

신두리 해안사구의 미지형별 식생의 대상구조와 다양성 변화¹

- 천연기념물 지정지를 중심으로 -

송홍선² · 조우^{3*}

Diversity and Zonation of Vegetation Related Micro-Topography in Sinduri Coastal Dune, Korea¹

- Focused on the Natural Monument Area -

Hong-Seon Song², Woo Cho^{3*}

요약

한반도 신두리 해안사구를 대상으로 TWINSpan 분류법과 DECORANA 배열법에 의한 미지형과 식생의 대상구조 및 변화를 예측한 결과는 다음과 같다. 해안사구의 미지형과 식생은 해안선에서 내륙을 향해 뚜렷한 띠모양의 대상구조를 이루었다. 해안선 방향의 사빈은 수송나물의 출현이 많았고 일차사구는 갯그렁이 우점하였다. 사구저지는 쯤보리사초와 띠가 군락을 이루었으며 사구습지는 산조풀이 넓게 분포하였다. 이차사구는 띠와 갯쇠보리가 주종을 이루는 가운데 순비기나무와 해당화가 분포하는 양상이었고 내륙방향의 배후구릉지는 아까시나무와 곰솔이 우점하였다. 그러나 해안사구는 해안선 방향의 선구종으로 알려진 통보리사초가 후방의 이차사구에서 우점하였고 내륙성의 억새와 귀화식물의 겹달맞이꽃이 해안사구 전체에서 불규칙하게 덮고 있어 미지형의 안정화가 불확실하였다. 특히 억새는 해안사구의 안정화가 진행될수록 유집성이 높은 사구저지, 이차사구, 일차사구의 우점종으로 변화가 예측되었으며 일차사구와 이차사구 사이의 도로와 사구습지의 확대는 식물분포의 대상구조에 영향을 줄 것으로 판단되었다.

주요어 : 사구저지, 이차사구, 선구종, 억새

ABSTRACT

The results of this research on the diversity, zonation of vegetation and micro-topography by TWINSpan classification and DECORANA ordination, executed with Sinduri coastal dunes of Korea, are as follows: The vegetation and micro-topography of coastal dunes formed a noticeably clear zonation structure. The beach in the direction of the coastline saw a lot of appearance of *Salsola komarovi* and the primary dune was dominated by *Elymus mollis*. *Imperata cylindrica* var. *koenigii* and *Carex pumila* formed a colony at flat area of the sand hills and *Calamagrostis*

1 접수 3월 31일 Received on Mar. 31, 2007

2 민속식물연구소 Ethno-plant Research Institute, Seoul(140-845), Korea(hssong1@hanmail.net)

3 상지대학교 관광학부 Division of Tourism, Univ. of Sangji, Wonju(220-702), Korea(woocho@sangji.ac.kr)

* 교신저자, Corresponding author

epigeios was widely distributed at the wet slack. The secondary dune was dominated mostly by *Ischaemum antheperoides* and *Imperata cylindrica* var. *koenigii*, and it showed an aspect of the distribution of *Vitex rotundifolia* and *Rosa rugosa*. while the hinterland hillside in the direction of inland was dominated by *Robinia pseudo-acacia* and *Pinus thunbergii*. However, *Carex kobomugi*, known as the pioneer species of the coastline-bound areas at the coastal dune, dominantly occupied the secondary dune of the rear side and continentally-inclined *Miscanthus sinensi* and *Oenothera biennis* of naturalized plant were irregularly spread over the whole of the coastal dune, so the stabilization of micro-topography seemed to be uncertain. Particularly, *Miscanthus sinensis* was predicted to be changed into dominant species of the primary dune, and secondary dune and slack having a commonly high species gathering inclination with the more progress of stabilization of the coastal dune. The expansion of sand hill wetlands and roads located between the primary dune and secondary dune was judged to have an effect on the zonation structure of plant distribution.

KEY WORDS : SLACK, SECONDARY DUNE, PIONEER SPECIES, MISCANTHUS SINENSIS

서론

충청남도 태안군 신두리의 해안사구는 해안선 길이 3~3.4km, 해안선에서 구릉지까지 최대 1.3km 너비의 크기로 발달하였으며 미지형(microtopography)이 다양하게 나타남은 물론 사구생태계 등 자연환경이 원형에 가깝게 보존되어 있어 생태적 가치가 높게 평가되는 지역이다(신창성, 2002; 환경부 국립환경연구원, 2002). 때문에 이곳은 지형과 생태계의 중요도에 따라 2001년 문화재청의 천연기념물 제 431호, 2002년 해양수산부의 생태계보전대상지역, 환경부의 생태경관보전지역으로 각각 면적을 달리하여 지정하였다. 이 가운데 천연기념물 지역은 지형과 식생의 보존이 양호한 북동부에 한정되어 있다.

신두리사구 식생은 겨울에 북서계절풍이 운반하는 모래를 불들어 쌓이게 함으로써 사구의 성장을 촉진시키고 지면의 안정을 도모하고 있으며 그에 따라 형성된 미지형은 해안선에서 내륙까지 일련의 띠모양 구조로서 발달하였다.

신두리의 해안사구에 관한 연구로는 서종철(2002) 등이 지형분류와 침식 및 변화를 조사하여 보고한 바 있으며 안영희(2003), 최충호(2004)는 식물상(flora)과 식생(vegetation)에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 전승훈(1998), 신창성(2002)은 해안사구 보전 및 복원의 생태학적 접근을 시도하였고, 류평우(2004), 강대균(2006)은 이곳의 단위 지형, 즉 미지형을 분류하면서 식물상을 조사하였으나 미지형과 식생구조의 복합적인 관계를 체계적으로 밝히지 않았다.

신두리사구 미지형은 띠모양의 위치와 그 형태에 따

라 독특한 식생구조를 가질 것으로 사료되며 해안사구 식생의 전형적인 대상구조(zonation)와도 관련이 있을 것으로 판단된다. 그러나 무분별한 개발과 인위적인 간섭에 의한 교란으로 습지면적 및 아까시나무와 귀화 식물 생육면적이 점차 증가(김대현, 2004)하는 등 지형과 식생의 변화가 예상되고 있다. 그러나 이곳의 교란이나 해안사구의 발달과정에 따른 미지형별 식물상과 식생구조의 변화를 예측한 연구는 찾아보기 힘들다.

본 연구는 신두리 해안사구에서 띠모양으로 형성된 미지형의 종조성을 바탕으로 식생의 대상구조와 어떠한 관계에 있는지를 파악하고 미지형의 발달 및 식생구조의 다양성변화를 예측함으로써 식생과 지형 변화 연구의 기초자료로 제공이 가능할 것으로 보여 수행하였다.

연구방법

1. 대상지역

연구지역은 충청남도 태안군 신두리에 위치한 해안사구 중에서 천연기념물 제 431호로 지정된 곳이며 그곳에 형성된 미지형과 그 미지형의 식생을 대상으로 2006년 6월에 2회의 현지조사를 실시하였다. 연구 대상지역과 미지형은 Figure 1과 같이 사빈(sand beach, A), 일차사구(전사구, primary dune, B), 사구저지(평탄지, slack, C), 사구습지(wet slack, D), 도로지역

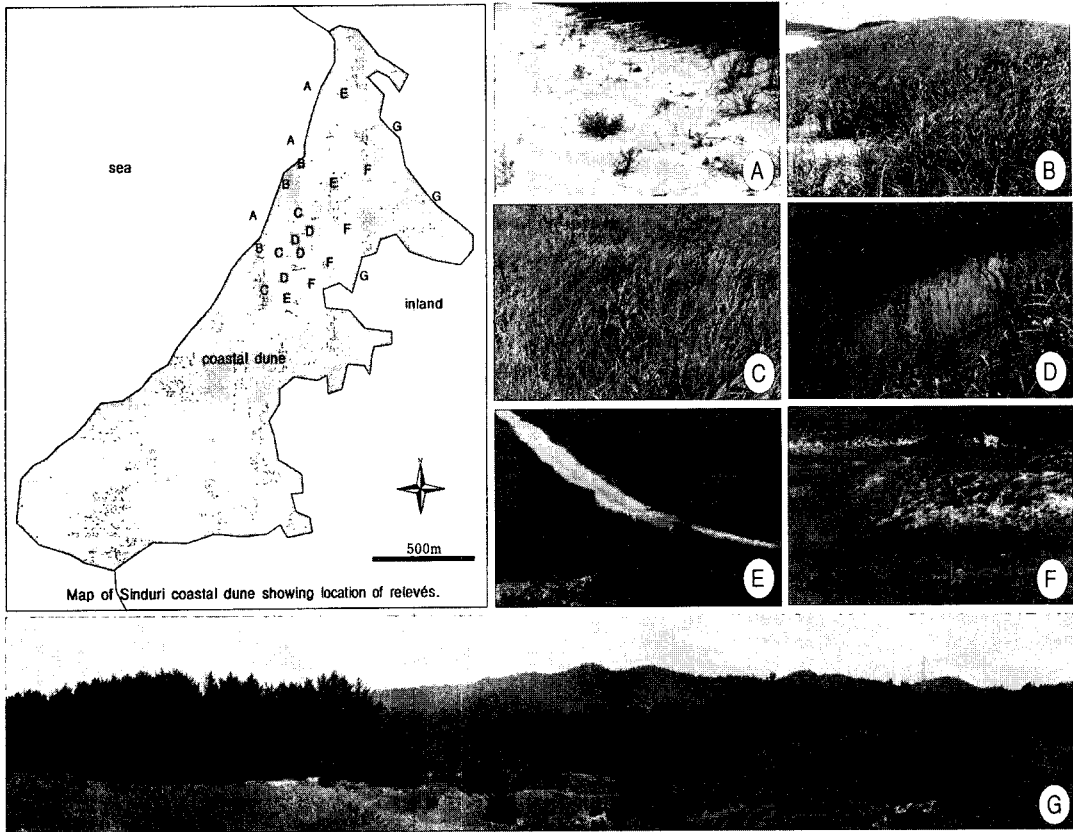


Figure 1. Location of relevés and microtopography investigated for the text in Sinduri coastal dune of Korea.

A: sand beach, B: primary dune, C: slack, D: wet slack, E: road region, F: secondary dune, G: hinterland hillside.

(road region, E), 이차사구(secondary dune, F), 배후구릉지(hinterland hillside, G) 등 신창성(2002), 류평우(2004), 강대균(2006)의 분류에 따랐다. 그리고 미지형 중 사빈은 식생조사에 있어서 간조 때에 모래가 드러나는 전 지역을 대상으로 하지 않고 해안선과 일차사구가 접한 구역을 대상으로 하였다.

2. 식생조사

식생조사는 미지형별로 상관(physiognomy)에 의하여 수와 양적으로 우세하면서 식분(植分)이 비교적 균질한 지점을 선택하여 방형구(quadrat)를 설치하고 분포조사와 병행하여 실시하였다. 이 방형구의 조사구(relevé)는 미지형과 구성종의 분포특이성에 따라 2×2m(4m²), 2×3m(6m²)의 면적을 임의로 설정하였다.

식생조사는 조사구 내에 출현하는 모든 식물을 Braun-Blanquet(1964)의 정량적 측도의 우점도(dominance) 계급(또는 피도 계급)으로 측정하고 기록하였으며, 피도는 우점도 계급을 %로 환산하여 산출하였다. 식생구조의 분석을 위한 조사구는 Figure 1의 지도에 나타난 바와 같이 사빈 3지점, 일차사구 3지점, 사구저지 3지점, 사구습지 4지점, 도로지역 3지점, 이차사구 4지점, 배후구릉지 3지점 등 미지형별로 각각 3~4지점씩 총 23지점을 선정하고 최종 분석에 사용하였다.

3. 다변량 식생분석

본 연구에서 사용한 요인분석(factor analysis)과 유집분석(cluster analysis)은 식생의 군락분류가 아니라 해안사구 미지형의 식생변화에 따른 유형구분과

결합양상을 밝히기 위하여 인용하였다. 즉 요인분석의 환경요인에 따른 배열은 식생의 대상구조 배열로 해석하였으며, 유집분석은 미지형별 식생의 유사성을 입증하는 자료로 활용하였다.

이 분석을 위한 자료는 Braun-Blanquet(1964)의 우점도를 Van der Maarel *et al.*(1978)과 Van der Maarel(1979)의 식생등급계급치(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)로 환산하여 raw data matrix를 작성하였다. 이렇게 작성한 자료는 식생등급계급치와 동일한 cut level을 적용한 후 전산분석에 사용하였다. 요인분석의 DCA(detrended correspondence analysis)와 유집분석의 TWINSpan(two-way indicator species analysis)은 DECORANA와 TWINSpan(Hill, 1994)에 따랐으며 분석 프로그램은 기존의 결점을 가장 최근에 보완한 McCune & Mefford(1999)의 'PC-ORD'를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 미지형별 식물분포

신두리 해안사구의 미지형은 해안선의 사빈에서부터 내륙 방향으로 가면서 일차사구, 사구저지와 사구습지, 도로, 이차사구, 배후구릉지 순의 띠모양으로 형성되어 있는데(신창성, 2002; 류평우, 2004; 강대균, 2006), 미지형별 조사구에서 출현한 총 종수와 피도 및 주요 식물은 Table 1과 같다. 해안선 방향의 사빈(sand beach)에 출현하는 식물은 수송나물(*Salsola komarovii* Ilj.), 가는갯쟁이(*Atriplex gemelinni* C. A. Mey.) 등 총 6분류군으로서 적은 편이었으며 총 피도평균은 5.1%에 불과하였다. 그 중 피도가 높은 식물은 염분입자에 잘 견디고 수분증발을 최소화할 수 있는 일년초의 수송나물이었다. 해안사구 식물은 토양함수량을 비롯하여 지온변화 및 모래침식 등의 악조건을 극복하기 위

하여 생리와 형태적인 면에서 독특한 생육특성을 갖는데(Crawford, 1989), 신두리 해안사구의 사빈도 파랑과 바람의 작용 등으로 생육조건이 불안정하여 일시적으로 생육하는 일년초가 주종을 이루었다.

해안선의 사빈 다음에 위치하는 일차사구는 갯그령(*Elymus mollis* Trin.), 통보리사초(*Carex kobomugi* Ohwi), 갯완두(*Lathyrus japonicus* Willd.), 갯메꽃(*Calystegia soldanella* Roem. et Schult.), 모래지치(*Messerschmidia sibirica* L.) 등 14분류군의 식물이 출현하였으며 총 피도평균은 90.3%이었다. 우점종은 갯그령이었으며 그 밖의 출현식물은 피도가 매우 낮았다. 갯그령은 일본에서 해안사구의 선구군락(pioneer community)과 관목군락 사이에 자라는 것으로 알려졌으나(Miyawaki, 1977) 신두리 해안사구에서는 해안정선과 인접한 일차사구에 분포하는 특징을 나타내었다.

일차사구 후방의 사구저지(평탄지)는 띠(*Imperata cylindrica* var. *koenigii* Dur. et Sch.), 좁보리사초(*Carex pumila* Thunb.) 등 총 16분류군이 출현하였고, 총 피도평균은 79.7%이었다. 피도가 높고 가장 넓은 분포를 나타내는 식물은 띠이었으며, 좁보리사초는 모래이동과 퇴적이 거의 나타나지 않아 입지가 다소 안정된 곳에 많이 출현하였다. 그러나 띠와 좁보리사초는 겹달맞이꽃(*Oenothera biennis* L.)이 번성하고 사구습지의 영향으로 분포지를 점차 좁히는 것으로 조사되었다. 사구저지에는 해수와외의 비고차이에 의하여 군데군데 사구습지가 형성되고 있었다. 사구습지에 출현하는 식물은 총 12분류군이었고 총 피도평균은 76.0%이었다. 다소 습한 곳에는 산조풀(*Calamagrostis epigeios* Roth.)이 높은 피도로서 우점하였고, 물가에는 골풀(*Juncus effusus* var. *decipiens* Buch.), 갈대(*Phragmites communis* Trin.), 애기썩사리(*Lycopus maackianus* Mak.), 부처꽃(*Lythrum anceps* Mak.) 등이 출현하였으며 습지성 관목인 갯버

Table 1. Coverage and distribution of species related microtopography in Sinduri coastal dune of Korea

	Total species	Coverage(%)	Dominant species
Sand beach	6	5.1	<i>Salsola komarovii</i> Ilj.
Primary dune	14	90.3	<i>Elymus mollis</i> Trin.
Slack	16	79.7	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i> Dur. et Sch. <i>Carex pumila</i> Thunb.
Wet slack	12	76.0	<i>Calamagrostis epigeios</i> Roth.
Road region	16	6.6	
Secondary dune	15	60.8	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i> Dur. et Sch. <i>Ischaemum antheperoides</i> Miq.
Hinterland hillside	23	77.3	<i>Pinus thunbergii</i> Parl.

들(*Salix gracilistyla* Miq.)이 생육범위를 넓히고 있었다.

사구저지와 이차사구 사이의 도로지역(road region)은 훼손이 매우 심한 곳으로서 해안사구에 자라는 식물이 거의 출현하지 않았다. 주요 출현식물은 겹달맞이꽃을 비롯하여 매듭풀(*Kummerowia striata* Schin.), 질경이(*Plantago asiatica* L.), 사철쭉(*Artemisia capillaris* Thunb.) 등 총 16분류군이었고 총 피도평균은 6.6%이었다. 이밖에도 토끼풀(*Trifolium repens* L.) 등의 귀화식물이 출현하였으며 환경부에서 위해귀화식물로 지정된 돼지풀(*Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior* Desco.)도 매우 드물게 관찰되어 인위적인 간섭이 날로 심해지는 것으로 나타났다.

사구저지 후방의 이차사구(secondary dune)는 띠, 갯쇠보리(*Ischaemum antheophoroides* Miq.), 통보리사초, 해당화(*Rosa rugosa* Thunb.), 순비기나무(*Vitex rotundifolia* L.), 억새(*Miscanthus sinensis* Ander.) 등 15분류군이 자라고 있었으며 총 피도평균은 60.8%이었다. 우점종은 띠와 패치형(patch type)으로 분포하는 갯쇠보리였으며 해안사구의 안정단계 지역에 자라는 해당화, 순비기나무는 불규칙한 분포를 보였다. 이차사구는 해안정선의 선구종과 내륙의 곰솔(*Pinus thunbergii* Parl.) 사이에 해당화와 순비기나무군락이 발달하는 일본 해안사구의 식생구조(Miyawaki, 1981)와 비슷한 양상을 나타내었으나 초지군락의 구성종인 억새와 귀화식물의 겹달맞이꽃이 침투해 자라는가 하면 해안정선 방향에 자라는 통보리사초가 분포하고 있어 안정단계의 지역이라고 할 수 없었다.

해안사구 최후방에 위치하는 배후구릉지(hinterland hillside)는 총 23분류군이 출현하였고, 총 피도평균은 77.3%이었다. 이차사구와 배후구릉지 사이에는 아까시나무(*Robinia pseudo-acacia* L.)가 식재되었고, 곰솔이 우점한 내륙경계 근처에는 억새, 싸리(*Lespedeza bicolor* Turcz.), 땀방이덩굴(*Cocculus trilobus* DC.) 등이 관찰되었다.

2. 식생의 대상구조와 미지형의 특이성

해안사구의 식생은 지형의 물리적 변화와 식물의 생물학적 반응의 관계 때문에 해안선에서부터 내륙 방향으로 가면서 뚜렷한 대상구조를 나타낸다(Costa et al., 1996 ; Van der Laan, 1979). 이와 같은 구조는 신두리 해안사구의 식생구조에서도 볼 수 있었다.

Figure 2는 해안선에서 내륙 방향으로 형성된 미지형 위치와 그에 따른 주요 우점종을 나타낸 것이다. 미지형별 우점종은 해안선의 사빈에서 배후구릉지의 내륙 방향으로 가면서 수송나물, 갯그렁, 좀보리사초와 띠, 산조풀, 갯쇠보리, 해당화와 순비기나무, 아까시나무와 곰솔 등의 순으로 출현하였으며 이는 신두리 해안사구의 대상구조 식물분포이었다.

대상구조 식생분포는 종개체군의 연속성을 이론적 배경으로 하는 배열법(ordination)에 의하여 다소의 해석이 가능하였다. 배열법은 식생과 환경과의 관계를 표현하거나 그 상호작용에 대한 가정을 유추하는데 적합한 방법인데(Gauch, 1982 ; Greig-Smith, 1983), 신두리 해안사구는 Figure 3과 같이 배열법의 DCA분석에 의해서도 미지형별로 식생의 집단이 묶어져 Figure 2의 미지형과 식물분포의 대상구조 관계를 뒷받침하였다. 즉 조사구의 속성으로 볼 때에 1축의 0값 위치는 배후구릉지이며 500값은 해안선 지역이고, 2축의 0값 위치는 건조지이며 600값은 습지로 추측된다. 따라서 미지형별 식생구조는 해안선의 사빈(A)에서부터 내륙 방향으로 가면서 일차사구(B), 사구저지(C)와 사구습지(F), 도로(D), 이차사구(E), 배후구릉지(G) 순으로 위치하여 Figure 2와 거의 일치하는 미지형과 식물분포의 대상구조를 나타내었다.

그런데 이곳의 앞선 연구를 보면 안영희(2003)는 갯완두와 통보리사초가 해안정선의 군락이었고 다음으로 좀보리사초, 갯그렁, 해당화, 순비기나무, 겹달맞이꽃이 중간 지역의 군락이었으며 그 후방에 띠와 갯쇠보

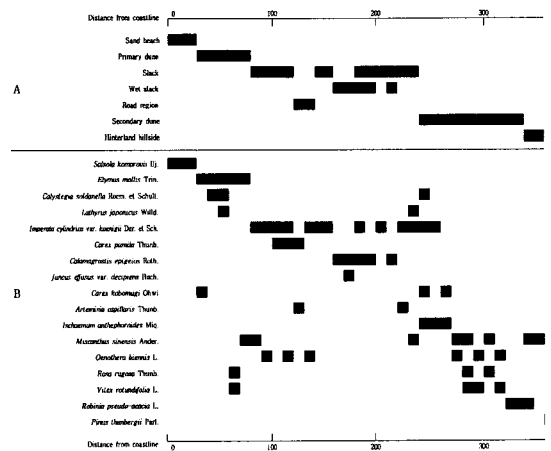


Figure 2. Zonation of plant community related microtopographs in Sinduri coastal dune of Korea

A: microtopographs, B: Species

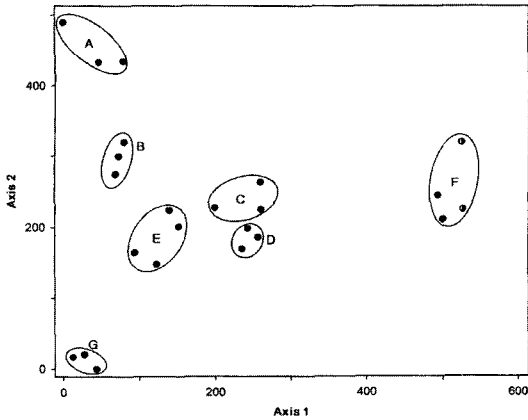


Figure 3. Graph of DCA ordination on corresponding 23 relevés of microtopography in Sinduri coastal dune of Korea

A: Sand beach, B: Primary dune, C: Slack, D: Road region, E: Secondary dune, F: Wet slack, G: Hinterland hillside

리가 군락을 이룬다고 보고하였다. 민병미(2004)는 해안선에서 내륙 방향으로 갯그렁, 갯메꽃, 갯완두, 해당화, 통보리사초, 갯쇠보리 순으로 분포한다고 하였다. 따라서 이 연구의 대상구조는 통보리사초와 갯그렁의 출현에 있어서 다소의 차이를 나타내었다. 안영희(2003)는 해안정선의 우점종은 통보리사초로 보았으나 민병미(2004)는 갯그렁으로 보고하면서 통보리사초를 해안사구 중간의 우점종으로 보았다.

미지형의 위치에 따른 본 조사의 대상구조에서는 해안선의 사빈에서 수송나물의 출현이 많았고 그 다음의 일차사구에서 갯그렁이 우점하는 양상이었으며, 안영희(2003)가 해안정선의 군락으로 보고한 통보리사초는 사빈과 일차사구 사이에서 드물게 출현하였으나 우점하지 않았으며 민병미(2004)의 보고와 유사하게 이차사구 전면에서 다소 우점하였다. 그리고 띠는 일차사구와 이차사구 전면에서 매우 넓게 분포하였으나 안영희(2003)는 일차사구보다 후방의 우점종으로 보았고 민병미(2004)는 대상구조의 우점종으로 언급하지 않았다. 특히 본 조사에서는 앞선 조사의 대상구조와 달리 사구저지의 군데군데에 넓게 형성된 사구습지에서 산조풀이 우점하였는데, 이 같은 대상구조 차이는 조사구의 선정 차이 때문으로 여겨지지만 해안사구의 변화에 따른 식생구조의 변화인지 아니면 미지형별 식생구조의 특이성 때문인지에 대해서는 앞으로 시공간적 연구가 더 필요한 것으로 판단되었다. 왜냐하면 산조풀의

우점은 사구습지가 시간과 공간적으로 점차 넓어졌기 때문으로도 볼 수 있었고 통보리사초는 해안정선의 미지형이 빠르게 변화하면서 급격하게 감소하였을 것으로도 볼 수 있기 때문이다.

3. 미지형과 식생의 관계 및 다양성변화 예측

해안사구 식생은 일본의 경우 해안선 방향에 수송나물 등의 유기물상 일년생 초본군락이 자라고 내륙 방향으로 가면서 다년생 초본의 통보리사초와 함께 갯메꽃, 갯방풍(*Glehnia littoralis* Fr. Schm.) 등이 정착하며 이어서 관목군락의 순비기나무, 해당화 등이 나타난다(Miyawaki *et al.*, 1980). 일본의 해안사구 선구종은 통보리사초, 갯메꽃으로 보고되었다(Kachi & Hirose, 1979 ; Nakanishi & Fukumoto, 1987 ; Ishikawa & Kachi, 1998).

신두리 해안사구에서는 일본에서 선구종으로 알려진 통보리사초, 갯메꽃과 함께 갯방풍이 해안정선 방향의 일차사구보다 그 후방의 이차사구에서 분포범위가 보다 넓고 개체수도 많게 출현하여 선구종으로 분포하지 않았으며, 대신에 일차사구에는 갯그렁이 우점하였다(Table 1과 Figure 2). 때문에 민병미(2004)는 갯그렁이 한반도 해안사구의 선구종이고 통보리사초가 그 뒤를 따르는 것으로 보고하였으나 한반도에서 신두리 이외의 대청도 해안사구 등에서 통보리사초가 해안정선에 넓게 분포하며 일본의 해안사구에서도 갯그렁은 선구종의 통보리사초보다 후방에 분포(Nakanishi & Fukumoto, 1991)하기 때문에 갯그렁을 한반도 해안사구의 선구종으로 규정짓는 데는 좀 더 세밀한 조사와 고찰이 필요한 것으로 사료되었다. 즉, 신두리 해안사구의 일차사구에 우점하는 갯그렁은 선구종보다는 선구종과 같은 역할을 하는 것이거나 신두리 해안사구에

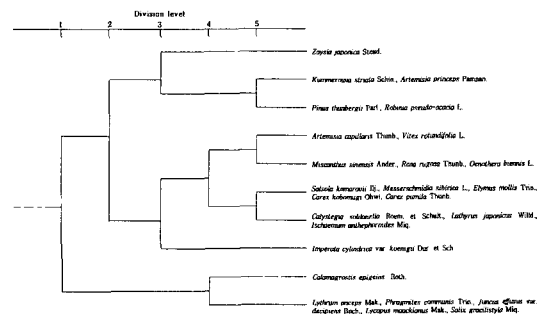


Figure 4. Cluster analysis of main species using TWINPAN in Sinduri coastal dune of Korea

만 한정된 선구종이라 할 수 있었다.

해안의 모래땅에 자라는 통보리사초는 Figure 4에 나타난 신두리 해안사구 주요 종의 유집분석과 같이 사빈의 우점종인 수송나물, 일차사구의 우점종인 갯그렁, 사구저지의 우점종인 좀보리사초 등과 집단을 이루었고 다음으로 이차사구의 우점종인 갯쇠보리와 가까운 집단을 이루었다. 이곳의 통보리사초 생육은 정용규와 김종원(1998)에 의한 동해안의 통보리사초-갯그렁군집, 통보리사초전형군락 보고와 김성민 등(2006)에 의한 남해안의 갯쇠보리-통보리사초군락 보고와 비슷하였다. 그런데 통보리사초는 일반적으로 해안정선의 모래땅에 침투하여 모래이동을 둔화시킨 후 개체수를 증가시키는 해안사구식물(Miyawaki, 1977)이지만 신두리 해안사구에서는 해안정선 방향의 일차사구보다 후방의 이차사구에 우점하였다. 따라서 신두리 해안사구의 해안정선은 파랑이나 바람에 의한 모래이동이 주요 요인으로 작용하여 미지형의 물리적 환경변화가 일어났음을 말해주는 것으로서 일차사구의 발달이 뚜렷한 것이 이를 입증하였다. 때문에 본래의 선구종이었던 통보리사초, 갯메꽃, 갯방풍이 점차 감소하였거나 후방으로 후퇴한 반면에 갯그렁이 남아 선구종처럼 우점하는 것으로 생각되었다. 이렇게 볼 때에 신두리 해안사구의 사빈과 일차사구 사이는 매우 불안정한 미지형이었다.

해안사구는 일반적으로 갯쇠보리와 해당화 등이 출현하면 지표면이 안정단계에 도달하였음을 의미하고 띠를 포함해 역새 등이 자라면 모래이동이 거의 정지되면서 성숙한 단계에 접어든다. 신두리 해안사구 후방의 이차사구는 갯쇠보리, 해당화, 순비기나무 등이 빈번하게 출현하였으나 불안정한 해안정선의 선구종으로 알려진 통보리사초, 갯메꽃, 갯방풍 등도 게릴라형의 분포를 보이는 것으로 조사되어 안정단계에 이르지 못한 상태였다. 이러한 상태는 일차사구와 이차사구 사이에 사구저지와 사구습지의 미지형이 형성되어 있기 때문에 오랫동안 지속될 것으로 여겨졌다. 그리고 사구저지에는 해안사구 후방에 분포하는 띠가 우점하고 사구습지에는 산소풀이 우점하여 해안사구의 전형적이고 연속적인 대사구조를 이질적으로 만들었다. 특히 이차사구에서는 갯쇠보리, 해당화, 순비기나무 이 외에 역새의 생장이 양호하고 분포범위를 넓히는 것으로 조사되어 앞으로 해안사구의 안정화 정도에 따라 점차 역새가 우점하는 양상을 나타낼 것으로 추측되었다.

이 같은 추측은 신두리 해안사구의 미지형에 따른 식생의 유사집단으로 묶은 Figure 5의 조사구(미지형) 유집분석과 Figure 6의 chi-squared(χ^2)에 의한 계

층적 유사도 거리로서 짐작할 수 있었다. 유집분석에서는 2수준에서 3개의 집단으로 묶어졌는데, 즉 도로, 배후구릉지 집단을 비롯하여 사구저지, 이차사구, 일차사구, 사빈 집단과 구별되어 사구습지 집단으로 구분되었다. 유사도 거리에서는 일차사구, 이차사구, 사구저지 집단이 가깝게 나타났고 다음으로 배후구릉지, 도로, 사구습지 순으로 멀게 나타났다.

이 분석에서 특징적인 것은 이차사구와 사구저지의 유사성이 매우 높고 다음으로 일차사구이었으며 사빈과 사구습지의 유사성이 매우 낮았다는 것이다. 따라서 이차사구와 사구저지는 식생의 구조와 생육환경을 공유하는 것으로도 볼 수 있으므로 이차사구의 역새 등은 사구저지로 분포지를 넓힐 것으로 판단할 수 있었다. 해안사구의 안정화가 진행될수록 역새뿐만 아니라 교란지의 생육이 왕성한 달맞이꽃 등의 귀화식물도 이차사구와 사구저지는 물론 일차사구까지 분포지를 확대할 것으로 사료되었다.

역새 등이 분포지를 넓히는 이차사구는 전면에 형성된 블로우아웃(blowout, 식물피복이 파괴되어 모래가 패인 미지형)의 발달이 빠르게 진행되지 않을 경우 안정화와 더불어 내륙화의 초기단계를 나타낼 것으로 여겨졌다. 그러나 블로우아웃의 발달이 이차사구 방향으로 빠르게 진행될 경우에는 해안사구의 불안정으로 교란지의 침투성 귀화식물이 자라거나 띠군락으로 변화하였다가 역새군락으로 천이가 진행될 것으로 추측되었으며, 제주도에서는 이미 띠군락이 역새군락으로 천이가 진행되고 있다(김문홍과 신용만, 2000).

신두리 해안사구의 이차사구와 사구저지의 식생은 파랑과 바람 등의 환경요인에 따른 해안사구의 발달과정에서 변화가 예상되었는데 이는 복서계절풍에 의하여 형성된 타원형의 블로우아웃이 모래이동이 많아짐에 따라 길쭉하게 성장해 가기 때문이었다(강대균,

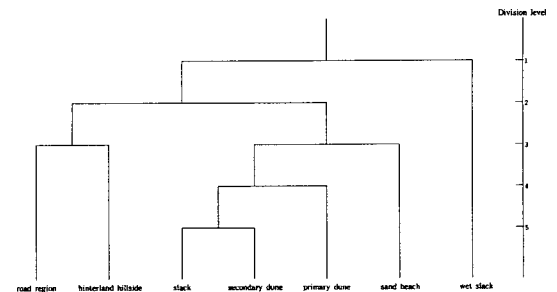


Figure 5. Cluster analysis of 23 relevés using TWINPAN in Sinduri coastal dune of Korea

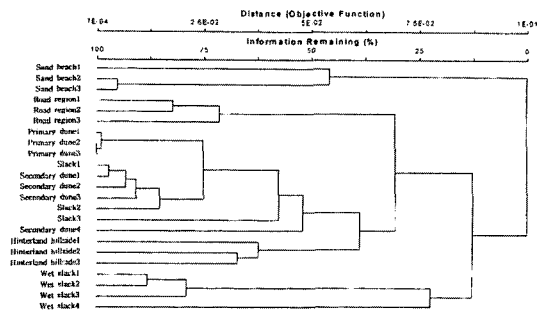


Figure 6. Dendrogram of hierarchical cluster analysis among microtopography related plant community in Sinduri coastal dune of Korea.

2006). 더욱이 블로우아웃은 현재 이차사구의 전면과 함께 모래가 두껍게 쌓여 해발고도가 높아진 북동부에 집중적으로 분포하였으며 일차사구에서도 드물게 나타나고 있어 해안사구의 발달은 물론 그에 따른 식생의 변화를 초래할 것으로 추측되었다.

이상의 결과를 종합하여 보면 신두리 해안사구는 블로우아웃의 발달과 사구습지의 확대에 따라 지형적 변화가 예상되는 물론 교란지의 귀화식물 침투, 내륙성의 역세 분포확대, 띠(사구저지)와 산소풀(사구습지) 군락분포에 의하여 전형적인 해안사구식생의 대상구조가 영향을 받을 것으로 추측되었다. 연구대상지는 해안사구의 지형적 변화가 식생의 변화를 초래할 것으로 예상되지만 이와 반대로 식생구조의 변화가 해안사구의 변화를 가져오는 지에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

인용문헌

강대균(2006) 천연기념물 신두리 해안사구의 지형과 식생. 한국지형학회지 13(3): 35-44.
 김대현(2004) 식생의 공간적 분포와 토양지형거리 요소들 사이의 관계에 관한 연구-신두리 해안사구지대를 사례로. 서울대 석사학위논문.
 김문홍, 신용만(2000) 제주의 육상식물. 제주자연식품회지 9.
 김성민, 신동일, 송홍선, 윤성탁(2006) 갯방풍의 식물사회학적 생육구조에 관한 연구. 한국국제농업개발학회지 18(2): 121-127.
 류평우(2004) 해안사구의 경관에 따른 식생관리방안에 관한 연구-신두 해안사구지대를 사례로. 경원대 석사학위논문.

민병미(2004) 통보리사초의 생육특성. 한국생태학회지 27(1): 49-55.
 서종철(2002) 원격탐사와 GIS 기법을 이용한 신두리 해안사구지대의 지형변화 분석. 한국지역지리학회지 8(1): 98-109.
 신창성(2002) 해안사구 보전관리에 관한 생태학적 연구-신두리 해안사구지대를 대상으로. 경원대 석사학위논문.
 안영희(2003) 신두리 해안사구지 식생의 식물사회학적 연구. 한국환경보존학회지 6(6): 29-40.
 전승훈(1998) 충청남도 태안군 신두 해안사구의 복원을 위한 식생학적 연구. 경원대 환경계획연구소 논문집, 16: 79-101.
 정용규, 김종원(1998) 경북의 해안사구식생. 한국생태학회지 21(3): 257-262.
 최충호(2004) 신두리 해안사구지역 일대의 관속식물상 및 식물군집구조. 전북대 석사학위논문.
 환경부 국립환경연구원(2002) 태안반도 신두리 사구습지(두용습지) 자연생태계 조사보고서.
 Braun-Blanquet, J.(1964) Pflanzensozologie. 3rd ed, Springer-Verlag, Wien, pp.631.
 Costa, C. S. B., C. V. Cordazzo and U. Seeliger.(1996) Shore disturbance and dune plant distribution. J. Coastal Res 12: 133-140.
 Crawford, R. M.(1989) Studies in Plant Survival. Blackwell Scientific Pub., Oxford, pp. 296.
 Gauch, H. G.(1982) Multivariate analysis in community ecology. New York, Cambridge university press.
 Greig-Smith, P.(1983) Quantitative plant ecology. 3rd ed, University of California Press, Berkeley, CA.
 Hill, M. O.(1994) DECORANA and TWINSPLAN, for ordination and classification of multivariate species data; a new edition, together with supporting programs, in FORTRAN 77. Huntingdon, England.
 Ishikawa, S. I. and N. Kachi(1998) Shoot population dynamics of Carex kobomugi on a coastal sand dune in relation to its zonal distribution. Aust. J. Bot. 46: 111-121.
 Kachi, N. and T. Hirose(1979) Multivariate approaches of the plant communities related with edaphic factors in the dune system at Azigaura, Ibaraki Pref. I. Association analysis. Jpn. J. Ecol. 29: 17-27.
 McCune, B. and M. J. Mefford(1999) PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data, Version 4. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA.
 Miyawaki, A.(1977) Vegetation of japan compared with other region of world, Kakgen, Tokyo 535. Kyushu(vol. 2), Shibundo, Tokyo, 484.
 Miyawaki, A.(1981) Vegetation of japan Kyushu(vol. 2), Shibundo, Tokyo, 484.

- Miyawaki, A., K. Suzuki, K. Fujiwara and S. Okuda(1980) Potentielle naturliche vegetation des Chugoku-Gebietes(west Honshu), Bull. Ins. Enviro. Sci, Techno, Yokohama Univ, 6(1): 77-118.
- Nakanishi H, and H. Fukumoto(1987) Zonation of coastal vegetation and coastal topography in southern Japan, Jpn, J. Ecol, 37: 197-207.
- Nakanishi H, and H. Fukumoto(1991) Zonation of sand dune vegetation and depositional topography in the San-in district, western Honshu, Japan, Jpn, J. Ecol, 41: 225-235.
- Van der Laan, D.(1979) Spatial and temporal variation in the vegetation of dune slack in relation to the groundwater regime, Vegetatio 39: 43-51.
- Van der Maarel E., J. G. M. Janssen and J. M. W. Louppen(1978) TABORD: a program for structuring phytosociological tables, Vegetatio 38: 143-156.
- Van der Maarel, E.(1979) Transformation of cover-abundance value in phytosociology and its effect on community similarity, Vegetatio 39: 97-114.