

광양만 임해매립지 곰솔 식재지역 토양환경의 수직적 특성¹

김도균² · 김용식³ · 김민수⁴ · 오구균⁵

Vertical Soil Environmental Characteristics at Landscape Planting Sites of *Pinuse thunbergii* Parlatore in Reclaimed Land from the Sea on Kwangyang Bay¹

Do-Gyun Kim², Yong-Shik Kim³, Min-Soo Kim⁴, Koo-Kyoon Oh⁵

요 약

본 연구는 전라남도 광양만의 6개 임해매립지 식재지반의 토양환경 특성을 조사 분석하였다. 토심이 깊어짐에 따른 토양성질의 수직적 특성은 각 식재지반별로 다르게 나타났다. 토양성질의 수직적 특성에 영향을 미치는 요인은 객토와 준설토의 이질성, 토양의 물리·화학성의 교란, 지반하부에 잔존하는 염류의 이동, 유기물의 이동과 강우나 가뭄 등이었다.

수목 생육상 유리한 식재지반은 식재지반의 높이가 낮은 곳보다 높은 성토지역이었으며, 이것은 토양의 물리·화학적 교란과 지하부의 염류로부터 안전성이 높기 때문이었다. 조경식물 생육상 불리한 토양성질들은 토성의 이질성, 토양의 경화, 알칼리성 염류토양, 높은 E_{Ce}, Na, K, 저농도의 Ca, Mg, T-C 등이었으며, 이러한 토양성질들은 표토보다는 지하의 근권부에 주로 분포하여 있었다. 따라서 임해매립지 식재지반 조성시에는 토양의 성질이 교란되지 않는 방법이 모색되어야 하며, 조경수목의 생육에 관련된 토양환경조사는 지하 근권부 이하까지 정밀하게 조사·분석하여야 할 것으로 사료되었다.

주요어 : 조경수목, 식재지반, 토양성질, 수직적 토양특성

ABSTRACT

The present study is to analyze the soil environmental characteristics of the six sites of planting ground in the reclaimed land from the sea on Kwangyang Bay, Chollanam-do

1 접수 5월 31일 Received on May 31, 2001

2 광양조경주식회사 Kwangyang Landscape Architecture Co., Ltd., Kwangyang, 545-875, Korea(doaha@hanmail.net)

3 영남대학교 자연자원대학 조경학과 Dept of Landscape Architecture, College of Natural Resources, Yeungnam Univ., Kyongsan, 712-749, Korea(yskim1@ynuucc.yeungnam.ac.kr)

4 대구가톨릭대학교 조경학과 Dept. Landscape Architecture, Catholic Univ of Deagu., Kyongsan, 712-702, Korea(mskim@cuth.cataegu.ac.kr)

5 호남대학교 도시·조경학부 School of Urban Planning and Landscape Architecture, Honam Univ., Kwangju, 506-714, Korea(landeco@honam.honam.ac.kr)

Province. The vertical soil characteristics were varied as the soil depth the more deepen. The vertical soil characteristics of the soil variables were estimated to influence by introduced soil, diverse soil textures of the dredge soil, the disturbance of both physical and chemical elements of soil, the movement of salt which deposited in the underground, movement of organic matter, rainfall and drought, etc. Due to the free from the variables such as salt content in the underground and the physical and chemical disturbance of the soil, the favorable planting ground to the tree growth was recorded at the higher heights than the lower ones. On the contrary, the detrimental soil factors to the tree growth in the studied sites were the factors such as vertical heterogeneity of soil texture, soil characteristics of soil hardness, PH, Ece, Na and K were high, contend of Ca, Mg and T-C were low in the root systems distributed. The basic tip for an establishing the planting ground in reclaimed land is not to disturbed the soil characteristics. When the planting works planned, the strategy for the soil surveys should be applied to the depth below the root systems distributed.

KEY WORDS : PLANTING TREES, PLANTING FOUNDATION, SOIL CHARACTERISTIC, VERTICAL SOIL CHARACTERISTIC

서 론

연구내용 및 방법

임해매립지에서 조경수목을 식재할 때에는 해저의 바닷물에 의한 토양의 이화학적 성질이 특이하여(本間啓, 1973) 조경수목의 생장에 불리한 토양환경을 극복하고자 여러 가지 유형의 식재지반을 조성하고 있다.

임해매립지 식재지반의 토양특성은 토양의 물리·화학적 성질들이 원기반 매립재의 종류, 토양의 깊이, 매립 후 경과 시간(대한주택공사, 1995; 구본학 등, 1999), 매립 후 조성과 유기물에 의한 염류의 집적, 지반조성 과정과 지반조성 이후에 부지의 이용에 따른 토양의 교란(구본학, 1999; 김도균, 2000), 지하부에 상존하는 바닷물 염분이 기후에 따라 삼투압 작용에 의한 수직적 상승과 하강을 반복(Fitter *et al.*, 1987)하기 때문인 것으로 보고되어 있다.

이와 같이 임해매립지의 토양환경은 수직적으로 매우 역동적이어서 수목생장에 영향을 크게 미치므로 토양성질이 경시적으로 토양 깊이에 따라 어떻게 변화가 되는지에 대한 심층적인 고찰이 필요하다.

따라서 본 연구는 광양만의 임해매립지 식재지반 유형별로 수직적 토양의 이화학적 특성을 조사·분석하여 조경수목 생장 해석과 식재지반 조성 방법 및 토양개량 기술개발에 필요한 자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

1. 조사지 개황

조사 대상지는 우리 나라 남해안에 위치한 광양만의 임해매립지이며, 행정 구역상으로 전라남도 광양시 금호동 주택단지 완충녹지대이다. 조사 대상지의 임해매립지 조성은 1982년부터 1989년까지 광양만 해저의 갯벌을 준설공법(Sand pumping)으로 매립지반의 높이 DL+5.0~5.5m(포항종합제철, 1993) 정도의 평탄면이다. 식재지반의 조성은 1991년에 준설토와 객토를 사용하여 객토피복법, 객토매립법, 성토법 등으로 조성하였다.

2. 조사지역의 구분

조사지역의 구분은 식재지반 유형에 따라 먼저 식재지반의 높이, 객토의 양 그리고 식재의 위치에 따라 객토매립지역, 소성토지역, 중성토지역, 대성토지역으로 구분하였으며, 대성토지역은 다시 식재 위치에 따라 하부, 사면부, 정상부로 세분하였다.

식재지역 유형별 특징은 객토매립지역의 경우 객토를 사용하여 PL-120cm 이하로 매립되어 있고, 객토피복지역은 준설매립지반 위에 객토를 PL+20~30cm, 중성토지역은 PL+120cm로 성토되어 있다. 대성토지역은 준설토로 PL+200~250cm 정도로 성토한 그 위에 객토를 PL+80~120cm 정도

덧씨우기 한 지역으로써 하부지역은 PL+20~30cm이고, 사면부는 PL+120cm, 정상부는 PL+300~350cm이다.

3. 토양조사 및 분석

토양 채취는 6개 식재지반에서 수직적으로 지하 120cm까지 구덩이를 파고, 단면을 다듬은 다음 근권부인 표토 층에서부터 지하 60cm까지는 5cm마다 12단계로 정밀 채취하였으며, 근권부에 영향을 미칠 것으로 예상되는 지하 80cm 층과 지하 120cm 층으로 구분하여 총 14단계로 구분하였다. 토양시료의 채취는 각 식재지반에서 5반복 채취하여 혼합한 다음 비닐 봉지에 담아서 실험실로 옮긴 다음 음건하여 2mm 체로 쳐서(sieve) 원추사분법(円錐四分法; conical quartering)(농촌진흥청, 1988)으로 나누어 토양분석 시료로 사용하였다.

토성은 Kühn 장치에 의해 미국농무성법(America Society of Agronomy, 1976)으로 하였으며, 토양의 경도는 산중식토양경도계(山中式土壤硬度計, SHM-1)를 수평방향으로 20회 반복 측정하여 평균치를 계산하였고, 토양함수량을 조사하였다. pH는 Fisher 230A pH meter로, ECe는 DM35 Conductivity meter, 치환성양이온은 Atomic absorption spectrophotometer(M-901)으로 Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ 을 정량(Allen *et al.*, 1986)하였고, T-C(Total Carbon)는 TOC 분석장치를 이용하여 적외선 흡수법에 따라 연소산화식으로 하였으며, T-N(Total Nitrogen)은 Jackson(1967)의 방법으로 분석하였다.

결과 및 고찰

광양만 임해매립지의 식재지반별 토양성질의 수직적 변화는 토심이 깊어짐에 따라 각 식재지반별로 증가하는 것과 감소하는 것 그리고 증가와 감소가 반복하는 것 등으로 구분되었다(Figure 1).

토성은 모래 72~87%, 미사 4.1~14.9%, 점토 8.3~14.2%으로 모래가 미사와 점토보다 많았다. 토심이 깊어짐에 따른 수직적 변화는 객토피복지역의 경우에는 모래의 함량이 많아지는 경향이 뚜렷하였고, 다른 지역들은 표층에서부터 지하 60cm까지에서 모래, 미사, 점토의 증감이 식재지반별로 미미한 기울기를 보이며, 지하 80~120cm에서 모래는 적어지고 미사나 점토가 많아지는 것이 뚜렷하였다. 객토

피복지역에서 수직적 변화가 큰 것은 상층부의 객토와 하층부의 준설토가 각각 사양토(SL: sandy loam)와 양사토(LS: loamy sandy)로서 모래함량은 각각 80.8%와 94.3%이고, 미사는 각각 5.9%와 2.4%이며, 점질토는 각각 13.3%와 3.3%로 객토와 준설토가 서로 이질적인 토성이기 때문이다. 객토가 있는 나머지 지역들에서 미사나 점토가 일정한 기울기로 증·감하는 것은 식재지반 조성 이후 토양의 안정화 과정에서 미사와 점토가 하부쪽으로 이동하여 심토부에 집적되는 일련의 현상으로 보인다.

토양경도는 전체적으로 범위 15.0~33.0mm이었으며, 대부분의 식재지반에서 표토부분보다는 지하부에서 높았고, 식재지반이 낮은 지역이 높은 지반보다 토양경도가 높게 나타났다. 객토포복지역과 대성토하부의 지하 20~45cm의 근권부와 객토피복지역의 20~45cm 부분 그리고 중성토지역의 지하 40cm 이하에서 식물의 생육이 제한될 수 있는 토양경도 27mm 이상(新田, 1976)으로 높았다. 또한, 대성토지역의 사면부와 정상부지역에서도 국지적으로 토양경도가 25mm 이상 높은 얇은 층을 이루고 있는 것이 발견되었다. 이처럼 토양경도가 지하부에서 높은 것은 지반조성과 식재지반 조성과정에서 장비에 의하여 전압되었고, 부지조성 이후에 건설자재의 노적에 의하여 토양경도가 높아졌기 때문이다.

토양함수량은 전체적으로 범위 3.4~12.7%이었으며, 표토부분이 낮고 지하부에서 증가하였다가 감소하지만 토양경도나 토성에 따라 변화가 다르게 나타났다. 객토포복지역은 토양경도가 25mm 이상으로 높기 때문에 다져짐 층 상하간에 물의 수직 이동이 불량(김필주, 1998)하고, 객토피복지역의 하층부 준설토층에서 토양함수량이 3.9%로 매우 낮은 것은 모래함량이 94.3%로 매우 많기 때문으로 판단되었다. 다른 지역들에서 토양수분이 표토부분으로부터 지하 15cm까지가 심토부분보다 0.6~1.0% 가량 낮게 나타나는 것은 표토가 나지화되어 있어서 바람, 온도, 습도, 증발산 등과 나무 뿌리에 의한 증산에 의하여 수분이 손실(조백현 등, 1998)되기 때문이고, 중층부에서 수분함량이 높으나 심층부에서 토양수분이 감소하는 것은 지하수위가 차단되고 심층부의 준설 모래쪽으로 토양수분이 빠르게 이동되기 때문으로 추정된다.

pH는 전체적으로 범위 pH 5.0~7.8이었으며, 토심이 깊어짐에 따라 객토포복지역과 객토피복지역은 증가하였고, 중성토지역과 대성토지역은 감소하였다. pH의 수직적 기울기는 객토포복지역과 객토피복지역의 경우에는 ECe, Na, Ca, 중성토지역과 대성

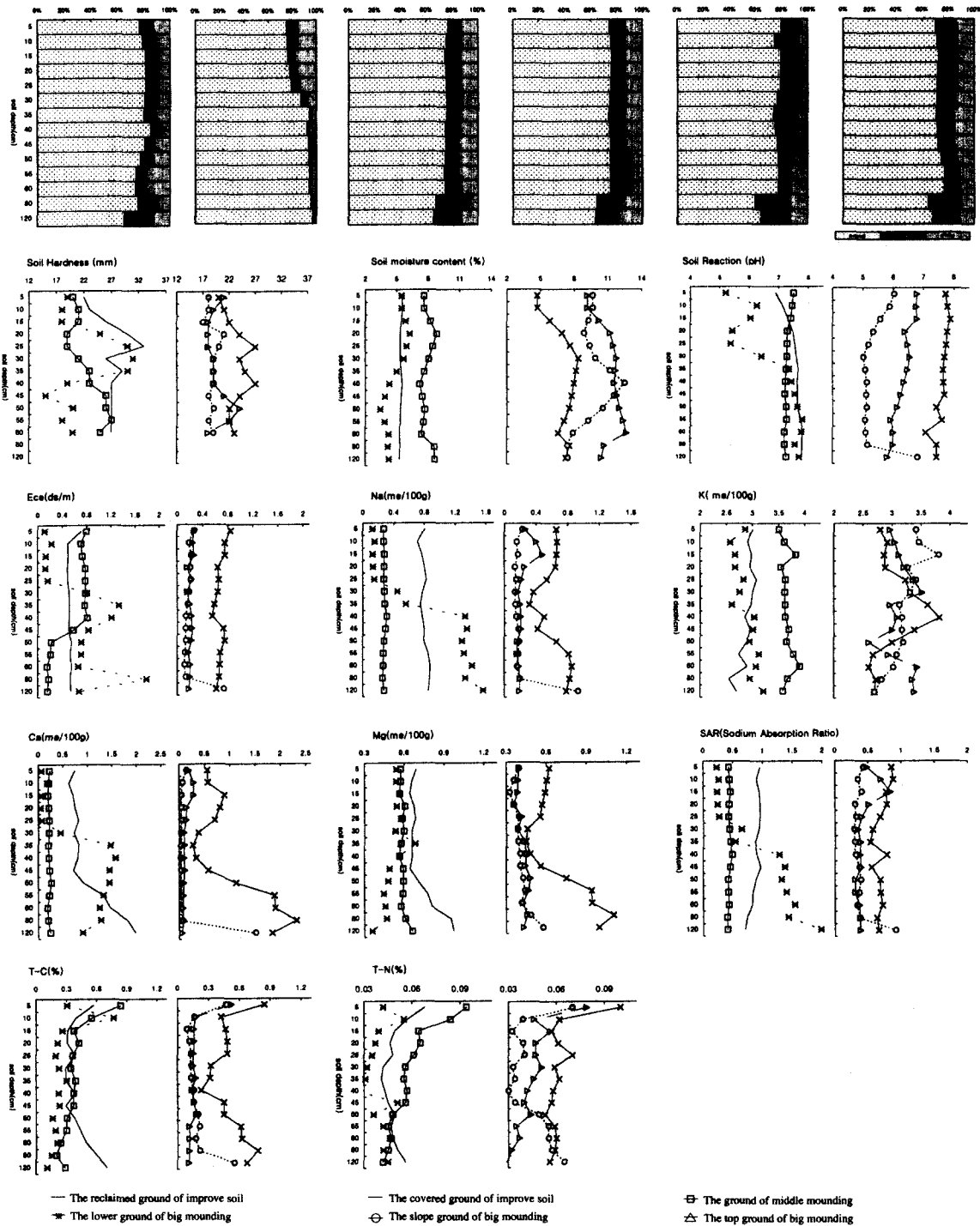


Figure 1. Vertical Variations of soil properties at the six study sites

토지역에서는 ECe, T-C, T-N 등과 유사하거나 반대로 변화하는 경향이였다. pH는 표토에 집적되는 유기물과 무기물에 의하여 반응(조백현 등, 1998)하는 것으로 추측된다.

ECe는 전체적으로 범위 0.115~1.798dS/m이었으며, 토심이 깊어짐에 따라 객토피복지역에서는 증가하고 나머지 지역들은 감소하였다. 또한, ECe의 수직적 기울기는 객토패립지역의 경우에는 토양함수량, Na, K, 객토피복지역에서는 Na와 Ca, 중성토지역에서는 토양성질들간에 관련된 것이 뚜렷하게 나타나지 않았고, 대성토지역에서는 Na, T-C, T-N 등이 유사하거나 반대로 변화하는 경향이였다. 객토피복지역의 하층에서 ECe 0.68~1.80dS/m로 매우 높은 것은 준설토에 염분이 완전 용탈되지 않고 잔류하고 있기 때문이며, ECe가 지하 30~40cm 층에서 0.82~1.34dS/m 높은 것은 삼투압에 의해 염류가 상승과 하강을 반복하면서 상층의 객토와 하층의 준설토가 서로 이질적인 토성으로 인하여 모세관 현상이 연결되지 못하고 이부분에 염류가 집적되거나 정체되기 때문으로 생각된다. 나머지 지역들에서 표토층에서는 ECe가 높고 심층부로 갈수록 낮아지는 것은 염분이 토양수분에 의해 감소되고 (Richards, 1954), 가용성 염류는 수용액 중에서 양이온과 음이온으로 해리되어 이온의 농도에 비례하며(水野, 1984), 유기물에 의해 변화되기 때문일 것이다.

Na는 전체적으로 범위 0.130~1.510me/100g이었으며, 수직적 변화는 중성토지역과 대성토하부를 제외한 나머지 지역들은 ECe의 변화와 유사하였다. 객토패립지역, 객토피복지역, 중성토지역, 대성토하부에서 Na 수직적 변화의 기울기가 토양함수량에 대하여 반대로 나타나는 것으로 보아 Na의 증감은 토양수분이 영향을 미치는 것으로 보인다. 또한, 객토피복지역에서 Na의 수직적 변화가 상층부에서는 0.880me/100g 낮으나 하층부로 갈수록 1.568me/100g까지 일정하게 높아지는 것은 지하부에 상존하는 염류가 강우, 일조, 증발, 바람 등에 의해 용탈(임경빈 등, 1984)되고 있는 것으로 판단되었다.

K는 전체적으로 범위 2.550~3.910me/100g이었으며, 수직적 변화에 있어서 토심이 깊어짐에 따라 증가하는 지역은 객토피복지역, 중성토지역이었으며, 감소하는 지역은 객토패립지역과 대성토사면부이었고, 증가 후 감소하는 지역은 대성토하부와 정상부이었다. 수직적 변화가 큰 대성토하부의 기울기는 토양경도와 토양수분과는 유사하며, Na, Ca, Mg, T-C

등과는 반대로 변화하는 것으로 보아 이들의 상관관계가 있을 것으로 보인다.

Ca는 전체적으로 범위 0.030~2.310me/100g이었으며, 수직적 변화는 객토피복지역을 제외한 나머지 지역들에서 Na의 경향과 유사하였다. 객토피복지역에서 Ca의 기울기가 표토에서 0.060me/100g부터 지하 40cm에서 1.579me/100g까지 증가하였다가 준설토 층에서는 토심이 깊어짐에 따라 120cm 부분에서는 0.899me/100g까지 감소하였다. 이것은 하부의 준설토 층에서 Ca가 상승작용을 하다가 객토와 준설토가 밀착되지 못하여 유리층이 되고, 이것은 모관수가 단절되기 때문에 이층을 따라 Ca가 집적되고 있는 것으로 추정된다.

Mg는 전체적으로 범위 0.330~1.100me/100g이었으며, 수직적 변화는 객토피복지역을 제외한 객토패립지역, 중성토지역, 대성토정상부에서는 Ca와 유사하였다. 객토피복지역에서 표토층 Mg 0.539me/100g로부터 지하 35cm 부분의 0.683me/100g까지는 상승하다가 지하 120cm에서 0.358me/100g까지 토심이 깊어질수록 낮아지는 것은 Ca의 경우와 같이 객토와 준설토가 접하는 층에서 Mg가 일시적으로 집적하기 때문이며, 하층의 준설토에서 Ca보다 낮은 것은 Mg가 Ca 이온에 비해 높은 하향 이동성을 가지고 있기 때문(류판식 등, 1994; Messick *et al.*, 1984; Edmeades, 1982)이다.

SAR은 전체적으로 범위 SAR 0.230~1.980이었으며, 수직적 변화는 Na의 변화와 유사하였다. SAR은 Ca와 Mg가 적어서 Na가 지배적으로 영향을 미치는 것으로 판단된다.

T-C는 범위 0.090~0.850%이었으며, 모든 지반에서 표토부분은 0.307~0.845%로 매우 높았다가 지하 20cm부터는 0.109~0.479%까지 급격하게 낮아지는 경향이였으나 객토패립지역과 대성토하부지역은 토양경도가 높아지는 지하 20~60cm에서는 감소 후 다시 증가하는 추세이었다. 수직적 변화의 기울기는 객토피복지역을 제외한 다른 지역에서 Ca의 변화와 유사하였다. T-C가 표토에서 높은 것은 조경수목 식재 이후 낙엽이나 다른 유기물이 표토부분에 집적되기 때문으로 생각된다.

T-N는 전체적으로 범위 0.030~0.100%이었으며, T-C의 경우와 같이 표토에서 매우 높았고, 하층부로 갈수록 감소하였다. 표토부분에서 아래쪽으로 깊어질수록 점증적으로 낮아지는 것은 표토층의 유기물이 무기화작용에 의하여 토양수분과 함께 용탈되어 가고 있는 현상으로 보인다. 각 식재지반별로 차이가

있는 것은 토양질소의 무기화 현상이 토성, 유기물함량(渡邊公吉, 1986)과 식물의 뿌리에 의하여 다르고(안상배 등, 1992), 토양에서 유기태 질소가 무기화되는 정도가 토양함수량, 온도, 토양산도, C/N비 등에 의해 다르게 나타나기 때문이다(Stanford and Epstein, 1974; Nyborgs and Hoyt, 1978).

이처럼 임해매립지에서 토심에 따라 토양성질이 수직적으로 변화하는 것은 토양의 물리·화학적 성질의 교란, 객토와 준설토의 이질성, 지반하부에 잔존하는 염류의 이동, 유기물의 이동과 강우나 가뭄 등이 영향을 미치는 것으로 요약되었다.

이상에서 나타난 토양성질의 수직적 특성을 식재지 반별로 요약하면, 토심이 깊어짐에 따른 토양성질의 수직적 변화의 양상은 식재지반 유형별로 다르게 나타났다. 토양성질의 수직적 변화가 큰 식재지반은 객토포복지역>대성토하부>중성토·대성토사면부·정상부>객토매립지역 순이었다. 즉, 토양성질의 수직적 변화의 크기는 식재지반의 높이가 낮은 지반들이 지반의 높이가 높은 지반들보다 크게 나타났다.

객토매립지역에서 염기성 양이온에 교란된 객토가 사용되었음에도 수직적 변화가 크지 않은 것은 토양경도가 25mm 이상 경화되어 있어 다른 토양성질들의 물질 이동이 낮기 때문으로 추측된다.

객토포복지역에서 토양성질들의 수직적 변화가 큰 것은 상층부의 객토와 하층부의 준설토가 토성이 이질적이기 때문이다. 특히, 객토는 토양함수량 5.6%로 높으나 pH 6.0, ECe 0.421dS/m, Na 0.244me/100g, Ca 0.331me/100g로 낮은 반면, 준설토는 그 반대로 토양함수량이 3.9%로 낮고 pH, ECe 0.948dS/m, Na 1.376me/100g, Ca 1.318me/100g로 높기 때문이다. 객토와 준설토가 접하는 지하 35~45cm 부분에서 ECe 1.215 dS/m, Na 1.332me/100g, Ca 1.579me/100g, Mg 0.566me/100g, T-C 0.3% 정도로 높게 나타나는 것은 객토와 준설토 두 토양이 이질적이어서 유리화되어 염류가 강우나 가뭄 때에 모세관 현상에 의해 상승과 하강을 반복하는 과정에 두 토양 층간에 이동되지 못하고 정체되어 집적되고 있기 때문으로 추정된다.

중성토지역에서 토심이 깊어짐에 따라 토양경도와 K는 증가하는 추세이었으나 pH, Na, Ca, Mg, SAR은 미미하게 변화하며, T-C와 T-N은 감소하였다.

대성토하부는 토양경도의 기울기에 따라 토양함수량, Na, K, Ca, Mg, T-C 등이 유사하게 변하고 K는 반대적으로 변화되고 있어서 토양함수량이 여러

가지 토양성질들에게 영향을 미치는 것으로 판단된다. 대성토지역 사면부와 정상부에서 pH, ECe, Na, Ca, T-C, T-N는 미세하게 감소하였으며, 토양함수량은 증가하였다가 감소하며, K는 증감이 불규칙하였다.

이러한 결과에서 조경식물 생육상 불리한 토양성질들은 토성의 이질성, 토양의 경화, 알칼리성 염류토양, 높은 농도의 ECe, Na, K, 저농도의 Ca, Mg, T-C 등으로서 표토보다는 지하의 근권부에 주로 분포하여 있었다. 수목생육에 유리한 식재지반은 성토 높이가 높을수록 유리한 것으로 종합되며, 이것은 토양의 물리적 교란이나 지하부의 염류에 의한 교란으로부터 안정적이기 때문으로 판단되었다. 따라서 임해매립지 조경수목 생육에 관련된 토양조사는 근권부 이하까지 조사 분석을 하여야 할 것이며, 식재지반 조성시에는 토양의 성질이 교란되지 않는 방법이 모색되어야 할 것으로 사료되었다.

본 연구는 임해매립지 토양의 수직적 변화의 양상을 추정하는 데 국한되어 있으며, 향후 식재지반별 토양성질의 차이, 토양성질들간의 상관성 분석, pH와 ECe 증감에 영향을 미치는 다른 토양성질들의 기여도 분석과 요인분석 등에 대한 후속연구가 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 논문의 연구에 물질양면으로 지원하여 주신 광양제철소 녹화팀 허춘언 팀장과 박현수 대리 그리고 포항산업기술연구원 광영세 박사께 감사드립니다.

인용문헌

- 구본학, 강제선, 장관순(1999) 임해매립지에서 식재지반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구. 한국환경생태학회지. 13(1): 89-95.
- 김도균(2000) 임해매립지의 조경수목 생장특성 - 광양만의 곰솔과 느티나무를 중심으로. 영남대학교 대학원 박사학위 논문. 44-47.
- 김필주(1998) 시설재배지 염류집적 토양에서의 토양수분과 음이온의 이동특성. 충남대학교 대학원 박사학위 논문. 36-40.
- 농촌진흥청(1988) 토양화학분석법 - 토양·식물체·토양미생물. 농촌진흥청 농업기술연구소. 21.
- 대한주택공사(1995) 생육환경특성을 고려한 아파트단

- 지 내 조경수목선정 및 식재방안 연구 - 매립지별 식재지반 생육환경 특성을 중심으로. 49-75.
- 류관식 · 류순호 · 송관철(1994) 토양수분조건에 따른 Ca, Mg과 K의 이동. 한국토양비료학회지. 27(4): 255-262.
- 안상배, 本松輝久, 연병열, 육창수(1992) 수답윤환토양에서 질소무기화의 특성에 관한 연구. 한토비지 25(2): 133-137.
- 임경빈, 김동암, 한왕범, 송희복, 권찬호, 신재두, 황중서(1984) 간척 초지 조성에 관한 연구 - 내염성 목초의 초종 및 품종 선정. 한국축산학회지 26(5): 474-482.
- 조백현, 조성진, 박천서, 엄대익(1998) 삼정 토양학. 향문사. 100, 186.
- 포항종합제철주식회사(1993) 영일만에서 광양만까지 - 포항제철25년사. 428-433.
- 渡邊公吉(1986) 北海道 中央地域における復元田の土壤特性と施肥法. 日土施肥誌. 技術レポート: 512-514.
- 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. 107.
- 水野直治(1984) 水溶液の電氣傳導度率する各種 イオン濃度の影響. 日土肥誌 55(2): 103-108.
- 新田伸三ら(1976) 土木工事ののり面保護工, 鹿島出版社. In, Noboru Karizumi. 1979. Illustrations of tree roots. 誠文堂新光社. 312.
- America Society of Agronomy(1976) *Methods of soil analysis*, 4th ed. Part 2. 912-918.
- Allen, S. E., H. M. Grimshaw and A. P. Rowland (1986) *Chemical analysis. In, Methods in plant ecology.* Moore, P. D. and S. B. Chapman(eds.). Blackwell Scientific Publications, Oxford, 258-344.
- Edmeades, D. C.(1982) Effects of lime on effective cation exchange capacity and exchangeable cations on a range of New Zealand soils. N. Z. J. Agr. Res. 25: 27-33.
- Fitter, A. H. and R. K. M. Hay(1987) *Environmental physiology of plants.* Academic Press, London.
- Jackson, M. L.(1967) *Soil chemical analysis.* Prentice-Hall Inc. New Delhi. 498.
- Messick, C. L., M. M. Alley and L. W. Zelazny(1984) Movement of calcium and magnesium in Ultisols from dolomitic limestone. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 1096-1101.
- Nyborgs, M. and P. B. Hoyt(1978) Effect of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen. Can. J. Soil Sci. 58: 331-338.
- Richards. L. A.(1954) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* U.S.D.A. agriculture handbook No. 60.
- Stanford. G. and E. Epstein(1974) Nitrogen mineralization - Water relation in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 103-107.