

임해준설매립지 식물분포와 표층토양의 이화학적 특성

남웅* · 광영세** · 정인호*** · 이덕범* · 이상석****

*광양조경(주) · **포항산업과학연구원 · ***순천대학교 대학원 조경학과 · ****순천대학교 조경학과

Plant Distributions and Physicochemical Characteristics of Topsoil on the Reclaimed Dredging Area

Nam, Woong* · Kwak, Young-Se** · Jeong, In-Ho*** · Lee, Deok-Beom* · Lee, Sang-Suk****

*Gwangyang Landscape Co., Ltd.

**Research Institute of Industrial Science & Technology

***Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Suncheon National University

****Dept. of Landscape Architecture, Suncheon National University

ABSTRACT

By analyzing specific plant distributions and physicochemical characteristics of topsoil in a reclaimed dredging area, baseline data was found of natural landscape planting sites and developing dredged fill ground. The reclaimed dredging area is five different stands (1, 2, 3, 4 and 5) which were examined in this research. They are located from sea level to 15 meters in altitude and exhibited typical characteristics of the salt marsh in Gwangyang Bay.

Species with high constancy in the vegetation on the reclaimed soil were classified into four stages. A total of 12, 15, 22, 27 and 35 different plant species were found and also increased in stands 1, 2, 3, 4 and 5, respectively. Moving from stand 1 to 5, halophytes decreased and non-halophytes increased. Desalination at each stage of the reclaimed dredging area was a driving force affecting the performance and distribution of halophytes and non-halophytes.

Overall, 35 quadrats of soil were selected and analyzed for specific physicochemical characteristics of topsoil between 0~20cm. Results of the physicochemical analysis such as altitude, slope, vegetation and kind of reclaimed dredging soil, exhibited irregular increases or decreases. As survey areas moved from stand 1 to 4, desalination areas, soil acidity, electric conductions, content of salinity, available phosphorus, potassium, chlorine, calcium, and magnesium indicated decreasing patterns; however, total nitrogen, silt, and clay content increased. Cluster analysis and PCA by environmental data within the stands clearly showed five distinct vegetation patterns on the tested reclaimed area. These results indicate that the differences of performance and distribution of vegetation are due to the SAR in the reclaimed soil and related to the natural survival strategy at the given hostile habitat.

Key Words: Halophytes, Salinity, Stand, Soil, Vegetation

국문초록

본 연구는 광양제철소 임해준설매립지에 자생하는 식물분포와 토양환경요인의 특성을 규명하고, 식물분포와 토양과

Corresponding author: Woong Nam, Gwangyang Landscape Co., Ltd., Gwangyang 545-875, Korea, Tel.: +82-61-792-5474, E-mail: nawoo56@hanmail.net

의 상관관계를 밝힘으로써 향후 생태적 조경의 활용방안을 제시하고자 한다. 연구대상지는 해수면으로부터 시작하여 표고 15m에 이르는 지역으로 임해준설매립지내 조사지역 1, 2, 3 및 4는 전형적인 염습지의 특징을 나타내었다. 조사지역의 총 출현종수는 1, 2, 3, 4, 5지역별로 각각 13, 15, 22, 27, 35종으로 증가하는 것으로 나타났으며, 염생식물은 감소하고 중성식물은 증가하는 경향을 나타내었다. 각 조사지역별 표층토양(0~20cm)의 물리·화학적 특성을 분석한 결과, 조사지역 1에서 조사지역 4로 이동함에 따라 탈염이 진행되면서 토양산도 및 전기전도도는 낮아지고, 염분, 유효인산, 칼륨, 염소, 칼슘, 마그네슘 등은 함량이 감소된 반면, 전 질소, 미사, 점토함량은 증가하는 경향을 보여주었다. 이는 임해준설매립지에서 자연강우에 토양이 장기간 노출되면서 염분과 관련된 토양환경인자들이 변화하는 것을 잘 나타내는 것이다. 이러한 분석 결과, 염분과 관련된 인자들이 연구대상지의 식물분포의 변화를 유도한 주요한 영향요인으로 밝혀졌다.

주제어: 염생식물, 염분, 식분, 토양, 식생

1. 서론

1960년대 이후 산업화와 지역개발로 인한 토지수요의 증가로 부족한 토지의 공급을 위해 임해매립을 주로 활용하였으며, 초기에는 농경지 확보, 공단·공항·항만 등의 산업시설 용지 조성에서 최근에는 주거용 택지개발이나 첨단복합기능 단지 조성, 그리고 신도시 건설을 위한 대규모 임해매립 사업이 진행되고 있다. 매립사업으로 인하여 환경문제가 발생하고 연안수 자원이 고갈되는 피해가 발생하고 있으나, 향후 2010년까지 약 20만ha의 매립사업계획이 수립되어 있어 부족한 용지를 확보하기 위한 수단으로서 임해매립 사업은 지속적으로 추진될 것으로 예상된다. 임해매립을 통한 용지의 조성은 토취장으로부터 채취한 흙으로 매립하거나, 바다 밑의 모래나 개흙을 펌프로 끌어 올린 준설토로 매립하는 두 가지 방식을 사용하는데, 토취장에서 채취한 흙으로 매립하는 경우에는 자연식생의 도입이 빠르고, 수목 식재를 위한 식재 지반 조성이 용이한 장점이 있으나, 토양의 확보 및 이로 인한 자연환경의 파괴라는 문제가 야기되고 있다. 반면 준설토로 매립하는 경우에는 매립공사의 용이성은 높으나 염분이 과다하고, 모래 함유량이 많아 토양의 물리·화학적 성질이 좋지 않으므로 수목을 직접 식재하거나 자연식생이 도입되는데 많은 문제점이 따르기 때문에 인공적인 식재지반을 별도로 조성하고 지속적인 유지관리가 요구되고 있다. 최근 들어 인위적인 식재방법을 탈피하고 자연적인 식생 도입을 통한 생태적인 녹화의 활용가치가 높아지고 있으나, 식생기반이 되는 매립지 토양의 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 국내의 임해매립지 관련 연구사례는 불량 식재지반의 식생에 대한 연구(변재경, 2004; 구분학 등, 1999; 김도균, 2000), 임해매립지의 식생천이에 관한 연구(오현경과 김도균, 2006), 매립이 완료된 임해매립지 및 간척지에서 제염진행과 이에 따른 토양변화 및 식물분포 변화를 연구하여 토양과 식물과의 관계 규명(이점숙, 1988; 최일홍 등, 2002) 등이 진행되었으며, 해외에서는 토양환경요인에 의한 식물의 생존전략에 관

한 연구(Bouma *et al.*, 2001; Nieva *et al.*, 2001; Venkatesula *et al.*, 1994), 임해매립지 식물의 군집분석 및 활용가능성 연구(Bruno, 2000; Seliskar *et al.*, 2002; Silvestri *et al.*, 2005) 등이 진행되었다.

이와 같이 기존의 관련 연구들은 임해매립지 등의 불량 식재지반의 식생에 관한 연구, 식생의 천이에 관한 연구, 그리고 식생과 토양과의 관계를 규명하는 연구 등이 진행되었고, 주로 인위적 식재지반에서의 식생과 토양과의 관계를 구명하려는 연구가 주로 이루어졌으며, 시간의 경과에 따른 매립이 완료된 임해준설매립지내 표층토의 물리·화학적 변화에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 준설매립 후 10~20여년이 지난 연구대상지에서 식생분포와 표층토의 물리·화학적 변화 특성 및 상관관계를 구명함으로써, 향후 임해준설매립지의 자연 식재기반 조성 및 준설매립토 토양 개량을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구내용 및 방법

1. 조사지 개황

조사 대상지인 광양제철소는 바다를 준설매립하여 건설되었고, 행정구역상으로는 전남 광양시 금호동, 여수시 삼일면, 경남 하동군 금남면의 공유수면 2,533만²m²와 기존 육지 206만²m²를 포함하고 있으며, 이 중 공장부지가 1,015만²m², 유희부지 263만²m², 지원시설 기지 및 주택단지 210만²m² 등 총 1,488만²m²로 계획되었다.

광양제철소 부지의 매립은 1981년 11월 제2공장의 부지가 광양만으로 확정되면서 시작되어 1985년 4월 공장지역의 준설매립 1단계가 완료되었다. 매립 원기반 조성은 1982년부터 1989년까지 광양만 해저의 퇴적물과 개흙을 준설공법(Sand Pumping)으로 매립하였고, 원기반의 높이는 DL(Development Level) +5.0~5.5로 조성하였다(포스코 광양제철소, 2001). 준

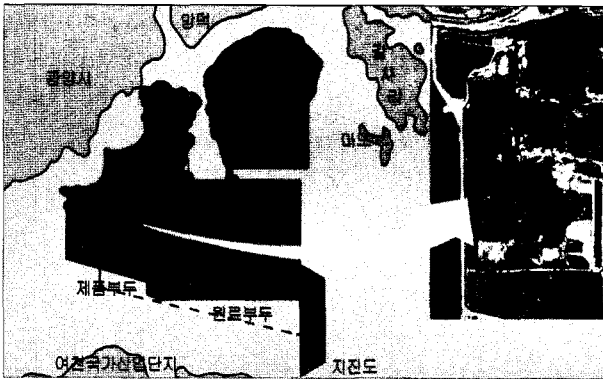


그림 1. 조사대상 지역 및 위치도

설매립지인 연구대상지는 1986년부터 1996년까지 매립이 이루어졌고, 면적은 약 263만² 정도이며, 준설매립 후 지역에 따라 10~20년 동안 자연상태로 유지되어 왔고, 자연강우와 지반 침하 등에 의해 자연적으로 지형의 경사가 형성되었으며, 이로 인한 토양환경의 변화가 생기기 시작함으로써 식생의 변화가 나타나고 있다. 본 연구의 조사 대상지역을 지형적인 특성 및 식물군집을 고려하여 임해준설매립지 내에 4곳(1, 2, 3, 4)에 각각 8개의 조사지소와 그와 연결된 자연식생이 그대로 있는 1곳을 대조구(5)로 선정하고 각각 3개의 조사지소를 설치하여 총 35개의 토양조사 지소를 선정하였다(그림 1 참조).

조사지역 1은 주위에 자연수로가 형성되어 있고, 만조 시 바닷물이 직접 유입되고 있으며, 간조 시에는 연구대상지 주변의 강우 유출수가 수로를 따라 바다로 유출되고 있는 지역이다. 조사지역 2는 만조 시 바닷물의 유입은 없으나 강우 유출수가 모여드는 집수역의 특징을 보여주는 곳으로, 표층토에 염이 집적되어 하얀색으로 나타나는 지역이 부분적으로 존재하였고, 갈대의 생육이 1지역보다는 양호하였으나, 3지역보다는 생육이 불량하였다. 조사지역 3은 준설토의 매립고가 다소 높은 지역으로 갈대군락이 대상구조로 분포하는 특징을 나타내고 있었으며, 조사지역 주위에 부분적으로 아카시나무가 군락을 형성하고 있고, 갈대의 식생이 잘 발달되어 있는 특징을 나타내고 있는 지역이다. 조사지역 4는 대조구인 5지역과 가장 인접하고 있는 지역으로 3지역보다 매립고가 높고, 띠, 참억새 등 중성식물의 분포가 현저히 증가하는 지역의 특징을 나타내고 있으며, 주변에 느릅나무, 곰솔 등 일부 목본류가 자연적으로 유입되어 있는 지역적 특징을 나타내고 있다. 대조구인 조사지역 5는 자연식생이 그대로 남아있는 곳으로 연구대상지인 준설매립지와 가장 인접하고 있으며, 해수면으로부터 15m의 해발고도를 나타내는 지역으로 곰솔이 우점하는 전형적인 자연해안 식생구조를 나타내고 있는 지역이다.

2. 식물분포 조사

각 조사지역의 식물분포에 대한 조사는 현지답사를 통하여 균질한 식분을 선정하여 이루어졌다. 연구대상지의 조사지역 1에서 4는 2×2m의 조사지소를 각각 8곳, 대조구인 조사지역 5는 10×10m의 조사지소 3곳을 설치하여 방형구 내에 출현하는 전 출현종과 구성종의 피도와 군도를 기록하였다.

3. 토양조사 및 분석

연구대상지의 토양조사는 35개의 지소를 대상으로 표면의 잡초나 유기물 등 이물질을 제거한 후 시료채취기(직경 4.5cm × 높이 10cm)를 이용하여 0~20cm 표층토의 시료를 약 1.5kg 채취하여 폴리에틸렌 봉지에 넣어 밀봉한 후 실험실로 운반하여 그늘에서 음건시켰다. 건조된 시료는 나무나 고무망치를 이용하여 곱게 빻은 후 2mm체를 통과시켜 수분이 흡수되지 않도록 플라스틱 용기에 담아 물리·화학적 분석용 시료로 사용하였다. 토양의 물리·화학적 특성의 분석은 농림부 농촌진흥청의 유기물 분석법(농업과학기술원, 2000)을 기준으로 토양산도(pH meter), 전기전도도(EC meter), 염분함량(Salt meter), 유기물 함량(Potassium dichromate: 1.721), 토성(USDA법), 전질소(Micro-Kjeldahl flask), 유효인산(Bray No.1), 치환성 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨(Atomic absorption spectrophotometer: M-901), 염소이온(GC-Mass), 나트륨흡착비($Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2]^{-\frac{1}{2}}$) 등을 분석하였다. 조사지역간 조사지소별 토양환경요인에 의한 유사도분석은 MINITAB 통계 프로그램(Release 14, 2005)을 이용하여 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 식물분포

본 연구대상지인 임해준설매립지의 식생을 분석한 결과(표 1 참조), 조사지역 1의 우점종은 통통마디, 갯질경, 갈대 및 비쭉이 우점하였고, 식피율은 각각 20%, 20%, 50% 및 5%를 점유하였다. 식별종으로는 갯질경, 사데풀, 좁보리사초가 구분되었고, 총 출현종수는 13종으로 매우 빈약한 종조성을 이루었다. 조사지역 2의 우점종은 통통마디, 비쭉, 갈대 및 띠가 우점하였고, 식피율은 각각 5%, 10%, 35% 및 25%를 점유하였다. 식별종으로는 칠면초, 갯개미취, 갯강아지풀이 구분되었고, 총 출현종수는 15종으로 조사지역 1보다 2종이 많은 것으로 조사되었다. 조사지역 3은 갈대의 식피율이 90%로 우점종으로 나타났고, 식별종으로는 새섬매자기와 갯개미자리가 구분되었으며, 총 출현종수는 22종으로 조사되었다. 조사지역 4의 우점종은 띠, 갈대 및 참억새가 우점하였고, 식피율은 각각 30%, 30% 및

25%를 점유하였다. 식별종으로는 싸리 및 솔새로 비교적 중성 식물들로 구분되었고, 총 출현종수는 27종으로 조사되었다. 조사지역 5는 대조구로서 연구대상 조사지역 1에서 4와 가장 인접된 지역으로 곰솔군락으로 이루어졌고, 임해준설매립지와는 전혀 다른 육상식물들로 구성되어 있으며, 총 출현종수는 35종으로 기타 해안선에 인접된 식물군락의 종조성인 청미래덩굴, 그늘사초, 짚레, 주름조개풀, 명석딸기 등이 식별종으로 나타나는 특징을 보였다.

임해준설매립지에서 조사지역에 따른 식물종의 변화에서 엽생식물의 종수는 조사지역 1에서 13종의 출현종 중 9종이었고, 조사지역 2에서 15종의 출현종 중 6종이었으며, 조사지역 3에서 22종의 출현종 중 4종이었다. 조사지역 4에서 27종의 출현종 중 5종이었으며, 대조구인 조사지역 5에서 35종이 모두 중성식물로 조사되었다. 엽생식물의 자연상태에서 생육은 장기적인 계절적 엽분 변동뿐만 아니라 강수량, 증발량, 해수의 침투 등과 같은 단기적 엽분 변동에 대한 적응능력이 중요하는데, 본 연구에서도 탈염이 진행되면서 엽분 관련 인자들이 구배에 따라 조사지역 1에서 대조구인 조사지역 5로 진행되면서 엽생식물의 종수가 감소하고, 중성식물의 종수가 증가하는 전형적인 양상을 나타냈다.

2. 토양산도(pH)

조사지역에 따른 표층 토양의 pH 값은 조사지역 1에서는 pH 7.35~8.15로 평균 pH 7.62이었고, 조사지역 2에서는 pH 7.10~7.70으로 평균 pH 7.36이었으며, 조사지역 3에서는 pH 7.10~7.60으로 평균 pH 7.33이었다. 조사지역 4에서는 pH 6.85~7.25로 평균 pH 7.10이었으며, 조사지역 5에서는 pH 5.90~6.20으로 평균 pH 6.04로 나타났다(그림 3 참조).

조경수목 식재를 위한 토양 pH 값은 pH 5.0~7.0, 산림용 묘

목 및 관상수의 토양개량목표는 pH 5.5~6.0, 임해매립지 토양에서 pH 7.8 이하이면 내염성 수종의 식재가 가능하고(변재경, 2004), 전국 산림지역은 평균 pH 6.2(포항산업과학연구원, 2001)로 보고된 바 있다. 본 연구대상지에서는 각각의 pH 값은 불규칙적이지만 조사지역 1에서 대조구인 조사지역 5로 이동할수록 식물의 생육이 가능한 수치가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이것은 탈염에 의한 조사지역간 토양 pH 값의 차이를 보여주는 것으로 바다와 인접하거나 표고가 낮은 지역이 pH 값이 높게 나오는 것으로 판단되었다.

3. 전기전도도

조사지역에 따른 표층 토양의 전기전도도(Electrical conductivity: EC) 값은 조사지역 1에서는 0.55~7.2dS/m로 평균 2.16dS/m이었고, 조사지역 2에서는 0.15~3.65dS/m로 평균 1.06dS/m이었으며, 조사지역 3에서는 0.05~0.20dS/m로 평균 0.11dS/m이었다. 조사지역 4에서는 0.05~0.15dS/m로 평균 0.12dS/m이었으며, 대조구인 조사지역 5에서는 0.09~0.13 dS/m로 평균 0.11dS/m로 나타났다(그림 4 참조). 일반적으로 간척지, 매립지, 건조지대 등의 특이한 토양은 많은 염류로 인하여 전기전도도 값이 높아 식물생육에 지장을 주며, EC값이 2.0dS/m

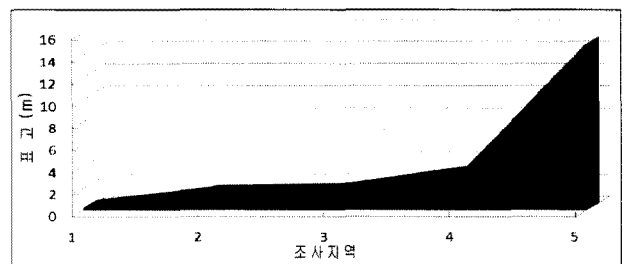


그림 2. 조사지역에 따른 주요 우점종의 변화

표 1. 조사지역에 따른 주요 우점종의 변화

조사지역	1		2		3		4		5	
	식물명	식피율	식물명	식피율	식물명	식피율	식물명	식피율	식물명	식피율
우점종	통통마디	20	통통마디	5	갈대	90	띠	30	곰솔	80
	갯질경	20	비속	10			갈대	30		
	갈대	50	갈대	35			참억새	25		
	비속	5	띠	25						
식별종	갯질경	5	칠면초	10	섬매자기	10	솔새	15	청미래덩굴	20
	사데풀		갯강아지풀		갯개미자리		싸리		그늘사초	
	좁보리사초		갯개미취						주름조개풀	
									짚레	
										명석딸기
총 출현 종수	13종		15종		22종		27종		35종	

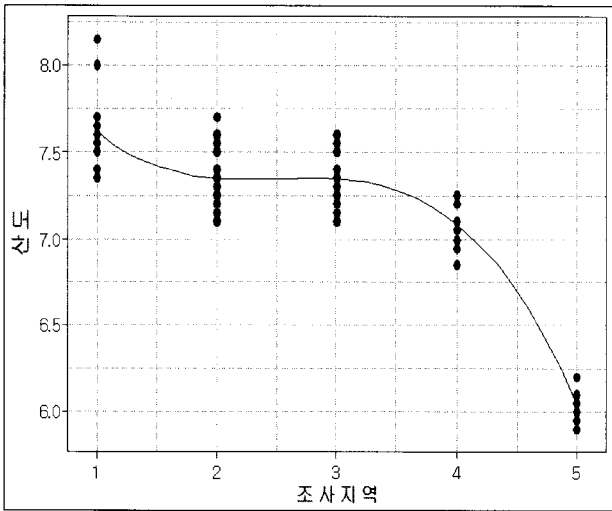


그림 3. 조사지역별 표층토 산도 변화

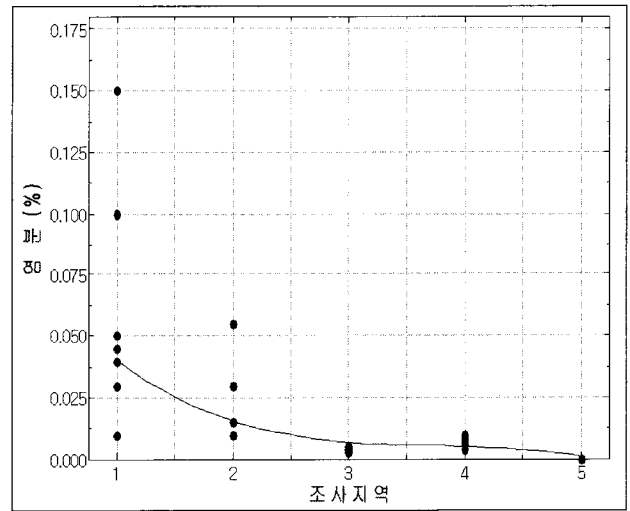


그림 5. 조사지역별 표층토 염분 함량 변화

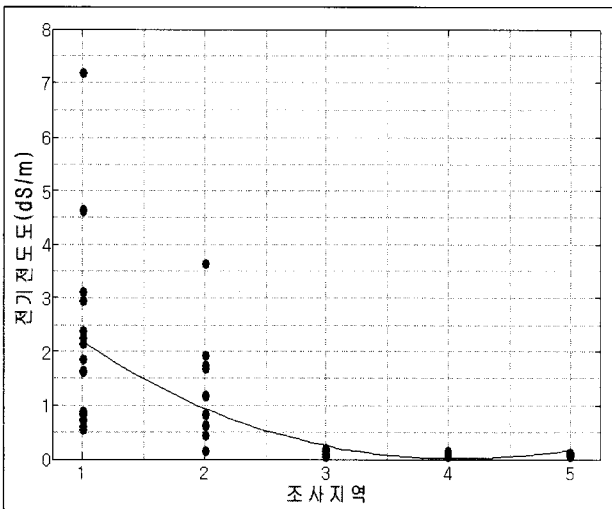


그림 4. 조사지역별 표층토 전기전도도 함량 변화

이하이면 수목식재가 가능하고, 4.0dS/m 이상이면 식물생육에 크게 유해하다고 알려져 있다(Richards, 1954). 조사지역 1에서 조사지역 5로 이동함에 따라 전기전도도 값은 생물생육에 지장이 없을 정도로 감소하는 경향을 보였다. 또한, 조사지역 1·2는 조사지소별로 차이가 컸으며, 조사지역 3·4와 대조구인 조사지역 5는 각각 조사지소별로 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 이것은 같은 조사지역에서도 각 토양시료 채취지소에 따라 토양에 함유된 염류 농도의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

4. 염분함량

조사지역에 따른 표층 토양의 염분함량은 조사지역 1에서는 0.010~0.150%로 평균 0.04%이었고, 조사지역 2에서는 0.010~

0.055%로 평균 0.017%이었으며, 조사지역 3에서는 0.003~0.005%로 평균 0.004%이었다. 조사지역 4에서는 0.004~0.090%로 평균 0.007%이었으며, 대조구인 조사지역 5에서는 검출되지 않았다(그림 5 참조).

간척지 토양은 염분농도가 지역에 따라 0.3~1.0%의 분포를 나타내며(최일홍 등, 2002), 本間啓(1973)는 작물의 생육장애 농도는 0.04%, 식물의 생육한계는 0.05%라 하였다. 千葉農林部(1975)은 토양 중 염소농도는 0.04% 이하에서 수목식재가 가능하다고 하였는데, 본 연구대상지에서는 조사지역 1을 제외하고는 식물생육한계 농도보다는 낮게 검출되었다. 조사지역 1에서 대조구인 조사지역 5로 이동할수록 불규칙적이지만 토양 염분함량은 낮아졌고, 조사지역 3과 4 및 조사지역 5는 각각 조사지소별로 염분함량은 차이가 크지 않았다. 조사지역 1과 2는 각 조사지소별로 염분함량의 차이가 큰 것으로 나타났다. 이는 조사지역 1과 2가 상대적으로 표고가 낮아 해수의 직접적인 영향과 다른 조사지역에서 용탈된 염류가 집적되고 있기 때문인 것으로 사료된다.

5. 유기물 함량

조사지역에 따른 표층 토양의 유기물함량은 조사지역 1에서는 1.31~1.88%로 평균 1.59%이었고, 조사지역 2에서는 1.60~3.48%로 평균 2.29%이었으며, 조사지역 3에서는 1.03~2.51%로 평균 1.81%이었다. 조사지역 4에서는 1.03~2.96%로 평균 1.51%이었으며, 조사지역 5에서는 4.05~5.81%로 평균 4.80%로 나타났다(그림 6 참조). 조사지역에 따라 유기물 함량이 감소 또는 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 염생식물이 지속적인 성장을 거치면서 지상부 및 지하부의 생물량이 분해되면서 토양 내 유기물의 축적을 유도한 것으로 판단되었다. 토양

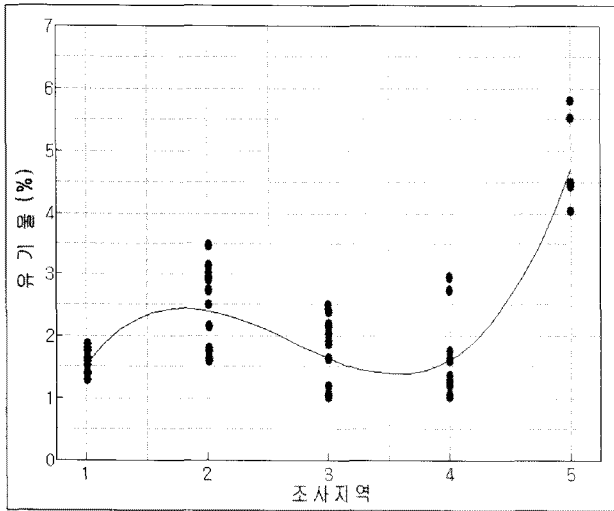


그림 6. 조사지역별 표층토 유기물 함량 변화

의 유기물함량은 조사지역 1에서 4는 조사지역별로 증감하는 경향을, 대조구인 조사지역 5는 상대적으로 유기물함량이 많은 것으로 나타났다. 이것은 대조구인 조사지역 5가 자연식생지역으로 식물생육에 적합한 토양환경 때문에 유기물함량 또한 높게 나온 것으로 판단되었다. 조사지역 2의 유기물함량이 조사지역 1·3·4에 비해 높게 나타났다. 이것은 조사지역 2가 바닷물의 유입이 없으면서 지형 또한 상대적으로 낮아 강우 등에 의한 퇴적물이 분해되어 토양의 탈염화가 빠르게 진행된 것으로 보이며, 유기물 생성조건이 다른 조사지역에 비해 양호하기 때문인 것으로 사료된다. 조사지역 1이 다른 조사지역과 비교하여 유기물함량이 가장 낮으면서 조사지소별로 일정한 경향을 보인 반면에, 조사지역 2와 3 및 4는 조사지소별로 유기물함량에 차이가 나는 것으로 나타났다. 이것은 토양 표층에 분해·혼입·집적되는 유기물질이 매립높이 등 지형의 영향 등으로 각 조사지소별로 다르게 분포하기 때문인 것으로 판단되었다.

6. 토성

조사지역 1의 토성은 모래가 평균 80.03%, 미사가 평균 10.61%, 점토가 평균 9.37%의 함유 비율로 양질사토와 사양토의 특성을 보였는데, 연구대상지의 매립토가 바다 속의 집적층을 그대로 사용했기 때문에 모래의 함량이 상대적으로 높은 것으로 판단되었다. 조사지역 2의 토성은 모래가 80.73%, 미사가 9.79%, 점토가 9.47%로 양질사토, 사양토로 구성되어 있어 조사지역 1과 비슷한 토성을 보였다. 이는 조사지역 1과 2가 매립 당시 비슷한 토성을 지닌 토양으로 매립이 이루어졌음을 판단할 수 있다. 조사지역 3의 토성은 모래가 93.51%, 미사가 2.39%, 점토가 4.10%로 사토의 토성을 나타내었다. 조사지역 4의 토성은 모래가 약 66.59%, 미사가 19.34%, 점토가 14.87%로 나타났는데,

기존 자연산림지인 조사지역 5와 비슷한 사양토의 토성으로 분류되었다. 이는 조사지역 4가 조사지역 1·2와 3에 비해 매립과정에서 모래의 함량이 낮고, 미사 및 점토의 함량이 높은 매립토가 사용된 것으로 사료된다. 대조구인 조사지역 5의 토성은 모래가 53.70%, 미사가 23.79%, 점토가 22.85%로 사질식양토로 분류되어 점토함량이 20% 이상 함유되어 있기 때문에 보수력과 보비력이 준설매립지역인 조사지역 1에서 4보다 양호하여 식물의 생육에 좋은 조건임을 알 수 있었다.

조사지역별 토성분포는 전반적으로 모래의 함유량이 높기 때문에 사질토로부터 사질식양토에 분포하고 있다(그림 7 참조). 조사지역 1과 2는 양질사토와 사양토 경계부분에 분포하였고, 조사지역 3의 경우는 사토, 조사지역 4는 사양토로 분류되고 있으나, 대조구인 조사지역 5의 경우는 사질식양토로 구분되었다.

조사지역별 토양의 모래, 미사, 점토함량의 변화는 그림 8~10와 같다. 조사지역 1에서 대조구인 조사지역 5로 이동할수록 모래함량은 낮아지고 있는 반면에 미사 및 점토의 함량은 높아지고 있다. 조사지역별 모래의 함량은 모든 조사지역에서 50% 이상 높은 함량으로 나타났지만, 점토 및 미사의 함량은 불규칙적으로 조사지역 1에서 대조구인 조사지역 5로 이동할수록 높아지는 것을 알 수 있다. 해안 간척지 토양에서 염생식물에 의한 생물학적 토성개량이 이루어지고 있는 것이 보고된 바 있는데(홍순우 등, 1969), 본 연구대상지에서도 토양표면의 식생 피복 상태 등의 변화에 의해 토성의 변화가 유도된 것으로 사료된다.

7. 전 질소 함량

조사지역에 따른 표층 토양의 전 질소 함량은 조사지역 1에

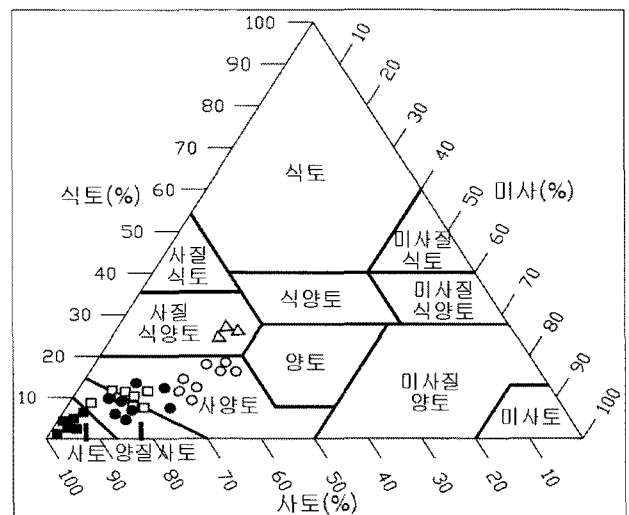


그림 7. 조사지역별 표층토 토성

법례: ● 조사지역 1, ■ 조사지역 2, □ 조사지역 3, ○ 조사지역 4, △ 조사지역 5

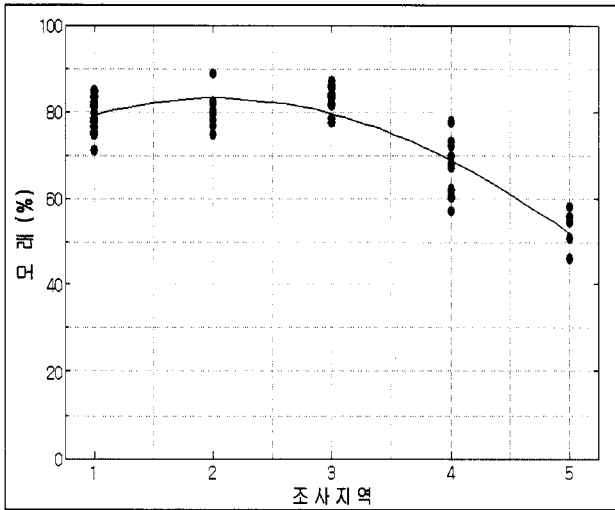


그림 8. 조사지역별 표층토 모래 함량 변화

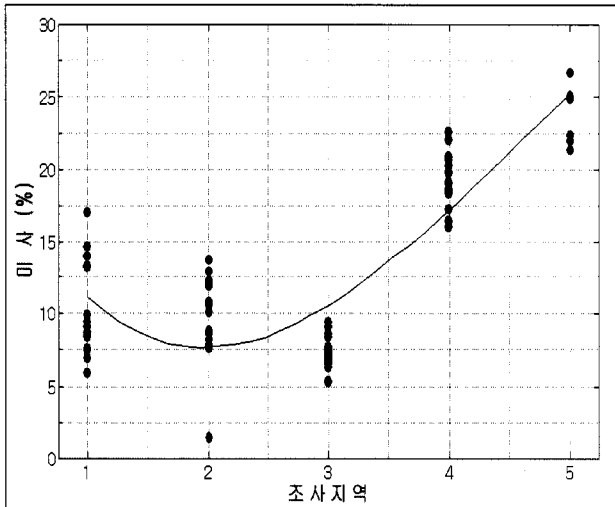


그림 9. 조사지역별 표층토 미사 함량 변화

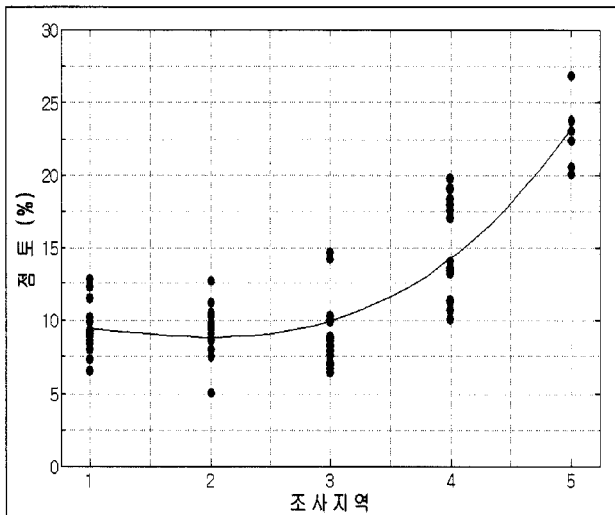


그림 10. 조사지역별 표층토 점토 함량 변화

서는 0.18~0.38mg/g으로 평균 0.26mg/g이었고, 조사지역 2에서는 0.21~0.38mg/g으로 평균 0.33 mg/g이었으며, 조사지역 3에서는 0.32~0.59mg/g으로 평균 0.45mg/g이었다. 조사지역 4에서는 0.38~0.67mg/g으로 평균 0.50mg/g이었으며, 대조구인 조사지역 5에서는 0.73~0.97mg/g으로 평균 0.85mg/g으로 나타났다(그림 11 참조). 대조구인 조사지역 5가 조사지역 1에서 4까지에 비하면 월등히 높은 함량으로 나타났다. 이것은 앞의 유기물함량의 변화양상과 유사한 경향을 보이고 있는데, 토양 중 전 질소 함량은 토양 유기물함량과 크게 상관성을 보이기 때문인 것으로 사료된다.

조경식재 지반의 적정함량은 0.06%(한국조경학회, 1999), 조경수목의 식재를 위한 적정범위 0.15%(中島康博, 1992) 수준인 것을 감안할 때, 본 연구대상지의 염습지내 전질소 함량은 0.01~0.06% 범위로 조사지역 1에서 4로 갈수록 조경식재 지반의 적정함량을 만족하는 것으로 나타났다. 조사지역 1에서 대조구인 조사지역 5로 이동할수록 전 질소함량이 높아지고 있으며, 조사지역 2는 조사지소별로 차이가 크지 않는 것으로 나타났다.

8. 유효 인산

조사지역에 따른 표층 토양의 유효 인산함량은 조사지역 1에서는 10.87~17.21ppm으로 평균 13.68ppm이었고, 조사지역 2에서는 10.33~14.21ppm으로 평균 12.38ppm이었으며, 조사지역 3에서는 6.81~8.90ppm으로 평균 7.85ppm이었다. 조사지역 4에서는 6.37~8.32ppm으로 평균 7.34ppm이었으며, 조사지역 5에서는 0.88~1.32ppm으로 평균 1.06ppm으로 나타났다(그림 12 참조). 조사지역 1에서 4까지와 대조구인 조사지역 5의 유효 인산함량은 큰 차이를 보였다. 이것은 매립에 사용된 육상토양의

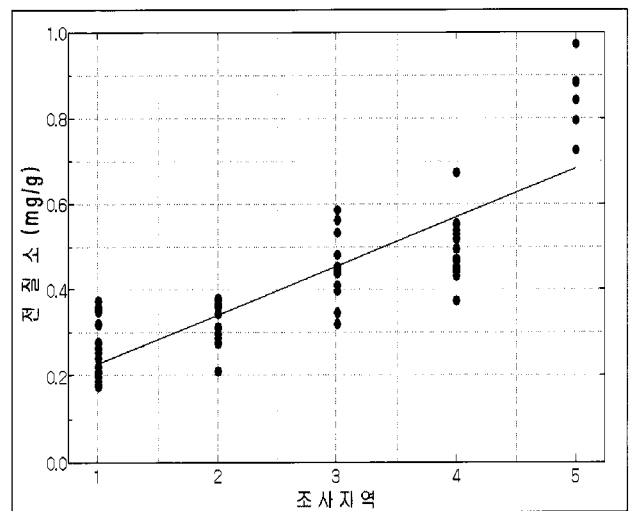


그림 11. 조사지역별 표층토 전질소 함량 변화

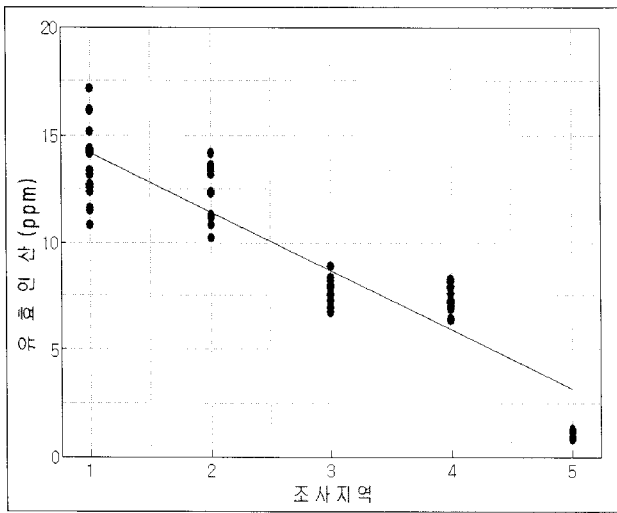


그림 12. 조사지역별 표층토 유효인산 함량 변화

표층토가 유실되어 바다로 유입된 후 해수 중에 존재하는 양이 온도와 인산이 결합되어 해양 퇴적물에 침전·축적되고 육상의 토양에 비해 상대적으로 유효 인산함량이 높은 바다 준설토가 매립에 사용되었기 때문인 것으로 판단된다. 광양제철소 내 토양의 유효 인산함량은 녹지대에서 1.98~14.80ppm이었고, 인근지역 자연섬인 지진도가 0.97ppm(곽영세 등, 2004) 조사된 바 있다. 조사지역 1에서 4까지는 매립 당시 사용된 준설토의 특성상 상대적으로 자연지역에 비해 유효 인산함량이 높은 것으로 판단된다. 조사지역 1의 경우, 유효 인산의 분포가 조사지소별로 각기 다른 값을 가지고 있으며, 조사지역 2·3·4로 이동할수록 유효 인산함량이 낮아지고, 대조구인 조사지역 5에서는 조사지소별로 비슷한 것으로 나타났다.

9. 치환성 양이온

조사지역에 따른 토양의 칼륨 함량은 조사지역 1에서 조사지역 5로 이동함에 따라 감소하는 경향을 보였는데, 조사지역 1에서는 138.9~188.7ppm으로 평균 167.5ppm이었고, 조사지역 2에서는 162.8~207.3ppm으로 평균 182.6ppm이었으며, 조사지역 3에서는 113.8~169.4ppm으로 평균 145.0ppm이었다. 조사지역 4에서는 86.3~173.6ppm으로 평균 118.2ppm이었으며, 조사지역 5에서는 66.7~86.5ppm으로 평균 77.7ppm으로 나타났다(그림 13 참조). 칼슘의 함량은 조사지역 1에서 조사지역 5로 이동함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 조사지역 1에서는 1,479~2,194ppm으로 평균 1,917ppm이었고, 조사지역 2에서는 1,527~1,998ppm으로 평균 1,833ppm이었으며, 조사지역 3에서는 867~1,399ppm으로 평균 1,085ppm이었다. 조사지역 4에서는 789~1,324ppm으로 평균 1,103ppm이었으며, 조사지역 5에서는 888~1,212ppm으로 평균 1,068ppm으로 나타났다(그림 14 참조). 마그네슘의 함량은 조사지역 1에서 조사지역 5로 이동함

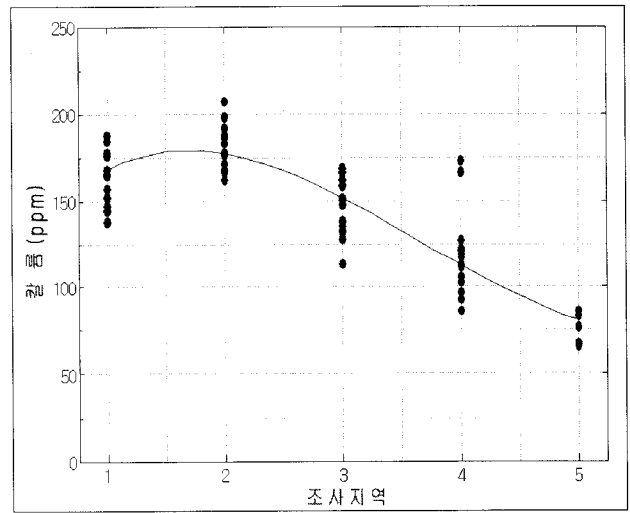


그림 13. 조사지역별 표층토 칼륨 함량 변화

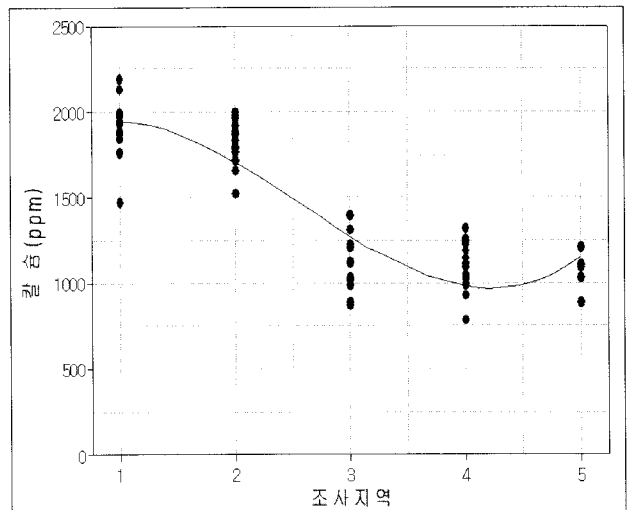


그림 14. 조사지역별 표층토 칼슘 함량 변화

에 따라 감소하는 경향으로 나타났다. 조사지역 1에서는 208~399ppm으로 평균 280ppm이었고, 조사지역 2에서는 216~323ppm으로 평균 269ppm이었으며, 조사지역 3에서는 115~188ppm으로 평균 155ppm이었다. 조사지역 4에서는 88~144ppm으로 평균 117ppm이었으며, 조사지역 5에서는 49~64ppm으로 평균 56ppm으로 나타났다(그림 15 참조).

광양제철소 녹지대의 치환성 양이온중 칼륨의 함량은 154.5 ppm, 칼슘의 함량은 1,058.9ppm, 마그네슘의 함량은 80.3ppm으로(포항산업과학연구원, 2001) 보고된 바 있다. 연구대상지 1에서 4의 칼륨의 함량은 평균 153.3ppm으로 비슷하게 나타났으나, 칼슘 및 마그네슘의 평균 함량은 각각 1,485ppm, 205.7ppm으로 연구대상지가 높게 나타났다. 이는 제철소내의 녹지대는 조경수 식재를 위해 산흙이 1m 이상 복토가 되어 있으나, 연구대상지는 초기 준설매립후 별도의 복토가 이루어지지 않았기 때문에 차이를 보이고 있는 것으로 판단된다.

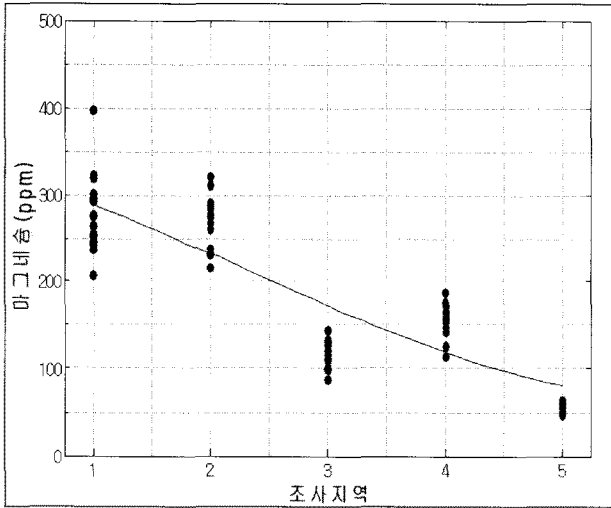


그림 15. 조사지역별 표층토 마그네슘 함량 변화

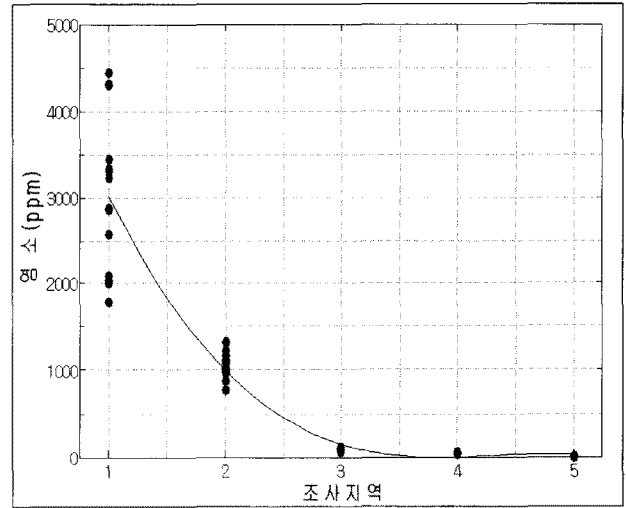


그림 17. 조사지역별 표층토 염소 함량 변화

10. 나트륨 및 염소함량

조사지역에 따른 표층 토양의 나트륨 함량은 조사지역 1에서는 1,002~1,864ppm으로 평균 1,227.3ppm이었고, 조사지역 2에서는 532~982ppm으로 평균 650.7ppm이었으며, 조사지역 3에서는 20~67ppm으로 평균 37.4ppm이었다. 조사지역 4에서는 12~16ppm으로 평균 13.3ppm이었으며, 조사지역 5에서는 1.4~3.2ppm으로 평균 2.4ppm으로 나타났다(그림 16 참조). 조사지역별 염소의 함량은 조사지역 1에서는 1,789~4,456ppm으로 평균 3,017.4ppm이었고, 조사지역 2에서는 773~1,321 ppm으로 평균 1,042ppm이었으며, 조사지역 3에서는 61~111 ppm으로 평균 82.5ppm이었다. 조사지역 4에서는 34~65ppm으로 평균 48.5ppm이었으며, 조사지역 5에서는 4~10ppm으로 평균 6.4ppm으로 분석되었다. 조사지역 1에서 5로 이동함에 나트륨 및 염소의

함량이 감소하는 것으로 나타났다(그림 17 참조). 이는 토양에서 염소이온이 영양염류와 흡착되지 않고 자유로운 배수조건에서 강우에 의해 쉽게 용탈됨으로써 이동성이 강한 이온 중의 하나의 특징을 나타내기 때문인 것으로 사료된다.

조사지역 1이 다른 조사지역에 비해 나트륨 및 염소 함량이 높게 나타났는데, 이것은 조사지역 1이 바닷물의 직접적인 영향을 받는 곳으로 해수의 영향에 의한 것으로 사료된다. 대조구인 조사지역 5를 제외한 조사지역 1에서 4까지의 염소의 함량이 나트륨에 비해 월등히 높게 나타났다. 이것은 해수 중에는 나트륨보다 염소의 함량이 1.79배 더 많이 함유되어(Silvertri, 2005) 있기 때문으로 사료된다. 또한, 나트륨은 양전하를 띠고 있어 토양교질에 흡착하기 용이하지만 염소이온은 음전하를 띠고 있어서 교질에 흡착되지 못하고 토양용액에 많은 이온들이 존재하였기 때문으로 판단된다.

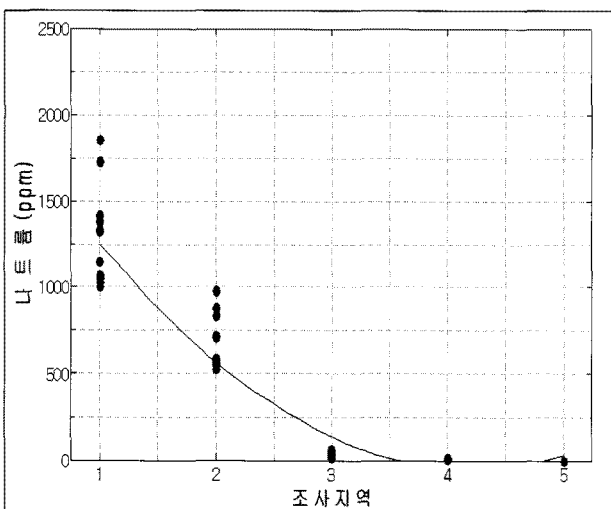


그림 16. 조사지역별 표층토 나트륨 함량 변화

11. 나트륨 흡착비

조사지역에 따른 표층 토양의 나트륨 흡착비(SAR: Sodium Adsorption Ratio)는 조사지역 1에서는 5.43~10.52%로 평균 6.94%이었고, 조사지역 2에서 3.02~5.58%로 평균 3.75%이었으며, 조사지역 3에서 0.14~0.56%로 평균 0.29%이었다. 조사지역 4에서 0.08~0.14%로 평균 0.10%이었으며, 대조구인 조사지역 5에서는 0.01~0.03%로 평균 0.02%로 나타났다(그림 18 참조). 조사지역 1의 경우 일반적으로 수목생장에 염류피해를 나타내는 SAR의 기준치인 6.0%(포항산업과학연구원, 2001)보다 높게 나타났다. 이러한 지역은 토양수분과 공기의 침투가 어려워 식물이 충분히 수분을 이용할 수 없거나 토양단면의 수리전도도가 너무 낮아서 적절한 배수가 되지 못함으로써 침투율이 감소되어 식물생육에 문제가 될 것으로 사료

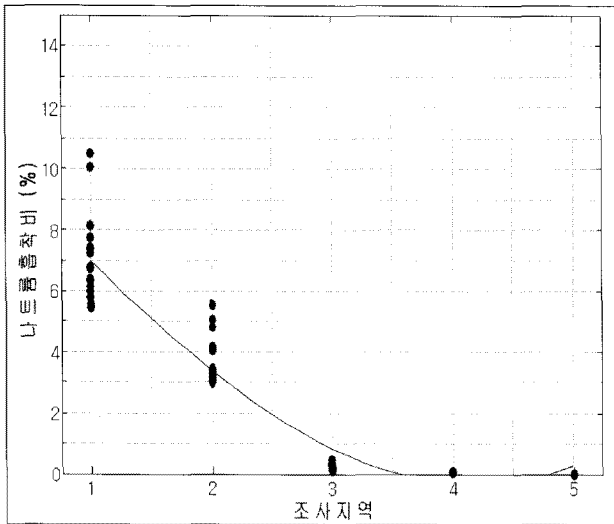


그림 18. 조사지역별 표층토 나트륨 흡착비 변화

된다. 광양제철소 녹지대 표층토 SAR의 평균인 0.60 % (포항 산업과학연구원, 2001)와 비교하여 연구대상지의 SAR이 상대적으로 높은 것은 광양제철소 내 녹지대는 매립토 위에 산화를 성토하였기 때문에 조사지역의 SAR이 높게 나타난 것으로 판단된다.

12. 조사지소별 토양환경요인에 의한 유사도 분석

35개 지소의 16개 토양환경인자들로 지역 간 유사도 분석을 실시한 결과, 크게 4 그룹으로 대별되었다(그림 19 참조). 토양환경요인에서는 조사지역 3번(지소번호: 17~24)과 4번(지소번호: 25~32) 지역이 토양 인자들 간 가장 유사도 값이 높았고, 3번과 4번 지역은 대조구인 5번(지소번호: 33~35)과 그

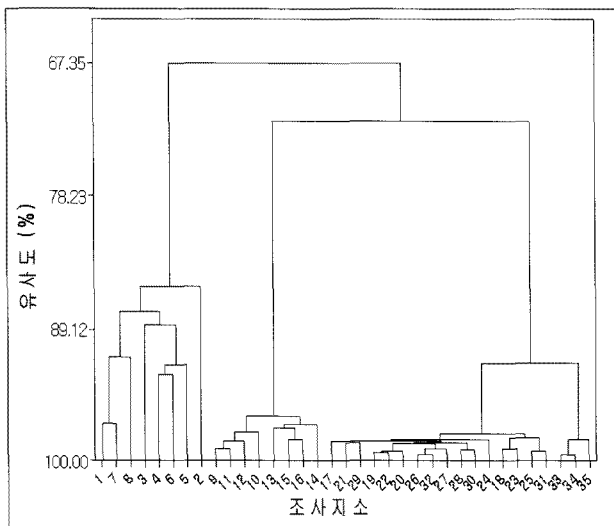


그림 19. 조사지소별 토양환경요인 유사도분석

다음으로 그룹화 되었다. 2번 지역(지소번호: 9~16)은 3, 4, 5번 지역과 약 70%의 유사성을 가졌으며, 1번 지역(지소번호: 1~8)은 2, 3, 4, 5번과 약 65%의 유사성을 보여, 토양환경인자들이 각 조사지역별로 그룹화되는 경향을 나타내었다. 이는 연구대상지에서 해수면으로부터 높이에 따른 탈염의 정도에 따라 그룹화되는 경향을 반영한 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 광양만 임해준설매립지중 매립이 완료되고 약 10~20년 동안 인위적 교란을 받지 않은 염습지 중에서 식생상태가 다른 4개의 식분에 각각 8개의 조사지역(2x2m)과 자연식생이 그대로 보존되어 있는 1곳에 대조구를 선정하고 3개의 조사지역(10x10m)을 설치하여 총 35 지소의 식물분포 및 표층토인 0~20cm의 물리·화학적 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 연구대상지는 해수면으로부터 시작하여 표고 15m에 이르는 지역이다. 각 조사지역별로 통통마디, 비쭉, 갯질경 등 염생식물과 높이에 따라 중성식물의 변화가 뚜렷하게 구분되어 분포되었다. 총 출현종수는 1, 2, 3, 4, 5지역별로 각각 13, 15, 22, 27, 35종으로 증가하고 있었으며, 염생식물은 감소하고 중성식물은 증가하는 경향을 나타내었다.

둘째, 조사지역간 표층토인 0~20cm 토양의 물리·화학적 특성은 불규칙적으로 증감하는 특징을 보였는데, 이것은 식분별 표고, 경사, 식생, 준설매립토의 종류 등이 다르기 때문인 것으로 판단된다.

셋째, 각 식분에서 토양의 물리·화학적 특성을 분석한 결과, 조사지역 1에서 조사지역 4로 이동함에 따라 탈염이 진행되면서 토양산도 및 전기전도도는 낮아지고, 염분, 유효인산, 칼륨, 염소, 칼슘, 마그네슘 등은 함량이 감소된 반면, 전 질소, 미사, 점토함량은 증가하는 경향을 보여주었다. 이는 임해준설매립지에서 자연강우에 토양이 장기간 노출되면서 염분과 관련된 토양환경인자들이 용탈되면서 나타나는 특징을 반영하였다.

넷째, 35개 방형구내 토양환경인자들을 토대로 유사도 분석을 실시한 결과 크게 4 그룹으로 대별되었는데, 조사지역 3, 4가 가장 장유사도 값이 높았고, 조사지역 3, 4는 대조구인 5와 그 다음으로 그룹화 되었고, 조사지역 2는 3, 4, 5와 약 70%, 조사지역 1은 2, 3, 4, 5와 65%의 유사성으로 보여, 토양환경인자들이 각 조사지역별로 그룹화되는 경향을 나타내었다.

본 연구를 통하여 임해준설매립지의 표층토 토양의 물리·화학적 성질은 매우 가변적이지만 표고, 경사, 강수량, 주변식생 등의 영향에 따라 탈염이 진행되고 있음을 구명하였으며, 향후 생태적 임해준설매립지의 조성을 위한 기초자료를 제시하였다. 그러나 본 연구는 제한된 부지를 대상으로 하여 연구가 진행되었기 때문에 다양한 임해준설매립지를 대상으로 추

가적인 연구가 필요하며, 연구대상지에서 나타나는 식물분포와 토양의 상관관계를 분석하고 시계열적 변화를 파악할 수 있는 추가적인 모니터링과 분석이 필요하다.

인용문헌

1. 광영세, 허용균, 송재활, 황보준권(2004) 광양제철소 녹화영향도 분석을 통한 대기 정화능력 산정. 포항산업과학연구원논문집 18(4): 334-340.
2. 구본학, 강재선, 장관순(1999) 임해매립지에서 식재기반 조성을 위한 토양특성에 관한 연구. 한국환경생태학회지 13(1): 89-95.
3. 김도균(2000) 임해매립지의 조경수목생장특성-광양만의 곰솔과 느티나무를 중심으로. 영남대학교 대학원 박사학위논문.
4. 농업과학기술원(2000) 토양 및 식물체 분석법. 농업과학기술원.
5. 변재경(2004) 임해매립지에서 복토높이에 따른 토양환경변화 및 수목생장. 건국대학교 대학원 박사학위 논문.
6. 오현경, 김도균(2006) 광양제철소와 인근주변의 관속식물 현황과 분포. 한국환경복원녹화기술학회지 9(3): 59-75.
7. 이점숙(1988) 만경강 하구 염습지 식생분포에 관한 연구. 한국환경생물학회지 6(1): 1-10.
8. 최일홍, 황경희, 이경재(2002) 임해매립지 조경수목의 피해현황 및 요인분석. 한국환경생태학회지 16(1): 10-21.
9. 포스코 광양제철소(2001) 그 섬엔 그린제철소가 있다. 포스코 광양제철소.
10. 포항산업과학연구원(2001) 제철소 녹화영향도 분석과 예측을 통한 대

기환경 정화능력 산정 및 생태적 녹화기술 개발. 포항산업과학연구원.

11. 한국조경학회(1999) 조경설계기준. 한국조경학회.
12. 홍순우, 하영칠, 최영길(1969) 해안 간척지 토양의 생물학적 토성개량에 관한 연구. -수중 염생식물에 의한 간척지토양의 제염효과에 대하여. 식물학회지12(1): 7-11.
13. 千葉農林部(1975) 京葉臨海埋立地綠化技術調査報告書.
14. 本間啓(1973) サンドポンプによる臨海埋立地における綠地植物の植栽に関する研究. 綠地學研究. pp.107.
15. 中島康博(1992) 植栽の設計施工管理. 經濟調査會. pp.611.
16. Bouma, T., J. Bas, P. Koutstaal, M. Van Dongen, and K. L. Nielsen (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.
17. Nieva, F. J. J., A. Diaz-Espejo, E. M. Castellanos and M. E. Figueroa(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.
18. Richards, L. A.(1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture handbook No. 60*. U.S.D.A.
19. Seliskar, D. M., J. L. Gallagher, D. M. Burdick, and L. A. Mutz(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.
20. Silvestri, S., D. Andrea and M. Marco(2005) Tidal regime, salinity and salt marsh plant zonation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 62(1-2): 119-130.

원 고 접 수 일: 2008년 5월 22일
 심 사 일: 2008년 7월 8일(1차)
 2008년 7월 24일(2차)
 개 재 확 정 일: 2008년 7월 30일
 3 인 의 명 심 사 필