

해안매립도시 공원녹지 유형별 토양특성 변화 연구

-인천경제자유구역 송도국제도시를 대상으로-

Change of the Properties of Soil in each Type of Park and Green Area in Songdo International City, Incheon Free Economic Zone

김종엽¹

¹(주)기술사사무소 L.E.T 부설 에코플랜연구센터

I. 연구배경 및 목적

해안매립도시의 공원녹지 조성시 문제점은 조풍해, 강풍과 비사, 건조해, 염류장해, 양분부족, 준설토에 의한 취약한 식재기반으로 인한 식물생육환경 불량, 그리고 매립재료가 식물의 생육환경에 부적합한 경우가 많아 식물의 정상적인 생육을 저해하고 있다는 것이다(구분학 등, 2000; 조우, 2000; 日本造園學會, 1998). 인천경제자유구역 송도국제도시는 원지반 깃벌층 위에 준설토를 5.4m 높이로 매립(도로계획고)한 지역으로 완충녹지 조성시에는 ø300mm 맹암거(부직포감싸기)를 20~40m 간격으로 설치, 도로계획고에 석고를 150g/m² 포설하고, 산흙을 5m 성토하였다. 가로녹지 조성시에는 폭 2.5~6m(식수대보도 포함), 깊이 1.5m의 공간을 수직방향으로 석고포설(150g/m²), 산흙객토 0.4m, ø150mm 맹암거(부직포감싸기) 및 쇠석층 0.3m, 그 위에 객

토를 0.8m 깊이로 하고, 식재기반 측면에는 차수시트로 염분의 수평유입을 차단하였다(인천광역시경제자유구역청, 2003). 본 연구는 해안매립도시내 다양한 식재기반 조성기법을 도입한 송도국제도시의 공원녹지 유형별 토양의 화학적 특성 변화를 모니터링하여 향후 공원녹지 조성 및 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

II. 조사분석 방법

1. 조사구 설정

연구대상지는 인천경제자유구역 송도국제도시 1~4공구 지역으로 조사구는 총 21개 지점이었으며, 공원녹지유형은 식재지만 처리한 완충녹지, 가로녹지, 도로중앙분리대녹지, 북측유수지 수변공원인 달빛공원(성토 50cm), 3공구 매

표 1. 조사구 현황(토양시료채취지점)

조사구	공원녹지 유형	대상지 특성	조사구	공원녹지 유형	대상지 특성
1	완충녹지 5호	자산홍 생육양호지	11	도로중앙분리대	철쭉류 생육양호지(대로1-36)
2	광로2-11	자산홍 생육양호지	12	달빛공원 (북측유수지변)	칠면초군락→갈대식재지(표토)
3		이팝나무 및 자산홍 고사지	13		칠면초군락→갈대식재지(심토)
4		자산홍 생육불량지	14		망초군락→갈대식재지(표토)
5	대로1-36	화살나무 생육양호지	15	망초군락→갈대식재지(심토)	
6	가로녹지	보행자도로 자산홍 생육불량지	16	3공구 매립지	칠면초군락
7			17		갈대군락
8	송도TP 중로	자산홍 생육양호지(표토)	18	1공구 양묘장	느티나무(생육양호지)
9		자산홍 생육양호지(심토)	19		장구밥나무(생육양호지)
10		자산홍 생육불량지(표토)	20		살구나무(생육불량지)
		자산홍 생육불량지(심토)	21		개쉬땅나무(생육불량지)

립지, 1공구일대 양묘장(성토 100cm)이었다(표 1).

2. 토양시료 채취 및 분석

토양시료는 2006년 9월과 12월, 2007년 3월과 6월, 2008년 12월 총 5회에 걸쳐 채취하였으며, 표토는 0~30cm, 심토는 30cm 위치에서 채취하였다. 분석항목은 염분함량, 토양산도, 유기물함량, 유효인산, 치환성양이온 K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} 이었고, 분석은 인천광역시 농업기술센터에 의뢰하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 염분함량 변화

염분함량 변화를 살펴보면, 조사구 1은 2006년 0.02~0.06 → 2007년 0.03 → 2008년 0.02%이었다. 조사구 2는 0.03 → 0.01 → 0.04%인 반면, 조사구 3은 2006년 9월에 0.29%로 수목생육한계 염분농도 0.05%(本間啓, 1973; 남웅 등, 2008) 보다 높았고 그 이후에는 0.03% 수준이었다. 조사구 4와 조사구 5는 0.01~0.03 → 0.01~0.02 → 0.01~0.03%이었다. 송도테크노파크단지(이하 송도TP)내 조사구 6은 2006년에 0.06~0.09%로 수목생육한계 염분농도보다 높았고 2007년 0.03~0.04%, 2008년 0.03%이었으며, 조사구 7~10은 0.01%를 유지하였다.

조사구 12와 13은 제방사면과 인접한 둔치에 칠면초군락이 분포하였던 지점의 표토와 심토로서 2006년 하반기에 50cm 성토한 토양에 갈대를 식재한 지역이었고, 조사구 14와 15는 우수지와 제방사면 중간 지점 둔치에 망초군락이 분포하였던 지점의 표토와 심토로서 공사후 갈대를 식재한 지역이었다. 조사구 12는 1.40 → 0.05~0.22 → 0.22%, 조사구 13은 0.45 → 0.04~0.28 → 0.20%로 공사이후에도 수목생육한계 염분농도보다 높았다. 조사구 14는 0.08 → 0.02~0.04 → 0.03%, 조사구 15는 0.08 → 0.03~0.04 → 0.03%로 공사후 염분농도가 낮아졌다. 조사구 12와 13 지점의 염분함량이 높은 것은 둔치 중에서 상대적으로 염분농도가 높은 지하수위에 영향을 받았기 때문으로 판단된다.

조사구 16은 0.67~0.17 → 0.02~0.03 → 0.01%로 염분함량이 감소하였고, 조사구 17은 0.33~0.39 → 0.12~0.13 → 0.08%로 감소하였으나 수목생육한계 염분농도보다 높았다. 2006년 전반기에 100cm 높이로 성토한 양묘장의 경

우 조사구 18은 0.09~0.06 → 0.04~0.01 → 0.03%로 감소하였고, 조사구 19는 0.06~0.03 → 0.03 → 0.01%로 감소하였다. 조사구 20은 0.01~0.04 → 0.10~0.13 → 0.05%로 감소하는 경향이었으나 수목생육한계 염분농도보다 높은 편이었고, 조사구 21은 0.03~0.08 → 0.08~0.07 → 0.02%로 생육한계농도보다 높았다가 다시 감소하였다.

이상의 결과를 종합하면, 식재기반을 처리한 완충녹지, 가로녹지, 도로중앙분리대의 염해에 대한 수목생육조건은 양호하였으며, 우수지 염분농도가 6.94~12.71%(2007년 11월)인 수변둔치의 달빛공원은 갈대식재 등 공원조성공사 이후에도 수목생육한계 염분농도보다 높게 나타나 당분간 내염성 식물을 중심으로 식재해야 할 것이다. 매립후 방치된 3공구는 칠면초군락 또는 갈대군락이 자연이입된 지역으로 시간의 흐름에 따라 염분함량이 낮아졌으나, 수목생육한계 염분농도보다 높았다.

2. 토양산도(pH) 변화

토양산도(pH)는 토양내의 화학적인 반응 및 토양의 생물 활동에 의하여 영향을 받게 되는데, pH 6.5이하를 산성토양, pH 7.2이상을 알칼리성토양이라고 하고(小橋 等, 1992), 식물생육상 적정 범위는 pH 4.5~8.0이며, pH 4.5미만과 pH 8.0이상은 부적절하다(한국조경학회, 1999). 토양산도(pH) 변화를 살펴보면, 조사구 1은 pH 7.6~8.1 알칼리성, 조사구 2와 3은 pH 8.0~8.5 약알칼리성이었으나, 2006년 9월 조사구 3은 pH 5.7로 약산성이었다. 조사구 4와 5는 pH 7.2~7.8 알칼리성, 조사구 6~10은 pH 7.4~8.7 약알칼리성이었다. 조사구 11은 2006년 pH 6.4~6.9 → 2007년 7.6~7.7 → 2008년 pH 5.8로 변하여 가을겨울철에는 매우 약한 산성, 봄철 시비후에는 약알칼리성이었다.

조사구 12~15는 2006년 pH 7.7~8.7 → 2007년 6.9~8.1 → 2008년 7.0~7.7로 대체로 알칼리성이었고, 조사구 16~17은 pH 7.5~8.4 → 8.5~9.3 → 8.6~9.2로 알칼리성에서 강알칼리성으로 변하는 경향이였다. 조사구 18~21은 pH 5.1~8.6 → 5.0~6.7 → 5.2~6.0 강산성이었다.

이상의 결과를 종합하면, 식재기반을 처리한 완충녹지, 가로녹지, 도로중앙분리대와 달빛공원의 토양산도는 적절한 수준이었고, 매립후 방치한 3공구 지역은 강알칼리성으로 변하고 있어 공원조성시 식재기반처리가 필요하였으며, 양묘장은 강산성으로 중화처리가 필요하였다.

3. 유기물함량 변화

우리나라 산림지역 유기물함량 평균치는 $3.67 \pm 1.39\%$ (이수옥, 1981), 미경작산림토양 유기물함량 기준치는 6.40%(김계훈 등, 1995)로 보고된 바 있다. 유기물함량 변화를 살펴보면, 조사구 1은 2.0~2.7 → 2.1~2.3 → 0.9%로 감소하였고 기준치보다 낮았다. 조사구 2~10은 2006년, 2007년에는 0.6~3.8%이었다가 2008년 0.3~0.9%로 감소하였으며, 조사구 6은 0.2~1.0 → 0.7~0.9 → 0.4%, 조사구 9와 11은 0.3~2.0 → 0.5~0.9 → 0.6~0.9%로 다른 생육양호지에 비해 상대적으로 수치가 낮았다.

조사구 12~15는 0.5~1.0 → 0.4~0.8 → 0.5~0.7%, 조사구 16과 17은 2006~2007년에 0.4~0.7% → 2008년에 0.1%로 감소하였다. 조사구 18~21은 2006년 9월 0.8~1.3% → 12월 0.2~0.5%로 감소, 2007년 3월 0.5~0.9% → 시비후 6월 0.8~2.1%로 증가 → 2008년 12월 0.4~0.8%로 감소하는 경향이였다.

이상의 결과를 종합하면, 공원녹지 조성지는 지속적인 시비작업으로 시기별 유기물함량 변화는 있었으나 기준치 이하이었으며, 3공구 매립지는 최근 0.1% 수준으로 감소하였다.

4. 유효인산 변화

식물의 발근, 착근, 신진대사 등을 촉진시키는 유효인산의 우리나라 미경작 산림토양 기준치는 5.60mg/kg(김계훈 등, 1995)으로 보고된 바 있다. 유효인산의 변화를 살펴보면, 조사구 1은 143~144 → 66~67 → 33mg/kg, 조사구 2와 3은 34~370 → 36~117 → 26~49mg/kg, 조사구 4와 5는 53~200 → 18~94 → 6~8mg/kg, 조사구 6은 22~71 → 22~27 → 18mg/kg, 조사구 7~10은 16~297 → 31~285 → 40~102mg/kg로 대체로 감소하는 경향이였다. 조사구 11은 10~27 → 7~8 → 1mg/kg로 다른 조사구에 비해 급격히 감소되었으며 적극적인 시비관리가 필요하였다.

조사구 12~15는 26~52 → 6~32 → 9~15mg/kg, 조사구 16~17은 30~58 → 13~42 → 9mg/kg, 조사구 18~21은 26~117 → 10~152 → 8~78mg/kg로 감소하였다.

이상의 결과를 종합하면, 전반적으로 유효인산은 감소하는 경향이였으며, 도로 중앙분리대는 유효인산이 매우 부족한 상태이었고 달빛공원, 3공구 매립지 등 비관리지역의 유효인산은 뚜렷한 감소 경향을 나타내었다.

5. 치환성양이온 변화

치환성양이온은 음전하를 띤 토양입자 표면에 전기적 인력으로 흡착된 양이온으로서 교환성양이온이라고도 한다(류순호, 2000). K^+ 는 광합성과 호흡작용에 관여하는 효소의 활성제 역할을 하며, 전분과 단백질 합성효소를 활성화하고(Bhandal and Malik, 1988), 우리나라 미경작산림토양 기준치는 0.25cmol/kg(김계훈 등, 1995)으로 보고된 바 있다. K^+ 변화를 살펴보면, 조사구 1은 0.13~0.23 → 0.13~0.16 → 0.09cmol/kg, 조사구 2~3은 0.14~0.15 → 0.07~0.11 → 0.10~0.13cmol/kg, 조사구 4~5는 0.17~0.26 → 0.14~0.32 → 0.17~0.18cmol/kg, 조사구 6은 0.06~0.19 → 0.1~0.12 → 0.06cmol/kg로 다소 감소하는 추세로 기준치 이하이었다. 조사구 7~8은 0.24~0.34 → 0.31~0.41 → 0.19~0.26cmol/kg로 기준치 이상이였으나, 조사구 9~10은 0.16~0.20 → 0.08~0.18 → 0.14~0.15cmol/kg, 조사구 11은 0.08~0.11 → 0.10~0.11 → 0.17cmol/kg, 조사구 12~15는 0.06~0.21 → 0.04~0.29 → 0.12~0.19cmol/kg로 기준치 이하이었다. 조사구 16~17은 0.08~0.15 → 0.07~0.52 → 0.64~0.77cmol/kg로 증가하는 추세이었고, 조사구 18~21은 0.11~0.33 → 0.16~0.88 → 0.13~0.24cmol/kg로 기준치이하이었다.

Ca^{++} 는 세포막을 보호하여 세포벽 구조의 안정화, 이온 전달의 조정, 세포벽의 효소 활동과 이온교환 작용의 통제에 필수적인 유기물 혹은 무기물로서(Demarty and Thellier, 1984) 우리나라 미경작산림토양 기준치는 2.27cmol/kg(김계훈 등, 1995)이다. Ca^{++} 변화를 살펴보면, 조사구 1은 11.4~14.0 → 13.1~15.2 → 6.60cmol/kg, 조사구 2~11은 5.5~11.2 → 5.2~11.5 → 3.60~10.60cmol/kg, 조사구 12~15는 5.7~13.7 → 6.3~14.7 → 4.4~7.6cmol/kg로 기준치 이상이였다. 조사구 16~17은 6.1~9.7 → 2.9~8.2 → 1.6~1.9cmol/kg로 시간의 흐름에 따라 감소하여 기준치 이하 수준이었다. 조사구 18~21은 3.1~8.0 → 4.3~8.2 → 4.4~6.7cmol/kg로 기준치 이상이였다.

Mg^{++} 는 엽록소의 주 구성 성분으로 탄소 동화작용에 영향을 미치고(이천용, 1996), 우리나라 미경작산림토양 기준치는 0.70cmol/kg(김계훈 등, 1995)이다. Mg^{++} 변화를 살펴보면, 조사구 1은 1.9 → 1.4~2.2 → 1.5cmol/kg, 조사구 2~5는 0.7~5.2 → 1.1~1.8 → 0.8~1.2cmol/kg로 기준치 이상이였다. 조사구 6~10은 0.6~1.2 → 0.7~1.0 → 0.4~0.9c

mol/kg로 기준치보다 다소 낮아지는 경향이였다. 조사구 11은 0.9~1.0 → 1.4 → 1.1cmol/kg, 조사구 12~15는 2.6~2.8 → 1.8~2.9 → 1.4~2.5cmol/kg, 조사구 16~17은 1.9~3.7 → 1.9~2.2 → 1.2~1.6cmol/kg, 조사구 18~21은 1.1~5.0 → 3.2~4.9 → 2.9~4.4cmol/kg로 기준치 이상이었다.

이상의 결과를 종합하면, K⁺은 완충녹지, 가로녹지, 도로 중앙분리대 녹지는 대부분 소폭 감소하는 경향으로 기준치 이하이었다. Ca⁺⁺은 3공구 매립나지를 제외한 나머지 연구 대상지의 Ca⁺⁺ 분석수치는 다소 감소하는 추세이나 기준치 이상이었다. Mg⁺⁺는 송도TP내 가로녹지를 제외한 나머지 연구대상지의 Mg⁺⁺ 분석수치는 다소 감소하는 추세이나 기준치 이상이었다.

IV. 결론

해안매립도시인 인천경제자유구역 송도국제도시 내 다양한 식재기반 유형의 공원녹지(2007년 6월 준공)를 대상으로 2006년 9월부터 2008년 12월까지 토양의 화학적 특성 변화를 모니터링하여 향후 공원녹지 조성 및 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 수행하였다. 완충녹지와 가로녹지는 대부분 염분함량이 기준치 이하로 나타나 염해피해에 대한 식재기반조성기법 적용이 효과가 있었으나, 북측유수지와 인접한 달빛공원(수변공원)은 갈대식재지로 조성한 이후에도 일부 구간에서는 수목식재시 염해피해가 우려되므로 내염생식물을 중심으로 조성관리해야 할 것이다. 토양 산도는 공원녹지 조성지의 경우 적정하였으나 3공구 매립지는 강알칼리성으로 변하였고, 양묘장은 강산성이었다.

유기물함량은 시비시기에 따른 증감의 변화가 있었으나 기준치보다 낮은 수준이었고, 도로 중앙분리대 녹지의 경우 유효인산이 감소하여 시비가 필요하였다. 치환성양이온함량은 전체적으로 다소 감소하였는데, 칼슘은 기준치 이상이었으나, 칼륨이 기준치이하로 전반적인 대책이 필요하였다. 송도TP 내 보행자도로의 자산홍 생육불량지는 2006년 염

분함량 0.06~0.09%, 토양산도 pH 8.1~8.6, 유기물함량, 칼륨 및 마그네슘 함량이 부족하여 식재기반 개선이 필요하였다.

V. 인용문헌

- 구분학, 강재선, 김정욱(2000) 서해안 임해매립지 녹지공간 토양성분들의 상관성 및 경시적 변화 특성. 한국조경학회지 27(5): 161-169.
- 김계훈, 윤주용, 류순호(1995) 한국토양 중 Cs-137과 K-40의 분포. 한국토양비료학회지 28(1): 33-40.
- 남용, 광영세, 정인호, 이덕범, 이상석(2008) 임해준설매립지 식물분포와 표층토양의 이화학적 특성. 한국조경학회지 36(3): 52-62.
- 류순호(2000) 토양사전. 서울대학교 출판부, 730쪽.
- 이수옥(1981) 한국 산림토양에 관한 연구(II). 한국임학회지 54: 25-35.
- 이천용(1996) 산림환경토양학. 보성문화사, 45~88쪽.
- 인천광역시경제자유구역청(2003) 송도 2, 4공구 공원·녹지 조성 실시계획보고서. 인천광역시, 755쪽.
- 조우(2000) 인천시 해안매립지 녹지조성 기법 개발 연구. 인천발전연구원 보고서, 170쪽.
- 한국조경학회(1999) 조경설계기준. 사단법인 한국조경학회, 287쪽.
- 本間啓(1973) サンドポンプによる臨海埋立地における緑地植物の植栽に關する研究. 緑地學研究, 107pp.
- 小橋登治, 材井宏, 龜山章(1992) 環境綠化工學. 朝倉書店, pp.26-29.
- 日本造園學會(1998) ランドスケープと綠化. 技報堂出版. pp. 228-237.
- 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.
- Demarty, M. C. Morvan and M. Thellier(1984) Calcium and the cell wall. Plant Cell Environ. 7: 441-448.