, 피해요인, 수목생장량, 내염성

ABSTRACT

This study was intended to investigate injury rates of landscape trees planted in the reclaimed seaside areas and to analyse their causes in planting environment. The planting environment such as soil properties, reclaimed depth of soil, soil hardness, salt consistency of soil, and drainage system were surveyed in 8 reclaimed seaside areas in the middle and southern regions of the country. Injury rates of 42 species, 1,233 trees and growth of branches in 6 species, 130 trees were measured and analysed to find out salt-resistant trees in the reclaimed lands. The results of the survey are as follows: the average injury rate of evergreen trees was 32%, which was much lower than that of deciduous trees as 52%. The lower injured trees in the 8 reclaimed

1 접수 9월 28일 Received on Sept. 28, 2001

2 대한주택공사 주택도시연구원 Housing & Urban Research Institute, Korea National Housing Corporation, Sungnam, Kyonggi-do, 463-704, Korea

3 서울시립대학교 도시과학대학 College of Urban Science, Univ. of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

lands were *Pinus thunbergii*, *Pinus parviflora*, *Juniperus chinensis* 'Kaizuka', *Pinus koraiensis*, *Acer trifidum*, *Koelreuteria paniculata* and *Metasequoia glyptostroboides*. The higher injured trees were *Acer palmatum*, *Magnolia kobus*, *Lagerstroemia indica*, *Diospiros kaki*, *Cercidiphyllum japonicum*, *Sorbus commixta*, *Prunus yedoensis*, *Pinus desiflora*, *Chaenomeles sinensis*, *Albizia julibrissin* and *Zelkova serrata*. At least the mounding of 1.7m depth of soil is needed from the tidal saline soil to the roots of trees to protect trees from salt injury. Roots of trees were found to have infiltrated to 0.77m under the soil of which solidity was over 4.5kg/m². And 22 of total 25 soils were acid from pH 3.72 to pH 5.85. Injury rate of trees was much higher when they were detached from the sea, and planted on the drainage.

KEY WORDS : DEGREE OF INJURIES OF TREES, CAUSES OF INJURIES, GROWTH OF TREES, SALT-RESISTANCY

서론

1980년대부터 안산 시화지구, 인천 남동지구 및 목포 대불지구 등 경사가 완만한 서남해안에서 임해매립에 의한 공단 및 배후도시 조성이 활발하게 진행되고 있으며, 2000년대 초반까지 20만 ha에 달하는 대규모의 임해매립지 조성이 추가로 계획되어 있다(변재경, 1996). 그러나 임해매립지는 대부분 일반지구보다 과다하게 토양염분이 함유되어 있고, 기반층의 갯벌점토와 매립토의 높은 토양경도 때문에 토양배수가 불량한 특성을 지닌다.(本間啓, 1973; 유의열, 1990; 구본학, 1999) 또한 임해매립지는 수목의 생장에 필요한 토양 영양분이 부족하고, 해풍이 강하기 때문에(沖中健 等, 1984) 수목의 하자율이 일반지구보다 10~25%나 높고, 생육상태도 불량한 것으로 조사되고 있어(대한주택공사, 1995) 임해매립지에서의 식재는 수목의 하자저감 및 적정생육을 위한 조치가 필요하다. 그동안 임해매립지에서 벼, 콩, 옥수수, 화훼 등 경제작물의 생산증대를 위한 연구는 많았으나 식재수목의 하자저감을 위한 식재기법이나 수종선정에 관한 연구는 적었다. 이종석(1980)은 남서해안 섬지역에서 출현빈도가 높은 내염성 및 내조성 수목을 조사하여 제시한 바 있으며, 유의열(1990)은 인천 남동공단 임해매립지에 식재된 수목의 활착율을 조사하였고, 제염 및 배수처리 등을 해 준 수목의 하자율이 일반지구보다 낮음을 밝혔다. 변재경(1998, 1999)은 시흥시화, 아산포승 임해매립지구에서 식재기법 유형별, 식재수종별로 실험구를 조성하여 식재수종별 활착율과 복토높이에 따른 수종별 고사율을 연구하였으며, 김도균 등(2000)은 광양만 매립지역의 곰솔과 느티나무에

하여 수고, 연륜, 뿌리생장의 특성과 이에 영향을 미치는 토양인자와의 관계를 규명한 바 있다.

그러나 이들 선행연구는 조경수목 중 일부 한정된 소수의 수종을 대상으로 하였으며, 조사 대상지구도 특정지역으로 한정되어 있어서 임해매립지에 식재되고 있는 많은 조경수종이 불량한 임해매립지 식재환경에서 어떻게 적응하여 생육하고 있는지 밝히는데 한계가 있었다.

이런 측면에서 본 연구에서는 가능한 많은 조경수종이 포함되도록 중부권역과 남해안권역의 8개 임해매립지구를 대상으로 총 42수종, 1,438주의 수목의 피해율 현황분석을 통해서 임해매립지 식재에서 피해도가 낮은 수종을 밝히고, 수목의 피해율에 영향을 미치는 요인과의 관계를 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사대상지 및 조사수목의 선정

토양염분, 토양경도, 조풍 등 임해매립지역의 식재환경 요인에 의한 수목의 피해영향을 측정할 수 있도록 수목이 식재된 후 최소 3년이 경과한 지구를 대상으로 선정하고자 하였으며, 가능한 동일 수종이 여러 임해매립지역에서 반복되어 조사되고, 많은 수종이 포함될 수 있도록 하였다. 조사대상 지구는 중부권역의 인천, 시흥지역과 남해안권역의 부산지역의 임해매립지를 선정하고자 하였다.

이에 따라 조사 대상지는 중부권역에서 인천남동, 시흥시화지역의 5개 지구와 남해안권역에서 부산신호지역의 3개 지구 등 총 8개 임해매립지구를 대상

Table 1. Planting environments of sites examined

Site	A	B	C	D	E	F	G	H
Region	Middle-part Region(Incheon, Siheung)				Southern-part seashore Region(Busan)			
Class of soil	Mountain soil, Dredged soil+ Blasted stone		Dredged soil	Mountain soil+ Dredged soil		Dredged soil		
Depth of filled soil for reclamation	1.1m	1.7m	8m	2.3m	2.3m	1.5m	1.5m	0m
Depth of added soil on reclamation	1.0~1.5m	1.0~1.5m	1.2~1.8m	1.0~1.8m	1.0~1.8m	1.0~1.5m	0.5m	0.3~1.0m
Drainage facilities	Gravel underdrainage	Gravel underdrainage	Gravel underdrainage	Non drainage facilities	Non drainage facilities	Gravel drainage	Non drainage facilities	Non drainage facilities
Year of planting	'89	'89	'96	'95	'95	'98	'98	'98
Distance from the seashore	4.1km	1.0km	0.3km	1.3km	1.3km	0km	0.5~1.0km	0km
Contents of examination	Injury rates of trees, Growth of branches, Quality of soil (Excluding Site C)				Injury rates of trees, Growth of branches			

*Source: Incheon metropolitan city, Siheung city, Korea Water-resources Co., Busan metropolitan city(1997), Eui-Yoal Yu(1990), Haekang LTD.

지로 선정하였다. 각 조사지구의 매립토양, 성토높이, 배수시설 등 식재기반 조성현황과 해안에서의 거리 등을 설계도면을 통해 조사했으며, 토성, 염분농도, 토양산도, 유기물함량, 토양경도 등 토양특성을 파악하기 위한 토양시료는 현장에서 채취하였다(Table 1).

중부권역의 대상지는 장마철 이전인 2000년 6월에 조사하였고, 남해안 권역의 대상지는 식재 후 3년 차 가지 성장량을 측정하기 위하여 2000년 9월 말에 조사하였다. 수종별 조사수목량은 각 조사지구 당 수종별로 최소 20주가 되도록 무작위로 선정하였다. 2개권역, 8개 임해매립지구에 식재된 잣나무, 소나무 등 상록침엽수 13종 440주, 화화나무, 목련 등 낙엽수 29종 793주, 총 42종 1,233주에 대한 수목피해율을 측정하였다. 또한 해송 등 6수종 130주에 대해서는 당년지, 작년지 및 재작년지의 가지성장량을 측정하였다(Table 2, 3 참조).

2. 조사내용 및 방법

(1) 수목의 피해율 조사 및 산정방법

수목의 피해율 조사는 각 조사수목별로 수고, 흉고직경 또는 근원직경, 잎변색 및 위축정도, 낙엽율, 지수상태, 신초생장상태, 소지상태, 정아우세상태, 수관감소상태, 수세, 소지생장량 등 18개 항목을 측정하였다. 조사대상지에 임의로 방형구를 설치하여 방형구내의 수목을 수종별로 구분하여 수종당 20개체에 달할때까지 측정하였으며, 개체수가 20개에 미달하는 수목은 전량을 조사하였다. 수목피해율 조사는 이경재 등(1990)의 방법에 따라 잎의 변색정도 등 아래와 같은 평가기준에 의해 실시하였고, 수목피해율은 각 피해도 조사항목을 합산하여 다음의 산술식에 의해 산정하였다.

$$Y = (X1a + X1b + X1c + X2a + X2b + X2c + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + X8 + X9) / 41 \times 100(\%)$$

$$Z = (X1a + X2a + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + X8 + X9) / 25 \times 100(\%)$$

(Y: 상록침엽수의 피해율, Z: 낙엽활엽수의 피해율.)

X1a: 당년지 잎의 변색정도, X1b: 작년지 잎의 변색정도, X1c: 재작년지 잎의 변색정도, X2a: 당년지의 낙엽정도, X2b: 작년지의 낙엽정도, X2c: 재작년지의 낙엽정도, X3: 위축정도, X4: 신초성장상태, X5: 소지상태, X6: 수관감소현상, X7: 수세발달정도, X8: 정아유무상태, X9: 지수상태, ※ 상록침엽수는 낙엽을, 잎변색을 당년, 작년, 재작년으로 구분하여 측정하였고, 낙엽활엽수는 당년의 낙엽을, 잎변색만을 측정하였다)

- ① 잎의 변색정도 : 엽록소가 황색 또는 갈색으로의 변화한 정도를 상록침엽수의 경우는 당년생 잎, 작년생 잎, 3년생 잎으로 낙엽활엽수는 당년생 잎으로만 구분, 조사하였다. 잎의 변색기준은 잎면적을 기준으로 무(0~25%:0점), 경(26~50%:2점), 심(51~75%:3점), 극심(76~100%:4점)으로 나누어 각각 0, 2, 3, 4의 점수로 산정하였다.
- ② 잎의 위축정도 : 잎의 위축정도는 전체수관의 잎 중 활력이 약하여 밑으로 처진 비율에 따라 정상(0~25%), 경미(26~50%), 중간(51~75%), 심한 위축(76~100%)으로 나누어 각각 0, 2, 3, 4의 점수로 산정하였다.
- ③ 잎의 낙엽정도 : 낙엽수와 상록침엽수로 구분하여 기록하였으며 상록침엽수의 경우는 당년지, 작년지 및 재작년지의 낙엽율로 구분하고, 낙엽활엽수는 당년지에 대해서만 구분하여 0~20%(0점), 21~40%(1점), 41~60%(2점), 61~80%(3점), 81~100%(4점)로 나누어 평점하였다.
- ④ 지수상태 : 성장불량으로 수세가 약해진 가지의 처짐유무에 따라 유(1), 무(0)로 평점하였다.
- ⑤ 신초성장 : 신초생장의 평점은 전체수관의 신초 중 생장에 지장을 받고 있는 신초의 비율에 따라 정상(0~25%), 경미한 지장(26~50%), 심한 지장(51~75%), 극심 지장(76~100%)으로 나누어 각각 0, 2, 3, 4로 평점하였다.
- ⑥ 소지상태 : 전체수관의 소지 중 고사비율에 따라 정상, 1/4고사, 1/2고사, 3/4고사로 구분하여 각각 0, 2, 3, 4의 점수로 산정하였다.
- ⑦ 정아유무 : 당년생의 정아가 자라고 있는 것은 0점, 정아가 없는 것을 1점으로 하였다.
- ⑧ 수관감소 : 수관의 용적이 감소되지 않은 것을 0점, 감소된 것을 1점으로 하였다.
- ⑨ 수세 : 수세는 외형적으로 보아 매우 우수한 것, 양호한 것, 매우 불량한 것으로 구분하여 각각 0, 1, 2점으로 평점하였다.

일반적으로 수목의 피해율에 의한 피해구분은 0~10%를 정상, 11~30%를 경피해, 31%이상을 심한 피해로 분류하고 있다(국립환경연구원, 1983). 그러나 본 연구에서는 임해매립지 식재수목의 피해율이 0~99%사이에 선형으로 폭 넓게 분포하고 있어 일반적 기준에 의해 피해율을 판정할 경우 피해율 30% 이하의 경피해 수목이 매우 적고, 대부분의 수목이 피해율 30%이상의 심피해 수목으로 분류되어 심피해 수목간의 피해율 경중을 분별할 수 없게 되므로 본 연구에서는 이를 감안하여 피해율 0~30%를 경피해, 30~60% 중피해, 60% 이상을 심피해로 구분하였다.

(2) 수목의 소지성장량 조사

침엽수종의 당년, 작년, 재작년 소지의 성장길이를 10회 반복 측정 후 평균값을 구하여 비교하였다.

(3) 토양환경 조사

A, B, D, E 4개 조사대상 지구에서 평지부와 성토부 각 1곳씩 총 8곳을 선정하여 백호우 건설장비로 지표면에서 1.7m 깊이를 굴취하여 토층 단면도를 현장에서 작성하였고, 표토를 포함하여 각 토층별 심도와 토양경도를 측정하였다. 또한 토층별로 토양 표본을 각 1점씩 총 24점 채취하여 토성, 염분농도, 토양산도, 유기물, 유효인산, 전기전도도 등을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 조사결과 및 분석

(1) 수목 피해 및 성장 현황

1) 수목피해율 현황

① 수종별 피해율

수목의 성장별 피해율 차이가 많았다. 낙엽활엽수의 평균 피해율이 52%인 반면 상록침엽수의 평균 피해율은 32%로서 임해매립지에서 낙엽활엽수는 상록침엽수보다 더 큰 피해를 받고 있었다.

수종별로는 낙엽활엽수 중에서도 배롱나무, 목련, 해당화, 대추나무 등 주로 화목류가 심한 피해를 나타냈고, 해송, 잣나무 등 상록침엽수는 경미한 정도의 피해를 받고 있는 것으로 나타났다. 그러나 수종별 평균 피해율은 여러 지구의 수목을 평균적으로 나타낸 것이기 때문에 지역별 수목의 생육특성이 나타

Table 2. The injured rate of evergreen trees

Species	Site		Injured rate(%)							Mean
	A	B	C	D	E	F	G	H		
<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>kaizuka</i>					2.07					2.07
<i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i>							45.12			45.12
<i>Pittosporum tobira</i>							48.37			48.37
<i>Camellia japonica</i>							53.10	39.43		46.54
<i>Pinus rigida</i>					58.41					58.41
<i>Pinus parviflora</i>	9.02	12.20			26.34					16.19
<i>Pinus densiflora</i>		50.37		53.17	53.05					52.20
<i>Pinus strobus</i>	5.73			52.32						29.02
<i>Viburnum awabuki</i>							37.80	58.54		47.63
<i>Pinus koraiensis</i>	5.79									5.79
<i>Pinus thunbergii</i>	5.24	12.80	30.00	32.32	23.90	39.95			39.51	26.93
<i>Pinus thunbergii</i> (young tree)									21.22	21.22
<i>Machilus thunbergii</i>							51.71	24.88		38.29
Mean	6.56	26.30	30.00	45.93	32.76	39.95	47.49	36.39		32.24
Mean by Sites (Evergreen + Deciduous)	18.28	34.95	45.17	48.43	46.95	39.95	47.08	36.45		

나지 않기 때문에 수목의 피해율을 지구별, 수종별로 세분하여 분석하였다(Table 2, 3).

수종별 수목의 피해율 30%이하인 경피해 수종은 중부권역의 스트로브잣나무, 칠엽수와 남해안권역의 2개 지구에 식재된 후박나무, 동백나무, 아왜나무 등이었다. 특히 동백나무, 아왜나무, 후박나무는 내염성이 강한 수종으로 H지구는 해안에서 100m 이내로 인접했을 뿐 아니라 태풍에 의한 염수의 침해를 받은 지구임에도 피해율이 낮게 나타나 임해매립지구에 적응이 높은 수종으로 판단된다.

수목의 피해율 40~60%인 중피해 수종은 중부권역에서는 노무라단풍, 소나무, 모과나무, 양버즘나무, 자귀나무, 은행나무, 층층나무, 구실잣밤나무, 리기다소나무 등이었으며, 남해안권역에서는 보리수, 사방오리나무, 참싸리, 족제비싸리 등이었다. 그러나 남해안권역의 보리수, 참싸리 및 족제비싸리 등은 염수에 의한 피해현상이 심하게 나타났으나 정상적인 수형을 유지하고 있어 2000년 여름, 해일에 의한 일시적인 피해로 판단된다.

피해율 60% 이상의 심피해 수종 중 단풍나무, 목련, 배롱나무는 2개 지구 이상에서 모두 피해현상이 나타나 임해매립지 식재시 적응이 어려운 수종으로 단정된다. 이외의 수종으로 심피해를 입은 감나무,

계수나무, 느릅나무, 대추나무, 마가목, 아까시나무, 왕벚나무, 은단풍, 느티나무, 메타세콰이어, 모감주나무, 배롱나무 등은 조사대상지 중 1개 지구에만 식재되어 있어서 단정하기는 어려우나 피해가 우려되는 수종이라 할 수 있겠다.

② 배수시설의 설치여부와 수목피해율과의 관계

섬잣나무, 가이즈까향나무, 잣나무 등의 상록침엽수는 피해율이 낮았고, 낙엽활엽수는 동일 수종이라도 지구에 따라 피해율이 다르게 나타났다. 낙엽활엽수 중 메타세콰이어, 모감주나무, 중국단풍은 중부권역에서는 피해가 낮은 반면 남해안권역에서는 피해율이 높아 상반된 결과를 나타냈다. 중부권역의 동일 수종은 배수시설이 있고, 성토된 부분에 식재된 점과 해안에서 1.3km 이상 떨어진 식재 환경의 차이 때문에 남해안권역에 비하여 피해율이 낮은 것으로 추측된다. 부산지역의 이들 수종은 매립토 위에 성토나 배수시설이 없이 식재되었고, 대부분의 수목이 해안에서 500m 이내에 근접되어 있으며, 일부 수목은 주변지역보다 낮은 저지대에 식재되어 있어 배수가 되지 않아 수목의 피해율이 타지구보다 높은 것에도 영향을 미친 것으로 보인다.

B지구의 조사수목은 해안에서 1.0km 떨어져 있

Table 3. The injured rate of deciduous trees

Species	Site		Injured rate(%)					
	A	B	C	D	E	G	H	Mean
<i>Diospyros kaki</i>			64.00					64.00
<i>Cercidiphyllum Japonicum</i>				64.00				64.00
<i>Acer palmatum</i> var. <i>sanguineum</i>				60.00	52.20			56.10
<i>Ulmus davidina</i> var. <i>japonica</i>					63.20			63.20
<i>Zelkova serrata</i>				57.80	53.00	96.80	83.20	64.22
<i>Acer palmatum</i>	6.20			61.40	74.80			47.47
<i>Zizyphus jujuba</i> var. <i>inermis</i>	73.33							73.33
<i>Sorbus commixta</i>				62.80				62.80
<i>Metaseguoia glyptostroboides</i>	0.22					76.00		16.70
<i>Koelreuteria Paniculata</i>			19.20				99.00	49.13
<i>Chaenomeles sinensis</i>	52.40	51.20		25.20	49.00			42.89
<i>Magnolia kobus</i>	64.00	76.80				95.56		76.43
<i>Lagerstroemia indica</i>			62.50				94.80	80.44
<i>Elaeagnus umbellata</i>							43.60	43.60
<i>Alnus firma</i>							42.00	42.00
<i>Lespedeza bicolor</i>							51.20	51.20
<i>Robinia pseudo-acacia</i>							72.80	72.80
<i>Platanus occidentalis</i>	1.60	39.20			54.50			32.53
<i>Prunus yedoensis</i>			63.40					63.40
<i>Acer saccharinum</i>				62.40				62.40
<i>Ginkgo biloba</i>					42.44			42.44
<i>Albizia julibrissin</i>			58.40		46.20		36.00	49.81
<i>Amorpha fruticosa</i>							57.60	57.60
<i>Acer buergerianum</i>	9.60	29.75		54.60			76.44	37.66
<i>Cornus controversa</i>				59.24				59.24
<i>Aesculus turbinata</i>	22.60	40.36						28.90
<i>Celtis sinensis</i>			52.80		48.80			50.51
<i>Rosa rugosa</i>							75.20	75.20
<i>Sophora japonica</i>	48.80	51.20		58.00	85.20			63.20
Mean	27.30	42.63	50.70	55.66	57.25	90.74	69.07	52.01

으며, 보행면보다 높은 성토부분에 식재되어 있고, 지하 60~80cm 사이에 토양배수를 위한 잡석층이 설치된 곳에 식재되어 있다. D지구와 E지구의 수목은 해안에서 1.3km에 위치하고 있는 반면 자갈배수층 시설이 안된 평지부에 식재되어 있다. B지구와 D,E지구는 동일 중부권역에 위치하며 해안에서 비슷한 거리가 이격되어 있으나 배수시설의 유무에 있어서 차이가 있다.

상록침엽수의 섬잣나무, 해송, 낙엽활엽수의 양버즘나무, 중국단풍나무, 회화나무는 자갈층 배수시설이 되어 있는 B지구에서의 수목피해율이 D,E지구

에서의 수목피해율보다 6.8~24.9% 낮게 나타났다.

③ 해안에서의 이격거리와 수목피해율과의 관계

A~E지구는 중부권역에 위치하는데 A지구는 해안에서 4.1km, B지구는 1.0km, D지구 및 E지구는 각 1.3km 떨어져 있으며, C지구는 육지에서 8km 떨어진 바다 한가운데의 매립지로 해안에서 0.3km 떨어져 있다. F~H지구는 남해안권역에 위치하는데 F지구와 H지구는 해안과 연결하여 있고, G지구는 0.5~1.0km 떨어져 있다. 그러나 부산 지역의 F, H지구는 해안에 바로 바닷물이 연결되어 있

Table 4. Injured rate by Regions

Degree of Injuries	Middle-part region	Southern-part seashore region
Heavy-injured species (Degree of injuries: above 60%)	<i>Acer palmatum</i> , <i>Magnolia kobus</i> , <i>Lagerstroemia indica</i> , <i>Diospyros kaki</i> , <i>Cercidiphyllum japonicum</i> , <i>Ulmus davidina</i> var. <i>japonica</i> , <i>Zizyphus jujuba</i> var. <i>inermis</i> , <i>Sorbus commixta</i> , <i>Robinia pseudo-acacia</i> , <i>Prunus yedoensis</i> , <i>Acer saccharinum</i>	<i>Zelkova serrata</i> , <i>Metasequoia glyptostroboides</i> , <i>Koelreuteria paniculata</i> , <i>Lagerstroemia indica</i> , <i>Robinia pseudo-acacia</i> , <i>Acer buergerianum</i>
Midium-injured (Degree of injuries : 40~60%)	<i>Acer palmatum</i> var. <i>sanguineum</i> , <i>Pinus densiflora</i> , <i>Chaenomeles sinensis</i> , <i>Platanus occidentalis</i> , <i>Albizia julibrissin</i> , <i>Zelkova serrata</i> , <i>Ginkgo biloba</i> , <i>Cornus controversa</i> , <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i> , <i>Pinus rigida</i>	<i>Elaeagnus umbellata</i> , <i>Alnus firma</i> , <i>Lespedeza bicolor</i> , <i>Amorpha fruticosa</i>
Both light-injured and medium-injured species	<i>Pinus strobus</i> , <i>Aesculus turbinata</i>	<i>Machilus thunbergii</i> , <i>Camellia japonica</i> , <i>Viburnum awabuki</i>
Slightly injured species (Degree of injuries: 0~30%)	<i>Pinus thunbergii</i> , <i>Pinus parviflora</i> , <i>Acer buergerianum</i> , <i>Juniperus chinensis</i> var. <i>kaizuka</i> , <i>Pinus koraiensis</i> , <i>Koelreuteria paniculata</i> , <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	<i>Pinus thunbergii</i> , <i>Pinus thunbergii</i> (young tree)

는데 반해 중부권역의 A, B, D, E지구는 서해안에 갯벌이 길게 이어져 있어 해안에서의 이격거리보다 더 멀리 떨어져 있다고 볼 수 있다. 지구별 수목의 평균 피해율을 분석한 결과, D지구 48%로 가장 높게 나타났으며, G, E지구가 47%, C지구 45%, F지구 40%, H지구 36%, B지구 35%, A지구 18% 순으로 피해율이 낮은 것으로 나타났다. 다른 지구에 비하여 A지구의 평균 수목피해율이 다른 지구의 평균 수목피해율보다 특히 낮았는데 A지구는 조성된 후 10년 이상 경과하여 수목이 안정적으로 활착되었을 뿐만 아니라 조사지구 중 해안에서 가장 먼 4.1km에 위치하여 해풍의 영향을 거의 안 받는 곳이다.

A지구의 수목피해율이 평균 18%인데 비하여 A지구를 제외한 7개의 대상지는 바다에 연접되거나 해안에서 1.3km 이내에 위치하고 있어 수목의 피해율이 A지구보다 높은 35~48%를 보이고 있다. C지구를 제외하면 해안에서 가장 멀리 떨어져 있는 A지구 수목의 평균 피해율이 가장 낮고, B지구와 D,

E지구는 해안에서의 이격거리가 비슷하지만 실제 피해율은 D, E지구에서 상대적으로 높게 나타났다. D, E지구는 A, B지구에 비해 자갈 맹암거 배수로가 없으며, 복토높이가 약간 낮게 조성된 차이점이 있으며, D지구의 성토부를 제외하고 한 토양경도가 근권층에서 4.1~4.5kg/m²로 매우 높은 점이 수목의 피해율에 차이를 나타내 준 것으로 추정된다. 반면에 바다 한 가운데 위치한 C지구의 수목피해율은 유사한 식재환경의 남해안권역에 비해 상대적으로 낮았다. C지구의 경우, 염분차단층, 토양개량 및 관수시설 등의 식재기반시설이 잘되어 있고, 해수면에서 약 8m 이상 높은 곳에 식재되어 있어 해수의 직접적인 영향을 받는 남해안권역의 수목보다 피해율이 훨씬 낮은 것으로 보인다.

그러나 평균 피해율 조사수종과 종수가 지구별로 동일하지 않기 때문에 이 경우 수종의 차이에 따른 영향이 수목의 지구별 평균 피해율에 영향을 미친다고 할 수 있으나 각 지구별로 다양한 수종이 포함되어 평균 피해율이 산정된 점을 감안한다면 수목 피해

울의 일반적인 경향은 파악될 수 있다고 하겠다.

따라서 동일 수종을 지구별로 세분하여 비교해 보았다. B지구는 A지구와 동일 지역에 위치하며, 동일 시기에 조성되었고, 자갈층 배수시설과 마운드 성도가 A지구와 동일하게 시행된 곳이나 해안에서의 거리가 1.0km로 A지구의 4.1km보다 훨씬 가까운 곳에 위치한 점이 다르다. A지구에 식재된 섬잣나무, 해송, 목련, 양버즘나무, 중국단풍, 칠엽수, 회화나무 등 대부분의 수종이 B지구의 수목피해율보다 2.4~37.6%보다 낮았다. 이는 높은 염분을 함유하며 바람이 강한 조풍해의 영향이라고 생각된다(申中健 等, 1984).

해송은 7개 지구에서 수목의 피해율이 측정되었기 때문에 지구별로 비교해 볼 수 있었다. A, B지구에서는 해송의 피해율이 낮으며, C, D, E지구는 중간 수준을 유지하고, 남해안권역의 해송 피해율은 높게 나타났다. 즉, 해안에 연결하여 여름철 강풍과 염수의 피해를 받은 남해안권역의 피해율이 가장 높고, 해안에서 멀리 위치하며, 맹암거와 마운드가 조성된 A, B지구의 해송은 각각 피해율 5.2%, 12.8%로 낮았다. 반면에 바다 한가운데 위치하면서도 식재기반 시설이 잘 되어있는 C지구에 식재된 해송은 피해율이 30%로 남해안권역의 해송 평균 피해율보다 약 10%나 낮았다. 이것은 임해매립지에 수목을 식재할 때 배수시설이나 성도 등의 식재기반 조성을 통해서 수목의 피해율을 낮출 수 있음을 보여주는 결과로 해석된다.

2) 수종별 성장 현황

임해매립지의 수종별 성장량을 파악하기 위해 대상지에 식재된 조사수종 중 침엽수종에 대하여 1998~2000년의 3개년 간 수종별 연간 평균 가지길이 성장량을 측정하였다. 연도별 가지길이 성장량을 비교해보면 측정된 6개 수종 중 리기다소나무를 제외하고, 5개 수종은 식재후 기간이 증가할수록 성장량이 점차 증가하고 있는 것으로 나타났는데 특히 해송 유령목의 경우는 이러한 경향이 더욱 뚜렷이 나타났다. 즉 유령목은 그만큼 식재환경에 대해 적응이 빠르고, 연간 성장량도 빠르게 증가하고 있다. 2000년을 기준으로 유령목 해송의 가지 성장길이는 22.3cm로 일반규격 해송의 연간 가지길이 성장량 5.7cm보다 약 3.9배 더 성장한 것으로 나타났다.

1998년 대비 2000년도의 수종별 가지성장 증가는 섬잣나무 154%, 소나무 152%, 해송(유령목) 148%로 비슷한 수준이었고, 해송은 129%, 리기다

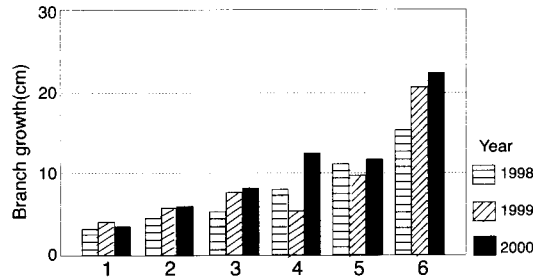


Figure 1. Growth of branches

1. *Pinus rigida* 2. *Pinus thunbergii* 3. *Pinus densiflora* 4. *Pinus parviflora* 5. *Pinus strobus* 6. *Pinus thunbergii*(young tree)

소나무 110%, 스트로브잣나무 108%의 순서로 낮았다. 따라서 섬잣나무, 소나무, 해송(유령목)에 비해 스트로브잣나무나 리기다소나무는 동일 기간에 생장이 낮은 것으로 보아, 타 수종에 비해 활착이 늦어지는 것으로 판단된다.

(2) 임해매립지 식재수목의 토양요인 분석

1) 식재토양의 단면별 염분농도

조사구의 각 토양단면은 크게 3개 토층으로 구분되었다. 최상층 토심 5~17cm는 표토층으로서 잔디가 식재된 양토이었고, 그 하층부의 약 30~52cm의 토층은 수목의 뿌리가 위치한 근권층으로 사질양토이었다. 그러나 B지구의 평지부에서는 매립용 산흙과 교란된 뽕흙이 근원층에 부분적으로 분포되어 있었다. 그 다음의 매립토층은 뽕흙과 산흙이 혼재되어 있고 특히, D지구는 직경 5~40cm까지의 파쇄암이 매립토와 혼합되어 있었다.

각 조사구의 굴착깊이는 장비의 굴착이 가능한 최대 토심 170cm로 하였다. 굴취결과, A지구는 토심 110cm, B지구는 토심 170cm에 갯벌 흙이 나타났다. 그리고 A, B지구의 성토부는 뽕흙 바로 위층에 36~37cm 두께의 맹암거 배수층이 발견되었다. 그러나 D지구, E지구는 매립깊이가 2.3m로서 토심 1.7m까지 굴착시까지 갯벌 흙이 발견되지 않았다.

토양 단면도에서도 나타나듯이 염분농도는 표토층으로 올라갈수록 점차 낮아짐을 알 수 있다. A지구의 토양단면도를 보면 보행로면(Level ±0.0) 높이에서 염분농도가 0.18%인 반면 보행로면보다 52cm 이상의 성토부에서는 염분농도가 0.02%로 급격히 감소하였다. 특히 A지구의 평지부 표토의 염분농도

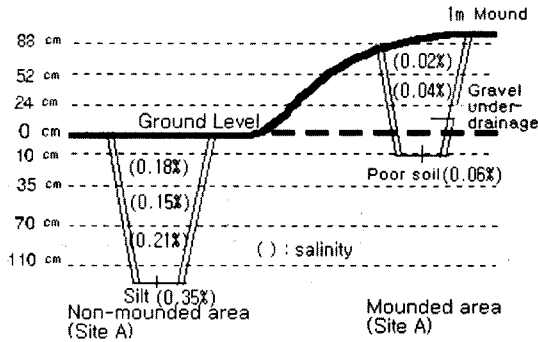


Figure 2. Salt consistency of soil (Site A)

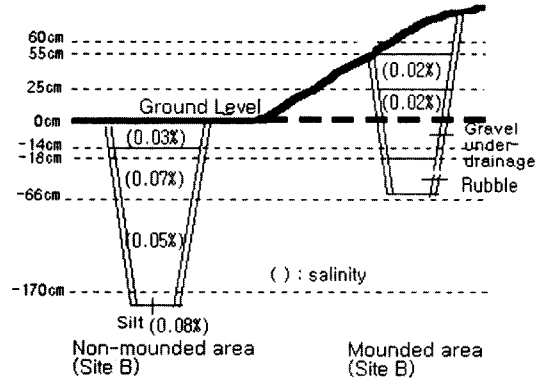


Figure 3. Salt consistency of soil (Site B)

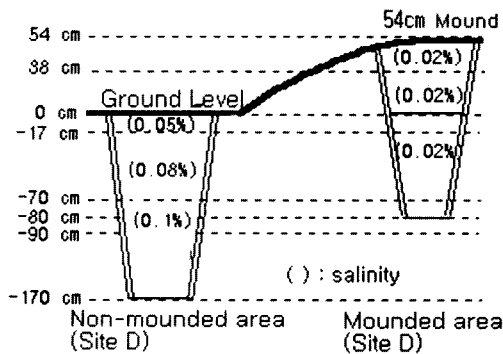


Figure 4. Salt consistency of soil (Site D)

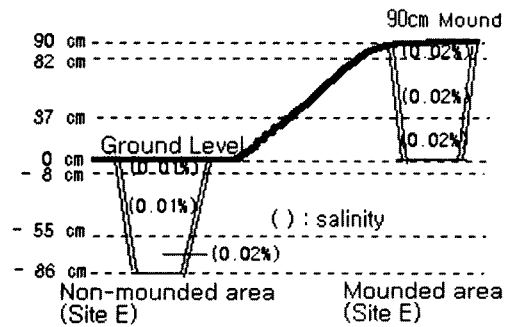


Figure 5. Salt consistency of soil (Site E)

가 0.18%인데 반하여 성토부의 염분농도가 0.04%로 급격히 낮아지고 있어 중간 자갈층의 염분차단 및 배수에 의한 영향으로 판단된다. B지구의 평지부 근권층에서는 토심 66cm 깊이에서 염분농도가 0.07%, 표토층에서는 0.03%이었으나 성토부에서는 0.02%로 수목의 생육에 지장이 없는 낮은 염분농도를 보였다.

D지구의 경우 토심 170cm까지 굴착하였으나 갯벌층은 나타나지 않았으며, 산흙으로만 매립되어 있었다. E지구는 표토층을 제외하고 근권층에서부터 직경 20cm 이상의 발파암과 자갈이 출현하고, 토양이 다져 있어 굴착장비로도 깊게 파 들어갈 수 없어 토심 86cm에서 작업을 종료하였다. 성토부에서도 근권층 아래에 자갈이 약간 섞인 산토가 출현하였다.

D지구 평지부 표토층의 토양염분농도는 0.05%, 근권층은 0.08%로 염분농도가 수목의 생육한계치

보다 높게 나타났으며, 근권층 이하에서는 0.1%로 높았다. 반면 성토부의 토양염분농도는 전체 토층에서 0.02%로 나타나 수목의 생육한계치 이내(송병용, 1989)에 있었고, 암석이 많이 섞인 E지구의 경우, 평지부와 성토부의 각 층위의 토양염분농도는 수목의 생육 한계치보다 낮은 0.01~0.02%이었다.

이상의 토양단면별 염분농도 분석결과를 종합해보면 첫째, 토양의 갯벌층으로부터 1.7m 이상의 성토가 된 곳에서는 수목의 토양염분 생육 한계치인 0.03% 이하로 측정되었다. 둘째, 토양배수 및 염분 상승차단을 위한 잠석층이 있거나 토양에 자갈이 섞여 있는 경우에는 그렇지 않은 곳보다 토양의 염분농도가 현저히 낮았다.

2) 토양의 경도

간이 토양경도계(CL -700A)를 사용하여 D, E지

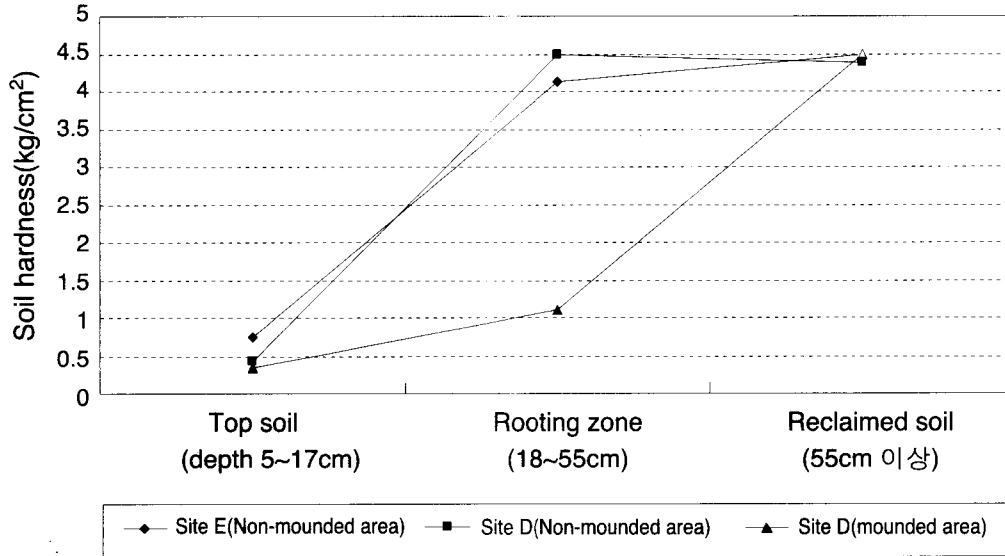


Figure 6. Hardness by soil depth

구 내 3개 조사구의 단면별 토양경도를 측정된 결과, 표토층(토심 5~17cm)에서는 조사지구 모두 경도가 0~0.8kg/cm²로 낮았다. 그러나 근권층(토심 18~55cm)과 매립토층(토심 55cm 이상)의 경도는 수목의 생장에 부적정한 2.0kg/cm²(산림청, 2001)를 초과하

는 4.0~4.5kg/cm²로서 매우 높았다.

D지구의 평지부와 성토부의 토양경도는 뿌리가 발달하는 근권층에서 차이가 많다. 즉, 평지부에서는 근권층의 토양경도가 4.2kg/cm²로 뿌리의 생장이 불가능한 높은 경도인 반면 성토부의 근권층에서는 토

Table 5. Characteristics of soils in different sites

Site	Depth of soil** (cm)	pH(1:2)	Site	Depth of soil** (cm)	pH(1:2)	
Site A	Mounded area	+52	5.39	Site D	-17	5.63
		+24	5.54		-70	3.91
		-10	5.84		-90	4.07
	Non-mounded area	-35	6.22		+38	5.30
		-70	7.27		0	5.41
		-110	4.78		-80	3.72
Site B	Non-mounded area	Silt	7.89	Site E	-8	4.98
		-14	4.98		-55	4.62
		-66	4.62		-86	5.78
	Mounded area	-170	3.91		+82	4.83
		Silt	5.78		+37	5.06
		+25	4.83		0	5.85
	-18	5.06				
Standard*					6.0~7.0	

* Korea Forest Research Institute

** Depth of soil: means a distance from the ground level to the spot at which soil samples are gathered. "+" means above the ground and "-" means under the ground(See Figure 2~5).

양경도가 1.0kg/cm²로 생육에 지장이 없는 수치를 보였다. 이는 평지부의 경우, 매립시 중장비에 의한 토양다짐의 영향으로 토양경도가 높고, 성토부는 수목의 식재를 위하여 양토를 성토하고, 장비에 의한 다짐도 적었기 때문인 것으로 판단된다.

3) 토양산도

토양산도는 A지구 평지부의 토양이 약 알칼리성인 것을 제외하고 조사분석한 토양 모두 pH 3.72~5.85의 강산성 또는 산성이었다. 산성토양은 토양 내 영양물질의 전환능력을 약화시키고 뿌리를 통한 영양물질의 흡수에 장애가 되므로 토양교정이 필요한 토양이다. 매립시 인근 산의 심토를 채취하여 매립토양으로 사용하였기 때문인 것으로 판단되었다.

2. 임해매립지 식재수목의 피해율 예측 모델

수목의 피해율을 종속변수로 하고, 수고, 흉고직경 또는 근원직경, 잎변색, 위축정도, 낙엽율, 지수상태, 신초생장상태, 소지상태, 정아우세상태, 수관감소상태 등을 독립변수로 하여 회귀분석을 한 결과, 상록침엽수목의 경우, 잎의 위축정도, 작년잎의 낙엽율, 3년잎의 낙엽율 등 3개 변수로 수목의 피해율을 약 95%(유의수준 0.00%) 설명할 수 있었고, 낙엽활엽수목의 경우에는 신초생장상태, 잎의 위축정도, 당년지의 변색정도 등 3개 변수로서 피해율을 약 96%(유의수준 0.00%) 설명할 수 있었다. 따라서 이 예측모델을 활용하면 임해매립지에서의 수목피해율을 예측하는데 있어 많은 조사항목이 없이도 위의 3개 변수에 의해 간략하게 예측해 볼 수 있을 것으로 판단된다.

- 상록침엽수목의 피해율 = $3.613 + (9.061 \times \text{잎의 위축정도}) + (5.277 \times \text{작년잎 낙엽율}) + (2.917 \times \text{3년잎 낙엽율})$ ($R^2=0.947$, 유의수준 0.00%)
- 낙엽활엽수목의 피해율 = $1.487 + (11.476 \times \text{신초생장상태}) + (8.314 \times \text{잎의 위축정도}) + (4.373 \times \text{당년지 잎변색})$ ($R^2=0.964$, 유의수준 0.00%)

3. 임해매립지 식재수목의 피해율을 저감하기 위한 시사점

(1) 최소 식재토심

임해매립지 식재시 일반적으로 가장 중요한 수목

의 피해요인으로 토양의 염분을 상징할 수 있다. 그러나 본 연구에서 임해매립지 식재토양의 토양심도별 토양염분농도의 분석결과 지하수위, 기후여건, 토성에 따라 차이는 있겠지만 원 지반의 갯벌층에서 수목의 근권층까지 최소 1.7m의 토심이 확보된다면 수목의 최대 생육염분농도 0.05%보다 낮은 염분농도가 유지되고 있는 것으로 분석되었다.

일반적으로 임해매립지의 매립토심이 대부분 갯벌층으로부터 1.5m 이상이며, 그 위에 식재를 위한 복토나 마운드를 조성하고 식재하는 것을 감안한다면 수목은 갯벌층으로부터 토심 2.0m 이상에 식재되고 볼 수 있어 갯벌층으로부터 수목의 근권층까지 1.7m 이상의 토심이 확보되기 때문에 토양염분에 의한 수목피해는 그리 크지 않다고 판단할 수 있다. 다만, 봄이나 가을철의 장기간의 갈수기에 모세관현상에 기인하여 지하 갯벌층으로부터 염분이 상승되어 근권층의 토양염분농도가 높아질 수 있다. 이 경우 관수를 통해 식재지역의 토양수분도를 높여 지하 갯벌층으로부터의 염분상승을 막아 주는 것이 중요하다고 하겠다.

(2) 지주목의 강화

해안에서의 이격거리에 따른 수목의 피해율을 분석한 결과, 바닷가에 인접하여 위치할수록 수목의 피해율이 높은 것으로 나타났다. 바닷가의 강한 바람은 식재된 수목의 뿌리의 수분공급능력이 극도로 제한된 상황에서 잎과 수피의 수분증산을 강제할 뿐 아니라 뿌리분을 흔들어 발근된 연약한 잔뿌리를 절단시키고, 해풍에 의한 엽면 염분 등이 수목의 피해를 높이는 것으로 보인다. 강한 해풍에 수목이 흔들리지 않도록 일반지구보다 지주목을 큰 규격으로 강화하여 설치하는 것이 수목의 피해율 저감에 필요할 것으로 판단되며, 가능하다면 조풍에 의한 피해를 줄이기 위하여 방풍막이나 방풍림 조성, 희생목의 식재도 수목의 생육에 도움이 될 것으로 생각된다.

(3) 토양의 경운

본 연구에서 조사된 임해매립지의 토양경도는 토심 약 15cm 내외의 표층토를 제외하면 수목의 뿌리신장에 장애가 될 정도로 높은 토양경도를 보였다. 이는 매립시 중장비의 운행에 의한 다짐효과는 물론 매립지의 토양안정을 위해 장비에 의한 토양다짐이 이루어지고 있기 때문으로 생각된다. 결국 높은 토양경도는 수목의 뿌리신장 저해는 물론 물의 토양침투를 막고, 토양내 공기의 유통을 단절시켜 수목의 생

장활동을 저해하게 된다. 따라서 임해매립지에서 수목 식재를 위해서는 최소한 뿌리의 생장이 이루어지는 근권층의 깊이만큼이라도 백호우 등으로 표층을 뒤엎고 깨뜨려 후진 해가면서 경운을 실시하는 방법으로 토양의 경도를 낮추거나 또는 부드러운 양토로 복토하거나 마운드를 조성하여 수목의 뿌리생장이 원활하게 될 수 있도록 해주는 조치가 필요할 것으로 판단된다.

(4) 토양의 개량

임해매립지는 대부분 주변의 산을 깎은 흙으로 표층을 마감하므로 영양물질이나 유기물이 부족한 척박토양이며, 산성토양이다. 따라서 유기질 비료의 시비를 통해 토양척박도와 산성토양을 교정해 주는 것이 수목의 생육에 도움이 될 것으로 생각된다. 그러나 넓은 면적의 토양을 개량하는 것이 어려운 경우, 최소한 뿌리가 초기에 활착할 수 있는 식혈부분의 토양만이라도 수목의 생육하는데 도움이 될 수 있도록 토양을 개량해 주는 것이 필요할 것으로 판단된다.

(5) 임해매립지 적응수목의 식재

일반적으로 임해매립지에서 식재수목을 선정할 경우, 수목의 내염성이 중요한 기준이 되고 있으나 임해매립지는 강풍, 척박토양 등 불량한 식재환경요인이 복합적인 영향을 미치고 있음을 고려한다면 수목의 내염성도 중요하지만 불량한 식재환경에서의 수목의 적응성이 더 고려되어야 할 것으로 생각된다.

임해매립지에서 피해율이 낮은 수종을 위주로 식재하고, 가능한 부분에는 대형목보다는 해송 등 적응력이 높은 유목 식재를 확대하고, 대규모 면적의 연차 개발지인 경우에는 묘포장을 통하여 현지 식재환경에 수목의 적응력을 높인 수목을 식재하는 것이 수목의 피해율을 저감시키는 방법이라 생각된다.

인용문헌

구본학 등(1999) 임해매립지에서 식재기반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구. 한국환경생태학회지 13(1) : 89-95.

국립환경연구원(1983) 공단지역 환경오염물질 축적과 수목생장의 상관관계에 대한 조사연구. 국립환경연구원 소보 5권 : 237-260.

김도균, 장병문, 김용식(2000) 임해매립지의 토양환경이 곰솔과 느티나무의 생육에 미치는 영향. 한국조경학회지 28(4) : 9-20.

대한주택공사(1995) 생육환경특성을 고려한 아파트단지내 조경수목선정 및 식재기반 조성에 관한 연구. 49~75쪽.

변재경(1996) 임해매립지 실태 및 토양특성. 임업연구원 임업정보, 제67호 : 30-32.

변재경(1998) 임해매립지 식재수목의 수종별 활착율 - 시화공단에 대하여-. 임업연구원 임업정보, 제83호 : 60-62.

변재경(1999) 임해매립지에서의 복토높이에 따른 수종별 고사율. 임업연구원 임업정보, 제103호 : 30-33.

송병용(1989) 임해매립지에 있어서의 조경식재계획. 환경과 조경.

유의열(1990) 임해매립지의 조경식재와 활착에 관한 연구. 한양대학교 환경과학대학원 석사학위논문, 36~45쪽.

이종석(1980) 내염성 및 내조성 조경수목 개발에 관한 생태학적 고찰. 한국조경학회지 8(1).

이경재 등(1990) 개포시민의 숲의 배식에 관한 연구. 한국조경학회. 18(3) : 71-84.

산림청(2001) 산림입지조사요령. 15쪽.

本間啓(1973) サンドボンブによる臨海埋立地における緑地植物の植栽に関する研究. 緑地學研究.

沖中健等(1984) 臨海埋立地に植栽されたクロマツとヤマモモに対する潮風の影響. 造園雜誌 47(5) : 95-100.