

# 광양만 임해 매립지 느티나무 식재지 토양의 수직적 특성 변화

김도균\* · 김용식\*\*

\*호남대학교 조경학과, \*\*영남대학교 자연자원학부

## Property Changes of Vertical Soil Layers Planted with *Zelkova serrata* (Thunberg) Makino on the Reclaimed Land from the Sea in the Gwangyang Bay, Korea

Kim, Do-Gyun\* · Kim, Yong-Shik\*\*

\*Department of Landscape Architecture, Honam University, Gwangju

\*\*Faculty of Natural Resources, College of Natural Resources, Yeungnam University, Gyeongsan

### ABSTRACT

This study was carried out to elucidate the vertical characteristics of soil properties at six planted sites of land reclaimed from the sea, in Gwangyang Bay, Jeollanam-do Province, Korea. Based on the types of planting site, the chemical properties of the vertical soil layers varied. The vertical variation was great in the planting sites Z<sub>1</sub> and Z<sub>2</sub>, but less varied in the mounded planting sites Z<sub>3</sub>, Z<sub>5</sub>, and Z<sub>6</sub>. Major reasons for the vertical variation in soil chemical properties included differences in the accumulation of organic matter, soil disturbance by heavy construction equipment, and heterogeneity of soil properties between soil horizons. As soil depths increased, soil salts varied. The electrical conductivity (ECe) increased in the lower areas of planting sites Z<sub>1</sub> and Z<sub>2</sub>, and the disturbed, saline planting site Z<sub>3</sub>, but decreased in the lower areas of Z<sub>5</sub> and Z<sub>6</sub>. These tendencies did not coincided with exchange cation concentrations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup>). Both total carbon (T-C) and total nitrogen (T-N) accumulated more in the lower areas of planting sites than in the higher areas, and levels were higher closer to the surface than in the soil depths. It is supposed that these tendencies are related to the accumulation of fallen leaves or other organic matter at the soil surface, and the soil chemicals then slowly move downward from the surface. Impediments to tree growth included soil hardness, high soil salinity and exchangeable cation concentration, low soil moisture content, acidic or alkaline soil, low organic matter, heterogeneity of soil texture and establishment of soil stratification.

*Key Words: Salinity Soil, Alkainine Soil, Landscaping Plant, Tree Growth*

## 1. 서론

임해 준설 매립지는 바닷가에 독을 막고 해저의 갯벌을 퍼 올려 인위적으로 육지화한 부지로, 국토의 효율적인 이용을 목적으로 1960년대 산업화 이후 대규모로 조성되어 왔다. 이러한 임해 매립지는 부지 조성 과정에 자연경관과 생태계가 훼손 또는 파괴되고, 자연성이 낮아 인간 정주 환경이 매우 열악하여 생활 환경 개선과 건전한 자연환경의 조성을 위하여 조경 수목을 대단위로 식재하여 오고 있다.

일반적으로 임해 매립지에 식재한 조경 수목은 식재 이후에 대부분이 생장상태가 불량하거나 고사하는 경우가 많아서(대한주택공사, 1995; 김용식 등, 1999; 김도균, 2000) 오히려 식생 경관을 황폐화하고, 식물자원과 경제적 손실을 초래하며, 최근에는 조경 식재를 기피하는 사례도 증가하고 있는 것이 현실이다.

임해 매립지에서 조경수목의 생장이 불량하거나 고사하는 주요 원인은 임해 매립지 하부에 상존하는 염분에 의한 교란, 유효토심의 부족, 양분의 부족, 장비에 의한 전압 등으로 조경수목 생장에 불리한 요인이 많이 산재(김도균, 2000; 조우, 2000; 배준환, 2001)하여 있기 때문이다. 이와 같은 임해 매립지의 조경수목 생장 불량요인을 극복하고자 객토를 이용하여 단목객토법, 대상객토법, 성토법 등의 다양한 공법의 식재 지반을 조성하여 왔다. 그러나 우리나라의 경우 임해 매립지에 대한 조경식재의 역사가 짧고 경험이 부족하며, 식재기술이 아직 제대로 개발되지 않아서(김도균 등, 2001) 식재 목표에 따라 합리적인 방법으로 식재지반을 조성하는 경우는 찾아보기 어려우며, 부적절한 시공방법과 유지관리 방법을 적용하는 사례가 많다. 식재지반의 조성과정과 토양개량은 많은 객토 자원과 공사비를 투입하여야 하며, 식재지반은 한번 조성하게 되면 현실적으로 개보수 공사가 어려우므로 식재계획, 설계, 시공, 유지관리 등 각 단계에서 식재 목적과 목표에 따라 합리적으로 식재 지반을 조성해야 한다.

임해 준설 매립지 조경 식재 지반의 토양 특성은 지반의 조성방법, 매립시기, 매립 경과연수, 매립 기반재의 종류, 객토의 종류에 따라 다르고, 조경수목의 생장은 입지적인 환경 특성상 식재 지반 유형별로 차이가 심하

므로(김도균, 2000, 변재경 등, 2000; 박현수, 2002) 조경수목의 식재와 이후의 합리적인 유지관리를 위해서는 식재 지반 유형별로 토양환경 특성을 파악하여야 할 것이다. 임해 매립지 토양환경을 파악하기 위해서는 토양 시료를 채취하여 토양의 물리·화학적 성질을 조사·분석해야 한다. 기존 토양시료의 채취는 일반적으로 토양 분석의 비용을 고려하여 주로 임해 매립지의 표토 일부 분 또는 지하부를 몇 단계로 구분하여 채취하여 토양환경의 변화를 추정하여 왔다. 이와 같이 표토 일부분 또는 부등 간격의 토양채취방법은 개략적인 토양환경을 추정할 수 있을 뿐 정확한 토양변화의 경향을 판단하기에 어려운 점이 많아서, 최근에는 토양채취를 등간격으로 정밀 채취하여 조사·분석하는 추세이다.

염해 지반의 토양물리·화학적 성질의 수직적 특성에 관한 연구는 원예시설재배 토양에서 0~40cm까지 10 cm 등간격으로 토양시료를 채취하여 조사·분석한 결과에서 과량 시비에 의해 집적된 염류는 강우 분포에 따라 유거수 및 침투수에 의해 이동함을 보고(강보구, 1997)하였다. 간척지 대상으로는 일본의 東葉臨海埋立地에서 지하 0, 15, 30cm 또는 30, 60, 90cm 간격으로 토양시료를 채취하여 조사·분석한 결과에서 각 식재 지반 유형별 그리고 각 토양 층위별로 토양환경이 매우 차이가 크게 나타났으며, 토양 염분은 강우에 의하여 자연 용탈이 되고, 표토에 집적하는 것이 시간의 흐름에 따라 차이가 있음 추정하였다(本間啓, 1973). 서남 해안 간척지에서 토양 단면을 표토에서 지하 100cm까지 10cm 등간격으로 토양물리·화학적 특성을 조사·분석한 결과, 토양물리·화학적 특성은 토심에 따라 차이가 크고, 간척연수에 따라 차이가 있음을 밝혔다(안열, 1990). 시흥 산업단지 임해 매립지에서 토양시료를 표토, 지하 50과 100cm 3구배로 토양물리·화학적 특성을 조사 분석한 결과에서 토심별 염분 농도는 원지반에 다량으로 존재하고 있는 염분이 상승함을 추정(구분학 등, 1999)하였다. 또한, 광양만 준설 매립지 곶술 식재지에서 토양 채취를 근권부인 표토에서 지하 60cm까지는 5cm씩 등간격으로 하고 지하 80, 100, 120cm로 정밀하게 채취하여 조사·분석한 결과에서 지하부의 상존하는 염분의 상·하강, 조분과 유기물에 의한 염류의 집적 등이 일정한 경향성이 나타나지만 지반 조성 과정과 지반 조성 후에

부지의 이용에 따른 토양의 교란이 토양 각 층위별로 차이가 심한 것으로 보고(김도균 등, 2001)하였다.

이와 같은 염해 지반 선행 연구에서 염분의 상승과 용탈, 토양의 교란 등과 같은 토양물리·화학적 성질의 변화를 추정하여 임해 매립지 토양물리·화학적 특성에 대한 기초 자료를 제공하는데 기여하여 왔으나, 임해 매립지는 지반 별로 토양환경이 매우 상이하기 때문에 뚜렷한 경향을 바탕으로 한 일반적인 이론을 도출해 내기 위해서는 더 많은 사례지역의 조사 연구가 필요하다.

최근 광양제철소, 포항제철소, 새만금 간척지, 인천국제공항, 인천송도신도시 등 대단위의 준설 매립지에서 조경 식재가 계획·시공·유지관리를 시행하고 있으나, 임해 매립지 조경 식재 지반의 조성방법과 토양개량방법에 대한 많은 논란이 있는 반면에 명확한 이론적 근거나 경험적 기술 자료는 부족한 실정으로 합리적인 조경 식물 성장관리를 위한 임해 매립지 토양환경을 파악할 수 있는 연구가 시급한 실정이다.

따라서 본 연구는 광양만의 느티나무의 수고 성장, 연륜 성장, 수목 활력도와 뿌리 성장에 토양환경이 미치는 영향을 파악하여 토양 개선과 유지관리 계획 수립에 필요한 선행 연구로 광양만 느티나무 임해 매립지의 토양환경은 식재 지반 조성 이후 토양 성질이 식재 지반별, 토양 종류별, 토양 깊이에 따른 특성 파악을 위한 목적으로 수행 하였다.

본 연구는 광양만 임해 매립지의 느티나무 식재지 6개 지반 유형에서 토양물리·화학적 성질을 토심이 깊어짐에 따른 수직적 변화를 조사·분석하였으며, 본 연구를 통하여 임해 매립지 토양의 변화과정에 대한 지식의 축적을 바탕으로, 임해 매립지 합리적인 식재 지반 조성과 토양 개량의 기술 개발에 필요한 기초 지식을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 조사지 개황

조사 대상지는 전라남도 광양시 금호동 700번지에 위치한 광양제철소 사원 주택 단지의 완충녹지대로서 느티나무 식재 지반이며, 면적은 20,000m<sup>2</sup> 정도이다(그림

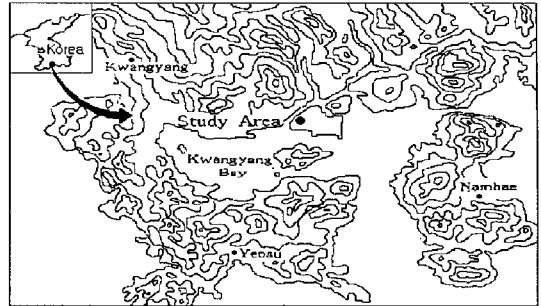


그림 1. 조사대상 지역

### 1 참조).

매립 원기반 조성은 1982년부터 1989년까지 광양만 해저의 갯벌을 준설공법(Sand pumping)으로 매립하였으며, 원기반의 높이는 DL(development level)+5.0~5.5m(포항종합제철주식회사, 1993)이다. 식재지반의 조성은 바다 갯벌을 준설 매립 기반 위에 1991년에 인근 중등, 성황, 광영, 옥곡 등지의 산지에서 채취된 심토를 사용하여 조성하였다(김도균과 박종민, 2004).

식재 지반 유형의 구분은 객토매립지반(Z<sub>1</sub>), 객토피복지반(Z<sub>2</sub>), 중성토지반(Z<sub>3</sub>), 대성토하부지반(Z<sub>4</sub>), 대성사면부(Z<sub>5</sub>), 대성토정상부(Z<sub>6</sub>)로 세분하여 모두 6개 유형으로 구분하였다(그림 2 참조).

### 2. 토양성질의 조사·분석

토양조사는 6개의 식재지반 유형에서 수직적으로 표토로부터 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 80, 120cm 층에서 수평적으로 5반복하여 토양을 채취하고, 음건한 뒤 2mm 체로 쳐서(sieve) 원추사분법(圓錐四分法: conical quartering)(농촌진흥청, 1988)으로 나누어

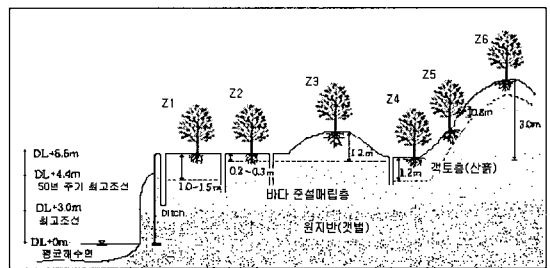


그림 2. 조사지의 느티나무 식재지반 유형

토양분석 시료로 사용하였다. 토양특성의 분석은 토성(국제토양학회법), 토양의 경도(山中식 토양경도계, SHM-1), 토양함수량과 pH (Fisher 230A pH meter, 1:5), ECe(DM35 Conductivity meter, 1:5), Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>(Atomic absorption spectrophotometer; M-901), 전탄소(TOC 분석장치), 전질소(Kjeldahl법)를 분석하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 토성(Soil Texture)

토성은 6개 지반 모두가 모래가 미사 또는 점토보다 상대적으로 많은 것으로 나타났으며, 이들의 함량은 토심이 깊어짐에 따른 변화가 큰 지반은 객토포복지반(Z<sub>2</sub>)이었고, 나머지 지반은(Z<sub>1</sub>, Z<sub>3</sub>, Z<sub>4</sub>, Z<sub>5</sub>, Z<sub>6</sub>) 경시적으로 완만한 기울기로 변화하다가 지하 80cm 이하에서는 변화가 커지는 경향이며(그림 3 참조), 식재 지반별 토성은 객토포복지반(Z<sub>1</sub>)과 중성토지반(Z<sub>3</sub>)은 사질식양토(SCL: sand clay loam), 객토포복지반(Z<sub>2</sub>)·대성토하부(Z<sub>4</sub>)·대성토사면부(Z<sub>5</sub>)와 대성토정상부(Z<sub>6</sub>)에서는 사양토(SL: sand loam)로 나타났다.

Z<sub>2</sub>에서 변화가 큰 것은 상층의 객토에서 점토와 미사가 증가하는 반면 모래가 적어지고, 지하 40cm층 이하의 준설토층에서는 모래가 증가하며, 미사와 점토가 감소 추세가 뚜렷하게 감소하는 현상으로 보아 상층은 객

토가 양토이고, 하부는 준설토로서 사질양토로서 서로 이질적인 토성이기 때문일 것이다. 이러한 현상으로 보아 토성의 수직적 변화는 객토보다는 준설토가 역동적으로 크게 변화하는 것으로 나타났다. 상층의 객토와 하층의 준설토가 이질적인 토성인 것은 후술하는 바와 같이 토양함수량, pH, ECe, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, SAR 등이 높아지거나 낮아지는 등의 토양 특성 변화에 영향을 미치고 있는 것으로 추정되며, 지하 30~40cm 층에서 상층의 객토와 하층의 준설토가 접하는 부분에서는 유리층이 발생되어 있으며, 느티나무의 세근이 밀집되어 있는 것으로 관찰되었다. 나머지 식재지반(Z<sub>1</sub>, Z<sub>3</sub>, Z<sub>4</sub>, Z<sub>5</sub>, Z<sub>6</sub>)에서도 지하 80cm 이하에서 변화가 크게 나타나는데 이것은 상층에는 객토가 주로 양토 또는 사질양토이지만 지하부에 준설토는 사질양토로 상층과 하층의 토양이 서로 이질적이어서 토양의 입자 구성이 크게 다르기 때문이다.

모래량이 토심이 깊어짐에 따라 증가하는 지반은 Z<sub>3</sub>과 Z<sub>6</sub> 지반이었고, 감소하는 지반은 Z<sub>1</sub>과 Z<sub>4</sub> 지반이었으며, 변화가 낮은 지반은 Z<sub>5</sub> 지반이었다. 미사가 토심이 깊어짐에 따라 증가하는 지반은 Z<sub>1</sub>과 Z<sub>6</sub> 지반이었고, 점토가 토심이 깊어짐에 따라 증가하는 지반은 Z<sub>4</sub>이었으며, 나머지 지반들 대부분이 감소하는 경향이었다.

이와 같이 임해 매립지 식재지반 조성 이후 모래, 미사와 점토량의 기울기가 일정하게 증·감하는 것은 인근 곰솔 식재지반의 경우(김도균 등, 2001)와 유사하며, 식재 지반 조성 이후 토양 안정화 과정에서 식재 지반별

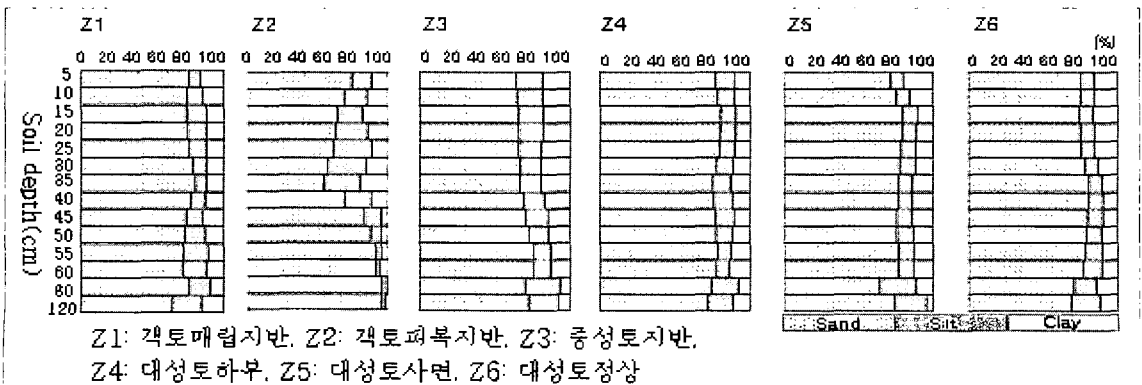


그림 3. 토성의 수직적 변화

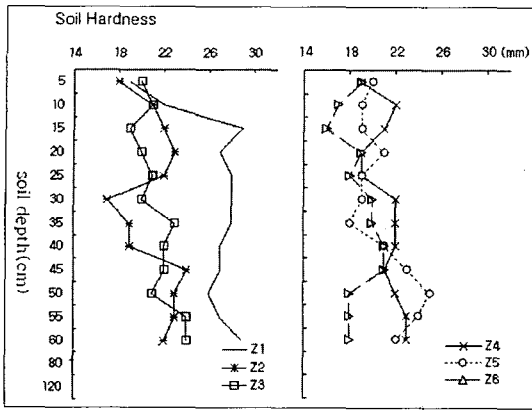


그림 4. 토양경도의 수직적 변화

로 강우에 의하여 모래, 미사와 점토가 이동하여 발생하는 일련의 현상(장관순과 김형복, 1999; 김도균 등, 2001)으로 보인다.

## 2. 토양경도(Soil Hardness)

토양경도는 토심이 깊어짐에 따라 모든 식재지반에서 불규칙하게 증감하였다. 식재지반의 높이에 따라 식재지반이 높은 성토지반인 Z<sub>3</sub>, Z<sub>5</sub>와 Z<sub>6</sub>에서는 상층이 하부층 부분보다 높고, 지반이 낮은 Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>와 Z<sub>4</sub>에서는 상층보다는 하부층에서 높았다(그림 4 참조). 식재지반에서 층위별로 매우 불규칙하게 증감하는 것은 주변 곱솔식재지반들(김도균 등, 2001)과 유사하며, 식재지반이 낮은 지반이 높은 지반에 비하여 토양경도가 높게 나타나는 것은 매립 지반 조성 과정과 식재 지반 조성 과정에 장비에 의한 전압과 부지 조성 이후 운반로, 자재의 노적 때문으로 추정되었다. 특히, 조사과정에서 식재 지반 지하부에서 두께 20~35cm 정도의 일정한 층에서 토양경도가 높게 나타나는 경우가 많이 발견되었는데 이러한 층은 지반조성 과정에 불도저, 백호우 또는 차량에 의하여 토양이 경화된 것으로 보이며, Z<sub>1</sub> 지반의 지하 15~60cm 부분에서 토양경도 27mm 이상(新田, 1976)으로 나타나는 것은 지반 조성 과정과 식재 지반 조성 과정에서 장비에 의하여 전압되었기 때문이다. 이러한 토양경도는 수목의 뿌리 생장에 지장을 초래하는 범위로 식재 지반 조성과정에서 중요하게 고려해야 할 부분이다.

일반 간척지는 토양이 성열(成熟)함에 따라 지하수

위가 하강하고 지반이 침하되면 토양경도도 변화하나(안열, 1990), 임해 준설 매립지에서는 지반 조성 과정에 따라 토양경도 교란의 정도가 매우 심하고 식재 지반 별로 그 차이가 크게 나타남(배준환, 2001; 김도균 등, 2001)을 알 수 있다. 이러한 임해 매립지의 식재 지반에 토양경도가 전체적으로 높거나 부분적인 층으로 높게 분포하는 것은 조경식물 생장에 영향을 크게 미칠 것으로 예상되므로 토양이 경화된 지반을 경운해 주어야 하며, 식재 지반 조성시 토양의 경화를 방지할 수 있는 식재 지반 조성 공법의 개발이 필요(김도균 등, 2001)한 것으로 나타났다.

## 3. 토양함수량(Soil Moisture)

토양함수량은 Z<sub>1</sub> 지반과 Z<sub>4</sub> 지반에서 다른 지반보다 상대적으로 낮았고, 수직적 변화가 큰 지반은 Z<sub>2</sub> 지반으로, 나머지 지반은 변화가 크지는 않았으나 토심이 깊어질수록 토양함수량이 증가하는 지반은 Z<sub>1</sub>와 Z<sub>6</sub> 지반이었다(그림 5 참조). 토양함수량이 Z<sub>1</sub>과 Z<sub>4</sub> 지반에서 매우 낮은 것은 상술한 바와 같이 토양경도가 높은 토층의 상·하간에 수분의 이동이 불량하고(김필주, 1998), 답압에 의한 용적밀도의 증가와 토양공극의 감소로 수분의 침투능이 감소(이천용, 1996)되었기 때문일 것이다. Z<sub>2</sub> 지반에서 토양함수량이 높은 것은 토양함수량의 기울기가 미사와 점토의 함량 기울기와 유사한 것으로 보아 미사와 점토의 함량이 높은 것과 관계가 있는 것으로 분석되며, 보수력은 점토, 미사, 유기물 함량이 영

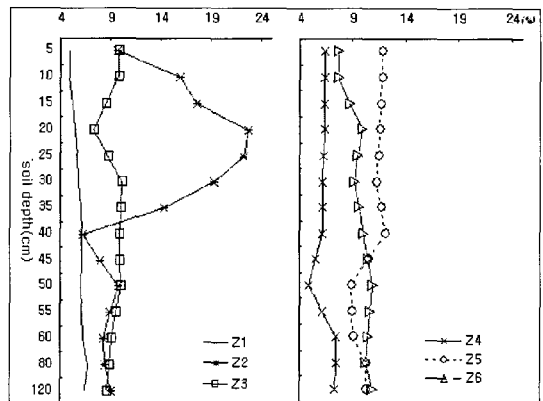


그림 5. 토양함수량의 수직적 변화

향을 미치기(오재섭과 임정남, 1967; 안열, 1990) 때문으로 추정되었다. 간척지에서는 토양 함수비가 지하수 위 때문에 표토에서 지하 40cm까지보다는 지하 50~100 cm까지에서 더 높게 나타나지만(안열, 1990), 임해 준설 매립지의 식재 지반에서는 지하 수위의 영향이 크지 않기 때문에 지하부 아래쪽에서의 함수비가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

#### 4. 토양반응(pH)

pH의 수직적 변화는 Z<sub>2</sub>, Z<sub>4</sub>, Z<sub>5</sub> 지반에서는 크게 변화하였고, Z<sub>1</sub>, Z<sub>3</sub>, Z<sub>6</sub> 지반에서는 변화가 크지 않았으나 토심이 깊을수록 미세하게 낮아지며, 토심이 깊을수록 pH가 높아지는 지반은 Z<sub>1</sub>이었고, 낮아지는 지반은 성토지반인 Z<sub>3</sub>, Z<sub>5</sub>와 Z<sub>6</sub> 지반이었다(그림 6 참조).

Z<sub>2</sub>, Z<sub>4</sub>, Z<sub>5</sub> 지반에서 토심이 깊을수록 pH가 갑자기 증감하는 것은 상층의 객토와 하층의 준설토가 이질적이기 때문으로 객토가 산성인 것에 비하여 준설토는 알칼리성이기 때문이며, 객토로 매립(Z<sub>1</sub>, Z<sub>4</sub>)하거나 성토한 지반들(Z<sub>3</sub>, Z<sub>5</sub>, Z<sub>6</sub>)에서 수직적으로 변화가 크지 않은 것은 반입토양이 균질하게 층위를 이루고 있기 때문이다.

토심이 깊어짐에 따라 pH의 기울기가 Z<sub>1</sub> 지반에서 낮아지는 것은 ECe Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>와 유사하고, Z<sub>2</sub> 지반에서 증감을 반복하는 것은 토성, 토양경도, 토양함수량, ECe 등과 유사하며, Z<sub>4</sub>에서 ECe, Ca<sup>++</sup>, T-C와 유사하고

Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, SAR 등과는 반대적인 경향이었으며, Z<sub>5</sub> 지반에서 pH의 기울기가 토양경도, ECe, Ca<sup>++</sup>, T-C와 유사하며, Z<sub>6</sub> 지반에서는 토성, Ca<sup>++</sup>, T-C와는 유사하고 토양수분, ECe와는 반대적인 경향으로 나타났다.

이와 같이 pH가 여러 가지 다른 토양성질의 기울기와 유사하거나 반대적으로 나타나는 것은 pH는 양이온과 상관성이 있고(서중철, 1994; 구본학 등, 2000) 유기물과 무기물에 의하여 반응하기 때문으로(조백현 등, 1998) 보고 되어 있으며, 향후 통계학적 방법으로 토양성질 간의 상관성 분석이 필요하나 토양이 아직 안정화되지 않아서 외부 환경요인에 의하여 영향을 받을 수 있기 때문에 해석에 주의가 필요하다. 간척지에서는 토양에서 표토에서 심토층으로 깊어질수록 pH가 증가하지만(장봉수, 1977; 안열, 1990), 임해 매립지에서는 매립재료에 따라 증감이 불규칙하게 나타남(구본학 등, 1999; 김도균 등, 2001; 배준환, 2001)을 알 수 있다.

#### 5. 전기전도도(ECe)

토심이 깊어짐에 따른 ECe의 수직적 기울기는 Z<sub>1</sub> 지반을 제외한 나머지 지반은 표토부분이 지하부보다 높게 나타나고 있으며, 표토 부분을 제외한 지하부 층에서는 pH의 기울기 경향과 유사하였다(그림 7 참조). ECe가 표토에서 높은 것은 광양만 곰솔 식재 지반 조성 이후에 유기물의 집적에 따라 염류가 높아지는 것(김도균 등, 2001)과 유사하였다.

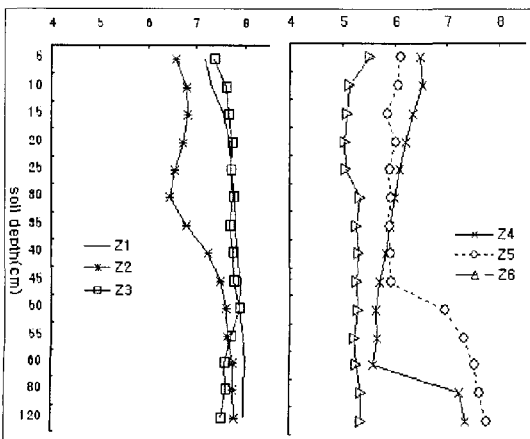


그림 6. pH의 수직적 변화

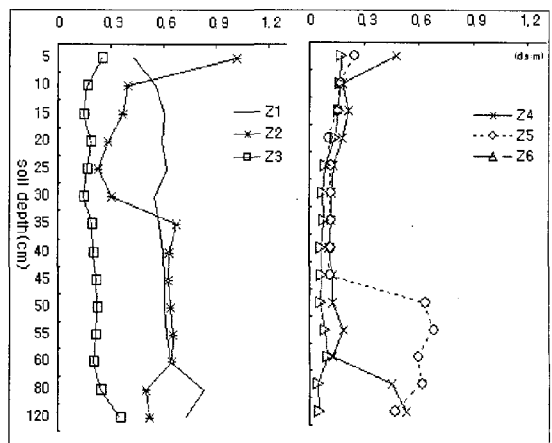


그림 7. ECe의 수직적 변화

ECe와 pH의 토심이 깊어짐에 따른 기울기가  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ 에서는 토심이 깊어질수록 증가하는 것은 지반 하부에 염류가 상존하여 있기 때문이고, 이러한 현상은 염류의 이동에 따른 것으로 토양이 습한 상태로 되면 물이 하층으로 침투될 때 염기가 하층으로부터 이동하고, 건조시에는 토양표면에서 토양수분이 증발하게 되면 모세관력에 의하여 염기가 토양수에 용해되어 있는 염기가 상승(조백현 등, 1998) 하기 때문으로 보인다.  $Z_4$ ,  $Z_5$ ,  $Z_6$  지반에서 ECe와 pH가 낮아지는 경향은 반입된 객토가 산흙으로써 염류가 낮고 산도가 낮은 토양이기 때문이다.

ECe의 기울기가 pH의 경우와 같이 다른 토양성질들과 유사하게 변화거나 반대적 경향으로 변하는 것은 토양중의 염 농도는 토양의 화학성분과 상관성이 있기 때문(이상은 등, 1987; Min and Kim, 1997; 구분학 등, 2000)일 것이며, 토양 염류 관리를 위하여 향후 염류에 영향을 미치는 토양의 특성에 대한 통계학적 분석이 필요한 것으로 나타났다.

$Z_2$  지반에서 상층의 객토 ECe가 0.230~0.395dS/m이지만 표토 부분이 1.022dS/m로 높은 것은 하층의 준설토에 잔존하고 있는 염류(ECe 0.505~0.765dS/m)가 모세관 현상에 의하여 표토층으로 염류 집적화 현상과 관계가 있을 것이다. 간척지 토양에서 가용성 염류의 조성은 강우량, 배수 정도와 지하수의 질과 수위가 크게 작용하는데(Singh *et al.*, 1980), 염류농도가 높아지는 원인은 증발산량이 강우량보다 많으면 하향 침투에 의한 가용 성분의 유실량보다 모관 상승에 의한 표토 집적이 많아지기 때문이다(Richards *et al.*, 1956).

간척지에서는 토양에서 표토에서 심토층으로 깊어질수록 EC가 증가하지만(本間啓, 1973; 안열, 1990), 임해 매립지에서는 매립 재료에 따라 증감이 불규칙하게 나타나며(구분학 등, 1999; 배준환, 2001, 김도균 등, 2001), 임해 매립지에서도 식재 지반을 산흙으로 높게 조성하면 토양의 염분 상승이 되지 않음(배준환, 2001; 김도균 등 2001)을 알 수 있다.

## 6. 치환성 양이온( $Na^+$ , $K^+$ , $Ca^{++}$ , $Mg^{++}$ )

$Na^+$ 의 수직적 변화는  $Z_1$ 과  $Z_6$  지반에서 변화가 크게

나타났으며(그림 8 참조),  $Z_1$  지반의  $Na^+$ 의 수직적 기울기는  $K^+$ 와 SAR과 유사하게 나타나 이들 토양 성질들이 서로 상호작용을 하는 것으로 생각되었다.  $Z_2$  지반에서 지하 35cm 층에서부터  $Na^+$ 이 0.820~1.368me/100g 정도로 토심이 깊어질수록 급격히 높아지는 현상은 준설토에 상존하는  $Na^+$ 이 미세하게 탈염되고 있는 것으로 추정되며, 이 부분은  $Na^+$ 이 높아서 수목 생장에 부(-)의 영향(고대식 등, 1984)을 미칠 것으로 예상된다.

칼륨( $K^+$ )의 수직적 변화는  $Z_2$  지반과  $Z_4$ 에서 변화가 크며, 다른 지반은 변화가 미세하였다(그림 9 참조). pH의 기울기가  $Z_1$  지반에서 토양함수량, pH,  $Na^+$ , SAR과 유사하고,  $Z_2$  지반에서는 지하 30cm에서부터 높아지고, 대성토 하부의 80cm 이하에서 크게 낮아지는 것은  $Na^+$ 의 경우와 같이 지반 하부에 상존하는 염류의 영향으로 보인다.

칼슘( $Ca^{++}$ )의 토심이 깊어짐에 따른 변화는  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_4$  지반에서 변화가 컸으나 다른 지반에서는 크지 않았으며,  $Z_3$ 와  $Z_6$  지반을 제외한 나머지 지반에서 지하 35~45cm 부분에서부터 높아지는 경향이었으며(그림 10 참조), 기울기의 경향은 표토층을 제외한 지하부층에서는 대부분의 식재지반에서 T-C 기울기와 유사하였다.

$Ca^{++}$ 는 간척지에서 용탈되는데(안열, 1990) 식재 지반 조성전 자료가 없기 때문에 비교할 수는 없으나 지반 조성 이후 용탈 과정에 하부에 축적된 것으로 추정된다.

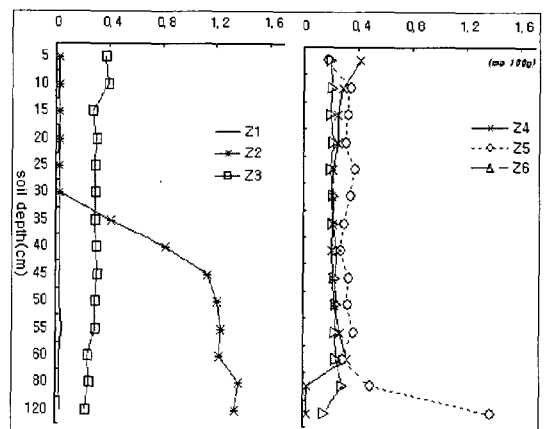


그림 8.  $Na^+$ 의 수직적 변화

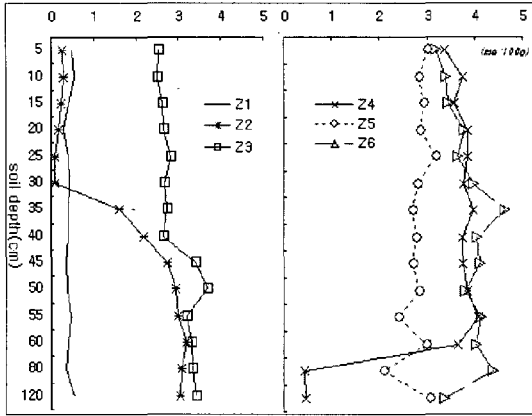


그림 9. K<sup>+</sup>의 수직적 변화

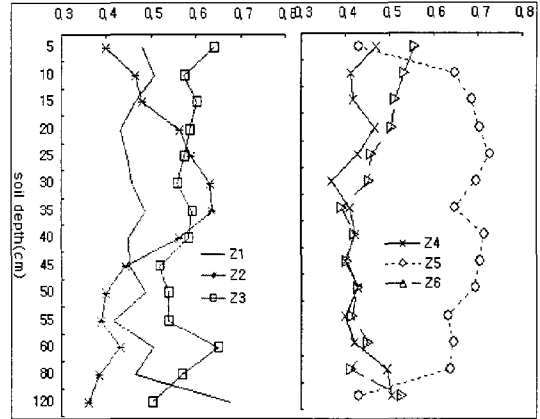


그림 11. Mg<sup>++</sup>의 수직적 변화

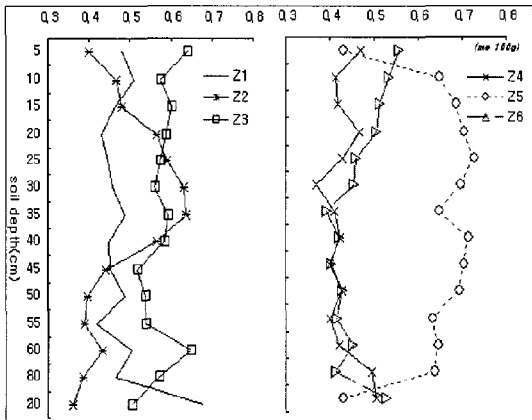


그림 10. Ca<sup>++</sup>의 수직적 변화

마그네슘(Mg<sup>++</sup>)의 수직적 변화는 다른 토양 특성에 비하여 증감이 역동적으로 반응하고 있으며, 토심이 깊어짐에 따라 높아지는 지반은 객토 매립 지반이었고, 낮아지는 지반은 Z<sub>3</sub>, Z<sub>5</sub>와 Z<sub>6</sub>이었으며, 증가 후 감소하는 지반은 Z<sub>2</sub>와 Z<sub>5</sub>이었다(그림 11 참조). 특히, Z<sub>2</sub> 지반에서 Mg<sup>++</sup>는 객토와 준설토가 접하는 층인 지하 25~40cm 층에서 높게 나타나는 것은 토양함수량의 기울기와 유사한 것으로 Mg<sup>++</sup> 용탈(안열, 1990)의 과정에 객토와 준설토가 혼재하는 부분에 집적되는 것으로 추측된다.

치환성 양이온이 간척지에서는 수직적으로 토심이 깊을수록 높게 나타나지만(本間啓, 1973; 장봉수, 1977; 안열, 1990), 임해 매립지에서는 식재 지반별로 토심의 수직적 깊이에 따라 증감이 불규칙하게 나타나는 것은

사용하는 토양재료에 따라 그 차이가 크게 나타남(구본학 등, 1999; 김도균 등, 2001)을 알 수 있다.

### 7. 염흡수율(Sodium Absorption Ratio)

염흡수율(SAR)의 수직적 변화는 객토 피복 지반의 지하 30cm 이하와 대성토 사면의 지하 80cm에서 크게 높았고, 다른 지반들은 변화가 크지 않았다(그림 12 참조). Z<sub>2</sub> 지반에서 SAR의 수직적 기울기는 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>와 유사하여 이들의 이온이 염흡수율에 크게 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다.

각 식재지반의 염흡수율의 수직적 변화는 광양만 임해 매립지 곰솔식재지반의 기울기(김도균 등, 2001)와 유사하였다.

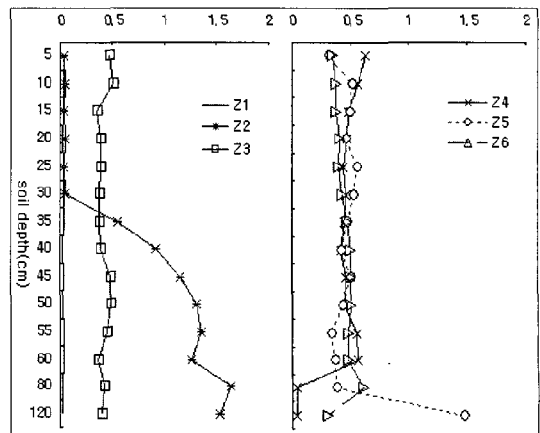


그림 12. SAR의 수직적 변화



8. 유기물(T-C, T-N)

전탄소(T-C)의 수직적 변화는 표토층이 높고, 토심이 깊어질수록 낮아지며, 지하 20cm부터는 크게 변화하지 않는 경향이었으나 객토 피복 지반과 대성토 하부의 지하 55cm 층에서 높아졌다(그림 13 참조). T-C가 표토층에 높은 것은 식재 지반 조성 이후에 낙엽이나 다른 유기물이 표토층에 집적하기 때문으로 인근 곰솔 식재지(김도균 등, 2001), 시흥산업단지(구분학 등, 2000) 간척지(엄대철 등, 1986; 김성채, 1987) 등과 유사하였다. 특히, 표토 부분의 T-C의 총집적 정도는 곰솔 식재지와 느티나무 식재지가 각각 0.592%와 0.888%로 곰솔 식재지보다 느티나무 식재지에서 더 많이 집적되어 있는 것은 수종별 낙엽량이 곰솔보다 느티나무의 더 많기 집적되어 분해되고 있는 것과 관련이 있을 것이다.

전질소(T-N)는 모든 지반에서 표토층에서 높고 토심이 깊어짐에 따라 낮아지는 경향이었으며(그림 14 참조), 이러한 기울기는 T-C와 유사하였다. T-N의 수직적 변화는 인근 광양만 임해 매립지 곰솔 식재 지반에서는 지하 20cm에서 토심이 깊어질수록 불규칙적으로 변화하는 식재 지반이 많이 있었으나 본 조사의 느티나무 식재 지반에서는 비교적 규칙적인 변화를 하고 있어서 수중에 따라 조경수 식재 이후 유기물의 변화가 있는 것으로 보인다. 그러나 식재 지반 조성과정에 유기물의 유입에 따라 변화가 클 수도 있어서 더 많은 사례 연구를 통하여 그 경향성을 뚜렷하게 밝힐 수 있을 것으로 생각

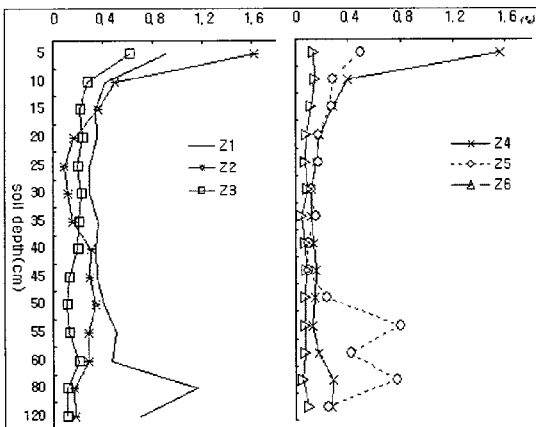


그림 13. T-C의 수직적 변화

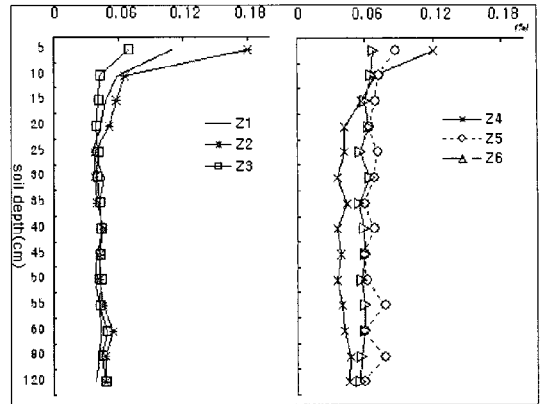


그림 14. T-N의 수직적 변화

된다.

이와 같이 T-C와 T-N이 표토층에서 높고 토심이 깊어질수록 낮아지는 현상은 식재 이후 유기물이 표토에 집적 분해되어 강우에 의하여 지하부로 미세하게 이동되고 있는 것으로 추측되었다. 또한 조경식물 생장에 있어서 T-N은 0.06% 이상이어야(한국조경학회, 1999) 하지만 표토층을 제외한 지하 10cm 이하의 근근부에서 매우 낮으므로 조경 수목 생장에 영향을 미칠 것으로 예상되어 시비 또는 토양 개량을 하여야 할 것으로 생각된다.

이상의 연구 결과를 요약하면, 광양만 임해 매립지 느티나무 식재지 토양성질의 토심이 깊어짐에 따른 수직적 변화는 식재 지반의 유형별로 각각 다른 패턴으로 변화하였으며, 수직적 변화가 심한 지반은 준설토로 매립되고 객토층이 얇은 식재 지반(Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>)이었고, 객토층이 두꺼운 성토 지반(Z<sub>3</sub>, Z<sub>5</sub>, Z<sub>6</sub>)은 변화가 크지 않았다. 토양의 수직적 변화의 주요 원인은 식재 지반 층위간 객토와 준설토의 이질적인 토양성질, 매립 기반과 식재 지반 조성과정과 부지조성 이후 자재의 노적과 운반로 등에서의 전압에 의한 토양의 다짐, 식재 지반 조성 이후 유기물의 퇴적 등에 기인한 것이었다.

토심이 깊어짐에 따른 토양 염류의 변화는 준설토로 매립되고 지반고가 낮은 식재 지반(Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>)과 객토로 성토하였으나 토양이 염류에 교란된 식재 지반(Z<sub>3</sub>)에서는 ECe가 높아졌으며, 성토에 의하여 지반고가 높은 식재 지반(Z<sub>5</sub>, Z<sub>6</sub>)에서는 토심이 깊어질수록 ECe가 낮아졌으나 하부에 준설토가 있는 부분에서는 높아졌으며, 양이온 성질들의 변화와 유사하지 않았다.

유기물의 집적은 식재 지반이 높은 곳( $Z_3, Z_6$ )보다는 식재 지반이 낮은 곳( $Z_1, Z_2, Z_4$ )에서 집적율이 높았고, 토심에 따라서는 표토층에 주로 집적하여 지하부로 미세하게 이동하는 것으로 나타났으며, 주로 낙엽이나 다른 유기물이 집적하기 때문으로 추정되었다.

토양성질간의 수직적 변화 유사성은 식재 지반에 따라 다른 토양성질과 유사, 반대적으로 변화, 또는 전혀 관련이 없는 것 등으로 변화하였으며, 이러한 원인은 토양이 인위적으로 조성되고 교란되어 외부적 환경요인에 의하여 토양이 안정화되지 않았기 때문에 토양성질이 모든 식재 지반에서 일치되지 않는 것으로 생각되었다.

느티나무 생장에 있어서 부정적인 영향을 미치는 토양환경 요인으로는 토양의 경화, 높은 토양염류와 치환성 양이온, 낮은 토양함수율, 강산성 또는 알칼리성 토양, 낮은 유기물 등이 있으며, 수직적으로 토심이 깊어짐에 따라 토양 층위간 토양 종류의 이질성과 유리층의 발생 등이었다.

#### IV. 결론

본 연구는 광양만 임해 준설 매립지의 느티나무 식재 지반 6개 유형에서 토양의 종류, 식재 지반의 높이, 토심이 깊어짐에 따른 토양성질의 수직적 특성에 대하여 조사·분석하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 임해 매립지 토양환경의 수직적 특성은 식재 지반의 유형에 따라 크게 차이가 있으며, 토양물리·화학적 성질의 수직적 변화는 식재 지반의 높이에 따라서 식재지반 높이가 낮은 지반이 높은 지반보다 변화가 크고, 토양성질에 따라서는 객토보다 준설토가 변화가 크게 나타났다.
2. 토양물리·화학적 성질의 수직적 변화가 식재 지반이 낮은 지반에서 크게 나타나는 것은 지반 하부에 상존하는 염류의 상·하강, 부지 매립과정과 매립 후 이용, 식재지반조성 과정에 장비에 의한 교란 등이 크게 영향을 미치기 때문이며, 성토 지반은 지반이 높기 때문에 지반 하부의 바다 염분에 의한 상·하강과 지반 조성 과정에 건설 중장비에 의한 영향이 적게 미치기 때문으로 분석되었다.
3. 식재 지반에 사용된 토양에 따른 토양물리·화학

적 성질의 변화는 준설토가 많은 지반이 객토가 많은 지반보다 크게 변화하며, 객토를 사용한 지반에서도 식재 지반 조성과정과 부지 조성 이후에 부지 이용에 따라 토양이 교란된 지반에서는 전압에 의하여 토양이 경화되어 토양경도는 크게 변화하지만 토양의 화학적 성질은 크게 변화하지 않았다.

4. 임해 매립지 토양성질의 수직적 변화에 크게 영향을 미치는 요인은 식재 지반의 높이, 사용토양의 종류, 지반 조성 과정에 장비에 의한 전압, 토양 중 상존하는 염류의 삼투압 작용에 의한 상·하강, 유기물의 퇴적 등으로 분석되었다.
5. 이러한 결과를 미루어 볼 때에, 조경수목의 생장에 불리한 요인은 토성의 이질성, 토양의 경화, 토양수분의 낮은 보지력, 알칼리성 염류 및 낮은 유기물 함량 등이었고, 식재지반의 높이가 높은 지반보다 낮은 지반이 불리하며, 토심의 층위에 따라서는 표토보다는 지하의 근권부에 주로 분포하고 있었으며, 토양재료에 따라서는 객토가 준설토보다 유리한 것으로 판단되었다. 따라서 임해 매립지의 조경 식재 지반 조성시에는 식재 지반의 높이를 H1.2m 이상으로 높게 하여 유효토심을 확보하여야 하고, 식재 지반 조성 과정에 토양이 교란되지 않도록 유의하여야 하며, 토양은 준설토 보다는 객토를 더 많이 사용하여야 할 것이다.

이상의 결과에서 바다 준설 매립지의 토양물리·화학적 성질의 수직적 변화는 매우 가변적이고, 식재 지반 별로 차이가 크게 나타나며, 수목의 생장에 불리한 요인이 불특정 층에서 많이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 식재 지반의 특성이 느티나무 생장에 미친 영향에 대한 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것이며, 이를 바탕으로 임해 매립지에서 조경 식물 생장에 유리한 합리적인 식재 지반의 조성관리 방법을 개발해야 할 것이다.

#### 인용문헌

1. 강보구(1997) 시설재배 토양의 화학적 특성과 염류의 이동. 충북대학교 대학원 박사학위논문.
2. 고대식, 김계환, 위홍, 한광수(1984) 간척지의 농업개발을 위한 종합연구 III. 계획간척지에 있어서 내염성 적수의 선발에 관하여. 전북대학교 농대농문집 15: 41-47.

3. 구분학, 강재선, 김정옥(2000) 서해안 임해매립지 녹지공간 토양성분들의 상관성 및 경시적 변화 특성. 한국조경학회지 27(5): 161-169.
4. 구분학, 강재선, 장관순(1999) 임해매립지에서 식재기반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구. 한국환경생태학회지 13(1): 89-95.
5. 김도균(2000) 임해매립지의 조경수목 생장특성-광양만의 곰솔과 느티나무를 중심으로. 영남대학교 대학원 박사학위논문.
6. 김도균, 김용식, 김민수, 오구균(2001) 광양만 임해매립지 곰솔 식재지역 토양환경의 수직적 특성. 한국환경생태학회지 15(2): 186-192.
7. 김도균, 박종민(2004) 광양만 바다 준설 매립지의 느티나무 생장특성(I)-식재지반별 토양 물리·화학적 특성을 중심으로. 한국조경학회지 31(6): 85-94.
8. 김성채(1987) 간척년수에 따른 토성 및 작토층위별 수중 화학성분 변화 차이에 관한 연구. 한국토양비료학회지 20(1): 23-28.
9. 김용식, 오구균, 김도균, 신현탁(1999) 수목의 가뭄극복을 위한 식재지 관리방안-광양지역을 중심으로. 자원문제연구 18(1): 8-13.
10. 김필주(1998) 시설재배지 염류집적 토양에서의 토양수분과 음이온의 이동특성. 충남대학교 대학원 박사학위논문.
11. 농어촌진흥청(1988) 토양화학분석법. 농어촌진흥청 농업기술 연구소.
12. 대한주택공사(1995) 생육환경 특성을 고려한 아파트 단지내 조경수목 선정 및 식재방안 연구.
13. 박현수(2002) 임해매립지에 있어서 조경수 적합성 연구-광양 제철소 낙엽교목을 대상으로. 순천대학교 대학원 석사학위논문.
14. 배준환(2001) 인천시 임해매립지 식재 개선방안 연구. 서울 시립대학교 도시과학대학원 석사학위논문.
15. 변재경, 김영걸, 성주환, 김춘식, 유정환, 이충화, 최경, 류택규, 김기환, 임재철(2000) 임해매립지에서 복토 높이가 수목의 고사율 및 생장에 미치는 영향. 한국임학회 2000년도 정기총회 및 학술발표지. pp. 55-58.
16. 서종철(1994) 간척지 퇴적물의 물리화학적 변화에 대한 연구 -김포지구 간척지를 사례로. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
17. 안열(1990) 우리나라 간척지 특성과 간척 후 토양의 특성에 대한 연구. 전북대학교 박사학위논문.
18. 엄대철, 김동한, 엄기태, 채종한, 윤관희, 이협성(1986) 간척연대별 토양의 이화학성 변화 연구. 농업시험장 논문집 28(1): 20-27.
19. 오재섭, 임정남(1967) 토양입자의 크기가 보수력에 미치는 영향에 대하여. 농기연 농시연보 10(3): 1-8.
20. 이상은, 박준규, 윤정희, 김만수(1987) 비닐하우스 토양의 화학적 특성에 관한 연구. 농시연구집 29(1): 166-171.
21. 장관순, 김형복(1999) 임해매립지의 생태계 복구를 위한 토양 중 염류의 활성도 분석. 한국토양비료학회지 32(2): 147-154.
22. 장봉수(1977) 해성간척지 토양층위별 성분분석 연구-습답과 건답을 중심으로. 고려대학교 교육대학원 석사학위논문.
23. 조백현, 조성진, 박천서, 엄대익(1998) 삼정 토양학. 서울: 향문사.
24. 조우(2000) 인천시 해안매립지 녹지조성기법개발 연구. 인천시 발전연구원 보고서.
25. 포항종합제철주식회사(1993) 영일만에서 광양만까지-포항제철 25년사.
26. 한국조경학회(1999) 조경설계기준. 서울: 문운당.
27. 本間啓(1973) 緑地學 研究 No.4. 東京大學農學部園藝第二(緑地學)研究室.
28. 新田伸三ら(1976) 土木工事のり面保護工. 鹿島出版社. In N. Karizumi, ed., Illustrations of Tree Roots. 誠文堂新光社.
29. Min, B. M. and J. H. Kim(1997) Desalinization characteristics after declamation tidal flat on the west coast of Korea. Korean J. Ecology 20(4): 275-283.
30. Richards, L. A., W. R. Gardne, and G. Ogate(1956) Physical process determining water loss from soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20: 310-314.
31. Singh, N. T., G. S. Brar, and B. Singh(1980) The composition of soluble salt-affected soils of the Panjap State. International Symposium on Salt-Affected Soils. pp. 18-21. pp. 7-19.

원 고 접 수: 2004년 2월 9일

최종수정본 접수: 2005년 4월 11일

3인인명 심사필