

# 임해매립지의 토양환경이 곰솔과 느티나무의 생육에 미치는 영향

김도균\* · 장병문\*\* · 김용식\*\*

\* 영남대학교 대학원 조경학과 · \*\* 영남대학교 조경학과

## Effects of Soil Environment on the Growth of *Pinus Thunbergii* and *Zelkova Serrata* at the Reclaimed Seaside

Kim, Do-Gyun\* · Chang, Byung-Moon\*\* · Kim, Yong-Shik\*\*

\*Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Yeungnam University

\*\*Dept. of Landscape Architecture, Yeungnam University

### ABSTRACT

The purpose of this paper is to provide the knowledge on preparing for the planting soil and planting method, and maintenance at the reclaimed seaside. Based on the collected data from the field work, the soil environment, the growth of height, inter-node, tree ring and roots of the two species had been analyzed. The determinant of soil factors, affecting the growth of trees, turned out to be six elements such as soil hardness, soil acidity, potassium, calcium, magnesium and total nitrogen.

Because the variances of both growth of tree height and tree ring are greater than that of root, the growth characteristics of ground parts of the species by the individual tree species is more dynamical than those of underground parts. From the mean difference test the growth of height, root between *Pinus thunbergii* and *Zelkova serrata*, have been turned out to be statistically significant at 5 percent level. *Pinus thunbergii* is a sapling, so it grows faster than *Zelkova serrata* while *Pinus thunbergii* has better roots system than *Zelkova serrata*. From the correlation analysis, it showed the very strong correlation between tree height growth and potassium, while the lowest correlation coefficient was between soil hardness and potassium as 0.744. From the multiple regression analysis, both soil hardness and magnesium affect to the tree growth, soil hardness and potassium to the tree growth, potassium and calcium to the root growth, respectively.

Using this research results, we can be use the planting plan including revegetation, construction and maintenance of the reclaimed seaside. In the future, the planting method including the ground preparation

and tree species selection for the reclaimed seaside should be accompanied in advance through the soil survey and relevant analysis

*Key Words : Characteristics of Soil and Tree Growth, Reclaimed Seaside, Pinus thunbergii, Zelkova serrata*

## I. 서론

### 1. 연구목적

임해매립지(이하 '매립지'라 한다)는 공단, 공항, 항만, 부두, 농경지 등으로 활용할 목적으로 해안에 제방을 축조하고 해저의 펄, 산토, 쓰레기 등으로 성토하여 육지로 조성한 곳이다.

인공적으로 조성된 매립지의 열악한 환경을 개선하기 위하여 공원 및 녹지대의 조성, 방풍림, 해변경관을 조성하고 있다(건설부, 1975; 농어촌진흥공사, 1996). 그러나, 매립지의 조경수목은 토양의 특수한 이화학적 특성(本間啓, 1973; 구본학, 1993; 1999), 염분의 피해(Bernstein, 1971), 심한 기상변화 때문에 활착과 생장이 저조하고 수목활력이 낮아 병충해를 입기 쉽고, 수형이 불량해지거나 고사하는 경우가 많다(本間啓, 1973; 유의열, 1991; 구본학과 안건용, 1993; 대한주택공사, 1995). 이러한 매립지에 대한 조경수목의 생활환경을 개선하기 위하여 식재지반의 개선, 토양의 개량, 시비, 관수, 배수, 보온 및 방풍 등(本間啓, 1973) 다양한 방법들이 시도되고 있지만, 이는 단편적인 미봉책일 뿐 장기적으로 안정적인 조경수목의 성장기반을 조성해 줄 수는 없었다.

아울러, 영종도 신공항의 건설이나 서해안의 방조제 공사에서 보는 바와 같이, 임해지역의 개발이나 각종 토지개발의 과정에서 불가피하게 나타나는 인위적인 토양환경에 대한 조경 식재계획의 필요성은 크게 대두되고 있지만, 국내외를 막론하고 수중선정, 식재방법, 토양환경의 개선, 유지관리 등에 관한 지식은 아주 부족한 실정이다.

지금까지 매립지 조경수목의 생장에 관한 기존연구 들로는 특정한 수종이나 어린 묘목 또는 식재 후 단기

간에 생육된 조경수목 등을 대상으로 생존율과 토양 및 입지환경의 특성에 대한 연구(유의열, 1991; 구본학, 1993; 대한주택공사, 1995)가 있었다. 그러나, 조경수목의 장기간 성장에서 나타나는 생장특성과 이에 영향을 미치는 토양특성에 관한 미시적 연구는 없었다. 특히, 매립지의 토양 환경에서 생장지해 토양인자가 조경수목의 생장에 어떻게 영향을 미쳤는지, 그 영향의 정도는 어느 정도인지를 구체적으로 파악한 연구는 없는 것으로 확인되었다.

따라서, 본 연구는 매립지의 토양이 조경수목의 생장에 어떠한 영향을 미치는가? 라는 연구 의문에 해답을 제공하기 위하여, 조경수목의 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장과 장기적으로 영향을 미치는 매립지의 토양인자들과의 관계를 구명하는 것을 연구의 목적으로 한다. 이 연구의 결과는 각종 토지개발로 토양환경이 교란된 매립지의 식재계획과 시공 및 유지관리에 필요한 지식을 제공하는데 기여할 것이다.

### 2. 연구범위 및 방법

본 연구는 매립지 조경수목의 생장을 저해하는 토양인자들이 장기적으로 조경수목의 생장특성에 어떤 영향을 미치는지를 구명함을 내용상의 범위로 한다. 연구의 공간적 범위는 전라남도 광양만의 매립지를 대상으로 하며 1999년을 기준으로 횡단면적 분석을 수행한다.

연구방법은 상록침엽교목인 곰솔과 낙엽활엽교목인 느티나무를 6개 식재지역에서 평균목을 5개체씩 선발하여, 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장에 관한 변수들과 수목생장을 저해하는 5가지 토양인자와의 관계를 단일 변수의 통계적 요약, 두 변수와의 상관분석, 정준상관 분석과 다중회귀분석방법을 통해 분석한다.

## II. 임해매립지의 조경수목 성장에 관한 이론적 고찰

### 1. 기상과 식물의 성장

수목의 성장에 영향을 미치는 기상요인은 일반적으로 온도(이경준, 1995; 신공항건설공단, 1995), 바람(우보명, 1991), 한발, 강우 등이 있으며(이경준, 1995), 매립지는 비사(건설부, 1975), 조풍(건설부, 1975; 通度達也, 1973) 등의 영향이 크다(건설부, 1975).

### 2. 임해매립지 토양의 이화학적 특성

#### 1) 임해매립지와 토양

매립지는 매립재료에 따라 해저의 사토를 준설하는 방법, 건설잔토로 매립하는 방법, 생활 및 산업 폐기물로 매립하는 방법 등이 있다(岡本試明, 1989). 매립지 토양의 이화학적 특성은 매립재료에 따라 그 성질이 매우 다르게 나타난다(대한주택공사, 1995).

#### 2) 매립재료와 토양 특성

준설토는 해저의 펄로 알칼리성이며, 나트륨(Na), 마그네슘(Mg), 염소(Cl),  $SO_4$ , 칼륨(K),  $SiO_2$  등이 많은 반면, 칼슘(Ca)이 상대적으로 적고 유기물(O.M), 인(P), 철(Fe)도 적은 편이다(한국공항공단, 1995).

건설토는 매립과정에서 물리적 특성의 파괴(장관순과 김형복, 1999), 가스나 오염물질의 발생 등에 의하여 수목생장에 지장을 초래할 수 있다(건설부, 1975).

일반 및 산업폐기물의 매립은 침출수와 가스의 발생, 발열(發熱), 지반침하 등으로 수목의 뿌리에 영향을 미친다(건설부, 1975).

#### 3) 식재지반의 조성방법

매립지의 토양환경을 개선하기 위하여 객토법과 성토법(건설부, 1975), 조사토 혼합법, 토양개량제 혼합법, 시비법(長智男, 1954; 本間啓, 1969; 岡本試明, 1989) 배수법, 제염방법(NEDECO, 1986; 本間啓, 1973)을 사용한다. 매립지의 경우는 객토법과 성토법

이 주로 사용되고 있다(건설부, 1975).

### 3. 임해매립지에서의 토양의 이화학적 특성과 수목성장

#### 1) 토양의 물리적 특성

매립지에서는 수분, 토성(이천용, 1996), 유효토층(興水擘, 1977: 1-140)의 부족, 통기성 불량, 배수불량, 토양건조, 토양경도의 심화(진현오 등, 1994; Barley, 1963; Burnett, 1964), 불량토양의 매립, 낮은 보수력(이경준, 1995), 토양의 고결, 비사에 의한 매몰, 지하 수위에 의한 염분이 수목생장에 영향을 미친다(구본학, 1993; 대한주택공사, 1995). 광양만 매립지의 경우 토양경도가 수목생장을 저해하는 물리적 인자로 판명되었다(한국조경학회, 1999; 김도균, 2000).

#### 2) 토양의 화학적 특성

토양의 염분(本間啓, 1973; Fitter *et al.*, 1987; Alexandra and Lerner, 1994; Lovely, 1976; James *et al.*, 1982; 최문길, 1988), 전기전도도(ECe) (David and Reed, 1996), 토양산도(pH), Na, K(Bhandal and Malik, 1988; Alam, 1994), Ca(Demarty *et al.*, 1984), Mg(이천용, 1996, 한국조경학회, 1999), 전탄소량(T-C)(이천용, 1996), 전질소(T-N)(강영희와 신영오, 1996)와 같은 성분은 조경수목의 성장에 복잡한 화학적 작용을 하고있다. 이러한 성분은 토양의 조건에 따라 과부족이 있을 수 있다. 특히, 광양만 매립지의 경우 수목의 정상적 성장을 저해하는 토양인자는 pH, K, Ca, Mg, T-N의 5개 요인으로 구명되었다(김도균, 2000: 46-47).

#### 3) 수목생장과 토양의 특성

수목생장을 파악하고 수목생장의 부위별 즉, 뿌리생장, 줄기생장, 가지생장, 잎의 성장에 미치는 환경요인과 생장의 특성을 이해하는데 필수적이다.

(1) 수고생장은 유전적인 형질 이외에(마상규 등, 1974), 토양의 깊이와 흡습수, 유효토심(A층), 표층토의 모래함량과 pH(Linnartz, 1963), 질소함량, 유기인산, 유기물 함량(Coile, 1937; 이종락, 1976) 치

환성 Ca와 K 등에 영향을 받는다. 매립지에서는 토양 염 농도가 높은 지역에서는 수고가 낮은 반면, 능도가 낮은 지역에서는 수고가 높다(Sun and Dickinson, 1995).

(2) 연륜생장은 연대별 변화를 통해 조경수목의 생육상태를 파악하는 수단이며, 수목의 위치변화, 빛의 양, 수분, 온도의 변화, 수관·뿌리·수관부위의 손상, 환경의 화학적 변화 등의 영향이 연륜구조에 반영된다(Kramer and Kozłowski, 1979).

(3) 뿌리생장은 토양인자의 함량이나 수분의 결핍 정도에 따라 영향을 받으며(Santantonio and Hermann, 1985; Marsle, 1990; Castellanos et al, 1991), 뿌리의 분포 밀도는 토양의 깊이에 따라 감소한다. 매립지에서 뿌리생장은 상부층의 근권부의 조건에 따라 더 많은 영향을 받는다(Pessarakli, 1994).

### III. 개념적 틀

#### 1. 개념적 틀

본 연구에서 매립지 조경수목의 성장특성은 I. 기상조건, II. 토양, III. 조경수목 수종, IV. 조경수목 성장특성의 관계로 이해할 수 있다(그림 1 참조).

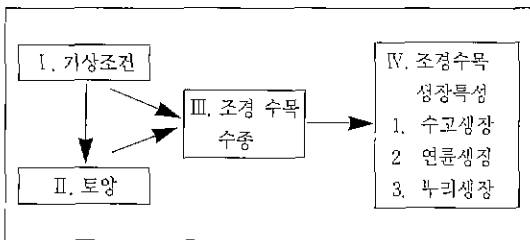


그림 1. 개념적 틀

##### 1) 기상조건

매립지에서 조경수목의 성장에 영향을 미치는 주요 기상 인자들은 강우, 온도, 바람, 한발 등이 있으며, 이들에 의한 간접적 영향은 풍해, 조풍, 비사 현상 등이 있으나(龜山章, 1977) 매립지의 조경수목의 성장특성을 구명하는 과정에서는 통제할 수 없는 요소들이다.

##### 2) 토양

매립지에서 조경수목 성장에 영향을 미치는 토양의 물리적 특성으로는 토성, 토양경도, 토양수분 등이 있으며, 토양의 이화학적 특성으로는 pH, ECe, Na, K, Ca, Mg, T-N, T-C 등이 있다(신공항공단, 1995). 매립재료에 따라 토양의 특성이 매우 상이하며, 특정한 토양성분의 과부족은 수목생장에 영향을 미친다.

#### 3) 조경수목 수종

수종에 따라 환경조건에 적응범위가 있으며, 영양이 온, 빛, 수분 등 특효요인의 결핍이 실질적으로 대사 작용을 방해하여 성장을 저하시키며, 수종별로 환경변화에 대한 회피기작, 개선 및 내성에 따라 다르게 나타난다.

##### 4) 조경수목의 성장특성

조경수목 성장의 특성은 크게 수고성장, 연륜생장, 뿌리생장, 수목활력도르 구분하여 이해할 수 있다. 수고성장, 연륜생장, 뿌리생장은 매립지 토양의 영향이 장기적으로 충분히 반영된 결과로 판단되지만 수목활력도는 이러한 지표로는 신뢰성이 낮다.

#### 2. 개념적 틀과 조경수목 성장에 영향을 미치는 변수의 구명

##### 1) 개념적 틀의 이론적 근거

기상조건은 연구 수행상 그 효과를 통제할 수 없는 거시적인 요인이며, 매립지는 기반의 조성방법, 매립재료, 식재지반의 조성방법, 지반의 높이 등에 따라 차이가 있을 수 있으나, 이러한 결과는 토양의 특성을 통해 나타난다. 수종별 성장차이는 매립지라는 조건에서 내염성, 내조성, 내건성 등에 따라 수고성장, 연륜생장, 뿌리생장 특성이 다르다는 것을 알 수 있다.

##### 2) 연구결과의 기여분야

본 연구는 매립지 조경수목의 성장에 저해되는 토양 인자들이 조경수목의 성장에 미치는 영향을 수종별로 미시적으로 구명할 수 있을 것이며, 향후 토양과 조경수목의 성장에 관한 이론적, 방법론적 발전에 기여할 것이다. 아울러, 각종 토지의 개발과정에서 발생하는 각종 매립지의 토양조건 변화에 따른 식재계획과 시

공 및 유지관리에 필요한 지식을 제공하게 될 것이다.

### 3) 개념적 틀로부터 변수의 구명

(1) 그림 1의 개념적 틀에 의하여 매립지 수목생장은 기상조건, 토양 이화학적 특성, 수종별로 그 성장특성을 달리 할 것이라는 것을 고찰하였다.

(2) 기상조건은 거시적으로 영향을 미치는 것으로 인위적으로 통제할 수 없는 요소이다. 광양만은 공간적 범위가 좁기 때문에 기상조건은 동일하다고 판단되므로 본 연구에서는 기상조건을 고려하지 않는다.

(3) 매립지 조경수목의 정상적인 성장을 저해하는 토양인자는 토양경도(hardness), pH, K, Ca, Mg, T-N으로 확인되었다(김도균, 2000).

## 3. 연구기설

「임해매립지의 토양은 조경수목의 성장에 어떠한 영향을 미치는가?」라는 연구 의문에 해답을 제공하기 위하여, 「임해매립지 조경수목의 성장저해 토양인자들은 조경수종별로 다른 영향을 미칠 것이다.」라는 연구기설을 도출하였다.

왜냐하면, 매립지는 인위적으로 조성된 토지로서 자연지역의 토양과는 이화학적 특성이 상이하며, 이러한 토양인자들이 조경수목의 성장에 영향을 미칠 것이며, 또한 이러한 영향은 수종별로 달라질 것이기 때문이다.

## IV. 연구 방법론

### 1. 연구 대상지

#### 1) 연구 대상지의 개황

연구 대상지는 전라남도 광양시 금호동 일대의 광양만이며, 매립지 면적은 기존의 공유수면 중에서 14.88km<sup>2</sup>(450만평)이며, 매립 후 공장부지, 지원시설기지, 주택단지 등으로 이용되고 있다(포항종합제철주식회사, 1993). 이 지역의 최근 9년간의 연평균 기온은 15.0℃, 월평균 최저기온은 2.5℃, 월평균 최고기온은 27.0℃로 연평균기온 교차는 24.5℃이었다. 연평균 강수량은 1,292.8mm, 연평균 상대습도는 68.2%로 비교적 습한 편이며, 7월 상대습도는 85.4%이며 1

월의 상대습도는 57.2%이었다.

#### 2) 연구 대상지의 식재지반

광양만은 1982년부터 1989년까지 광양만 해저의 갯벌을 준설매립공법(sand pumping)으로 평탄하게 매립하였으며, 매립기반의 높이는 해수면으로부터 DL+5.5m이다(포항종합제철주식회사, 1993). 식재지반은 준설토 매립기반 위에 심토를 이용하여 객토, 단독객토 그리고 성토의 3가지 유형으로 시공하였다(김도균, 2000). 본 연구 대상인 곰솔은 1989년 12월에 H2.5×0.8m를 80주와 1991년 6월에 H1.5×W0.5를 650주 식재하였다. 느티나무는 H3.5×R8를 306주를 무작위로 식재하였다. 식재 후 2년 동안 급수, 전정, 시비를 하고, 지주목 보수작업을 시행하였다.

## 2. 연구대상 조경수목

### 1) 조경수목의 선정

#### (1) 조경수목의 선정기준

본 연구를 위한 조경수목의 선정은 우리나라 매립지에서 ① 식재의 높은 선호성과 대표성이 있는 수종, ② 상록침엽수와 낙엽활엽수로 구분하여, ③ 적응력이 강한 곰솔(*Pinus thunbergii* Parlatoe)과 상대적으로 적응력이 약한 수종인 느티나무(*Zelkova serrata* (Thunberg) makino)를 선정하였다.

#### (2) 측정용 표본의 추출

조경수목의 표본은 성토형태에 따라 6개 지역으로 구분하여 곰솔과 느티나무의 평균목을 5주씩 선별하여 각 수종별로 30주씩 총 60주를 선정하였다.

### 2) 수목의 성장량 및 활력도 측정

#### (1) 성장량 측정

수고생장은 표척과 망원경을 이용한 전체 성장길이와 이식 후의 연평균 수고성장량을 측정하였다. 연륜측정은 상호교차연대법(cross dating)으로 위연륜(false ring)과 실연륜(missing ring)을 기초로 정확한 생육연대기를 부여하였다.

뿌리생장의 측정은 잔뿌리를 대상으로 하였다. 잔뿌리의 채굴은 매 수목 당 수직적으로는 표토에서 깊이 60cm까지 5cm간격으로 12단계로 구분하고, 수평적

으로는 수간으로부터 11~105cm까지 10cm간격으로 10등분하였다. 채취방법은 기본 축을 남쪽과 북쪽으로 하여 각각 4반복 채취하여 비닐 봉투에 넣어 혼합하였으며, 한 지역 당 채취 코어수는 수직12탄복×수평10간×8반복×5개체로 4,800코어이며, 총 채굴 코어 수는 6개 지역으로 2수중에서 총 57,600개였다. 뿌리의 채굴 시기는 휴면기인 1998년 10월부터 1998년 12월까지였다. 죽은 뿌리와 산 뿌리로 구분된 뿌리는 봉투에 넣어서 건조기에서 85℃로 48시간 건조하여 건조량을 소수점 3자리까지 정량하였다.

#### (2) 활력도의 측정

수목의 활력도 측정은 수형, 가지의 신장량, 소지의 상태, 엽색, 낙엽율 등을 조사하여 수목의 건강 정도를 판정하는 방법으로(井上敏雄, 1979) 장기적으로 관찰된 경우에만 신뢰성이 있다

### 3. 연구 대상지의 토양 특성분석 방법

#### 1) 토양표본의 추출

선정된 조경수목에 대한 토양의 표본은 평균목을 5주씩을 선별하여, 각 수목별 잔뿌리 채굴지에서 추출하였다. 토양채취 대상의 선정은 각 식재지반별로 잔뿌리 채굴지에서 각 수목마다 4반복×5개체에서 채취하여 혼합하였다. 토양의 층위는 잔뿌리 채굴지에서 단면을 다듬은 다음 표토 층에서부터 지하 60cm까지 5cm마다 12단계로 정밀 채취하였다. 토양의 채취방법은 잔뿌리 채굴시 사용한 내경의 직경 4.3cm, 높이 5cm의 철재 코어를 이용하여 표토에서 수직으로 삽입하여 채굴하였다. 채굴한 토양은 비닐 봉지에 담아서 실험실로 옮긴 뒤 음건하여 2mm체로 친 다음 심분법으로 나누어 토양분석 시료로 사용하였다.

#### 2) 토양의 이화학적 특성 분석

토성은 채취된 토양을 음건시킨 후 2mm 표준망체로 친 다음 105℃에서 건조시켜서 Kühn장치를 이용하여 모래, 미사, 점토로 분리한 후 미국농무성법으로 판정하였다. 토양경도는 잔뿌리 채취지역에서 수목 한 그루 당 동서남북 4방향으로 토양 단면이 교란되지 않도록 절취한 다음 산중식 토양경도계(SHM-1)로 수평방향으로 측정하여 평균치를 계산하였다. pH는 음건한 토

양을 손으로 비벼서 2mm체로 치고, 이 토양과 증류수의 비(w/w)를 1:5로 혼합하여 10분간 진탕한 후 pH는 Fisher 230A pH meter로, ECe는 DM35 Conductivity meter로 각각 측정하였다. T-N은 0.5mm체를 통과한 풍건세토를 질소량으로 1g의 음건토양과 6g의 음건 분해 촉진제(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:CH<sub>3</sub>SO<sub>4</sub>=9:1) 및 5ml의 진한 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 넣고 가열하여 분해시킨 다음 분해액을 100ml의 볼륨메트릭 플라스크로 정량하였다. 이 액에서 20ml를 취하여 40% NaOH 20ml와 혼합, 증류한 다음 1/14N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 표준 용액으로 적정하여 정량하였다(Jackson, 1967)

### 4. 변수의 선정과 측정방법

1) 종속변수. 종속변수는 수고생장, 연륜생장 및 뿌리생장이며 측정은 등간척도(meter)로 측정하였다.

2) 독립변수: 독립변수는 명목척도로 측정되며(0: 곰솔; 1: 느티나무), 토양경도(mm), pH, K(me/100g), Ca(me/100g), Mg(me/100g), T-N(%) 등의 조경수목의 성장저해 토양인자들은 모두 등간척도 혹은 비율척도로 측정하였다.

### 5. 연구방법

#### 1) 조경수목 성장저해 토양인자 구명

연구대상 매립지의 모래(Sand), 실트(Silt), 점토(Clay), 토양경도 W.R., W.C., pH, ECe, Na, K, Ca, Mg, T-C, T-N 등 14가지 이화학적 특성을 분석하고, 토양의 물리·화학적 특성 평가기준표(한국조경학회, 1999)에 의거하여, 분석된 토양의 함량이 과부족으로 조경수목의 성장을 저해하는 인자인가를 구명한 결과 토양경도, pH, K, Ca, Mg, T-N의 6개 인자로 판명되었다(김도균, 2000: 46-47).

#### 2) 분석방법

매립지의 조경수목의 성장을 저해하는 토양인자들과 조경수목의 성장특성을 구명하기 위한 본 연구는 기술적 통계방법, 두 변수간의 관계를 검정하기 위한 Pearson의 상관분석, 평균의 차이에 관한 t-검정방법

을 적용한다. 또한, 수고생장(height), 연륜생장(ring), 뿌리생장(root)의 종속변수군과 조경수목의 성장저해 토양인자들의 예측변수군에 관한 정준상관분석(canonical correlation)을 수행한 후 그 결과를 이용하여 다중회귀분석을 수행하여 각 독립변수들의 유의성, 방향, 방향의 크기, 상대적 기여도를 검정하였다. 통계분석은 SAS Ver. 6.12(SAS Institute., 1999) 프로그램을 이용하였다.

## V. 임해매립지의 조경수목 성장특성 분석

### 1. 수목생장의 특성

#### 1) 조경수목의 성장특성

종속변수인 수고생장(height), 연륜생장(ring), 뿌리생장(root)과 독립변수인 토양경도(hardness), 토양산도(pH), 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg),

전질소(T-N)의 통계적 특성은 Table 1과 같다.

수고생장의 평균은 28.8cm(표준편차=17.65), 연륜생장의 평균은 51.74mm(표준편차=17.728)이며, 뿌리생장의 평균은 68g DM/m<sup>2</sup>(표준편차=29.895)으로 대단히 분산이 큰 것은 수고생장과 연륜생장이 뿌리생장보다 생장 차이가 크기 때문이다. 토양경도는 평균 288.58(표준편차=17.273)로 현저히 큰 차이를 보인다. 이는 장비에 의해 다져진 전압강도가 지역마다 크게 다르기 때문으로 해석된다. K의 평균은 6.80(표준편차=0.108)으로 분산이 가장 작았으며, pH의 평균은 54.29(표준편차=0.975), Ca의 평균은 5.3092(표준편차=3.776)로 나타났다. Mg의 평균은 6.3284(표준편차=1.155), T-N의 평균은 0.59(표준편차=17.273)로 나타났다.

### 2. 수목생장과 토양 이화학적 특성과의 관계

#### 1) 종속변수와 각 독립변수들간 관계의 검정

##### (1) 상관분석

양적으로 측정된 두 변수간의 관계들에 관한 상관분석의 결과는 Table 2와 같다.

상관분석 결과, 유의한 변수들 중에서 상관관계가 가장 높은 것은 수고와 K로서 상관계수가 0.744이고 토양경도와 K가 상관계수가 0.259로서 가장 낮다. 수고생장에 T-N이 영향을 미치고 있으며, 연륜생장과 뿌리생장에는 토양경도가 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 수고생장과 K은 정(+)의 상관관계가 있고, 연륜생장과 토양경도는 높은 부(-)의 상관관계가 있다.

① 수고생장과 각 토양성분과의 관계 : 수고생장은

Table 1 Summary statistics of variables

Variable	Mean (Std. Dev.)	Min.	Max.	N
height	28.700 (17.649)	-18.70	61.20	60
ring	51.740 (17.728)	11.61	82.36	60
root	68.000 (29.895)	13.20	132.30	60
hardness	288.583 (17.273)	276.00	325.00	60
pH	54.291 (0.975)	54.00	57.50	60
K	6.808 (0.883)	4.75	7.20	60
Ca	5.309 (3.776)	0.58	10.41	60
Mg	6.328 (1.155)	4.69	8.26	60
T-N	0.599 (0.108)	0.47	0.80	60

Table 2 The results of correlation analysis

	height	ring	root	species	pH	K	hardness	Ca	Mg	T-N
height	1.000									
ring	0.634 <sup>*†</sup>	1.000								
root	0.060	0.298 <sup>*</sup>	1.000							
species	-0.578 <sup>††</sup>	-0.181	0.542 <sup>**</sup>	1.000						
pH	-0.556 <sup>††</sup>	-0.568 <sup>**</sup>	-0.251	0.302 <sup>*</sup>	1.000					
K	0.744 <sup>**</sup>	0.520 <sup>**</sup>	0.138	-0.447 <sup>**†</sup>	-0.638 <sup>**†</sup>	1.000				
hardness	-0.334 <sup>††</sup>	-0.684 <sup>**†</sup>	-0.441 <sup>**</sup>	-0.229	0.588 <sup>*†</sup>	-0.259 <sup>*</sup>	1.000			
Ca	-0.383 <sup>†</sup>	-0.544 <sup>**</sup>	-0.229	-0.131	0.268 <sup>*</sup>	-0.395 <sup>**</sup>	0.685 <sup>*†</sup>	1.000		
Mg	0.023	-0.092	-0.050	-0.137	-0.194	0.205	0.384 <sup>††</sup>	0.583 <sup>††</sup>	1.000	
T-N	-0.227	-0.135	0.141	0.361 <sup>**</sup>	-0.148	-0.100	-0.139	0.137	0.399 <sup>**</sup>	1.000

\*: Significant at the 5% (2-tailed test); \*\*: Significant at the 1% (2-tailed test)

K와 상관계수가 0.774로서 아주 높은 상관관계가 있으며, pH와 토양경도와의 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 수고생장과 수중간에는 상관계수가 0.578의 높은 상관관계를 보이고 있다.

② 연륜생장과 각 토양성분과의 관계 : 연륜생장은 토양경도와 상관계수 0.684로서 상관관계가 가장 크지만, 수종별 연륜생장의 차이는 크지 않은 것으로 보인다.

③ 뿌리생장과 각 토양성분과의 관계 : 뿌리생장과 토양경도는 0.441의 상관계수를 보인다. 한편, 뿌리생장과 수중과의 관계에서 상관계수 0.542로 높고 유의하며 정(+)의 상관이다.

## 2) 수종간의 생장의 차이에 관한 검정

곰솔과 느티나무에 대한 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장의 차이를 검정한 결과, 곰솔의 수고생장의 평균은 38.900(표준편차=10.438)이고( $n=30$ ), 느티나무의 수고생장의 평균(표준편차)는 18.666(표준편차=17.692)이었다( $n=30$ ). 수고생장의 평균의 차이를 단측검정한 결과 통계적 유의성이 대단히 높은 것으로 확인되었다( $t=4.299, p=0.000$ ). 이 점은 곰솔의 수고생장이 느티나무에 비해 속성으로 성장하는 특징으로 사료된다.

곰솔의 연륜생장의 평균은 54.935(표준편차=15.445)이고( $n=30$ ), 느티나무의 연륜생장의 평균은 48.559(표준편차=19.489)이었다( $n=30$ ). 연륜생장의 평균의 차이를 단측검정한 결과 통계적 유의성이 없는 것으로 확인되었다( $t=1.404, p=0.083$ ). 이 점은 같은 수종간에도 연륜생장의 분산이 심하기 때문으로 판단된다.

곰솔의 뿌리생장의 평균은 51.990(표준편차=23.235)이고( $n=30$ ) 느티나무의 뿌리생장의 평균은 84.104(표준편차=27.292)이었다( $n=30$ ). 뿌리생장의 평균의 차이에 단측검정의 결과 통계적 유의성이 높은 것으로 확인되었다( $t=-4.908, p=0.000$ ). 이 점은 곰솔보다 느티나무의 잔뿌리가 많기 때문으로 사료된다.

## 3. 임해매립지의 조경수목의 성장특성의 분석

Table 3. The results of canonical correlation analysis

a: Statistics of canonical correlation analysis

	Canonical Correlation	Adjusted Standard Error	Approx Canonical Correlation	Squared	Eigenvalue	Difference
1	0.885253	0.871077	0.028163	0.783672	3.6226	2.0705
2	0.779851	0.770384	0.051012	0.608187	1.5521	1.3320
3	0.424755	0.402522	0.106701	0.180417	0.2201	-

(Table 3a. continued)

	Proportion	Cumulative	Likelihood Ratio	Approx F	df	Den DF	Pr>F
1	0.6715	0.6715	0.06947142	15.6191	15	143,9505	0.0001
2	0.2877	0.9592	0.32113997	10.1313	8	106	0.0001
3	0.0408	1.0000	0.81958343	3.9624	3	54	0.0126

b: Results of multivariate test statistics and F approximations

Statistic	Value	F	df	Den DF	Pr>F
Wilks' Lambda	0.06947142	15.6191	15	143,9505	0.0001
Pillai's Trace	1.57225586	11.8931	15	162	0.0001
Hotelling-Lawley Trace	5.39485841	18.2226	15	152	0.0001
Roy's Greatest Root	3.62261980	39.1243	5	54	0.0001

### 1) 조경수목 생장에 관한 다변량 통계분석

(1) 조경수목 생장과 토양특성과의 관계에 관한 다변량 통계분석

생장변수군인 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장에 영향을 미치는 예측변수군은 수종, 토양경도, 토양산도, 칼륨, 전질소와의 관계에 관한 정준상관분석(canonical correlation analysis)의 분석결과는 Table 3과 같다.

기준변수인 수고생장(height), 연륜생장(ring), 뿌리생장(root) 3개의 종속변수들은 상관관계가 높기 때문에 각각의 종속변수와 독립변수들과의 관계로 분석할 수 없다. 따라서 조경수목의 생장에 관한 기준변수와의 영향을 미치는 5개의 예측변수들과의 관계이므로 정준상관분석(canonical correlation analysis)을 수행한 결과는 Table 3과 Table 4와 같다.

Table 3에서 Wilk's Lambda의 값은 0.0001%로 모형의 통계적 유의성이 대단히 높은 것으로 판명되었다. 도출된 3개의 정준함수들의 정준상관계수들은 각각 0.8885, 0.77985, 0.42476으로 나타났으나 3번째 정준함수는 설명력(proportion)의 값이 0.0408로 무시해도 좋은 값이므로 결국 기준변수는 2개의 의미 있는 정준함수로 요약된다. 정준함수의 첫 번째와 두 번째 고유치(eigenvalue)는 각각 3.6226, 1.5522이며,



Table 4. Results of standardized canonical coefficients for criterion and predictor variables

a' Standardized canonical coefficients for the criterion variables

	D1	D2	D3
height	-0.7422	-0.2761	1.0469
ring	-0.3403	0.5617	-1.2053
root	0.3313	0.7588	0.6681

b. Standardized canonical coefficients for the predictor variables

	W1	W2	W3
species	0.7783	0.8463	0.7536
pH	-0.2864	-0.3604	-0.4635
K	-0.4478	0.2737	0.8918
T-N	0.0127	-0.2638	-0.0663
hardness	0.6101	-0.3625	1.0900

총 분산 중에서 각각의 정준함수가 설명하는 설명력 (proportion)의 값은 각각 0.6715, 0.2877으로 총 95.92%를 설명하는 것으로 판명되었다.

그러나, 이러한 정준상관분석의 결과는 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장의 3개 변수로 구성된 성장변수군이 D1, D2의 2개의 새로운 성장변수로 요약되어 보다 검약된 결과를 얻기는 했으나 성장변수군을 설명하는 예측변수들의 영향을 이해하고 설명하기가 어렵다. 따라서, 도출된 정준상관 함수 D1과 D2와의 관계는 그림 2로 나타낼 수 있으며 조경수목의 성장에 관한 3개로 구성된 독립변수군은 정준상관함수 D1과 D2의 값을 1개의 벡터 값으로 나타낼 수 있으며, 이 값은 결국 조경수목의 성장량을 나타내는 성장지수(DALL)의

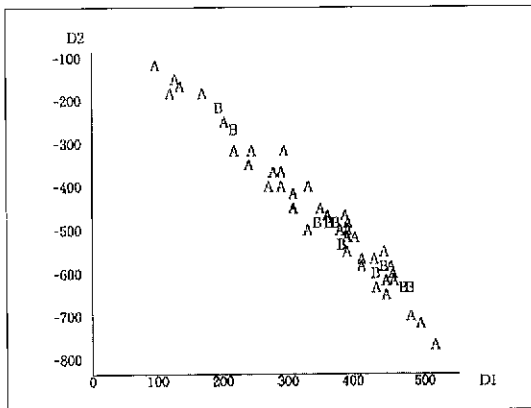


그림 2. 정준상관함수 D1과 D2의 관계

범례. A = 1 obs; B = 2 obs

변수값으로 명명할 수 있다.

따라서 성장지수(DALL)를 종속변수로 하고, 수중, 토양경도, pH, K, Ca, Mg를 독립변수로 하는 다중 회귀모형을 통해 조경수목의 성장특성을 구명할 수 있다.

(2) 다중회귀분석

① 회귀모형 정립의 오류와 가정의 검토

다중 회귀분석에 앞서 모형정립의 오류 (specifications errors)는 없었다. 다중회귀모형의 가정인 다중공선성, 이상점, 잔차의 정규성, 선형성, 등분산성을 검토한 결과, 분산팽창계수(VIF)가 5.159, 상태지수는 모두 100이하이고 분산비율도 관련성이 있는 변수가 없는 것으로 나타나 다중공선성의 문제는 없는 것으로 판단된다. Durbin-Watson(DW) 검정통계량이 1.341로 나타나 잔차가 정규분포를 하고 있으며, 자기상관은 없는 것으로 판단된다.

Table 5. The results of multiple linear regression model

a: Analysis of variance

Source	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1433582.6179	204797.51684	17.897	0.0001
Error	595043.97839	11443.15343	-	-
C Total	2028626.5963	-	-	-

b: Results of multiple linear regression analysis

Dep. Var.: DALL

Root MSE: 106.97268 R<sup>2</sup> : 0.7067

Dep. Mean: 557.38058 Adj R<sup>2</sup>: 0.6672

Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Standardized Estimate	T-value	Prob
intercept	734.4184	1422.9930	0.000	0.516	0.608
species	-82.1171	41.1627	-0.223	-1.995	0.051
hardness	-10.6152	1.8313	-0.988	-5.796	0.000
pH	48.5732	30.1639	0.255	1.610	0.113
K	20.0583	30.0074	0.095	0.668	0.506
Ca	-8.7360	7.7740	-0.177	-1.124	0.266
Mg	80.4666	22.6699	0.502	3.549	0.000
T-N	-516.1596	169.6248	-0.298	-3.043	0.003

② 모형의 점검

㉠ 모형의 적합성: Table 5a에서 보는 바와 같이 모형의 적합성은  $Se = \sqrt{MSE}$ , 결정계수( $R^2$ ), F-검정을 통해 검정한 결과 추정값의 표준오차( $\sqrt{MSE}$ )는 106.97268이며, 결정계수( $R^2$ )는 0.707이고, 수정결정

계수(Adj. R<sup>2</sup>)의 값이 0.667으로 나타나 높은 설명력을 지니고 있다. 즉, 이 모형에 의해 전체 변동의 70.7%가 설명된다는 의미이다. F-검정을 수행한 결과 F=17.897로 확률이 0.0001로 유의성이 대단히 높다. 이상 3가지 모형검정의 결과를 고려할 때 추정된 회귀 모형은 적합한 모형이다.

#### ㉔ 독립변수에 대한 검정

㉕ 유의성의 유무 : 각각의 독립변수들이 종속변수인 수목 성장량의 설명에 미치는 영향에 대한 유의성을 평가해 보면 토양경도와 Mg, T-N이 유의수준 5%수준에서 통계적 유의성이 있는 것으로 판명되었다. 반면, pH, T-N, species는 5%수준에서 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났다.

㉖ 인과관계의 방향 : 각 독립변수가 종속변수의 값에 영향을 미치는 방향은 회귀계수(coefficients) 값의 부호를 검토함으로써 확인하였다. 토양경도와 T-N은 종속변수의 값의 증가에 부(-)의 관계로 작용하고, Mg는 정(+)의 관계로 작용하는 것으로 나타났다.

㉗ 인과관계의 크기 : 독립변수의 값이 증가함에 따라 종속변수 값의 변화 정도는 독립변수의 비표준화 회귀계수(standardized parameter estimate)에 의하여 검토하였다. 즉, 이 모형에서 다른 조건이 불변인 경우, T-N 값의 한 단위의 증가는 성장지수의 값을 516.1596 만큼 성장을 감소시키며, 종속변수의 값에 가장 큰 변화를 주는 변수로 확인되었다. 또한 다른 변수들의 값이 불변일 경우 독립변수인 Mg값의 한 단위 증가는 80.466 만큼 수목생장이 증가하였다.

㉘ 종속변수에 대한 상대적 기여도의 크기 : 각각의 독립변수가 종속변수 값의 크기에 대한 상대적 기여도는 표준화 회귀계수(standardized parameter estimate)의 절대값 크기의 비교를 통해 설명된다. 표준화 회귀계수 절대값의 크기는 토양경도가 0.988로 가장 크고, 그 다음으로는 Mg가 0.502로 나타나 토양경도는 Mg에 대하여 1.9배 정도의 중요도를 보인다.

이상의 분석의 결과 매립지 조경수목의 성장에 가장 크게 영향을 미치는 토양인자는 토양경도, Mg순이고, 토양경도는 높을수록 조경수목의 성장을 저해하고, Mg는 높을수록 수목생장을 증가시키는 것으로 확인되었다.

## VI. 결론

### 1. 연구결과 요약

본 연구는 「임해매립지의 토양은 조경수목의 성장에 어떠한 영향을 미치는가?」라는 연구 의문에 해답을 제공하기 위하여, 「임해매립지 조경수목의 성장저해 토양인자들은 조경수종별로 성장특성을 달리할 것이다.」라는 가설을 검정한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 두 변수간의 관계를 검정한 결과 곰솔과 느티나무 두 수종은 수고생장과 뿌리생장에서 5%의 유의수준에서 통계적인 차이를 발견하였다. 조경 수목의 성장저해 토양인자의 Pearson의 상관분석 결과 수고생장과 연륜생장, 연륜생장과 뿌리생장과 통계적 유의성이 발견되었으며 특히, 수고생장과 연륜생장과는 0.634의 높은 상관계수의 값을 나타내고 있다.

수고생장, 연륜생장과 뿌리생장과 Mg, T-N과의 각각의 상관관계는 통계적 유의성이 없는 것으로 나타났으며 그 외의 변수들간의 상관관계는 통계적 유의성이 있었다. 수종간 연륜생장에는 차이가 없었다.

2) 다변량통계분석의 결과 (1) 본 연구는 방법론적으로 사실상 해석이 불가능한 중준상관분석의 결과를 정보의 손실없이 다중회귀분석이 가능하도록 1개의 값으로 조경수목 성장지수화하여 다중회귀모형을 정립함으로써 방법론적으로 대단히 유용한 결과를 도출할 수 있었다.

(2) 다중회귀분석 결과 성장에 크게 영향을 미치는 토양 요인은 토양경도와 Mg로 나타났다. 종속변수에 미치는 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값의 크기는 토양경도가 0.988이고 Mg는 0.502이며, 토양경도는 K에 비하여 1.9배 중요도를 보인다.

(3) 조경수목의 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장과 이에 영향을 미치는 성장저해 토양인자에 대하여 통계학적으로 다변량분석 결과 매립지 조경수목 성장에 영향을 가장 크게 미치는 토양요인은 토양경도와 K순으로 가장 중요하였다.

(1) 성장부분별로 중요한 토양인자는 수고생장에는 토양경도와 K순이고, 연륜생장에는 토양경도와 Mg순이며, 뿌리생장은 K와 Ca 순으로 나타났다. pH와

T-N은 과부족이지만 그 중요도는 낮은 편이었다. 또한 조경수목 생장에 미치는 토양인자의 특성은 토양경도는 높을수록 수고생장과 연륜생장이 불량하였다.

## 2. 연구결과의 시사점

본 연구의 결과 매립 토양은 물리적 특성이 화학적 특성보다 중요한 것으로 나타났다. 따라서 매립지의 조성에서 토양의 물리적 특성을 배려하는 매립토의 선정, 식재방법, 식재지반 조성공법에 관한 노력이 요구될 뿐만 아니라 수목생육에 적합하도록 토양개량의 방법을 이해하는데 도움이 되었다.

기존의 연구사적 관점에서 볼 때 매립지의 토양과 조경수목 생장에 관한 연구가 대단히 취약하여 기존의 문헌고찰을 통해 매립지 조경수목의 생장저해 토양인자와 조경수목의 생장과의 관계를 구명하였다. 이 점은 문제의 중요성에도 불구하고 역사가 일천한 이 분야의 연구에 하나의 증거의 틀을 제공하리라고 믿는다.

## 3. 연구의 제한점

본 연구는 종단면적 연구이므로 매립토양 특성의 시계열적 변화가 조경수목의 생장에 미치는 영향을 확인할 수 없는 한계점을 지니고 있다. 아울러 조경수목의 생장이란 복잡한 기제(mechanism)를 수목생장 저해 토양인자만으로 설명에 한계가 있다.

## 4. 장차의 연구

본 연구는 매립지의 조경수목 생육 특성을 구명함에 있어서 연구 특성상 한정된 수종에 대하여 종단면적 연구가 수행되어졌다. 조경수목 생장에 저해되는 특정 토양특성이 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장에 미치는 특성을 통계적으로 구명하였으나 이미 나타난 토양인자간의 상관성에 관한 실험적 기제의 제확인이 필요하다.

매립지의 조경수목 생장에 관하여 다양한 수종을 대상으로 식재지반 조성방법, 인공토양재료의 사용방법, 토양개량제, 식재공법, 유지관리 방법, 적합수종의 선발 등에 대한 후속 연구가 필요하다.

## 인용문헌

1. 강영희, 신영오(1996) 식물영양학 도서출판 아카데미서적. 18-31, 39-47, 111-123, 283-329.
2. 김도균(2000) 임해매립지의 조경수목 생장 특성 영남대학교 조경학과 석사학위 논문.
3. 건설부(1975) 조경설계기준 I pp. 438-490.
4. 곽영재(1993) 단양 석회암지역 식물군락의 생산성 및 호식회식물과 혐식회식물의 분류, 서울대학교 대학원 석사학위논문 11-22
5. 구분학, 강제선, 장권순(1999) 임해매립지에서 식재지반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구 한국조경학회지 13(1) 90-94.
6. 구분학, 안건용(1993) 임해매립지내 조경수목의 하자요인에 관한 연구. 서울대 농학연구지 18(2) 83.
7. 구분학(1993) 임해매립지내 조경수목의 하자요인에 관한 연구 서울대학교 대학원 석사학위논문, pp. 5-43.
8. 농어촌진흥공사(1996) 한국의 간척 농어촌진흥공사, pp 316-314
9. 대한주택공사(1995) 생육환경 특성을 고려한 아파트 단지내 조경수목 선정 및 식재방안 연구 9. 매립지별 식재지반 생육환경 특성을 중심으로, pp. 49-58
10. 신공항건설공단(1995) 수도권 신공항 건설사업 소개 pp. 5-219.
11. 우보명(1991) 신간 사방공학 향문사, pp. 281-282
12. 유의열(1991) 임해매립지의 조경수목식재와 활착에 관한 연구 -인천직할시 남동공업단지를 중심으로, 한양대학교 환경과학대학원 석사학위논문.
13. 이경준(1995) 수목생리학, 서울대학교출판부 pp 35-387.
14. 이종탁(1976) 잣나무의 생장과 토양특성에 관한 연구, 한국조경학회지 7: 9-17
15. 이천용(1996) 산림환경토양학, 보성문화사, pp. 45-323.
16. 장관순, 김형복(1999) 임해매립지의 생태계 복구를 위한 토양중 염류의 활성도 분석, 토양비료학회
17. 진현오, 이명중, 신영오, 김정제, 전성근(1994) 삼림토양학, 향문사.
18. 최문걸(1988) 및 수종에 있어서의 내염성 특성에 관한 연구 강원대학교 대학원 박사학위논문.
19. 한국조경학회(1999) 조경설계기준 한국조경학회 pp. 287-289.
20. Alam, S. M.(1994) Nutrient Uptake by Plants under Stress Conditions In Mohammad Pessarakh(eds) 1991, Handbook Plant and Crop Stress, Marcel Dekker, Inc. pp. 227-240.
21. Alexandra, Poljakoff-Mayber and H. R. Lerner (1994) Plants in Saline Environments In Handbook of Plant and Crop Stress, edited by Mohammad Pessarakh, Marcel Dekker, Inc pp. 75-77.
22. Barley, K. P.(1963) Influence of Soil Strength on Growth of Roots, Soil Sci 96 175-79
23. Bernstein, L. and A. D. Ayers.(1971) Method for Determining Solutes in the Cell Walls of leaves, Plant

- Physiol. 47: 361-365.
24. Bhandal, I. S. and C. P. Malik(1988) Potassium Estimation Uptake and its Role in the Physiology and Metabolism of Flowering Plants International Review of Cytology, 110: 205-254
  25. Burnett, E (1964) Influence of Soil Strength on the Root-growth Habits of Plants, Soil Sci 98: 174-180
  26. Castellanos, J, M Maass and J Kummerow (1991) Root Biomass of Dry Deciduous Tropical Forest in Mexico Plant and Soil 131, Kluwer Academic Publish in the Netherlands, pp. 225-228
  27. Cole, T S.(1937) Composition of the Leaf Litter of Forest Trees, Soil science 43 349-355.
  28. David, W R.(1996) Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops, Ball Publishing, IL, USA 한국첨단 농업시설협의회(역). 온실작물의 물, 배지, 양분, 1997, 39-129
  29. Demarty, M. C. Morvan and M Thelher(1984) Calcium and the Cell Wall, Plant Cell Environ. 7: 441-448.
  30. Fitter, A H and R K. M Hay(1987) Environmental Physiology of Plants, Academic press, Forest Ecology and Management 73(1-3) 249-257
  31. James, D W., R J Hanks and J J Jurinnak(1982) Modern Irrigated Soils, John Wiley and Sons, New York.
  32. Karmer, P. J. and T T Kozloski(1979) Physiology of Wood Plants Academic Press pp. 683-693
  33. Linnartz, N. E (1963) Relationships of Soil and Topographic Characteristics to Site Quality for Southern Pines in the Florida Parishes of Louisiana, J, of For 61 434-438
  34. Lovely, J.(1976) Relative Significance of Electrolyte and Cation Exchange Effects When Gypsum is Applied to a Sodic Clay Soil Aust. J. Soil Res, 14 361-371
  35. Marsle, J (1990) Growth and Stomatal Behavior. Response to soil resistance to root penetration, Importance of Root to Shoot Communication in the Response to Environmental Stress, Monograph 21, (Davies W. J. and B. Jeffcoat, eds), Br Soc Plant Growth Regul, Bristol pp. 95-113.
  36. NEDECO(1986) Landscaping in Salty Sand, Netherlands Engineering Consultants
  37. Santantonio D. and R K Hermann(1985) Stanging crop, Production and Turnover of Fine Roots on Dry, Moderate and Wet Sites of Mature Douglas-fir in Western Oregon. Ann. Sci. for 42: 113-142
  38. Sun D. G R Dickinson (1995) Salinity Effects on Tree Growth, Root Distribution and Transpiration of *Casuarina cunninghamiana* and *Eucalyptus camaldulensis* Planted on a Saline Site in Tropical North Australia. Forest Ecology and Management 77(1-3) 127-138.
  39. 岡本試明 (1989) 재이용. 박용진, 이기의, 1992. 최신환경 녹화. 강원대학교 출판부. pp 136-149
  40. 龜山章 (1977) 緑化のための生態學的立地區分. 應用植物社會學研究 6: 1-21
  41. 本間啓(1969) 臨海埋立地における緑化 造園用樹木の生育について(第一報). 造園雜誌 33(1) 12-18.
  42. 本間啓(1973) 緑地學 研究 No. 4 東京人學農學部園藝第二(緑地學)研究室 107.
  43. 奥水擊(1977) 人工地盤における緑地植物の植栽に関する研究 緑地學研究 No. 6 東京人學 農學部園藝學 第二(緑地學)研究室, pp 4-85
  44. 長智男(1954) 砂丘地の灌漑及び客土に関する研究. 鳥取農學會誌 10(3): 59-66.
  45. 弁上敏彦(1979) 圖說環境汚染と指標生物, 樹木活力指標. 松中昭一 編, 朝倉書店 pp. 6-8.
  46. 通彦達也(1973) 特殊な植栽環境としてのゴミ埋立地. ランドスケープ, pp. 10-11