

博士學位論文

臨海埋立地の 造景樹木 生長 特性

-光陽灣의 곰솔과 느티나무를 中心으로-

嶺南大學校 大學院

造景學科

造景植栽計劃專攻

金 度 均

指導教授 金 用 植

2000年 6月

博士學位論文

臨海埋立地の 造景樹木 生長 特性

-光陽灣의 곰솔과 느티나무를 中心으로-

指導教授 金 用 植

이 論文을 博士學位論文으로 提出함

2000年 6月 日

嶺南大學校 大學院

造景學科

造景植栽計劃專攻

金 度 均

金 度 均의 博士學位論文을 認准함

審査委員 張 燦 文 (印)

審査委員 金 敏 洙 (印)

審査委員 朴 贊 龍 (印)

審査委員 李 可 道 (印)

審査委員 金 應 吉 (印)

2000年 6月 日

嶺南大學校 大學院

## 감사의 글

먼저, 무지한 저를 학문의 길로 인도하여 큰 가르침을 주시고 여러모로 배려하여 주신 은사 김용식 교수님께 끝없는 존경과 감사를 드립니다.

본 논문의 심사위원장님으로서 연구 방법론과 통계분석에 있어서 미비한 원고를 바로 잡아 주신 장병문 교수님과 본 연구를 시작할 때부터 완성에 이르기까지 많은 가르침을 주시고 논문을 심사하여 주신 박찬용 교수님, 김민수 교수님, 오구균 교수님께 감사 드립니다. 그리고 박사학위 과정 동안 학문적 가르침과 여러모로 격려하여 주신 현중영 교수님과 김영대 교수님께 감사 드립니다.

오늘이 있도록 유년시절에 꿈과 희망을 주시고 적극적으로 생활할 수 있도록 가르쳐 주신 은사 최병래 선생님 오랫동안 찾아뵙지 못한 죄송함을 감히 용서 바랍니다. 청년기 인생의 가치관을 바로 세워 주시고 학문적으로 큰 가르침을 주신 순천대학교 이상철 교수님과 조남훈 교수님의 은혜에 감사 드립니다.

배움의 길을 열어 주시고 격려하여 주신 남해종합개발 김응서 회장님, 광양조경주식회사 박민수 사장님, 남 웅 부장님, 이정우 부장님, 이덕범 차장님, 나경주 차장님과 엄동설한에도 여러 가지 실내외 실험을 수행하여 주신 이재수님과 성길남님 그리고 현장일선에서 많은 경험적 조언과 격려를 하여 준 직원 여러분들께 감사 드립니다. 연구 장소를 제공하여 주시고 연구 진행에 큰 도움을 주신 광양제철소 녹화팀 허춘언 팀장님, 박현수 대리님 그리고 여러 감독님들께도 진심으로 감사 드립니다.

본 연구의 실험설계와 각종 실험분석에 물심양면으로 큰 도움을 주신 포항산업기술연구원 광영세 박사님께 감사 드리며, 김종택 선생님과 허용균 선생님의 성원에 감사합니다. 연륜연대분석의 학문적 이론을 가르쳐 주시고 분석 재료와 장비들을 무료로 지원하여 주신 충북대학교 박원규 교수님과 서정욱 선생님께 감사 드립니다.

평소 많은 관심과 성원으로 아껴주시고 학문적 가르침을 주신 순천대학교 손보균 교수님, 임준택 교수님, 김준선 교수님, 전북대학교 박종민 교수님, 변무섭 박사님, 호남대학교 임동옥 교수님, 단국대학교 민병미 교수님, 영남대학교 이도형 박사님, 혜천대학 구본학 교수님, 한경대학교 김태진 교수님, 대구대학교 권태호 교수님, 중앙대학교 안영희 교수님, 서울시립대학교 한봉호 선생님, 광양시농업기술연구소 허남일 지도사님께 감사 드립니다. 그리고 본 연구 수행에 있어서 귀중한 자료들을 보내주신 日本 (財)東京都公園協會 桶渡達也 先生께 감사 드립니다.

처음 만난 날부터 궂은 일도 마다하지 않고 시종일관 정성을 다해 도와 준 영남대학교 조경식물·생태연구실의 백승기 선생님, 신현탁 선생님, 김병도 선생님, 김천길 선생님, 이재운님, 전정아님, 고명희님, 윤기웅님, 영국 Savill Garden 배준규 선생님, 천리포수목원 김종근 선생님, 미국 Descanso 식물원 박용찬 선생님, 기청산식물원 강기호 실장님, 조경학과 대학원 유지현 선생님, 배민기 선생님, 서정희 선생님을 비롯한 대학원 학생들의 성원에 감사하며,

호남대학교 조경학과 생태연구실의 정승준 선생님, 허윤경 선생님, 박석곤 선생님, 지용기 선생님, 김철중님 순천대학교 향림조경동문회 최철호 선배님, 정영한 선배님, 정영채 선배님, 최미경님, 정인호님과 여러 동문 선후배님들의 성원에 감사 드립니다.

낳으시어 바르고 굳게 살도록 길러주신 아버님과 어머니의 은혜에 무궁한 감사를 드리며 자식 역할 한번 제대로 해드리지 못한 죄를 오히려 용서 바랍니다. 항상 정성어린 기도로 건강과 무난한 수학을 기도 해주고 외국 자료 수집 및 번역에 도움을 준 김도연, Sachioh님, 이병관, 김명주, 정종훈, 김명선 동생 내외분들께도 감사 드립니다. 어려운 시기에 헌신적인 사랑으로 두 딸을 바르고 건강하게 키우며, 수학에 정진할 수 있도록 격려하여 준 아내 유효숙님께 감사 드리며, 바쁘다는 핑계로 재미있는 시간 한번 같이 지내지 주지 못한 딸 김민경과 김민주에게 미안한 마음을 전하며 오늘보다는 더 좋은 아빠가 되고자 합니다.

여러 분야에서 도움을 주신 선생님들이 매우 많으나 일일이 말과 글로 다 표현할 수 없는 안타까운 마음은 평생을 두고 감사하며 아름다운 기억으로 간직 하고자 합니다.

끝으로 본 연구를 수행함에 있어서 최선을 다하고자 하였으나 부득이 잘 못된 부분이 있다면 그것은 도와주시고 지도하여 주신 여러 선생님들과는 무관한 것으로 본인의 학문적 이론과 경험 부족 때문이며, 향후 여러 선각 제현님들의 지도 편달로 더욱 정진할 것을 다짐합니다.

2000. 7. 5.

김도균 배상

# 목 차

|  |     |
|--|-----|
| 표 목 차 .....                                | III |
| 그림목차 .....                                 | IV  |
| <br>                                       |     |
| 제 1 장 서 론 .....                            | 1   |
| 제 1 절 연구목적 .....                           | 1   |
| 제 2 절 연구 범위 및 방법 .....                     | 2   |
| <br>                                       |     |
| 제 2 장 임해매립지의 조경수목 생장에 관한 이론적 고찰 .....      | 4   |
| 제 1 절 기상과 식물의 생장 .....                     | 4   |
| 제 2 절 임해매립지 토양의 이화학적 성질 .....              | 6   |
| 제 3 절 수목생장과 임해매립지 토양의 이화학적 성질 .....        | 8   |
| <br>                                       |     |
| 제 3 장 개념적 틀 .....                          | 17  |
| 제 1 절 의 의 .....                            | 17  |
| 제 2 절 개념 정의 .....                          | 17  |
| 제 3 절 개념적 틀 .....                          | 18  |
| 제 4 절 개념적 틀과 조경수목 생장에 영향을 미치는 변수의 구명 ..... | 21  |
| 제 5 절 연구가설 .....                           | 23  |
| <br>                                       |     |
| 제 4 장 연구 방법론 .....                         | 24  |
| 제 1 절 조사지 개황 .....                         | 24  |
| 제 2 절 연구대상 조경수목의 선정 .....                  | 27  |
| 제 3 절 토양의 이화학적 성질 분석 .....                 | 30  |
| 제 4 절 변수의 선정과 측정방법 .....                   | 32  |
| 제 5 절 연구방법 .....                           | 34  |

|  |    |
|--|----|
| <b>제 5 장 임해매립지의 조경수목 성장특성 분석</b> ..... | 35 |
| 제 1 절 조경수목생장의 특성 .....                 | 35 |
| 제 2 절 임해매립지 토양의 이화학적 성질 .....          | 44 |
| 제 3 절 조경수목생장과 토양이화학적 성질의 관계 .....      | 48 |
| 제 4 절 임해매립지의 조경수목 성장특성 .....           | 52 |
| 제 5 절 종합고찰 .....                       | 63 |
| <br>                                   |    |
| <b>제 6 장 결 론</b> .....                 | 66 |
| 제 1 절 서 론 .....                        | 66 |
| 제 2 절 연구결과의 요약 .....                   | 66 |
| 제 3 절 연구 결과의 시사점 .....                 | 68 |
| 제 4 절 연구의 제한점 .....                    | 69 |
| 제 5 절 장차의 연구 .....                     | 69 |
| <br>                                   |    |
| <b>참고문헌</b> .....                      | 71 |
| <b>Abstract</b> .....                  | 80 |

## 표 목 차

|   |    |
|---|----|
| 표 1. 토양 이화학적 성질의 측정과 척도 .....               | 32 |
| 표 2. 단일변수의 통계적 요약 .....                     | 35 |
| 표 3. 곰솔의 수고생장 .....                         | 37 |
| 표 4. 곰솔의 연륜생장 .....                         | 38 |
| 표 5. 느티나무의 연륜생장 .....                       | 40 |
| 표 6. 곰솔과 느티나무의 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장의 t-검정 ..... | 43 |
| 표 7. 식재지반 높이에 따른 토양 이화학적 성질의 차이 .....       | 46 |
| 표 8. 조경수목의 생장저해 토양요인 분석 .....               | 47 |
| 표 9. 변수들간의 상관관계 .....                       | 48 |
| 표 10. 곰솔의 생장특성과 토양성질의 상관분석 .....            | 49 |
| 표 11. 느티나무의 생장특성과 토양 이화학적 성질의 상관분석 .....    | 50 |
| 표 12. 정준상관분석 .....                          | 52 |
| 표 13. 정준표준화 계수 .....                        | 53 |
| 표 14. 다중선형모형 결과 .....                       | 55 |
| 표 15. 수고생장의 다중선형모형 결과 .....                 | 57 |
| 표 16. 연륜생장의 다중선형모형 결과 .....                 | 59 |
| 표 17. 뿌리생장의 다중선형모형 결과 .....                 | 61 |

## 그림 목 차

|  |    |
|--|----|
| 그림 1. 개념적 틀 .....                      | 18 |
| 그림 2. 조사대상 지역 .....                    | 24 |
| 그림 3. 식재지반 모식도 .....                   | 25 |
| 그림 4. 토양 및 잔뿌리 채굴도 .....               | 29 |
| 그림 5. 곰솔의 수고생장 .....                   | 37 |
| 그림 6. 곰솔의 연륜생장 .....                   | 38 |
| 그림 7. 곰솔 산 잔뿌리와 죽은 잔뿌리의 수직적 분포 .....   | 39 |
| 그림 8. 느티나무 연륜생장 .....                  | 41 |
| 그림 9. 느티나무 산 잔뿌리와 죽은 잔뿌리의 수직적 분포 ..... | 42 |
| 그림 10. 정준상관함수 D1과 D2의 관계 .....         | 54 |

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구목적

임해지역은 산업공단, 공항, 항만, 컨테이너 부두, 해양도시건설, 주택단지 조성, 해상 관광공원, 유류 및 가스 저장소, 쓰레기 매립장, 농경지 등의 다양한 목적을 위하여 매립되고 있다.

임해매립지는 대부분 인위적으로 조성되는 토지로서 자연 경관과 생태계 파괴 등 환경에 미치는 영향이 매우 크므로(Harris *et al*, 1998) 환경개선을 위한 공원 및 녹지대의 조성, 해안 방풍림, 해변경관 조성 등과 같은 사업들이 시행되고 있다(건설부, 1975; 농어촌진흥공사, 1996). 그러나 임해매립지의 일반적인 조경수목은 바닷가에 근접하여 있기 때문에 염분의 피해가 많으며(Bernstein, 1971; Sun and Dickinson, 1995), 인위적으로 조성된 지반으로서 토양의 이화학적 성질이 특이하여(本間啓, 1973; 구분학, 1993; 1999) 이식 후 활착율이 낮거나, 수목 활력이 저조하여 병충해가 급진전되기도 하며, 기상변화와 외부적 환경변화에 적응하지 못하여 수형이 불량해지거나 고사하는 경우가 많다(本間啓, 1973; 유의열, 1990; 구분학과 안건용, 1993; 대한주택공사, 1995).

이러한 임해매립지의 조경수목 생장에 열악한 환경을 개선하고자 식재지반의 개변, 토양개량, 시비, 관수, 배수, 보온 및 방풍 등(本間啓, 1973)의 다각적인 노력을 하여 왔으나 성공한 사례는 많지 않다. 그 원인은 조경수목의 생육환경을 인위적으로 개선하는데 있어서 주로 단기적인 방법이나 단편적인 방법들이 주로 적용되어 조경수목이 장기적으로 성장함에 따른 특성을 고려하여 주지 못하였기 때문이다. 조경수목 생육환경 개선에는 막대한 자원과 비용이 발생되므로 합리적인 개선방법이 필요하나 우리나라에서는 임해매립지 조경식재의 역사가 짧아 경험이 부족하며 참고로 할 자료나 지식이 매우 부족한 실정이다.

임해매립지 조경수목의 적응에 대한 기존 연구들은 특정한 수종이나 어린 묘목 또는 식재 후 단기간에 생육된 조경수목 등을 대상으로 생존율과 토양 및 입지환경의 특성에 대하여 주로 연구(本間啓, 1969; 1973; 유의열, 1990; 구분학, 1993; 대한주택공사, 1995)하여 왔으며, 조경수목이 장기간 성장하는 동안 나타나는 성장특성과 이에 영향을 미치는 토양성질에 관한 미시적 연구는 발견되지 않는다. 특히, 임해매립지의 토양 환경에서 성장저해 토양인자가 조경수목의 생장에 어떻게 영향을 미쳤는지, 그 영향의 정도는 어느 정도인지를 구체적으로 파악한 연구는 발견되지 않는

다.

국토개발 과정에 조성되어지고 있는 임해매립지의 환경개선이 중요한 사회적 관심이 되고 있는 현실에서 임해매립지의 조경수목이 정상적으로 생육 가능한 수준의 선정, 식재방법, 토양환경의 개선, 유지관리 등에 관한 정확한 자료나 지식을 제공하기 위한 연구가 시급히 요구된다.

따라서 본 연구는 「임해매립지의 토양이 조경수목 생장에 어떠한 영향을 미치는가?」라는 연구 의문에 해답을 제공하기 위하여 「임해매립지 조경수목의 수고생장 연륜생장, 뿌리생장의 특성과 이에 영향을 미치는 성장저해 토양인자와의 관계」를 구명하는데 그 목적이 있다.

이 연구의 결과는 각종 토지개발로 인하여 토양환경이 교란된 임해매립지, 해안녹화, 인공매립지와 같은 특수 토양환경 지역에서 조경식재의 계획, 설계, 시공, 유지관리에 필요한 지식을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

## 제 2 절 연구 범위 및 방법

연구의 내용상 범위는 임해매립지 조경수목의 수고생장, 연륜생장 및 뿌리생장 특성과 이에 영향을 미치는 임해매립지의 다양한 토양인자들 중에서 조경수목에 성장저해하는 토양성질의 특성을 파악한다.

연구의 공간적 범위는 우리나라 전라남도 광양만의 임해 매립지를 연구 대상지역으로 하며, 시간적 범위는 이 연구가 시간 중단면적 연구이므로 1998년을 기준으로 한다.

연구 방법은 상록침엽교목인 곰솔(*Pinus thunbergii* Parlatoe)과 낙엽활엽교목인 느티나무(*Zelkova serrata* (Thunberg) Makino)를 6개 식재지역에서 평균목을 5개체씩 선발하여 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장과 토양의 이화학적 성질을 조사 분석한다. 조경수목의 성장특성과 성장저해 토양요인의 관계를 밝히기 위하여 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장을 종속변수로 하고, 이에 영향을 미치는 토양인자는 14개 토양요인 중에서 조경수목 생장에 저해하는 범위에 해당하는 토양인자를 독립변수로 한다. 통계분석은 두 변수간의 관계를 검정하기 위하여 상관분석과 t-검정을 수행하며, 다변량통계분석은 정준상관분석과 다중회귀분석을 수행하여 조경수목의 성장특성을 파악한다.

이상의 연구진행 과정은 임해매립지 조경수목의 성장특성에 관한 이론적 고찰을

통하여 개념적 틀을 구성하고 연구 방법론을 논의하여 임해 매립지의 조경수목 생장의 특성을 파악하고 연구결과를 요약하여 연구의 시사점을 제시하고자 한다.

## 제 2 장 임해매립지의 조경수목 성장에 관한 이론적 고찰

식물성장(growth)이란 일반적으로 생물의 크기가 커지거나 무거워지는 것을 의미하며, 세포분열(cell division)과 세포신장(cell elongation) 그리고 세포분화(cell differentiation)에 의해 이루어진다(이경준, 1995). 수목의 성장은 나무의 연수가 경과함에 따라 수고, 직경 및 단면적이 증가하는 것으로(김갑덕, 1992) 수목의 성장에 영향을 미치는 요인들은 일반적으로 기후적 요인, 생물적 요인, 인위적 요인, 토양적 요인, 조림적 요인 등과 관련이 있다(이경준, 1995). 조경수목도 이러한 요인들의 영향에 대하여 밀접한 관계가 있다(小橋澄治, 1992).

임해매립지에 있어서 조경수목의 성장은 일반적인 요인들 중에서도 생태적 환경조건과 입지적 환경조건이 매우 열악한 것으로 알려져 있다(건설부, 1975; 유의열, 1990; 구본학, 1993). 생태적 환경조건은 비사현상(本間啓, 1965), 조풍해, 염분의 피해, 건조피해, 양분의 부족이 있으며, 입지적 환경조건은 토성, 가비중, 입단의 구조, 토양수분, 하드 팬(hard pan) 현상, 입도의 불규칙 등에 관련된 토양의 물리적 조건과 토양의 염류화, 염류 알칼리성, 부식질이 낮음, 식물의 양분 부족, 염기치환, 산화 및 환원 전위 등의 화학적 성질이 관련되어 있다(신공항공단, 1995).

### 제 1 절 기상과 식물의 성장

수목 성장에 영향을 미치는 기후적 요인은 일반적으로 온도, 바람, 한발, 홍수 등이 있으며(이경준, 1995), 임해매립지의 조경수목 성장에 영향을 미치는 기상인자는 이외에도 비사, 조풍 등이 있다(건설부, 1975). 이러한 기상인자는 토양수분의 부족, 수목의 도복, 토양의 고온화 등으로 수목 성장에 영향을 미친다(김용식 등, 1999).

강우는 수목생장에 필요로 하는 물을 공급하는 원천이며, 토양수분의 공급, 식물 줄기와 잎에 부착된 분진의 세정 등의 역할을 한다(木村, 1987). 식물은 토양으로부터 물을 공급받는데(이경준, 1995) 자연적인 지하수위 체계가 형성되어 있지 않는 임해매립지의 토양수분은 강우에 대한 의존도가 높다(김용식 등, 1999). 강우의 양과 질은 인공적으로 조성한 식재지반의 토양수분 보유량에 직접적인 영향을 미치는 것으로 토양의 침식, 유출, 침수해, 습해를 유발하기도 하며, 염분을 용탈시켜 토양성질을 변화시키기도 한다(本間啓, 1973).

온도는 수목생장에 세포가 제 기능을 발휘할 수 있는 온도의 범위가 제한되어 있기 때문에 생리적으로 활동할 수 있는 임계온도(cardinal temperature)에 따라 수목

의 생장이 제한을 받는다(이경준, 1995). 기온이 높아지면 건조한 상태가 되므로 높은 온도는 매우 중요한 환경요인이다(Salisbury and Ross, 1992). 특히, 임해매립지에서는 토양의 안정화가 느리고 나대지가 많으므로 온도가 높아지면 토양수분의 증발량을 증대시켜 토양수분 결핍을 초래하기도 한다(신공항건설공단, 1995).

바람은 모래를 이동시켜 비사와 매물에 의하여 수목생육에 영향을 미친다(우보명, 1991). 풍속이 적당할 경우에는 지면으로부터의 증발과 식물의 증산작용을 촉진시켜 주위의 열을 빼앗기 때문에 식물의 체온과 지온을 저하시키며, 양분과 수분의 흡수율을 높인다. 그러나 풍속이 일정한 한도를 넘게 되면 식물의 형태, 지엽의 손상 등의 피해를 가져오기도 하는데 15~17m/sec를 넘는 강풍은 지엽의 손실 등 수목의 생육에 영향을 미친다(近藤三雄, 1989). 임해매립지는 대부분 해안가에 위치하여 태풍의 직접적인 영향을 받으므로 조경수목 성장에 영향을 미치는 경우가 많다.

비사는 바람에 의해 모래가 날려서 수목의 잎이나 줄기를 손상시켜 탄소동화 작용을 방해하여 수목 성장에 지장을 준다(건설부, 1975). 조풍은 파도에 비산되는 바닷물이 바람에 날려서 염분이 수목의 잎이나 줄기에 묻어서 염분의 피해를 유발시킨다(桶渡達也, 1973; 近藤三雄, 1989).

이처럼 임해매립지에서 조경수목은 기상의 변화에 따라 생육 부적응 현상이 수시로 발생하고 있는 실정이다(김용식 등1999). 그러므로 임해매립지 조경식재 공사에서는 이러한 기상 조건을 고려한 시공방법이나 수종의 선택이 필수적이며(小橋登治等, 1992; 1999; 김용식 등, 1999), 기상 이변이 있을 때에도 조경수목이 생리적 및 생태적으로 안정된 생육을 할 수 있는 식재 환경 조성 및 유지 관리 대책이 요구된다.

## 제 2 절 임해매립지 토양의 이화학적 성질

### 1. 임해매립지와 토양

임해매립지는 해안가에 제방을 축조하여 해저의 빨, 산토, 쓰레기 등을 성토하여 해면보다 높게 육지화한 토지로서 넓은 의미로는 간척지에 속한다(농어촌진흥공사, 1996). 임해매립지의 기반조성은 매립재료에 따라 해저의 사토를 준설(sand pumping)하는 방법, 건설 잔토로 매립하는 방법, 생활 및 산업 폐기물로 매립하는 방법 등이 있다(岡本試明, 1989).

임해매립지 토양의 이화학적 성질은 기반조성이 인위적으로 조성되므로 매립 재료에 따라 그 성질이 매우 다르게 나타난다(건설부, 1977; 대한주택공사, 1995).

### 2. 매립재료와 토양의 이화학적 성질

#### 준설토

준설토는 현지의 해저에 있는 갯벌을 샌드펌프(sand pump) 공법으로 매립되어진 토양이다. 준설토의 성질은 알칼리성 토양이며, Na, Mg,  $SO_4$ , K, SiO 등이 많은 반면, Ca가 상대적으로 적고 O.M, P, Fe도 적은 편이다(한국공항공단, 1994). 토성은 사토, 사양토, 식토, 중식토, 경식토, 사질양토 등 각 지역마다 다양하며(신공항건설공단, 1995), 지반이 약하고 토양 물리성이 매우 불량하다(농어촌진흥공사, 1996). 준설토는 동일한 지역에서도 토양 이화학적 성질이 국지적으로 차이가 크게 나타나는데, 샌드 펌프(sand pump)의 배출구 부근은 입자가 큰 토사가 모이는 반면, 먼 곳에는 미세한 오니가 침전하기 때문에 장소에 따라 입자의 분포는 크게 다르다(岡本試明, 1989). 오니가 퇴적한 곳에서는 미세 입자의 단립 구조 때문에 투수성이 대단히 불량하고, 식물 생육 성분이 유실되지 않아 토양화가 진전되지 않으며, 사양토와 양토가 침전된 부분에서는 투수성이 좋기 때문에 생육불량 성분이 빨리 유출되는 반면 보수성은 낮다(岡本試明, 1989; 정영상, 1998).

준설토 매립지의 토양 변화는 시간이 경과함에 따라 액상과 공극율이 감소되고, 기상과 비중은 증가하게 된다(한국공항공단, 1994). 또한, 염분, Na, Mg와 K는 감소되고, Ca는 증가하는 현상이 나타나며(최원열과 박근용, 1991), 알칼리성은 장기간 지속되며, 건조시키거나 과산화수소와 같은 산화제로 강제 산화시키면 산성화되기도 한다(岡本試明, 1989). 이러한 토양의 변화에는 일조, 증발, 바람 등의 요인이 영향을 미치며, 강우가 가장 중요한 요인이다(本間啓, 1969; 임동빈 등, 1984)

#### 건설토

건설토는 주로 산토, 건설토 등의 매립 재료를 말한다. 산토는 대체적으로 식물

생육상에 큰 영향을 미치지 않으나 산지의 심토는 매립 과정에서 그 기계적 성질이 파괴되고, 유효 양분은 식물 생육에 필요한 요구량 보다 낮은 함량을 유지하기 때문에 수목의 생육에 장애를 초래한다(장관순과 김형복, 인쇄중). 건설토 중에서 콘크리트, 비닐, 유리조각 등의 불순물이 반입되면 높은 화학적 가스, 오염물질 등에 의하여 수목생육에 지장을 초래하기도 한다(건설부, 1975).

### **일반 및 산업폐기물**

일반 및 산업폐기물의 매립은 매립 후 쓰레기 지반의 유출수가 삼투작용으로 성토 토양에 투입되어 수목의 성장을 저해한다(重松, 1981; 김기성, 1990). 일반폐기물은 생활쓰레기가 수년 경과 후 부패할 때 발생하는 가스, 발열(發熱), 지반침하 등의 작용이 토양 공극에 모여서 수목 뿌리에 영향을 미치기도 한다(건설부, 1975).

### **3. 식재지반의 조성 및 토양 이화학적 성질**

임해매립지에서 수목을 식재할 때에는 열악한 토양환경을 개선하기 위하여 객토법, 성토법, 조사토 혼합법, 토양개량제 혼합법, 시비법, 배수법, 시비 등의 방법도 도입되어 왔다.

객토법은 지표 밑에 수목 생육에 알맞은 발 흙이나 산 흙을 넣어주는 방법이며, 성토법은 매립기반 위에 발 흙이나 산 흙을 쌓아 올리는 방법으로 사토와 식토를 섞어서 토성을 개량하는 방법이다(本間啓, 1973). 토양개량제 혼합법은 토양의 유기질과 보수력과 물리화학적 성질을 개량하기 위하여 후미줄, 테트론, 키녹스, 리놀, 퍼어라이트, 폴리우레탄 등을 혼합한다(건설부, 1975). 배수법은 주로 오니층이나 배수가 불량한 지역에서 사주법, 사구법, 경운법, 암거법 등의 배수시설을 하여 배수와 탈염이 잘 되도록 하는 방법이다(本間啓, 1973; 건설부, 1975). 시비법은 식재 후 활착 정도에 따라 시비를 하여 수목의 양분을 공급하여 주는 방법이다.(長智男, 1954; 本間啓, 1969; 岡本試明, 1989; 1973).

제염방법으로는 세척(NEDECO, 1986), 물 관리 방법, 암거나 유공관 등의 배수시설에 의한 방법(本間啓, 1973; 심성환, 1979), 강우에 의한 탈염법(本間啓, 1973) 등 물리적 또는 석회 시용에 의한 화학적인 방법 등이 있다(임동빈 등, 1984).

이러한 방법들 중에서 임해매립지에 대단위 녹지를 조성할 때에는 단목객토법과 성토법이 주로 사용되고 있다(건설부, 1975).

### 제 3 절 수목생장과 임해매립지 토양의 이화학적 성질

임해매립지 조경수목 생장에 영향을 미치는 토양의 물리·화학적 성질은 복합적으로 작용한다(대한주택공사, 1995).

#### 1. 수목생장과 토양의 물리적 성질

임해매립지에서 수목생장에 영향을 미치는 토양의 물리적 성질은 유효 토층의 부족, 토양 통기성의 불량, 배수불량, 토양건조, 토양경도의 심화, 불량 토양의 매립, 낮은 보수력, 토양의 고결, 토양 양분의 부족, 비사에 의한 매몰, 지하 수위에 의한 염분의 장출과 정체 등이 있다(구본학, 1993; 대한주택공사, 1995).

토성은 토양을 구성하고 있는 모래와 미사 그리고 점토의 상대적 혼합비에 좌우되는 것으로 토성에 관련된 모든 성질은 결국 토양을 구성하는 입자 표면의 양과 입자간 공간의 양에 따라 결정된다(양운진, 1989). 입자가 치밀한 점토질 토양에서는 식물의 뿌리 발육이 나쁘며, 양토에서는 세근의 비율이 높고, 사토에서는 주근의 비율이 높다. 일반적으로 뿌리의 생장은 점토질 토양에서 나쁘고, 다음이 사질양토이며, 가장 좋은 것이 양토이다. 사질토양은 통기가 좋으므로 수분이 적당하면 세근이 굵어진다(이천용, 1996). 특히, 객토의 점토 함량이 많을 경우에는 답압에 의한 견밀도 증가와 배수불량에 따른 습해가 심하다.

유효토층은 식물의 정상적인 생육을 하는데 있어서 양호한 토양층이 어느 정도 깊이로 존재하는가의 문제이며, 대형 수목일수록 더 깊은 유효토층이 필요하다(小橋登治 等, 1992: 42). 유효토층은 토양수분의 보수력에도 영향을 미치는데, 인공토양에서 150cm 이상 성토가 이루어진 곳에서는 토양 수분의 이동 경향이 자연지반과 유사하게 나타난다(輿水擊, 1977: 1-140). 임해매립지는 인공적으로 식재지반을 조성하므로 유효토층이 매우 낮은 것이 일반적이나 유효토층을 높게 조성한 지역에서는 조경수목이 정상적으로 생육하는 것을 많이 발견할 수 있다.

수분은 식물체 원형질의 구성 성분으로서 광합성과 여러 가지 가수분해의 반응물질(reagent)이며, 기체, 무기염, 기타 여러 물질의 용매역할을 하고, 여러 대사물질을 다른 곳으로 운반시키는 운반체 역할을 하며, 식물세포의 팽압을 유지시키는데 필요하다(이경준, 1995). 식물은 뿌리를 통하여 필요한 수분을 흡수하며, 뿌리가 수분을 흡수하기 위해서는 토양 속의 수분함량이 포화상태이거나 너무 메마르지 않아야 한다(이경준, 1995). 수목이 건조의 피해를 받게되면 수목 내부에 생육억제 물질이 생성되어 생육이 나빠지게 된다(Kramer, 1986). 임해매립지의 토양수분은 유효토층이

얕으면 저수율이 낮고, 보수력이 절대적으로 낮게 되어 무강우 일수가 오래되면 토양수분이 부족하여 수목생장에 지장을 초래한다.

토양경도는 토양의 치밀함을 나타내는 지표로서(小橋登治 等, 1992), 토양의 공기 정도를 나타내는 지표임과 동시에 식물 생육의 양·불량을 좌우하는 중요한 인자이다(진현오 등, 1994). 치밀한 토양에서 천근화 또는 뿌리의 이상발육(Lindsey Country Council, 1970)과 뿌리 발육이 감소되는데(Barley, 1963; Burnett, 1964), 토양의 경도가 25mm 이상이면 식물생육이 어렵다(안봉원, 1989; 한국조경학회, 1999). 임해매립지에서는 기반조성과 부지이용 과정에서 중장비에 의한 전압이 불량요인으로 수목생육을 저해한다.

## 2. 수목생장과 토양의 화학적 성질

토양산도(pH)는 토양내의 화학적인 반응 및 토양의 생물 활동에 의하여 영향을 받게 되는데, pH 6.5 이하를 산성토양이라 하고, pH 7.2 이상을 알칼리성 토양이라고 한다(小橋登治 等, 1992). 수목 생장에 유리한 토양산도의 범위는 식물 종마다 다르다(양운진, 1989). pH 3.9 이하인 강한 산성토양에서는 지의 선대류 또는 키가 작은 관목이 자라며, 침엽수림은 잎과 낙엽에 염기가 적어 산성에 강하고, 활엽수림은 약산성에서 잘 자란다. 일반적으로 식물 생육상 적정 범위는 pH 4.5~pH 8.0이며, pH 4.5 미만과 pH 8.0이상은 부적절하다(한국조경학회, 1999). pH 7.5 이상의 알칼리성 토양은 뿌리의 양분 흡수력을 약화시켜 양분 불균형 문제를 유발한다(김광식 등, 1973; 小澤知雄 等, 1975; Craul, 1992). 강산성 토양에서 잘 견디는 수종은 가문비나무, 리기다소나무, 밤나무, 사방오리나무, 상수리나무, 소나무, 아까시나무, 곰솔 등이며, 염기성 토양에 견디는 수종은 물푸레나무, 단풍나무, 사시나무, 서어나무, 소귀나무, 참느릅나무 등이다(윤국병, 1981).

임해매립지에서 토양 염분은 기존 지반의 하부에 상존하는 바닷물의 높은 염분농도가 식물 근권부에 침적되어 식재된 조경수목 생장에 직접적으로 피해를 준다(本間啓, 1973; Fitter *et al*, 1987). 염해의 일반적인 원리는 물리·화학적 작용으로 구분된다. 물리적 작용은 토양 용액의 높은 삼투압 때문에 식물 뿌리가 수분 흡수시 장애를 받게 되며, 토양 속의 염분은 식물의 수분포텐셜(water potential)과 물의 이용량을 감소시키며(Alexandra and Lerner, 1994), 화학적 작용은 다량의 염분에 용존된 토양의 특수 이온을 과다 흡수하여 식물체 영양과 대사를 저해하는 것을 의미한다. 식물은 염분의 영향을 받게 되면 생장이 감소되며, 잎의 가장자리가 파괴되어,

고사하게 된다(Lovely, 1976; James *et al.* 1982; 최문길, 1988; 이임균; 1999). 넓은 의미에서의 염해는 토양과 염분의 치환반응에 의한 토성의 변화까지도 포함한다(임동빈 등, 1984). 전기전도도(EC)는 용액내 총 염류를 측정하는 것으로, 토양의 염도를 추정하는데 유용한 방법이며(David and Reed, 1996), 식물 중에서는 EC 3dS/m에서 민감하게 반응하는 식물과 5~10dS/m에서도 견디는 식물도 있으나(Bernstein, 1975), 수목 생장에 적합한 EC 범위는 0.2~1.5dS/m이며, 1.5dS/m 이상일 경우에는 수목 생육에 지장이 있다(한국조경학회, 1999). 염분의 적응도는 수종별로 다르며, 염분에 강한 수종은 리기다소나무, 비자나무, 주목, 편백, 곰솔 등이며, 약한 수종은 느티나무, 단풍나무, 산딸나무, 산수유 등이다(한국종합조경공사, 1979).

Na는 농도가 높으면 토양이 분산되기 때문에 토양의 입단화가 저해되고 투수성이 불량하여 제염이 방해되어(한국공항공단, 1994) 토양의 구조를 불리하게 하며, 공기 부족과 수분흡수를 방해하여 식물의 생육을 방해한다(Harris, 1992). Na가 높은 경우 식물의 생육상에 나타나는 증상은 잎이 타거나 떨어지기도 하며, 줄기에서부터 말라죽고 뿌리만 남기도 한다(Harris, 1992).

K는 광합성과 호흡작용에 관여하는 효소의 활성화 역할을 하며, 전분과 단백질 합성효소를 활성화한다(Bhandal and Malik, 1988). K는 삼투압 조절에 관련된 필수적인 세포막 영양소로, Na에 대하여 경쟁적 영향을 미치며(Alam, 1994), 결핍될 경우에는 가뭄을 극복하는 저항력이 약화되고, 서리 피해(frost damage), 근류병(fungal attack)과 염류 등에도 약하게 된다. 식물 생육상 적정 범위는 3.0~0.6me/100g이며, 0.6me/100g 이하이면 수목 생육을 저해한다(한국조경학회, 1999).

Ca는 세포막을 보호하여 세포벽 구조의 안정화, 이온 전달의 조정, 세포벽의 효소 활동과 이온교환 작용의 통제에 필수적인 유기물 혹은 무기물이다(Demarty *et al.*, 1984). 식물에 Ca가 결핍되면 유기산과 기타 유해 성분을 다량으로 집적시켜 식물 활력을 저하시키고, 심하면 뿌리가 작아지고, 잎은 뚜렷하게 색이 변한다. 그러나 너무 많으면 K와 Mg의 흡수를 억제하고 P, Fe, Mn 등의 흡수를 방해하여 식물 생육을 저해한다(이천용, 1996). 식물 생육 적정범위는 5.0~2.5me/100g이며, 2.5me/100g 이하이면 수목 생육을 저해한다(한국조경학회, 1999).

Mg는 엽록소의 주 구성 성분으로, 탄소 동화작용에 영향을 미치며, 토양 중에서는 Mg가 많이 있으나 K염과 Na염을 과다 시비하는 곳에서는 결핍되기 쉽다. Mg가 결핍되면 잎은 황색으로 되고, 녹색의 반점이 생기는 백화현상이 나타난다(이천용, 1996). 식물 생육의 적정 범위는 3.0~0.6me/100g이며, 0.6me/100g 이하이면 수목

생육에 불리하다(한국조경학회, 1999).

전탄소량(T-C)은 미생물의 구성성분 및 에너지원으로 필요하며(양운진, 1989) 부식에 관계하는데, 탄소량이 증가하면 뿌리의 밀도도 증가한다. 즉, 탄소량 8~10%까지는 뿌리의 증가율이 커지지만 그 이상이 되면 감소한다(이천용, 1996).

전질소량(T-N)은 효소, 조효소, 기타의 단백질, 핵산, 뉴클리오드, 엽록소 등 중요한 물질의 구성원이다(차종환 등, 1982). 식물 생육상 T-N의 적정 범위는 0.12~0.06%미만이며, 0.06% 이하이면 수목의 성장을 저해하는데(한국조경학회, 1999), T-N이 부족하면 키는 크지 않고 줄기는 가늘게 되며, 뿌리의 생장도 영향을 받는다(강영희, 신영오, 1996).

### 3. 수목 생장과 토양의 이화학적 성질

식물의 생장은 생육환경이 변하여 성장하기에 가장 적절한 상태를 벗어남으로써 스트레스(stress)를 받기 시작한다(Salisbury and Ross, 1992). 식물의 환경변화에 대한 반응 정도는 환경변화에 충격을 감소시키는 방향으로 움직이는 회피(tolerance)와 환경변화에 견디어 나가는 내성(avoidance)에 의해 결정된다(Levitt, 1972). 식물의 생장은 빛, 중력, 온도, 습도, 토양, 대기 등의 외부환경 요인에 의하여 영향을 받기 때문에 환경 자극에 의한 반응 또는 적응 현상 연구의 대상으로 삼기도 한다(차종환 등, 1982).

수목은 태양으로부터 에너지를 흡수하여 광합성을 수행하는 수간부, 가지, 잎으로 구성된 지상부와 뿌리로 이루어진 지하부로 구성되어 있다(임주훈 등, 1995). 수목은 지상부 생장과 지하부 생장의 여러 가지 대사가 서로 조화를 이루고 있다(이경준, 1995).

수목의 생장에 영향을 미치는 것은 몇몇 인자로서 간단히 설명될 있는 성질이 아니므로(손영모 등, 1990), 수목의 생장에 영향을 미치는 환경요인을 파악하고자 할 때에는 수목생장의 부위별 즉, 뿌리생장, 줄기생장, 가지생장, 잎의 생장에 미치는 환경요인과 재배 습관을 파악하는 것은 수목 생장의 특성을 이해하는데 필수적이다(Kozlowski and Pallardy, 1997). 수목 생장의 대소 측정은 수목 생육상태의 적부(適否)를 판단할 수 있는 중요한 척도이며(김갑덕, 1992), 수목의 생육 상태를 진단하는데 사용되어지고 있다.

수목생장 상태를 진단하는 방법에는 ① 무기영양 상태를 진단하는 방법으로 가지적 결핍증(visual deficiency symptom) 관찰방법, 시비실험, 토양분석(soil analysis),

엽분석(foliar analysis) 등(이경준, 1995)이 있으며, ② 환경오염에 의한 식물생장 피해의 진단 방법에는 형태학적 방법, 오염의 영향을 초기에 진단하는 조직학적 피해 진단법, open-top chamber에서의 실험, 오염의 민감도에 따른 지표식물에 의한 방법, 식물생장 해석방법, 식물군집구조 분석방법 등이 있다(김재봉 등, 1987).

이러한 환경변화에 대한 식물의 성장반응 해석은 환경요인이 식물 성장에 영향을 미치는 경로를 관찰하는데 유용하므로(양운진, 1990) 농업, 원예, 임업, 화초재배, 조경, 육종학, 식물병리학, 약초학 등(차중환 등, 1982)의 생리학 및 생태학 분야에서 도입하여 사용되어 왔다. 이러한 성장 상태를 진단하는 방법은 모든 상황에 일괄적으로 적용, 평가할 수 있는 방법이 아니기 때문에 각 식물의 생육환경에 따라 적절한 기법의 선택이 중요하다(이창기 등, 1992).

### 수고생장과 토양

수고생장(height growth)은 줄기생장(shoot growth)에 의하여 수목의 키가 크게 하는 것을 말하며(이경준, 1995), 수고생장은 유전적인 형질 이외에 특히 환경영향에 따라 성장하는 패턴이 달라진다(마상규, 1974).

수고의 생장은 수종에 따라 고정생장(fixed growth)과 자유생장(free growth)으로 나누어진다. 고정생장은 곰솔의 경우와 같이 당년에 자랄 모든 줄기의 원기(primordia)가 전년도에 형성된 동아(winter bud) 속에 미리 형성되어 있다가 봄에 동아가 개엽(flushing) 한다. 고정생장은 적송과 잣나무의 경우와 같이 대개 1년에 1마디씩 줄기가 자라기 때문에 수간의 마디수를 세어서 나무의 나이를 추정할 수 있으며, 동시에 줄기의 길이로 그 당시의 기후조건을 추측할 수 있다(이경준, 1995).

줄기생장은 봄철과 이른 여름에 국한되어 있기 때문에 이 기간 동안 수분 스트레스를 받으면 수고생장이 감소한다. 당년에 자랄 줄기의 원기는 전년도 늦은 여름에 동아를 형성할 때 이미 만들어졌기 때문에 전년도 늦은 여름에 수분 스트레스가 심하면 동아 형성에 영향을 주어 당년 수고생장에 까지 나타난다(이경준, 1995).

자유생장은 느티나무처럼 동아 속에 미리 만들어져 있던 원기가 봄에 자라서 춘엽(early leaves)이 되고 여름 내내 하엽(late leaves)을 생산함으로써 가을 늦게까지 줄기생장이 이루어지는 것이 특징이다(이경준, 1995). 자유생장을 하는 수종은 동아에서 유래한 줄기와 당년 여름에 새로 형성된 줄기의 두 가지 종류를 가지고 있는데, 당년 여름철에 나타나는 수분 스트레스는 그때 새로 형성되는 줄기의 성장에 영향을 미치게 된다. 따라서 자유생장을 하는 수종은 수고생장 기간이 긴 만큼 수분 스트레스의 영향을 받는 기간도 전 생육기간에 걸쳐서 나타난다(Kozlowski, 1982).

이러한 수고생장에 영향을 미치는 요인들은 기후요인, 생태적인 요인, 토양환경 등에 따라서도 생장이 밀접한 관계가 있는 것으로 연구되어 왔다. 수고생장에 미치는 토양환경의 상태를 파악하기 위한 연구들은 수고생장에 영향을 미치는 많은 토양인자간의 관계를 분석하고, 임지의 양부(良否)를 판정하는데 기준이 되는 지위지수를 추정하여 왔다(손영모 등, 1990). 수고생장이 지위지수의 척도가 되므로 수고의 실체를 각종 영향인자들의 결합체로 보아 이들의 상호관계를 분석하여 수고생장에 어떻게, 어느 정도 영향을 미치는가를 파악하는 방법으로(손영모 등, 1990) 임학 분야에서는 지위지수법으로 측정하여 통계학적으로 다변량통계분석으로 해석한 연구가 많다. 조경수목의 수고생장은 임지환경에 적응정도와 수형의 변화를 예측(윤근영, 1997)할 수 있는 지표로 연구되어 왔다.

수고생장에 영향을 미치는 토양요인은 토양의 깊이와 하층토양의 흡습수(Coal and Schumacher, 1953), 유효토심(A층), 표층토의 모래함량과 pH(Linnartz, 1963), 질소함량(Smith, 1960), 유기인산(마상규, 1974), 유기물 함량(Coile, 1937; Smith, 1960; 이종락, 1976) 치환성 Ca와 K(마상규, 1974) 등이 있다. 이들 연구 결과는 수종, 수령, 임목지 등에 따라 다소의 차이는 있으며, 임목 환경인자 및 토양의 이화학적 성질이 임목생장에 복합적으로 관여하고 있음을 입증해 주고 있다(손영모 등, 1990). 임해매립지에서는 토양 염 농도가 높은 지역에서는 수고가 낮은 반면, 염농도가 높지 않은 지역에서는 수고가 높다(Sun and Dickinson, 1995).

### 연륜생장과 토양

연륜(annual ring)의 형성은 봄철에 만들어진 춘재(springwood)의 경우는 세포지름이 크고, 여름과 가을에 걸쳐서 만들어진 추재(summerwood)는 세포의 지름이 작고 세포벽이 두꺼워 춘재와 추재 사이에 뚜렷한 경계선이 만들어지기 때문에 생긴 것이다(이경준, 1995). 연륜생장에 미치는 요인은 기후 및 환경변화와 밀접한 관련이 있기 때문에 연대순에 따른 변화를 비교적 자세히 파악할 수 있다(최종남 등, 1992).

연륜생장은 연륜의 발생 연도를 일치시키는 동기화(同期化)에 의해 과거의 중요한 사건들을 확인하고, 상호영향 관계를 검증하는 연륜연대기(dendrochronology)가 대표적이다(이우균, 1988). 급변한 변화에 따른 연륜사의 변이는 단편(disk)이나 목편(core)을 측정하여 변이가 시작되는 지점과 그 지속 기간을 확인할 수 있는데, 특별히 폭이 좁아진 연륜이 주요 관찰 대상이 된다(Gent, 1952). 연륜생장을 분석하여 수목의 생육 상태를 예측하는 연구가 활발하며, 조경수목의 생육상태를 파악하는데 이용되기도 한다.

조경 수목의 연륜생장 특성은 소나무의 경우 이식 직후 1년간 급격히 생장이 감소한 후에 일시적으로 회복되나, 생장은 매우 둔화되며, 이식 후 3~4년 동안 매우 가변적인 생장을 한다(김태진과 변우혁, 1990). 또한, 이식 후 연륜생장이 감소하였다가 어느 정도 적응이 되면 생장량이 회복되지만 배수불량, 건조, 고밀도에 의한 수목간의 경쟁 그리고 토양 양료의 부족으로 광합성 작용에 장애를 받음으로써 수관이 감소되어 수세가 약화되면서 다시 생장량이 감소된다(대한주택공사, 1995). 조경수목의 연륜변화 현상은 수목의 위치상의 변화, 광량, 수분, 온도의 변화, 수관의 손상, 수간의 손상, 뿌리의 손상 등과 같은 비교적 급속한 변화들의 영향은 연륜구조에 반영되는데, 이들의 영향이 수년간 지속적으로 나타나기도 한다(Kramer and Kozlowski, 1979).

### 뿌리생장과 토양

식물이 토양과 접하는 성장부위는 뿌리이며, 뿌리는 광범위하고 매우 동적인 생태계로 구성되어 있다(Bray, 1963; Lyr and Hoffman, 1967). 뿌리는 식물을 한 곳에 고정시키는 역할을 하고, 토양으로부터 수분과 무기영양분을 흡수하며, 탄수화물을 저장하는 기능을 하며(이경준, 1995), 뿌리의 구조적 부분(structural parts)은 수목의 구성물질(tree components)과 생체량(biomass)의 30% 정도를 차지하는 기초 생산량을 가진 중요한 부분이다(Ovington, 1962).

수목의 뿌리 종류는 뿌리의 굵기에 따라 굵은뿌리(coarse roots; diam>5mm)와 중간뿌리(2~5mm), 잔뿌리(fine roots; diam≤2mm)로 구별된다(Hermann, 1977). 수목 조직에서 잔뿌리량은 지하부 생체량(belowground biomass)이 크고 역동적인 부분이며(Vogt *et al*, 1987; Smucker *et al*, 1991), 온대림(Temperate forest)에서는 수분과 양분의 공급을 좌우하는 가장 중요한 부분이다(Lyr and Hoffman, 1967; Pression, 1978; Vogt *et al*, 1987; Smucker *et al*, 1991).

잔뿌리(fine roots)는 산 뿌리(living roots)와 죽은 뿌리(dead roots)로 구분되며, 토양의 무기영양소 함량이나 토양의 수분 결핍 정도에 따라 산 뿌리와 죽은 뿌리량의 변화가 있다(Santantonio and Hermann, 1985; Marsle, 1990; Pereira and Pallardy, 1989; Castellanos *et al*. 1991).

식물 뿌리의 분포 밀도는 일반적으로 표토층 부분에 가장 많이 밀집되어 있으며(Lulz, 1937; Weaver, 1938; 광영세, 1993), 토양이 깊어짐에 따라 뿌리량이 감소한다(광영세, 1993; Pessarakli, 1994). 숲에서 세근량의 수직적 분포는 토양이 깊어짐에 따라 멱함수적(power function)으로 감소하고, 수간으로부터 거리에 따른 세근량은

수평적으로 균일하게 분포한다(Kwak and Kim, 1994).

식물 뿌리의 감소에 영향을 미치는 토양 요인은 토양의 통기성(Heyward, 1933), 점질토(Quilkin, 1935; Heyward, 1933; Gerad. *et al.* 1982), 토양경도의 증가(小澤知雄 等, 1965; Gerad. *et al.* 1982), 높은 지하수위(Carpenter, 1975; Ruhigwa *et al.* 1992; Sun and Dickinson, 1995), 근권의 건조(Russel, 1977; Stanley. *et al.* 1980; Gerad. *et al.* 1982; Stone. *et al.* 1985; Jung and Lim, 1989), 과습(Stanles. *et al.* 1980), 토양내 유해물질의 증가, 양분의 순환(Ruhigwa *et al.* 1992; Sun and Dickinson, 1995) 등이 있다.

임해매립지 조경수목의 뿌리생장은 염분의 영향을 받지 않는 지역 보다 염분의 영향을 받는 지역의 뿌리생장이 불량하며(Sun and Dickinson, 1995), 상부층의 근권 부에서 많은 영향을 받는다(Pessaraki, 1994). 또한 준설토 위에 객토로 성토한 지역에 수목 뿌리생장은 식재 후 16~17년이 경과되어도 뿌리가 성토한 마사토 부분에 주로 분포하며, 성토부분 아래 준설토에도 뿌리가 신장하지만 그 후 많은 뿌리가 고사되며, 준설토양층에는 20년이 경과해도 뿌리가 신장하지 않아 장기적인 식물 생육불량 요인으로 알려졌다(岡本試明, 1989).

#### **수목활력도와 토양**

식물은 필수원소의 공급이 불충분하면 특별한 결핍증상(deficiency symptom)을 나타낸다(이경준, 1995). 즉 뿌리, 줄기, 잎의 성장 부진과 여러 기관의 황백화 현상 그리고 괴사를 일으킨다(Salisbury and Ross, 1992).

이들에 의한 증상은 대개 잎과 줄기의 상태에 의해서 쉽게 관찰되는데 식물에 따라 반응정도의 차이가 있으며, 성장 시기별로 달리 나타날 수도 있고 경우에 따라서는 2가지 이상의 원소가 관여해서 여러 가지 증상이 나타나기도 한다(Salisbury and Ross, 1992; 이경준, 1995). 육안으로 쉽게 볼 수 있는 증상은 왜성화, 황화현상, 조직의 괴사이다(이경준, 1995).

수목이 환경변화에 의해 생리적으로 반응하여 생장이 감소하거나 수세가 쇠퇴하여가는 정도를 측정하는 수목의 활력도 측정은 수형, 가지의 신장량, 소지의 상태, 염색, 낙엽율 등을 조사하여 수목의 활력도를 판정한다(井上徹雄, 1979).

이상의 임해매립지 조경수목 생장에 관한 이론적 고찰 결과 수목의 생장에 영향을 미치는 요인은 기후적 요인, 생물적 요인, 토양적 요인, 조림적 요인 등이 있으며, 환경조건에 따라 수목의 생장은 정상적으로 성장하거나 스트레스를 받게 되며,

환경조건이 열악한 경우에는 고사되기도 한다. 임해매립지 조경수목의 생장은 생태적 환경조건과 입지적 환경조건이 매우 열악하여 일반적인 조경수목의 생장은 어려우며, 특히, 임해매립지의 토양은 매립 재료와 식재지반의 조성방법 그리고 반입되는 토양에 따라서 그 성질이 다르고 조경수목의 생장 특성도 다르게 나타나는 것으로 파악되었다.

임해매립지에서 조경수목을 식재하거나 생육관리를 할 때에는 수목의 생장에 대한 특성을 이해하고 시행하는 것이 중요하며, 조경수목의 생장 특성을 파악하고자 할 때에는 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장의 특성과 수목생장에 영향을 미치는 토양성질을 조사 분석하여 이들의 관계를 해석할 수 있을 것으로 판단되었다.

## 제 3 장 개념적 틀

### 제 1 절 의 의

본 장에서는 임해매립지의 조경수목 성장에 관한 이론적 고찰을 토대로 임해매립지 조경수목의 성장특성을 구명하기 위한 개념적 틀을 구성하여 연구가설과 이를 검증할 변수들을 도출하고자 한다.

### 제 2 절 개념 정의

임해매립지 조경수목의 성장특성을 파악하기 위한 연구에 사용될 주요 용어는 다음과 같다.

- 임해매립지란 바다의 갯벌이나 다른 토양을 해수면 보다 높게 매립하여 산업용 부지로 이용하는 토지를 말한다.
- 임해매립 기반이란 해저의 갯벌을 준설 매립하여 조성한 임해매립지의 기반으로 그 높이는 평균 해수면으로부터 DL+5.5m이다.
- 식재지반(PL; planting level)이란 임해매립지 기반인 DL+5.5m 위에 조경수목의 성장에 유리한 토양개량을 목적으로 조성하는 지반으로서 조경수목의 뿌리가 위치하는 땅의 표면을 말하며, 식재지반의 기본 높이는 임해매립 기반의 기본 높이인 DL+5.5m를 PL+0.0m로 한다.
- 객토매립지역이란 임해매립 기반 조성과정에 DL+4.0~+4.5m까지는 준설토를 사용하여 매립하고, 그 위에 DL+5.5m까지는 객토가 매립되어 있는 지역으로, 식재지반 높이의 표시는 PL-1.0~-1.5m이다.
- 단목객토지역이란 임해매립기반 DL+5.5m 위에 객토가 +0.2~+0.3m로 포설되어 있는 곳으로 조경수목 성장에 유리한 토양개량을 목적으로 수목 식재 구덩이마다 준설토를 파내고 일정량의 객토를 넣는 지역이며, 객토의 사용량은 곰솔과 느티나무의 식재 구덩이마다 각각 0.2m<sup>3</sup>와 0.18m<sup>3</sup>이었으며, 식재지반 높이의 표시는 PL+0.2~+0.3m이다.
- 중성토지역이란 임해매립기반인 DL+5.5m 위에 조경수목 성장에 유리한 토양개량을 목적으로 객토로 +1.2m로 성토하는 방법이며, 식재지반의 높이는 PL+1.2m이다.
- 대성토지역이란 임해매립지 기반인 DL+5.5m 위에 준설토로 PL+2.5m이상 성토한 다음 그 위에 조경수목의 성장에 유리한 토양개량을 목적으로 객토를

PL+0.8~1.2m 덧씌우기 한 지역으로 식재지반 높이의 표시는 PL+3.5m 이상이다.

- 조경수목생장이란 조경수목의 생장이 수고생장과 연륜생장 그리고 뿌리생장이 커지거나 무거워지는 과정과 결과를 의미한다.
- 성장특성이란 매립지 토양조건에 따라 수종별로 수목생장 형태의 다양한 차이를 말한다.
- 조경수목 성장저해 토양성질이란 조경수목의 정상적인 성장을 저해하는 특정한 토양인자를 말한다.
- 객토란 임해매립지의 조경수목 생육에 불리한 토양을 개량할 목적으로 인근 밭이나 산지의 토취장에서 반입되는 토양이다.

### 제 3 절 개념적 틀

본 연구는 임해매립지 조경수목의 성장특성을 파악하기 위한 연구로서 거시적으로 그림 1에서 보는 바와 같이 I. 기상조건, II. 토양, III. 조경수목 수종, IV. 조경수목 성장특성의 관계로 이해할 수 있다.

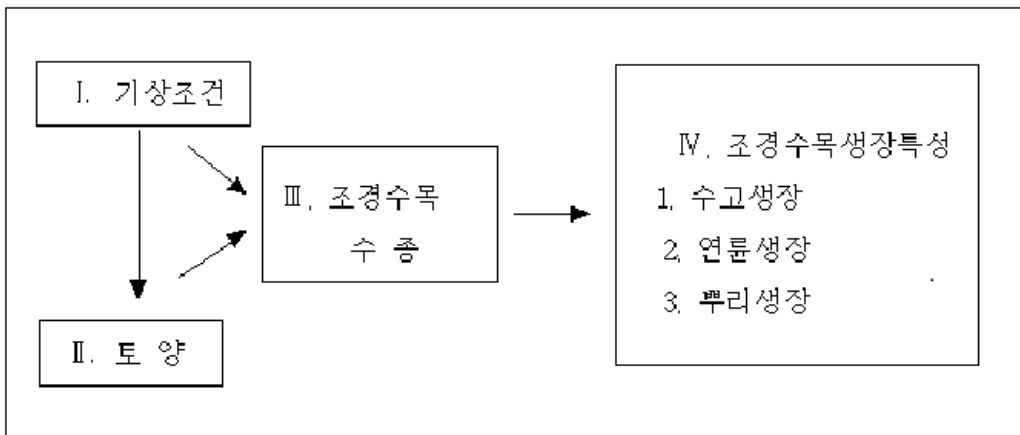


그림 1. 개념적 틀

#### 1. 기상조건

임해매립지에서 조경수목의 성장에 영향을 미치는 기상 인자의 주 요인은 강우, 온도, 바람, 한발 등이 있으며, 이들 요인에 의하여 간접적으로 영향을 미치는 요인으

로는 풍해, 조풍, 비사 현상 등이 있다(龜山章, 1977). 임해매립지의 조경수목은 이러한 기상적 요인의 주 요인과 간접적인 요인에 대하여 민감하게 반응하여 생육이 불량해지는 경우가 많다.

이러한 기상조건은 임해매립지라는 한정된 장소에 식재되어 성장해 온 조경수목에 장기적으로 영향을 미친다. 그러므로 임해매립지 조경수목의 성장특성을 구명하는 과정에서 이러한 기상인자는 인위적으로 통제할 수 없는 요소들이다.

## 2. 토 양

임해매립지에서 조경수목 생장에 영향을 미치는 토양성질은 물리적 성질과 화학적 성질로 대별된다.

토양의 물리적 성질은 토성, 토양경도, 토양수분 등이 있다. 토성과 경도는 토양의 고결화에 영향을 미쳐 토양수분의 보유력 및 토양온도 변화에 불리하게 하며, 수목의 뿌리 발달에 지장을 주는 요인이다. 유효토층은 인공 매립지로서 수분 보유력에 영향을 미치는 요인이며, 수목 뿌리의 활착 범위를 결정하는 요인으로 지반조성 방법에 따라 토층의 깊이가 결정되어지며, 토양수분은 토양경도, 유효토심, 토성 등의 요소에 따라 토양수분의 보유력이 결정되어 진다. 수분은 식물생장에 직접적으로 이용되는 요소로서, 수분이 과잉되거나 부족할 때에는 수목이 시들거나 심한 경우에는 고사하기도 한다.

토양의 화학적 성질로는 pH, EC, Na, K, Ca, Mg, T-N, T-C 등이 있다(신공항공단, 1995). 임해매립지 토양의 pH는 알칼리성으로 뿌리의 양분 흡수력을 약화시키며, EC가 높으면 염분에 의해서 수목이 쇠약 또는 고사되는 경우가 많다. Na는 함량이 많으면 뿌리의 공기와 수분 흡수를 방해하며, K는 뿌리생장에 직접적인 영향을 미치는 것으로 함량이 결핍될 때에는 가뭄, 상해, 근류병, 염류 등에 대한 적응력을 약하게 한다. Ca가 결핍되면 유기산과 다른 유해 성분을 다량으로 집적시키므로 K, Mg, P, Fe, Mn 등의 흡수를 방해한다. Mg가 결핍되면 잎은 황색으로 변하고 백화현상이 나타난다. T-C량은 뿌리의 밀도에 영향을 미치며, 준설토 또는 산의 심토는 T-C량이 매우 부족한 편이다. T-N은 뿌리생장과 줄기생장 그리고 수고생장에 영향을 미치며, 매립토양에서는 부족 되기 쉽다.

임해매립지의 토양은 매립 재료에 따라 토양의 성질이 크게 다르게 나타나며, 특정한 토양성분이 과다하거나 결핍되어 수목생장에 영향을 미친다. 또한 이러한 토양성질의 변화는 매립재료와 매립기간, 그리고, 강우, 온도, 바람 등의 기상조건에 따

라 변화될 수 있다.

임해매립 토양의 성질은 균질하지 못하여 여러 가지 토양인자들 중 수목생장의 저해요인을 구체적으로 확인하기는 어렵지만 이를 파악하여 개량해 주면 조경수목의 정상적인 생장에 기여할 수 있다.

### 3. 조경수목: 수종

수목의 생장은 환경조건에 잘 적응할 수 있는 변화의 범위가 있으나 영양이온, 빛, 수분 등의 결핍 등 특정 요인의 과잉이 실질적으로 대사 작용을 방해하여 생장이 저하되기도 한다(양운진, 1989). 수목의 환경변화에 대한 적응 정도는 수종별로 다르게 나타나는 것은 각 수종별로 환경변화에 대하여 회피, 개선 및 내성 기작에 따라 달리 나타난다. 이것은 개체 기작이나 개체군 반응에 의한 유전적 다형성이나 개체군 내에서 인자 변이를 유지하는 기작이 다르고, 수종마다 환경변이에 대한 반응 특성이 다르기 때문이다(양운진, 1989).

임해매립지의 조경수목이 환경에 적응하는 정도는 내염성과 내조성, 내건성 등이 중요한 요인으로 작용한다. 다른 조건이 동일할 경우 임해매립지에서는 수종에 따라 조경수목의 성장특성이 다르게 나타날 것으로 판단된다.

### 4. 조경수목의 성장특성

이론적 고찰로부터 조경수목 생장의 특성은 크게 수고성장, 연륜성장, 뿌리성장, 수목활력도로 구분하여 이해할 수 있다. 수고생장과 연륜성장 그리고 뿌리생장은 임해매립지 토양의 물리화학적인 다양한 성질들이 장기적으로 미치는 영향이 충분히 반영되므로 임해매립지 조경수목이 장기적으로 성장하는 특성을 파악하는데 있어 타당성 있는 변수임을 알 수 있다. 그러나 수목 활력도는 강우, 온도, 증발산, 습도 등의 기상요인과 인위적인 유지관리 등에 의하여 일시적으로 활력도 지수가 다르게 나타날 수 있으므로 장기적인 관찰을 해야만 신뢰성을 확보할 수 있는 지표이므로 본 연구에서는 제외하였다.

따라서 임해매립지 조경수목의 장기적인 생육특성을 수고성장, 연륜성장, 뿌리생장의 3가지 특성을 통해서 설명하고자 한다.

## 제 4 절 개념적 틀과 조경수목 성장에 영향을 미치는 변수의 구명

### 1. 개념적 틀의 이론적 근거

임해매립지 조경수목 성장에 관한 기존의 이론적 고찰을 통하여 기상요인은 연구 수행상 그 효과를 통제할 수 없는 거시적인 요인이며, 조경수목의 성장에는 토양의 물리·화학적 인자에 의해 영향을 받으며, 조경수목 성장저해 토양인자가 얼마나 포함되는가의 여부에 따라 조경수목 성장특성이 다르게 나타남을 알 수 있다. 임해매립지는 기반의 조성방법, 매립재료별 토양의 특이성, 식재지반의 조성방법, 지반의 높이 등에 따라 토양이 매우 특이하며, 조경수목 성장을 저해하는 토양요인이 많으며, 각 토양의 성질은 수종에 따라 적응 정도가 다른 것으로 고찰 되었으며, 수고성장, 연륜성장, 뿌리생장에 따라 차이가 있는 것으로 파악되었다. 수종별 성장차이는 임해매립지라는 조건에서 수종에 따라서 내염성, 내조성, 내건성 등에 따라 수고성장, 연륜성장, 뿌리성장 특성이 다르다는 것을 알 수 있다.

이러한 맥락에서 볼 때 임해매립지 토양의 이화학적 성질이 조경수목의 성장에 영향을 미치는 특성을 파악하기 위하여 먼저, 거시적으로 영향을 미치는 기상인자를 통제하고, 토양환경에 따른 수종별 성장 차이와 수고성장, 연륜성장, 뿌리생장의 특성을 조사 분석을 할 수 있을 것으로 판단된다.

### 2. 연구 결과의 기여분야

이상의 연구 결과는 다음과 같은 분야에 기여할 수 있을 것이다.

임해매립지의 일반적인 토양성질의 특성파악이 가능하며, 수목의 생장은 토양환경에 따라 반응하므로 임해매립지의 조경수목 성장에 저해되는 토양인자를 파악할 수 있을 것이다.

수목의 성장특성은 환경변화에 대하여 수고성장, 연륜성장, 뿌리생장이 환경에 대한 적응 정도가 다르게 나타나므로 조경수목 성장에 미치는 토양인자들의 관계 유무, 인과관계의 방향, 인과관계의 크기, 상대적 기여도의 크기 등에 대한 특성을 파악할 수 있을 것이다. 수목의 생장은 환경변화에 대한 반응이 수종별로 유전적인 특성에 따라 적응, 회피, 내성 기작의 차이에 따라 다르게 나타나므로 임해매립지 조경수목생장의 경우에도 성장저해 토양인자에 대하여 수종별로 생장의 기재 (mechanism)와 차이를 파악할 수 있을 것이다.

이와 같이 토양 이화학적 성질에 따른 조경수목의 수종별로 수고성장, 연륜성장, 뿌리생장의 특성과 차이를 확인함으로써 향후 연구 방법론에 대한 학문적 이론의

발전에 기여하게 될 것이다.

이러한 연구 결과에서 도출되는 결과는 국토개발 과정에서 발생하는 임해매립지의 매립방법, 매립재료의 선택 등에 대한 정보를 제공하게 될 것이며, 임해매립지 조정 계획, 설계, 시공 및 유지관리시 필요한 식재지반 조성 방법, 토양개량에 관한 방향 제시, 적합한 수종 선택과 식재 방법에 대한 지식을 얻게 될 것이다.

### 3. 개념적 틀로부터 변수의 구명

- ① 그림 1의 개념적 틀에 의하여 임해 매립지 수목생장은 기상조건, 토양 이화학적 성질, 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 토양의 여러 가지 성질들이 조경수목의 성장에 직·간접적으로 영향을 미치고 있음은 주지의 사실이다. 앞장의 임해매립지의 조경수목 성장에 관한 이론적 고찰로부터 조경수목 성장에 영향을 미치는 중요한 토양인자는 토성, 토양경도, 토양수분, pH, EC, Na, K, Ca, Mg, T-N, T-C 등으로 확인되었다. 이러한 토양인자들 중에서 조경수목의 성장저해 토양성질들은 조경수목의 성장특성을 결정하는 독립변수로 간주 될 것이다.

## 제 5절 연구가설

「임해 매립지의 토양은 조경수목 성장에 어떠한 영향을 미치는가 ?」 라는 연구의문에 해답을 제공하기 위하여 다음과 같은 기본 가설(grand hypothesis)을 도출하였다.

「임해매립지 조경수목의 성장저해 토양인자를 구명할 수 있을 것이며, 조경수목의 성장특성은 수종별로 각 성장저해 토양인자에 따라 다르게 나타날 것이다」

왜냐하면, 기존의 이론에서 임해매립지는 인위적으로 조성되는 토지로서 자연지역의 토양과는 현저하게 상이하며, 식재지반 조성과정에 토양이 교란되어 토양의 물리성이 불량해질 수 있으며, 토양에 상존하는 염류에 관련된 화학적 성질 등으로 조경수목을 성장저해 하는 요인이 많음을 알 수 있었기 때문이다.

또한 임해매립지 조경수목의 성장특성이 수종별로 다르게 나타나는 것은 기상이 거시적으로 동일한 경우에 토양 환경변화에 대하여 수종별로 유전적인 적응, 회피, 내성의 기작이 다르게 나타나며, 그러한 성장반응은 수고성장, 연륜성장, 뿌리성장 특성이 다르게 나타나기 때문이다.

수목성장 특성에 대한 이론적 고찰을 바탕으로 하여 임해매립지 조경수목 성장특성을 파악하기 위한 개념적 틀을 구성하였다.

임해매립지의 조경수목 성장에 거시적으로 영향을 미치는 기상인자는 동일하다고 가정할 경우, 임해매립지의 조경수목에 성장 저해하는 토양성질들과 수종을 독립변수로 하고, 수고성장 연륜성장 뿌리생장을 종속변수로 하여 임해매립지 조경수목 성장특성과 이에 영향을 미치는 성장저해 토양인자의 관계를 파악할 수 있을 것이다.

## 제 4 장 연구 방법론

### 제 1 절 조사지 개황

#### 1. 조사지 개황

##### 기 상

조경수목 식재 후 광양만 지역의 최근 9년간(1990년~1998년) 기상분석 결과 연평균기온은 15.0℃로 여수 측후소에서 수집한 최근 30년 간의 연평균기온 13.9℃ 보다 1.1℃ 더 높았으며, 월평균 최저기온은 2.5℃, 월평균 최고기온은 27.0℃로 연평균기온 교차는 24.5℃이었다. 연평균강수량은 1,292.8mm로 30년 연평균강수량 1,413.3mm에 비하여 적었으며, 특히 1994년에는 743.5mm로 52%, 1996년 934mm로 66%, 1997년 1,014mm로 71.8% 정도로 강우가 적었다. 연평균상대습도는 68.2%로 비교적 습한 편이며, 고온다습한 하절기 중에서 7월 상대습도는 85.4%로 가장 높고, 건조한 동절기인 1월의 상대습도는 57.2%로 가장 낮았다. 연평균증발산량은 1,382mm로서 연평균강수량보다 많다. 증발산량은 전년도 9월에서 다음해 4월까지 가을과 겨울철에 강수량보다 많은 것으로 나타나 겨울철 토양수분 부족이 예상된다.

##### 조사지의 위치 및 지형

연구 대상지는 우리나라 남해안에 위치한 광양만 임해매립지이며, 행정 구역상으로 전라남도 광양시 금호동이다(그림 2).

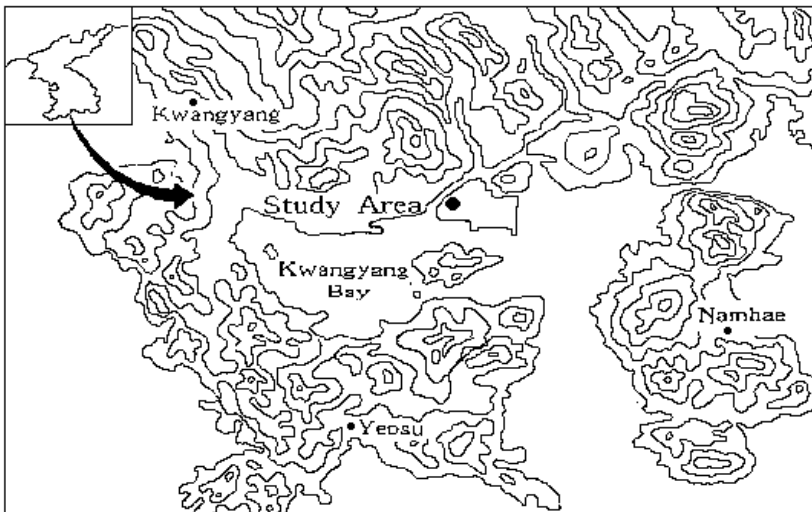


그림 2. 조사대상 지역

광양만 입해매립지의 면적은 광양만의 기존의 공유수면 중에서 14,880,000㎡ (4,500,000평)이며, 매립 부지의 이용은 공장부지, 지원시설기지, 주택단지 등으로 이용되고 있다(포항종합제철주식회사, 1993). 지형은 북쪽은 내륙이고, 남서쪽은 여수반도, 동쪽은 남해가 위치하여 사방이 내륙과 섬으로 둘러 싸여 있는 만(bay)의 형태이다. 해상조건은 평균간만의 차가 3.116mm로 크지 않으며, 파랑은 초당 최대 90cm이며, 조사지역의 부근은 50cm이다(포항종합제철주식회사, 1993). 이와 같은 지형적 특성과 해상조건으로 인하여 다른 해안지역의 입해매립지 보다는 조경수목 생육상 조풍 피해는 적은 편이다.

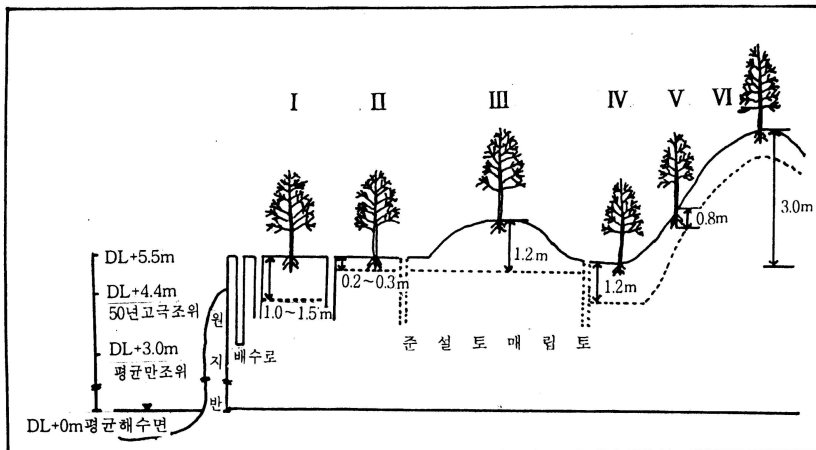
## 2. 연구 대상지의 식재지반

### 매립기반의 조성방법

조사 대상지의 입해매립기반 조성은 1982년부터 1989년까지 광양만 해저의 갯벌을 준설매립공법(Sand pumping)으로 조성하였으며, 매립기반의 높이는 해수면으로부터 DL+5.5m이고(포항종합제철주식회사, 1993), 부지의 형태는 평탄면이다. 부지의 이용은 매립 후부터 조경공사 전까지 건설자재 야적장, 임시도로 등으로 이용되었다.

### 식재지반의 조성

식재지반 조성은 준설토 매립기반 위에 객토매립법, 단목객토법 그리고 성토법 3가지 유형으로 시공되었다(그림 3).



I. 객토매립지 II. 단목객토지 III. 중성토지 IV. 대성토가장자리 V. 대성토사면부 VI. 대성토정상부

그림 3. 식재지반 유형 모식도

식재지반 조성시기는 객토매립지역은 1989년에 조성되었으며, 단목객토지역과 성토지역은 1991년에 조성되었다.

객토매립지역은 임해매립지반 조성과정에서 DL+4.0~+4.5m까지는 준설토로 매립하고, 그 위에서부터 DL+5.5m까지는 객토로 매립되어 있다. 단목객토지역은 임해매립기반 DL+5.5m 위에 객토를 PL+0.2~0.3m로 포설하고, 조경수목 생장에 유리한 토양개량을 목적으로 곱술과 느티나무 식재 구덩이마다 객토를 각각 0.2m<sup>3</sup>와 0.18m<sup>3</sup>를 넣고 식재한 지역이며, 식재지반의 높이는 PL+0.2~0.3m이다. 중성토지역은 임해매립기반인 DL+5.5m 위에 조경수목 생장에 유리한 토양개량을 목적으로 객토를 높이 PL+1.2m로 성토하는 방법이다. 대성토지역은 임해매립기반 DL+5.5m 위에 준설토로 높이 +2.5m 이상 성토한 그 위에 객토를 높이 +0.8~1.2m 덧씌우기 되어 있는 지역으로 식재지반의 높이는 PL+3.0m 이상이다.

식재지반 조성에 사용된 토양은 준설토와 객토가 주로 사용되었다. 준설토는 광양만 현지의 갯벌 사토이며, 객토는 인근 광양시 중마동, 광영동, 옥곡면 등의 토취장에서 주로 심토가 반입되었다.

#### 조경수목의 식재 및 유지관리

본 연구 대상의 곱술과 느티나무의 식재시기, 규격 및 수량은 단목객토지역 곱술은 1989년 12월에 H2.5x0.8m를 60주를 식재 하였고, 나머지 지역의 곱술은 1991년 6월 17일부터 7월 5일 사이에 H1.5xW0.5를 650주 식재 하였으며, 느티나무는 H3.5xR8를 306주를 각 지역에 산식(Random)으로 식재 하였다.

식재 수목의 전정은 곱술의 경우 실제 반입 규격이 H1.4~1.7m 정도였으나 이식에 의한 신초의 휘어짐을 방지하기 위해 당년지를 0.2~0.3m정도 전정 하였으며, 느티나무는 이식에 따른 성장량 조절 및 수형 조절을 위해 가지숙음, 교차지, 연약지 및 고사지 제거 등의 전지 및 전정작업을 하였다.

토양개량을 위한 유기질 비료의 사용은 곱술과 느티나무 식혈지에 각각 0.1포(2.0kg), 1.8포(3.6kg)를 객토와 혼합하여 사용하였다. 급수작업은 식재 직후 물다짐 작업을 하였으며, 식재 후 오랫동안 비가 오지 않아 9월 중순까지 물 독을 만들고 수 차례 급수작업을 하였고, 이듬해인 1992년부터는 재급수를 하지 않았다

식재된 수목은 태풍에 도복되지 않도록 지주목을 설치하였으며, 식재 후 2년차 부터는 조경수목 생장에 영향을 미치는 급수작업, 전정작업, 시비작업은 없었으며, 지주목 보수작업은 여러 차례 시행되었다.

## 제 2 절 연구대상 조경수목의 선정

### 1. 조경수목의 선정기준

연구 재료의 선정기준은 ① 우리나라 임해매립지 조경수목 식재에 있어서 선호성이 높아서 양적으로 대표성을 갖는 수종으로, ② 수목의 성장에 따라 상록침엽수와 낙엽활엽수로 구분되고, ③ 임해매립지 조경수목 생육상 주요 환경요인인 염분과 건조 피해에 대하여 생태적으로 적응력이 강한 수종과 약한 수종을 대조적으로 각각 1종씩 선정하였다.

### 2. 선정된 조경수목

이러한 연구 재료의 선정기준에 따라 곰솔(*Pinus thunbergii* Parlatores)과 느티나무(*Zelkova serrata* (Thunberg) Makino) 2종을 선정하였다.

곰솔은 상록침엽교목으로서 수고 28m, 흉고직경 1m까지 자라며, 1년에 1마디씩 자라는 양수로서(임주훈 등, 1995) 내염성, 내건성이 강하여 해안가에 생육이 양호한 수종이며(이종석과 김일중, 1977; 이종석, 1980; 최문길, 1988), 방풍림 및 휴양림으로써 공익적 기능과 임목 이용상 경제적 기능을 동시에 갖는 주요한 수종이다(손영모 등, 1990).

느티나무는 양수 또는 약간 음수이며, 심근성이고, 배수가 잘되고 통기가 잘되는 토양에서 생장이 좋으며, 이식이 용이하며(임주훈 등, 1995), 내염성이 약하고, 적윤지에서 잘 자라며(한국종합조경공사, 1979; 김영두, 1989), 중성토양에서 생육이 양호한 수종이다(김영두, 1989; 임주훈 등, 1995).

### 3. 표본의 추출

표본의 추출은 객토매립지역, 단목객토지역, 중성토지역, 대성토지역에서는 가장자리와 사면부 그리고 정상부로 세분하여 총 6개 지역으로 구획한 다음(그림 3), 각 식재 지역별로 상록침엽수인 곰솔과 낙엽활엽수인 느티나무를 대상으로 평균목을 5주씩 선발하여 각 수종별로 30주씩 총 60주를 선정하였다.

### 4. 성장 측정방법

#### 수고성장

수고생장의 측정은 전체 성장길이를 측정한 다음 이식 후의 연평균 수고 성장량을 구하였다. 성장 길이의 측정은 표척(staff)과 망원경을 이용하여 측정하였다. 수고성장 비교는 식재 당시의 설계 규격을 기준으로 하였다.

## 연륜생장

연륜생장의 측정에 사용할 목편의 채취는 지상으로부터 30cm에서 수(pith)에 접근하도록 직경 0.5cm의 성장추를 이용하여 남북방향으로 목편을 뚫었다. 시료는 음료수용 빨대에 삽입하여 약 1주일 정도 기건한 후 U형 홈이 파여진 나무막대에 접착제를 이용하여 견고하게 접착시켰다. 연륜 폭의 측정은 경화된 시료의 표면을 사포로 연마시킨 후 밀도를 측정하였다. 측정기기는 캐나다 Regent Instruments사의 WinDENROtm Teen scanner를 이용하였다. Scanner가 연륜을 제대로 인식하지 못할 경우에는 Velmex회사의 연륜 폭 측정기를 이용하여 재측정 하였으며, 측정 범위는 0.01mm까지 하였다.

연륜측정은 좁은 연륜만 막대그래프로 그리는 골격도법(Skeleton plot)을 수회 반복해서 상호교차연대(Cross dating)를 비교하여(Baillie and Pilcher, 1973; Holmes *et al*, 1986) 위연륜(False ring)과 실연륜(Missing ring)을 찾아내고 알고 있는 기준연대를 이용하여 정확한 생육연대기를 부여하였다.

이상의 연륜 측정기구 및 장비는 충북대학교 연륜연대 실험실의 장비 및 기술지원으로 수행하였다

## 뿌리생장 측정

뿌리의 발달 상태, 뿌리의 구조 및 분지구조는 그 특징을 야장에 기록하고, 묘사 또는 사진촬영을 하여 지역별로 상호비교 분석하였다.

뿌리생장의 측정은 잔뿌리를 대상으로 하였다. 잔뿌리의 채굴은 수목 한 그루당 수직적으로는 표토에서 깊이 60cm까지 5cm간격으로 12단계로 구분하고, 수평적으로는 수간으로부터 11~105cm까지 10cm간격으로 10등분하였다(그림 4).

채취방법은 기본 축을 남쪽과 북쪽으로 하여 각각 4반복 채취하여 비닐 봉투에 혼합하였으며, 한 지역 당 채취 코아수는 수직12반복x수평10간격x8반복x5개체로 4,800코아이며, 총 채굴 코아 수는 6개 지역으로 2수종에서 총 57,600개였다.

뿌리의 채굴 시기는 휴면기인 1998년 10월부터 1998년 12월까지였으며, 채굴 기구는 내경의 직경 4.3cm, 높이 5cm의 철재 코아를 이용하여 표토에서 수직으로 삽입하여 채굴하였다. 채굴한 뿌리를 Polyethylene 주머니에 넣어 안전하게 실험실로 가져온 다음 1% Sodium hexameta phosphate 400ml와 함께 500ml 비이커에 넣고 20-30회 유리막대로 저어 1일간 보관 후 토양과 뿌리의 분리를 위해 수도물로 씻으면서 잔뿌리의 굵기가 육안으로 식별이 가능하고 흙과 분리가 가능한 0.06~2mm의 잔뿌리를 선별하였다. 또한 굵은 측지에 붙은 뿌리는 잘라서 포함시키고, 0.05mm 이하의 잔

뿌리는 분리가 곤란하여 이들의 평가는 제외하였다(Susan and Frank, 1991).

잔뿌리(fine roots)는 산뿌리(living roots)와 죽은 뿌리(dead roots)로 분리하였다. 산 뿌리와 죽은 뿌리의 분리방법은 산 뿌리의 경우는 탄력이 있고, 구부러지는 휨성이 있어(Susan and Frank, 1991) 잘 부서지지 않으며, 붉은 색을 띠는 것으로 하였으며(Böhm, 1979), 죽은 뿌리는 잘 휘어지지 않고 부러지며(Susan and Frank, 1991), 잘 부서지고 어두운 색을 띠는 것으로 구별하였다(Böhm, 1979; Gregory, 1979). 예비 조사시 단목객토지역의 잔뿌리 중에서 팁(tip)이 두껍고 잔뿌리의 피층(cortex)이 부서지기처럼 붙어 있는 이상뿌리가 발견되었는데 이것은 산 뿌리와 죽은 뿌리 구분상 매우 난해하였으나 뿌리를 부러뜨려 보아 뿌리의 목부(xylem)가 살아 있는 것은 환경적 스트레스(stress)를 받고 있는 뿌리로 판단하고 산 뿌리로 간주하였다. 구분된 뿌리는 봉투에 넣어서 건조기(dry oven)에 넣고 85°C에서 48시간 건조하여 건조량을 정밀 저울로 소수점 3자리까지 측정 하였다.

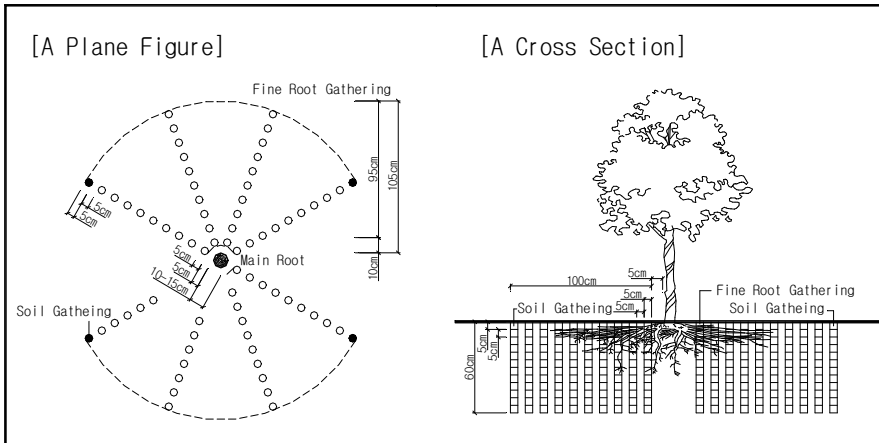


그림 4. 토양 및 잔뿌리 채굴도

### 제 3 절 토양의 이화학적 성질 분석

#### 1. 토양표본의 추출

토양의 표본 추출은 조경수목 표본추출과 같은 방법으로 객토매립지역, 단목객토 지역, 중성토지역, 대성토지역에서 가장자리와 사면부 그리고 정상부 6개 지역으로 세분하여(그림 3) 각 식재 지역별로 평균목을 5주씩을 선발하여 각 수목별 잔뿌리 채굴지에서 추출하였다.

토양채취 대상의 선정은 각 식재지반별로 잔뿌리 채굴지에서 각 수목마다 4반복 x5개체에서 20코아를 채취하여 혼합하였다. 토양의 층위는 잔뿌리 채굴지에서 단면을 다듬은 다음 표토에서 부터 지하 60cm까지 5cm마다 12단계로 정밀 채취하였다(그림 4).

토양의 채취방법은 잔뿌리 채굴지역에서 단면을 교란되지 않도록 다듬은 다음 내경의 직경 4.3cm, 높이 5cm의 철재 코아를 이용하여 표토에서 수평으로 삽입하여 채굴하였다. 채굴한 토양은 비닐 봉지에 담아서 실험실로 옮긴 뒤 음건하여 2mm 체로 친(chive) 다음 십분법(十分法)으로 나누어 토양분석 시료로 사용하였다.

#### 2. 토양의 이화학적 성질 분석

토성(soil texture)은 채취된 토양을 음건시킨 후 2mm 표준망체로 친 다음 105℃에서 건조시켜서 Kühn장치를 이용하여 모래(sand), 미사(silt), 점토(clay)로 분리한 후 미국농무성법(United States Soil Survey)에 의하여 토성을 판정하였다.

토양의 경도(hardness)는 잔뿌리 채취지역에서 수목 한 그루 당 동서남북 4방향으로 토양 단면이 교란되지 않도록 절취한 다음 산중식 토양경도계(山中式 土壤硬度計, SHM-1)를 수평방향으로 측정하여 평균치를 계산하였으며 토양경도의 결정 요인을 조사하였다.

포장용수량(W.R; water retention)은 음건토양 100ml를 3일간 침수시켜 음지에서 3일간 탈수시킨 토양을 105℃에서 48시간 건조시켜 수분함량을 측정하여 포장용수량으로 간주하였다.

토양함수량(W.C; Water content)은 약 20g의 토양을 칭량병에 넣어 건조전 무게(Wb)와 105℃에서 72시간 건조된 무게(Wa)를 측정하여  $W.C = (Wb - Wa) / Wb * 100$  식에 적용시켰다.

토양산도(pH<sub>1:5</sub>)와 전기전도도(EC<sub>1:5</sub>)는 음건 시킨 토양을 손으로 비벼서 2mm체로 치고, 이 토양과 증류수의 비(w/w)를 1:5로 혼합하여 10분간 진탕한 후 pH<sub>1:5</sub>는

Fisher 230A pH meter로, EC<sub>15</sub>는 DM35 Conductivity meter로 각각 측정하였다.

치환성양이온은 음건 토양 10g을 1N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 수용액[아세트산(CH<sub>3</sub>COOH)을 가하여 pH 4.8로 조정] 50과 함께 100ml 삼각플라스크에 넣고 30분간 진탕한 다음 여과지(Whatman No. 44)로 여과한 여과액을 Atomic absorption spectrophotometer (M-901)로 Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>을 정량 하였다.

전탄소(Total Carbon)는 배양한 시료를 105℃에서 4~5시간 건조시킨 다음 homogenizer를 이용하여 완전히 분쇄시키고 증류수로 희석한 후 TOC 분석 장치를 이용하여 적외선 흡수법에 따라 연소산화식으로 측정하였다.

전질소(Total Nitrogen)는 0.5mm체를 통과한 풍건세토를 질소량으로 1g의 음건 토양과 6g의 음건 분해 촉진제(K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:CHSO<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 정용 하였다. 이 액에서 20ml를 취하여 40% NaOH 20ml와 혼합, 증류한 다음 1/14N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 표준 용액으로 적정하여 정량 하였다(Jack1son, 1967).

이상의 치환성양이온, 전질소 및 전탄소의 분석은 1998년 12월에 포항산업연구원 토양분석실에서 분석하였다.

## 제 4 절 변수의 선정과 측정방법

### 1. 종속변수

종속변수인 곰솔과 느티나무의 생장에 관한 변수는 수고생장, 연륜생장 및 뿌리생장을 등간척도로 측정하였다.

### 2. 독립변수

#### 수 종

수종은 곰솔과 느티나무 2수종을 선택하여, 곰솔을 0으로 하고 느티나무를 1로 변환하여 명목척도로 하였다.

#### 토 양

토양성질의 측정과 척도는 제Ⅱ장 임해매립지의 조경수목 생장에 관한 이론적 고찰에서 조경수목 생장에 영향을 미치는 중요한 변수일 것으로 예상하였던 14가지의 토양성질들을 등간척도로 측정하였다.

표 1. 토양 이화학적 성질의 측정과 척도

| 토 양              | 단 위     | 척 도  |
|------------------|---------|------|
| 모래               | %       | 등간척도 |
| 미사               | %       | "    |
| 점토               | %       | "    |
| 토양경도             | mm      | "    |
| 포장용수량            | %       | "    |
| 토양함수량            | %       | "    |
| pH <sub>15</sub> | -       | "    |
| EC <sub>15</sub> | dS/m    | "    |
| Na               | me/100g | "    |
| K                | me/100g | "    |
| Ca               | me/100g | "    |
| Mg               | me/100g | "    |
| T-C              | %       | "    |
| T-N              | %       | "    |

이들 14개 토양요인들 중에서 조경수목 생장에 저해되는 토양인자의 구명은 토양의 물리·화학적 특성평가 기준표(한국조경학회, 1999)에 의하여 판정하였다. 생장저

해 토양인자의 구명 방법은 토양성질은 토양층위별로 적합 층과 성장저해 층이 다양하기 때문에 단순합계는 아주 적합한 값의 상쇄로 인하여 실질적으로 토양의 값과 생장의 관계를 정확하게 반영하기 곤란하기 성장저해 토양인자의 층위별 총계에서 적합한 토양성분의 합을 뺀 값을 토양인자의 독립변수로 하였다.

## 제 5 절 연구방법

### 1. 조경수목 성장저해 토양인자의 구분방법

조경수목의 성장저해 토양성질의 구분은 각 단위 토양성질이 과잉 또는 과부족으로 수목생장에 저해하는 범위에 있는 층을 토양의 물리·화학적 특성 평가 기준표(한국조경학회, 1999)를 기준으로 하여 조경수목 성장저해 토양인자를 구명하였다.

### 2. 통계분석 방법

#### 기술적 통계방법

종속변수인 조경수목의 성장과 이에 영향을 미치는 4개의 독립변수들이 통계적으로 요약된 특성을 개별 변수들의 최소값, 최대값, 평균, 표준편차, 첨도 및 왜도에 대하여 분석하였다.

#### 두 변수간의 관계 검정

종속변수인 수목생장과 독립변수의 관계는 통계학적으로 상관분석을 하였다. 또한 수목생장 부위 즉, 수고생장과 연륜생장 그리고 뿌리생장과의 상관관계를 분석하였다. 곰솔과 느티나무의 수고생장, 연륜생장 그리고 뿌리생장의 차이는 통계학적으로 t-검정을 수행하였다.

#### 다변량통계분석

수고생장(height), 연륜생장(ring), 뿌리생장(root)을 종속변수군으로 하고 수종과 성장저해 토양인자들은 독립변수군으로 정준상관분석(Canonical correlation)을 수행하였으며, 조경수목 생장에 영향을 미치는 성장저해 토양인자의 관계는 다중회귀분석을 수행하여 유의성, 방향, 인과관계의 크기, 상대적 기여도를 검정하였다. 통계분석은 SAS Ver. 6.12 프로그램을 이용하였다.

## 제 5 장 임해매립지의 조경수목 성장특성 분석

제2장의 임해매립지의 조경수목 성장에 관한 이론적 고찰을 토대로 제3장에서 임해매립지의 조경수목 성장에 관한 기존 가설을 도출하였다. 이를 검증하기 위하여 사례지역의 조경수목 성장특성과 토양 이화학적 성질에 대한 결과의 고찰은 총계적 (aggregate manner)인 방법으로 기술하였다.

### 제 1 절 수목생장의 특성

#### 1. 조경수목의 성장특성

종속변수인 수고생장(height), 연륜생장(ring), 뿌리생장(root)과 독립변수인 조경수목 성장저해 토양요인인 토양경도(hardness), 토양산도(pH<sub>1:5</sub>), 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 전질소(T-N)의 과잉 및 과부족 양의 통계적 특성은 표 2와 같이 요약되었다.

표 2. 단일변수의 통계적 요약

|                   | Mean(Std. Dev.) | Min.  | Max.   | Skewness | Kurtosis | N  |
|-------------------|-----------------|-------|--------|----------|----------|----|
| height            | 28.7 (17.649)   | -18.7 | 61.2   | -.451    | -.270    | 60 |
| ring              | 51.7 (17.728)   | 11.6  | 82.3   | -.573    | -.553    | 60 |
| root              | 68.0 (29.895)   | 13.2  | 132.3  | .464     | -.798    | 60 |
| hardness          | 288.58 (17.273) | 276.0 | 325.00 | 1.292    | .166     | 60 |
| pH <sub>1:5</sub> | 54.29 (.975)    | 54.00 | 57.50  | 3.093    | 7.826    | 60 |
| K                 | 6.80 (.883)     | 4.75  | 7.20   | -1.845   | 1.468    | 60 |
| Ca                | 5.30 (3.776)    | .58   | 10.41  | .063     | -1.710   | 60 |
| Mg                | 6.32 (1.155)    | 4.69  | 8.26   | .210     | -1.277   | 60 |
| T-N               | .59 (.108)      | .47   | .80    | .489     | -1.142   | 60 |

수고생장은 년평균 28.7cm(표준편차 17.649), 최소값 -18.7cm, 최대값 61.2cm이며, 첨도(kurtosis)는 정규분포보다 뾰족한 모습을 나타내고 있으며, 편포도(skewness)는 정(+)의 값으로 오른쪽으로 꼬리가 늘어진 분포 형태이다. 수고생장에 있어서 식재 당시의 규격보다도 낮은 것은 생육 부적응으로 생장이 불량한 수목이 있음을 나타내고 있다.

연륜생장은 평균 51.7mm(표준편차 17.728), 최소값 11.6mm, 최대값 82.3mm이며, 침도는 정규분포를 이루며, 편포도는 부(-)의 값으로 왼쪽으로 꼬리가 늘어진 분포 형태이다.

뿌리생장은 평균 68g DM/m<sup>2</sup>(표준편차 29.895), 최소값 13.2g DM/m<sup>2</sup>, 최대값 132.3g DM/m<sup>2</sup>이며, 침도는 정규분포를 이루고, 편포도는 정(+)의 값으로 오른쪽으로 꼬리가 늘어진 분포 형태이다.

토양 이화학적 성질 중에서 토양경도(hardness)는 평균 288.58(표준편차 17.273), 최소값 276.00, 최대값 325.00이며, 침도는 정규분포보다 뾰쪽하며, 편포도는 정(+)의 값으로 오른쪽으로 꼬리가 늘어진 분포 형태이다. 토양산도(pH<sub>1:5</sub>)의 평균은 54.29(표준편차 0.975), 최소값의 54.00, 최대값 57.50이며, 침도는 정규분포보다 뾰쪽한 모습이며, 편포도는 정(+)의 값으로 오른쪽으로 꼬리가 늘어진 분포 형태이다.

칼륨(K)의 평균은 6.80(표준편차 0.108), 최소값은 4.75, 최대값은 7.20, 침도는 정규분포보다 뾰쪽하며, 편포도는 부(-)의 값으로 왼쪽으로 꼬리가 늘어진 분포 형태이다. 칼슘(Ca)의 평균은 5.30(표준편차 3.776), 최소값은 0.58, 최대값은 10.41, 침도는 정규분포보다 뾰쪽하며, 편포도는 정(+)의 값으로 오른쪽으로 꼬리가 늘어진 분포 형태이다. 마그네슘(Mg)의 평균은 6.32(표준편차 1.155), 최소값은 4.69, 최대값은 8.26, 침도는 정규분포보다 뾰쪽하며, 편포도는 부(+)의 값으로 오른쪽으로 꼬리가 늘어진 분포 형태이다. 전질소(T-N)의 평균은 0.59(표준편차 17.273), 최소값은 0.47, 최대값은 0.80이며, 침도는 정규분포보다 뾰쪽한 모습이며, 편포도는 정(+)의 값으로 오른쪽으로 꼬리가 늘어진 분포 형태이다.

표준편차가 토양경도에서 가장 크게 나타나는 것은 장비에 의해 다져진 전압강도가 지역마다 크게 다르기 때문이다.

## 2. 곶술의 성장특성

### 수고생장

곶술의 수고생장은 식재 시기와 규격이 다른 단목객토지역을 제외한 모든 지역 수목들의 수고는 식재 당해 연도인 1991년에 150cm이었으며, 7년 뒤인 1998년도에는 394.7cm로 2.6배정도 더 크게 성장하였다(표 3). 이식 후 년도별 절간 성장특성은

1992년에 13.3cm로 생장이 급감소 하며, 1993년부터 연차적으로 증가하는 추세이다 (그림 5). 절간생장이 1992년이 가장 작은 것은 1991년에 이식 후에 생육 환경이 바뀌어지고, 뿌리의 절단, 전정 등에 의하여 생장이 감소되기 때문에 나타나는 이식스트레스 때문일 것이다.

표 3. 곰솔의 수고생장

| Year                    | before transplanted    |      |      |      | after transplanted |       |       |       |       |       |       |  |
|-------------------------|------------------------|------|------|------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|                         | 1988                   | 1989 | 1990 | 1991 | 1992               | 1993  | 1994  | 1995  | 1996  | 1997  | 1998  |  |
| Annual growth(cm)       | ?                      | 32.9 | 51.2 | 40.8 | 13.7               | 22.9  | 26.8  | 36.9  | 44.8  | 49.8  | 49.8  |  |
| Accumulation growth(cm) | ?                      | 65.9 | 98.8 | 150  | 163.7              | 186.6 | 213.4 | 250.3 | 295.1 | 344.9 | 394.7 |  |
| Growth ratio            | 150 : 394.7 = 1 : 2.63 |      |      |      |                    |       |       |       |       |       |       |  |

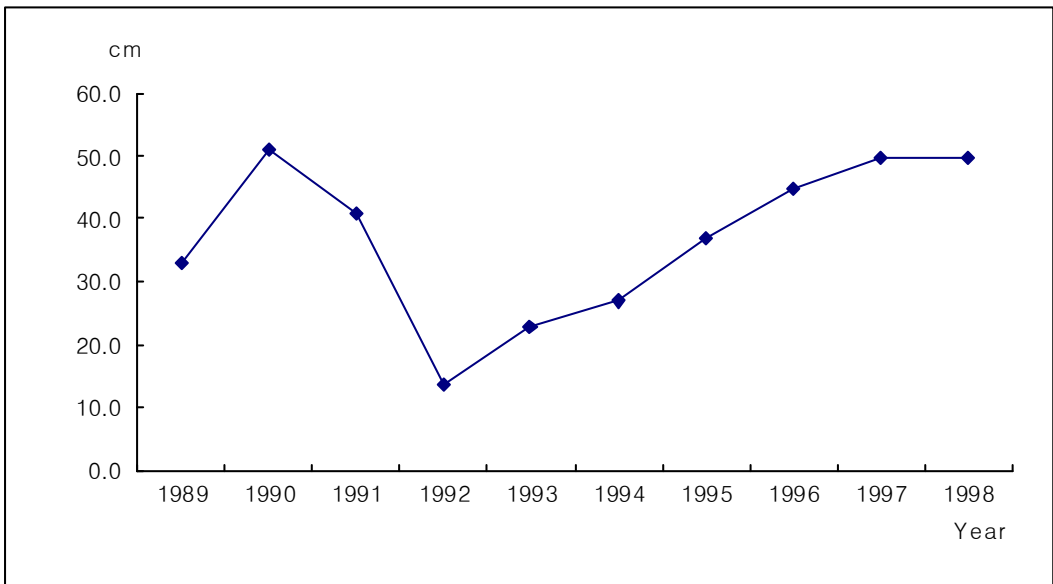


그림 5. 곰솔의 수고생장

### 연륜생장

곰솔의 연륜생장은 이식년도인 1991년에 연륜 폭이 10.4mm에서 1998년에는 30.2mm로 2.89배 더 성장하였다(표 4).

연륜생장의 연도별 변화 추세에서 생장이 크게 감소하는 해는 식재 당년(1991년)

과 이듬해(1992년) 그리고 1997년이였다(그림 6). 식재 당년과 이듬해에 연륜생장이 감소하는 것은 수고생장의 경우와 같이 이식 스트레스 때문일 것이다. 이식 후 1993년부터 생장이 점증적으로 증가하는 추세이나 1997년에 감소현상이 발생하는 것은 수고생장에서는 나타나지 않았던 것이며, 이때 생장이 감소한 것은 제4장 1) 기상에서 고찰된 바와 같이 1994년의 대가뭍과 1995년 그리고 1996년의 3년 연속된 가뭍이 연륜생장에 영향을 미쳤기 때문으로 추정된다.

표 4. 곶솔의 연륜생장

| Year                    | before transplanted    |      |      |      | after transplanted |      |      |      |      |      |      |  |
|-------------------------|------------------------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|--|
|                         | 1988                   | 1989 | 1990 | 1991 | 1992               | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |  |
| Annual growth(mm)       | ?                      | 3.5  | 3.9  | 2.3  | 1.9                | 2.1  | 2.5  | 3.2  | 2.9  | 2.7  | 4.5  |  |
| Accumulation growth(mm) | ?                      | 3.0  | 6.5  | 10.4 | 12.3               | 14.4 | 16.9 | 20.1 | 23.0 | 25.7 | 30.2 |  |
| Growth ratio            | 10.4 : 30.2 = 1 : 2.89 |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |  |

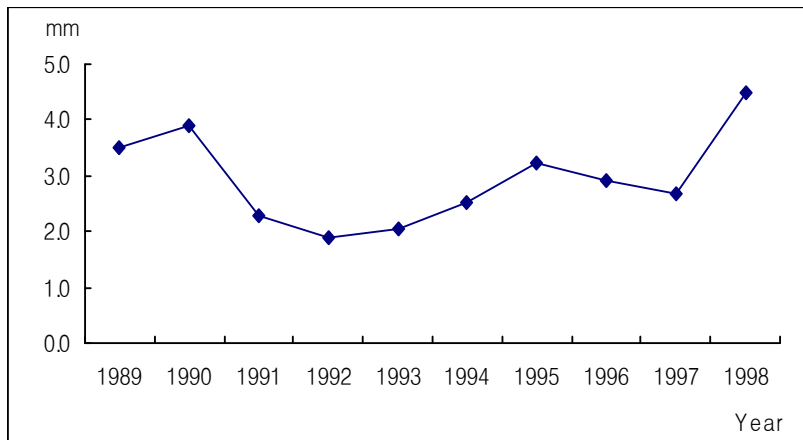


그림 6. 곶솔의 연륜생장

### 뿌리생장

뿌리의 구조는 성토지역과 단목객토지역의 경우는 뿌리 발달 구조가 정상적이며, 객토매립지에서는 뿌리가 비정상적인 분포를 하고 있다. 성토지역은 지하 60cm이하에도 중간뿌리가 분포하고 있으며, 단목객토지역에서 잔뿌리는 객토가 있는 상부층과 준설토가 있는 하부층에 많이 분포하여 있다. 특히, 단목객토지역은 지하 45cm~

60cm 층에서는 수직근(vertical root)과 모근(mother root) 그리고 잔뿌리(fine root)가 빗자루 모양으로 밀집되어 분포하고 있으며, 세근은 검은색으로 두껍고, 산 뿌리와 죽은 뿌리가 많이 있다. 또한, 채취시기가 12월 겨울철이었음에도 새 뿌리가 신장하고 있는 것이 소량 발견되었는데 이것은 조사 지역이 난대상록활엽수림대에 속하는 지역으로 겨울철에도 따뜻하기 때문에 곰솔 뿌리의 신장이 가능한 것으로 추정된다.

객토매립지역의 뿌리구조는 수평적으로나 수직적으로 확장하지 못하고 여러 갈래의 뿌리가 표토를 향하는 등의 비정상적인 분지 구조를 하고 있었다. 곰솔뿌리는 준설토가 있는 단목객토지역과 토심이 좋은 성토지역에서 뿌리가 정상적으로 활착되며, 후술하는 바와 같이 근권부에 토양경도가 높은 층이 있는 객토매립지에서는 뿌리가 비정상적인 구조를 하고 있음을 알 수 있다.

곰솔의 잔뿌리량에서 산 뿌리량은 51.99g DM/m<sup>2</sup>이며, 죽은 뿌리량은 8.25g DM/m<sup>2</sup>로 산 뿌리량이 죽은 뿌리량보다 6.3배정도 더 많았다. 산 잔뿌리량의 수직적 분포는 표토에서 지하 5cm 층까지 보다 지하 6~20cm 층에서 가장 많이 밀집되어 있으며, 죽은 잔뿌리는 대체적으로 표토 부분보다는 지하 6~10cm 부분에서 가장 많았다(그림 7).

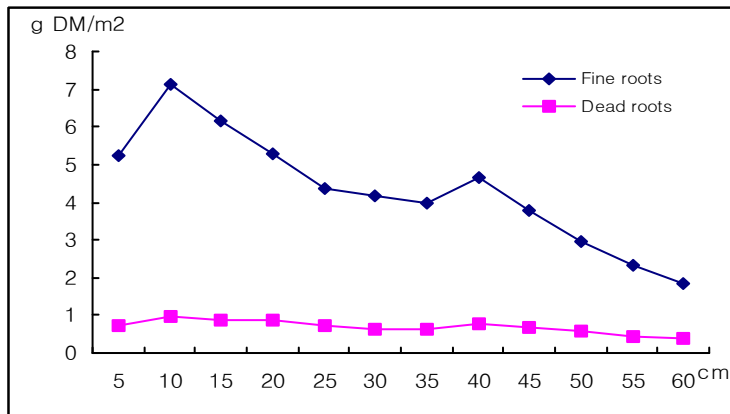


그림 7. 곰솔 산 잔뿌리와 죽은 잔뿌리의 수직적 분포

산 잔뿌리량이 표토에서 지하 5cm 층에서 지하 6~20cm 층 보다 적은 것은 인공지반으로써 식재 당시 묘목장에서 식재된 분의 높이 보다 깊게 식재 되었으며, 표토층의 유기물과 지피식물 및 수관의 울폐도 등이 낮아 토양수분의 변화가 크며 가뭄

과 이상기온 등의 외부적 환경변화에 민감하게 반응하여 잔뿌리 생장이 불리하기 때문에 생각된다. 반면, 6~20cm 층은 토양수분의 변화가 적고 공기의 공급이 원활하여 뿌리생장이 유리한 조건이기 때문에 잔뿌리가 밀집되어 있다.

식재지반별 뿌리의 수직적 분포는 대성토지역과 증성토지역에서 지하 60cm 이하에도 다수의 뿌리가 분포하고 있는 것으로 보아 토심이 0.8m 이상으로 깊고, 흐트러진 토양으로 토양 공극이 크고, 경도가 낮으며, 토양의 성질이 부드러우므로 뿌리 생육에 유리한 것으로 생각된다. 단목객토지역은 토심이 얇고, 표토에서 지하 30cm의 객토 층과 지하 31cm이하의 준설토가 이질적인 토양성질을 나타내고 있기 때문에 곱솔과 느티나무의 잔뿌리량 분포는 불규칙하였다.

산 잔뿌리의 수평적 분포는 주간(stem)으로부터 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 및 100cm로 갈수록 감소하는 경향이 있으며, 다른 개체의 뿌리와 겹치는 70~100cm 부근에서 성장량이 많아지는 현상이 있다. 잔뿌리량의 수평적 감소 현상을 층위별로 구분하여 보면, 표토로부터 지하 20cm까지의 상층부에서는 감소 현상이 크지 않고, 지하 21~60cm층의 하층부에서는 수평적 차이가 크다. 뿌리 분포가 수평적으로 상층부에서는 차이가 크지 않고 하층부에서 차이가 큰 것은 산 잔뿌리가 역삼각형(▼형)으로 분포하기 때문이다. 특히, 객토매립지역의 산 잔뿌리는 식재 당시의 구덩이에만 주로 밀집하여 있으며, 전압된 토양에서는 수목의 잔뿌리가 수평적으로 멀리 신장하지 못하였음을 알 수 있다.

### 3. 느티나무의 성장특성

#### 수고성장

느티나무는 자유생장을 하므로 연도별 성장량을 측정할 수 없었으므로 전체 수고 성장량으로 비교 분석한 결과 식재 당해연도인 1991년에 수고의 평균이 H350cm이었으나 7년 뒤인 1998년에는 H491cm로 이식 후 수고생장은 평균 1.4배정도 신장하였다.

#### 연륜성장

느티나무 연륜생장은 이식 당년도인 1991년 24.6mm이었으나 1998년에는 40.7mm로 1.65배 더 성장하였다(표 5).

연륜생장의 특성은 식재 후 당해년(1991년)부터 식재 3년차(1993년) 까지 생장이 급감소하는 현상이 나타났으며, 이식 후에 생장이 감소하는 것은 곱솔의 연륜생장과 일치하였다. 이식 후 연륜생장의 감소기간은 곱솔보다 1년 더 늦게 까지 연장된 것

으로 나타났다.

표 5. 느티나무의 연륜생장

| Year                    | before transplanted    |      |      |      | after transplanted |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|------------------------|------|------|------|--------------------|------|------|------|------|------|------|
|                         | 1988                   | 1989 | 1990 | 1991 | 1992               | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
| Annual growth(mm)       | ?                      | 3.8  | 5.4  | 3.3  | 1.2                | 1.0  | 1.8  | 3.7  | 2.3  | 3.0  | 3.1  |
| Accumulation growth(mm) | ?                      | 17.5 | 21.3 | 24.6 | 25.8               | 26.8 | 28.6 | 32.3 | 34.6 | 37.6 | 40.7 |
| Growth ratio            | 24.6 : 40.7 = 1 : 1.65 |      |      |      |                    |      |      |      |      |      |      |

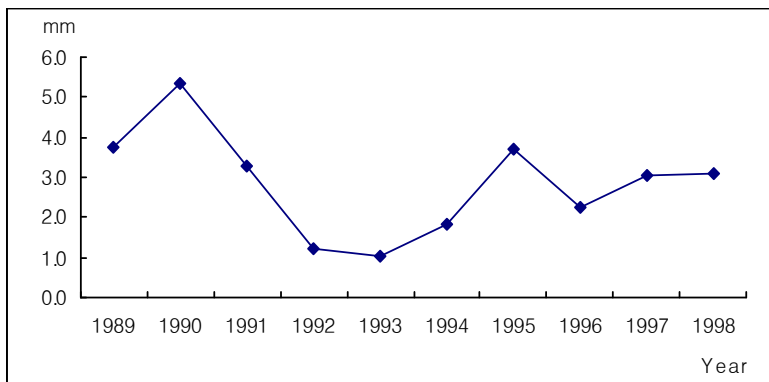


그림 8. 느티나무 연륜생장

### 뿌리생장

느티나무의 뿌리 구조는 성토지역에서는 정상적인 뿌리발달 구조를 나타내며, 객토매립지와 단목객토지역에서는 비정상적인 분지구조를 나타냈다. 성토지역은 측근(lateral roots)과 심장근(heart roots) 그리고 직근(tap)이 고르게 분포되어 있으며, 객토매립지역은 직근과 측근이 발달되지 못하고 표토층 쪽으로 상향하는 뿌리가 많으며, 주근 부위에 잔뿌리가 밀집되어 있다. 또한 단목객토지역의 뿌리는 객토가 포설되어 있는 상부층에만 측근과 잔뿌리가 발달되며, 준설토와 객토가 접하여 있는 25~35cm 층에는 수직근(vertical root)와 모근(mother root) 그리고 잔뿌리(fine root)가 빗자루 모양으로 밀집되어 있으며, 준설토가 있는 하부에는 뿌리발달이 되지 못하고 있었다. 이것으로 보아 느티나무는 준설토에서 생육이 어려움을 알 수 있다.

분지구조는 생장이 왕성하게 진행되는 성토 지역의 절단뿌리는 다분지 되지 않고 우세뿌리가 직근, 측근 또는 심장근으로 발달하고 있으나 생장이 불량한 객토매립지

역과 단목객토 지역에서는 절단된 뿌리에서 다분지 구조를 이루고, 비정상 유형인 기역자형(ㄱ형)과 다분지형(ㄷ형)으로 자라는 것이 많이 발견된다.

느티나무 잔뿌리량 중에서 산 뿌리량은 84.11g DM/m<sup>2</sup>이며, 죽은 뿌리량은 5.77g DM/m<sup>2</sup>으로 산 뿌리량이 죽은 뿌리량 보다 14.5배 정도 더 많았다.

산 잔뿌리량의 수직적 분포는 대부분 지역들에서 표토0~5cm 층 보다 지하 6~20cm 층에서 가장 많이 밀집되어 있으며, 죽은 잔뿌리는 대체적으로 표토층 부분보다는 지하 6~15cm 부분에서 가장 많았다(그림 9).

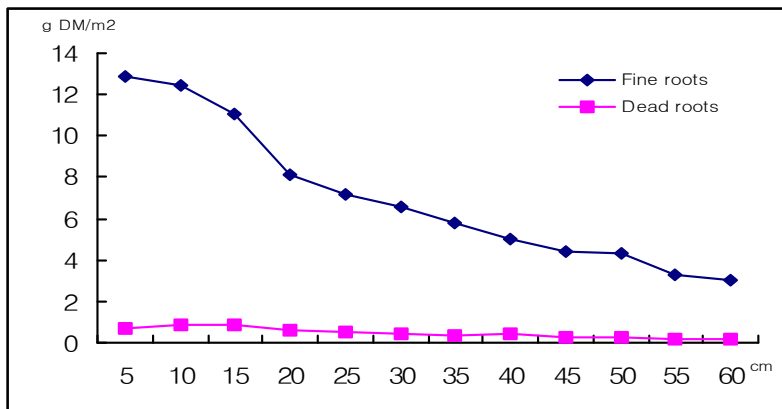


그림 9. 느티나무 산 잔뿌리와 죽은 잔뿌리의 수직적 분포

산 잔뿌리가 표토에서 깊이 20cm 부분에 밀집되어 있는 것은 양분과 수분 그리고 공기의 상태가 토양 광물(Mineral soil)이 상부층에서 가장 우호적이기 때문이다. 토양이 깊을수록 뿌리량이 감소하는 것은 토양이 깊어짐에 따라 공기의 공급, 영양염류, 공극률, 수분함량 등이 지수함수적으로 감소하는 현상과 관계가 있다. 산 잔뿌리의 수평적 분포는 주간(stem)으로부터 수평방향으로 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 및 100cm 거리로 멀어질수록 감소하였다.

#### 곰솔과 느티나무의 성장특성 비교 분석

곰솔과 느티나무 두 수종간 종속변수인 수고생장(height), 연륜생장(ring) 및 뿌리생장(root)의 차이에 대하여 t-검정을 수행한 결과 표 6과 같이 분석되었다.

3개의 종속변수 중에서 수고생장과 뿌리생장은 통계학적 유의수준 5% 이내에서 차이가 있으며, 연륜생장은 유의성이 없는 것으로 나타났다. 두 수종간에 수고생장이 통계적으로 유의성이 있는 것으로 나타난 것은 곰솔의 수고생장이 느티나무 보

다 속성으로 자라기 때문이고, 뿌리생장이 유의한 것은 곰솔보다 느티나무의 잔뿌리가 많기 때문이다.

표 6. 곰솔과 느티나무의 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장의 t-검정

|        | species | Mean(Std. Dev.)   | N  | t      | Sig   |
|--------|---------|-------------------|----|--------|-------|
| height | 0       | 38.900 (10.438)   | 30 | 4.299  | 0.000 |
|        | 1       | 18.666 (17.692)   | 30 |        |       |
| ring   | 0       | 549.352 (154.454) | 30 | 1.404  | 0.166 |
|        | 1       | 485.594 (194.893) | 30 |        |       |
| root   | 0       | 51.990 (23.235)   | 30 | -4.908 | 0.000 |
|        | 1       | 84.108 (27.292)   | 30 |        |       |

## 제 2 절 임해매립지 토양의 이화학적 성질

### 1. 임해매립지 토양의 이화학적 성질

#### 토성

토성은 대부분 지역들이 사양토(SL)이나, 중성토 지역은 사질식양토(SCL)로 구분되었다. 토양의 종류에 따른 토성은 객토의 경우 사양토(SL)이고, 준설토는 양사토(LS)로 구분되었다. 객토는 반입할 때 호트리진 토양으로 특성상 통기성과 배수가 양호하여 식물 생육에 유리한 토양이고, 준설토는 모래함량이 많아 수분 보유력이 낮아서 일반적인 조경수목 생육에는 불리한 토양이다. 따라서 조경수목 생육에는 객토가 준설토 보다 유리한 것으로 나타났다.

#### 토양경도

토양경도는 평균 21.9mm이며, 범위는 15.0mm~33.0mm이다. 뿌리발달에 지장을 초래하는 정도로 경도가 높게 나타난 지역은 객토매립지역이며, 성토지역일지라도 깊이 46cm이하의 층에서 국지적으로 발견된다. 경도가 높은 원인은 원지반 층은 공장과 주택 건설 당시 중장비에 의해 심하게 전압된 것이며, 성토 층에서 국지적으로 경도가 높게 나타난 것은 식재지반 조성시 운용된 중장비의 전압 때문이다.

#### 포장용수량

포장용수량은 평균 33.6%이며, 범위는 23.3%~58.7%이다. 객토는 34.1%이며, 준설토는 30.9%이다. 지역별로는 객토매립지역이 32.5%로 가장 낮으며, 다른 지역들은 33%~34%정도이다.

#### 토양 함수량

토양 함수량은 평균 8.4%이며, 범위는 3.4%~22.7%이다. 객토는 8.5%이고, 준설토는 6.8%이었다. 지역별로는 대성토지역이 10.4%로 가장 높고, 대성토가장자리와 중성토지역이 각각 6.5%와 6.7%로 가장 낮다.

#### 토양산도

토양 산도는  $pH_{1:5}$  5.0~ $pH_{1:5}$  8.0의 범위로 산성에서 강알칼리성 토양까지 구분된다. 토양종류별 토양산도는 객토의 경우  $pH_{1:5}$  6.6으로 중성이며, 준설토는  $pH_{1:5}$  7.5로 알칼리성 토양으로 구분되었다. 객토 중에서도 식재지반이 낮고 토양이 염류에 교란된 객토매립지역은  $pH_{1:5}$  7.5 이상 높게 나타나기도 하였다.

#### 전기전도도

전기전도도( $EC_{1:5}$ ) 측정치는 0.06dS/m~1.33dS/m의 범위로 나타났다. 토양 종류별  $EC_{1:5}$ 는 객토(산흙)와 준설토의 평균  $EC_{1:5}$ 가 각각 0.36dS/m, 0.73dS/m로 객토와 준설토

토 모두 수목 생육에 저해할 정도의 범위는 아니었으나 객토보다 준설토가 염류가 높다.

#### **나트륨(Na)**

나트륨(Na)은 평균 0.36me/100g이며, 범위 0.02me/100~1.42me/100g이며, 객토와 준설토는 각각 0.30me/100g와 1.09me/100g로 객토 보다 준설토가 더 높게 나타났다.

#### **칼륨(K)**

칼륨(K)의 농도는 평균 2.84me/100g이며, 범위는 0.09me/100~4.64me/100g이다. 객토와 준설토의 K 함량은 각각 2.84me/100g와 2.62me/100g로 객토가 준설토 보다 다소 많은 것으로 나타났다.

#### **칼슘(Ca)**

칼슘(Ca)의 농도는 평균 0.44me/100g이며, 범위는 0.03~1.90me/100g이다. 객토와 준설토의 Ca 함량은 각각 0.44me/100와 1.18me/100g로 나타나 객토 보다 준설토가 더 높았다.

#### **마그네슘(Mg)**

마그네슘(Mg)의 농도는 평균 0.52me/100g이며, 범위는 0.32me/100~0.94me/100g이다. 객토와 준설토의 Mg 함량은 각각 0.54me/100g와 0.48me/100g로 객토가 준설토 보다 많았다.

#### **전탄소(T-C)**

전탄소(T-C)은 평균 0.29%이며, 범위 0.04%~1.62%이다. 토양 종류별 전탄소(T-C)는 객토와 준설토가 각각 0.31%와 0.24%로 객토가 준설토 보다 다소 높았다. T-C가 객토에서 준설토보다 높게 나타난 것은 표토층의 낙엽과 유기물 등이 집적되고 있기 때문이다.

#### **전질소(T-N)**

전질소(T-N; Total Nitrogen)는 평균 0.05%이며, 범위는 0.02%~0.18%이다. 객토와 준설토의 전질소(T-N)는 각각 0.05%와 0.04%로 수목 생육에 필요한 최소량 보다 과부족한 상태이었다.

## **2. 토양의 수직적 성질**

토양성질들의 수직적 변화는 토양의 깊이에 따라 토양성질이 높아지는 것과 낮아지는 경향이 있는 것 그리고 불규칙적으로 변화하는 것들로 구분된다.

토양이 깊어짐에 따라 토양성질이 높아지는 것은 EC<sub>1:5</sub>, Na, K, Ca 등이고, 토양이 깊어짐에 따라 토양성질이 낮아지는 것은 유기물과 관련된 T-C와 T-N이다. 불

규칙적으로 변화하는 것은 토양경도과 토성이다. 즉, 토양이 깊어질수록 토양염류는 높아지며, 유기물은 표토 부분에서 높으며, 토양의 물리적 성질은 토양의 국지층에서 불규칙적으로 변화하는 것으로 판단되었다.

표토 부분에서 EC<sub>1:5</sub>가 높은 것은 조풍에 의한 염류집적이 영향을 미치며, T-C와 T-N이 높은 것은 표토 부분의 낙엽과 식재 당시 유기물 시비 때문으로 추정된다.

### 3. 식재지반 높이에 따른 토양 이화학적 성질

식재지반 높이에 따른 토양 이화학적 성질의 차이는 식재지반의 높이에 따라 PL+0.3m 이하 지역은 객토매립지역, 단목객토지역, 대성토가장자리 이고, PL+1.0~1.5m 지역은 중성토, 대성토사면부이며, PL+3.0m 이상의 지역은 대성토정상부로 구분하여 분석한 결과 표 7과 같다.

표 7. 식재지반 높이에 따른 토양 이화학적 성질의 차이

| Soil              | Unit    | PL+0.3m 이하 | PL+1.0~1.0 m | PL+3.0m 이상 |
|-------------------|---------|------------|--------------|------------|
| sand              | %       | 77.521     | 74.483       | 75.167     |
| silt              | %       | 10.738     | 12.127       | 11.645     |
| clay              | %       | 11.812     | 13.450       | 13.220     |
| hardness          | mm      | 23.513     | 20.895       | 19.208     |
| water retention   | %       | 33.262     | 34.333       | 33.683     |
| water content     | %       | 7.734      | 8.589        | 10.404     |
| pH <sub>1:5</sub> | -       | 7.097      | 6.640        | 5.825      |
| EC <sub>1:5</sub> | dS/m    | 0.521      | 0.314        | 0.163      |
| Na                | me/100g | 0.482      | 0.264        | 0.232      |
| K                 | me/100g | 2.410      | 3.171        | 3.478      |
| Ca                | me/100g | 0.672      | 0.271        | 0.097      |
| Mg                | me/100g | 0.539      | 0.554        | 0.440      |
| T-C               | %       | 0.370      | 0.270        | 0.138      |
| T-N               | %       | 0.052      | 0.054        | 0.055      |

토양성질은 식재지반의 높이에 따라 다르게 나타났다.

토양성질이 식재지반이 높을수록 토양성질이 높아지는 것은 K, 토양함수량이며, 식재지반이 높을수록 토양성질이 낮아지는 것은 pH<sub>1:5</sub>, EC<sub>1:5</sub>, Na, Ca, T-C 및 토양경도이며, 식재지반 높이에 따라 변화가 없는 것은 미사토, 점토와 T-N이며, 불규칙한 토양성질은 Mg 이다. 이것으로 보아 식재지반이 높은 곳은 낮은 곳 보다 수분함량

이 많고, 염류에 영향을 적게 받는 것으로 판단되었다.

## 2. 조경수목 성장저해 토양인자 구명

임해매립지 토양의 이화학적 성질을 조사 분석한 결과 조경수목 생장에 저해되는 토양인자는 토양경도, pH<sub>1:5</sub>, K, Ca, Mg, T-N로 6개 요인이었다(표 8).

표 8. 조경수목의 성장저해 토양요인 분석

| Soil            | Unite   | Mean   | Min.   | Max.   | Proper range | Criterion |
|-----------------|---------|--------|--------|--------|--------------|-----------|
| sand            | %       | 76.092 | 54.000 | 94.300 | **           | -         |
| silt            | %       | 11.329 | 1.150  | 27.550 | **           | -         |
| clay            | %       | 12.578 | 2.750  | 20.300 | **           | -         |
| hardness        | mm      | 21.923 | 15.000 | 33.000 | 25 이내 *      | X         |
| water retention | %       | 33.689 | 23.380 | 58.760 | **           | -         |
| water content   | %       | 8.464  | 3.400  | 22.700 | **           | -         |
| pH              | -       | 6.733  | 5.010  | 8.000  | 4.5~8.0 *    | X         |
| EC              | dS/m    | 0.390  | 0.060  | 1.335  | 1.5 이내 *     | O         |
| Na              | me/100g | 0.367  | 0.020  | 1.424  | **           | -         |
| K               | me/100g | 2.842  | 0.095  | 4.640  | 3.0~0.6*     | X         |
| Ca              | me/100g | 0.442  | 0.035  | 1.901  | 5.0~2.5*     | X         |
| Mg              | me/100g | 0.527  | 0.325  | 0.941  | 3.0~0.6*     | X         |
| T-C             | %       | 0.298  | 0.045  | 1.620  | **           | -         |
| T-N             | %       | 0.052  | 0.026  | 0.180  | 0.12~0.06*   | X         |

\* : 적합범위(한국조경학회. 1999. 조경설계기준. 도서출판 조경. 287)

\*\* : 조경수목 성장저해 기준이 없음.

O : 조경수목 성장적합

X : 조경수목 성장부적합

임해매립지에서 토양성질이 높기 때문에 조경수목 생장에 저해되는 것은 토양경도와 pH<sub>1:5</sub> 이었고, 토양성질이 과부족하기 때문에 조경수목 생장에 불리한 요인은 K, Ca, Mg이고, 과잉과 과부족 현상이 같이 나타난 것은 T-N이었다. 나머지 토성, 포장용수량, 토양함수량, Na, T-C는 수목생장 저해 기준이 없으므로 파악하지 못하였다.

### 제 3 절 조경수목생장과 토양이화학적 성질의 관계

#### 1. 종속변수와 각 독립변수들간의 상관관계

종속변수인 수고생장(height), 연륜생장(ring) 및 뿌리생장(root)과 독립변수인 토양경도(Hardness), 토양산도(pH<sub>1:5</sub>), 칼륨(K), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg)과 전질소(T-N)의 관계를 알아보기 위하여 상관분석을 수행한 결과는 표 9과 같다.

표 9. 변수들간의 상관관계

|                   | height    | ring      | root      | species   | pH <sub>1:5</sub> | K         | hardness | Ca       | Mg       |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-----------|----------|----------|----------|
| ring              | .634(**)  |           |           |           |                   |           |          |          |          |
| root              | .060      | .298(*)   |           |           |                   |           |          |          |          |
| species           | -.578(**) | -.181     | .542(**)  |           |                   |           |          |          |          |
| pH <sub>1:5</sub> | -.556(**) | -.568(**) | -.251     | .302(*)   |                   |           |          |          |          |
| K                 | .744(**)  | .520(**)  | .138      | -.447(**) | -.638(**)         |           |          |          |          |
| hardness          | -.334(**) | -.684(**) | -.441(**) | -.229     | .588(**)          | -.259(*)  |          |          |          |
| Ca                | -.383(**) | -.544(**) | -.229     | -.131     | .268(*)           | -.395(**) | .685(**) |          |          |
| Mg                | .023      | -.092     | -.050     | -.137     | -.194             | .205      | .384(**) | .583(**) |          |
| T-N               | -.227     | -.135     | .141      | .361(**)  | -.148             | -.100     | -.139    | .137     | .399(**) |

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

상관분석 결과 유의한 변수들 중에서 상관관계가 가장 높은 것은 수고생장과 K로 상관계수가 0.744이고, 유의성이 가장 낮은 상관을 보인 것은 토양경도와 K로 상관계수가 0.259이다.

상관관계가 유의한 것들 중에서 정(+)의 상관관계가 있는 것 중 상관계수가 높은 것은 수고생장과 K이며, 부(-)의 상관관계가 있는 것 중 상관계수가 높은 것은 연륜생장과 토양경도이다.

#### 수고생장과 각 토양성분과의 관계

수고생장과 토양 이화학적 성질의 상관분석 결과 유의성이 있는 것들 중에서 상관관계가 가장 큰 것은 K로 상관계수가 0.774로 정(+)의 상관이고, pH<sub>1:5</sub>와 토양경도 순으로 상관계수가 높으며, 부(-)의 상관이다. 또한 수고생장과 수중은 상관계수가 0.578로 유의성이 있으며 부(-)의 상관 관계가 있다.

### 연륜생장과 각 토양성분과의 관계

연륜생장과 토양 변수들과의 상관분석 결과 유의한 것들 중에서 상관관계가 가장 높은 것은 토양경도로 상관계수가 0.684이고 부(-)의 상관이며, pH<sub>1:5</sub>와 K 순으로 상관관계가 높으며, pH<sub>1:5</sub>는 부(-)의 상관이며 K는 정(+)의 상관이 있다.

### 뿌리생장과 각 토양성분과의 관계

뿌리생장과 토양변수들과의 상관분석 결과에서 유의한 변수는 토양경도 뿐으로 상관계수 0.441로 부(-)의 상관이며, pH<sub>1:5</sub>와 K 그리고 T-N은 차이가 없었다. 한편, 뿌리생장과 수중과의 관계에서 상관계수 0.542로 높고 유의하며 정(+)의 상관이다.

## 2. 수중별 조경수목생장과 토양 이화학적 성질

### 1) 곰솔

곰솔의 생장과 토양성질의 상관분석 결과 표 10과 같이 나타났다. 상관분석 결과에서 유의한 것 중에서 상관계수가 가장 높은 것은 Mg와 수고생장이 상관계수 0.774이며, 상관계수가 가장 낮은 것은 뿌리생장과 T-N으로 상관계수 0.404이다.

표 10. 곰솔의 성장특성과 토양성질의 상관분석

|                   | height    | ring      | root      | hardness | pH <sub>1:5</sub> | K    | Ca       | Mg       |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------------------|------|----------|----------|
| ring              | .697(**)  |           |           |          |                   |      |          |          |
| root              | .390(*)   | .031      |           |          |                   |      |          |          |
| hardness          | -.702(**) | -.871(**) | -.063     |          |                   |      |          |          |
| pH <sub>1:5</sub> | .(a)      | .(a)      | .(a)      | .(a)     |                   |      |          |          |
| K                 | .(a)      | .(a)      | .(a)      | .(a)     | .(a)              |      |          |          |
| Ca                | -.666(**) | -.770(**) | .112      | .778(**) | .(a)              | .(a) |          |          |
| Mg                | -.774(**) | -.663(**) | -.274     | .810(**) | .(a)              | .(a) | .806(**) |          |
| T-N               | -.618(**) | -.404(*)  | -.564(**) | .296     | .(a)              | .(a) | .548(**) | .514(**) |

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

a Cannot be computed because at least one of the variables is constant.

### 수고생장과 각 토양성분과의 관계

곰솔의 수고생장과 토양성질의 상관분석 결과 유의한 것 중에서 상관계수가 가장 높은 것은 수고생장과 Mg로 상관계수 0.774이며, 상관계수가 가장 낮은 것은 수고생장과 T-N으로 상관계수가 0.618이다.

### 연륜생장과 각 토양성분과의 관계

곰솔의 연륜생장과 토양변수들과의 상관분석 결과 유의한 것들 중에서 상관계수가 높은 것은 수고생장과 Ca로 상관계수 0.770이며, 연륜생장과 T-N으로 상관계수 0.404이며, 부(-)의 상관관계이다.

### 뿌리생장과 각 토양성분과의 관계

곰솔 뿌리생장과 토양변수들과의 상관분석 결과 유의한 것들 중에서 상관계수가 가장 높은 것은 뿌리생장과 T-N으로 상관계수 -0.564이고, 부(-)의 상관이다.

## 2) 느티나무

느티나무의 생장과 토양 이화학적 성질의 상관분석 결과 표 11과 같이 나타났다.

표 11. 느티나무의 성장특성과 토양 이화학적 성질의 상관분석

|                   | height    | ring      | root      | hardness  | pH <sub>1:5</sub> | K         | Ca    | Mg       |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-------|----------|
| ring              | .650(**)  |           |           |           |                   |           |       |          |
| root              | .633(**)  | .782(**)  |           |           |                   |           |       |          |
| hardness          | -.549(**) | -.677(**) | -.664(**) |           |                   |           |       |          |
| pH <sub>1:5</sub> | -.570(**) | -.698(**) | -.679(**) | .998(**)  |                   |           |       |          |
| K                 | .773(**)  | .637(**)  | .664(**)  | -.584(**) | -.590(**)         |           |       |          |
| Ca                | -.573(**) | -.424(*)  | -.539(**) | .564(**)  | .540(**)          | -.848(**) |       |          |
| Mg                | .468(**)  | .437(*)   | .369(*)   | -.206     | -.267             | .268      | .175  |          |
| T-N               | .259      | .134      | .271      | -.351     | -.371(*)          | .095      | -.162 | .485(**) |

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

유의성이 있는 것 중에서 상관계수가 높은 것은 수고생장과 K로 상관계수가 0.773이며, 상관계수가 가장 낮은 것은 뿌리생장과 Mg로 상관계수는 0.369이다.

### 수고생장과 각 토양성분과의 관계

느티나무의 수고생장과 토양 이화학적 성질과의 상관분석 결과 유의성이 있는 것들 중에서 상관관계가 가장 높은 것은 K로 상관계수 0.773이고 정(+)의 상관이며, pH<sub>1:5</sub>와 토양경도 순으로 상관관계가 높으며 이들 모두 부(-)의 상관이다.

### 연륜생장과 각 토양성분과의 관계

연륜생장과 토양변수들과의 상관분석 결과 유의성이 있는 것들 중에서 가장 상관관계가 높은 것은 pH<sub>1:5</sub>로 상관계수 0.698로 부(-)의 상관이다. 상관관계가 가장 낮은 것은 Ca로 상관계수가 0.424이며 부(-)의 상관이다.

### 뿌리생장과 각 토양성분과의 관계

뿌리생장과 토양변수들과의 상관분석 결과 유의성이 있는 것 중에서 상관관계가 가장 높은 것은  $\text{pH}_{1:5}$ 로 상관계수 0.679이며 부(-)의 상관이며, 뿌리생장과 상관관계가 낮은 것은 Mg로 상관계수 0.369이며 정(+)의 상관이다.

## 제 4 절 임해매립지의 조경수목 성장특성

### 1. 조경수목 성장에 관한 다변량 통계분석

#### 1) 조경수목 성장과 토양 이화학적 성질에 관한 다변량 통계분석

성장변수군인 수고생장(height), 연륜생장(ring), 뿌리생장(root)과 이에 영향을 미치는 예측변수군인 수종(species), 토양경도(Hardness), 토양산도(pH<sub>1:5</sub>), 칼륨(K), 전질소(T-N)의 관계를 다변량통계분석을 통해 확인하였다. 예측변수군 중에서 Ca와 Mg는 모든 지역의 관측치가 조경수목 성장을 저해하는 토양요인이기 때문에 토양성질에서 차이가 없으므로 독립변수에서 빼고 분석하였다.

표 12. 정준상관분석

|   | Canonical Correlation | Adjusted Canonical Correlation | Approx Standard Error | Squared Canonical Correlation |
|---|-----------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.842976              | 0.828884                       | 0.037676              | 0.710609                      |
| 2 | 0.583040              | 0.561474                       | 0.085933              | 0.339936                      |
| 3 | 0.167388              | 0.126562                       | 0.126541              | 0.028019                      |

Eigenvalues of  $INV(E)*H = CanRsq/(1-CanRsq)$

|   | Eigenvalue | Difference | Proportion | Cumulative |
|---|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 2.4555     | 1.9405     | 0.8187     | 0.8187     |
| 2 | 0.5150     | 0.4862     | 0.1717     | 0.9904     |
| 3 | 0.0288     | .          | 0.0096     | 1.0000     |

Test of H0: The canonical correlations in the current row and all that follow are zero

|   | Likelihood Ratio | Approx F | Num DF | Den DF   | Pr > F |
|---|------------------|----------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.18566457       | 10.4182  | 12     | 140.5163 | 0.0001 |
| 2 | 0.64156967       | 4.4725   | 6      | 108      | 0.0004 |
| 3 | 0.97198114       | 0.7927   | 2      | 55       | 0.4577 |

Multivariate Statistics and F Approximations  
S=3 M=0 N=25.5

| Statistic              | Value      | F       | Num DF | Den DF   | Pr > F |
|------------------------|------------|---------|--------|----------|--------|
| Wilks' Lambda          | 0.18566457 | 10.4182 | 12     | 140.5163 | 0.0001 |
| Pillai's Trace         | 1.07856382 | 7.7183  | 12     | 165      | 0.0001 |
| Hotelling-Lawley Trace | 2.99936228 | 12.9139 | 12     | 155      | 0.0001 |
| Roy's Greatest Root    | 2.45553092 | 33.7636 | 4      | 55       | 0.0001 |

NOTE: F Statistic for Roy's Greatest Root is an upper bound.

표 13. 정준표준화 계수

| Standardized Canonical Coefficients for the 'VAR' Variables |        |         |         |
|---|--------|---------|---------|
|   | D1     | D2      | D3      |
| height  | 0.5117 | 1.1126  | 0.4725  |
| ring  | 0.5334 | -0.9259 | -0.8616 |
| root  | 0.1896 | -0.2946 | 1.0046  |

| Standardized Canonical Coefficients for the 'WITH' Variables |         |         |        |
|--|---------|---------|--------|
|  | W1      | W2      | W3     |
| pH <sub>15</sub>   | -0.0679 | -0.2066 | 0.3539 |
| K  | 0.5985  | 0.6203  | 0.5824 |
| T-N  | -0.2244 | -0.1370 | 1.0086 |
| hardness   | -0.5700 | 0.9346  | 0.0082 |

먼저, 3개의 종속변수들은 앞서 고찰한 바와 같이 통계적 유의성이 높고, 상관관계가 높기 때문에 각각의 종속변수와 독립변수들과의 관계로 분석할 수 없다. 따라서 두 변수군들의 관계이고 자료가 양적으로 측정되었으므로 정준상관분석(Canonical correlation analysis)을 수행한 결과는 표12와 표13과 같다.

표 12에서 Wilk's Lambda 의 값은 0.0001%에서 유의성이 있는 것으로 판명되어 모형의 통계적 유의성이 대단히 높은 것으로 판명되었다. 도출된 3개의 정준함수들의 정준상관계수들은 각각 0.842976, 0.583040, 0.167388로 나타났으나 3번째 함수는 설명력(Proportion)의 값이 0.0096으로 무시해도 좋은 값이므로 2개의 의미 있는 정준함수를 도출할 수 있다. 정준함수의 첫 번째와 두 번째 고유치(Eigenvalue)는 각각 2.4555, 0.5150이며, 총 분산 중에서 각각의 정준함수가 설명하는 설명력(Proportion)의 값은 각각 0.8187과 0.1717로 총 99.04%를 설명하는 것으로 판명되었다.

그러나 이러한 정준상관 분석의 결과는 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장의 3개 변수로 구성된 생장변수군이 D1과 D2의 2개의 새로운 생장변수로 요약된 결과를 얻기는 했으나 생장변수군을 설명하는 예측변수들의 영향을 이해하고 설명하기가 어렵다.

따라서 도출된 정준상관 함수 D1과 D2와의 관계는 그림 10과 같이 나타낼 수 있으며 조경수목의 생장에 관한 3개로 구성된 독립변수군은 정준상관함수 D1과 D2의

값을 1개의 벡터 값으로 환산할 수 있으며, 이는 결국 조경수목 성장량을 나타내는 1개의 독립변수로 전환시킨 결과가 된다(그림 10). 조경수목 성장 벡터 값은 조경수목성장 지수(DALL)의 변수값으로 명명한다.

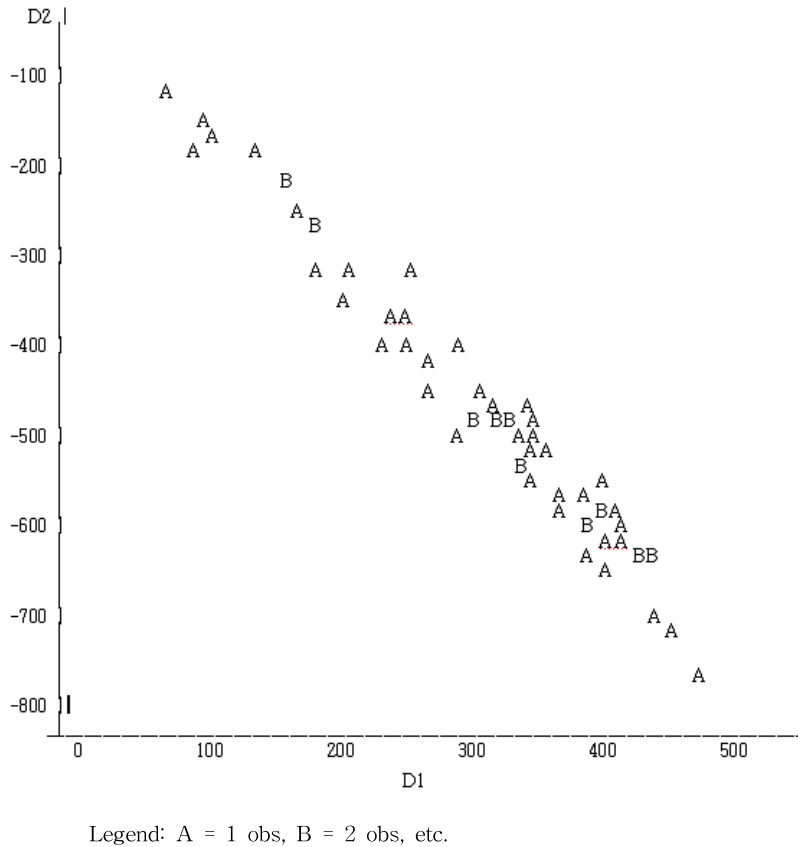


그림 10. 정준상관함수 D1과 D2의 관계

따라서 성장지수(DALL)를 종속변수로 하고, 조경수목의 종류, 토양에 관한 변수들을 독립변수로 하는 다중회귀분석을 통하여 전체적으로 어떤 독립변수가 조경수목의 성장지수에 영향을 미쳤는지 그 유의성, 크기, 방향, 상대적 기여도를 평가하였다.

## 2) 다중회귀분석 회귀모형 정립의 오류 검정

다중회귀분석에 앞서 모형정립의 오류(model specifications)에 관한 검토를 한 결과 종속변수의 설명에 필요한 변수의 불포함, 불필요한 변수의 포함, 가법성(additivity), 선형성(linearity)의 문제가 없었다(표 14).

표 14. 다중선형모형 결과

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: Result of multiple linear regression

Dep. Var: DALL

|          |           |          |        |
|----------|-----------|----------|--------|
| Root MSE | 106.97268 | R-square | 0.7067 |
| Dep Mean | 557.38058 | Adj R-sq | 0.6672 |
| C.V.     | 19.19203  |          |        |

| 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 <sub>1:5</sub> | 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 |

### 회귀모형 가정의 검토

다중회귀모형의 가정인 다중공선성, 이상점, 잔차의 정규성, 선형성, 등분산성에 대하여 검토하였다. 분산팽창계수(VIF)가 5.159로 최고 값이었고, 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.

### 모형의 점검

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, 수정결정계수(Adj.  $R^2$ )의 값이 0.667로 나타나 상당히 높은 설명력을 지니고 있다. 즉, 이 모형에 의해 전체 변동의 70.7%가 설명할 수 있다. F-검정을 수행한 결과  $F=17.897$ 로 확률이 0.0001로 나타나 유의성이 대단히 높은 것으로 판명되었다. 이상의 3가지 모형검정의 결과를 고려할 때 추정된 회귀모형은 적합한 모형이었다.

### 3) 독립변수에 대한 검정

#### 관계의 유무

각각의 독립변수들이 종속변수인 조경수목 성장량의 설명에 미치는 영향에 대하여 통계적으로 5%이내에서 유의한 것은 토양경도(hardness)와 Mg, T-N이다. 반면, 토양산도( $pH_{1:5}$ )와 전질소(T-N) 그리고 수종(species)은 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

#### 인과관계의 방향

각 독립변수가 종속변수인 조경수목 성장에 대하여 영향을 미치는 방향은 회귀계수(coefficients) 값의 부호를 검토함으로써 확인하였다. 토양경도와 T-N의 경우는 부(-)의 관계로 작용하고, Mg는 정(+)의 관계로 작용하는 것으로 나타났다.

#### 인과관계의 크기

독립변수의 값이 증가함에 따라 조경수목 성장의 변화 정도는 독립변수의 비표준화 회귀계수(coefficient)에 의하여 검토하였다. 즉, 이 모형에서 다른 조건이 불변인 경우, T-N 값의 한 단위의 증가는 수목 성장량의 값을 516.1596 만큼 성장을 감소시키며, 종속변수의 값에 가장 큰 변화를 주는 변수로 확인되었다. 또한 다른 변수들이 불변일 경우 독립변수인 Mg 값의 한 단위 증가는 80.466 만큼 수목 생장이 증가한다.

#### 종속변수에 대한 상대적 기여도의 크기

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

다중회귀식의 결과에서 임해매립지 조경수목의 성장에 가장 크게 영향을 미치는 토양인자는 토양경도와 Mg 순이고, 토양경도는 높을수록 조경수목의 성장을 저해하고, Mg는 높을수록 성장을 증가시키는 것으로 나타났다.

## 2. 수고생장에 관한 다중회귀분석

수고생장에 대하여 다중회귀분석에 앞서 모형정립의 오류(model specifications)에 관한 검토를 한 결과 종속변수의 설명에 필요한 변수의 불포함, 불필요한 변수의 포함, 가법성(additivity), 선형성(linearity)의 문제가 없었다(표 15).

표 15. 수고생장의 다중선형모형 결과

a: Analysis of variance

| Source  | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Prob>F |
|---------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model   | 13351.4438     | 1907.3491   | 19.729  | 0.0001 |
| Error   | 5027.3411      | 96.6796     |         |        |
| C Total | 18378.7849     |             |         |        |

b: Result of multiple linear regression

Dep. Var: height

Root MSE 9.8325 R-square 0.7265

Dep Mean 28.7836 Adj R-sq 0.6896

C.V. 34.1602

| Variable         | Parameter Estimate | Standard Error | Standardized Estimate | T-value | Prob. |
|------------------|--------------------|----------------|-----------------------|---------|-------|
| intercept        | -78.4652           | 130.7968       | 0.0000                | -0.600  | 0.551 |
| species          | -17.4063           | 3.7835         | -0.4972               | -4.601  | 0.000 |
| hardness         | -0.4643            | 0.1683         | -0.4544               | -2.759  | 0.008 |
| pH <sub>15</sub> | 3.4150             | 2.7725         | 0.1887                | 1.232   | 0.223 |
| K                | 8.7767             | 2.7581         | 0.4387                | 3.182   | 0.002 |
| Ca               | -0.4807            | 0.7145         | -0.1028               | -0.673  | 0.504 |
| Mg               | 2.6537             | 2.0837         | 0.1740                | 1.274   | 0.208 |
| T-N              | -15.7751           | 15.5913        | -0.0958               | -1.012  | 0.316 |

### 1) 회귀모형 가정의 검토

다중회귀모형의 가정인 다중공선성, 이상점, 잔차의 정규성, 선형성, 분산성에 대하여 검토한 결과 이상이 없었다.

### 2) 모형의 점검

모형의 적합성은  $Se = \sqrt{MSE}$ , 결정계수( $R^2$ ), F-검정을 통해 검토한 결과 추정 값

의 표준오차( $\sqrt{MSE}$ )는 9.83258이며, 결정계수는 0.7265이고, 수정결정계수의 값이 0.6896으로 나타나 상당히 높은 설명력을 지니고 있다. 즉, 이 모형에 의해 전체 변동의 72.65%를 설명한다는 의미이다. F-검정을 수행한 결과  $F=19.729$ 로 확률이 0.0001로 나타나 유의성이 대단히 높은 것으로 판명되었다. 이상의 3가지 모형검정의 결과를 고려할 때 추정된 회귀모형은 적합한 모형으로 수용할 수 있다.

### 3) 독립변수에 대한 검정

#### 관계의 유무

각각의 독립변수들이 종속변수인 수고생장의 설명에 미치는 영향에 대한 유의성을 평가해 보면 통계적으로 유의수준 5%이내에서 유의성이 있는 것은 수종과 토양경도 및 K이며, 유의성이 없는 것은  $pH_{1:5}$ 와 T-N, Ca 및 Mg이다.

#### 인과관계의 방향

각 독립변수가 수고생장에 영향을 미치는 방향은 회귀계수(coefficients) 값의 부호를 검토 결과에서 토양경도와 수종의 경우는 부(-)의 관계이고, K는 정(+)의 관계로 나타났다.

#### 인과관계의 크기

독립변수의 값이 증가함에 따라 수고생장이 변화하는 정도를 검토한 결과, 이 모형에서 다른 조건이 불변인 경우 독립변수인 K의 값의 한 단위의 증가는 8.7767만 큼 성장지수가 증가한다.

#### 종속변수에 대한 상대적 기여도의 크기

각각의 독립변수가 수고생장에 대한 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값의 크기가 수종이 0.497로 가장 크고, 토양경도가 0.454이며, K가 0.439 순으로 나타났다.

수고생장의 다중회귀식 결과에서 임해매립지 조경수목의 수고생장에 가장 크게 영향을 미치는 토양인자는 토양경도와 K 순이다. 토양경도는 높을수록 조경수목의 수고생장을 저해하고, K는 높을수록 수고생장을 증가시키는 것으로 나타났다.

### 3. 연륜생장에 관한 다중회귀 분석

연륜생장의 다중회귀분석에 앞서 모형정립의 오류(model specifications)에 대하여 검토한 결과 종속변수의 설명에 필요한 변수의 불포함, 불필요한 변수의 포함, 가법성(additivity), 선형성(linearity)의 문제가 없었다(표 16) .

표 16. 연륜생장의 다중선형모형 결과

a: Analysis of variance

| Source  | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Prob>F |
|---------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model   | 1342083.5186   | 191726.2169 | 19.463  | 0.0001 |
| Error   | 512242.4421    | 9850.8161   |         |        |
| C Total | 1854325.9607   |             |         |        |

b: Result of multiple linear regression

Dep. Var: ring

Root MSE 99.2512 R-square 0.7238

Dep Mean 517.4731 Adj R-sq 0.6866

C.V. 19.1799

| Variable         | Parameter Estimate | Standard Error | Standardized Estimate | T-value | Prob. |
|------------------|--------------------|----------------|-----------------------|---------|-------|
| intercept        | 481.2964           | 1320.279       | 0.000                 | 0.365   | 0.716 |
| species          | -105.3163          | 38.191         | -0.299                | -2.758  | 0.008 |
| hardness         | -10.1159           | 1.699          | -0.985                | -5.953  | 0.000 |
| pH <sub>15</sub> | 50.1122            | 27.986         | 0.275                 | 1.791   | 0.079 |
| K                | 18.5133            | 27.841         | 0.092                 | 0.665   | 0.509 |
| Ca               | -9.6336            | 7.212          | -0.205                | -1.336  | 0.187 |
| Mg               | 78.5838            | 21.033         | 0.513                 | 3.736   | 0.000 |
| T-N              | -475.4861          | 157.381        | -0.287                | -3.021  | 0.003 |

### 1) 회귀모형 가정의 검토

다중회귀모형의 가정인 다중공성선, 이상점, 잔차의 정규성, 선형성, 등분산성에 대하여 검토한 결과 이상이 없었다.

### 2) 모형의 점검

연륜생장의 다중회귀 모형 적합성은  $Se = \sqrt{MSE}$ , 결정계수( $R^2$ ), F-검정을 검정한 추정값의 표준오차( $\sqrt{MSE}$ )는 99.2512이며, 결정계수 값은 0.7238이고, 수정결정계수의 값이 0.6866으로 나타나 상당히 높은 설명력을 지니고 있다. 즉, 이 모형에 의해 전체 변동의 72.38%를 설명할 수 있다. F-검정을 수행한 결과  $F=19.463$ 으로 확률이 0.0001로 나타나 유의성이 대단히 높은 것으로 판명되었다. 이상의 3가지 모형검정의 결과를 고려할 때 추정된 회귀모형은 적합한 모형으로 수용할 수 있다.

### (3) 독립변수에 대한 검정

### 관계의 유무

각각의 독립변수들이 종속변수인 연료생장의 설명에 미치는 영향에 대하여 통계적으로 유의수준 5%에서 유의성이 있는 것은 수중, 토양경도, Mg, T-N으로 나타났다.

### 인과관계의 방향

각 독립변수가 종속변수인 연료생장에 대하여 영향을 미치는 방향은 회귀계수(coefficients) 값의 부호 검토 결과 수중, 토양경도, T-N의 경우는 부(-)의 관계로 작용하고, Mg는 정(+)의 관계로 작용하는 것으로 나타났다.

### 인과관계의 크기

독립변수의 값이 증가함에 따라 연료생장이 변화하는 정도를 검토 결과 다른 조건이 불변일 경우, T-N값의 한 단위의 증가는 연료 성장량의 값을 475.486 만큼 생장이 감소되며, 다른 변수들이 불변일 경우 독립변수인 Mg 값의 한 단위 증가는 78.583 만큼 연료생장의 증가를 가져온다.

### 종속변수에 대한 상대적 기여도의 크기

각각의 독립변수가 종속변수인 연료생장의 크기에 대하여 상대적으로 기여하는 정도는 표준화계수(standardized estimate) 절대값의 비교 결과 토양경도가 0.986으로 가장 크고, 그 다음으로는 Mg가 0.513이며, 토양경도는 Mg에 대하여 약 1.9배 정도의 중요도를 보인다.

연료생장의 다중회귀식의 결과에서 연료생장에 가장 크게 영향을 미치는 토양인자는 토양경도와 Mg 순이며, 토양경도는 높을수록 연료생장을 저해하고, Mg는 높을수록 연료생장이 유리한 것으로 나타났다.

## 4. 뿌리생장에 관한 다중회귀 분석

뿌리생장에 대한 다중회귀분석에 앞서서 모형정립의 오류(model specifications)에 관한 검토를 한 결과 종속변수의 설명에 필요한 변수의 불포함, 불필요한 변수의 포함, 가법성(additivity), 선형성(linearity)의 문제가 없었다(표 17).

### 1) 회귀모형 가정의 검토

다중회귀모형의 가정인 다중공성선, 이상점, 잔차의 정규성, 선형성, 등분산성에 대하여 검토 결과 이상이 없었다.

표 17. 뿌리생장의 다중선형모형 결과

a: Analysis of variance

| Source  | Sum of Squares | Mean Square | F Value | Prob>F |
|---------|----------------|-------------|---------|--------|
| Model   | 31537.0523     | 4505.2932   | 11.053  | 0.0001 |
| Error   | 21194.6736     | 407.5898    |         |        |
| C Total | 52731.7259     |             |         |        |

b: Result of multiple linear regression

Dep. Var: root

| Root MSE          | 20.18886           | R-square       | 0.5981                |         |       |
|-------------------|--------------------|----------------|-----------------------|---------|-------|
| Dep Mean          | 68.04967           | Adj R-sq       | 0.5440                |         |       |
| C.V.              | 29.66782           |                |                       |         |       |
| Variable          | Parameter Estimate | Standard Error | Standardized Estimate | T-value | Prob. |
| intercept         | 479.6606           | 268.5601       | 0.000                 | 1.786   | 0.079 |
| species           | 53.5288            | 7.7686         | 0.902                 | 6.890   | 0.000 |
| hardness          | -0.3665            | 0.3456         | -0.211                | -1.061  | 0.293 |
| pH <sub>1:5</sub> | -7.5398            | 5.6928         | -0.246                | -1.324  | 0.191 |
| K                 | 17.5677            | 5.6632         | 0.518                 | 3.102   | 0.003 |
| Ca                | 3.4446             | 1.4671         | 0.435                 | 2.348   | 0.022 |
| Mg                | -4.5691            | 4.2784         | -0.17                 | -1.068  | 0.290 |
| T-N               | -53.7895           | 32.0131        | 0.192                 | -1.680  | 0.098 |

## 2) 모형의 점검

모형의 적합성은  $Se = \sqrt{MSE}$ , 결정계수( $R^2$ ), F-검정 결과 추정값의 표준오차 ( $\sqrt{MSE}$ )는 20.18886이며, 결정계수는 0.5981이고, 수정결정계수 값이 0.5440으로 나타나 높은 설명력을 지니고 있다. 즉, 이 모형에 의해 전체 변동의 59.81%를 설명한다는 의미이다. F-검정은  $F=11.0653$ 으로 확률이 0.0001로 나타나 유의성이 대단히 높은 것으로 판명되었다. 이상의 3가지 모형검정의 결과를 고려할 때 추정된 회귀모형은 적합한 모형으로 수용할 수 있다.

## 3) 독립변수에 대한 검정

### 관계의 유무

각각의 독립변수들이 종속변수인 뿌리생장의 설명에 미치는 영향에 대하여 통계적으로 유의수준 5%이내에서 유의성이 있는 것은 수종, Ca, K이며, 유의성이 없는 것은 T-N, 토양경도, pH<sub>1:5</sub>, Mg로 나타났다.

### **인과관계의 방향**

각 독립변수가 뿌리생장의 값에 대하여 영향을 미치는 회귀계수(coefficients)의 값은 수종과 K, Ca는 정(+)의 관계가 있다.

### **인과관계의 크기**

독립변수의 값이 증가함에 따라 뿌리생장이 변화하는 정도를 검토한 결과 이 모형에서 다른 조건이 불변인 경우, 독립변수인 K 값의 한 단위 증가는 17.567배만큼 뿌리생장이 증가하고, Ca의 한 단위 증가는 3.444 만큼 뿌리생장이 증가한다.

### **종속변수에 대한 상대적 기여도의 크기**

각각의 독립변수가 뿌리생장에 대한 상대적 기여도를 표준화계수(Standardized estimate)의 절대값의 크기에 비교 결과 표준화 회귀계수의 절대값의 크기가 수종은 0.902이며, K는 0.519, Ca는 0.435 순으로 나타났다.

뿌리생장의 다중회귀식의 결과에서 연륜생장에 가장 크게 영향을 미치는 K와 Ca 순으로 이들의 토양성질의 함량이 많을수록 뿌리생장이 증가하는 것으로 나타났다.

## 제 5 절 종합고찰

임해매립지 조경수목의 성장 특성을 분석한 결과 조경수목 성장에 영향을 미치는 것들은 수목의 이식, 가뭄, 토양의 이화학적 성질이 있으며, 성장 특성은 수종에 따라 수고성장, 연륜성장, 뿌리생장의 특성이 다르게 나타났다.

임해매립지 조경수목 성장에서 이식에 의하여 수고생장과 연륜생장의 감소 현상이 뚜렷하게 나타났다. 수목이식에 의하여 조경용 수목생장이 급격히 감소하는 것은 조경용 적송(김태진과 변우혁, 1990)과 일치하는 것으로, 이것은 생육환경이 바뀌고, 뿌리의 절단, 전정 등에 의하여 수목생장에 영향을 미치기 때문이다.

가뭄이 발생하였던 기간에 조경수목의 부위별 성장 반응은 수고성장에는 감소현상이 나타나지 않았으며, 연륜성장에서는 곰솔과 느티나무 두 수종 모두 생장이 감소한 현상이 뚜렷하게 나타났다. 조경수목의 성장변화 추세와 영향 정도를 파악하는데는 연륜생장의 분석이 유용한 수단이 될 수 있을 것(김태진과 변우혁, 1990)으로 사료되었다. 가뭄에 수목의 생장이 감소하는 것은 수분의 결핍으로 형성층의 생장율이 직접 또는 간접적으로 작아지며, 한발이 계속될 때에는 성장 억제 호르몬이 작용하여 형성층의 활동이 둔화되기 때문이다(Kramer, 1986).

뿌리구조는 객토량이 많은 성토지역에서는 측근, 심장근, 직근이 정상적으로 발달하고 있으나 객토매립지역은 토양이 전압되어 뿌리가 발달되지 못하고 표토쪽으로 상향하는 비정상적 구조이었다. 단목객토지역에서 곰솔은 객토와 준설토에 양호하게 발달하였으나 느티나무는 뿌리생장이 객토에만 분포하고 준설토에는 잘 발달되지 못하고 있어서 준설토에서 곰솔은 적응이 가능하지만 느티나무는 어려운 것으로 판단되었다.

산 잔뿌리량은 곰솔보다 느티나무가 더 많았으며, 산 잔뿌리의 수직적 분포는 토양이 깊어짐에 따라 잔뿌리량이 감소하였다. 잔뿌리가 토심이 깊어짐에 따라 감소하는 것은 뿌리의 특이한 수직적 분포속성과 토양의 영양염류, 공극율, 수분함량 등이 지수 함수적으로 감소하는 현상과 관계가 있을 것이다(Harris, 1977; Persson, 1980; Fogel and Hunt, 1983; Powers, 1984; Santantonino and Hermann, 1985; McKay and Malcolm, 1988; 광영세, 1993). 표토로부터 지하 5cm 층이 지하6~15cm보다 잔뿌리량이 적은 것은 가뭄에 의해 토양의 건조가 계속되거나 여름에 높은 토양온도가 계속되어 잔뿌리가 고사되어 성장과 생산을 저하시키기 때문(광영세, 1993)일 것이다. 표토에서 지하 20cm 층이 가장 밀집되어 있는 것은 표층토가 공극이 커서 뿌리호흡이 왕성하게 할 수 있고, 영양염류 이용과 수분의 흡수가 쉽기 때문이다

(Harris *at al*, 1977; Vogt *et al*, 1981).

토양의 이화학적 성질은 임해매립지 기반조성 및 식재지반 조성방법과 토양의 종류에 따라 차이가 크게 나타났다. 토양의 종류에 따른 차이는 객토는 주로 사양토(SL)이고, 준설토는 양사토(LS)이었다. 조경수목 생장에 유리한 토양은 수분보유력과 치환성양이온의 함량으로 보아 객토가 준설토 보다 유리한 토양이었다.

토양이 깊어짐에 따라 토양성질의 함량이 높아지는 것은  $EC_{1:5}$ , Na, K, Ca이고, 토양성질의 함량이 낮아지는 것은 T-C와 T-N이고, 토양경도는 불규칙하게 나타나 토양이 깊어질수록 토양염류는 높아지며, 유기물은 적어지는 것으로 판단되었다. 식재지반이 높을수록 토양성질의 함량이 높아지는 것은 K와 토양함수량이며, 식재지반이 높을수록 토양성질의 함량이 낮아지는 것은  $pH_{1:5}$ ,  $EC_{1:5}$ , Na, Ca, T-C, 토양경도이며, 식재지반 높이에 따라 변화가 없는 것은 T-N이고, 변화가 불규칙한 것은 미사토, 점토, Mg 등으로 나타났다. 이것으로 보아 조경수목 생육상 식재지반이 높을수록 토양의 물리·화학적 성질이 유리한 것으로 판단되었다.

임해매립지 조경수목의 성장저해 토양요인은 토양경도,  $pH_{1:5}$ , K, T-N, Ca, Mg 등의 6개 토양인자로 나타났다. 조경수목 생육상 토양성질의 특성이 높기 때문에 생장에 저해되는 것은 토양경도와  $pH_{1:5}$ 이고, 토양성질의 함량이 과부족하기 때문에 조경수목 생장에 불리한 요인은 K, Ca, Mg이며, 과잉과 과부족 현상이 같이 나타나는 것은 T-N이었다. 이외의 토양성질들은 성장저해 기준이 없으므로 판정하지는 않았지만 이들 각 토양성질들은 단독 또는 다른 토양인자들과 상호작용에 의하여 조경수목 생장에 영향을 미칠 수 있으므로 추후 연구되어야 할 것이다. 임해매립지임에도 토양염분에 관한 토양성질들이 성장저해 수준으로 나타나지 않은 것은 매립기반이 높고, 식재지반 조성이 객토를 사용하여 높게 성토하였기 때문이다.

조경수목의 수고성장, 연륜성장, 뿌리생장과 이에 영향을 미치는 성장저해 토양인자에 대하여 통계학적으로 다중회귀분석 결과 생장에 크게 영향을 미치는 토양 요인은 토양경도와 K로 나타났다. 종속변수에 미치는 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값 크기는 토양경도가 0.988이고 Mg는 0.502이며, 토양경도는 K에 비하여 1.9배 중요도를 보인다.

수고생장에 대하여 다중회귀분석 결과 통계적으로 유의수준 5%이내에서 유의성이 있는 것들은 수중과 토양경도 및 K이며, 토양경도와 수중은 부(-)의 관계이고, K는 정(+)의 관계로 나타났다. 종속변수에 미치는 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값의 크기가 수중은 0.479이고, 토양경도는 0.454이며, K는 0.439로 중요도가 비

슷하다.

연륜생장에 대한 다중회귀분석 결과 통계적으로 유의수준 5%이내에서 유의성이 있는 것들은 수중과 토양경도 및 K이며, 토양경도는 부(-)의 관계이고, Mg는 정(+)의 관계로 나타났다. 종속변수에 미치는 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값의 크기가 토양경도는 0.986이고, Mg는 0.513이며, 토양경도는 Mg에 비하여 1.9배 중요도를 보인다.

뿌리생장에 대하여 다중회귀분석 결과 통계적으로 유의수준 5%이내에서 유의성이 있는 것들은 수중과 K이며, Ca는 정(+)의 관계이다. 종속변수에 미치는 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값의 크기가 수중은 0.902이고 Ca는 0.435이었다.

이를 요약하면, 임해매립지 조경수목 생장에 영향을 가장 크게 미치는 토양요인은 토양경도와 K 순으로 가장 중요하였으며, pH<sub>1:5</sub>와 T-N의 중요도는 낮은 편이었다. 생장 부위별로 영향을 미치는 중요한 토양인자는 수고생장에는 토양경도와 K순이고, 연륜생장에는 토양경도와 Mg 순이며, 뿌리생장은 K와 Ca 순이었다. 조경수목 생장에 영향을 미치는 토양성질의 특성은 토양경도는 높을수록 수고생장과 연륜생장이 불량하며, K는 수고생장과 뿌리생장을 증가시키며, Mg는 연륜생장을 증가시키며, Ca는 뿌리생장을 증가시키는 것으로 나타났다.

토양경도가 높아지면 토양의 대공극이 없어져서 토양의 고결 되고, 토양수분 보유력에도 영향을 미치므로 뿌리의 호흡 또는 생장이 억제되기 때문에 삼투능과 침투능을 감소시키므로(이천용, 1996) 지상부의 가지의 선단부로부터 장애가 나타나서(興水擊, 藤崎健一朗, 1979) 수고생장과 연륜생장이 불량하게 되기 때문이다. 토양경도가 높게 나타나는 것은 임해매립 기반조성, 부지의 이용, 식재지반조성 등에 의한 장비의 전압이 주원인이었다. 또한, K, Ca, Mg의 많을수록 생장이 양호한 것으로 나타나는 것은 K의 경우 Na가 많은 곳에서 길항작용을 하여 경쟁적으로 합성작용을 활발하게 해 줌으로써(강영희와 신영오, 1996) 조경수목의 생장을 촉진시키고, Ca는 토양구조를 좋게 해주고, 뿌리 및 신초 생장에 유리하도록 하며(이천용, 1996), Mg는 엽록소의 주 구성성분으로써 광합성, 호흡작용, 효소의 활성화 역할하기 때문으로(이경준, 1995) 생각된다. 토양이 전압된 부분은 뿌리 주위의 토양에 공기를 확보할 수 있는 토양개량을 해 주어야 하고, 조경수목 생장에 과부족한 토양성분들은 시비를 통하여 건전한 조경수목 생육을 도모하여야 할 것이다.

## 제 6 장 결 론

### 제 1 절 서 론

본 연구는 「임해매립지의 토양이 조경수목 생육에 어떠한 영향을 미치는가?」라는 연구 의문에 해답을 제공하기 위하여 「임해매립지 조경수목의 성장저해 토양인자를 구명할 수 있을 것이며, 조경수목의 성장특성은 수종별로 각 성장저해 토양인자에 따라 다르게 나타날 것이다」라는 가설을 검증하여 임해매립지는 물론 각종 토지 개발로 인한 토양환경이 교란된 인공매립지, 해안녹화 등과 같은 특수 토양지역의 조경식재 계획, 설계, 시공, 유지관리에 필요한 지식을 제공할 목적으로 수행하였다.

1. 본 연구는 기존의 이론을 고찰하여 임해매립지 조경수목 성장에 영향을 미치는 토양인자에 대한 개념적 틀을 구성할 수 있었다.
2. 이러한 개념적 틀을 바탕으로 수고성장, 연륜성장, 뿌리생장의 3개 변수를 종속변수로 하였으며, 토양인자는 14개의 토양 이화학적 성질 중에서 조경수목 성장저해 토양인자를 구명하여 독립변수로 하였다.
3. 조경수목의 성장특성은 단일변수의 통계적 요약에 의하여 수종별로 생장의 특성을 파악하였다.
4. 조경수목의 수고성장, 연륜성장, 뿌리생장을 종속변수로 하고 수종과 성장저해 토양인자를 독립변수로 하여 통계학적으로 두 변수의 관계는 t-검정과 상관분석을 통해 분석하였으며, 조경수목 성장특성에 영향을 미치는 성장저해 토양인자의 관계는 정준상관분석과 다중회귀분석을 수행하였다.

### 제 2 절 연구결과의 요약

임해매립지의 토양환경과 조경수목의 수고성장, 절간성장, 연륜성장, 뿌리생장과 토양성질에 대하여 조사 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

#### 1. 조경수목의 성장특성

1. 임해매립지 조경수목의 성장을 저해하는 토양인자는 토양경도, pH<sub>1:5</sub>, K, Ca, Mg, T-N로 6개의 변수이었으며, 토성, 포장용수량, 토양함수량, Na, T-C 등은 수목성장 저해 범위에 대한 기준이 없으므로 분석할 수 없었다. 임해매립지 토양임에도 토양염류가 조경수목 성장에 저해되지 않는 범위로 나타난 것은 매립기반이 높고, 식재지반 조성이 객토를 사용하여 높게 성토하였기 때문이다.
2. 성장저해 토양의 단일변수의 특성에서 토양경도의 초과값 평균은 288.58(표준편

차 17.273), 최소값은 -276.00, 최대값은 325.00이며, pH<sub>1:5</sub>의 평균값은 54.29(표준편차 0.975), 최소값은 54.00, 최대값은 57.50이고, K의 평균은 6.80(표준편차 0.883), 최소값은 4.7, 최대값은 7.2이며, Ca의 평균값은 5.30(표준편차 3.776), 최소값은 0.58, 최대값은 10.41이고, Mg의 평균값은 6.32(표준편차 1.155), 최소값은 4.69, 최대값은 8.26이며, T-N의 평균값은 0.5(표준편차 0.108), 최소값은 0.4, 최대값은 0.8이었다. 표준편차가 토양경도에서 가장 크게 나타난 것은 장비에 의한 전압 강도가 국지적으로 다르기 때문이다.

3. 임해매립지 조경수목의 성장특성에서 수고생장은 연평균 28.7cm(표준편차 17.649), 최소값은 -18.7cm, 최대값은 57.2cm이며, 연륜생장은 평균 51.7mm(표준편차 17.728), 최소값 11.6mm, 최대값 82.3mm이며, 뿌리생장은 평균 68.0g DM/m<sup>2</sup>(표준편차 29.895), 최소값 13.3g DM/m<sup>2</sup>, 최대값 132.3g DM/m<sup>2</sup>이었다.

## 2. 두 변수간의 통계적 특성

1. 곰솔과 느티나무 두 수종간의 성장특성 차이를 분석한 결과에서 통계적 t-검정 결과 유의수준 5%이내에서 유의한 변수는 수고생장과 뿌리생장이다. 두 수종간에 수고생장이 통계적으로 유의성이 있는 것으로 나타난 것은 곰솔이 유묘로서 느티나무 보다 속성으로 성장하기 때문이고, 뿌리생장에서 유의성이 있는 것은 곰솔 보다 느티나무가 생리적으로 잔뿌리가 많기 때문이다.
2. 수목의 성장과 성장저해 토양인자의 상관분석 결과, 통계적으로 유의성이 있는 것 중에서 상관계수가 가장 높은 것은 수고생장과 K이었으며, 상관계수가 가장 낮은 것은 토양경도와 K로 상관계수가 0.744이다.

## 3. 다변량 통계분석

1. 임해매립지의 조경수목 성장특성에 대하여 정준상관함수 D1과 D2의 값을 1개의 조경수목 성장지수 벡터 값으로 환산하여 수종과 조경수목 성장저해 토양들을 독립변수로 하는 다중회귀 분석을 통하여 독립변수들 중에서 조경수목의 성장지수에 영향을 미치는 유의성, 인과관계의 크기, 방향, 상대적 기여도를 평가할 수 있었다.
2. 다중회귀분석 결과 성장에 크게 영향을 미치는 토양 요인은 토양경도와 K로 나타났다. 종속변수에 미치는 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값 크기는 토양경도가 0.988이고 Mg는 0.502이며, 토양경도는 K에 비하여 1.9배 중요도를

보인다.

3. 수고생장에 대하여 다중회귀분석 결과 통계적으로 유의수준 5%이내에서 유의성이 있는 것들은 수종과 토양경도 및 K이며, 토양경도와 수종은 부(-)의 관계이고, K는 정(+)의 관계로 나타났다. 종속변수에 미치는 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값의 크기가 수종은 0.479이고, 토양경도는 0.454이며, K는 0.439로 중요도가 비슷하다.
4. 연륜생장에 대한 다중회귀분석 결과 통계적으로 유의수준 5%이내에서 유의성이 있는 것들은 수종과 토양경도 및 K이며, 토양경도는 부(-)의 관계이고, Mg는 정(+)의 관계로 나타났다. 종속변수에 미치는 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값의 크기가 토양경도는 0.986이고, Mg는 0.513이며, 토양경도는 Mg에 비하여 1.9배 중요도를 보인다.
5. 뿌리생장에 대하여 다중회귀분석 결과 통계적으로 유의수준 5%이내에서 유의성이 있는 것들은 수종과 K이며, Ca는 정(+)의 관계이다. 종속변수에 미치는 상대적 기여도는 표준화 회귀계수의 절대값의 크기가 수종은 0.902이고 Ca는 0.435이었다.
6. 결론적으로 조경수목 생장에 미치는 토양성질의 특성은 토양경도가 높을수록 수고생장과 연륜생장이 불량하며, K는 함량이 많을수록 수고생장과 뿌리생장을 증가시키며, Mg는 많을수록 연륜생장을 증가시키며, Ca가 많을수록 뿌리생장을 증가시키는 것으로 요약되었다.

### 제 3 절 연구 결과의 시사점

본 연구를 통해 임해매립지 조경수목 생장에 영향을 미치는 토양성질의 특성을 구명한 결과 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다.

1. 조경수목의 생장에 장애를 미치는 토양요인은 토양의 물리성이 토양의 화학성보다 중요한 요인으로 나타났다. 토양의 물리성은 주로 기반조성 또는 식재지반 조성과 부지 이용과정에서 장비의 전압에 의해 발생된 것이었다. 조경수목이 건전하게 생육될 수 있도록 토양이 전압된 부분은 뿌리 주위의 토양에 공기를 확보할 수 있는 토양개량을 해 주어야 할 것이다.
2. 임해매립지 각 토양의 성질에 따라 수종별 적응도와 수고생장·연륜생장·뿌리생장의 특성을 달리한다는 것은 임해매립지 조경수목 선정과 토양조건의 개선에 대한 지식으로 활용될 수 있다.

3. 향후 임해매립지 조경식재 계획 및 설계를 할 때에는 사전에 식재지반의 토양을 조사 분석하여 부지 여건에 알맞은 식재방법, 식재지반 조성공법과 수종을 선정하여야 할 것이다.
4. 임해매립지의 매립 방법, 매립재료, 식재지반별 높이, 조성방법 등에 의한 토양 성질 파악은 추후 임해매립지 조성방법, 식재지반 조성 방법과 토양 종류의 선정에 필요한 지식을 제공할 수 있을 것이다.
5. 임해매립지 조경수목의 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장에 대하여 한 개의 변수로 전환하여 다중회귀분석을 수행하는 통계학적 방법은 설명이 용이하며, 쉽게 이해할 수 있었다. 이러한 연구 방법론은 임해매립지 뿐만 아니라 일반 지역 수목의 성장량과 토양요인의 관계를 파악할 때에 매우 유용한 방법론임을 확인할 수 있었다.
6. 조경수목 생장에 저해되는 특정 토양성질이 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장에 미치는 특성을 통계학적으로 구명하였으나 실험적 기제(mechanism)의 재확인이 필요하다.
7. 기존의 연구사적 관점에서 볼 때 임해매립지의 토양과 조경수목 생장에 관한 연구가 대단히 취약하였으나, 본 연구에서 임해매립지 조경수목의 생장에 저해되는 토양인자를 구명하고, 조경수목 생장에 저해되는 토양인자와 수고생장, 연륜생장, 뿌리생장에 관계된 특성을 파악하였다. 이것은 연구 방법론적 측면에서 임해매립지 조경수목의 생장에 관한 이론적 기준을 마련하는데 기여하였으며, 이를 토대로 추후 많은 연구가 진행될 것으로 생각된다.

#### 제 4 절 연구의 제한점

토양은 시간의 경과와 더불어 토양의 성질이 변화했을 것이나 현시점에서 토양과 수목생장과의 관계를 구명하여 토양이 시계열적으로 변화함에 따른 조경수목 생장의 특성을 확인하기는 어려웠다.

#### 제 5 절 장차의 연구

본 연구는 임해매립지의 조경수목 생육 특성을 구명함에 있어서 연구 특성상 한정된 수종에 대하여 중단면적 연구가 수행되어졌다.

임해매립지의 조경수목 생장에 관한 연구는 매립토양과 관련하여 다양한 수종을 대상으로 식재지반 조성방법, 인공토양재료의 사용방법, 토양개량제, 식재공법, 유지

관리 방법, 적합 수준의 선발 등에 대한 후속 연구가 필요하다.

# 참 고 문 헌

## 1. 국내문헌

- 강영희, 신영오. 1996. 식물영양학. 도서출판 아카데미서적. 18-31, 39-47, 111-123, 283-329.
- 건설부. 1975. 조경설계기준 I. 438-490.
- 곽영세. 1993. 단양 석회암지역 식물군락의 생산성 및 호석회식물과 험석회식물의 분류. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 11-22.
- 구본학, 강재선, 장관순. 1999. 임해매립지에서 식재지반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구. 한국조경학회지. 13(1):90-94.
- 구본학, 안건용. 1993. 임해매립지내 조경수목의 하자요인에 관한 연구. 서울대 농학연구지. 18(2): 83.
- 구본학. 1993. 임해매립지내 조경수목의 하자요인에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문. 5-43.
- 김갑덕. 1992. 개정 삼림 측정학. 향문사. 99-147.
- 김광식 등. 1973. 신제 토양학. 향문사. 198-201.
- 김기성. 1990. 인공매립토양이 조경수목 식재에 미치는 영향. 한양대학교 환경대학원 석사학위논문. 1-59.
- 김영두. 1989. 조경용 수목. 환경과 조경 제31호. 90-92.
- 김용식, 오구균, 김도균, 신현탁. 1999. 수목의 가뭄극복을 위한 식재지 관리방안 -광양지역을 중심으로. 자원문제연구. 18(1): 8-13.
- 김재봉, 배정오, 이경재, 이용범 등. 1987. 환경오염생물지표법의 연구개발(1). 과학기술처. 175.
- 김태진, 변우혁. 1990. 연륜측정기를 이용한 조경수목의 생장평가에 관한 연구, 고려대학교 농대 농림논집. 30:17-23.
- 농어촌진흥공사. 1990. 수자원 장기 종합 보고서. 56.
- 농어촌진흥공사. 1996. 한국의 간척. 농어촌진흥공사. 316-344.
- 대한주택공사. 1995. 생육환경 특성을 고려한 아파트 단지내 조경수목 선정 및 식재방안 연구 -매립지별 식재지반 생육환경 특성을 중심으로. 49-58, 217.
- 마상규. 1974. 국내 주요수종의 수고생장에 대하여. 한국임학회지 21:39-44.

- 손영모, 홍종수, 정영관. 1990. 해송의 생장과 토양의 이화학적 성질간의 다변량분석. J. Inst. Agr. Res. Util. 96-97.
- 신공항건설공단. 1995. 수도권 신공항건설사업 소개. 5-8, 210-219.
- 안봉원 등 공역. 1989. 조경 공학, 시공 관리. 명보문화사. 214-246.
- 양운진. 1997. 환경식물학. 도서출판 동화기술. 16, 33, 19-74, 121-147.
- 우보명. 1991. 신간 사방공학. 향문사. 281.
- 유의열. 1991. 임해매립지의 조경수목 식재와 활착에 관한 연구 -인천직할시 남동공업단지를 중심으로. 한양대학교 환경과학대학원 석사학위논문. 11-47.
- 윤국병. 1987. 조경 배식학. 일조각. 110-176.
- 윤근영. 1997. 아파트 단지내 조경용 교목의 입지 조건별 생장특성. 서울대학교 대학원 협동과정 공학박사학위논문. 1-107.
- 이경준. 1995. 수목생리학. 서울대학교출판부. 35, 173, 212, 230-231, 387.
- 이우균. 1988. 수간석해와 생장량 계산을 위한 전산프로그램 개발에 관한 연구. 고려대학교 석사학위논문. 4.
- 이임균. 1999. 난대 상록활엽수종간 내염력 비교. 월간 임업정보. 제95호 64~68.
- 이종락. 1976. 잣나무의 생장과 토양특성에 관한 연구. 한국조경학회지. 7:9-17.
- 이종석, 김일중. 1977. 내염성 및 내조풍성 관상식물의 개발을 위한 생태학적 연구. 한국원예학회지. 18(2): 215-220.
- 이종석. 1980. 내염성 및 내조풍성 조경수목 개발에 관한 생태학적 고찰 -우리나라 남부지방을 중심으로. 한국조경학회지. 8(1):13-19.
- 이창기, 최덕일, 배정오, 김정규, 김동호, 이유미, 한승욱. 1992. 환경오염에 의한 생태계 영향평가기법 개발(I) -육상식물, 육상곤충, 토양미생물 및 저서생물을 중심으로. 과학기술처. 51-52.
- 이천용. 1996. 산림환경토양학. 보성문화사. 45-88, 163, 216-217, 322-323.
- 임동빈, 심재욱, 임응규. 1970. 간척지에서 수답 및 식물의 내염성에 관한 연구(13) - 간척지에서 수답의 양분 흡수와 쌀 성분에 대하여. 한국식물학회지 14(1): 25-31.
- 임주훈 등. 1995. 경관수목학. 도서출판 두솔기획. 103-104.
- 장관순, 김형복. (*In press*). 임해매립지의 생태계 복구를 위한 토양중 염류의 활성화도 분석. 토양비료학회.
- 정영상. 1998. 인천국제공항 식재지반조성 학술연구 발표회, 3. 기상 및 비사방지. 서

- 울대학교 농업개발연구소. 12-19.
- 주영규. 1998. 인천국제공항 식재지반조성 학술연구 발표회, 4. 잔디밭 조성방안. 서울대학교 농업개발연구소. 20-33.
- 진현오, 이명중, 신영오, 김정제, 전상근. 1994. 삼림토양학. 향문사.
- 차중환, 김종균, 맹주선. 1982. 식물 생리학. 선진문화사. 19, 179.
- 최문길. 1988. 몇 수종에 있어서의 내염성 특성에 관한 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문. 3-37.
- 최원열, 박근용. 1991. 내염성 전작물의 개발과 재배 전망. 농진청 심포지엄. 17:53-78.
- 최종남, 유근배, 박원규. 1992. 아한대 침엽수류 연륜연대기를 이용한 중부산간지역의 고기후복원. *The Korean Journal of Quaternary Research*. 6(1): 21-32.
- 포항종합제철주식회사. 1993. 영일만에서 광양만까지 -포항제철25년사. 428-433.
- 한국공항공단. 1995. 수도권 신국제공항 조경시설실시계획 중간보고. 12-112.
- 한국조경공사. 1979. 조경용 소재도감(수목, 초화, 구조물). 건설부. 1-368.
- 한국조경학회. 1999. 조경설계기준. 사단법인 한국조경학회. 287.

## 2. 외국 문헌

- Alam, S.M. 1994. Nutrient uptake by Plants under stress conditions. *In: Mohammad Pessarakli.(eds) 1994. Handbook plant and crop stress. Marcel Dekker, Inc. 227-240.*
- Alexandra, Poljakoff-Mayber and H.R. Lerner. 1994. Plants in saline Environments. *In: Hand book of plant and crop stress. edit by Mohammad Pessarakl. Marcel Dekker, Inc. 75.*
- Baillie, M.G.L. and J.R. Pilcher. 1973. A simple crossdating program for tree-ring research. *Tree-ring bull.* 33:7-14.
- Barley, K. P. 1963. Influence of soil strength on growth of roots, *Soil Sci.* 96:175-79.
- Bernstein, L. 1975. Effect of salinity on plant growth. *Ann. Rev. of Phytopathology.* 13:295-312.
- Bernstein, L. and A.D. Ayers. 1971. Method for determining solutes in the cell walls of leaves. *Plant Physiol.* 47:361-365.

- 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.
- Bradshaw, A. B. Hunt and T. Walmsley. 1995. *Trees in the urban landscape*, London, E and FN Spon. 18-68, 79, 82, 188-199.
- Bray, J.R. 1963; Root production and the estimation of net productivity. *Canadian Journal of Botany*. 41: 65-72.
- Burnett, E. 1964. Influence of soil strength on the root-growth habits of plants, *Soil Sci*. 98:174-180.
- Böhm, W. 1979. *Method of studying root systems*. Springer-Verlag, Berlin. 188.
- Carpenter, P.L. 1975. *Plants in the landscape*. W.H. Freeman and Company. 103.
- 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. 225-228.
- Coile, T.S. 1937. Composition of the leaf litter of forest trees. *Soil Science*. 43:349-355.
- Craul, P.J. 1992. *Urban Soil in landscape design*, N.Y. John Wiley and Sons. 146, 307.
- David, Wm. Reed. 1996. *Water, media and nutrition for greenhouse crops*. Ball Publishing, IL, U.S.A. 번역; 사단법인 한국첨단농업시설협회의회. 1997. 온실 작물의 물, 배지, 양분. 39-129.
- Demarty, M. C. Morvan. and M. Thellier. 1984. Calcium and the cell wall, *Plant Cell Environ*. 7:441-448.
- Fitter, A.H. and R.K. M Hay. 1987. *Environmental physiology of plants*. Academic press. *Forest Ecology and Management* 73 (1-3) (1995) 249-257.
- Fogel, R. and G. Hunt. 1983. Contribution of mycorrhizae and soil fungi to nutrient cycling in a Douglas-fir ecosystem. *Can. J. For. Res*. 13:219-232.
- Fritz, Hans Schweingruber. 1987. *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. 132.

- Gerard, C.J., Sexton, P. and Shaw. R. 1982. Physical factors influencing soil strength and root growth, *Agr. J.* 74:875-879.
- Ghent, A.W. 1952. A technique for determining the year of outside ring. *Forest Cro.* 28:85-93.
- Gilbertson, P. and A.D. Bradshaw. 1990. The Survival of newly planted trees in inner cities. *Arboricultural Journal.* 14:287-309.
- Gregory, P.J. 1979. A Periscope method for observing root growth and distribution in field soil. *Journal of Experimental Botany.* 30, No. 114. 215-224.
- Harris, J.A., P. Birch. and J. Palmer., 1998. Land restoration and reclamation -principales and practice. Addison Wesley Longman LTD. 2-19.
- Harris, R. W. 1992. *Arboriculture integrated management of landscape trees, shrub, and vines.* second edition. Prentice-Hall, Inc.
- Harris, W.F., R.S. Kinerson. and N.T. Edwards. 1977. Comparison of belowground biomass of natural deciduous forests and loblolly pine plantations. 29-37 *In*; J.K. Marshall, editor. *The belowground ecosystem: a synthesis of plant-associated process.* Science Series 26, Range Science development, Colorado State University, Fort CollInes, Colorado, U.S.A.
- Hermann, R. 1977. Growth and production of tree roots: a review. 7-28 *In*; J. K. Marshall, editor. *The belowground ecosystem: a synthesis of plant-associated processes.* Science Series 26, Range Science Department, Colorado State University, Fort Collins, Colorado. USA.
- Heyward, F. 1933. The root system of longleaf pine on the deep sand of western florida, *Ecology.* 14(2):136-148.
- Homes, R.L., R.K. Adams and H.C. Fritts. 1986. *Tree-ring chronologies of western America: California, eastern Oregon and Northern Great Basin.* NSF grant report. TRL, U. of Arizona.
- James, D.W., R.J. Hanks. and J.J. Jurinnak. 1982. *Modern Irrigated Soils,* John Wiley and Sons, New York.
- Jung Y.S. & H.S. Lim. 1989. Influence of soil texture and bulk density on root

- growth characteristics and nutrient influx rate of soybean plant. J. Korean Soil Sci. and FERTIL. 22:221-227.
- Karmer, P.J. and T.T. Kozloski. 1979. Physiology of wood plants. Academic Press. 683-693.
- Kozlowski, T.T. 1962. Tree growth. New York, The Ronald Press. 371-378.
- Kozlowski, T.T. 1982. Water supply and tree growth, Part I. Water deficits. For Abstr. 43:57-95.
- Kwak, Y.S. and J.H. Kim. 1994. Spatial distribution of fine roots in *Quercus mongolica* and *Quercus acutissima* stands. The Korean Journal of Ecology. 17(2): 113-119.
- Leshem, B. 1965. The Annual activity of intermediary roots of the *Aleppo pine* Foe. Sci. 11: 291-298.
- Levit, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses . Academic Press, Inc., New York and Lodon.
- 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.
- 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.
- Lyr, H. and Hoffman. 1967. Growth rates and growth periodicity of tree roots. Pages 181-236 *In*; J. Romberger and P. Mikola, editors. International Revue forest resources 2. Academic Press, New York, U.S.A.
- 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. 95-113.
- Mckay, H.M. and D.C. Malcolm. 1988. A. Comparison of the fine root component of a pure and a mixed coniferous stand. Can. J. For. Res. 18:1416-1426.
- NEDECO. 1986. Landscaping in salty sand. Netherlands Engineering Consultants.
- Nyle, C. Bray. 1990. The nature and properties of soils, 10th. Macmillan

- Publishing Company, a division of Macmillan, Inc. 487.
- Odum, E.P. 1971. Fundamentals of ecology. 327-328. W.B. Saunders Company New York.
- Powers, R.F. 1984. Sources of variation in mineralizable soil nitrogen. *In*, Nitrogen assessment workshop May 19-20, 1982. RFNRP Report No. 2, College of Forest Resources, Univ. of Washington. Seattle. 25-31.
- Quilkin, W.E. 1935. Jour. Agr. Rev. 51:983. *In*; Noboru Karizumi. 1978. Illustrations of tree roots(樹木根系圖說). 誠文堂新光社. 159.
- Ruhigwa, B.A. Gichuru, M.P. Mambani, B. and Tariah, N.M. 1992. Root distribution of *Acacia barteri*, *Alchornea cordifolia*, *Cassia siamea* and *Gmelina arborea* in an acid Ultisol. *Agrofor. Syst.* 19:67-78.
- Russel. R.S. 1977. Plant root systems: their function and interaction with the soil. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited. 1-290.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. Plant physiology, 4th ed., Wadsworth Publ. Co., Belmont, California. 682.
- Santantonio D. and R.K. Hermann. 1985. Standing 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.
- Saunders, D. R., G. E. Howard., B. A. Stanley-Saunders. 1980. Effect of different boot sole configurations on forest soils, Extension/Research Paper RPA. 1980-3. Clemson. SC; Clemson Univ., Department of Recreation and Park Administration. 11.
- Smith, W.H. and L.H. Dochinger. 1976. Capability of metropolitan trees to reduce atmospheric contaminants. Northeast Forest and Tree Improvement Conference Proceedings.
- Smucker, A.J., M.A. Nunez-Barois and J.T. Richie. 1991. Root dynamics in drying soil environments. *Below ground Ecology* 2:4-5.
- Stanley, C. D., Kaspar, T. C. and Taylor, H. M. 1980. Soybean top and root response to temporary water table imposed at three different stages of growth, *Agr. J.* 72:341-346.
- Stone, J. A. 1985. Poorly drained conditions and root development of eight

- indeterminate soybean cultivars. *Agr. J.* 77:787-789.
- Sun, D. and 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.
- Vogt, K.A., D.J. Vogt, E.E. Moor, B.A. Fatuga, M.R. Redlin and R. L. Edmond. 1987. Conifer and angiosperm fine-root biomass in relation to stands age and site productivity in Douglas-fir forests. *J. of Ecology*. 75:857-870.
- Young, R.A. 1982. *Instruction to forest science*, John Wiley and Sons, New York. 554.
- Zinke, P.J. and R.L. Crocker. 1962. The influence of giant *Sequoia* on properties. *For. Sci.* 8: 2-11.

### 3. 일본문헌

- 岡本試明. 1989. 재인용: 박용진, 이기의. 1992. 최신환경녹화. 강원대학교 출판부. 136-149.
- 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.
- 木村和義. 1987. 作物にとって雨とは何か -濡れの生態學. (社) 農山漁村文化協會.
- 本間啓, 内野弘. 1969. 臨海埋立地のヘドロ部分における植栽工法とヒメコウライシバの生育について. 造園雜誌. 31(2).
- 本間啓. 1965. 飛砂防止および緑化造園用植物の植栽に関する調査研究. 出光興産千葉製油所.
- 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.
- 本間啓. 1973. 緑地學 研究 No4. 東京大學農學部園藝第二(緑地學)研究室. 107.
- 小橋登治, 材井 宏, 龜山 章. 1992. 環境緑化工學. 朝倉書店. 26-29.
- 小澤知雄, 萩元信弘. 1965. 土壤硬度が芝の生育に及ぼす影響-特に根の分布量に関する實驗的研究. 造園雜誌. 29(2): 12-17.
- 松中昭一. 1979. 圖説 環境汚染と指標生物. 朝倉書店. 12.
- 安蒜俊比呂. 1966. 海底浚渫土による埋立地の土壤について. 千葉大學園藝學部術報告. 14: 77-81.

- 興水撃 外 3人. 1987. 樹木活力度お指標とした多摩丘陵の土地自然特性と開發イデオ  
ンペクトの総合評價. 造園雜誌. 50(5):31-136.
- 興水撃, 藤崎健一郎ほか. 1979. 踏壓がヒメウライシバ芝生の生育に與える影響につ  
いて, 芝草研究, 8(1):41-48.
- 興水肇. 1977. 人工地盤における綠地植物の植栽に關する研究. 東京大學農學部 園藝學  
弟二研究室, 綠地學研究 6. 4-5, 84-85. 125-126.
- 長智男. 1954. 砂丘地の灌溉及び客土に關する研究. 鳥取農學會報. 10(3): 59-66.
- 井上敞雄, 1974. オゾンによる内生エチレンの生成 と樹木の落葉現象の關係. 大氣汚染  
研究. 9(2): 375.
- 井上敞雄. 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. 6-8.
- 井手久登. 1965. 八郎干拓地土壤における綠化用樹種の生育について。造園雜誌. 29(1):  
18-24.
- 佐藤明, 森川靖. 1976. ふたつの斜面に生育するスギ林分における木部壓ポテソシヤル  
の日. 日本誌. 58:321-327.
- 重松敏即. 1981. 埋立壓芥の分析. ガスカ植栽木に 及ばず影響と その 對策に 關する  
實驗的 研究. 造園雜誌. 44(4):179-190.
- 沖中健, 管原恩, 福原秀夫. 1984. 臨海埋立地の植栽きれた クロマツト ヤマモモに對  
する 潮風の影響. 造園雜誌. 47(5):95~100.
- 桶渡達也. 1973. 特殊な植栽環境としてのゴミ埋立地,ランドスケープ. 10.
- 幸喜善福. 1978. 海岸保全的 見地からの 沖縄の 飛鹽に 關する 研究, 琉球大學農學部  
學術報告. 25:421-554.

Ph.D. Thesis

**Growth Characteristics of Landscape Plants  
in Reclaimed land from the sea:**  
The Cases of *Pinus thunbergii* Parlatores  
and *Zelkova serrata* (Thunberg) Markino on Kwangyang Bay

Do-Gyun, Kim

Department of Landscape Architecture  
Graduate School  
Yeungnam University  
(Under the Direction of Professor Yong-Shik Kim, Ph D.)

ABSTRACT

The purpose of the present study is to give the information to preparation of the planting soil, planting method and maintenance in the reclaimed land from the sea. According to the present result, the information can be applied to the planting plan, construction and maintenance to an artificially reclaimed lands and re-vegetation in the seashore areas and so on.

From the references reviewed, the three variables such as tree height growth, tree ring growth and root growth was designated as dependent variables, while the detrimental soil factors, as independent variables, was selected from the 14 soil factors.

The relation from the two variables between landscape woody species and soil

characteristics was analyzed by the t-test and correlation analysis. For the soil factors detrimental to the growth of landscape woody species was analyzed both by the canonical and multiple regression analysis.

With the collected data from the field work, the soil environment, the growth of species height, inter-node, tree ring and root was analyzed, and the results are in the follows.

1. The detrimental soil factors affected to the tree growth was six elements such as soil hardness, pH<sub>1:5</sub>, K, Ca, Mg and T-N.
2. Because of the standard deviation of tree height growth and tree ring growth is greater than the root growth is the growth of ground parts of the species caused by the growth of the individual tree species is more dynamically than the growth of underground parts.
3. From the t-test between *Pinus thunbergii* and *Zelkova serrata*, both the tree height growth and root growth showed statistically difference within 5%, affected by *Pinus thunbergii* is young saplings and grows faster than *Zelkova serrata*. *Pinus thunbergii* has more fine roots system than *Zelkova serrata*.
4. From the correlation analysis, it showed the highest correlation between tree height growth and K, while the lowest the correlation coefficient was between soil hardness and K as 0.744.
5. From the multiple regression analysis, both soil hardness and Mg affect to the tree growth, both soil hardness and K to the tree growth, K and Ca to the root growth, respectively.

With summarized the present results to the soil factors affect to the tree growth in the reclaimed land from the sea, the suggestions can be outlined in the below.

1. The physical factors of soil are the more important than chemical properties that caused detrimental to the tree growth.
2. Based on the growth of tree height, tree ring, and root affected by the soil characteristics in the reclaimed land from the sea, the present research product

can be applied to the selection of planting species and improvement of the soil conditions in the reclaimed land from the sea.

3. For the future uses for planting plan and design in the reclaimed land from the sea, we believe that the planting method, planting ground preparation and tree species selection should be accompanied by the soil survey and relevant analysis.

4. The present results for the method and materials for reclamation, the height of reclaimed ground and preparation method should be supplied already existing information to other planting works in the reclaimed land from the sea.

The future research on planting ground preparation by the varied sites, use of artificial materials, soil improving materials, planting method, maintenance and tree species selection should be followed further focused on the reclaimed land from the sea.