

# 광양만 바다 준설 매립지 느티나무의 식재 지반별 토양 이화학적 특성

김도균\* · 박종민\*\*

\*호남대학교 조경학과 · \*\*전북대학교 산림자원과학부

## The Physico-chemical Properties of the Soil at the Grounds of Replanted *Zelkova serrata* (Thunberg) Markino in Reclaimed Land from the Sea, Gwangyang Bay

Kim, Do-Gyun\* · Park, Jong-Min\*\*

\*Dept. of Landscape Architecture, Honam University,

\*\*Faculty of Forest Science, Chonbuk University

### ABSTRACT

This study was carried out to analyze physicochemical properties according to the soil height and to the six types of sites that were used as planting ground in the reclaimed land from the sea, Gwangyang Bay.

The physicochemical properties of the soil types were tested by t-test( $p < 0.01, 0.05$ ), at each of the 6 planting ground sites( $p < 0.01, 0.05$ ), and at each height( $p < 0.01$ ) of the planting grounds. These areas were tested by ANOVA and were significantly different. Improved soil was better than reclaimed soil from the sea for *Zelkova* growth because the improved soil contained lower amounts of pH, ECe,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  SAR.

Due to freedom from variables such as salt content in the underground as well as the physical and chemical disturbance of the soil, favorable planting ground for tree growth was recorded at the higher grounds than at the lower ones. Soil detriment to the tree growth in the studied sites included elements such as soil hardness, and the distribution of sodium in the tree root systems.

The planting grounds for the favorable growth of landscape trees were determined in the following order: the grounds of mounding > the covered ground of improved soil, and the filled ground of improved soil.

*Key Words* : Soil Characteristics, Saline Soil, Vertical Soil Characteristics, Improved Soil, Dredged Soil

†Corresponding author : Do-Gyun Kim, Dept. of Landscape Architecture, Honam University, Kwangju 506-714, Korea. Tel. : +82-61-753-1793, E-mail : doaha@hanmail.net

## 1. 서론

바다 매립지는 생태계와 자연환경이 심하게 변형 또는 파괴되어 인간정주의 환경이 매우 열악하므로 자연환경과 경관개선을 위한 조경사업이 대규모적으로 시행하고 있다(건설부, 1975; 농어촌진흥공사, 1996).

이러한 바다매립지 조경사업에 있어서 느티나무는 형태적, 경관적, 생태적 특성으로 인하여 우리나라 국민정서에 친화력이 높은 수종으로서 선호도가 높아서 대단위로 식재되고 있다.

그러나 바다 매립지에 식재된 느티나무는 이식 이후 활착율이 낮거나, 생장활력이 약하여 수형이 불량해지고 고사하는 경우가 많다(대한주택공사, 1995; 김용식 등, 1999; 김도균, 2000). 이와 같은 현상에 의하여 식생경관이 오히려 황량하게 되는 경우가 많고, 자연자원과 경제적 손실을 초래하며, 실무현장에서는 느티나무 식재를 기피하려는 논쟁이 발생하는 사례도 있다.

느티나무가 바다 매립지에 식재된 후 생장이 불량한 원인은 바다 매립지의 건조(김용식 등, 1999), 조풍피해(변재경, 2001), 배수불량(本間啓, 1973), 토양의 고결(대한주택공사, 1995) 지반하부에 상존하는 염분(김도균 등, 2001) 등의 생장에 불리한 토양환경에 의하여 가뭄, 장마와 같은 기상 변화에 더욱 민감하게 반응(김용식 등, 1999)하기 때문으로 추정되어 왔다.

이와 같은 느티나무 생장은 식재지반 유형별로 차이가 크게 나타나고 있으나(김도균, 2000; 박현수, 2000) 아직 식재지반별로 생장의 차이에 대한 그 원인을 명확하게 설명한 자료는 찾아보기 어렵다.

금후에도 바다매립지는 인천송도신도시, 인천국제공항, 새만금간척지 등의 여러 지역에서 대규모적으로 조성되었거나 조성될 예정이어서 바다매립지 조경식재 사례가 증가할 것으로 예상되고 있다. 따라서 식재지반별 느티나무의 생장 차이를 파악하여, 식재지반의 조성, 토양개량, 유지관리 등에 대한 합리적인 방법이 개발되어야 할 것으로 생각된다.

바다매립지에서 느티나무 생장에 대한 기존의 연구는 수목 이식 이후 하자율이 높다는 연구(구분학과 안건용, 1993), 하자율이 낮다는 연구(박현수, 2002; 최일홍과 황경희, 2000), 내조성이 강하다는 연구(윤국병,

1981), 활력도가 높다는 연구(안봉원, 1993), 수목 피해도가 심하다는 연구(대한주택공사, 1995; 조우, 2000; 최일홍과 황경희, 2000; 최일홍 등, 2002), 식재지반 별로 하자율(박현수, 2002; 변재경, 1997)과 생장량(김도균, 2000)이 차이가 있다는 연구 등이 보고 되어 있다.

이와 같은 기존의 연구들 대부분이 식재 이후 생장상태의 가시적 판단, 활력도, 활착율 및 고사율을 위주로 조사·분석한 것으로 주지하는 바와 같이 연구자들별로 연구 결과가 일치되지 못하고 있으며, 「바다 매립지 느티나무 생장에 어떠한 환경요인이 어떻게 영향을 미치는가」에 대하여 생리·생태학적으로 파악한 연구는 찾아보기 어렵다.

바다 매립지 느티나무의 생장상태를 구명하고 식재 기술을 개발하기 위해서는 「느티나무 생장에 어떠한 환경요인이 어떤 경로로 영향을 미치는가?」에 대한 수목 생리·생태학적 기초연구가 선행되어야 할 것이다.

이러한 관점에서 본 연구는 광양만 바다매립지에서 6개 유형의 식재지반을 대상으로 하여 느티나무 생장에 여러 가지 환경요인이 미치는 영향을 파악하려고 한다. 실험방법은 종속요인으로 잎, 줄기, 뿌리를 대상으로 활력도, 수고생장, 연륜생장, 뿌리의 구조 발달상태와 생체량을 측정하고, 독립변수 요인은 기후환경, 토양환경, 생태적 환경, 인위적 간섭, 식재방법 및 유지관리 방법 등을 종합적으로 조사·분석하여 연차적으로 발표하고자 한다.

최근, 바다매립지 녹화에 있어서 식재지반의 조성방법에 대한 논란은 많이 있으나 명확하게 근거를 밝힐 수 있는 이론과 기초 연구는 부족한 실정이다.

바다매립지 조경식재 현장실무에서는 「바다매립지에서 식재지반의 토양환경의 특성은 식재지반 조성의 유형, 조성방법, 토양의 종류, 지반의 높이, 식재 이후 식생의 변화, 외부적 환경요인 등에 따라서 어떻게 다르게 나타나는가?」는 중요한 의문이다. 이러한 의문을 해결하기 위하여 기 조성된 식재지반들의 유형별로 토양의 이화학적 특성을 파악되어야 할 것이다.

따라서 본고에서는 광양만 바다매립지의 느티나무 식재지반을 대상으로 하여 토양 종류별, 식재지반 높이별, 식재지반 유형별로 토양의 이화학적 성질을 조사·분석하여, 바다매립지 느티나무 생장 특성을 파악할 수

있는 기초자료를 제공하고, 식재지반 조성 및 토양개량 방법 개발에 필요한 지식을 제공하는데 그 목적이 있다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 조사지 개황

조사 대상지는 전라남도 광양시 금호동에 위치한 광양제철소 사택의 완충녹지대로서 느티나무 식재지반이며, 면적은 20,000m<sup>2</sup> 정도이다(그림 1 참조).

매립 원기반 조성은 1982년부터 1989년까지 광양만 해저의 갯벌을 준설공법(Sand pumping)으로 매립하였으며, 원기반의 높이는 DL(development level)+5.0~5.5m(포항중합제철주식회사, 1993:429)이다. 식재지반의 조성은 바다 갯벌을 준설매립기반 위에 1991년에 인근 중동, 성황, 광영, 옥곡 등지의 산지에서 채취된 심토를 사용하여 조성하였다(김도균 등, 2001).

### 2. 식재지반 유형의 구분

식재지반 유형은 먼저, 식재지반의 높이와 객토의 양 그리고 식재의 위치에 따라 크게 객토매립지반(Z1), 객토피복지반(Z2), 중성토지반(Z3), 대성토지반으로 구분하고 대성토지반을 다시 식재 위치에 따라 가장자리(Z4), 사면부(Z5), 정상부(Z6)로 세분하여 모두 6개 유형으로 구분하였다(그림 2 참조).

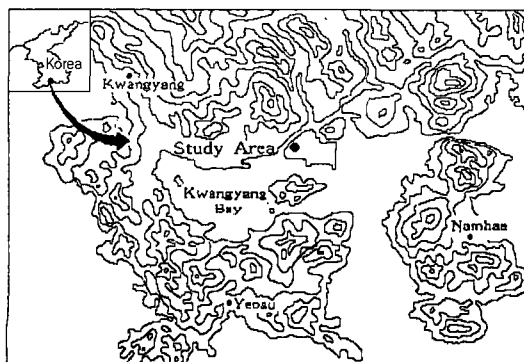
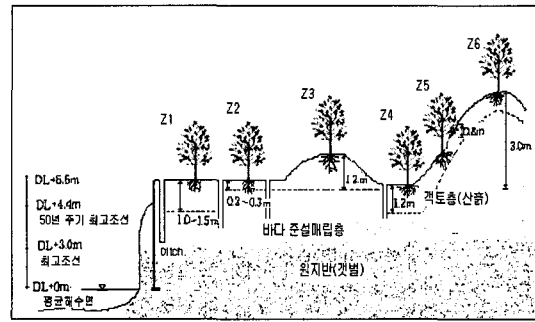


그림 1. 조사대상지역



Z1: 객토매립지반, Z2: 객토피복지반, Z3: 중성토지반, Z4: 대성토하부, Z5: 대성토사면, Z6: 대성토정상

그림 2. 조사지의 느티나무 식재지반 유형

바다 매립지의 느티나무 식재지반 유형별 특징은 객토매립지반의 경우는 준설매립기반 위에 객토를 PL-120cm (PL : planting level) 이하로 매립한 지반이고, 객토피복지반은 준설매립 지반 위에 객토를 PL+ 20~30cm로 피복한 지반이며, 중성토지반은 객토를 1.2 m 높이로 성토한 지반이다. 대성토지반은 준설토로 PL+2.0~3.0m 정도 성토하고 그 위에 객토를 PL+0.8~1.2m 정도로 덮어씌우기 한 지반이다(김도균, 2000).

### 3. 토양의 이화학적 성질 분석

토양조사는 1998년 10월에 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: 21)으로 나누어 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(TOC분석장치), 전질소(Kjeldahl법)를 분석하였다.

### 4. 통계분석 방법

토양종류별 토양성질의 차이는 *t*-검정, 식재지반별

차이와 식재지반 높이별 토양성질의 차이는 분산분석(ANOVA: Analysis of Variance)을 SAS ver. 6.12 프로그램(SAS Institute Inc., 2000)으로 수행하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 토양 종류별 토양성질

준설토와 객토의 평균차이에 대한 *t*-검정 결과에서 나트륨(Na<sup>+</sup>), 칼슘(Ca<sup>++</sup>), 염흡수율(SAR)은 유의 수준 1% 이내에서 차이가 있었고, 점질토(clay), 전기전도도(ECe), 마그네슘(Mg<sup>++</sup>)은 유의 수준 5% 이내에서 차이가 있었으며, 모래(sand), 미사(silt), 칼륨(K<sup>+</sup>), 전탄소(T-C), 전질소(T-N)와 탄질비(C/N ratio)는 유의한 차이가 없었다(표 1 참조).

준설토와 객토의 토양성질에 있어서 토성은 준설토와 객토 모두 사양토(sandy loam)로 분류되었으며, pH는 각각 평균 pH 7.4(알칼리성)과 pH 6.6(중성), ECe는 평균 0.578dS/m와 0.292dS/m, Na<sup>+</sup>는 평균 0.924me/100g와 0.204me/100g, K<sup>+</sup>는 평균 2.340me/100g과 2.517me/100g, Ca<sup>++</sup>는 평균 1.065me/100g와 0.406me/100g, Mg<sup>++</sup>는 평균 0.457me/100g과 0.520me/100g, SAR은 평균 1.0과 0.3, T-C는 0.256%와 0.295%, T-N은 0.047%와

0.055 %, C/N율은 5.4:1와 5.1:1이었다.

준설토는 바다의 갯펄을 준설했어 조성된 원기반의 토양성질이 반영된 것으로서 아직 염류가 용탈되지 않은 상태이기 때문에 토양염류가 높고, 객토는 주변의 산흙이 반입된 것이기 때문에 염류가 낮은 것이다. 객토는 준설토 보다 pH, ECe, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> SAR 등의 염류가 낮게 나타났다. 느티나무는 생태적 특성상 약산성~중성에서 잘 자라고(윤국병, 1981), 내염성이 약하므로(한국종합조경공사, 1979) 느티나무 생장에 유리한 토양은 객토가 준설토 보다 유리할 것으로 판단된다.

#### 2. 식재지반의 높이별 토양특성

원기반(DL+5.5m) 위에 조성된 식재지반의 높이(PL)에 따른 토양성질의 차이는 pH, ECe, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, T-C, C/N율, 토양경도 등이 유의수준 1%에서 차이가 있었으며, 나머지 성질들은 차이가 없는 것으로 분석되었다(표 2 참조).

식재지반의 높이에 따른 토양의 특성은 식재지반이 높을수록 토양경도, pH, ECe, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, T-C 등이 낮아지고, K<sup>+</sup>는 높아지는 것으로 나타났다. 식재지반에 따라 토양성질이 높아지거나 낮아지는 것은 지반조성

표 1. 준설토와 객토의 토양특성

토양종류	Sand (%)	Silt (%)	Clay* (%)	pH**	ECe* (dS/m)	Na <sup>+</sup> ** (me/100g)	K <sup>+</sup> (me/100g)	Ca <sup>++</sup> ** (me/100g)	Mg <sup>++</sup> ** (me/100g)	SAR**	T-C (%)	T-N (%)	C/N율
준설토	80.5	12.2	7.3	7.4	0.578	0.924	2.340	1.065	0.457	1.0	0.256	0.047	5.4:1
객 토	73.5	13.0	13.4	6.6	0.292	0.204	2.517	0.406	0.520	0.3	0.295	0.055	5.1:1

*t*-검정 결과에서 \* : 유의수준 5% 이내, \*\* : 유의수준 1% 이내.

표 2. 식재지반의 높이별 토양특성

지 반 높 이	Sand	Silt	Clay	Hard-ness**	Moisture content	pH**	ECe**	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup> **	Ca <sup>++</sup> **	Mg <sup>++</sup> **	SAR	T-C**	T-N	C/N율**
H-1.2~0.0m	75.0	13.2	11.8	22.9 <sup>a</sup>	8.4	7.037 <sup>a</sup>	0.452 <sup>a</sup>	0.296	1.800 <sup>f</sup>	0.637 <sup>a</sup>	0.468 <sup>b</sup>	0.392	0.383 <sup>a</sup>	0.052	7.0 <sup>a</sup>
H0~1.2m	72.6	13.5	13.8	21.1 <sup>a</sup>	10.6	7.063 <sup>a</sup>	0.255 <sup>b</sup>	0.343	2.893 <sup>b</sup>	0.494 <sup>a</sup>	0.606 <sup>a</sup>	0.466	0.244 <sup>ab</sup>	0.055	4.3 <sup>b</sup>
H1.8~3.0m	76.3	10.8	12.8	18.7 <sup>b</sup>	9.6	5.267 <sup>b</sup>	0.098 <sup>c</sup>	0.22	3.854 <sup>a</sup>	0.046 <sup>b</sup>	0.462 <sup>b</sup>	0.44	0.088 <sup>b</sup>	0.059	7.4 <sup>c</sup>

\* a, b, c는 Duncan의 다중범위검정 결과, \* : 유의수준 5%, \*\* : 유의수준 1%.

에 사용된 토양인 객토와 준설토의 토양성질의 차이, 지반조성과 토지의 이용 행태, 지반조성 이후 지반하부에 상존하는 염류와 지하수위 등의 차이 때문으로 보인다. 식재지반이 높을수록 염류에 안정적이어서 조경식물 생장에 유리한 토양이지만 T-C가 상대적으로 낮은 토양임을 알 수 있다.

3. 식재지반별 토양 물리·화학적 성질

바다 매립지 느티나무 식재지반의 각 지반별 토양특성에 대한 분산분석(ANOVA)을 수행한 결과에서 모래, 미사, 점토, 토양경도, 토양함수량, pH, ECe, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> SAR, T-C, T-N, C/N율이 유의수준 1% 이내에서 차이가 있는 것으로 나타났다(표 3 참조). 각 식재지반별로 토양특성이 통계학적으로 유의한 차이가 있는 것은 우리나라 임해매립지인 인천 남동공단(유의열, 1990), 시화지구(구분학, 1993; 구분학 등, 1999), 군산-장항지역(장관순과 김형복, 1999)과 낙동강하구언(구분학, 1993)과 광양만의 곰솔식재지역(김도균 등, 2001) 등의 보고들과 같았다. 이와 같이 각 식재지반별로 토양특성이 차이가 있는 것은 매립기반 조성 과정과 식재지반 조성에 사용된 토양의 종류, 지반조성 형태, 시공방법, 부지의 이용 등의 토양교란 정도에 따라(김도균, 2001) 토양성질이 다르기 때문일 것이다.

1) 토성

토성은 객토매립지반(Z1)에서 사질식양토(SCL: sandy clay loam), 객토평복지역(Z2)과 대성토정상(Z6)·사면(Z5)·하부(Z4)는 사양토(sandy loam), 중성토지반(Z3)의 경우에는 사질식양토(SCL)로 토성의 결정 요인은 반입토양의 특성에 따라 다른 것으로 추정된다(그림 3 참조). Z2지반은 사양토로 분류되었지만 표토로부터 지하 35cm 이상의 객토층은 양토이었고, 하층의 갯벌 준설토는 사양토로서 조경수목 생장에 불리한 이질적인 유리층을 형성하고 있으므로 객토와 준설토 사이에 완충층을 만들어 주어야 할 것으로 생각되었다.

2) 토양경도

토양경도는 범위가 16.0mm~29.0mm이었으며, 토양경도가 가장 높은 지반은 Z1이 평균 26.4mm이고, 토양

	sand	silt	clay(%)
Z1	73.6	13.0	13.4
Z2	75.1	14.4	10.5
Z3	69.1	15.6	15.2
Z4	75.5	11.8	12.7
Z5	75.5	11.8	12.7
Z6	76.3	10.9	12.8

그림 3. 토성

경도가 가장 낮은 지반은 Z6에서 평균 18.8mm이었다(그림 4 참조). Z1에서 토양경도가 높은 것은 매립기반 조성 과정에 장비에 전압되고, 원기반 조성 이후 자재의 노적과 운반로 등으로 이용되어 전압되었기 때문이다. 성토지역인 Z3, Z4, Z5, Z6에서 토양경도가 낮은 것은 객토를 흐트러진 토양으로 성토하였기 때문이다. 토양경도가 Z2와 Z4에서 평균적으로는 낮게 나타났으나 지하부에서 국지적으로 토양경도가 27.0mm 이상으로 심하게 전압되어 있었다. 토양경도가 객토로 성토지반을 조성 직후에는 대부분 4~12mm 내외이지만 식재지반 조성 7년 경과 후에 성토지반에서 14mm 이상으로 나타나는 것은 식재지반 조성 이후 토양이 성숙함에 따라 지하수위의 하강과 토양침하(안열, 1990)와 토압에 의하여 토양경도가 변화되는데 토양경도 10mm 이상을 거의 성숙토로 가정한다면(김영만 등, 1984) 조사지의 객토에 의한 성토 식재지반이 매우 성숙되었음을 알 수 있다.

3) 토양함수량

토양함수량은 토양함수량이 가장 높은 지반은 Z2로 평균 12.9%이고, 가장 낮은 지반은 Z1에서 평균 5.9%이었다(그림 5 참조). Z1에서 토양함수량이 낮은 것은 지반이 경화되어 토양공극이 적어서 수분의 보지력이

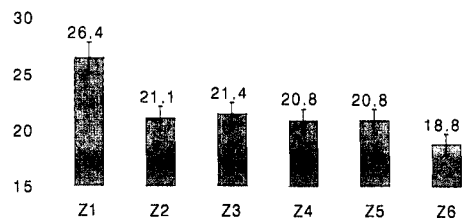


그림 4. 평균 토양경도

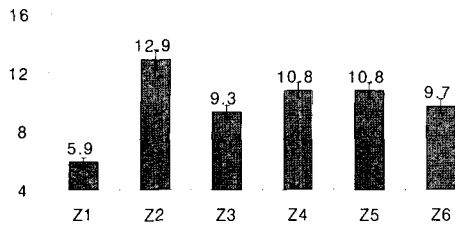


그림 5. 평균 토양함수량

낮으므로 토양경화를 완충하여 함수율을 높게 하여야 할 것이다.

Z2에서 토양함수량이 높은 것은 상층의 객토층의 토성이 미사와 점토량이 많은 양토인 것과 관계가 있는 것으로 보수력은 점토, 미사, 유기물 함량이 영향을 미치기(오재섭 등, 1967; 안열, 1990) 때문이며, 성토지반 중에서 토양함수량은 성토사면과 하부보다는 정상부에서 낮게 나타나므로 수분보지를 위한 대책이 필요한 것으로 생각되었다.

4) 토양반응

토양산도(pH)는 pH 5.0~8.0의 범위이고, 가장 높은 지반은 Z1과 Z3에서 각각 평균 pH 7.8과 pH 7.7로 알칼리성이었고, 가장 낮은 지반은 Z6에서 평균 pH 5.3으로 강한 산성으로 나타났다(그림 6 참조). Z1에서 알칼리성으로 나타나는 것은 염류에 교란된 토양의 사용이며, Z2지역은 하층의 준설토가 알칼리성이기 때문이고, 대성토지반인 Z4, Z5, Z6지반에서 산성으로 나타나는 것은 반입된 토양이 산의 심토로서 산성토양이었기 때문이다. 일반적으로 알칼리성 토양은 염류의 집적에 기인(양운진, 1997; 조백현 등, 1999)하지만 Z3지반은 염류가 낮음에도 알칼리토양으로 나타나는 것은 본 조사 연구로서는 규명하기 어려웠으며, Z6지반의 경우 평균

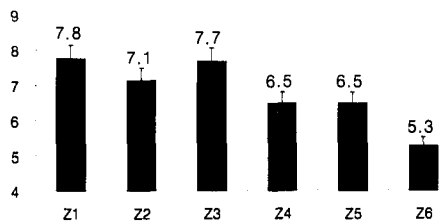


그림 6. 평균 pH

pH 5.3의 강한 산성으로 느티나무는 강한 산성에 저항력이 약하기 때문에(임경빈, 1980; 조백현 등, 1999) 석회 또는 유기물을 시용하여 토양을 개량(조백현 등, 1999)하여야 할 것이다. 이와 같이 식재지반 조성에 사용된 토양은 장기간 토양성질이 크게 변화하지 않으므로 교란된 토양은 사용하지 않아야 하며, 산의 심토라고 할지라도 식재수종에 적합한 토양산도의 객토를 식재지반에 사용하여야 할 것이다.

5) 전기전도도

전기전도도는 범위 0.050~1.020dS/m이었고, ECe가 가장 높은 지반은 Z1으로 평균 ECe 0.613dS/m이며, ECe가 가장 낮은 지반은 Z6에서 평균 0.099dS/m이었다(그림 7 참조). 전체적으로는 조경수목 생장에 영향을 미치는 범위 ECe 1.5dS/m 이상(한국조경학회, 1999:287)과 시화공단 입해매립지의 EC 1.09~3.67 dS/m(구분학 등, 1999:89-95)보다 낮은 것은 객토량이 많기 때문일 것이다. Z1과 Z2에서 다른 지반보다 ECe가 높은 것은 매립토양이 염류에 교란되었기 때문이며, Z3, Z5, Z6지반은 성토를 하여 염류에 교란되지 않고 안정적이었으며, Z4지반은 전기전도도가 평균적으로는 낮았으나 지하부에서 국지적으로 높게 나타났다. 염류에 교란된 토양은 pH와 같이 장기간 잔류하여 전기전도도에 영향을 미치는 것으로 식재지반 조성시 염류에 교란되지 않은 토양을 사용하여야 할 것이다.

6) 치환성 양이온

치환성 양이온은 식재지반에 따라서 4가지 성질들 별로 각기 다른 패턴으로 나타났으며, 치환성 양이온 중에서 가장 많은 함량을 나타낸 것은 K<sup>+</sup>이었다(그림 8 참조). 바다매립지의 치환성 양이온들 중에서 가장

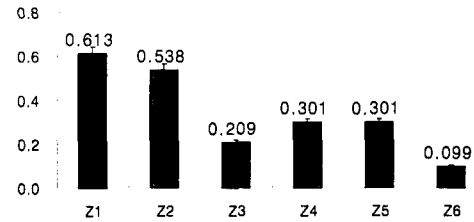


그림 7. 평균 전기전도도

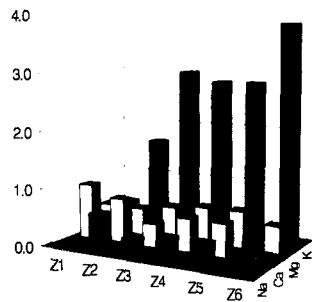


그림 8. 평균 양이온 치환용량

높은 토양성질은 경기도 시흥산업단지에서는  $Ca^{++}$ 가 4.48~7.87cmol/kg(구분학 등, 1999)으로 다른 치환성 양이온보다 가장 높았지만 광양만에서는  $K^+$ 가 0.095~4.640me/100로 가장 높았다(표 3 참조).

나트륨( $Na^+$ )은 범위 0.02~1.368me/100g이었고, 가장 높은 지반은 Z2지반으로 0.636me/100g이었으며, 가장 낮은 지반은 Z1지반에서 평균 0.024me/100g이었다. 본 조사지반은 곰솔 식재지반들 0.13~1.57me/100(김도균, 2001)과 시화공단지반 침해매립지의  $Na^+$  1.76~2.80cmol/kg(구분학 등, 1999:89~95)보다는 낮은 것이다. 객토가 많은 Z1, Z3, Z4, Z5 Z6지반들은 낮게 나타나는 반면, Z2지반에서 Na 가장 높게 나타나는 것은 지반 하층의 -35cm 이하의 준설매립토에  $Na^+$ 이 0.820~1.368me/100g 이상 높게 잔존하여 있기 때문이다.

칼륨( $K^+$ )은 범위 0.095~4.640me/100g이었고, 가장 높은 지반은 Z6에서 평균 3.854me/100g이었으며, 가장 낮은 지반은 Z1지반에서 평균 0.418me/100g이었다.  $K^+$ 이 객토매립지반이나 객토평복지반 보다 성토지반에서 높게 나타나는 것은 곰솔 식재지반(김도균, 2001)과 유사하였다. 또한,  $K^+$ 의 전체적인 경향은 시화공단지 침해매립지의  $K^+$  0.17~1.19cmol/kg(구분학 등, 1999)에 비하여 범위가 크고, 평균적으로는 토양의 평가기준치인 중급 3.0~0.6cmol/kg(한국조경학회, 1999)에 비하여 다소 높은 편이었다.

칼슘( $Ca^{++}$ )은 범위 0.035me/100g~3.156me/100g이었으며,  $Ca^{++}$ 가 가장 높은 지반은 Z1지반으로 평균 0.966me/100g이었고, 가장 낮은 지반은 Z6으로서 평균 0.0465me/100g이었다. 조사지반 전지반의 평균  $Ca^{++}$ 가 1.016me/100g 이하로 시화공단지 침해매립지의  $Ca^{++}$  4.48~

7.87cmol/kg(구분학 등, 1999)과 토양이화학적 특성 평가 기준의  $Ca^{++}$  최저 2.5cmol/kg 이상(한국조경학회, 1999)보다 크게 낮았다.

마그네슘( $Mg^{++}$ )은 범위 0.360me/100g~0.725me/100g으로 가장 높은 지반은 Z5지반으로 평균  $Mg^{++}$  0.641me/100g이었으며, 가장 낮은 지반은 Z4로서  $Mg^{++}$  0.431me/100g이었다. 조사지반의 평균  $Mg^{++}$ 는 0.431~0.641로 곰솔지역 평균  $Mg^{++}$  0.411~0.727me/100g(김도균, 2001)과 시화공단지 침해매립지의  $Mg^{++}$  1.45~2.68cmol/kg(구분학 등, 1999)보다 크게 낮은 것이며, 토양이화학적 특성 평가기준의  $Mg^{++}$  0.6cmol/kg(한국조경학회, 1999)보다 낮았다.

7) 염흡수율

염흡수율(SAR: sodium absorption ratio)은 범위 SAR 0.021~1.639로 SAR이 가장 높은 지반은 Z1지반으로 평균 SAR 0.712이고, 가장 낮은 지반은 Z2지반으로 평균 SAR 0.030이었다(그림 9 참조). 식재지반별 SAR의 크기는 Na와 유사한 패턴으로 곰솔지역의 경우(김도균, 2001)와 같았으며, 식물생장에 있어서 염류 피해를 나타내는 기준치 SAR 6.0(이충일 등, 1996)보다 현저하게 낮은 값이었다.

8) 유기물

전탄소(T-C: total carbon)는 범위 0.045%~1.620%로, T-C가 가장 높은 지반은 Z1지반에서 평균 0.492%이고, 가장 낮은 지반은 Z6지반에서 평균 0.088%이었다. T-C는 성토지반의 정상부보다는 지반이 낮은 지반에서 높은 편이며, 곰솔의 식재지반(김도균, 2001) 경우와 유사하였다. 이와 같이 T-C가 성토지반 보다 지반이 낮은 곳에서 높게 나타나는 것은 성토지반에 쌓

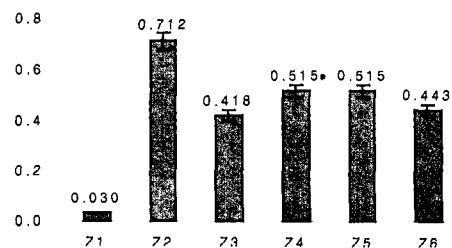


그림 9. 평균 염흡수율(SAR)

표 3. 임해매립지 느티나무 식재지반별 토양특성

Sites	Sand**				Silt**				Clay**			
	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Z1	73.66 eb	3,773	63.70	79.60	12.99 ab	3,481	8,200	20.10	13.40 ab	1,754	10.40	16.80
Z2	75.12 a	14,920	54.00	95.30	14.43 ab	9,260	2,900	27.60	10.51 b	6,253	1,400	20.30
Z3	69.15 b	4,098	64.30	76.20	15.65 a	3,364	11,300	24.00	15.28 a	4,226	6,100	19.20
Z4	77.12 a	2,475	71.30	80.40	11.87 ab	2,822	9,000	18.50	11.07 b	1,564	7,600	13.70
Z5	75.50 a	3,802	64.20	79.00	11.80 ab	4,763	8,700	24.70	12.74 ab	3,330	4,500	20.10
Z6	76.35 a	3,456	68.90	80.90	10.87 b	2,952	8,700	19.10	12.82 ab	2,656	9,900	16.20

Sites	Hardness(mm)**				Soil moisture content(%)**				pH**			
	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Z1	26.41 a	2,968	19.00	29.00	5.878 c	0.536	5.000	6.700	7.755 a	0.253	7.160	8.000
Z2	21.09 b	2,274	17.00	24.00	12.89 a	5.663	6.200	22.70	7.141 b	0.514	6.460	7.790
Z3	21.41 b	1,621	19.00	24.00	9.307 b	0.801	7.300	10.10	7.668 a	0.123	7.370	7.870
Z4	21.25 b	1,484	19.00	23.00	6.350 c	3.729	4.800	7.500	6.191 c	0.561	5.610	7.360
Z5	20.93 b	2,249	18.00	25.00	10.78 b	1,119	8.900	12.10	6.480 c	0.755	5.860	7.750
Z6	18.75 c	1,544	16.00	21.00	9.692 b	1,088	7.600	10.90	5.265 d	0.132	5.060	5.530

Sites	ECe(dS/m)**				Na(me/100g)**				K(me/100g)**			
	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Z1	0.613 a	0.089	0.430	0.835	0.024 c	0.005	0.020	0.040	0.418 d	0.070	0.296	0.548
Z2	0.537 a	0.208	0.230	1.020	0.636 a	0.596	0.025	1.368	1.638 c	1.363	0.095	3.204
Z3	0.209 bc	0.053	0.145	0.355	0.291 b	0.044	0.217	0.384	2.960 b	0.405	2.512	3.672
Z4	0.220 b	0.147	0.110	0.530	0.223 bc	0.100	0.027	0.412	3.294 ab	1.218	0.436	4.080
Z5	0.301 b	0.235	0.100	0.680	0.396 b	3.287	0.171	1.368	2.799 b	0.277	2.088	3.188
Z6	0.098 c	0.044	0.050	0.175	0.220 bc	3.029	0.160	0.288	3.854 a	0.409	3.200	4.640

Sites	Ca(me/100g)**				Mg(me/100g)**				SAR**			
	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Z1	0.966 a	0.775	0.207	3.156	0.481 c	0.062	0.418	0.679	0.030 c	0.004	0.021	0.041
Z2	0.770 ab	0.521	0.160	1.494	0.481 c	0.097	0.360	0.638	0.712 a	0.652	0.040	1.639
Z3	0.414 bcd	0.203	0.095	0.640	0.573 b	0.041	0.504	0.649	0.418 b	0.050	0.358	0.511
Z4	0.179 cd	0.196	0.050	0.605	0.431 c	0.038	0.370	0.504	0.429 b	0.176	0.037	0.628
Z5	0.579 abc	0.761	0.112	2.612	0.641 a	0.095	0.428	0.725	0.515 ab	0.281	0.316	1.462
Z6	0.046 d	0.016	0.035	0.089	0.462 c	0.054	0.393	0.557	0.442 b	0.079	0.301	0.607

Sites	T-C(%)**				T-N(%)**				C/N ratio(%)**			
	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Z1	0.492 a	0.255	0.290	1.160	0.048 b	0.018	0.036	0.110	10.55 a	5.644	6.300	27.00
Z2	0.347 ab	0.383	0.091	1.620	0.057 ab	0.036	0.038	0.180	5.385 b	2.086	2.400	9.000
Z3	0.210 bc	0.128	0.103	0.615	0.045 b	0.007	0.039	0.069	4.542 b	1.889	2.100	8.900
Z4	0.295 abc	0.373	0.119	1.560	0.049 b	0.022	0.035	0.120	5.000 b	2.525	2.700	13.00
Z5	0.304 abc	0.231	0.089	0.792	0.067 a	0.008	0.058	0.086	4.385 b	2.925	1.400	10.30
Z6	0.088 c	0.029	0.045	0.149	0.059 ab	0.004	0.054	0.067	1.492 c	0.412	0.800	2.300

a,b,c는 Duncan의 다중검정 결과이며, \* : 유의성 5%, \*\* : 유의성 1% 이내.

Z1: 객토매립지반, Z2: 객토평지반, Z3: 중성토지반, Z4: 대성토하부, Z5: 대성토사면, Z6: 대성토정상.



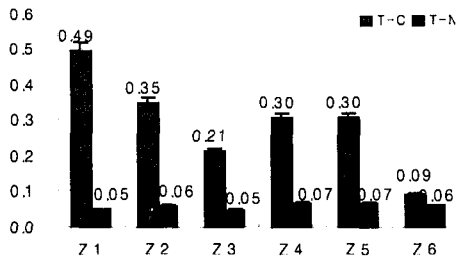


그림 10. 평균 전탄소(T-C), 전질소(T-N)

인 낙엽과 같은 유기물이 강우나 바람에 유실되어 식재지반의 높이가 낮은 곳에 집적되기 쉽기 때문(김도균, 2001)으로 생각된다.

전질소(T-N: total nitrogen)는 전체의 범위가 0.035%~0.180%이며, T-N이 가장 많은 지반은 Z5지반에서 평균 0.067%이고, 가장 적은 지반은 Z3지반에서 평균 0.045%이었다. 조경식재지반의 T-N은 0.06% 이상(한국조경학회, 1999) 유지되어야 하지만 조사지반 대부분이 낮은 값이었다(그림 10 참조).

탄질율(C/N ratio)은 범위가 0.8:1~27.0:1이었으며, 탄질율이 가장 큰 지반은 Z1지반으로 평균 10.5:1이었으며, 가장 적은 지반은 Z6지반으로 평균 1.4:1이었다. 조사지반의 탄질율은 일반 산림지반의 수림지에서 침엽수 50~200:1과 활엽수 40~70:1보다(이천용, 1996) 매우 낮은 것으로 T-C에 비하여 T-N이 높기 때문(김도균, 2001)이다.

#### IV. 결론

본 연구는 광양만 바다 매립지의 느티나무 식재지반에서 토양의 종류, 식재지반의 높이, 식재지반 유형별로 토양의 물리·화학적 특성을 조사·분석하였다.

1. 준설토와 객토의 토양성질 차이는 통계학적으로 유의수준 1% 이내에서 차이가 있었으며, 느티나무 생장에 있어서 객토가 준설토보다 유리한 것은 pH, E<sub>Ce</sub>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> SAR 등의 염류가 낮기 때문이었다.
2. 식재지반별 토양성질의 차이는 통계학적으로 유의수준 1~5%에서 차이가 있는 것으로 나타났으며,

이것은 매립기반 조성 and 식재지반 조성에 사용된 토양의 종류, 지반조성 형태, 시공방법, 부지의 이용 등의 토양교란 정도에 따라 다르기 때문이었다.

3. 식재지반별로 느티나무 생장에 불리한 요인은 객토 매립지반은 토양경도가 평균 26.4mm 이상 높고, 토양함수량이 평균 5.8%로 매우 낮은 것이며, 객토피복지반은 상층과 하층의 토양이 각각 산호와 준설토로서 토양성질이 매우 이질적이며, 하부층에 Na<sup>+</sup>이 0.820~1.368me/100g 이상 높았다. 중성토지반과 대성토 하부·사면지반은 수목생장에 큰 장애요인은 발견되지 않았지만, 대성토 정상지반은 강한 산성으로 느티나무 생장에는 불리한 것으로 예측되었다.
4. 이와 같은 결과에서 느티나무 생장에 유리한 식재지반은 중성토지반과 대성토하부와 사면부 이었으며, 불리한 지반은 객토매립지반, 객토피복지반, 대성토정상으로 생각되었다. 대체적으로 식재지반이 높으면 지반이 낮은 지반보다 양호하지만 성토지반이라고 할지라도 지반조성에 사용된 토양, 지반조성 과정과 조성 후 토지의 이용에 따라 토양환경이 불리한 요인이 산재하여 있으므로 식재지반 조성시에 수중에 알맞은 토양선정과 지반조성 과정과 이후에 토양이 교란되지 않도록 하여야 하며, 교란된 토양의 개량이 필요한 것으로 생각되었다.

본 연구에서 바다매립지의 식재지반 토양환경은 사용토양의 종류, 지반조성과정과 조성 이후 토지의 이용 그리고 유기물의 축적에 따라 매우 가변적이며, 수목의 생장에 불리한 요인이 많이 있으므로 식재지반별 토양환경이 수목의 생장에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 심도 있는 연구가 필요함을 시사하고 있다.

이번 연구는 바다 매립지에서 느티나무 식재지반의 토양 이화학적 성질에 대하여 현상학적으로 조사·분석하여 바다매립지 토양환경에 대한 전반적인 경향을 파악하기는 곤란하였으며, 수목생장에 미치는 영향에 대하여 기존의 이론으로 고찰하여 실험적 기제를 밝히는 데는 한계가 있었다. 향후 바다매립지 토양환경의 경향성을 파악할 수 있도록 광역지반의 조사 연구와 수목생장에 미치는 영향에 대하여 실험적 연구가 후속되어야 할 것으로 사료되었다.

## 인용문헌

1. 건설부(1975) 조경설계기준(Ⅰ).
2. 구본학(1993) 임해매립지내 조경수목의 하자요인에 관한 연구 -서해안과 남해안을 중심으로. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
3. 구본학, 강재선, 장관순(1999) 임해매립지에서 식재기반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구. 한국환경생태학회지 13(1): 89-95.
4. 구본학, 안건용(1993) 임해매립지내 조경수목의 하자요인에 관한 연구 -서해안과 남해안을 중심으로. 서울대학교 농학연구지 18(2):83-93.
5. 김도균(2000) 임해매립지의 조경수목 생육 특성 -광양만의 곰솔과 느티나무를 중심으로. 영남대학교 대학원 박사학위논문.
6. 김도균(2001) 임해매립지의 식재지반별 토양물리·화학적 특성. 한국환경복원녹화기술학회지 4(4):12-18.
7. 김도균, 김용식, 김민수, 오구균(2001) 광양만 임해매립지 곰솔 식재지반 토양환경의 수직적 특성. 한국환경생태학회지 15(2):186-192.
8. 김영만, 정정화, 허정(1984) 전남 미완공 간척지 제염상황조사보고서. 농진공시험연구소.
9. 김용식, 오구균, 김도균, 신현탁(1999) 가뭄극복을 위한 식재지 관리방안 -광양지역을 중심으로. 영남대학교부설 자원문제연구소 자원문제연구논문집 18(1):7-13.
10. 농어촌진흥공사(1996) 한국의 간척. 농어촌진흥공사.
11. 농촌진흥청(1988) 토양화학분석법. 농촌진흥청 농업기술연구소.
12. 대한주택공사(1995) 생육환경 특성을 고려한 아파트 단지내 조경수목 선정 및 식재방안 연구.
13. 박현수(2002) 임해매립지에 있어서 조경수 적합성 연구. 순천대학교 대학원. 석사학위논문.
14. 변재경(1997) 임해매립지에서 복토 높이가 수목의 고사율 및 생장에 미치는 영향. 임업정보 제78호. pp.55-62.
15. 변재경(2001) 임해매립지에서 해풍차단이 식재수목에 미치는 영향. 산림. 산림조합중앙회, 제431호. pp.68-72.
16. 안봉원(1998) 인천국제공항 식재지반조성 학술연구. 서울대학교 농업개발연구소.
17. 안열(1990) 우리나라 간척지 특성과 간척 후 토양의 특성에 대한 연구. 전북대학교 박사학위논문.
18. 양운진(1997) 환경식물학. 서울: 동화출판사.
19. 오재섭, 임정남(1967) 토양입자의 크기가 보수력에 미치는 영향에 대하여. 농기연 농시연보 10(3):1-8.
20. 유의열(1990) 임해매립지의 조경수목식재와 활착에 관한 연구 -인천직할시 남동공업단지를 중심으로. 한양대학교 환경과학대학원 석사학위논문.
21. 윤국병(1981) 조경배식학. 서울: 일조각.
22. 이천용(1996) 산림환경토양학. 서울: 보성문화사.
23. 이충일, 허재선, 박영세, 허용균, 김종택(1996) 제철소 지반특성에 적합한 수종개발. 산업과학기술연구소.
24. 임경민(1980) 특용수재배학. 서울: 향문사.
25. 장관순, 김형복(1999) 임해매립지의 생태계 복구를 위한 토양중 염류의 활성도 분석. 한국토양비료학회지 32(2):147-154.
26. 조백현, 조성진, 박천서, 엄대익(1999) 삼정 토양학. 서울: 향문사.
27. 조우(2000) 인천시 해안매립지 녹지조성기법개발 연구. 인천발전연구원. pp.41-106.
28. 최일홍, 황경희(2000) 임해매립지 식재기반 조성에 관한 사례조사 연구. 대한주택공사 주택연구소. p.87.
29. 최일홍, 황경희, 이경재(2002) 임해매립지 조경수목의 피해현황 및 요인분석. 한국환경생태학회지 16(1):10-21.
30. 포항종합제철주식회사(1993) 영일만에서 광양만까지 -포항제철 25년사.
31. 한국종합조경공사(1979) 조경용소재도감 -수목, 초화, 구조물. 한국종합조경공사.
32. 한국조경학회(1999) 조경설계기준. 한국조경학회.
33. 本間 啓(1973) 綠地學 研究 No.4. 東京大學農學部園藝第 二(綠地學)研究室. pp.107.

원 고 접 수 : 2003년 12월 9일

최종수정본 접수 : 2004년 2월 11일

3인익명 심사필