

〈Original article〉

고래불 해안사구에서 염생식물의 공간분포

정민형 · 김석철 · 홍보람 · 이규송*

강릉원주대학교 자연과학대학 생물학과

Spatial Distribution of Halophytes in the Goraebul Coastal Sand Dune, Korea

Min-Hyeong Jeong, Seok Cheol Kim, Bo Ram Hong and Kyu Song Lee*

Department of Biology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Republic of Korea

Abstract - Factors affecting spatial distribution of halophytes were analyzed in June 2012 at the Goraebul coastal dunes. In the Goraebul sand dune, distribution of halophytes was divided into three groups. The first group belonging to *Elymus mollis*, *Carex kobomugi*, *Calystegia soldanella*, *Ixeris repens* and *Glehnia littoralis* was distributed in the ridge of primary sand dune and dune slack. The second group belonging to *Lathyrus japonicus* and *Zoysia macrostachya* was distributed in the dune slack. The third group belonging to *Pinus thunbergii*, *Vitex rotundifolia* and *Linaria japonicus* was distributed in the pine forest of the secondary sand dune. *E. mollis*, *C. kobomugi*, *C. soldanella*, *I. repens* and *G. littoralis* was distributed in relatively unstable habitat of sand dunes due to the large amount of sand movement. *V. rotundifolia* was distributed in a relatively stable habitat. Factors that have the greatest influence on distribution of halophytes in the Goraebul sand dunes are distance from the seashore, topography, and the pine forest. The Goraebul sand dune is a relatively well-preserved area with minimal human intervention. Therefore, different distribution of physico-chemical factors by natural processes is essential to spatial distribution of halophytes than other sand dunes in Korea. Significant natural processes in the Goraebul sand dunes were advance and retreat of coastlines from waves, erosion and sedimentation of sand due to wind and waves, and dispersal of seawater.

Key words : ecological niche, spatial heterogeneity, zonation, conservation, restoration

서 론

해안사구는 해빈과 간석지의 모래가 바람에 의해 해빈 후면으로 이동하여 형성된 모래언덕으로서 연안지대에서 자연환경, 문화, 관광 등을 매개하는 핵심생태계이다 (Bird 2008; Han *et al.* 2013). 사구지대에서는 해안가로부터 거리에 따라

염분이 높은 곳에서 낮은 곳으로 점진적으로 염분 구배가 생긴다 (Kim *et al.* 2014). 해안가에서 염분에 대한 내성의 차이는 염생식물과 중생식물의 조합을 점차 변화시켜 뚜렷한 대상 분포를 만드는 경향이 있다 (Jung and Kim 1998; Han *et al.* 2013; Kim *et al.* 2014). 해안가에서의 대상 분포는 사구의 입지조건에 따라 다양한 유형으로 변형될 수 있다. 일반적으로 사구는 바람에 의한 모래의 이동, 파랑에 의한 침식과 퇴적 그리고 인간에 의한 구조물의 설치로 인한 해류의 변동 등으로 시공간적으로 끊임없이 변동하는 특성을 가진

* Corresponding author: Kyu Song Lee, Tel. 033-640-2311, Fax. 033-640-2867, E-mail. leeks84@gwnu.ac.kr

다(Kim *et al.* 2014). 따라서 사구 생태계의 변화와 안정성을 평가하기 위해서는 장기적인 관찰이 필요하다(Choi 2010).

Kangwon green environment center (2012)는 사구지대의 복원에서 지형이 가장 중요하다고 지적하였고, 사구지대의 복원 방향 설정에 화이트 사구와 그린 사구의 두 가지를 고려해야 한다고 지적하였다. 화이트 사구란 사구에서 일어나는 동적 평형 즉, 바람과 파랑에 의하여 동적으로 움직일 수 있는 사구를 말하고, 그린 사구란 사구에 식생이 안정적으로 정착하여 고정된 사구를 말한다. 정부는 1945년부터 현재까지 해안사구에 방풍림을 조성하기 위해 곶솔을 식재하였다. 또한 사구에서 곶솔의 정착을 돕기 위해 질소를 고정할 수 있는 아까시나무, 족제비싸리 및 오리나무속의 식물들을 도입하였다(Kim *et al.* 2014). 그 결과 한국에서 해안사구의 95%가 곶솔과 소나무로 구성된 송림으로 녹화되어 있다. 이것은 한국 정부가 사구의 보전정책으로 그린 사구를 지향해 왔다는 것을 의미한다(Kim *et al.* 2014). 해안사구에서 방풍림으로 조성된 송림은 경관 가치를 증가시키고, 자연재해로부터 지역주민을 보호해주는 장점이 있다고 알려져 있지만 해안사구의 조림은 때로 해안침식을 야기하여 해안선을 후퇴시킬 수 있다. 또한 조림은 태풍 등의 피해 후 사구의 회복을 지연시키고, 생물종다양성을 단순화시키면서 외래종이나 육상식물의 침입을 야기하고, 해안사구에서의 정상적인 사구 형성 과정과 천이 과정을 방해하는 부정적인 효과를 가지기도 한다(Choi *et al.* 2013; Kim *et al.* 2014). 이에 비해 초본식생으로 이루어진 사구 식생은 태풍 등의 피해로부터 빠르게 사구지형을 회복시킬 수 있다(Choi *et al.* 2013; Kim *et al.* 2014). 따라서 각각의 사구 특성에 맞는 사구 식생의 재배치를 고려할 필요가 있다.

현재까지 동해안 사구지대의 지형과 해안선의 변화에 대한 연구는 강원도 중부 해안의 사빈 및 해안평야 지형과 퇴적물에 대한 연구(Oh 1996), 울진 월송리 주변 연안 저지의 지형 발달에 대한 연구(Jo 1991), 포항 연일만 주변 해안의 지형 변화에 대한 연구(Kim 2002), 포항 칠포 해안의 해안지형 시스템에 대한 연구(Son *et al.* 2002) 그리고 고래불 사구의 지형 변화(Bang 2011) 등이 수행되어 왔다. 해안사구 식생에 대한 연구로는 종 분류학적인 연구(Yim and Lee 1976; Lee 1981; Kil and Kim 1984; Kim 1990), 식물사회학적 연구(Jung and Kim 1998; Han *et al.* 2013), 식생 분포와 특성에 대한 연구(Lee and Chon 1983, 1984; Kim and Ihm 1988; Ahn 2003), 해안사구의 교란지에 분포하는 침입식물(Kim 2005) 그리고 해안사구 식생과 사구의 기능과의 관계(Choi *et al.* 2013; Kim *et al.* 2014) 등이 있다.

해안사구에서 바람, 파랑, 해일 등과 같은 자연적인 현상과 인위적인 간섭은 사구의 물리적인 환경의 동적인 변화를

유발한다. 이러한 변화에 대한 식물의 반응과 염생식물 간의 상호작용에 의해 해안가의 식생은 대상 분포를 보이고 시간에 따른 동적인 변화를 나타낸다(Min 2004; Bird 2008, Kim *et al.* 2014). 해안사구에서 토양의 물리·화학적 변화에 따라 식생이 반응하고, 토양도 식생의 변화에 따라 변한다고 알려져 있다. 지형적인 조건도 식생의 분포를 설명하는 중요한 변수로서 인식되어 왔다. 따라서 최근에는 식생의 공간 분포가 토양의 물리·화학적인 성질, 지형 등 환경 변수와 밀접하게 관련되어 있다는 것이 밝혀지고 있다(Rubio and Escudero 2000; Kim 2004). 연안생태계에서 사구는 산림, 하천, 석호 등과 유기적으로 연결되어 있는 생태계이고, 사구가 분포하는 지역은 관광자원으로 기능하는 경우가 많다. 따라서 자연생태계의 구조와 기능을 살리면서 관광자원으로 활용하기 위한 다양한 노력들이 행해지는 경우가 많다. Choi (2010)는 동해안의 사구들 대부분에서 송림의 보전상태는 양호하지만 지형이나 염생식물로 구성된 사구 식생 부위가 심하게 훼손되어 있다고 지적하였다. 훼손된 사구를 보전하거나 복원하기 위해서는 사구 자체에서 일어나는 지형과 입지요인의 변화, 그에 대한 사구 식생의 반응 그리고 인간의 간섭 효과 등에 대한 과학적 메카니즘에 대한 연구가 필요하다(Choi *et al.* 2013).

본 연구의 목적은 식생의 보전상태가 양호한 고래불 해안사구에서 염생식물의 공간분포에 미치는 주요 입지요인들의 영향을 밝히는 것이다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

고래불 해안사구는 행정구역상 경상북도 영덕군 병곡면 병곡리와 영해면의 대진리에 걸쳐 있다. GPS 상 N 36°35'18"와 E 129°24'39"에 위치한다(Fig. 1). 고래불 해안사구의 길이는 8 km에 이르고 폭이 최대 1 km로 동해안에서 보기 드문 큰 규모다(Choi 2010). 고래불 해안사구에는 북쪽에서 남쪽 방향으로 고래불 해수욕장, 덕천 해수욕장, 대진 해수욕장이 위치하고, 이곳을 방문하는 관광객이 매년 30만 명 이상이다(Bang 2011). 그러나 해수욕장으로 이용되는 구간을 제외한 사구 지역은 식생의 보전상태가 양호한 편이다. 그 이유는 고래불 사구의 규모가 커서 해수욕장으로 이용되는 구간이 상대적으로 적고, 군사작전지역으로 설정된 사구 지역은 민간인의 출입이 통제되고 있기 때문이다(Choi 2010). 식생이 보전된 구간에서는 갯방풍 재배지가 있고 연간 몇 차례씩 수확이 이루어지고 있다. 이 지역에서 갯방풍

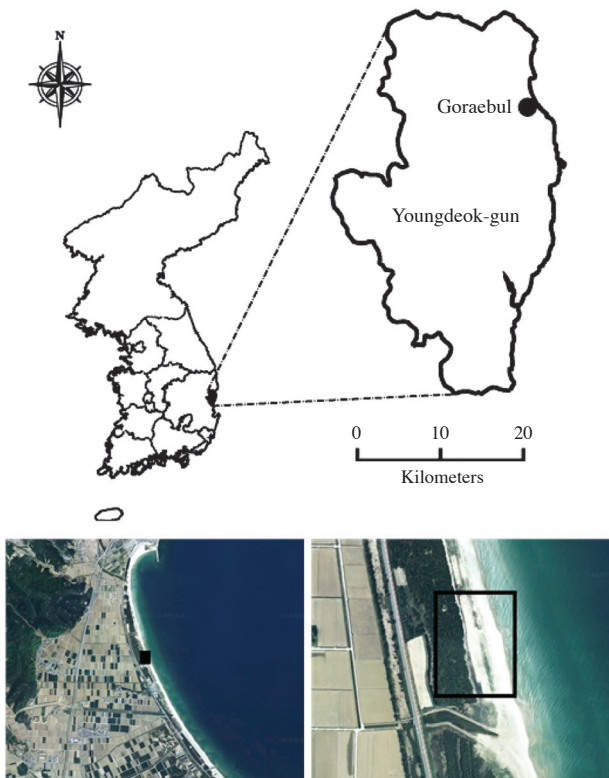


Fig. 1. Map showing the study site.

의 채취는 지상부의 일부만 숙아내는 방식으로 이루어지고 있어서 해안식생에 미치는 영향이 매우 적다. 오히려 갯방풍의 번식이나 보호에 주의를 기울여서 전체 해안식생을 보존하는 효과가 크다고 판단된다. 고래불 사구가 위치한 곳에서 가까운 영덕군의 평균 기온과 연평균 강수량은 각각 12.8°C 와 $1,072.7\text{ mm}$ 이었고, 연평균 최고기온과 최저기온은 각각 28.8°C 와 -3.6°C 이었다. 이 지역의 최고와 최저 조위 차는 크지 않았는데, 여름 시기인 6월~9월까지가 겨울 시기보다 조위 차가 높다(Jeong 2014). 고래불 해안사구에서 확인할 수 있는 식물군락은 갯그렁, 갯메꽃, 갯씀바귀, 갯완두, 왕잔디, 통보리사초, 순비기나무, 곰솔 및 아까시나무군락 등이다(Choi 2010). 이들 사구 군락 이외에 배후습지에 갈대군락, 애기부들군락 및 이삭물수세미군락 등이 분포하고 있다(Choi 2010).

2. 연구 방법

1) 연구방형구의 설치

고래불 해안사구에서 식생 보존상태가 양호하고 분포가 균질한 지점을 선정하여 가로 100 m ×세로 105 m 의 정방형 방형구를 설치하였다(Fig. 2). 방형구는 10 m × 10 m 의 미소격자로 나눈 110개 지점으로 구분한 후, 각각의 10 m × 10 m

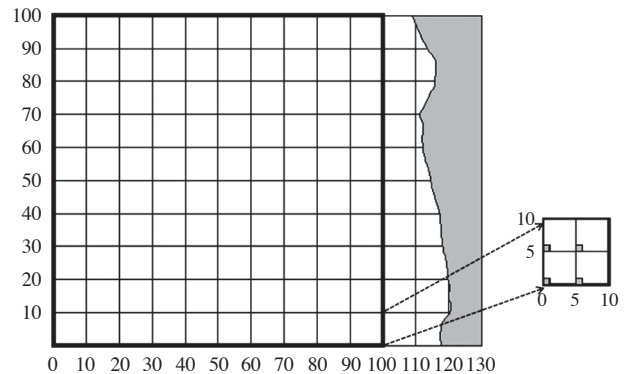


Fig. 2. Permanent plot established for the investigation at Goraebul sand dune, Korea. Bold line is the area of permanent plot and gray area is the sea on June 12, 2012.

의 미소격자 내에 1 m × 1 m 크기의 방형구 4개씩을 설치하였다(Fig. 2). 방형구의 10 m × 10 m 미소격자에서 목본층을 그리고 총 420개 지점의 1 m × 1 m 조사지점에서 입지요인과 초본층을 조사하였다(Fig. 2).

2) 환경요인

해수위로부터의 높이를 나타내는 지형(고도)은 2012년 6월에 110개의 미소격자 지점에서 경사계를 이용하여 직접 수준 측량을 하여 상대적인 높이를 측정하였다. 설치한 방형구 내 각각의 미소격자 지점에서 사구의 고도 차이를 측정하여 등치선을 작성하였다. 조사지소의 등치선 지도는 고래불 사구의 요철지형을 잘 표현해 주고 있다. 방형구의 70~90 m 부근 즉, 해안 가까운 곳에 전사구가 형성되어 있고, 40~50 m 지점에 이차 사구가 형성되어 있으며, 그 사이에 사구저지가 위치하고, 이차 사구의 배후에 평탄한 지형이 연속되어 있다(Fig. 3). 방형구 내 각각의 미소격자별로 해안으로부터 거리를 조사하였다.

토양은 낙엽층을 제거한 다음 다시 표토 1 cm 를 제거하고 10 cm 이내에서 채취하였다. 토양의 채취는 조사지점별로 무작위로 4군데에서 채취하여 섞은 것을 1점으로 하였다. 채취한 토양을 실험실로 운반하여 그늘에서 종이 위에 얇게 펴서 2주간 건조하였다. 토양 입경의 크기와 토양 가비중의 측정은 음건한 토양을 이용하였다. 2 mm 체로 통과시킨 것을 이용하여 유기물 함량, 토양 pH, 염분도 및 전기전도도를 측정하였다. 토양의 평균 입경 크기는 음건한 토양을 체 눈이 다른 8개의 토양체 세트(No. 0.75mesh (19.1 μm), No. 0.375 mesh (9.5 μm), No. 4mesh (4.75 μm), No. 10mesh (2.0 μm), No. 18mesh (1.0 μm), No. 35mesh (500 μm), No. 200mesh (75 μm))를 이용하여 입자 크기에 따른 구성비율을 구한 후 가중평균으로 구하였다. 토양가비중(밀도)은 2 mm 체로 치지 않은 토양을 도가니에 가득 넣고 평량한 다음 도가니의 부

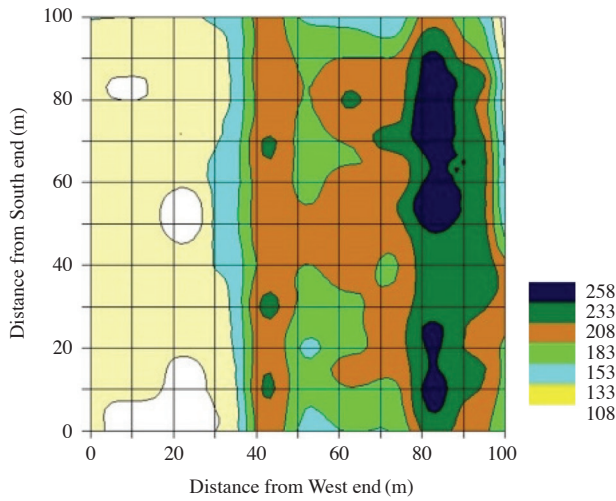


Fig. 3. Isopleths for the height (cm) at sea level of the dune on a 1 ha permanent quadrat during investigation period at Go-raebul sand dune, Korea.

피를 측정하여 계산하였다. 토양 pH, 전기전도도 및 염분도는 음건 토양 10 g에 3차 증류수 50 mL를 섞어서 1시간 동안 진탕한 후 거름종이(Whatman No. 44)에 거른 여과액을 이용하여 YSI 556 MPS로 측정하였다. 토양 유기물 함량은 600°C 전기로에서 5시간 동안 작열시킨 후 작열소실량으로 구하였다(Allen 1989). 낙엽층의 두께는 막대자를 이용하여 각 조사지소에서 3회 측정하여 그 평균값을 이용하였고, 방향구를 덮고 있는 낙엽의 피도를 기록하였다. 낙엽지수는 낙엽의 피도와 두께를 이용하여 계산하였다. 낙엽지수는(낙엽 두께(cm)×낙엽피도(%))/100으로 구하였다.

인간의 간섭도는 지표면이 교란된 정도를 파악하여 0(교란이 전혀 없음), 1(교란된 면적이 10% 이하), 2(교란면적이 10%~50%) 그리고 3(교란면적이 50% 이상)의 4단계로 구분하였다.

3) 식생요인

식생자료는 2012년 6월 12일에 수집하였다. 식생은 교목층, 아교목층, 관목층, 초본층, 낙엽층으로 구분하여 식생의 키와 식피율을 조사한 후 각 층별로 출현하는 모든 식물에 대하여 피도를 조사하였다. 종다양성지수는 Shannon-Wiener의 식으로 구하였다.

4) 자료처리와 통계처리

상관분석은 SYSTAT 12.0을 사용하였다. 공간분포도는 GS+프로그램을 이용하여 작성하였고, CCA(Canonical correlation analysis) 분석은 Canoco 4.5 software package를 이용하였다.

결 과

1. 주요 군집 속성과 입지요인의 관계

Table 1은 고래불 사구의 주요 군집 속성과 입지 요인 간의 상관을 나타낸 것이다. 최상층의 키, 관목층 및 교목층의 식피율은 유기물 함량 및 낙엽지수와 강한 정의 상관을 나타내었고, 고도, 평균토양입경, 토양가비중, 염분도, 전기전도도, pH 및 나지피도와 강한 부의 상관을 나타내었다. 초본층 식피율은 고도, 평균토양입경, 토양가비중, pH와 정의 상관을 나타내었고, 유기물 함량, 낙엽지수 및 답압과 부의 상관을 나타내었다. 종풍부도와 종다양성지수는 고도와 강한 정의 상관을 나타냈고, 나지피도와 강한 부의 상관을 나타내었다. 염생식물의 종풍부도와 종다양성지수는 해안으로부터 거리, 전기전도도, 유기물 함량, 낙엽지수, 나지의 비율과 부의 상관을 나타내었고, 고도, 토양가비중 및 pH와 정의 상관을 나타내었다. 귀화식물의 피도합과 귀화식물의 종수는 고도, 토양가비중, pH 및 나지피도와 강한 부의 상관을 나타내었고, 해안으로부터 거리, 유기물 함량 및 낙엽지수와 강한 정의 상관을 나타내었다(Table 1).

2. 고래불에서 염생식물의 공간분포에 영향을 미치는 요인

Fig. 4는 고래불 사구의 영구방형구에서 초본의 공간분포를 나타낸 것이다. 서쪽으로부터 0~40m 지역에는 곰솔림이 넓게 분포하고 있어서 곰솔림이 분포하는 지역에는 초본층이 거의 없고, 노출된 사구에서 높았다.

Table 2는 2012년 6월 12일에 조사된 자료를 바탕으로 영구방형구 내 미소방형구별 입지요인과 염생식물의 상관분석을 한 결과이다. 모든 염생식물의 피도합과 갯머름은 지형, 평균토양입경, 토양가비중 및 pH와 강한 정의 상관을 나타내었고, 해안으로부터 거리, 유기물 함량, 낙엽지수, 인간의 간섭 교란과 강한 부의 상관을 나타내었다. 갯메꽃은 지형, 토양가비중 및 pH와 강한 정의 상관을, 해안으로부터 거리, 유기물 함량, 낙엽지수, 인간의 간섭 교란과 강한 부의 상관을 나타내었다. 왕잔디는 인간의 간섭 교란과 강한 정의 상관을, 낙엽지수와 강한 부의 상관을 나타내었다. 갯방풍은 지형, 토양가비중 및 pH와 강한 정의 상관을 나타내었고, 해안으로부터 거리, 유기물 함량 및 낙엽지수와 강한 부의 상관을 나타내었다. 갯씀바귀는 지형, 토양가비중 및 pH와 강한 정의 상관을 나타내었고, 해안으로부터 거리, 유기물 함량 및 낙엽지수와 강한 부의 상관을 나타내었다. 통보리사초는 지형과 강한 정의 상관을 나타내었고, 해안으로부터 거리, 유기물 함량, 낙엽지수와 강한 부의 상관을 나타내었다.

Table 1. Pearson's correlation coefficients between environmental factors and characteristics of community structures in Goreabul sand dune on June 12, 2012, Korea (n = 420).

Characteristics	Distance from sea	Topography (dune height)	Mean size of soil particles	Bulk density	pH	Conductivity	Organic matter	Salinity	Coverage of naked land	Litter index	Disturbance
Height of canopy	0.85***	-0.72***	-0.33***	-0.71***	-0.76***	-0.25***	0.63***	-0.20***	-0.48***	0.89***	0.12*
Coverage of herb layer	-0.58***	0.61***	0.21***	0.58***	0.65***	-0.07	-0.43***	-0.08	-0.09*	-0.60***	-0.21***
Coverage of shrub layer	0.80***	-0.69***	-0.17***	-0.55***	-0.72***	-0.21***	0.70***	-0.19***	-0.40***	0.85***	0.03
Coverage of tree layer	0.79***	-0.65***	-0.35***	-0.71***	-0.72***	-0.23***	0.54***	-0.16**	-0.46***	0.86***	0.12*
Sum coverage of halophytes	-0.59***	0.62***	0.17***	0.57***	0.62***	-0.03	-0.44***	-0.03	-0.07	-0.58***	-0.18***
Sum coverage of naturalized plant	0.53***	-0.40***	0.00	-0.30***	-0.40***	-0.11*	0.61***	-0.12*	-0.20***	0.53***	-0.16**
Species richness	-0.08	0.26***	0.12*	0.06	0.14**	-0.33***	-0.03	-0.16**	-0.23***	-0.14**	-0.00
Species diversity index	-0.06	0.20***	0.09	0.01	0.06	-0.29***	-0.00	-0.11*	-0.21***	-0.09*	-0.01
Species richness of halophytes	-0.16**	0.34***	0.09	0.18***	0.24***	-0.33***	-0.14**	-0.13**	-0.21***	-0.23***	0.06
Species diversity in dex of halophytes	-0.16**	0.27***	0.03	0.11*	0.12*	-0.23***	-0.13**	-0.03	-0.16**	-0.17***	0.00
Number of naturalized plant species	0.64***	-0.56***	-0.00	-0.52***	-0.63***	-0.17***	0.71***	-0.18***	-0.30***	0.69***	-0.08

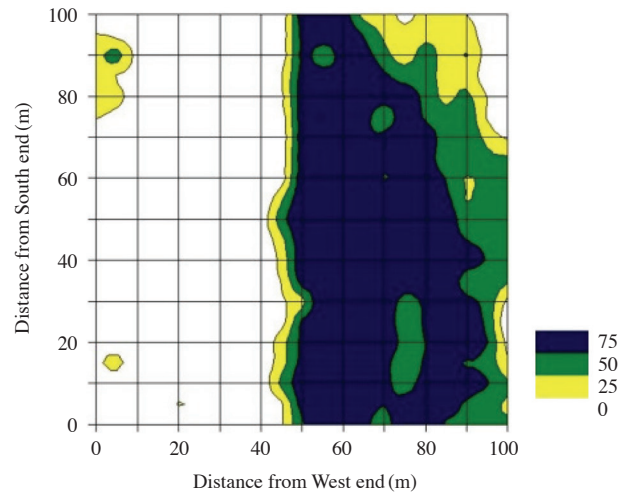


Fig. 4. Isopleths for percentage of herb layer on a 1 ha permanent quadrat at Goreabul sand dune on June 12, 2012, Korea.

갯완두는 인간의 간섭을 나타내는 교란과 강한 정의 상관관계를 나타내었다. 곰솔은 해안으로부터 거리, 낙엽지수와 강한 정의 상관관계를 나타내었고, 지형, 평균토양입경 및 pH와 강한 정의 상관관계를 나타내었다. 순비기나무는 해안으로부터 거리, 낙엽지수 및 인간의 간섭교란과 강한 정의 상관관계를 나타내었고, 지형과 강한 정의 상관관계를 나타내었다(Table 2).

Fig. 5는 염생식물의 공간분포에 미치는 주요 입지요인들의 영향을 분석하기 위하여 2012년 6월 12일에 수집한 식생요인과 입지요인의 자료에 근거하여 CCA ordination을 시행한 결과이다. CCA 서열 결과의 I축과 II축의 eigenvalue 값은 각각 0.640과 0.240이었다. CCA 결과 중에서 I축은 총 분산의 22.2%이었고, 그리고 I축과 II축을 합산한 분산은 총 분산의 30.5%이었다. I축의 입지요인과 염생식물 사이에 상관관계는 0.880으로 높았다. CCA 서열의 I축을 중심으로 고래불 해안사구의 입지요인은 두 가지 패턴으로 구분되는 경향이 뚜렷하였다. 가장 중요한 요인은 해안으로부터 거리로서 해안으로부터 거리가 멀어질수록 낙엽지수, 유기물 함량 그리고 빛을 감소시키는 곰솔의 피도가 커졌고, 해안으로부터 가까운 곳일수록 지형이 높고, pH, 전기전도도, 염분도, 토양가비중 및 나지의 피도가 증가하였다. 나지의 피도와 인간의 간섭 요인은 II축 상으로 변이를 나타내는 경우가 많았다. I축 상의 왼쪽부터 오른쪽으로 배열된 종의 순서는 갯씀바귀, 통보리사초, 갯메꽃, 갯그령, 갯방풍, 왕잔디, 갯완두, 해란초, 순비기나무의 순이었다. 그러나 I축 상에서 크게 갯씀바귀, 통보리사초, 갯메꽃, 갯그령 및 갯방풍의 해안가에 인접하여 분포하는 그룹, 사구저지에 나타나는 왕잔디와 갯완두 그룹 그리고 곰솔 숲 근처에 분포하는 곰솔, 순비기나무 및 해란초 그룹으로 모두 세 그룹으로 구분할 수 있었다. 왕

Table 2. Pearson's correlation coefficients between environmental factors and halophytes in Goreabul sand dune on June 12, 2012, Korea (n = 420).

	Distance from sea	Topography	Mean size of soil particles	Bulk density	pH	Conductivity	Organic matter	Salinity	Coverage of naked land	Litter index
<i>Elymus mollis</i>	-0.61***	0.57***	0.18***	0.62***	0.59***	0.05	-0.44***	-0.04	-0.02	-0.55***
<i>Carex kobomugi</i>	-0.23***	0.28***	0.09*	0.08	0.14**	0.00	-0.18***	0.09	0.09*	-0.16**
<i>Zoysia macrostachya</i>	0.00	0.07	0.09	0.03	0.16**	-0.13**	-0.03	-0.08	-0.07	-0.17***
<i>Calystegia soldanella</i>	-0.34***	0.42***	0.07	0.30***	0.28***	-0.04	-0.25***	0.06	-0.10*	-0.26***
<i>Glehnia littoralis</i>	-0.28***	0.35***	0.15**	0.32***	0.27***	-0.05	-0.21***	0.04	-0.11*	-0.26***
<i>Ixeris repens</i>	-0.35***	0.27***	-0.03	0.19***	0.24***	0.08	-0.23***	0.01	0.19***	-0.28***
<i>Lathyrus japonicus</i>	0.06	-0.03	-0.06	-0.07	0.03	-0.06	0.06	-0.04	-0.06	-0.03
<i>Vitex rotundifolia</i>	0.24***	-0.26***	-0.07	-0.13**	-0.11*	-0.07	0.16**	-0.07	-0.12*	0.24***
<i>Pinus thunbergii</i>	0.39***	-0.27***	-0.27***	-0.43***	-0.38***	-0.15**	0.12**	-0.08	-0.29***	0.50***

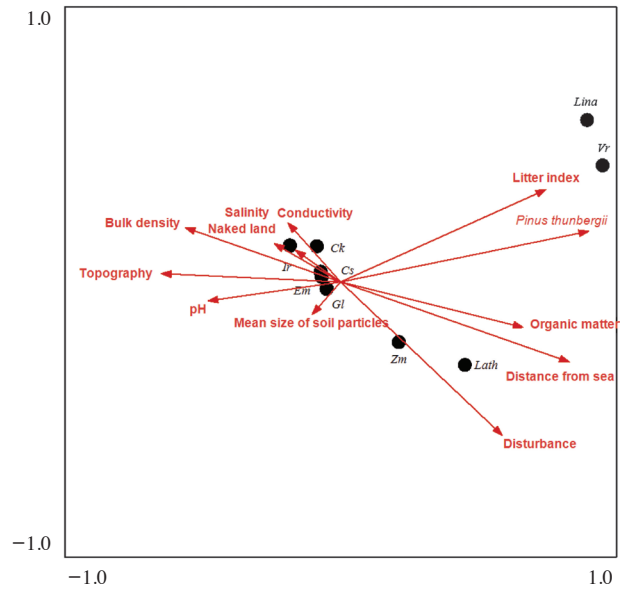


Fig. 5. CCA plot of the data matrix based on environment and halophytes coverage on June 12, 2012. Eigen values: first axis 0.640 and second axis 0.240, Total inertia 2.874. Species-environment correlations: first axis 0.880 and second axis 0.860. Abbreviation: Em (*Elymus mollis*), Ck (*Carex kobomugi*), Zm (*Zoysia macrostachya*), Cs (*Calystegia soldanella*), Gl (*Glehnia littoralis*), Ir (*Ixeris repens*), Lath (*Lathyrus japonicus*), Lina (*Linaria japonica*), Vr (*Vitex rotundifolia*).

잔디와 갯완두는 상대적으로 인간의 간섭이 큰 곳에 분포하고 있었다(Fig. 5). 고래불 해안사구에서 해안으로부터 거리에 따른 염생식물의 분포는 갯씀바귀 - 갯그렁 - 퉁보리사초 - 갯메꽃 - 갯방풍 - 왕잔디 - 갯완두 - 해란초 - 순비기나무의 순이었다(Fig. 5).

고찰

해안사구에서 물리적인 환경 변화와 염생식물의 생물학적 반응의 상호작용은 해안으로부터의 거리와 미지형에 따른 생태적 지위의 차이를 만들어 뚜렷한 대상구조를 나타낸다(Han et al. 2013). 또한 바람과 파랑이 결합된 자연적인 교란은 해안식생의 구조와 동태에 시공간적 이질성을 유도하는 주요 원인이다(Watkinson and Davy 1985; Cordazzo and Seeliger 1993; Costa et al. 1996; Choi et al. 2013; Kim et al. 2014). 사구의 형성과 지형 변화를 조절하는 주요 요인은 바람, 파도, 강력한 폭풍, 식생, 인간의 간섭 및 개발 등이다(Houser et al. 2008; Masetti et al. 2008; Kim et al. 2014).

고래불 사구에서 해안으로부터 거리가 멀어짐에 따라 유

기물 함량, 낙엽지수 및 인간의 간섭도는 증가하는 경향이었고, 고도, 평균토양입경, 토양가비중, pH, 전기전도도, 염분도 및 나지의 피도는 감소하는 경향이였다. 신두리 해안사구에서는 해안으로부터 거리가 멀어짐에 따라 pH, 전기전도도, 유기물 함량, Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ 가 감소하는 경향을 나타내었다(Kim 2004). Zuo *et al.* (2008)은 해안사구에서 토양 유기물 함량이 해안사구 식생의 분포에 영향을 미친다고 하였다. 신두리 사구에서 이차 사구의 아까시나무림에서 유기물 함량이 증가하는 경향이 있었는데, 고래불 사구에서도 사구 송림지대에서 유기물 함량이 높았다. 따라서 사구지역에서 유기물 함량의 공간분포는 식생분포 특히 숲의 분포와 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다. 고래불 해안사구에서 염생식물의 종풍부도는 사구마루에서 크게 높았다(Table 1). 염생식물 이외의 중생식물이나 귀화식물은 송림 내에 많이 분포하였다(Kim 2005; Kim *et al.* 2014). 염생식물의 종풍부도는 고도가 높고, 전기전도도가 낮은 곳에서 높은 경향이 뚜렷하였다(Table 1). 사구 생태계에서 교란은 종들의 분포에 많은 영향을 미친다(Kim 2005; Isermann 2010). 고래불 사구에서 염생식물은 크게 전사구와 사구저지에 분포하는 갯그렁, 통보리사초, 갯메꽃, 갯씀바귀 및 갯방풍의 한 그룹, 사구저지에 주로 분포하는 갯완두와 왕잔디의 두 번째 그룹, 그리고 배후사구인 송림 내에 분포하는 곰솔과 순비기나무의 세 번째 그룹을 형성하면서 분포하였다(Fig. 5). 모래의 이동이 많아서 사구 내에서 비교적 불안정하고 변화가 많은 서식지에는 갯그렁, 통보리사초, 갯메꽃, 갯씀바귀 및 갯방풍이 주로 분포하였고, 관목 종류는 비교적 안정된 서식지에서 나타났다(Patricia 1986). 또한 귀화식물은 비교적 안정되고 해안으로부터 거리가 먼 사구 송림 내에 주로 분포하였다(Table 1).

해안사구에서 식물들의 이질적인 공간분포의 원인에 대한 많은 연구가 이루어졌다(Patricia 1986; Avis and Lubke 1996; Miller *et al.* 2010; Elena *et al.* 2011; Palmsten and Holman 2012; Angiolina *et al.* 2013; Kim *et al.* 2014). 해안사구 식물의 공간분포에 대하여 사구에서 가장 빈번하게 일어나는 파랑과 바람에 의한 모래의 침식과 퇴적이 중요하다는 주장(Patricia 1986; Palmsten and Holman 2012; Choi *et al.* 2013), 태풍과 같은 극단적인 기후 조건이 중요하다는 주장(Miller *et al.* 2010), 인간에 의한 간섭이 크게 영향을 미친다는 주장(Elena *et al.* 2011), 염분 포말이나 이로 인한 토양의 화학적 성질이 중요하다는 주장(Avis and Lubke 1996; Angiolina *et al.* 2013) 등 대체적으로 염생식물의 분포에 영향을 미치는 요인들은 비슷하지만 각각의 사구마다 기후조건, 입지조건 및 인간의 간섭이 다르기 때문에 주요한 영향은 다소 다르다고 할 수 있다. 고래불 해안사구에서 염생 초본 식물의 분포에 영향을 주는 주요한 요인은 해안으로부터

터 거리, 지형(고도) 및 곰솔의 유무의 세 가지로 요약된다. 고래불 사구지역은 식생이 잘 보전된 지역으로 다른 지역에 비해 인간의 간섭보다 해안으로부터의 거리에 따른 자연적인 요인들의 변화와 교란에 더 크게 영향을 받고 있다고 결론지을 수 있다. 고래불 사구에서는 파랑과 바람에 의해 모래의 침식과 퇴적이 반복되면서 해안선의 전진과 후퇴 및 고도의 변화가 일어나면서 토양의 화학적 속성 및 식생의 분포가 변화하는데 그러한 차이를 유발하는 가장 중요한 요인은 해안으로부터의 거리이다(Rieley 1990; Zuo *et al.* 2012).

적 요

고래불 해안사구에서 2012년 6월에 염생식물의 공간분포에 영향을 주는 요인을 분석하였다. 해안에 인접하여 일차사구가 그리고 초본식생과 송림이 만나는 경계선에 2차사구가 형성되어 있다. 고래불 사구에서 염생식물은 크게 전사구와 사구저지에 분포하는 갯그렁, 통보리사초, 갯메꽃, 갯씀바귀 및 갯방풍의 한 그룹, 사구저지에 주로 분포하는 갯완두와 왕잔디의 두 번째 그룹, 그리고 배후사구인 송림 내에 분포하는 곰솔, 순비기나무 및 해란초의 세 번째 그룹으로 구분할 수 있다. 해안으로부터 거리에 따른 염생식물의 분포는 갯씀바귀 - 갯그렁 - 통보리사초 - 갯메꽃 - 갯방풍 - 왕잔디 - 갯완두 - 해란초 - 순비기나무의 순이었다. 모래의 이동이 많아서 사구 내에서 비교적 불안정하고 변화가 많은 서식지에는 갯그렁, 통보리사초, 갯메꽃, 갯씀바귀 및 갯방풍이 주로 분포하였다. 순비기나무는 안정된 서식지에 분포하였다. 고래불 사구에서 염생식물의 분포에 가장 중요하게 영향을 주는 요인은 해안으로부터 거리, 지형 그리고 송림의 분포라고 결론지을 수 있다. 고래불 사구는 상대적으로 인간의 간섭이 적고 식생이 잘 보전된 지역이다. 따라서 다른 사구 지역에 비해 인간의 간섭보다는 자연적인 과정들에 의한 물리화학적 요인들의 상이한 분포가 염생식물의 공간분포에 더욱 중요하다. 고래불 사구에서 중요한 자연적인 과정들은 파랑에 의한 해안선의 전진과 후퇴, 바람과 파랑으로 인한 모래의 침식과 퇴적 그리고 해수의 산포이다.

사 사

야외 현장에서 함께 땀을 흘린 강릉원주대학교 생물학과 생태학연구실의 김준석, 오상혁, 최승호, 강현구, 황지원, 김기남, 이미진 씨에게 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Ahn YH. 2003. Phytosociological study on the vegetation of sand dune in shindoori seashore. *J. Korean Env. Res. Re-veg. Tech.* 6:29-40.
- Allen EB. 1989. The restoration of disturbed arid landscapes with special reference to mycorrhizal fungi. *J. Arid Environ.* 17:279-286.
- Angiolina C, M Landi, G Pieroni, F Frignani, MG Finoaia and C Gaggi. 2013. Soil chemical features as key predictors of plant community occurrence in a Mediterranean coastal ecosystem. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 119:91-100.
- Avis AM and RA Lubke. 1996. Dynamics and succession of coastal dune vegetation in the eastern cape, South Africa. *Landscape Urban Plan.* 34:237-254.
- Bang HJ. 2011. Characteristics and changes of Goraebul coast depositional landforms. MS thesis. The Graduate School of Education Kyungpook National University. Korea.
- Bird E. 2008. Coastal geomorphology an introduction. Wiley. 411p.
- Choi GH, Y Kim and PM Jung. 2013. Adverse effects of planting pine on coastal dunes, Korea. *J. Coast. Res.* 65:909-914.
- Choi HK. 2010. An assessment of the conservation status in east coastal sand dunes, Korea. MS thesis. The Graduate School of Gangneung-Wonju National University. Korea. 136p.
- Cordazzo CV and U Seeliger. 1993. Zoned habitats of southern brazilian coastal foredunes. *J. Coast. Res.* 9:317-323.
- Costa CSB, CV Cordazzo and U Seeliger. 1996. Shore disturbance and dune plant distribution. *J. Coast. Res.* 12:133-140.
- Elena DL, N Claudia, B Fabio, M Patrizia, I Massimo and N Giuseppe. 2011. Coastal dune systems and disturbance factors: monitoring and analysis in central Italy. *Environ. Monit. Assess.* 183:437-450.
- Han YH, YH Lee, JB Kim and KJ Cho. 2013. Vegetation characteristics of coastal sand dune in the east coast. *J. Korea Env. Res. Tech.* 16:55-69.
- Houser C, C Hobbs and B Saari. 2008. Posthurricane airflow and sediment transport over a recovering dune. *J. Coast. Res.* 24:944-953.
- Isermann M, H Koehler and M Mühl. 2010. Interactive effects of rabbit grazing and environmental factors on plant species-richness on dunes of Norderney. *J. Coast Conserv.* 14:103-114.
- Jeong MH. 2014. What are the determinants for the spatial distribution of halophytes in the Goraebul sand dune, Korea?. MS thesis. The Graduate school of Gangneung-Wonju National University. Korea. 89p.
- Jo WR. 1991. The geomorphic development of coastal lowland around Wolsong-ri. *Kyungpook Education Forum* 33:47-58.
- Jung YK and JW Kim. 1998. Coastal sand dune vegetation in Kyungpook province. *Korean J. Ecol.* 21:257-262.
- Kangwon green environment center. 2012. A study for the vegetation and restoration of Gangneung coastal region. 264p.
- Kil BS and JU Kim. 1984. The Vegetation of Seogno Island. *Korean J. Ecol.* 7:208-231.
- Kim CS and BS Ihm. 1988. Studies on the vegetation of the salt marsh in the southwestern coast of Korea. *Korean J. Ecol.* 11:175-192.
- Kim DH. 2004. Spatial distribution of plant species with relation to soil-terrain-distance factors in coastal dune fields, Sindu-ri, Korea. MS thesis. The Graduate School of Seoul National University. 119p.
- Kim HJ. 2002. A study on the geomorphic processes in the vicinity of the groins at the Songdo beach of the Pohang area. MS thesis. The Graduate School of Ewha Womans University. 119p.
- Kim JH. 1990. Study on the Vegetation of Jindo County. *Korean J. Ecol.* 13:33-50.
- Kim KD. 2005. Invasive plants on disturbed Korean sand dunes. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 62:353-364.
- Kim Y, GH Choi and PM Jung. 2014. Changes in foredune vegetation caused by coastal forests. *Ocean Coast. Manage.* 102:103-113.
- Lee HJ. 1981. A study on the vegetation of the Saeng-il island. *Korean J. Ecol.* 4:80-92.
- Lee WT and SK Chon. 1983. Ecological studies on the coastal plants in Korea-floristic composition and standing crop of the sand dune on the southern coast. *Korean J. Ecol.* 6:177-186.
- Lee WT and SK Chon. 1984. Ecological studies on the coastal plants in Korea - On the sand dune vegetation of the western coast. *Korean J. Ecol.* 7:74-78.
- Masetti R, S Fagherazzi and A Montanari. 2008. Application of barrier island translation model to the millennial-scale evolution of Sand Key, Florida. *Cont. Shelf Res.* 28:1116-1126.
- Miller TE, ES Gornish and HL Buckley. 2010. Climate and coastal dune vegetation: disturbance, recovery, and succession. *Plant Ecol.* 206:97-104.
- Min BM. 2004. Growth Properties of *Carex kobomugi* Ohwi. *Korean J. Ecol.* 27:49-55.
- Oh KH. 1996. The Geomorphic Development and its Paleoenvironment of the Middle Part of the Coastal Plain Gangweondo, Korea. *The Korean Journal of Quaternary Research* 10:53-68.
- Palmsten ML and RA Holman. 2012. Laboratory investigation

- of dune erosion using stereo video. *Coast. Eng.* 60:123-135.
- Patricia MC. 1986. Sand movement as a factor in the distribution of plant communities in a coastal dune system. *Vegetatio* 65:67-76.
- Rieley JO and SE Page. 1990. Ecology of plant communities. A phytosociological account of the British vegetation. Longman Scientific and Technical, United Kingdom. 1990p.
- Rubio A and A Escudero. 2000. Small-scale spatial soil-plant relationship in semi-arid gypsum environments. *Plant Soil* 220:139-150.
- Son MW, JC Seo and YG Jeon. 2002. The characteristics of coastal geomorphological system of Chilpo. *The Geographic Journal of Korea* 36:227-237.
- Watkinson AR and AJ Davy. 1985. Population biology of salt marsh and sand dune annuals. *Plant Ecol.* 62:487-497.
- Yim YJ and WT Lee. 1976. On the vegetations of Judo and Gamagseum. *Korean Jour. Botany* 19:49-61.
- Zuo X, H Zhao, X Zhao, T Zhang, Y Guo, S Wang and S Drake. 2008. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. *Soil Till. Res.* 99:202-121.
- Zuo X, X Zhao, H Zhao, T Zhang, Y Li, S Wang, W Li and R Powers. 2012. Scale dependent effects of environmental factors on vegetation pattern and composition in Horqin Sandy Land, Northern China. *Geoderma* 173-174:1-9.

Received: 6 July 2017

Revised: 6 September 2017

Revision accepted: 7 September 2017