

환경구배에 따른 바닷새 번식지 토양환경 특성

김진석 · 임병선 · 박정원¹ · 명현호^{1,*}

(목포대학교 자연과학대학 생명과학과, ¹국립공원관리공단 국립공원연구원)

Soil Environmental Characteristics According to the Environmental Gradient in Seabird Breeding Sites. Kim, Jin-Seok, Byung-Sun Ihm, Jung-Won Park¹ and Hyeon-Ho Myeong^{1,*}
(Department of Biological Science Mokpo National University, Muan 534-729, Korea; ¹National Park Research Institute, Namwon 590-811, Korea)

The objective of study was to protect seabird breeding site and vegetation restoration of Chilbal and Sokugul island in Shinan county Jeonnam province, April and December 2011. We analyzed the soil properties according to the dominant communities and environmental gradient. As a result, It was highly analyzed to moisture content, organic matter, salinity, total nitrogen in *Commelina communis* community and low analyzed in *Achyranthes japonica* community. *Carex boottiana* community which mainly used as a seabird habitat has a wide range and *Achyranthes japonica* and *Artemisia princeps* community was narrowed to soil properties. Soil pH of *Carex boottiana* community in Sokugul island was the lowest on 3.14 and *Peucedanum japonicum* community was the highest. Soil moisture content and organic matter was analyzed by the high value in *Peucedanum japonicum* community. In contrast, *Achyranthes japonica* was the low value and *Carex boottiana* community was analyzed the highest on the salinity and total nitrogen. On the soil environmental characteristics according to the environmental gradient, The higher altitude, moisture content, organic matter, salinity and total nitrogen was the lower in Chilbal island. In the case of Sokugul island, the altitude difference did not show the characteristics of soil environmental factors for small area and low altitude. But moisture content is similar to soil property of Chilbal island. Soil property was strongly acid soil because of seabird dropping. This results will be helpful to manage the invasive plants.

Key words : Chilbaldo island, Sokugul island, uninhabited island, soil property

서 론

반도의 특성을 지니고 있는 우리나라는 3,170개의 유·무인도서가 위치하고 있으며, 전남지역의 경우 1,689

개의 무인도서가 분포하고 있어 전국 무인도서의 63%를 차지하고 있다(Jeon *et al.*, 2012). 도서지역은 일반적으로 형태, 면적, 해발고도와 생물상이 다양하게 나타나며, 특히 섬의 형태는 주변의 내륙과 인근 섬들의 위치와 방향, 크기에 따라 오랜 기간 해식작용을 받아 형성되어 왔다

* Corresponding author: Tel: +82-63-630-7609, Fax: +82-63-630-7657, E-mail: ecomyung@empas.com

(Chung and Hong, 2002). 무인도서의 경우 유인도서에 비해 인간의 간섭을 적게 받기 때문에 비교적 생태계가 안정하게 유지될 수 있으나 면적이 좁고 서식처가 단조롭기 때문에 대륙이나 큰 섬에 비해 단위면적당 종 다양성은 낮은 것으로 알려져 있다(Kadmon and Pulliam, 1993; Chown *et al.*, 1998). 그러나 무인도서는 경관적·환경적으로 다양한 가치와 기능 및 독특한 자연경관을 제공하며, 또한 멸종위기종이나 신종·변종이 발견될 수 있는 많은 가치를 가지고 있다. 또한 무인도서는 희귀 동·식물의 서식처이며, 철새의 휴식처 및 섭식처, 그리고 번식지로 이용되어 생태학적으로도 가치가 높게 평가되고 있다. 이러한 무인도서중 경관적 또는 학술적 가치를 가지는 지역을 천연기념물지역 보전관리하고 있으며, 학술적 가치중 조류의 경우 중 자체가 천연기념물로 지정된 것과 번식지 및 서식지, 도래지가 지정된 것이 있다. 조류 번식지역이 지정된 천연기념물은 총 15개 지역이며, 무인도서의 경우 팽이갈매기나 희귀조류, 해양성조류의 번식지가 대부분 지정되어 있다. 이렇게 무인도서의 가치와 중요성이 인식됨에도 불구하고 많은 무인도서가 그대로 방치되고 있으며, 일부 도서의 경우 염소나 토끼 방목, 휴양지 및 레저시설 설치, 낚시행위 등으로 인해 동·식물서식처파괴 및 훼손으로 개체군이 손실되어 많은 문제점이 발생되고 있다. 지금까지 수행된 무인도서 연구는 대부분 무척추동물상(Seo, 2001; Park, 2002), 해조류(Oh *et al.*, 2002), 식물분포(Chung and Hong, 2002; Choi, 2004), 조류상(Park and Kim, 1996) 등 특정 생물상이나 해안지형(Kim, 2002), 퇴적상(Park, 2001)과 같은 지질 특성을 대상으로 연구 되었으나 대부분이 환경부 무인도 자연환경조사 결과를 이용한 것들이다. 또한 무인도서의 지속가능한 관리방안(Nam and Kang, 2005) 및 특정 생물의 관리와 무인도서의 귀화식물 분포(Chung and Hong, 2006)에 관한 연구가 진행되었다. 조사지역의 경우 식물상(Kim, 2011)과 식생(Kim, 2012)에 대한 연구, 자원식물에 대한 생태학적 연구(Kim *et al.*, 2003) 및 주변해역에 대한 동물플랑크톤 군집특성(Lee, 2012)에 대한 연구와 칠발도 바다제비의 번식생태(Lee and Won, 1989) 등으로 연구가 미비한 상태이다. 최근 들어 조류번식지로 지정된 천연기념물 무인도서의 경우 도입식물에 의해 동·식물의 교란이 빈번하게 발생되고 있으며, 많은 개체수들이 감소하여 많은 문제점이 발생되고 있다.

본 연구는 식물의 발아와 성장, 분포 및 생물량변화에 가장 영향을 미칠 수 있는 생육지 환경구배에 따른 토양 환경 특성을 분석함으로써 최근 도입종에 의해 계속적 교란이 발생하는 신안군 칠발도, 구굴도 바닷새 서식지 식

생복원을 위한 기초자료로 활용하며, 지속적 관리방안을 모색하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

1) 칠발도

칠발도(七發島)는 목포시에서 서쪽으로 64.1 km, 신안군 비금면 고서리에서 서쪽으로 10여 km 해상에 있으며 목포항으로 입항하는 선박들을 인도하는 무인등대가 설치되어 있다. 1905년 처음으로 사람이 정착하였고 몇 년 전까지 수명의 등대관리원이 상주하였으나 현재는 사람이 살지 않는 무인도서이다. 등대가 위치하는 주섬 전체 면적은 36,993 m²로서 밀사초군락이 우점하고 있으며, 대부분 초지식생이 분포하고 있다. 섬 동쪽은 화산암, 서쪽은 화강암으로 형성되었고 가파른 해식애가 발달하였다. 만조 때에는 7개, 간조 때에는 8개로 보이는 바위봉오리가 솟아 있다. 희귀조류들이 많이 서식하고 있어 1982년 11월 4일 천연기념물 제332호 칠발도 해조류(바다제비, 습새, 갈새, 바다쇠오리) 번식지로 지정되었으나 염소 방목으로 번식지가 심하게 훼손되었다. 주요 식물상으로는 밀사초, 땅채송화, 참억새, 비쭉, 덩불쭉, 사철쭉, 명아주, 까마중 등의 초본류와 동백나무, 소사나무, 후피향나무, 보리장나무, 사철나무, 복분자딸기, 까마귀족나무, 무화과나무 등의 목본식물이 생육하고 있다.

2) 소구굴도

구굴도(국홀도)는 행정구역상 전라남도 신안군 신안면 소흑산도(가거도)리 산 2번지에 속하며 동경 125°07', 북위 34°04'에 위치한다. 1984년 8월 10일, 천연기념물 제341호로 지정되었으며, 빨쇠오리, 바다제비 및 습새 번식지로 보호하고 있다. 한반도의 최 서남 단에 위치하는 소흑산도(가거도)로 부터 남서쪽으로 약 2 km 떨어진 곳에 구굴도가 있으며, 대구굴도를 중심으로 서쪽으로 약 200~300여 m 떨어진 곳에 바로 소구굴도(소국홀도)가 위치하며, 소구굴도의 면적은 4,760 m²이다. 또한, 대구굴도 동쪽으로 약 300~400 m 떨어진 곳에 개린도(여)가 위치한다. 대부분의 바다제비 및 습새집단은 대구굴도에서 번식하며 소구굴도에서는 면적이 협소하고 정상률 중심으로 바다제비가 번식하는 것으로 조사되었다. 소구굴도는 섬의 대부분은 45° 이상의 가파른 절벽으로 둘러싸여 있으며 식생의 대부분은 밀사초로 덮여 있고 원추리와 해국군락이 정상과 복사면 일부 지역에서 자라고 있으며 해

안의 압벽 및 식생지역과의 경계선을 이루는 지역에는 갯기름나물 군락이 우점하고 있다. 구굴도 역시 최근 쇠무릎의 침입으로 밀사초 군락의 규모가 축소되는 것으로 알려져 있다.

2. 조사방법

조사지역 식물군락과 환경구배에 따른 토양환경특성을 분석하기 위해 2011년 4월부터 12월까지 조사를 실시하였다. 조사지점은 우점군락과 해발고도를 5~20 m 단위로 선정하였다. 상부를 제거하고 15 cm 깊이 이내에서 각 지점별로 3~5개 토양을 채취하여 실험실로 이동 후 분석을 실시하였다.

수분함량(Moisture content)은 현장에서 채집한 토양 10 g을 실험실에 옮긴 즉시 칭량병에 넣어 건조 전 무게를 측정하고, 105°C 건조기에서 48시간 건조시켜 무게를 측정 후 토양함수량차에 의해 수분함량을 백분율로 환산하였고, 나머지 토양을 2주간 음건시킨 후 2mm체로 쳐서 보관하여 토양분석에 이용하였다. 유기물함량(Organic matters)은 음건토양 10 g을 도가니에 넣어 105°C에서 건조시킨 무게를 측정하고, 이것을 다시 550°C 전기로에서 12시간 작열시킨 무게를 측정한 다음 그 차이를 계산하여 작열 손실량을 구하였다. 토양산도(pH), 염분농도(Salinity)는 음건토양 10 g과 증류수를 1:5 (w/w)로 혼합

하여 30분간 진탕한 다음 여과지(Whatman No.44)로 여과시켜 여과액을 pH, Salinity meter (Model 63, YSI)로 측정하였다. 총질소(Total nitrogen)는 음건토양 1 g을 마이크로 킬달플라스크에 넣고 6 g의 분해촉진제(K_2SO_4 : $CuSO_4=9:1$) 및 5 mL 진한 H_2SO_4 를 넣은 후 가열하여 분해시켰다. 분해액을 50 mL 볼륨메트릭 플라스크로 옮겨 정용한 다음 10 mL를 취하여 40% NaOH 10 mL와 혼합하고, 이를 마이크로 킬달장치로 증류하여 1/14 N H_2SO_4 표준용액으로 적정하여 정리하였다(Jackson, 1958).

결과 및 고찰

1. 우점군락 토양환경특성

1) 칠발도

칠발도 바닷새의 번식지역으로서 섬 전체적으로 밀사초(Cb: *Carex boottiana*) 군락이 우점하고 있으며, 그 외 닭의장풀(Cc: *Commelina communis*), 쇠무릎(Aj: *Achyranthes japonica*), 쑥(Ap: *Artemisia princeps*), 억새(Ms: *Miscanthus sinensis*) 군락 등 대부분 초지식생이 분포하는 특징을 나타내고 있다. 우점군락이 분포하는 생육지에 대한 토양환경요인을 분석한 결과 닭의장풀군락이 수분함량, 유기물 함량, 염분농도, 총질소가 각각 41.74%, 32.96%,

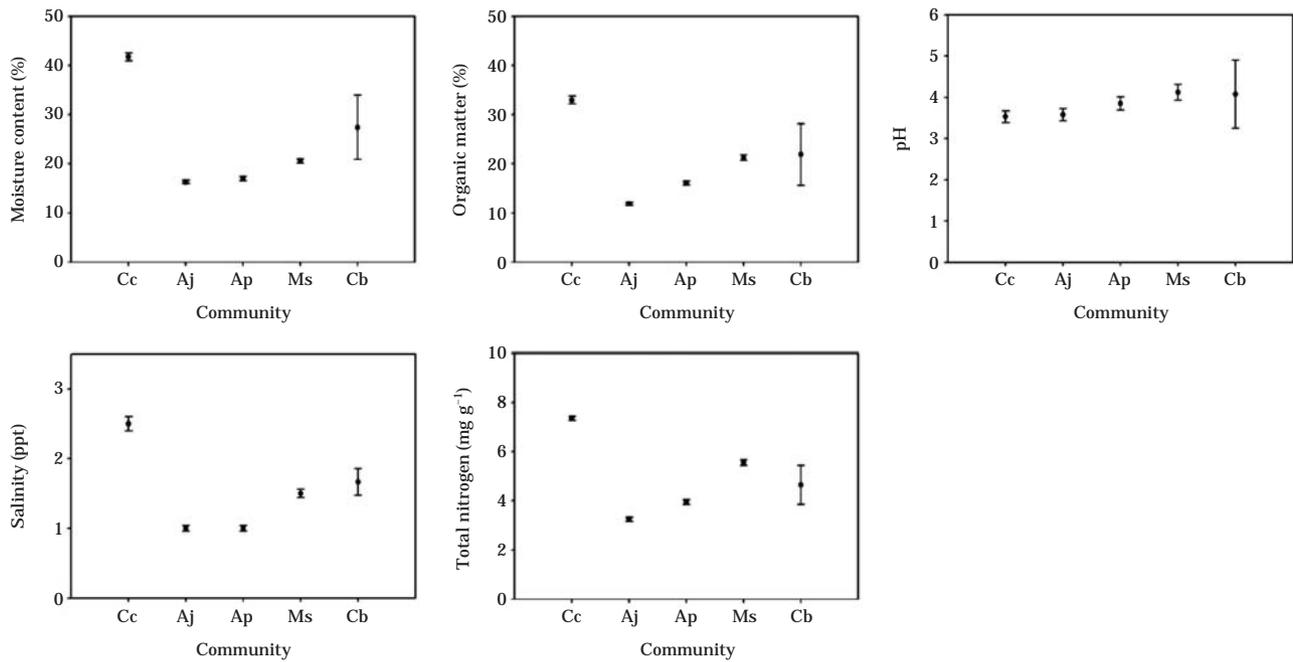


Fig. 1. Soil properties of each plant community in Chilbal island (*Carex boottiana*: Cb, *Commelina communis*: Cc, *Achyranthes japonica*: Aj, *Artemisia princeps*: Ap, *Miscanthus sinensis*: Ms).

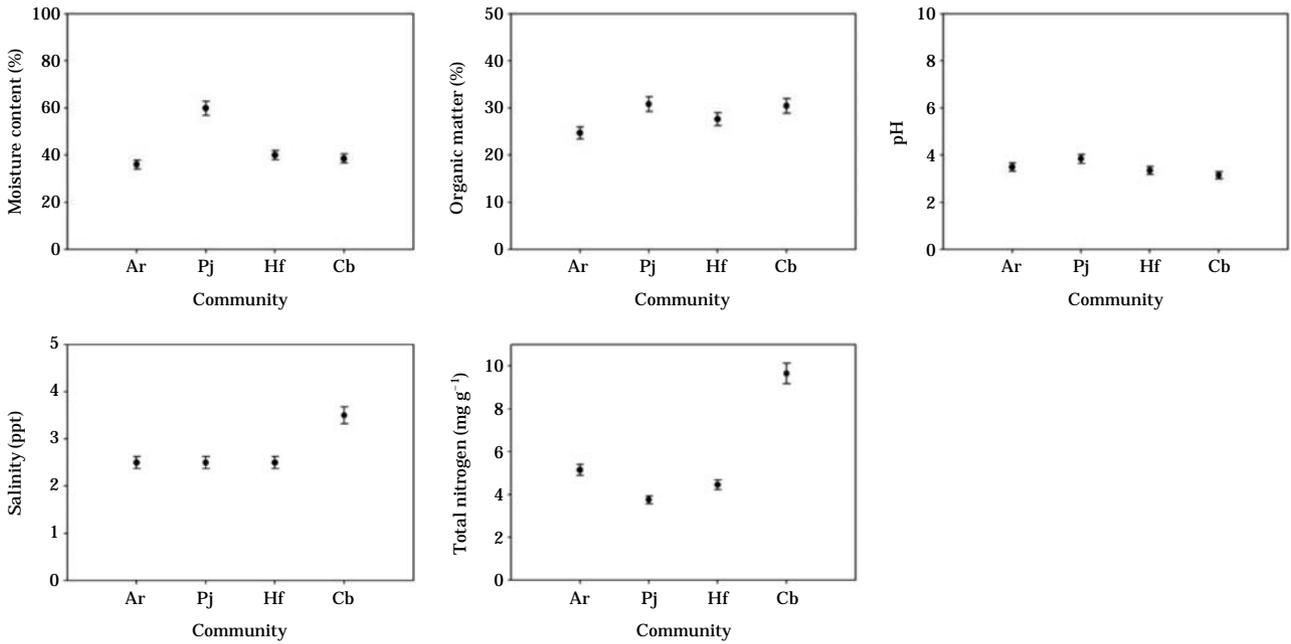


Fig. 2. Soil properties of each plant community in Sokugul island (*Carex boottiana*: Cb, *Achyranthes japonica*: Aj, *Peucedanum japonicum*: Pj, *Hemerocallis fulva*: Hf).

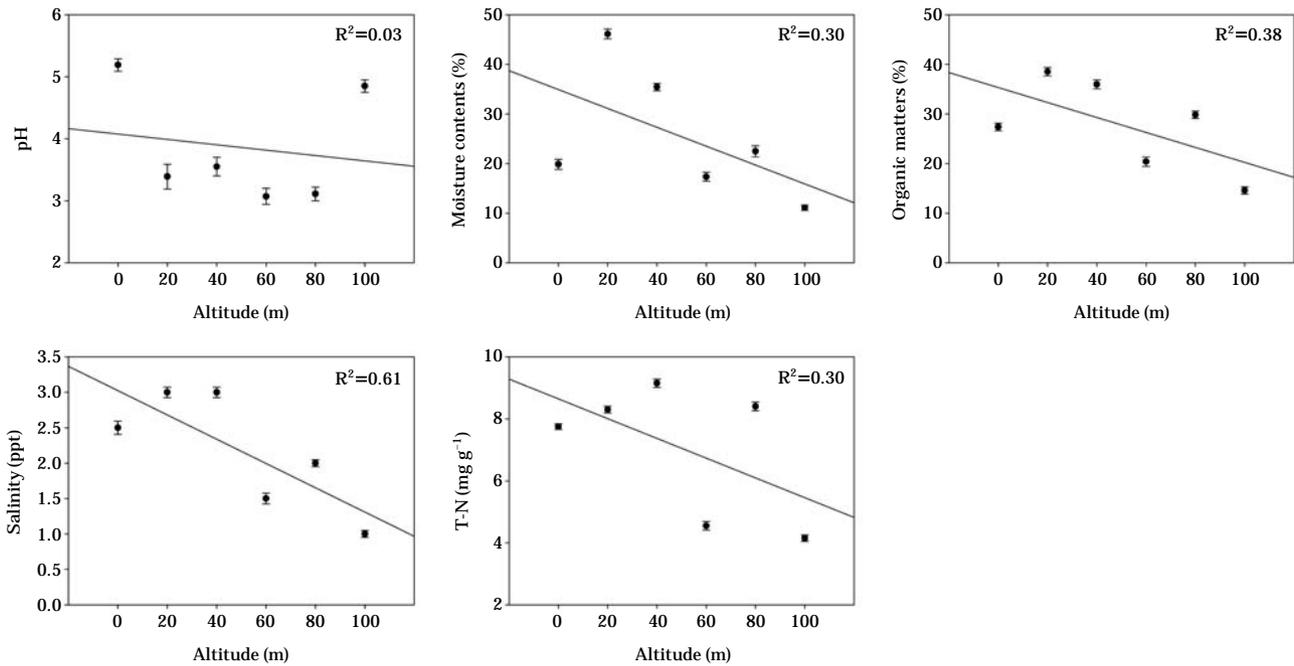


Fig. 3. Soil properties of altitude variation in Chilbal island.

2.5 ppt, 7.35 mg g⁻¹으로 다른 군락에 비해 높게 분석되었었으며, 이와 반대로 쇠무를 군락에서는 낮게 나타났었다 (Fig. 1). 이는 유기물이 수분과 양분을 유지하지 특성에 의한 결과로 보여 지며, 특히, 닭의장풀 군락은 고도가 낮

은 지점에 서식하여 정상부에서부터 이동된 유기물축적으로 인해 다소 높게 분석된 것으로 사료된다. 또한 쇠무를 군락의 경우는 개체밀도가 낮으며, 암반이 분포하는 급경사지에 분포하고 있어 토양집적이 낮아 전체적으로

낮게 분석된 것으로 판단된다. 바닷새 서식지로 주로 이용되는 밀사초 군락의 경우 다른 군락에 비해 토양환경 요인 분포범위가 넓게 분석되었으며, 반면 유입종인 쇠무릎 군락과 썩 군락은 분포범위가 좁게 나타났다. 이러한 특성을 고려해 볼 때, 최근 문제가 되고 있는 쇠무릎에 의한 바다제비 피해를 방지하기 위해서는 토양환경 내성 범위를 이용한 관리방안을 개발되어야 할 것으로 사료된다. 특히 바다제비는 대부분 밀사초 군락은 바닷가에 자생하는 식물로 잎 표피에 코팅이 되어 있어 염분과 염분 분사에 대한 내성이 높다. 이러한 개체군 특성을 분석하여 관리기법이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

2) 소구굴도

소구굴도의 우점군락은 전체적으로는 밀사초(Cb: *Carex boottiana*) 군락이 우점하고 있으며, 그 외 쇠무릎(Aj: *Achyranthes japonica*), 갯기름나물(Pj: *Peucedanum japonicum*), 원추리(Hf: *Hemerocallis fulva*) 군락 등 초지식생 구조를 이루고 있다. 소구굴도 토양분석결과 밀사초군락(Cb)이 pH 3.14로 가장 낮았고, 원추리군락(Hf) pH 3.35, 쇠무릎군락(Aj) pH 3.49, 갯기름나물군락(Pj) pH 3.84로 강산성에 가깝게 나타났다. 일반적으로 우리나라 산림식생에서 우점군락인 신갈나무군락과 떡갈나무에서는 pH 6.2~6.6로 조사되었으며(Song and Choi, 1997), 해안 아까시나무 임내 토양pH는 6.0~6.4 (Jung *et al.*, 2011)로 중성

토양으로 조사되었다. 이와 비교할 때, 바닷새서식지 토양pH는 산성토양으로 현저한 차이를 보여주고 있어 이곳에 생육하는 식물들은 극한환경에 적응하고 있는 특징을 보여주고 있다. 수분함량과 유기물함량은 갯기름나물 군락에서 가장 높게 나타났으며, 쇠무릎군락이 35.9%로 가장 낮게 분석되었다(Fig. 2). 염분농도, 전기전도도, 총질소는 밀사초군락이 가장 높게 나타났다. 특히, 소구굴도의 경우 고도가 낮은 지역으로 파랑이나 바람에 의한 직접적으로 염분분사(salt spray)에 영향을 받아 염분농도가 칠발도에 비해 높게 분석된 것으로 사료된다. 전체적으로 소구굴도 군락내에서 유사한 값의 토양환경요인이 분석되었으나, 일부군락의 경우 분포지역의 사면이나 지형적 차이에 따라 다소 차이가 나타난 것으로 판단된다.

2. 고도별 토양환경특성

1) 칠발도

환경구배에 대한 토양특성을 분석하기 위해 식물군락이 출현하는 지점을 기준(0 m)으로 20 m단위로 정상(100 m)까지 고도별 토양을 채집 분석하였다. 고도별로 수분함량 11.06~46.14%, 유기물함량 14.57~38.52%로 나타났으며, 염분농도는 1.0~3.0 ppt, pH 3.07~5.19, 총질소는 4.15~9.15 mg g⁻¹로 나타났다. 고도에 차이에 대한 변화는 고도가 높아질수록 수분함량(r²=0.30), 유기물함량

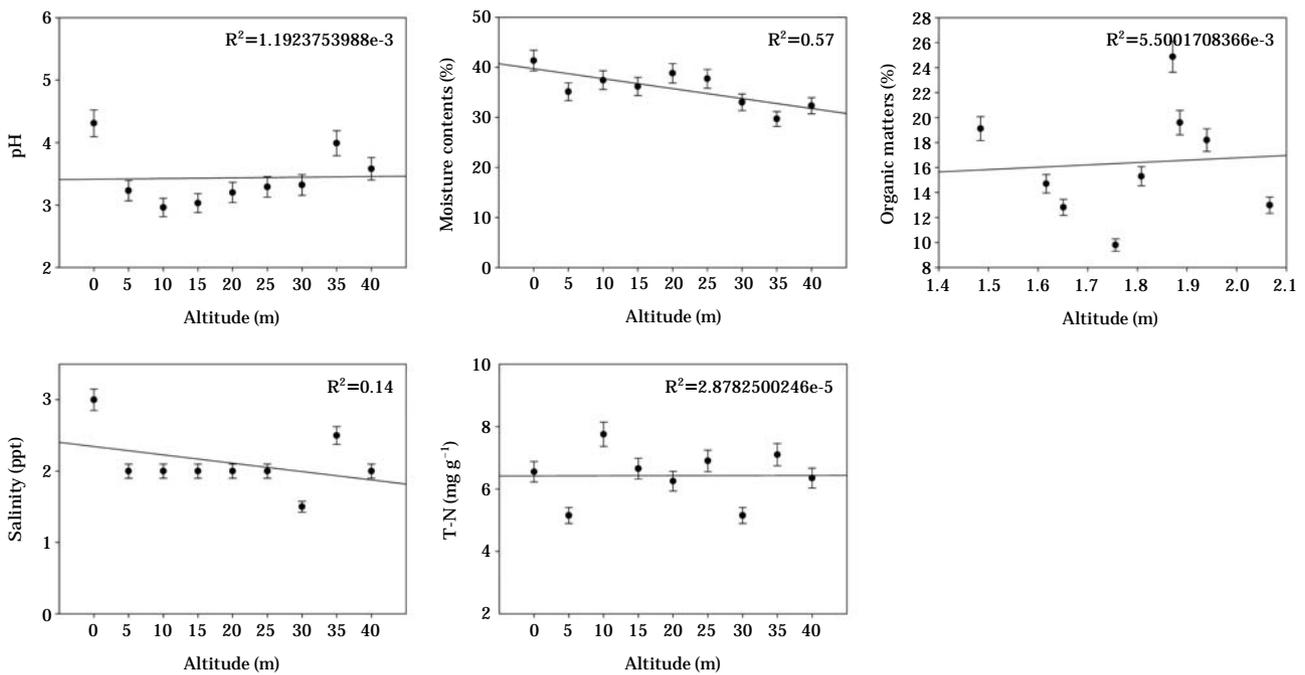


Fig. 4. Soil properties of altitude variation in Sokugul island.

($r^2=0.38$), 염분농도 ($r^2=0.61$) 및 총질소 ($r^2=0.30$)의 경우 낮아지는 유의성 ($p<0.5$)을 보였다(Fig. 3). 토양pH는 0 m와 100 m 지점에서는 중성을 나타내고 있으나, 바닷새가 집중적으로 서식하는 20~80 m구간에서는 강산성에 가깝게 분석되었다. 조사지역들은 바닷새의 서식처로 이용되고 있어 조류배설물과 염분에 의해 토양 pH와 염분농도에 직접적인 영향을 미치고 있다.

2) 소구굴도

고도별 토양환경요인을 분석한 결과 토양수분함량은 수분함량은 평균 35.73%로 고도가 높은 35 m지점에서 29.68%로 가장 낮고, 0 m지점이 41.33%로 가장 높았다. 유기물함량은 평균 16.38%로 5 m지점이 9.79%로 가장 낮고, 10 m지점이 24.88%로 가장 높았으며, pH 3.34로 전체적으로 산성토양이었으며, 10 m지점이 pH 2.96으로 강산성 토양으로 분석되었다. 염분농도는 평균 2.11 ppt로 30 m지점이 1.50 ppt로 가장 낮고, 0 m지점이 3.0 ppt로 가장 높았으며, 총질소는 평균 6.43 mg g^{-1} 5 m와 30 m는 5.15 mg g^{-1} 으로 가장 낮고, 10 m지점이 7.75 mg g^{-1} 으로 가장 높았다. 소구굴도의 경우 섬면적이 좁고, 고도가 낮아 전체적으로 토양요인 분석자료에 대한 차이는 크게 나타나지 않았으나, 환경구배에 따른 차이는 수분함량($r^2=0.57$)이 고도가 높아질수록 낮아지는 유의성 ($p<0.5$)을 보였다(Fig. 4). 바다와 인접된 0 m지점은 비교적 pH, 수분함량, 염분농도, 전기전도도가 높게 나타났다.

적 요

본 연구는 바다새 서식지 복원 및 식생복원을 위해 2011년 4월부터 12월까지 전라남도 신안군 칠발도와 소구굴도지역에 대한 식물군락 및 환경구배에 따른 바닷새 번식지 토양환경 요인을 분석하였다. 토양요인을 분석한 결과 칠발도는 닭의장풀군락이 수분함량, 유기물함량, 염분농도, 총질소가 높게 나타났으며, 쇠무릎 군락은 낮게 나타났다. 또한, 바닷새 서식처로 이용되는 밀사초 군락은 토양환경요인 분포범위가 넓고 유입종인 쇠무릎군락과 쪽군락은 좁게 나타났다. 소구굴도 밀사초군락 토양pH는 3.14로 가장 낮았고, 갯기름나물군락은 3.84 가장 높게 나타났다. 수분함량과 유기물함량은 갯기름나물군락에서 가장 높게 나타났으며, 쇠무릎군락이 35.9%로 가장 낮게 분석되었다. 염분농도와 총질소는 밀사초군락이 가장 높게 나타났다. 고도에 따른 토양환경특성에서는 칠발도의 경우 고도가 높아질수록 수분함량, 유기물함량, 염분농도 및

총질소가 낮아지는 유의성을 보였다. 소구굴도 토양수분함량은 평균 35.73%, 유기물함량 16.38%, pH 3.34로 전체적으로 산성토양이었다. 토양산성화는 조류분비물에 의해 영향을 받았을 것으로 판단된다. 염분농도는 평균 2.11 ppt, 총질소는 평균 6.43 mg g^{-1} 로 분석되었다. 소구굴도는 섬면적이 좁고, 고도가 낮아 전체적으로 토양환경요인의 분석결과는 크게 차이가 나타나지 않았으나, 수분함량은 환경구배에 대해 고도에 의한 유의성을 보였다.

사 사

본 연구 논문은 신안군 칠발도·구굴도 바닷새 번식지 복원계획사업(2010) 지원으로 작성되었습니다.

인 용 문 헌

- Choi, J.H. 2004. The study on the relationships between the distribution of plants and geographical conditions on uninhabited islands in the southwestern coast of Korea. MS Thesis. Mokpo National University, Muan, Korea.
- Chown, S.L., N.J.M. Gremmen and K.J. Gaston. 1998. Ecological biogeography of southern ocean islands: Species-area relationships, human impacts, and conservation. *The American Naturalist* **152**(4): 562-575.
- Chung, J.M. and K.N. Hong. 2002. Relationships between geographical conditions and distribution pattern of plant species on uninhabited islands in Korea. *The Korean Journal of Ecology* **25**(5): 341-348.
- Chung, J.M. and K.N. Hong. 2006. Island biogeographic study on distribution pattern of the naturalized plant species on the uninhabited islands in Korea. *The Korean Journal of Ecology* **29**(6): 489-494.
- Jackson, M.C. 1958. Soil Chemical Analysis. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. USA.
- Jeon, J.Y., H.H. Myeong and J.S. Lee. 2012. The distribution of coastal sand dune flora and vegetation in Gwanmaedo. *Journal of Korean Island* **24**(1): 173-189.
- Jung, S.C., K.S. Koo and J.H. Kim. 2011. Inhibitory factors of *Robinia pseudoacacia* distribution in a *Pinus thunbergii* forest at the coast. *Korean Journal of Environmental Ecology* **25**(5): 717-724.
- Kadmon, R. and H.R. Pulliam. 1993. Island biogeography: Effect of geographical isolation on species composition. *Ecology* **74**(4): 977-981.

- Kim, H.S. 2011. A study on the flora of Chilbaldo Shinan-gun. *Journal of Korean Island* **23**(4): 183-192.
- Kim, H.S. 2012. A study on the vegetation of Chilbaldo. *Journal of Korean Island* **14**(3): 231-240.
- Kim, H.S., B.S. Ihm and J.S. Lee. 2003. Ecological studies on the plants resources of Chilbaldo in uninhabited islets. *Journal of Korean Island* **15**(1): 101-109.
- Kim, T.H. 2002. Coastal landforms of uninhabited islands in Jeju waters. Cheju National University. *Bulletin of Marine Environmental Resource Institute* **26**: 63-78.
- Lee, C.R., S.Y. Kim, B.K. Lee, H.S. Noh, J.H. Jeong, S.J. Song and T.K. Kim. 2012. Hydrographical characteristics and distribution of mesozooplankton in the Chilbal Is. And the Yeoseo Is. In Dadohaehaesang National Park in Oct. 2011. *Journal of National Park Research* **3**(3): 64-74.
- Lee, K.S. and B.H. Won. 1988. Breeding biology of Swinhoe's fork-tailed petrel *Oceanodroma monorhis* (Swinhoe) on Chilbal islet, Korea. Theses Collection Kyung Hee University. Seoul. Korea **15**: 15-27.
- Nam, J.H. and D.S. Kang. 2005. Management policy directions for sustainable management of the uninhabited islands of Korea. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering* **8**(4): 227-235.
- Oh, B.G., J.W. Lee and H.B. Lee. 2002. A Summer Marine Benthic Algal Flora and Community of Uninhabited Islands in Haenamgun, Southern Coast of Korea. *Journal of the Korean Fisheries Society* **35**(1): 57-63.
- Park, H.D. 2001. Deposits of old beach on old wave-cut platforms in Kokunsan islands and islands near Wido of West Sea. *Journal of the Geomorphological Association of Korea* **8**(2): 11-20.
- Park, H.S. and W.B. Kim. 1996. A Survey of Summer Birds at Three Uninhabited Islets, Seogwipo City, on Cheju Island. *Journal of Education* **13**: 163-175.
- Park, J.H. 2002. Invertebrate Epifauna of Intertidal Zone in 29 Inhabit islands, Jindo-gun, Korea. The University of Suwon theses Collection **20**: 153-173.
- Seo, J.R. 2001. The Zoogeographical characteristics of some uninhabited islands in the southwest sea of Korea based on the marine invertebrate fauna. MS Thesis. Chosun University, Kwangju, Korea.
- Song, I.G. and Y.K. Choi. 1997. Comparison of enzyme activities and environmental factors between the forest soil of two species in the family, Quercoideae. *Korean Journal of Environmental Biology* **15**(2): 131-139.

(Manuscript received 19 February 2013,
Revised 4 March 2013,
Revision accepted 8 March 2013)