

## 인천지역 해안매립지 식재기반 평가 연구

김원태 · 윤용한<sup>1)</sup> · 김정호<sup>1)\*</sup>

천안연암대학 환경조경과, <sup>1)</sup>건국대학교 자연과학대학  
(2011년 9월 7일 접수; 2011년 10월 9일 수정; 2011년 11월 2일 채택)

### Evaluation of Soil in Planting Ground at Seashore Reclaimed Land in Incheon

Won-Tae Kim, Yong-Han Yoon<sup>1)</sup>, Jeong-Ho Kim<sup>1)\*</sup>

Department of Landscape Architecture, Cheonan Yonam College, Cheonan 331-709, Korea

<sup>1)</sup>College of Natural Sciences, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea

(Manuscript received 7 September, 2011; revised 9 October, 2011; accepted 2 November, 2011)

#### Abstract

The purpose of this study was to analyze physicochemical characteristics of soil within planting base of Incheon coastal reclamation cities where 10 years have passed since reclamation, and to provide basic data to promote growth and development of plants by conducting evaluation based on the planting degree standard. Study targets were Cheongra, Songdo, and Yeongjong districts within Incheon Free Economic Zone, the coastal reclamation city. The analysis results of average soil characteristics of 3 districts. Soil acidity(pH) was shown in orders of Cheongra district(8.85) > Songdo district(8.70) > Yeongjong district(7.97) and electric conductivity(EC) was shown in orders of Cheongra district(4.80 dS/m) > Songdo district(1.30dS/m) > and Yeongjong district(0.07 dS/m). Organic matter content(OMC) was shown in orders of Cheongra district(5.72%) > Songdo district(2.60%) > Yeongjong district(0.59%) and available phosphate was shown in orders of Cheongra district(70.70 mg/kg) > Songdo district(23.07 mg/kg) > Yeongjong district(2.49 mg/kg). K<sup>+</sup> was shown in orders of Songdo district(0.84 cmol/kg) > Cheongra district(0.74 cmol/kg) > Yeongjong district(0.22 cmol/kg), Ca<sup>++</sup> was shown in orders of Cheongra district(22.08 cmol/kg) > Songdo district(9.87 cmol/kg) > Yeongjong district(4.04 cmol/kg), and Mg<sup>++</sup> was shown in orders of Cheongra district(1.98 cmol/kg) > Songdo district(1.22 cmol/kg) > Yeongjong district(1.12 cmol/kg). Planting base level of coastal reclaimed land can be applied with above intermediate level, soil acidity and available phosphate were all more than intermediate in 3 districts, and electric conductivity was low level in Cheongra district and more than intermediate level in Songdo and Yeongjong districts. Organic matters content was more than intermediate level in Cheongra district and low level in Songdo and Yeongjong district. K<sup>+</sup> among exchangeable ions was intermediate level in Cheongra and Songdo district and low in Yeongjong district. Ca<sup>++</sup> and Mg<sup>++</sup> both were more than intermediate levels in 3 districts.

**Key Words** : Planting grade, Soil acidity(pH), Electrical conductivity(EC), Soil organic matter(O.M.)

#### 1. 서론

해안매립은 국토의 효율적 이용 측면에서 국토를 확장하여 식량의 안정적 공급, 도시화의 확대에 따른

\*Corresponding author : Jeong-Ho Kim, College of Natural Science, Konkuk University, Chungju 380-701, Korea  
Phone: +82-43-840-3538  
E-mail: klab003@gmail.com

토지수요에 대한 대처의 수단으로 흔히 이용되고 있으며, 우리나라의 경우 1960년대 공유수면에 대한 간척사업이후 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 해안을 활용한 국토확장방법은 크게 간척과 매립으로 구분할 수 있는데(인천발전연구원, 2000), 간척은 근해의 간척지 또는 호소에 제방 축조 등 제반공사를 시행하고, 간만의 차를 이용하여 내부의 물을 배제한 후 토지를 새롭게 창출하는 것이고, 매립은 다른 곳에서 토사 등의 물질을 인위적으로 운반해 와서 해안부에 투여하여 해면의 최고수위 이상으로 지반을 높이는 것으로 주로 항만, 공업단지, 도시용지 등의 조성을 위한 토지확보 수단으로 활용되고 있다. 간척과 매립은 다소 그 의미에서 차이가 있으나, 일반적으로 간척의 한 수단으로 매립이 포함되고 있다.

우리나라의 해안매립은 주로 서해안과 남해안을 중심으로 이루어져 왔으며, 특히 인천광역시 포함 서해안은 대규모 매립의 중심지 역할을 수행해 왔으며, 이중 인천광역시 경제자유구역청 내 청라지구, 송도지구, 영종지구는 인천의 새로운 중심지로 자리 잡고 있다. 각 지역의 매립기간을 살펴보면(인천발전연구원, 1999), 청라지구 1989년~2001년, 송도지구 1994년~2001년, 영종지구 1992년~1999년이다.

해안매립 후 도시건설시 건축물과 도로 등의 기반 시설과 더불어 많은 녹지가 조성되고, 이 녹지에 다양한 식물이 식재되고 있지만, 식물의 생육불량, 고사 등의 많은 문제점을 야기하고 있는 실정이다. 해안매립지 내 식재된 수목들의 생육불량 원인은 해양으로부터 불어오는 조풍과 강풍에 의한 피해와 생육에 부적합한 토양특성으로 대별된다(Bernstein과 Ayers, 1971).

일반적으로 해안매립지에 사용하는 토양은 인접성, 저비용, 다량구입 가능성의 원칙 아래 사용되는데, 주로 해저준설토, 산토, 건설발생토, 그 외 생활쓰레기와 공업폐기물 등이 사용되고 있다. 일본의 경우 1975년까지 매립에 사용된 토양은 해저준설토(37%), 산토(33%), 해저준설토 및 산토(12%), 산토 및 기타(4%) 등으로 보고되고 있으며(靑沼, 1987), 우리나라의 경우에도 주로 산토와 해저준설토가 사용되고 있는데, 산토를 주로 사용한 지역은 시화공단, 아산국가공단, 목포대불공단 등이며, 해저준설토를 사용한 지역은 군장국가공단, 군산국가공단, 남동공단, 인천국제공

항, 송도신도시 등이고, 부산녹산공단은 산토와 해저준설토를 함께 사용하였다고 보고되어 있다(인천발전연구원, 2000).

매립지역 식재기반으로서 토양 이화학성의 주요 문제점은 높은 염분함량과 토양산도, 그리고 유효양분의 부족 등과 함께 매립과정에서 대규모 건설장비 등에 의한 토양고결 등을 들 수 있다. 특히 인천광역시 등 서해안에 위치한 해안매립지역은 연중 주풍향인 편서풍의 영향으로 식재된 식물이 조풍해, 비사, 건조해 등의 기상학적 원인에 의해서도 생육에 지장을 많이 받지만(인천발전연구원, 2009; 김, 2009), 매립재의 불량이가장 큰 원인으로 분석되고 있다(구 등, 2000; 장과 김, 1999).

지금까지 간척이나 매립에 의해 조성된 지역의 토양특성에 대한 연구는 학계, 공공기관, 매립지가 포함된 해당 지자체 등에서 진행되었는데 이를 정리해 보면, 수목피해 및 하자에 관한 연구(변, 2004; 최 등, 2002, 박 등, 2003; 유, 1991), 식재가능 식물 및 식재기법 개발(Bouma 등, 2001; Nieva 등, 2001; Silvestri 등, 2005; Seliskar 등, 2002; 인천발전연구원, 2009; 김, 2000; 김과 이, 1977; 이, 1980; 임 등, 1984; 최, 1988), 토양과 식생변화 및 상관성(남 등, 2008; 방, 2006; 민, 1986), 토양특성(김, 2009; 노, 1986; 유, 1991; 호남작물시험연구소, 1974) 등을 들 수 있다.

그러나 서해안과 남해안 일원의 매립지 토양과 식물에 대한 연구는 많이 이루어진데 비해 본 연구대상지인 인천광역시 내 송도, 청라, 영종지역을 대상으로 한 연구는 매우 미흡한 편으로, 최근 김(2009)에 의해 송도지역에 국한하여 토양 이화학적 특성 및 변화에 대한 연구가 이루어진 것이 있으며, 인천발전연구원(2009)에서 해안매립지 적정 수종 선정을 위한 연구가 이루어진 바 있으나 토양특성은 파악하지 않았다.

따라서 본 연구는 매립 후 10여년이 경과한 인천 해안매립지인 청라지구, 송도지구, 영종지구의 토양 화학성을 분석하고, 이를 토양평가등급(한국조경학회, 1999)에 준해 평가함으로써 해안매립지 내 녹지의 토양환경 개선 및 수목 생육 증진을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구대상지

연구대상지는 인천광역시 경제자유구역청에 속한 청라지구, 송도지구, 영종지구로 설정하였다(Fig.1).

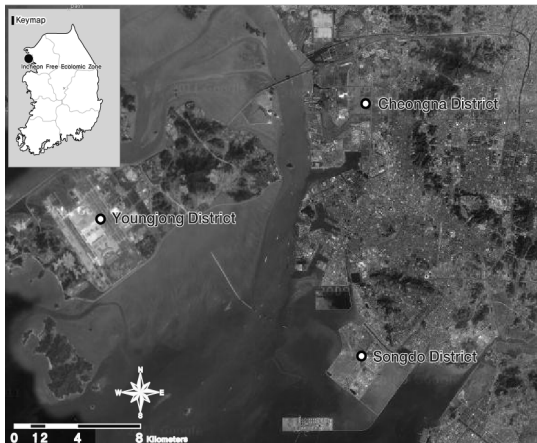


Fig. 1. Location map of study.

2.2. 방법

토양시료는 지구별 식재기반을 대표할 수 있는 총 60개 지점에 대해 2010년 8~10월에 채취하였다. 지구별로는 청라지구 25개 지점, 송도지구 15개 지점, 영종지구 20개 지점에서 토양시료를 채취하여 토양 화학성 분석에 사용하였다.

한편, 토양 화학성은 토양 및 식물체 분석법(농업과 기술승원, 2000)에 따라 토양산도, 전기전도도, 유기물 함량, 유효인산, 치환성양이온 함량 등을 분석하였으며, 분석된 토양 화학성을 토양평가등급(한국조경학회, 1999)에 준해 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양산도(pH)

청라지구(25개 지점), 송도지구(15개 지점), 영종지구(20개 지점)를 대상으로 총 60개 지점의 토양을 채취하여 토양산도를 측정할 결과, pH 5.60~12.21의 범위로, 지구별로는 청라지구 pH 8.20~9.50(평균 pH 8.85), 송도지구 pH 5.60~12.21(평균 pH 8.70), 영종지구 pH 6.32~9.54(평균 pH 7.97)이었다(Table 1,

Fig.2). 한편, 연구대상지 중 송도지구의 토양산도 분포범위가 가장 넓게 분포하였는데 이는 빨흙이 산흙과 섞여 그대로 유지되면서 나타난 결과라고 분석된다.

Table 1. Characteristics of soil acidity(pH) in three districts

Division	Cheongna	Songdo	Youngjong
Maximum	9.50	12.21	9.54
Minimum	8.20	5.60	6.32
Average	8.85±0.38	8.70±2.08	7.97±0.87

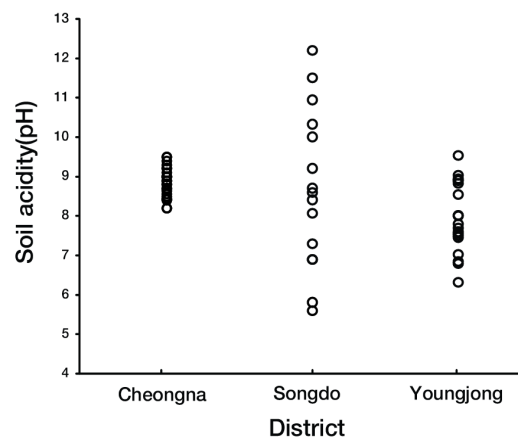


Fig. 2. Distribution of soil acidity(pH) by plots in three districts.

선행연구(김, 2009)에 의하면, 해안매립지 토양은 주로 알카리성 토양의 특성을 나타내는데, 본 연구대상지 역시 평균 pH 7.97~8.85의 범위로, 선행연구와 유사한 경향을 나타냈다. 또, 류 등(2002)이 연구한 1998년도 영종지구 토양산도인 pH 8.28과 유사한 수준으로 매립 후 10여년이 지난 토양산도의 변화는 미미한 수준이었다.

한편, 인천지역 내 다른 매립지인 남동공단 내 공원(평균 pH 5.2), 남동공단 내 가로녹지대(평균 pH 5.0), 서인천발전소 녹지대(평균 pH 5.0)는 주로 산성토양인데(인천발전연구원, 2000) 비해 본 연구대상지는 대부분 알카리성 토양을 나타냈다. 이는 매립재가 대부분 해저준설토와 갯벌이었기 때문으로 판단되며, 남 등(2008)이 제시한 남해안 임해준설매립지인 광양만 일원의 토양산도(평균 pH 7.62)와 일반 해안매립지 토양산도인 pH 7.3(최 등, 2002)보다도 강알카리

성으로 나타났다. 임해매립지 토양에서는 pH 7.8이하이면, 내염성 수종의 식재가 가능하지만(변, 2004), 연구대상지 일원을 포함하여 최근 해안매립지에서는 내염성 수종뿐만 아니라 일반 조경수도 다수 식재되고 있으므로 일반 조경수가 생육 가능한 토양산도로 개량 후 식재해야 할 것으로 생각된다.

### 3.2. 전기전도도

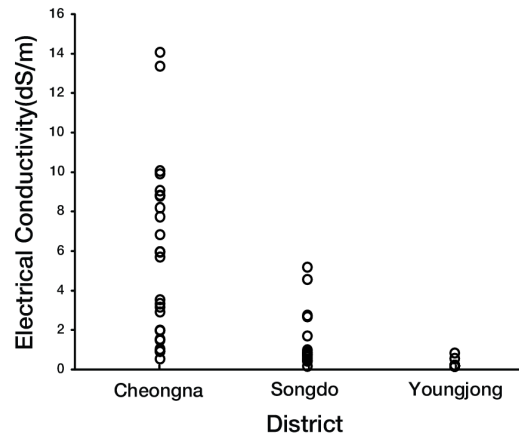
매립지역과 건조지대 등의 토양은 많은 염류에 의해 전기전도도가 높아 식물생육에 지장을 줄 수 있는데(Richards, 1954), 토양과 관개수의 전기전도도는 식물에 대한 염류장애를 판단하는 중요한 화학적 지표로 이용된다(류, 2002). 전기전도도가 2.0 dS/m 이하이면 수목식재가 가능하고, 4.0 dS/m 이상이면 식물생육에 크게 지장을 줄 수 있으며, 8.0 dS/m 이상에서는 내염성이 강한 품종 이외에는 생육이 어렵고, 일부 내염성 식물만이 생육 가능하다(Marucum과 Murdoch, 1990; Tanji, 1990). 전기전도도가 높은 토양에서 수목의 생육이 지장을 받는 이유는 토양수에 염류이온의 농도가 높아 물의 삼투포텐셜이 매우 낮은 값을 갖게 되어 식물에 의한 수분이용 효율이 떨어지기 때문이다.

한편, 연구대상지의 전기전도도 측정결과, 청라지구는 0.33~13.85 dS/m(평균 4.80 dS/m)의 범위로, 식물생육에 지장을 초래할 수 있는 범위였으며, 송도지구는 0.24~4.38 dS/m(평균 1.30 dS/m)의 범위로, 1개 지점에서만 4.0 dS/m 이상이었고, 나머지 지점은 모두 4.0 dS/m 이하로, 식물생육에 장애가 되지 않는 수준이었다. 영종지구는 0.01~0.60 dS/m(평균 0.07 dS/m)의 범위로, 식물 식재 및 생육이 가능한 범위이었다(Table 2, Fig. 3).

이상에서 살펴본 바와 같이 청라지구가 다른 지구보다 전기전도도가 높은 이유는 원지반층에 다량으로 존재하는 염류의 상승과 매립과정에서 유입된 토양이 염분함량이 높은 개흙이나 해저준설토가 다량 포함되었기 때문으로 판단된다. 따라서 향후 전기전도도가 식물생육 한계를 초과하는 지역의 경우 수목식재 및 건전한 수목생육을 유도하기 위해서는 염류피해를 방지할 수 있는 대책 수립이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

**Table 2.** Characteristics of electrical conductivity(EC) in three districts

Division	Cheongna	Songdo	Youngjong
Maximum	13.85	4.38	0.60
Minimum	0.33	0.24	0.01
Average	4.80±3.82	1.30±1.36	0.07±0.14



**Fig. 3.** Distribution of electrical conductivity by plots in three districts.

### 3.3. 유기물 함량

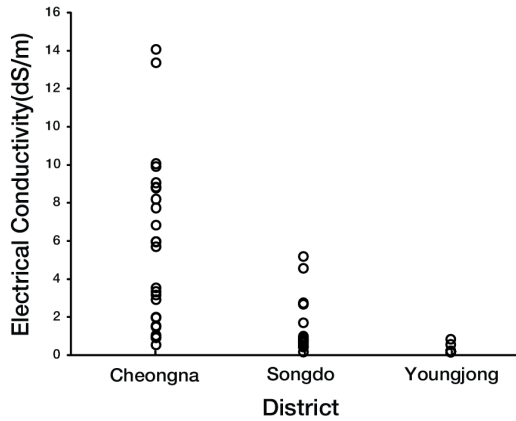
토양유기물은 토양 내 암모니아를 흡착시켜 질소성분의 유실을 막아주고, 같은 양의 점토에 비해 3~5배의 양이온치환능력을 증가시키는 기능을 한다. 또, 수분보유능이 커서 토양의 보수력 증진 및 토양산도 완충능이 있어 토양산도 유지에도 도움을 준다(류, 2002). 한편, 우리나라 산림지역의 유기물 함량 평균치는 3.67±1.39%(이, 1981), 미경작 산림토양의 평균치는 6.40%(김 등, 1995), 우리나라 토양의 평균치는 2.5%(류, 2002), 임해매립지는 0.8%(최 등, 2002) 등으로 보고되고 있다. 일반적으로 매립지, 척박지 등 수목식재에 부적합한 토양은 유기물 함량이 최소 3.0% 이상(한국조경학회, 1999)을 권장하고 있다.

3개 지구별 유기물 함량을 살펴보면(Table 3, Fig. 4), 청라지구는 0.34~13.08%(평균 5.72%)의 범위로, 다른 지구보다 유기물 함량이 높았으며, 식물의 식재 및 생육에 큰 무리가 없는 수준이었다. 송도지구는 0.53~5.60%(평균 2.60%)범위로, 매립지와 같은 척박지에서는 최소 3%이상 되어야 하므로 적정 식물생육을 유도하기 위해서는 유기물 함량을 다소 증진해야

할 것이다. 영종지구는 0.28~1.58%(평균 0.59%)범위로, 다른 지구에 비해 가장 낮은 수준이었으며, 일반 임해매립지 평균 수치로 제시된 0.8%(최 등, 2002)보다도 낮은 수치이었다. 토양 내 유기물 함량은 식물의 조기 활착 및 생육에 큰 영향을 미치기 때문에(류, 2002) 송도지구와 영종지구는 적극적으로 유기물 함량을 개선할 필요가 있다고 판단되었다.

**Table 3.** Characteristics of soil organic matter(OM) in three districts

Division	Cheongna	Songdo	Youngjong
Maximum	13.08	5.60	1.58
Minimum	0.34	0.53	0.58
Average	5.72±3.79	2.60±1.64	0.59±0.33



**Fig. 4.** Distribution of soil organic matter by plots in three districts.

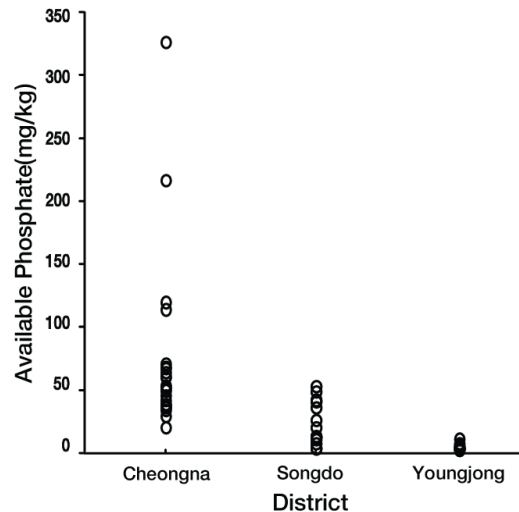
### 3.4. 유효인산

유효인산은 식물체에 흡수·이용될 수 있는 형태의 토양인산을 말하며(류, 2002), 인은 식물체 내에서 탄수화물 대사와 에너지 대사 등 여러 가지 대사를 주도하는 무기영양소이며, 핵산, 단백질, 인지질 등 원형질의 구성요소로 식물세포의 성장과 번식에 필수적인 요소이다. 일반적으로 토양에는 자연적으로 공급되는 양이 적고, 이 또한 식물이 이용하기 어려운 형태이므로 인은 식물생육에 있어 필수원소 중 가장 큰 식물의 제한요소라고 할 수 있다. 우리나라의 미경작 산림토양 내 기준치는 5.6 mg/kg(김 등, 1995)이며, 밭토양은 250 mg/kg(류, 2002), 논토양은 100 mg/kg(류, 2002), 일반 임해매립지는 4.8 mg/kg(최 등, 2002) 등

의 수준으로 보고되고 있다. 한국조경학회(1999)에서는 매립지나 척박지에서는 100 mg/kg 이상을 권장하고 있다. 본 연구대상지인 청라지구는 19.00~333.00 mg/kg(평균 70.70 mg/kg), 송도지구는 2.21~52.44 mg/kg(평균 23.07 mg/kg), 영종지구는 0.53~9.36 mg/kg(평균 2.49 mg/kg)의 범위를 나타냈다(Table 4, Fig. 5). 이러한 결과는 본 연구대상지가 매립지라는 특수성을 감안하면 향후 식물 식재 시 인산시용 등의 개선대책이 필요할 것으로 생각된다.

**Table 4.** Characteristics of available phosphate(Avail.-P) in three districts

Division	Cheongna	Songdo	Youngjong
Maximum	333.00	52.44	9.36
Minimum	19.00	2.21	0.53
Average	70.70±68.35	23.07±16.99	2.49±2.07



**Fig. 5.** Distribution of available phosphate(Avail.-P.) by plots in three districts.

### 3.5. 치환성양이온

치환성양이온은 음전하를 띤 토양입자 표면에 전기적 인력으로 흡착된 양이온을 말하며(류, 2002), 토양의 성질과 비옥도 등과 상관성이 매우 높다. 치환성 양이온 중 칼륨이온(K<sup>+</sup>)은 식물체 대사에 중요한 역할을 하는데, 특히 식물의 증산작용을 조절하는데 크게 기여하고, 아울러 전분과 단백질 합성효소를 활성화한다(Bhandal과 Malik, 1988). 따라서 식물체 내에 칼륨이 부족하면, 식물체 생육이 크게 장애를 입어 있

이 작고, 회록색을 띠며, 성숙 전에 잎의 첨단부위부터 고사하여 잎의 가장자리로 번져간다. 또, 과실이나 종자의 수, 용적 및 중량 등이 모두 감소할 수도 있다(김 등, 2009). 우리나라의 미경작 산림토양은 0.25 cmol/kg(김 등, 1995), 매립지 권장 기준치는 0.6 cmol/kg 이상(한국조경학회, 1999) 등으로 보고되고 있다. 본 연구대상지인 청라지구는 0.17~1.48 cmol/kg(평균 0.74 cmol/kg), 송도지구는 0.06~3.13 cmol/kg(평균 0.84 cmol/kg), 영종지구는 0.08~1.03 cmol/kg(평균 0.22 cmol/kg) 등이었다(Table 5, Fig. 6). 즉, 국내 미경작 산림토양보다는 평균 수치가 높았고, 청라지구와 송도지구는 매립지 권장 수준과 유사하였으며, 영종지구는 다소 낮은 수치이었다.

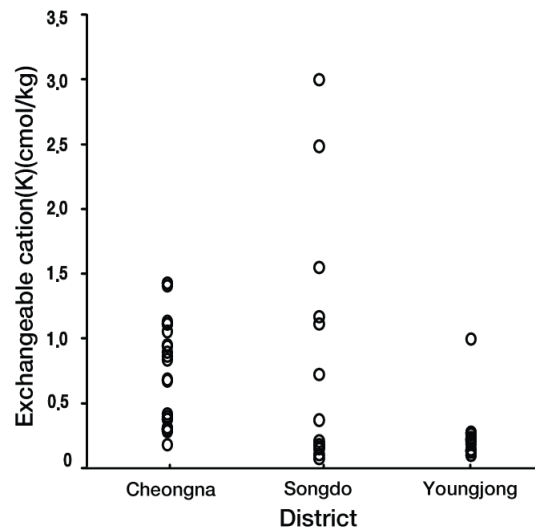
치환성양이온 중 칼슘( $Ca^{2+}$ )은 세포막을 보호하여 세포벽 구조의 안정화, 이온전달의 조정, 세포벽의 효소활동과 이온교환 작용의 통제에 필수적인 유기물 혹은 무기물로서(김 등, 2009; Demarty와 Thellier, 1984), 본 연구대상지인 청라지구는 1.66~45.96 cmol/kg(평균 22.08 cmol/kg), 송도지구는 0.98~27.96 cmol/kg(평균 9.87 cmol/kg), 영종지구는 0.29~8.28 cmol/kg(평균 4.04 cmol/kg) 등이었다(Table 5, Fig. 7). 이는 우리나라 산림토양을 연구한 김 등(1995)이 제시한 2.27 cmol/kg보다 높은 수치이었고, 매립지 권장 기준치인 2.5 cmol/kg(한국조경학회, 1999)보다도 높은 상태이었다. 과거 인천 매립도시의 토양을 조사한 인천발전연구원(2000)의 1.5~3.9 cmol/kg보다도 높은 상태이었다. 이는 간척이나 매립 후 시간이 지남에 따라  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  등은 감소하고,  $Ca^{2+}$ 는 증가하는 현상(최와 박, 1991)을 보인 선행연구결과와도 유사한 경향이었다.

마그네슘이온( $Mg^{2+}$ )은 엽록소의 주 구성성분으로 탄소동화작용에 영향을 미치는데(이, 1996), 결핍 시 앞에서 엽맥사이의 황화현상이 뚜렷하게 나타난다(김 등, 2009). 본 연구대상지인 청라지구는 0.90~5.87 cmol/kg(평균 1.98 cmol/kg), 송도지구는 0.12~3.03 cmol/kg(평균 1.22 cmol/kg), 영종지구는 0.12~2.20 cmol/kg(평균 1.12 cmol/kg) 등이었다(Table 5, Fig. 8). 이는 국내 산림토양 평균수치인 0.70 cmol/kg(김 등, 1995)과 매립지 권장 기준치인 0.6 cmol/kg(한국조경학회, 1999)보다도 높았다. 이는 송도지구를 대상으로 조사한 김(2009)의 원충녹지 내  $Mg^{2+}$ 의 함량 약

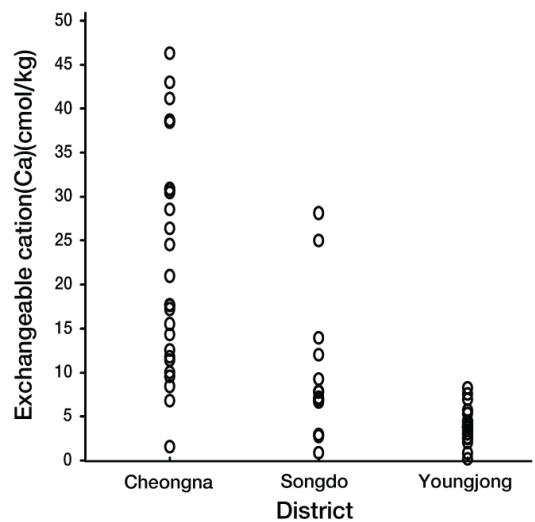
1.5~2.2 cmol/kg과 유사한 수준이었다.

**Table 5.** Characteristics of exchangeable cation in three districts

Division	Cheongna			Songdo			Youngjong		
	$K^+$	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$K^+$	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$K^+$	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$
Max.	1.48	45.96	5.87	3.13	27.96	3.03	1.03	8.28	2.20
Min.	0.17	1.66	0.90	0.06	0.98	0.12	0.08	0.29	0.12
Aver.	0.74	22.08	1.98	0.84	9.87	1.22	0.22	4.04	1.12



**Fig. 6.** Distribution of exchangeable cation( $K^+$ ) by plots in three districts.



**Fig. 7.** Distribution of exchangeable cation( $Ca^{++}$ ) by plots in three districts.

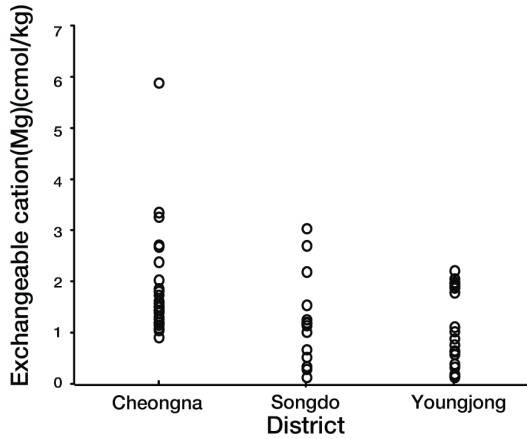


Fig. 8. Distribution of exchangeable cation(Mg<sup>2+</sup>) by plots in three districts.

3.6. 대상지 토양평가등급

Table 6은 한국조경학회(1999)에서 제시하고 있는 토양평가등급을 재구성한 것이다. 일반적으로 식재기반의 토양 화학성은 하급이상이면 가능하지만, 매립지, 극척박지 등 식물생육이 어려운 지역에서는 중급 이상을 권장하고 있다. 이는 매립지 등은 토양 건조피해, 조풍해, 염분피해 등에 의해 정상적 토양의 경우에도 식물의 생육에 지장을 줄 수 있는 환경요인이 많기 때문에 일반적 식재등급보다 높은 등급을 권장하고 있다.

본 연구에서는 인천 해안매립지의 적정 식재기반 내 토양 화학성의 적정 등급으로 한국조경학회(1999)에서 제시하고 있는 중급이상 등급을 기준으로 3개 지구의 토양 화학성을 평가하였다.

Table 6. Classification of planting guideline

Division	High grade	Middle grade	Low grade
Soil acidity	6.0~6.5	5.5~6.0	4.5~5.5
Electrical conductivity(dS/m)	0.2 below	0.2~1.0	1.0~1.5
Soil organic matter(%)	50 over	3.0~50	3.0 below
Available phosphate (mg/kg)	200 over	100~200	100 below
K <sup>+</sup> (cmol/kg)	3.0 over	0.6~3.0	0.6 below
Ca <sup>2+</sup> (cmol/kg)	5.0 over	2.5~5.0	2.5 below
Mg <sup>2+</sup> (cmol/kg)	3.0 over	0.6~3.0	0.6 below

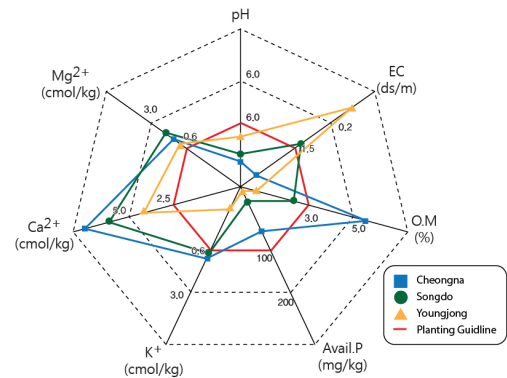


Fig. 9. Planting grade of soil characteristics in three districts.

Fig. 9는 매립지 토양평가등급에 연구대상지내 3개 지구별 토양 화학성을 표시한 것으로, 평균 토양산도 (pH)의 경우 청라지구(8.85) > 송도지구(8.70) > 영종지구(7.97)의 순이었으며, 전체적으로 강알카리성으로, 토양평가등급 하급 혹은 불량으로 평가되었다. 따라서 수목식재 시 pH 5.5~6.0 혹은 pH 6.5~7.0으로 토양산도의 개선이 필요하다고 판단된다. 이는 신규 식재지뿐만 아니라 기존 식재기반의 경우에도 함께 고려해야 할 것으로 생각된다.

전기전도도의 경우 청라지구(4.80dS/m) > 송도지구(1.30 dS/m) > 영종지구(0.07 dS/m)의 순으로, 영종지구는 권장기준을 충족하였으나, 송도지구는 하급, 청라지구는 불량수준으로 평가되어 식재 시 개선대책이 요구되었다. 특히 청라지구는 식재기반 조성 시 다른 지구보다 개흙이나 해저준설토가 더 많이 포함되었기 때문에 이와 같은 결과가 나왔다고 판단되므로 향후 수목식재지 및 신규 식재 시 염류대책을 반드시 수립한 후 식물을 식재해야 하거나 내염성 식물 위주로 식재해야 할 것으로 판단된다.

유기물 함량의 경우 청라지구(5.72%) > 송도지구(2.60%) > 영종지구(0.59%) 순으로 나타나, 청라지구는 권장기준을 충족하였으나, 송도지구와 영종지구는 기준에 미달되었다. 토양 내 유기물 함량은 식물의 초기 활착에 큰 영향을 미치므로 이에 대한 적극적 대처가 필요하다고 판단되었다.

유효인산의 권장기준은 100 mg/kg 이상이 제시되고 있으며, 본 연구대상지에서는 모두 100 mg/kg보다

낮은 수치이었으며, 지구별로는 청라지구(70.70 mg/kg) > 송도지구(23.07 mg/kg) > 영종지구(2.49 mg/kg)의 순이었다.

치환성양이온의 경우 조경설계기준에서는  $K^+$ 은 0.6 cmol/kg 이상,  $Ca^{2+}$ 은 2.5 cmol/kg 이상,  $Mg^{2+}$ 은 0.6 cmol/kg 이상을 매립지 권장기준으로 분류하고 있다. 이에 준해 치환성양이온의 평균 분석치를 지구별로 살펴보면,  $K^+$ 의 경우 송도지구(0.84 cmol/kg) > 청라지구(0.74 cmol/kg) > 영종지구(0.22 cmol/kg)의 순이었으며, 송도지구와 청라지구는 권장수준으로, 영종지구는 개선이 필요한 수준으로 평가되었다.  $Ca^{2+}$ 의 경우 청라지구(22.08 cmol/kg) > 송도지구(9.87 cmol/kg) > 영종지구(4.04 cmol/kg)의 순이었으나 모든 지구에서 권장수준으로 평가되었다.  $Mg^{2+}$ 의 경우 청라지구(1.98 cmol/kg) > 송도지구(1.22 cmol/kg) > 영종지구(1.12 cmol/kg)의 순으로  $Ca^{2+}$ 과 마찬가지로 3개 지구 모두 권장수준으로 평가되었다.

이상의 결과를 토대로 토양 화학성의 개선을 통한 식물생육 증진 방안으로 첫째, 알카리성 토양의 중성화 대책, 둘째, 염류제거 대책, 셋째, 유기물 함량 증진을 제안한다. 특히, 토양산도 개선은 3개 지구 모두 개선을 실시해야 하며, 염류제거는 청라지구와 송도지구를 중심으로, 유기물 함량은 송도지구와 영종지구를 중심으로 실시해야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 매립 후 10여년이 지난 인천 해안매립지인 청라지구(25개 지점), 송도지구(15개 지점), 영종지구(20개 지점)의 토양 화학성을 분석하고, 이를 토양평가등급(한국조경학회, 1999)에 준해 평가함으로써 해안매립지 내 녹지의 토양환경 개선 및 수목 생육 증진을 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

연구를 통해 얻은 결과를 요약하면, 먼저 3개 지구별 평균 토양산도(pH)는 청라지구(8.85) > 송도지구(8.70) > 영종지구(7.97)의 순이었으며, 전체적으로 강알카리성으로, 토양평가등급 하급 혹은 불량으로 평가되었다. 평균 전기전도도는 청라지구(4.80 dS/m) > 송도지구(1.30 dS/m) > 영종지구(0.07 dS/m)순으로, 영종지구는 권장기준을 충족하였으나, 송도지구는 하

급, 청라지구는 불량수준으로 평가되어 식재 시 개선 대책이 요구되었다. 평균 유기물 함량은 청라지구(5.72%) > 송도지구(2.60%) > 영종지구(0.59%) 순으로 나타나, 청라지구는 권장기준을 충족하였으나, 송도지구와 영종지구는 기준에 미달되었다. 유효인산은 청라지구(70.70 mg/kg) > 송도지구(23.07 mg/kg) > 영종지구(2.49 mg/kg)의 순이었다. 치환성양이온의 평균 분석치를 지구별로 살펴보면,  $K^+$ 은 송도지구(0.84 cmol/kg) > 청라지구(0.74 cmol/kg) > 영종지구(0.22 cmol/kg)의 순이었으며, 송도지구와 청라지구는 권장수준으로, 영종지구는 개선이 필요한 수준으로 평가되었다.  $Ca^{2+}$ 은 청라지구(22.08 cmol/kg) > 송도지구(9.87 cmol/kg) > 영종지구(4.04 cmol/kg)의 순이었으나 모든 지구에서 권장수준으로 평가되었다.  $Mg^{2+}$ 은 청라지구(1.98 cmol/kg) > 송도지구(1.22 cmol/kg) > 영종지구(1.12 cmol/kg)의 순으로,  $Ca^{2+}$ 과 마찬가지로 3개 지구 모두 권장수준으로 평가되었다.

이상의 결과를 토대로 토양 화학성의 개선을 통한 식물생육 증진 방안으로 첫째, 알카리성 토양의 중성화 대책, 둘째, 염류제거 대책, 셋째, 유기물 함량 증진을 제안한다. 특히, 토양산도 개선은 3개 지구 모두 개선을 실시해야 하며, 염류제거는 청라지구와 송도지구를 중심으로, 유기물 함량은 송도지구와 영종지구를 중심으로 실시해야 할 것으로 판단된다.

한편, 본 연구는 토양 화학성만을 분석하여 등급평가 및 관리대책을 수립한 것으로, 향후 지구별 식재기반 시스템과 토양 물리성을 종합적으로 연구하여 지구별 개선대책이 수립되어야 할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- 구본학, 강재선, 김정욱, 2000, 서해안 임해매립지 녹지 공간 토양성분들의 상관성 및 경시적 변화 특성, 한국조경학회지, 27(5), 161-169.
- 김계훈, 김길용, 김정규, 사동민, 서장선, 손보균, 양재의, 엄기철, 이상은, 정광용, 정덕영, 정연태, 정종배, 현해남, 2009, 토양학, 보문당, 서울.
- 김계훈, 윤주용, 류순호, 1995, 한국토양 중 Cs-137과 K-40의 분포, 한국토양비료학회지, 28(1), 33-40.
- 김도균, 2000, 임해매립지의 조경수목생장특성-광양만의 곰솔과 느티나무를 중심으로-, 박사학위논문, 영남대학교.



- 김일중, 이종석, 1977, 내염성 및 내조성 관상식물의 개발을 위한 생태학적 연구, 한국원예학회지, 18(2), 215-220.
- 김종엽, 2009, 해안매립지 공원녹지 유형별 토양특성 변화 연구 - 인천경제자유구역 송도국제도시를 대상으로-, 한국환경생태학회 학술대회발표논문집, 19(1), 142-145.
- 남웅, 광영세, 정인호, 이덕범, 이상석, 2008, 임해준설매립지 식물분포와 표층토양의 이화학적 특성, 한국조경학회지, 36(3), 52-62.
- 노대철, 1986, 간척 연대별 토양의 이화학적 변화 연구, 농업시험연구논문집, 28(1), 20-27.
- 농업과학기술원, 2000, 토양 및 식물체 분석법, 농업과학기술원.
- 류순호, 2002, 토양사전, 서울대학교 출판부, 서울.
- 류순호, 정영상, 주영규, 최병권, 우현영, 이태영, 2002, 인천국제공항 착륙대 잔디식재 기반 조성을 위한 염종도 매립 토양 개량, 한국토양비료학회지, 35(2), 93-104.
- 민병미, 1986, 한국 서해안 간척지의 토양과 식생 변화, 박사학위논문, 서울대학교.
- 박현수, 이상석, 이상철, 2003, 임해매립지 조경수목의 생리적 특성과 식재수목의 고사율, 한국조경학회지, 31(2), 94-101.
- 방승준, 2006, 임해매립지에서 토양개량제 처리가 토양 물성과 식물생육에 미치는 영향에 관한 연구, 석사학위논문, 한경대학교.
- 변재경, 2004, 임해매립지에서 복토높이에 따른 토양환경변화 및 수목생장, 박사학위논문, 건국대학교.
- 유의열, 1991, 임해매립지 조경수목 활착에 관한 연구, 석사학위논문, 한양대학교.
- 이수옥, 1981, 한국 산림토양에 관한 연구(II), 한국임학회지, 54, 24-35.
- 이종석, 1980, 내염성 및 내조성 조경수목 개발에 관한 생태학적 고찰-우리나라 남부지방을 중심으로-, 한국조경학회지, 8(1), 13-20.
- 이천용, 1996, 산림환경토양학, 보성문화사, 서울.
- 인천발전연구원, 1999, 인천연안 갯벌의 현황과 보전방향 연구보고서.
- 인천발전연구원, 2000, 인천시 해안매립지 녹지조성기법 개발 연구보고서.
- 인천발전연구원, 2009, 인천지역 해안매립지 적정 수종 선정 연구보고서.
- 임형식, 광관주, 김희중, 1984, 치환양이온의 종류 및 pH가 토양의 양이온치환용량에 미치는 영향, 한국토양비료학회지, 17(2), 114-214.
- 장관순, 김형복, 1999, 임해매립지의 생태계 복구를 위한 토양중 염류의 활성도 분석, 토양비료학회지, 20(1), 12-20.
- 최문길, 1988, 몇 수종의 내염력 특성에 관한 연구, 박사학위논문, 강원대학교.
- 최원렬, 박근용, 1991, 내염성 전작물의 개발과 재배전망, 농업진흥청 심포지엄 보고서.
- 최일홍, 황경희, 이경재, 2002, 임해매립지 조경수목의 피해현황 및 요인분석, 한국환경생태학회지, 16(1), 10-21.
- 한국조경학회, 1999, 조경설계기준, 문운당, 서울.
- 호남작물시험소, 1974, 간척연대에 따른 토양화학적 성질 변화 보고서.
- 靑沼和夫, 1987, 京葉 臨海埋立地における林帯造成に關する研究, 千葉林業年報, 5, 1-85.
- Bamda, I. S., Malik, C. P., 1988, Potassium estimation uptake and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. International Review of Cytology, 110, 205-254.
- Berstein, L., Ayers, A. D., 1971, Method for determining Souters in the cell walls of leaves. Plant Physiological, 47, 361-365.
- Bouma, T., Bas, J., Koutstaa, P., Van Dongen, M., Nielsen, K. L., 2001, Coping with low nutrient availability and inundation: Root growth responses of three halohytic grass species from different elevations along a flooding gradient. Oecologia, 126(4), 474-481.
- Demarty, M., Morvan, C., Thellier, M., 1984, Calcium and the cell wall, Plant Cell Environ., 7, 441-448.
- Marcum, K. B., Murdoch, C. L., 1990, Growth responses, ion relations, and osmotic adaptations of eleven C4 turfgrass to salinity. Agron. J., 82, 892-896.
- Nieva, F. J., Diaz-Espejo, J., Castellanos, E. M., Figueroa, M. E., 2001, Field variability of invading populations of *Spartina densiflora* brong in different habitats of the odiel marshes(SW Spain). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 52(4), 515-527.
- Richards, L. A., 1954, Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agriculture handbook No. 60. U.S.D.A.
- Seliskar, D. M., Gallagher, J. L., Burdick, D. M., Mutz, L. A., 2002, The regulation of ecosystem function by ecotypic variation in the dominant plant: A *Spartina alterniflora* salt marsh case study, Journal of Ecology, 90(1), 1-11.
- Silvestri, S., Andrea, D., Marco, M., 2005, Tidal regime, salinity and salt marsh plant zonation. Estuarine. Coastal and Shelf Science, 62(1), 119-130.
- Tanhi, K. K., 1990, Agricultural salinity assessment and management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice, 71.