

# 낙동강 하구 주요 사주 서식지 토양 특성

이용민 · 여운상\* · 성기준<sup>+</sup>

부경대학교 생태공학과

\* 부산발전연구원

## Soil properties of barrier island habitats in the Nakdong river estuary

Yong Min Yi · Un Sang Yeo\* · Kijune Sung<sup>+</sup>

Department of Ecological Engineering, Pukyong National University

\* Busan Development Institute

### 요 약

하구에서의 퇴적과 침식 현상에 의한 토양특성의 변화는 식물성장 환경의 변화를 유도하고 하구 식물의 분포와 성장에 영향을 미치게 되어 다양한 생태적 기능을 수행하고 있는 하구의 주요 서식처의 변화를 초래할 수 있다. 본 연구에서는 낙동강 하구 지역의 주요 사주섬 및 서식지별 토양 특성을 파악하고자 을숙도 하단, 맹금머리등, 백합등, 도요등의 갈대와 새섬매자기 우점지역 그리고 갯벌 지역의 표토 특성을 분석하였다. 분석결과 직간접적으로 식물의 영향을 받는 용적 밀도, pH, 유기물 특성 및 총질소 등에서 95% 유의수준에서 서식지 별 차이가 있는 것으로 나타났지만, 주로 입도 특성 때문에 사주섬 간에 차이를 나타내었던 수분함량이나 산화환원전위 등은 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 낙동강 하구 사주 지역 토양이 퇴적과 같은 지형 형성 기작에 주로 영향을 받으며 이후 식생의 유무나 종류 등의 영향 또한 받고 있기 때문으로 추정된다. 조사토양의 물리적 특성 중에서는 수분함량과 용적밀도, 화학적 특성에서는 유기물 함량과 pH가 각각 7개의 다른 토양특성들과 90% 이상의 유의수준에서 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타나 대상지역의 전반적인 토양 특성에 중요한 역할을 미치고 있는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 미생물활성도, 물리화학적 특성, 산화환원전위, 상관관계

### Abstract

Changes of soil properties due to sedimentation and erosion in the river estuary may lead changes in environmental factors that affect plant growth and distribution, Then habitats in the river estuary that provide various ecological functions can also be influenced. Topsoil samples were analyzed in order to understand the soil properties of important barrier islands and habitat types in the Nakdong river estuary. The samples were obtained from *Phragmites communis* and *Scirpus planiculmis* habitats, the tidal flats in the southern area of Eulsukdo, and in Mangeummerydeung, Baekhapdeung, and Doyodeung. Analyses results showed that bulk density, pH, organic matter content and total nitrogen concentration which were directly or indirectly affected by vegetation showed significant difference ( $p < 0.05$ ) with habitat types but no differences in water content and oxidation reduction potential which could be affected by soil texture and showed significant difference among barrier islands. Results suggested that soil properties on barrier islands in the Nakdong river estuary were influenced first by geomorphic changes due to sedimentation and erosion, and then by the presence or type of vegetation. A range of physical and chemical properties were analyzed; soil water content and bulk density (physical properties), and organic content and pH (chemical properties) were correlated with seven other soil properties, at a level of significance higher than 90%. These aspects played an important role in determining overall soil properties in the studied area.

**Keywords** : enzyme activity, Physicochemical properties, Oxidation reduction potential, correlation

## 1. 서론

해수와 담수가 만나는 낙동강 하구는 크게 하중도와 사주섬 및 간석지 등 다양한 하천 및 해안지형으로 구성되어 있다 (Kim, 2009). 낙동강 하구는 철새의 먹이가 풍부하여 철새의 월동지와 이동경로로서

이용되는 한반도에서 매우 중요한 철새 도래지역이다 (KME, 2009). 이에 따라 낙동강 하구일원은 자연환경보전지역, 습지보호지역, 문화재구역, 특별관리해역 등으로 중복 지정되어 법적인 보호를 받고 있다 (Busan Metropolitan City, 2011). 하지만 낙동강 하구는 1987년에 완공된 낙동강 하구둑의 건설과 주변

<sup>+</sup> To whom correspondence should be addressed. ksung@pknu.ac.kr

개발로 인한 퇴적환경의 변화로 인하여 사주섬들의 지형변화가 지속적으로 진행되고 있다 (Yoon et al., 2007; Kim and Rhew, 2007). 또한 하구둑의 운영에 따른 담수의 불연속 방류로 인하여 하구 해역의 생산성에 영향을 미칠 수 있다고 알려져 있다 (Shin et al., 2006).

하구에 서식하고 있는 식물은 조류와 파도를 감소시킴으로서 해안선을 보호하는 역할을 하며 육지와 해양 사이에서 자연적인 완충지대를 형성하는데 도움을 준다 (Möller and Spencer, 2002). 낙동강 하구 사주에 서식하는 중요 식물인 갈대와 새섬매자기(*Scirpus planiculmis*)는 하구에 유입되는 영양물질을 고정하면서 유기물을 생산하여 이를 먹이원으로 하는 수서 대형 무척추 동물의 분포에 영향을 미친다 (Lee and Ahn, 2012; An et al., 2006; Kim et al., 2002). 이러한 갈대와 새섬매자기의 성장특성은 하구로 유입되는 영양물질의 유출입을 계절적으로 조절하는 역할도 담당하는데, 강우로 인해 영양물질의 유입이 많은 여름철에 주로 성장하면서 유입된 영양물질을 식물체내에 저장하고, 이후 강우가 감소하여 상류로부터 영양물질의 유입이 줄어드는 가을과 겨울에 분해되거나 먹이원으로 사용되면서 하구생태계의 영양물질의 계절적 공급원이 된다. 이중 다년생 식물이며 생체량이 큰 갈대는 하구에 유입되는 영양물질을 장기간 보유하는 역할을 하며, 일년생 식물인 새섬매자기의 땅속줄기인 괴경의 경우 낙동강 하구를 이용하는 철새들의 주요 먹이원으로 사용되고 있으며, 지상부 또한 갈대보다는 쉽게 분해되면서 영양물질을 공급한다. 이렇게 갈대와 새섬매자기는 낙동강 하구의 물질순환 특히 계절적 안정성을 유지하는데 있어 매우 중요한 역할을 한다. 갈대나 새섬매자기 서식지 주변의 수심이 얇은 갯벌에는 플랑크톤과 어류, 패류, 수서곤충이 번식하여 철새의 서식지로서 중요한 역할을 담당하고 있으나 인근 식생의 침입이 일어날 가능성 또한 갖고 있는 지역이다(KME, 2009).

식물의 종류나 서식 유무가 토양특성에 영향을 줄 수 있는데(Virágh et al., 2011), 갈대 성장지역이 다른 지역보다 유기물 함량이 높게 나타나는 것이 좋은 예라 할 수 있다 (Ihm et al., 2007; Chung et al., 2008). 하지만 낙동강 하구처럼 퇴적이나 침식이 일어나게 되면 그 지역에 서식하는 식물들의 분포에도 영향을 줄 수 있다(Álvarez-Rogel et al., 2007). 퇴적과 침식에 의한 서식환경의 변화는 식물 뿌리의 성장이나 종자의 발아에 영향을 미칠 수 있는 토양 환경에 영향을 줄 수 있기 때문이다(You, 2008). 기존 연구에 의하면 습지에서 발생하는 2 cm 정도의 퇴적에도 식물의 성장이나 토양의 산화환원전위의 변화를 가지고 올 수 있다고 알려

져 있다(Koning, 2004). 이러한 토양 특성의 변화는 식물의 분포와 성장에도 영향을 줄 수 있다. 실제로 낙동강 하구에 인위적 간섭이 많은 지역의 경우 갈대의 확장이 일어나고 있으며 (Sung et al., 2010) 새섬매자기의 경우 생체량 또는 생산량의 연간 변화가 크다고 보고되고 있다(Yi et al., 2011). 갈대의 확장은 갯벌과 같은 중요한 서식지 감소를 초래할 수 있으며, 새섬매자기의 생산량 감소는 철새들의 먹이 부족으로 이어지게 되어 이곳을 방문하는 철새들의 생존에 영향을 미치게 된다. 따라서 낙동강 하구의 퇴적과 침식에 의한 식물성장환경의 변화는 새섬매자기나 갈대의 분포에 영향을 미칠 수 있으며, 이들 식물의 분포나 성장에 따른 서식지 토양환경의 변화는 다양한 생태적 기능을 수행하고 있는 하구의 주요 서식지에 영향을 줄 수 있다. 침식과 퇴적 등 지형변화에 의한 사주섬 토양특성의 변화는 표토에 먼저 영향을 미치므로 이들 사주섬이나 서식지의 표토 특성 파악은 이들 사주섬과 서식지의 향후 변화양상을 파악하여 하구 서식지를 효과적으로 관리하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다. 본 연구에서는 낙동강 하구 지역의 주요 사주섬 및 서식지별 토양 특성을 이해하고자 낙동강 하구의 중요 서식지인 갈대와 새섬매자기 우점지역 그리고 갯벌 지역의 토양특성을 분석하여 사주섬 또는 서식지별 토양특성을 파악하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 대상 지역 및 토양분석

본 연구의 대상 사주섬과 서식지는 낙동강 삼각주 남단에 위치한 땡금머리등, 백합등, 도요등의 갈대와 새섬매자기 우점지역 및 갯벌지역이다. 형성시기의 영향을 알아보기 위하여 하중도로서 이들 사주 보다 이전에 형성된 것으로 알려진 을숙도 하단 지역도 함께 분석하였다. 주요 서식지 별 토양특성 조사를 위한 토양시료 채취지점은 Fig.1과 같다.

분석항목 중 토양온도와 산화환원전위(ORP)는 YK-2001(Sechang, Korea), 토양경도는 산중식 경도계(Fujiwara, Japan)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 토양 시료의 채취는 토양채취기를 이용하여 표층 20cm 부분의 토양을 채취하였으며 채취한 시료는 아이스박스를 이용하여 4℃ 이하로 보관하여 실험실로 이동한 후 분석하였다. 시료의 채취는 2009년 5월에 이루어졌으며, 함수율, 강열감량(IL), 화학적산소요구량(CODs)은 해양환경공정시험법에 준하여 분석을 실시하였다(KMOLIT, 2010). 토양산도 (pH)와 전기전도

도는 초자전극법으로 측정하였으며, 인은 유효인산을, 질소는 총질소(TN)의 농도를 측정하였다 (Lee et al., 2010; NAAS, 2000). 토양의 미생물 활성도와 관련된 탈수소효소활성도(DHA), acid phosphatase activity, arysulphatase activity 는 Methods of Soil Analysis 를 참조하여 분석을 하였다(Weaver et al., 1994).

## 2.2 통계분석

전체 사주섬 또는 서식지 간의 토양특성차이를 분석하기 위하여 지역별 토양특성의 차이는 일원분산분석법(one way ANOVA)으로 95% 유의수준에서 분석하였으며, 사주섬 및 서식지간의 토양특성 차이의 유무는 이원분산분석법(two way ANOVA), 조사 항목 간의 상관관계는 피어슨상관계수를 계산하여 분석하였다. 모든 통계분석은 SAS 9.2 (SAS Institute Inc. USA)를 이용하여 수행하였다.

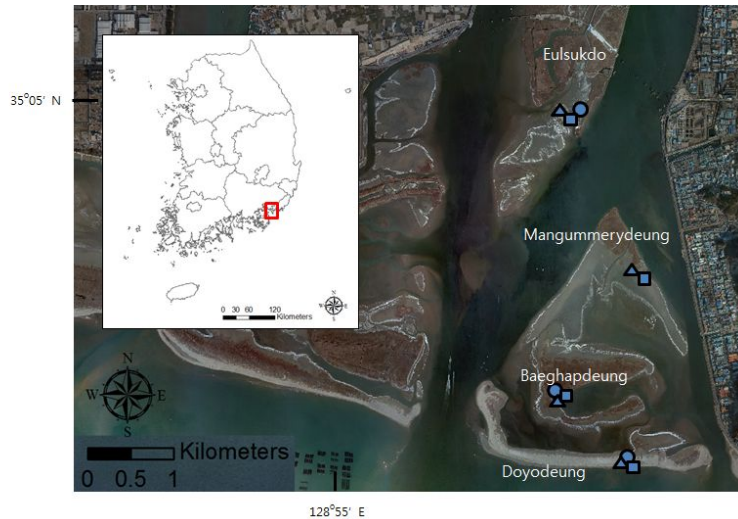


Fig. 1. Map showing the studied area. (surveyed stations for tidal flat: ■, habitats of *Phragmites communis*: ● and *Scirpus planiculmis*: ▲)

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 사주섬별 토양특성

낙동강 하구의 사주섬 별 토양특성의 차이를 분석한 결과를 Table 1에 표시하였다. 조사한 토양특성 중 토양미생물 활성도인 DHA와 acid phosphatase activity 를 제외한 거의 대부분 항목이 95% 유의수준에서 사주섬 간에 차이가 있는 것으로 나타났다. 사주섬별 토양의 특성을 비교해보면 수분함량과 산화환원전위의 경우 조사지역 중 북쪽에 위치한 을숙도 하단과 맹금머리등이 백합등이나 도요등 보다 높은 것으로 나타났으며 반대로 용적밀도는 남쪽에 위치한 백합등과 도요등이 더 큰 것으로 조사되었다 (Table 2). 토양수분은 토양의 토성에 영향을 받는 것으로 알려져 있는데 모래 함량이 높은 토양이 함수율이 낮은 경향을 보인다. 이러한 토양의 입도 특성은 퇴적이나 침식에 영향을 받으므로 을숙도 하단이나 맹금머리등이 백합등이나 도요등과는 다른 입도특성을 가질 수 있음을 보여준다. 일반적으로 동일 환경에서 토양의 수

분함량이 증가하면 염도가 감소하게 되면서 식물의 분포에도 영향을 준다고 알려져 있다 (Álvarez-Rogel et al., 2007). 산화환원전위는 토양의 호기성 조건에 영향을 주는 토양 내 산소 공급 및 소모 정도에 영향을 받는다. 따라서 토양의 침수기간이 짧을수록, 유기물의 분해가 적게 일어날수록, 통기성이 클수록 산화환원전위는 높게 된다. 조사지역의 남쪽에 위치한 백합등과 도요등에서 산화환원전위가 낮은 이유는 이들 사주섬의 지형 특성상 침수기간이 을숙도 하단 보다 더 길기 때문이다. 토양 체적에 대한 무게 비를 나타내는 용적밀도는 동일 조건에서 점토보다 모래함량이 많아지면 증가하게 되는데 백합등과 도요등에서 용적밀도가 더 큰 것 이유로 다른 곳보다 모래함량이 많기 때문이다. 한편 모래함량이 비슷할 경우에는 이들 지역이 다른 곳 보다 더 압밀되었을 가능성도 있음을 보여준다. 토양의 압밀은 통기성의 감소를 유발하여 산화환원전위에 영향을 미치는데, 자연 상태에서는 주로 퇴적의 영향을 받으므로 이들 지역에 더 많은 퇴적이 이루어지고 있음을 추측할 수 있다.

Table 1. Probability values of factors that affect the biophysicochemical properties of soils in the Nakdong river estuary

	Water content	Bulk density	Hardness	Temperature	pH	EC	ORP	IL	SCOD	Total Nitrogen	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	DHA	Acid phosphatase activity	Arylsulfatase activity
Barrier islands	0.0004 **	<0.0001 ***	0.0029 **	0.0020 **	<0.0001 ***	0.0164 *	0.0083 **	<0.0001 ***	<0.0001 ***	<0.0001 ***	0.00117 **	0.1520	0.1655	<0.0001 ***
Habitat	0.1542	0.0146 *	0.1841	0.7524	0.0002 **	0.8006	0.3714	0.0002 **	<0.0001 ***	0.0266 *	0.2915	0.6414	0.0180 *	<0.0001 ***

\*\*\* (P<0.0001), \*\* (P<0.01), \* (P<0.05). DHA (Dehydrogenase activity), EC (Electronic conductivity), ORP (Oxidation and reduction potential), SCOD (Soil chemical oxygen demand), DHA (Dehydrogenase activity)

한편 토양경도와 전기전도도는 맹금머리등이 높은 것으로 조사되었으며, 유기물질 및 영양물질이 농도는 을속도 하단이 가장 높은 것으로 조사되었다. 토양경도는 압밀 정도에 따라 영향을 받으며 전기전도도는 해수의 유입 또는 건조 상태에 따라 달라진다. 따라서 맹금머리등의 토양이 토양 압밀이 가장 많이 일어났으며 이에 따라 토양건조도 빠르게 나타나 다른 지역보다 전기전도도가 높은 것으로 판단된다. 을속도 하단에서 영양물질이나 유기물질의 농도가 높은 것은 이 지역에서의 식물생장이 왕성하여 유기물 공급이 많기 때문이다. 또한 을속도 하단 토양의 경우 점토와 실트 함량이 16.0-47.9%로 백합등 (3.6-9.3%), 맹금머리

리등 (3.9-15.2%)과 같은 다른 사주섬들 보다 많은 것으로 알려져 있는데 (Busan Metropolitan City, 2011), 모래보다 유기물질의 보유도가 높은 점토와 실트 함량이 높은 입도 특성 또한 을속도 하단 지역의 유기물질과 영양물질 농도에 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 조사 사주 지역의 형성순서는 을속도, 백합등-맹금머리, 도요등의 순서이며 최근까지 지속적으로 퇴적과 침식이 일어나면서 지형의 변화가 일어나고 있다고 알려져 있다(Oh, 1990; Kim and Rhew, 2007). 따라서 사주의 형성시기와 지금도 지형변화에 영향을 주는 퇴적과 침식 현상이 각 사주섬 간 토양 특성의 차이에 중요한 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

Table 2. Biophysicochemical properties of soils of barrier islands and habitats in the Nakdong river estuary. Superscripts in the table show significantly difference among island or habitat P<0.05.

Properties	Island				Habitat		
	Eulsukdo	Mangeummerideung	Baekhapdeung	Doyodeung	<i>P. communis</i>	Tidal Flat	<i>S. planculmis</i>
Water content (%)	29.24a	27.82a	24.83b	24.33b	26.36a	25.53a	27.42a
Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	1.24c	1.34b	1.41a	1.40a	1.34b	1.37a	1.34b
Hardness (mm)	2.62b	5.17a	2.22b	2.44b	2.344a	2.79a	3.50a
Temperature (C)	26.93b	26.98b	26.44b	28.64a	27.24a	27.47a	27.11a
pH	5.67c	6.58b	6.36b	7.17a	5.90c	6.91a	6.36b
EC (dS/m)	29.10b	38.28a	33.37ab	32.96ab	33.34a	33.32a	32.05a
ORP (mV)	234.67a	222.50a	95.56b	128.00b	135.22a	162.25a	191.25a
IL (%)	2.68a	1.50b	1.51b	1.19c	2.15a	1.58b	1.59c
SCOD (g/kg)	5.92a	1.39c	4.03b	2.18c	6.40a	2.41b	2.59b
TN (mg/kg)	495.22a	260.83b	212.22b	231.33b	374.56a	322.17ab	231.42b
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	142.30a	105.41b	114.71b	105.95b	125.13a	111.79a	119.28a
DHA (µg TPF/g- dry soil/day)	1531.8a	112.4a	1900.0a	159.7a	503.6a	1094.1a	1278.0a
Acid phosphatase activity (µg PNP/g- dry soil/day)	201.63a	112.12a	217.06a	143.34a	259.40a	127.91b	155.12b
Arylsulfatase activity (µg PNP/g- dry soil/day)	20.71b	13.13b	81.88a	18.19b	22.18b	63.14a	17.38b

### 3.2 서식지별 토양특성

조사한 토양특성 중 거의 대부분 항목이 95% 유의 수준에서 차이가 관찰되었던 사주섬과는 달리 전체적으로 서식지별 토양특성의 차이가 사주섬 보다는 작은 것으로 나타났다. 서식지간 토양특성 중 용적밀도, pH, 유기물 특성 및 총질소 등에서 95% 유의수준 이상에서 차이가 있는 것으로 나타났지만 사주섬별로는 차이를 보였던 수분함량이나 산화환원전위 등에서는 큰 차이가 없었다(Table 1). 이는 낙동강 하구 지역의 토양이 퇴적이나 침식 등 지형 형성 기작에 주로 영향을 받으며 이후 식생의 유무나 종류 등의 영향 또한 받고 있기 때문으로 추정된다. 하지만 사주섬 들 간에는 차이를 보이지 않았던 acid phosphatase activity의 경우에 서식지 간에서 유의한 차이가 있는 것으로 분석되어, 서식지의 종류에 더 영향을 받는 토양 특성도 있는 것으로 나타났다. 이는 하구의 사주 토양이 단기적으로는 퇴적과 침식 그리고 중장기적으로는 식물의 성장 유무나 종류에 영향을 받을 수 있음을 보여준다고 할 수 있다.

서식지간의 토양특성 차이를 비교하면 용적밀도와 pH의 경우 전체적으로 갯벌에서 가장 높았으며, 강열감량과 화학적산소요구량 및 질소와 같은 유기물질과 영양물질은 갈대서식지가 높은 것으로 조사되었다. 순천만의 경우에도 표층의 유기물량이 갈대의 현존량과 비례하여 분포하는 것으로 보고된 바 있어, 갈대와 같이 생체량이 큰 식물의 분포가 대상지역의 토양의 유기물 분포에도 영향을 주는 것으로 판단된다 (Lee et

al., 2008). 미생물활성도 중 DHA의 경우 평균값에서는 차이가 있었지만 사주섬 간 또는 서식지 간의 변이가 컸기 때문에 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 하지만 acid phosphatase activity는 유기물함량이 높은 갈대서식지에서 arylsulfatase activity는 해수의 영향을 더 많이 받을 수 있는 갯벌 지역에서 더 높은 것으로 나타나 토양의 비옥도 혹은 해수의 영향 유무가 해당지역의 토양미생물 활성도에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 서식지별 주요 물리화학적 특성을 나타낸다. 함수율의 경우 을숙도 하단의 새섬매자기와 갈대서식지에서 높게, 도요등의 갯벌에서는 가장 낮은 것으로 나타났으며, 전체적으로 낙동강 하구 남쪽 방향으로 갈수록 감소하는 경향을 나타내었다. 식물서식지만을 비교하여도 을숙도 하단이 백합등이나 도요등보다 함수율이 높은 것으로 나타났다. Yi et al (2011)의 조사에 의하면 을숙도 하단 토성은 사질양토(sandy loam)로 사토(sand)인 맹금머리등이나 백합등보다 모래의 함량이 적은 것으로 조사된 바 있다. 이러한 토성의 차이가 대상 지역의 함수율 차이에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

유기물의 경우에도 을숙도 하단의 갈대서식지역이 가장 높으며 인근 지역의 새섬매자기 서식지역과 갯벌이 그 다음으로 높은 수준이었으며 그 외 다른 지역들은 유사한 수준을 나타내었다. 따라서 토양의 수분 및 유기물 함량은 대상지역의 토성 및 식물의 종류에 영향을 주로 받음을 알 수 있었다.

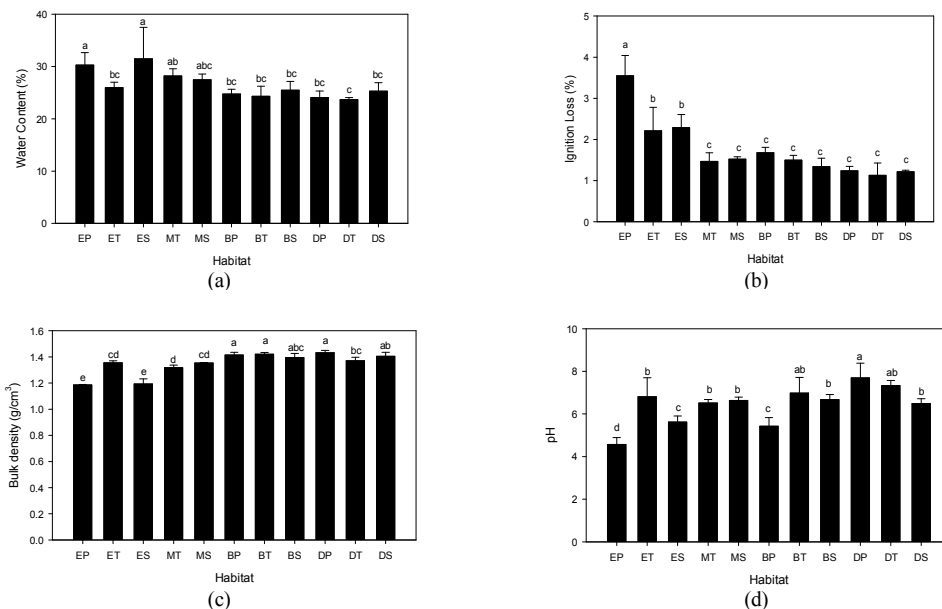


Fig. 2. Physicochemical properties of soils at the Nakdong river estuary (a) water content (b) Ignition loss (c) bulk density, and (d) pH. E: Eulsukdo, M: Manguemmyeudeung B: Baekhapdeung, D: Doyodeung, P: *P. communis*, S: *S. planiculmis*, T: Tidal flat. Small letters in the figures show significantly difference among survey sites at P<0.05.

이와는 반대로 용적밀도와 pH는 을숙도 하단의 갈대서식지역에서 가장 낮으며 다음으로 인근의 새섬매자기 서식지역과 맹금머리의 갈대서식지역 순으로 낮게 나타났다. 반면에 도요등의 갈대서식지역에서 pH가 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 사주의 형성시기가 빨라 식물정착이 오래 진행된 지역일수록 유기물의 축적이 많게 되므로 용적밀도의 감소를 초래하며, 또한 축적된 유기물의 분해도 함께 일어나면서 pH 감소가 두드러지게 나타난 것으로 판단된다. 백합등과 도요등에서 전체적으로 용적밀도가 높은 것으로 관찰되었지만 서식처간의 차이를 보였던 을숙도 하단

과는 달리 동일 사주섬 내에서의 서식처간 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 유기물함량과 더불어 토성의 변화와 압밀정도에 따라서도 용적밀도는 영향을 받게 되는데, 을숙도 하단의 경우에는 갈대나 새섬매자기 등 서식 식물에 의한 영향을, 그 외 지역에서는 토성이나 압밀에 더 많은 영향을 받는 것으로 보인다. 백합등이나 도요등의 경우 을숙도보다 늦게 형성되었으며 또한 최근까지도 지형변화가 일어나고 있는 지역으로 알려져 있어 지형변화에 영향을 주는 퇴적이 용적밀도에 많은 영향을 주는 것으로 판단된다.

Table 3. Pearson correlations between physicochemical properties of coastal sediment and various wetland soils (N=33).

	Water content	Bulk density	Hardness	Temperature	pH	EC	ORP	IL	SCOD	TN	P2O5	DHA	Acid phosphatase activity	Arylsulfatase activity
Water content	1													
Bulk density	-0.7205 ***	1												
Hardness	0.1398	-0.1823	1											
Temperature	-0.0345	0.0302	-0.2043	1										
pH	-0.5507 **	0.5946 **	-0.0145	0.2547	1									
EC	-0.0910	0.0721	0.1548	0.1052	-0.2040	1								
ORP	0.3748 *	-0.4474 **	0.3105 ○	-0.0280	-0.0389	-0.0746	1							
IL	0.6157 **	-0.7530 ***	-0.0601	-0.0544	-0.7334 ***	-0.1604	0.3146 ○	1						
SCOD	0.2657	-0.4230 *	-0.3470	-0.0545	-0.6792 ***	0.0293	-0.1465	0.7198 ***	1					
TN	0.4419 **	-0.6102 **	-0.1901	0.1883	-0.5664 **	0.0014	0.1736	0.8064 ***	0.6044 **	1				
P2O5	0.5329 **	-0.6465 ***	0.1382	-0.0629	-0.6056 **	-0.2238	0.1387	0.7630 ***	0.5537 **	0.5528 **	1			
DHA	0.0823	-0.0886	0.0817	-0.2878	0.0818	-0.2030	0.4771 **	0.0682	-0.0749	-0.1542	0.1060	1		
Acid phosphatase	0.1834	-0.0610	-0.2153	-0.0629	-0.5350 *	0.0287	-0.3265 ○	0.3293 ○	0.4810 **	0.2858	0.1894	-0.1303	1	
Arylsulfatase	-0.1688	0.2759	-0.3537 *	-0.0831	0.1506	-0.0178	-0.1534	-0.0798	-0.0449	-0.1568	-0.0672	0.1413	-0.1373	1

\*\*\*( $P < 0.0001$ ), \*\*( $P < 0.01$ ), \*( $P < 0.05$ ), ○( $P < 0.1$ )

### 3.3 토양 특성의 상관관계

대상 사주 지역에서 측정된 각 토양특성 항목간의 상관관계를 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 유기물질과 영양물질 특성인 강열감량, 화학적산소요구

량, 총질소, 유효인산 등이 서로 양의 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났다. 토양의 산화환원전위는 용적밀도와 음의 상관관계를 가지고 있으며 토양경도와의 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났는데 압밀에 의해 용적밀도가 증가하게 되면 공극의 감소로 공기

로부터 산소의 공급이 감소하게 되고, 토양경도가 증가하게 되면 수분의 침투가 어려워지면서 수분의 영향을 덜 받게 되기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 토양의 산화환원전위는 미생물의 일반적인 분해활성도를 나타내는 DHA와 99% 유의수준에서 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타나 사주 섬들에서 일어나는 주요 유기물의 분해가 산화환원전위가 높은 조건에서 주로 일어나는 것으로 보여진다. 하지만 *arylsulfatase activity*의 경우 토양경도와 음의 상관관계를 보여주어 토양경도의 증가에 따른 수분 측 해수의 영향이 감소되는 것에 더 많은 영향을 받음을 보여주었다. 토양의 산도는 유기물이나 영양물질 그리고 *acid phosphatase activity*와 음의 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났다. 이는 유기물질이 분해함에 따라 유기산 등이 공급되면서 토양의 pH가 감소하고 이러한 토양의 산도감소가 인의 무기화를 촉진하는 역할을 하고 있기 때문이다.

한편 조사항목 중 물리적 특성 중에서는 수분함량과 용적밀도, 화학적 특성에서는 유기물 함량과 pH가 각각 7개의 다른 토양특성들과 90% 이상의 유의수준에서 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타나 이들 특성이 전체 토양 특성에 중요한 역할을 미치고 있는 것으로 나타났다. 토양의 미생물 활성도 중 *acid phosphatase activity*는 강열감량이나 토양의 화학적 산소요구량과 같은 유기물 특성에 양의 상관관계를 보여주며 pH와 ORP와 같은 화학적 특성들과는 음의 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났다. 이는 인의 무기화가 유기물의 농도가 높거나 pH가 낮은 곳에서 많이 일어나고 있으며 반면에 퇴적이나 습윤 등에 의하여 산화환원전위가 낮아질 때 감소함을 보여준다. 따라서 토양의 산화환원전위에 영향을 줄 수 있는 수분함량이나 용적밀도 또는 토양경도의 변화에 의해서도 *acid phosphatase activity*가 영향을 받을 수 있음을 보여준다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 낙동강 하구 지역의 주요 사주 섬 및 서식지별 토양특성을 파악하고자 을숙도 하단, 땡금머리등, 백합등, 도요등의 갈대와 새섬매자기 우점 지역 그리고 갯벌 지역의 토양특성을 분석하였다. 연구결과 사주섬별 차이를 보인 대부분의 토양 특성은 주로 입도특성의 차이 즉 모래와 실트-점토의 함량의 차이에 기인하거나 퇴적에 의한 압밀 정도에 따른 영향 때문인 것으로 보인다. 조사지역 중 남쪽으로 갈

수록 모래함량이 증가하는 경향을 보였기 때문에 이와 관련된 토양 특성들 또한 함께 감소 또는 증가하는 경향을 보였다. 조사 사주섬들의 형성순서는 을숙도, 백합등-땡금머리등, 도요등의 순서이며 최근까지 지속적으로 퇴적과 침식이 일어나면서 지형의 변화가 일어나고 있다고 알려져 있어 사주의 형성시기와 지금도 지형변화에 영향을 미치고 있는 퇴적과 침식 현상이 각 사주섬 간 토양 특성의 차이에 중요한 영향을 미치고 있는 것으로 보인다.

한편 대부분의 토양특성에서 차이가 관찰되었던 사주섬과는 달리 서식지별 토양특성의 차이가 전체적으로 사주섬 보다는 작은 것으로 나타났다. 서식지별 토양특성 중 직간접적으로 식물의 영향을 받는 용적밀도, pH, 유기물 특성 및 총질소 등에서 95% 유의수준 이상에서 차이가 있는 것으로 나타났지만, 주로 입도의 차이 때문에 사주섬 간에 차이를 보였던 수분함량이나 산화환원전위 등에서는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 낙동강 하구 사주 지역의 토양이 퇴적과 같은 지형 형성 기작에 주로 영향을 받으며 이후 식생의 유무나 종류 등의 영향 또한 받고 있기 때문으로 판단된다. 토양 특성간의 상관관계 분석결과 조사토양의 물리적 특성 중에서는 수분함량과 용적밀도, 화학적 특성에서는 유기물 함량과 pH가 각각 7개의 다른 토양특성들과 90% 이상의 유의수준에서 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타나 이들 특성이 전체 토양 특성에 중요한 역할을 미치고 있는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었습니다.

#### References

- Álvarez-Rogel, J, Jiménez-Cárceles, FJ, Roca, MJ and Ortiz, R (2007). Changes in Soils and Vegetation in a Mediterranean Coastal Salt Marsh Impacted by Human Activities. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 73, pp. 510-526.
- An, SM, Lee, JY and Jeong, SJ (2006). Seasonal Biomass and Carbon, Nitrogen Contents Change of *Schoenoplectus trigueter* in Nakdong River Estuary. *J. of Korean Wetland Society*, 8(3), pp. 39-49. [Korean Literature]
- Busan Metropolitan City. (2011). Monitoring for Nakdong

- Rive Estuary System. [Korean Literature]
- Chung, Y, Sung, K, Kang, D, Lee, S and Park, S (2008). Environmental Factors and *Phragmites* Distribution at Various Habitats in Eulsukdo Ecological Park. *J. of Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 11(3), pp. 50-61. [Korean Literature]
- Ihm, B, Lee, J, Kim, JW and Kim, J (2007). Coastal Plant and Soil Relationships along the Southwestern Coast of South Korea. *J. Plant Biology*, 50(3), pp. 331-335.
- Kim, GY, Joo, GJ, Kim, HW, Shin, GS and Yoon, HS (2002). Leaf Litter Breakdown of Emergent Macrophytes by Aquatic Invertebrates in the Lower Nakdong River, *Korean Journal of Limnology*, 35(3), pp. 172-180. [Korean Literature]
- Kim, S (2009). The Sedimentological Environment of Deltaic Barrier Islands in the Nakdong River Estuary, *J. of Korean Geomorphological Association*, 16(4), pp.119-128. [Korean Literature]
- Kim, S and Rhew, H (2007). Exploring the Applicability of Grain Size Trend Analysis to Understanding the Morphological Responses of the Deltaic Barrier Islands in the Nakdong River, *J. of Korean Association of Regional Geographers*, 13(2), pp.119-128. [Korean Literature]
- KME, UNDP/GEF, KWP. (2009). Nakdong Estuary Master Plan for Wetlands Conservation & Wise Use, Dong A University R&DB Foundation. 19p. [Korean Literature]
- KMOLIT. 2010. Testing Methods for Marine Environment. [Korean Literature]
- Koning, CO (2004). Impacts of Small Amounts of Sandy Sediment on Wetland Soils and Vegetation: Results from Field and Greenhouse Studies. *Wetlands*, 24(2), pp.295-308.
- Lee, J, Kang, D and Sung, K (2010). Assessment of the Wetland Soil Development of Constructed Wetlands using Soil Properties of a Reference Wetland, *J. of Korean Wetland Society*, 12(1), 1-17. [Korean Literature]
- Lee, Y, Kim, S, Lee, H and Min B. (2008). Chemical Properties of Sediment and Increase of Reed (*Phragmites australis*) Stands at Suncheon Bay, *J. of Korean Wetland Society*, 10(3), pp. 9-26. [Korean Literature]
- Lee, Y and Ahn, K (2012). Actual Vegetation and Vegetation Structure at the Coastal Sand bars in the Nakdong Estuary, South Korea, *Korean J. of Environment Ecology*, 26(6), 911-912. [Korean Literature]
- Möller, I and Spencer, T (2002). Wave Dissipation over Macro-tidal Salt Marshes: Effects of Marsh Edge Typology and Vegetation Change. *J. Coastal Research*, 36: pp. 506-521.
- NAAS (National Academy of Agricultural Science). (2000). Methods for Soil and Plant Analysis. [Korean Literature]
- Oh, G (1990). Landform Changes of Terminal Area of the Nakdong River Delta. *The Korean J. of Quaternary Research*, 13(1): 67-78. [Korean Literature]
- Shin, SK, Baek, KH and Hong, SJ (2006). Analysis of Effect for Salinity and Operation Improvement Plan due to the Construction of the Nakdong River Estuary Barrage, Busan Development Institute Report, 12, pp. 54. [Korean Literature]
- Sung, K, Yi, Y, Chung, Y and Park, S (2010). Development of *Phragmites communis* Expansion Control Methods at the Wetland Ecological Park. *J. of Korea Society of Environmental Restoration Technology*. 13(5): 1-11. [Korean Literature]
- Yi, Y, Yeo, US, Oh, DH. and Sung, K (2011). Annual Changes in *Scirpus planiculmis* and Environmental Characteristics of the Nakdong River Estuary, *J. of Korean Wetland Society*, 13(3), pp. 567-579. [Korean Literature]
- Yoo, Y (2008) Population Decline Cause of *Scirpus planiculmis* and its Restoration Plan in Han River Wetland Conservation Area, South Korea, *J. of Korean Wetland Society*, 10(2), pp. 165-172. [Korean Literature]
- Yoon, H, Yoo, C, Kang, K and Ryum, C (2007) Delta Development in the Nakdong River Estuary: a Literature Survey, *J. of Korean Society of Ocean Engineers*, 21(2), pp. 22-34. [Korean Literature]
- Virágh, K, Tóth, T and Somodi, I (2011). Effect of slight vegetation degradation on soil properties in *Brachypodium pinnatum* grasslands. *Plant Soil*, 345:303-313.
- Weaver, RW, Angle, S, Bottomley, P, Bezdicsek, D, Smith S, Tabatabai A and Wollum, A (1994). Methods of soil analysis : Part2-Microbiological and biochemical properties, Soil science society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 807-826.

- 논문접수일 : 2014년 03월 20일
- 심사의뢰일 : 2014년 03월 28일
- 심사완료일 : 2014년 06월 15일