

TWINSpan과 CCA Ordination에 의한 서해안 곰솔림과 토양환경과의 상관 분석

김민하¹⁾ · 박종민²⁾ · 장규관³⁾

¹⁾ 전북대학교 대학원 임학과 · ²⁾ 전북대학교 산림환경과학과 · ³⁾ 원광대학교 자연식물원

An Analysis of Correlation between *Pinus thunbergii* Forests and Soil Conditions by TWINSpan and CCA Ordination in West Coast of South Korea

Kim, Min-Ha¹⁾ · Park, Chong-Min²⁾ and Jang, Kyu-Kwan³⁾

¹⁾ Department of Forestry, Graduate School of Chonbuk National University,

²⁾ Department of Forest Environmental Science, Chonbuk National University,

³⁾ Botanical Garden of Wonkwang University.

ABSTRACT

Vegetation and soil conditions of four sites in west coastal forests in South Korea, were examined to analyze the relationship between *Pinus thunbergii* forests structure and soil conditions. The *P. thunbergii* forests were divided into four clusters; 1) *P. thunbergii* - *Prunus sargentii* var. *sargentii*, 2) *P. thunbergii* - *Robinia pseudoacacia*, 3) *P. thunbergii* - *P. densiflora* and 4) *P. thunbergii* - *Quercus serrata*. The soil of each site was poor in chemical characteristics but good enough for land plants to grow because of its low salt concentration. According to the results by CCA Ordination, certain excessive soil nutrition has influenced on vegetation and specific species distribution. Forty eight species were found in the whole sites of coastal forests and some species appeared in every site. They are *P. thunbergii*, *R. pseudoacacia*, *Rhus chinensis*, *Idesia polycarpa* and *Morus alba*. For the tree species importance value, *P. thunbergii* was followed by *R. pseudoacacia*, *Q. serrata*, *P. densiflora*, *Celtis sinensis*, *M. alba*, *I. polycarpa* and *Q. mongolica* in order.

First author : Kim, Min-Ha, Graduate School of Chonbuk National University,

Tel : +82-63-270-2639, E-mail : violet2578@naver.com

Corresponding author : Jang, Kyu-Kwan, Researcher, Botanical Garden of Wonkwang University, Iksan-si 54538, Korea,

Tel : +82-63-850-5043, E-mail : jangkk@wku.ac.kr

Received : 25 November, 2015. **Revised** : 22 February, 2016. **Accepted** : 27 February, 2016.

Key Words : *Pinus thunbergii* - *Prunus sargentii* community, *P. thunbergii* - *Robinia pseudoacacia* community, *P. thunbergii* - *P. densiflora* community, *P. thunbergii* - *Quercus serrata* community, importance value.

I. 서 론

해안림은 오래 전부터 바닷가를 중심으로 농경지나 생활환경을 보호하기 위해 조성된 숲이다. 최근에는 해안림이 방풍·비사방지·공기정화·자연적 완충 및 내륙과 해안을 연결하는 생태 축 등 다양한 기능을 하고 있다고 평가된다. 해안림은 해양성 기후라는 독특한 환경과 다른 식물 종들과의 경쟁을 통하여 도태되거나 살아남아 일정한 형태의 식물사회를 형성하게 된다. 또한 내륙의 산림과는 달리 종의 구성이 독특하며, 환경 변화에 따라 생물상의 변화도 현저히 달라지는 것으로 알려져 있다(Oh, 2002).

현재까지 우리나라 서해안 해안림과 관련된 연구는 서해안 해안사구 식물군락의 종조성과 현존량(Lee and Chon, 1984), 신두리 해안사구 지역 일대의 관속식물상 및 식물군집 구조(Choi, 2004), 고창 구시포 해안 곰솔림의 생장 특성(Park et al., 2009), 해안림의 식물상을 분석한 동위도상 동·서해안 해안림의 식물상 및 임분구조(Choi, 2009), 한국 서해안의 내염성 및 내조성 자생수종(Kim, 2010), 서해안 방풍림의 식생구조 및 관리방안(Kim et al., 2012), 중부 서해안 식생 보전 및 복원을 위한 군집 생태학적 연구(Shin, 2013) 등이 있다.

이들의 연구 결과를 종합하여 보면, 현재 우리나라 서해안 지역 곰솔림의 구조는 교목층에 주로 곰솔이 분포하고, 아교목층이나 관목층에 아까시나무, 팽나무 및 참나무류 등이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 곰솔 위주의 단순림 구조는 병해충에 대한 내성에 취약할 뿐만 아니라, 장기적으로는 영속성에 문제가 있다는 단점이 있다.

일본의 경우, 곰솔 단순림에 솔껍질깍지벌레(*Matsucoccus thunbergianae*)나 재선충병(*Bursaphelenchus xylophilus*)의 피해가 빈번히 발생하고 있으며, 일부 노령화된 곰솔림에서는 뿌리썩음병도 발생하고 있다. 우리나라에서도 해안 지역의 곰솔림에서 솔껍질깍지벌레의 피해가 극심하였고, 최근에는 제주도와 남해안 일대에서 재선충병에 의한 곰솔림의 피해가 심각하게 나타났으며, 서해안 곰솔림에서는 리지나 뿌리썩음병이 발생한 바 있다(Lee et al., 2005). 이러한 곰솔림의 문제점을 해결하기 위해 일본에서는 식생천이, 병충해 및 토지이용 등 다각적인 면에서 곰솔림을 연구하거나 관리하고 있다(Nakashima, 2005).

그 중 가장 효율적인 대책은 곰솔림에 활엽수종을 도입하여 다층구조 해안림을 조성하는 것이다. 곰솔과 활엽수종이 혼효된 다층구조 해안림은 곰솔 단순림에 비해 병해충에 강하고, 임분 활력도가 높으며, 지속가능한 임분을 조성한다는 장점이 있다(Park et al., 2009). 우리나라 해안림도 동일한 문제점을 안고 있기 때문에 해안림을 영속적이고 안정적인 구조로 변화시키기 위해서는 다층구조 해안림을 조성하는 것이 필수적이다. 최근 들어 국가에서 시행한 해안지역 보전계획으로 생태학적 연구가 진행 중이지만, 체계적인 지원과 관리는 이루어지고 있지 않는 실정이다(Kim et al., 2014). 그러므로 해안림이 다양한 기능을 발휘할 수 있도록 하기 위해서는 생태학적 연구를 기반으로 한 적절한 관리방법의 개발과 적용이 지속적으로 시행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 서해안에 위치한 해안림을 대상으로 식생특성과 토양환경

을 조사하여 군락을 분류하고 환경요인과의 상관관계를 분석함으로써 해안림의 보호와 관리 등을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 연구방법

1. 조사대상지 개황

본 연구의 조사 대상지는 서해안에 위치한 충남 장항, 춘장대, 태안 기지포 및 전북 고창 구시포에 위치한 4개 해안림을 선정하였다. 이들 4개 지역 조사대상지의 위치는 Figure 1과 같다.

장항 해안림은 충남 서천군 장항읍에 위치하고, 해안선의 총 길이는 1.42km, 면적은 약 34.22ha, 폭은 최대 400m이다. 교목층은 주로 곰솔로 이루어졌고, 아교목층과 관목층에 아까시나무를 비롯한 여러 활엽수종이 분포하고 있다. 춘장대 해안림은 서천읍에서 북쪽으로 34km 떨어진 곳에 위치하고, 해안선의 총 길이는 2km, 해안림의 총 면적은 약 44.07ha, 폭은 최대 600m이다. 교목층은 주로 곰솔로 이루어졌고 아교목층과 관목층에 아까시나무, 졸참나무와 신갈나무 등이

분포하고 있다. 기지포 해안림은 태안군 서해안에 위치하고, 해안선의 총 길이는 1.87km, 면적은 약 36.98ha, 폭은 최대 300m이다. 구시포 해안림은 전북 고창군 상하면에 위치하고, 해안선의 총 길이는 총 길이 1.5km, 총 면적 약 71.84ha, 폭은 최대 400m이다. 구시포 해안림은 4개 지역 중 가장 넓은 면적이지만, 곳곳에 해수욕장 관련 시설과 숙박 시설 등이 산재해 있다.

2. 조사방법

1) 조사구의 설정

조사구는 비교적 인위적 간섭을 덜 받은 지역을 대상으로 아교목층과 관목층의 식생상황을 고려하여 설정하였다. 조사지역별 조사구는 기지포 5개, 춘장대 5개, 장항 20개, 구시포 5개로 총 35개이다. 장항 해안림에 조사구를 가장 많이 설정한 이유는 다른 지역에 비해 아교목층과 관목층의 식생이 다양하여 해안 곰솔림의 생태학적 특성을 잘 파악할 수 있을 것이라고 판단되었기 때문이다. 각 조사구의 좌표는 Table 1과 같다.

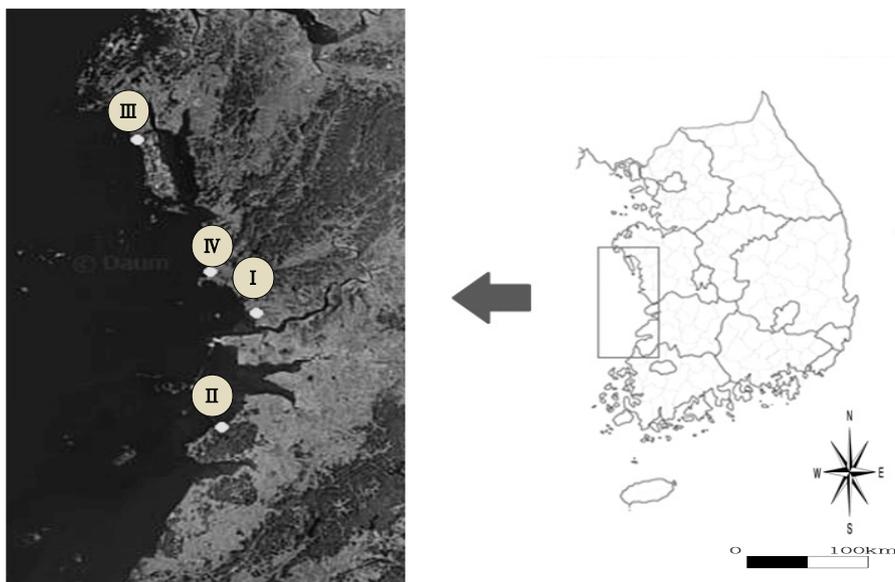


Figure 1. Map of the surveyed region (I: Janghang, II: Goosipo, III: Gijipo and IV: Chunjangdae) in the west coast of South Korea.

Table 1. Latitude and longitude of surveyed sites in Janghang, Goosipo, Gijipo and Chunjangdae coastal forests of South Korea.

Site	Latitude	Longitude	Region
1	36°1'30.77"	126°39'50.30"	I (Janghang)
2	36°1'23.87"	126°39'51.90"	I (Janghang)
3	36°1'17.73"	126°39'53.46"	I (Janghang)
4	36°1'3.98"	126°39'56.14"	I (Janghang)
5	36°1'4.00"	126°39'55.70"	I (Janghang)
6	36°1'1.36"	126°39'55.81"	I (Janghang)
7	36°1'1.39"	126°39'56.18"	I (Janghang)
8	36°1'1.62"	126°39'55.74"	I (Janghang)
9	36°1'1.61"	126°39'56.07"	I (Janghang)
10	36°1'1.44"	126°39'55.40"	I (Janghang)
11	36°0'55.21"	126°39'54.14"	I (Janghang)
12	36°0'54.10"	126°39'53.86"	I (Janghang)
13	36°0'53.11"	126°39'54.19"	I (Janghang)
14	36°0'53.46"	126°39'56.14"	I (Janghang)
15	36°0'56.17"	126°39'57.23"	I (Janghang)
16	36°0'55.66"	126°39'58.47"	I (Janghang)
17	36°0'50.92"	126°39'52.99"	I (Janghang)
18	36°0'52.02"	126°39'57.10"	I (Janghang)
19	36°0'52.46"	126°40'5.29"	I (Janghang)
20	36°0'56.26"	126°40'9.14"	I (Janghang)
21	35°26'30.42"	126°26'5.67"	II (Goosipo)
22	35°26'30.80"	126°26'8.71"	II (Goosipo)
23	35°26'32.53"	126°26'10.11"	II (Goosipo)
24	35°26'31.16"	126°26'11.16"	II (Goosipo)
25	35°26'35.74"	126°26'12.71"	II (Goosipo)
26	36°33'52.28"	126°19'19.98"	III (Gijipo)
27	36°33'54.29"	126°19'19.52"	III (Gijipo)
28	36°33'56.80"	126°19'20.93"	III (Gijipo)
29	36°33'54.97"	126°19'22.05"	III (Gijipo)
30	36°33'55.07"	126°19'23.93"	III (Gijipo)
31	36°10'2.92"	126°31'40.50"	IV (Chunjangdae)
32	36°10'2.09"	126°31'43.02"	IV (Chunjangdae)
33	36°10'4.18"	126°31'42.92"	IV (Chunjangdae)
34	36°10'7.49"	126°31'41.97"	IV (Chunjangdae)
35	36°10'5.65"	126°31'41.40"	IV (Chunjangdae)

2) 식생 조사

본 조사는 2014년 6월부터 10월까지 실시하였다. 조사구는 곰솔림의 생태적 구조와 특성에 대한 많은 정보를 획득하기 위하여 20m×20m 크기로 설치하고, 조사구 안의 흉고직경 2cm 이상 수목을 대상으로 매목조사를 실시하였다. 식물의 동정은 원색 대한식물도감(Lee, 2003)을 참고하였고, 학명은 산림청의 국가 생물종 지식 정보시스템(www. nature. go. kr)을 이용하였다.

3) 토양 조사

각 조사구에서 3개의 지점을 임의로 선정된 뒤 표토층의 낙엽이나 나뭇가지를 걷어내고 약 500g의 토양시료를 채취하였다. 채취한 토양은 실험실로 옮겨 그늘진 곳에 얇게 펴서 완전히 건조시킨 뒤, 건조된 토양을 2mm 체로 걸러 자갈과 잔뿌리 등의 이물질을 제거하였다. 토양의 화학적 특성의 분석은 농촌진흥청(RDA, 1988)의 토양 화학성분분석법에 의하여 전질소는 Micro-Kjeldahl법, 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 정량하였다. 치환성 칼슘과 마그네슘은 원자흡광분광분석법, 칼륨은 염광분광분석법, 나트륨은 Brown법, 전기전도도는 Electric conductivity meter로 측정하였다. 토양의 pH는 1 : 5로 희석하여 pH meter로 측정하였다.

4) Ordination 분석

식생조사 자료로 부터 각 종의 합성치 X_{ij} 를 다음과 같이 구하였다.

$$X_{ij} = (d_{ij} + D_{ij}) / 2$$

식에서 X_{ij} : j조사구에서 종 i의 합성치,

d_{ij} : 상대밀도, D_{ij} : 상대피도

합성치 X_{ij} 를 이용하여 각 조사구별로 종조성을 나타내는 vegetational data matrix를 작성하였다. 또한, 식생조사와 토양특성을 이용하

여 environmental data matrix를 작성하였다. Classification은 Hill(1979b)의 TWINSpan을 이용하였으며, 얻어진 자료는 0%, 2%, 5%, 10% 및 20%의 cut level을 사용하였다. 각 조사구에서 20% 이상의 중요치를 나타낸 수종을 그 조사구의 우점종으로 간주하였다.

Ordination은 CA(Correspondence Analysis)의 확장인 CCA(Canonical Correspondence Analysis)를 사용하였으며(Hill, 1979a, b; Hill and Gauch, 1980), 다변량의 직접구배 분석방법으로서 Ter Braak(1987)의 CANOCO program을 이용하였다.

5) 중요치 분석

각 조사구 내에 출현한 흉고직경 2cm 이상인 수목을 대상으로 상대밀도(relative density; RD), 상대피도(relative coverage; RC), 상대빈도(relative frequency; RF)를 계산하여 중요치를 구하였다(Curtis & McIntosh 1951; Greig-Smith, 1983).

상대밀도 = 어떤 수종의 개체수 / 모든 수종의 총 개체수 × 100

상대피도 = 어떤 수종의 피도 / 모든 수종의 피도의 합 × 100

상대빈도 = 어떤 수종의 빈도 / 모든 수종의 빈도의 합 × 100

중요치 = 상대밀도 + 상대피도 + 상대빈도

III. 결과 및 고찰

1. 군락분석

흉고직경 2cm 이상의 매목조사에서 얻은 정량적 측정치를 이용하여 곰솔림의 구성 집단을 알아보기 위하여 TWINSpan으로 분석한 결과 제1축에서 단풍나무(+), 복자기(+), 및 산벚나무(+),의 출현에 의해 크게 두 개 그룹으로 나누어졌다. 제2축에서 졸참나무(+),와 신갈나무(+),의 출현에 따라 곰솔-산벚나무군락(조사번호 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 18, 28, 31)과

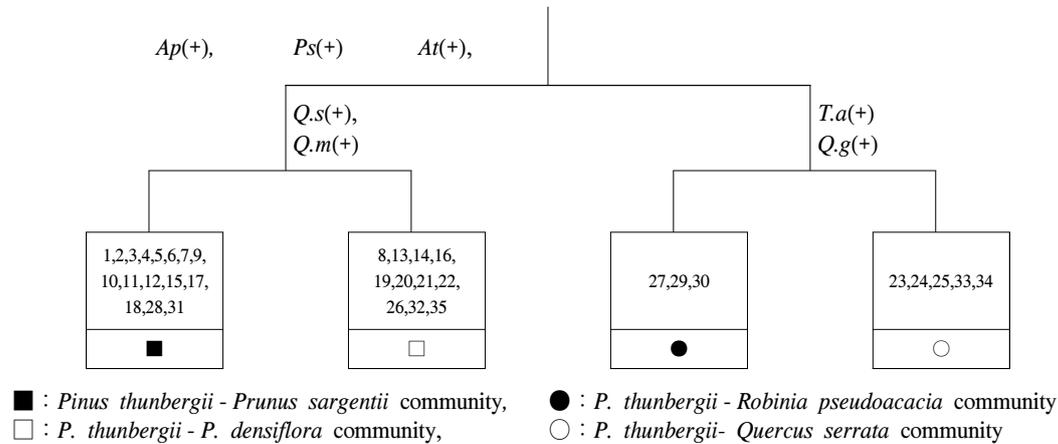


Figure 2. The pathway of subdivision into community of *Pinus thunbergii* groups by using TWINSpan(A.p: *Acer palmatum*, P.s: *Prunus sargentii*, A.t: *A. triflorum*, Q.s: *Quercus serrata*, Q.m: *Q. mongolica*, T.a: *Tilia amurensis*, Q.g: *Q. glauca*).

곰솔-아까시나무군락(조사번호 8, 13, 14, 16, 19, 20, 21, 22, 26, 32, 35)으로 분리되었고, 제3축에서 피나무(+)와 증가시나무(+)의 출현에 따라 곰솔-소나무군락(조사번호 27, 29, 30)과 곰솔-졸참나무군락(조사번호 23, 24, 25, 33, 34)으로 분리되었다(Figure 2).

2. 토양의 화학적 특성

서해안 해안림의 35개 조사구에서 토양의 화

학적 특성을 분석하여 군락별 평균치를 나타낸 것이 Table 2이다. Table 2에서 보는 바와 같이 전체 조사구의 평균치는 pH 5.78, 전기전도도 0.071dS/m, 유기물 함량 0.869%, 전질소 0.433g/kg, 유효인산 7.261mg/kg, 칼륨 0.107cmol/kg, 칼슘 1.004cmol/kg, 마그네슘 0.453cmol/kg 및 나트륨 0.028cmol/kg이었다.

pH의 경우 홍도의 73개 조사구의 평균 pH 4.69(Lee et al., 2013)와 우리나라 산림토양의

Table 2. Soil physical characteristics of the four plant communities in the west coast of South Korea.

Soil characteristic	Community	<i>Pinus thunbergii</i> - <i>Prunus sargentii</i>	<i>P. thunbergii</i> - <i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>P. thunbergii</i> - <i>P. densiflora</i>	<i>P. thunbergii</i> - <i>Quercus serrata</i>
pH		7.11 ± 4.96	8.00 ± 5.04	5.29 ± 4.91	5.50 ± 4.65
E.C (dS/m)		0.08 ± 0.03	0.12 ± 0.04	0.08 ± 0.02	0.18 ± 0.05
Organic matter (%)		1.02 ± 0.28	0.76 ± 0.38	1.06 ± 0.64	1.92 ± 0.82
Total-N (g/kg)		0.57 ± 0.19	0.36 ± 0.14	0.59 ± 0.18	1.30 ± 0.30
P ₂ O ₅ (mg/kg)		35.17 ± 0.18	4.12 ± 0.18	-	18.50
K ⁺ (cmol ⁺ /kg)		0.36 ± 0.04	0.17 ± 0.05	0.13 ± 0.07	0.23 ± 0.09
Ca ²⁺ (cmol ⁺ /kg)		2.10 ± 0.30	2.82 ± 0.15	1.25 ± 0.26	1.20 ± 0.23
Mg ²⁺ (cmol ⁺ /kg)		0.98 ± 0.20	1.47 ± 0.10	0.33 ± 0.15	0.48 ± 0.14
Na ⁺ (cmol ⁺ /kg)		0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.02	0.01 ± 0.01	0.04 ± 0.03

평균 pH 5.48(Jeong et al., 2002)보다는 비교적 높지만, 해안 방재림의 평균 pH가 5.0~6.5로 나타났다는 Kim(2011)의 연구와 일치한다. 군락별 토양의 평균 pH는 곰솔-아까시나무군락이 6.51로 가장 높고, 곰솔-소나무군락이 5.11로 가장 낮게 나타났다. 곰솔-아까시나무군락에서 pH가 높게 나타난 이유는 시간이 경과함에 따라 아까시나무의 낙엽과 낙지가 축적되고 분해되어 부식층이 생성되었기 때문이다(Nakashima, 2005).

토양의 전기전도도는 염분농도를 나타내는 지표로서 염분농도가 낮으면 전기전도도가 낮은 수치로 나타난다. 조사대상 해안림에서 군락별 평균 전기전도도는 곰솔-졸참나무군락이 0.11dS/m로 가장 높고, 곰솔-산벚나무군락이 0.05dS/m로 가장 낮게 나타났다. 일반적으로 산림토양의 전기전도도의 값이 0.10 내지 0.45dS/m인 것을 감안하면(Jeong et al., 2002), 본 조사대상 해안림 토양은 염류토양이라기보다는 정상토양에 가까운 특징을 보이고 있었다. 조사대상지에서 염분농도가 낮은 것은 곰솔 교목층을 비롯하여 아까시나무, 이나무, 굴참나무, 졸참나무, 뽕나무, 팔배나무 및 붉나무 등으로 구성된 아교목층과 관목층이 발달하여 이들이 해안으로부터 임내로의 비사를 막아주었기 때문으로 사료된다.

유기물은 토양 내 양이온치환능력, 보수력 및 토양구조 등 토양의 이화학적 성질에 큰 영향을 미치는 요소이다. 군락별 토양의 평균 유기물과 질소는 곰솔-졸참나무군락에서 각각 1.4%와 0.76g/kg로서 4개 군락 중에서 가장 높았으나 일반적인 산림 토양의 유기물은 평균 2.03%보다 낮게 나타났다. 이는 해안 토양은 산림 토양보다 질소 고정 비율이 낮아 유기물의 농도도 낮기 때문이다(Kim, 2012).

유효인산의 평균 3.7mg/kg로 곰솔-산벚나무군락에서 높게 나타났으며, 검출되지 않은 조사구도 있었다. Lee et al.(2013)는 토양 내 유효인

산의 함량은 다른 화학적 성질에 비해 편차가 매우 크게 나타나 토양의 pH나 유기물함량과의 뚜렷한 관계가 나타나지 않았다고 보고하였다. 칼륨 농도는 평균 0.13cmol/kg로 곰솔-졸참나무군락이 가장 높았다. 칼슘과 마그네슘은 곰솔-아까시나무 군락에서 각각 1.40cmol/kg, 0.66cmol/kg로 가장 높게 나타났다.

이러한 결과로 볼 때 조사대상 해안림의 토양은 높은 모래 함유량으로 인해 산림 토양보다 양분의 용탈이 심하여 정상적인 식물의 성장을 기대하기 어려운 조건이라고 할 수 있다. Jang et al. (2013)도 관악산에서 칼륨 0.16-0.45cmol/kg, 칼슘 0.26-3.19cmol/kg 및 마그네슘 0.08-0.54cmol/kg으로 치환성양이온이 심하게 용탈되어 부족한 상황이었으며, 그에 따라 식물의 발근 및 신진대사에 불안정한 영향을 미치고 있다고 보고한 바 있다.

3. Ordination 분석

Figure 3은 TWINSpan에 의하여 분리된 4개 군락과 pH, 전기전도도, 유기물 및 질소 등 9개 토양환경 요인과의 상관성을 CCA Ordination으로 분석한 결과를 최초 1, 2축에 의한 I/II 평면상에 나타낸 것이다. Figure 3에서 보는 바와 같이 곰솔-산벚나무군락, 곰솔-아까시나무군락, 곰솔-소나무군락 및 곰솔-졸참나무군락은 9개의 환경요인에 따라 분포하고 있었다. 이를 환경요인들과 CCA Ordination 분석 결과에 의한 상관관계를 살펴보면 곰솔-졸참나무군락은 pH가 낮고, 유기물·질소·전기전도도·나트륨이 많은 곳에 분포하고 있었다. 곰솔-산벚나무군락은 칼슘이 비교적 많은 곳에 분포하여 있고, 곰솔-아까시나무군락은 유기물·질소·전기전도도·나트륨이 비교적 적은 곳에 분포하고 있다. 따라서 조사대상인 서해안의 4개 해안림에서는 토양의 화학적 특성이 식생의 분포에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 홍도의 식생구조 연구(Lee et al,

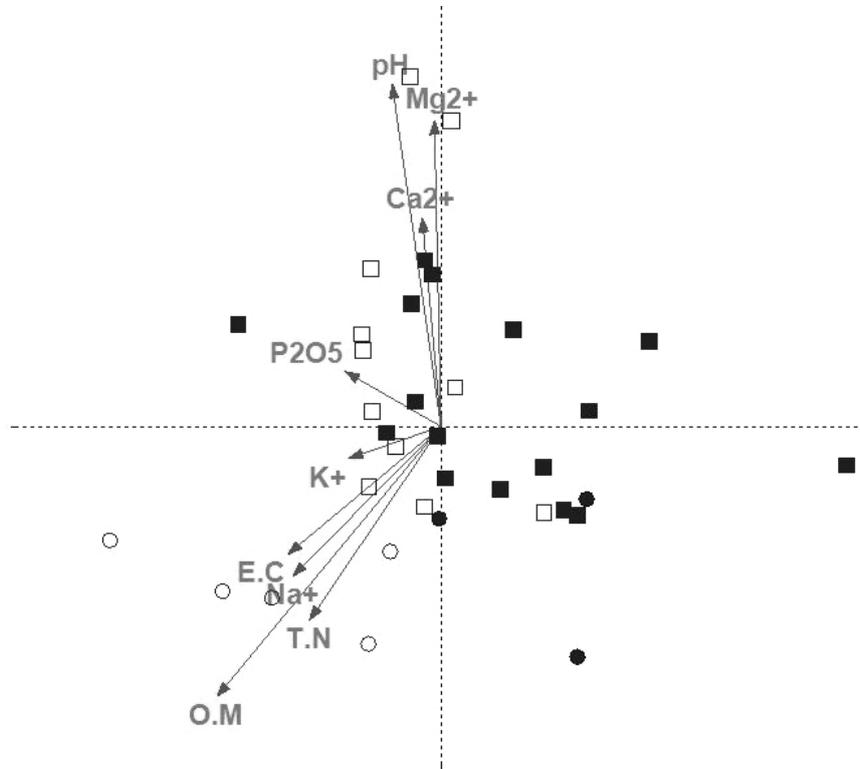


Figure 3. Vegetation data of *Pinus thunbergii* groups : CCA ordination diagram with plots. The plots are; ■ : *Pinus thunbergii* - *Prunus sargentii* community, ● : *P. thunbergii* - *Robinia pseudoacacia* community, □ : *P. thunbergii* - *P. densiflora* community, ○ : *P. thunbergii* - *Quercus serrata* community. The environmental variables are : T-N: total nitrogen; K⁺: potassium concentration; Mg⁺⁺: magnesium concentration; Ca⁺⁺: calcium concentration; Na⁺: natrium concentration; O.M : organic matter; P₂O₅: available phosphorus concentration; E.C: electrical conductivity.

2013)와 일치하는 경향으로 나타났으며 조사지역과 대상은 다르지만 토양의 양분이 식생의 분포에 영향을 미친다고 보고한 것과 같은 경향이 있었다(Song et al., 1994; Chung et al., 1997; Song et al., 1998; Kim et al., 2009; Bae et al., 2013; Lee et al., 2014).

Figure 4는 흉고직경 2cm 이상인 수종 48종과 9개 토양환경 요인과의 상관성을 CCA Ordination으로 분석하여 최초 1, 2축에 의한 I/II 평면상에 나타낸 것이다. Figure 4에서 보는 바와 같이 조사구에서 출현한 흉고직경 2cm 이상의 수종은 9개의 토양환경 요인에 따라 분포하고 있었다. 수종과 토양환경과의 상관관계를 보면 pH

와 마그네슘이 많은 곳에는 붉가시나무와 단풍나무가 분포하고 있었고, pH와 마그네슘 및 칼슘이 중간인 곳에는 곰솔, 낮은 곳에는 꾸지나무·팽나무·뽕나무·산벚나무 및 실거리나무 등이 분포하고 있었다. 유기물·질소·나트륨 및 전기전도도가 높은 곳에는 참죽나무, 갈참나무, 복사나무, 이나무, 상수리나무 및 밤나무가 분포하였다. 반면에, 유기물·질소·나트륨 및 전기전도도가 중간인 곳에 곰솔, 적은 곳에는 개복숭아, 붉나무 및 고욤나무 등이 분포하였다. 따라서 조사대상인 서해안의 4개 해안림에서는 토양의 양분이 식물종의 분포에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

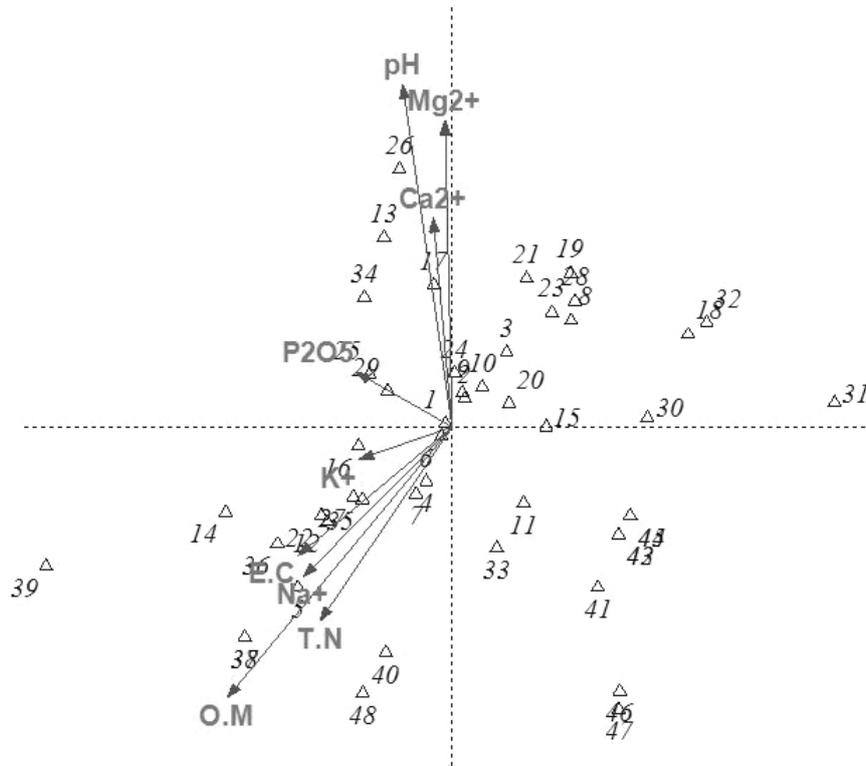


Figure 4. Vegetation data of *Pinus thunbergii* groups : CCA ordination diagram with tree species (small number) and environmental variables. The numbers are; 1; *Pinus thunbergii* 2; *Robinia pseudoacacia* 3; *Prunus sargentii* 4; *Rhus javanica* 5; *Idesia polycarpa* 6; *P. davidiana* 7; *Diospyros lotus* 8; *Ginkgo biloba* 9; *Celtis sinensis* 10; *Morus alba* 11; *Euonymus alatus* 12; *Quercus serrata* 13; *Acer palmatum* 14; *Castanea crenata* var. *dulcis* 15; *Platanus occidentalis* 16; *R. verniciflua* 17; *R. sylvestris* 18; *Lindera glauca* 19; *D. kaki* 20; *Caesalpinia Japonica* 21; *Mallotus japonicus* 22; *Sophora japonica* 23; *Q. myrsinaefolia* 24; *Broussonetia papyrifera* 25; *Q. mongolica* 26; *Q. acuta* 27; *L. erythrocarpa* 28; *Zanthoxylum schinifolium* 29; *Cudrania tricuspidata* 30; *B. kazinoki* 31; *Paulownia coreana* 32; *M. bombycis* var. *bombycis* 33; *Albizia julibrissin* 34; *A. triflorum* 35; *Ailanthus altissima* 36; *Q. acutissima* 37; *Q. glauca* 38; *Cedrela sinensis* 39; *Tilia amurensis* 40; *P. persica* 41; *P. densiflora* 42; *Salix koreensis* 43; *Populus tomentiglandulosa* 44; *Koelreuteria paniculata* 45; *L. obtusiloba* 46; *Sorbus alnifolia* 47; *Kalopanax pictus* 48; *Q. aliena*.

4. 중요치 분석

군락 내에서 특정 종의 중요치는 우점도와 영향력을 나타내는 척도로 사용된다. 각 지역 수종들의 생태적 중요도를 파악하기 위해 전체 조사구 내에서 출현하는 흉고직경 2cm 이상인 수목을 대상으로 중요치를 구한 결과는 Table 3과 같다. 전체 조사구에서 출현한 수종은 48종이었고, 곰솔·아까시나무·산벚나무·불나무·이나무·팽나무 등이 4개 지역 조사구에서 공통

적으로 출현하였다. 중요치는 곰솔 178.97, 아까시나무 37.15, 산벚나무 19.86, 졸참나무 9.43, 소나무 7.86, 팽나무 6.03, 뽕나무 4.68, 이나무 3.74 및 신갈나무 3.24 등의 순으로 나타났다. 이러한 결과는 곰솔이 교목층에서 우점하고 있기 때문이며, 이는 서해안 지역의 산림이 전체적으로 곰솔 군락으로 대표된다는 연구결과 (Kim et al., 2012; Shin, 2013)와 일치한다. 또한 다른 종에 비하여 아까시나무와 산벚나무의 중

Table 3. Importance value of the major tree species of surveyed sites in the west coast of South Korea.

Species	R. D	R. F	R. C	I. V
<i>Pinus thunbergii</i>	66.97	27.31	84.69	178.97
<i>Robinia pseudoacacia</i>	9.36	24.86	2.93	37.15
<i>Prunus sargentii</i>	4.83	12.77	2.26	19.86
<i>Quercus serrata</i>	2.17	6.30	0.96	9.43
<i>P. densiflora</i>	2.34	2.13	3.39	7.86
<i>Celtis sinensis</i>	1.19	4.50	0.34	6.03
<i>Morus alba</i>	0.83	3.64	0.21	4.68
<i>Idesia polycarpa</i>	1.29	2.08	0.37	3.74
<i>Q. mongolica</i>	1.01	1.84	0.39	3.24
<i>Q. acutissima</i>	0.63	2.15	0.30	3.08
<i>Rhus chinensis</i>	0.58	1.54	0.17	2.29
<i>Albizia julibrissin</i>	0.36	1.71	0.12	2.19
<i>Castanea crenata</i> var. <i>dulcis</i>	0.87	0.76	0.25	1.88
<i>Platanus occidentalis</i>	0.39	0.32	0.71	1.42
<i>Acer palmatum</i>	0.63	0.36	0.35	1.34
<i>R. sylvestris</i>	0.42	0.60	0.29	1.31
<i>Paulownia coreana</i>	0.6	0.15	0.41	1.16
<i>Sorbus alnifolia</i>	0.59	0.49	0.06	1.14
<i>R. verniciflua</i>	0.29	0.80	0.05	1.14
<i>Ginkgo biloba</i>	0.51	0.21	0.32	1.04
<i>Lindera erythrocarpa</i>	0.28	0.42	0.07	0.77
<i>P. davidiana</i>	0.33	0.36	0.05	0.74
<i>Broussonetia papyrifera</i>	0.15	0.33	0.23	0.71
<i>Mallotus japonicus</i>	0.22	0.32	0.07	0.61
<i>Q. myrsinifolia</i>	0.25	0.32	0.04	0.61
<i>L. glauca</i> var. <i>glauca</i>	0.16	0.33	0.07	0.56
<i>Q. acuta</i>	0.14	0.16	0.22	0.52
<i>Sophora japonica</i>	0.17	0.26	0.06	0.49
<i>P. persica</i>	0.15	0.28	0.05	0.48
<i>A. triflorum</i>	0.22	0.05	0.17	0.44
<i>Populus tomentiglandulosa</i>	0.24	0.13	0.06	0.43
<i>Koelreuteria paniculata</i>	0.20	0.13	0.06	0.38
<i>D. lotus</i>	0.12	0.17	0.03	0.30
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>	0.12	0.15	0.03	0.29
<i>Cudrania tricuspidata</i>	0.14	0.15	0.04	0.29
<i>Diospyros kaki</i>	0.11	0.14	0.03	0.28
<i>B. kazinoki</i>	0.11	0.14	0.03	0.28
<i>Caesalpinia japonica</i>	0.11	0.15	0.02	0.27
<i>Ailanthu saltissima</i>	0.18	0.06	0.05	0.27
<i>M. japonicus</i>	0.11	0.12	0.03	0.24
<i>Kalopanax pictus</i>	0.11	0.12	0.02	0.24
<i>M. bombycis</i> var. <i>bombycis</i>	0.11	0.14	0.05	0.20
<i>Cedrela sinensis</i>	0.15	0.13	0.02	0.20
<i>Q. glauca</i>	0.06	0.22	0.01	0.19
<i>Tilia amurensis</i>	0.06	0.21	0.01	0.18
<i>Salix koreensis</i>	0.04	0.23	0.01	0.18
<i>L. obtusiloba</i>	0.05	0.22	0.01	0.18
<i>Euonymus alatus</i>	0.05	0.04	0.01	0.10

Table 4. Importance value of the major tree species of the four plant communities in the west coast of South Korea.

Species	Community	<i>Pinus thunbergii</i> - <i>Prunus sargentii</i>	<i>P. thunbergii</i> - <i>Robinia pseudoacacia</i>	<i>P. thunbergii</i> - <i>P. densiflora</i>	<i>P. thunbergii</i> - <i>Quercus serrata</i>
<i>Pinus thunbergii</i>		182.81	184.89	152.89	171.03
<i>Robinia pseudoacacia</i>		31.32	39.37	30.30	16.93
<i>P. densiflora</i>		5.74	-	61.12	-
<i>Celtis sinensis</i>		8.01	6.92	3.17	-
<i>Sorbus alnifolia</i>		-	-	14.31	-
<i>Kalopanax pictus</i>		-	-	3.76	-
<i>Morus alba</i>		5.36	4.78	12.81	2.21
<i>Albizia julibrissin</i>		1.79	0.64	2.55	6.73
<i>Koelreuteria paniculata</i>		-	-	4.51	-
<i>Lindera obtusiloba</i>		-	-	2.19	-
<i>Castanea crenata</i> var. <i>dulcis</i>		-	1.56	2.19	9.06
<i>Rhus javanica</i>		2.06	1.06	5.16	4.01
<i>Prunus persica</i>		-	-	2.49	1.93
<i>Idesia polycarpa</i>		0.48	2.22	2.55	18.21
<i>Quercus serrata</i>		-	12.71	-	30.45
<i>Q. acutissima</i>		-	2.83	-	15.38
<i>Q. mongolica</i>		-	7.47	-	9.57
<i>Rhus verniciflua</i>		1.14	-	-	4.46
<i>Sophora japonica</i>		0.33	0.47	-	0.43
<i>Tilia amurensis</i>		-	-	-	1.25
<i>Q. glauca</i>		-	-	-	1.37
<i>L. erythrocarpa</i>		0.70	-	-	3.38
<i>Cedrela sinensis</i>		-	-	-	1.41
<i>Q. aliena</i>		-	-	-	1.34
<i>P. sargentii</i>		43.25	18.75	-	-
<i>Diospyros lotus</i>		0.36	0.42	-	-
<i>Broussonetia papyrifera</i>		-	1.96	-	-
<i>Ailanthus altissima</i>		-	0.87	-	-
<i>Cudrania tricuspidata</i>		0.31	0.47	-	-
<i>Q. myrsinifolia</i>		0.38	1.15	-	-
<i>Acer palmatum</i>		-	4.28	-	-
<i>A. triflorum</i>		-	1.37	-	-
<i>Q. acuta</i>		-	1.42	-	-
<i>R. sylvestris</i>		0.50	2.89	-	-
<i>B. kazinoki</i>		0.32	0.43	-	-
<i>P. davidiana</i>		1.22	0.58	-	-
<i>M. japonicus</i>		0.80	0.76	-	-
<i>Ginkgo biloba</i>		2.19	-	-	-
<i>Euonymus alatus</i>		0.21	-	-	-
<i>Platanus occidentalis</i>		3.10	-	-	-
<i>L. glauca</i>		1.20	-	-	-
<i>D. kaki</i>		0.51	-	-	-
<i>Caesalpinia Japonica</i>		0.50	-	-	-
<i>Zanthoxylum schinifolium</i>		0.52	-	-	-
<i>Paulownia coreana</i>		2.67	-	-	-
<i>M. bombycis</i> var. <i>bombycis</i>		0.43	-	-	-
<i>Salix koreensis</i>		0.39	-	-	-
<i>Populus tomentiglandulosa</i>		0.86	-	-	-

요치가 높은 이유는 아교목층에서 우점과 출현 빈도가 다른 종에 비하여 높게 나타났기 때문으로 판단된다.

군락별 중요치는 Table 4과 같다. 곰솔-산벚나무군락에서 출현한 종수는 30종으로 중요치는 곰솔 182.81, 산벚나무 43.25, 아까시나무 31.32, 팽나무 8.01, 소나무 5.74 및 뽕나무 5.36 순으로 나타났다. 이러한 결과는 일부 교목층과 아교목층에서 산벚나무와 아까시나무가 경쟁하고 있기 때문으로 판단된다. 곰솔-산벚나무군락의 특징으로서 화살나무의 출현과 주변부 효과로 인하여 은행나무와 양버즘나무가 출현하고 있었다. 곰솔-아까시나무군락에서 출현한 종수는 25종이었으며 중요치는 곰솔 184.89, 아까시나무 39.37, 산벚나무 18.75, 졸참나무 12.71, 신갈나무 7.47 및 팽나무 6.92 순으로 나타났다. 이러한 결과는 아교목층에서는 아까시나무가 우점하고 관목층에서는 산벚나무, 졸참나무 및 신갈나무가 경쟁하고 있기 때문인 것으로 나타났다. 곰솔-아까시나무 군락의 특징으로서 꾸지나무, 단풍나무, 복자기나무 및 붉가시나무가 출현하고 있었다.

곰솔-소나무군락에서 출현한 종수는 14종이었는데, 다른 군락에 비하여 군락의 수가 적기 때문에 출현종이 적은 것으로 판단된다. 중요치는 곰솔 150.89, 소나무 61.12, 아까시나무 30.30, 팔배나무 14.13 및 뽕나무 12.81 순으로 나타났다. 곰솔-소나무군락의 특징은 다른 지역과는 다르게 소나무의 중요치가 비교적 높게 나타난 것, 그리고 해안과 산지의 접이대에 출현하는 대표적인 수종인 모감주나무의 출현으로서 내륙의 특성을 일부 나타나고 있음을 알 수 있었다(Shin, 2013).

곰솔-졸참나무군락에서 출현한 종수는 18종이었으며 중요치는 곰솔 171.03, 졸참나무 30.45, 이나무 18.21, 아까시나무 16.93, 상수리나무 15.38 및 밤나무 9.06 순으로 나타났다. 이러한 결과는 일부 아교목층과 관목층에서 이나

무, 아까시나무 및 상수리나무가 경쟁하고 있으며, 앞으로 입지의 여건으로 보아 아까시나무의 중요치가 높아질 것으로 판단된다. 곰솔-졸참나무군락의 특징으로서 졸참나무, 밤나무, 상수리나무, 신갈나무, 갈참나무 등 참나무류가 많이 출현하였다. 이러한 결과는 해안선 안 쪽에서 아교목층과 관목층이 발달하였기 때문이며, 앞으로 이들 참나무류의 중요치가 증가할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

우리나라 서해안에 위치한 4개 지역의 곰솔림을 대상으로 구조와 토양환경과의 상관관계를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 곰솔림을 TWINSpan으로 분석한 결과 곰솔-산벚나무군락, 곰솔-아까시나무군락, 곰솔-소나무군락 및 곰솔-졸참나무군락 등 4개의 군락으로 분리되었다.
- 2) 전체 조사구에 대한 토양의 화학적 특성의 평균치는 pH 5.78, 전기전도도 0.071d S/m, 유기물 함량 0.869%, 전질소 농도 0.433g/kg, 유효인산 7.261mg/kg, 칼륨 0.107cmol/kg, 칼슘 1.004cmol/kg, 마그네슘 0.453cmol/kg 및 나트륨 0.028cmol/kg로 나타났다. 특히, 염분농도의 지표인 전기전도도는 육상식물의 생육에 지장이 없을 정도로 낮았다.
- 3) 식물군락과 토양환경과의 상관관계를 CCA Ordination으로 분석한 결과, 곰솔-소나무군락이 pH가 낮은 곳에, 곰솔-졸참나무군락은 유기물 · 질소 · 전기전도도 및 나트륨이 많은 곳에 분포하였다. 또한, 곰솔-산벚나무군락은 칼슘이 비교적 많은 곳에, 곰솔-아까시나무군락은 유기물 · 질소 · 전기전도도 및 나트륨이 비교적 적은 곳에 분포하였다.
- 4) 주요 수종과 토양환경과의 상관관계를 CCA Ordination으로 분석한 결과 pH와 마그네슘이 많은 곳에는 붉가시나무와 단풍나무가 분

포하고 있었고, pH와 마그네슘 및 칼슘이 낮은 곳에는 꾸지나무·팽나무·뽕나무·산벚나무 및 실거리 나무 등이 분포하고 있었다. 유기물, 질소, 나트륨 및 전기전도도가 높은 곳에는 참죽나무, 갈참나무, 복사나무, 이나무, 상수리나무 및 밤나무가 분포 하였다. 또한, 유기물, 질소, 나트륨 및 전기전도도가 중간인 곳에 곰솔, 적은 곳에는 개복숭아, 붉나무 및 고욤나무 등이 분포 하였다.

- 5) 전체 조사지역에서 출현한 수종은 48종이었고, 곰솔·아까시나무·산벚나무·붉나무·이나무·뽕나무 등이 4개 지역 해안림에서 공통적으로 출현하였다. 중요치는 곰솔 178.97, 아까시나무 37.15, 산벚나무 19.86, 졸참나무 9.43, 소나무 7.86, 팽나무 6.03, 뽕나무 4.68, 이나무 3.74 및 신갈나무 3.24 등의 순으로 나타났다.

이상의 결과를 종합하면, 서해안 4개 지역에 분포하고 있는 곰솔 해안림은 아교목층의 주요 식생에 따라 4개의 군락으로 구분 되었고, 토양의 양분은 산림토양에 비해 불량한 조건을 가지고 있는 것으로 나타났다. 식생과 토양환경과의 상관관계 분석에서는 특정한 토양 양료의 과다에 따라 식생의 분포와 식물종의 분포에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 식생의 중요치에서는 교목층에서 우점하고 있는 곰솔을 제외하고 아까시나무의 중요치가 가장 높게 나타났다. 또한, 전체 조사지역에서 출현한 수종은 48종으로서 해안사구에서는 상당히 많은 편이었는데, 이것은 사구의 염분농도가 낮은 것과 관계가 있는 것으로 판단된다.

이와 같은 연구결과로 볼 때 서해안 4개 지역에 형성되어 있는 곰솔 해안림은 다양한 활엽수종의 침입에 의해 다층구조의 혼효림으로 발전할 것으로 판단된다. 따라서 생태적으로 안정되고 해안림의 다양한 기능을 발휘할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 앞으로 곰솔림의 생장특

성, 식생천이 방향, 인위적 교란의 실태와 영향 등에 대한 추가적인 연구가 수행될 필요가 있다. 이러한 종합적인 연구결과들을 바탕으로 해안림에서 곰솔의 밀도관리, 하층식생 관리, 비배관리, 적절한 이용관리 등의 방안이 도출될 수 있을 것이다.

References

- Bae JY · Kim JS · Lee KJ · Kim JY and Yeum JH. 2013. Changes of vegetation structure in Naejangsan district, Naejangsan National Park for twenty years (1991-2010), Korea. *Korea Journal of Environment and Ecology* 27(1): 99-112. (in Korean with English abstract)
- Choi CH. 2004. Flora and vegetation structure of the coastal dune area in Sinduri, Korea. M.S. thesis, Chonbuk National University, Jeonju, Korea, p. 59. (in Korean with English abstract)
- Choi HJ. 2009. Flora and stand structure of the coastal forest at the same latitude of east and west coast in Korea. M.S. thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, p. 60. (in Korean with English abstract)
- Chung JC · Jang KK · Choi JH · Jang SK and Oh DH. 1997. An analysis of vegetation-environment relationship and forest community in Mt. Unjang by TWINSpan and Ordination. *Journal of Korean Forest Society* 86(4): 459-465. (in Korean with English abstract)
- Curtis & McIntosh. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*. 32: 476-496.
- Greig-Smith, P. 1983. *Quantitative plant ecology*. 3rd ed. Blackwell, Oxford.
- Hill, M. O. 1979a. DECORANA - A FORTRAN Program for detrended correspondence analysis

- and reciprocal averaging. Ithaca, N. Y. Cornell Univ. Press. p. 100.
- Hill, M. O. 1979b. TWINSPLAN-A FORTRAN Program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Ithaca, N. Y. Cornell Univ. Press. p. 50.
- Hill, M. O. and Gauch, H. G. Jr. 1980. Detrended correspondence analysis an improved ordination technique. *Vegetatio*. 42: 47-58.
- Jang JH · Han BH · Lee KJ · Choi JW and Noh TW. 2013. A study on the changes of vegetation structure of the plant community in Mt. Kwanak. *Korea Journal of Environment and Ecology* 27(3): 344-356. (in Korean with English abstract)
- Jeong JH · Koo KS · Lee CH and Kim CS. 2002. Physico-chemical properties of Korea Forest Soils by regions. *Journal of Korean Forest Society* 91(6): 694-700. (in Korean with English abstract)
- Kim CB. 2012. Effects of soil physical-chemical characteristics on plants on sand dune -A case study on central-western coastal area of Korea-. M.S. thesis, Korea University, Seoul, Korea, p. 47. (in Korean with English abstract)
- Kim CB · Park KH · Lee CW · Youn HJ and Kim KH. 2014. A comparison on the forest type of coastal disaster prevention forest between the coastal area in Korea. *Journal of Korean Forest science* 103(4): 564-573. (in Korean with English abstract)
- Kim DG. 2010. Native tree species of tolerance to saline soil and salt spray drift at the coastal forests in the West-sea, Korea. *Korea Journal Environment and Ecology* 24(2): 209-221. (in Korean with English abstract)
- Kim HJ · Jung SH · Hwang CH · Kim H · Choi SM and Lee SH. 2012. Vegetation structure and management plan for windbreak forests along the west coast in Korea. *Journal of Agriculture & Life Science* 46(1): 71-81. (in Korean with English abstract)
- Kim HP. 2011. Studies on the characteristics of survival and growth of *Pinus thunbergii* planted in a coastal sand zone. M.S. thesis, Yeungnam University, Daegu, Korea, p. 50. (in Korean with English abstract)
- Kim HS · Lee SM · Chung HL and Song HK. 2009. A study of the vegetation in the Deogyusan National Park. Korea. *Korea Journal Environment and Ecology* 23(5): 471-484.
- Lee JH · Do MS and Song HK. 2013. Vegetation structure of Hongdo island. *Korea Journal Environment and Ecology* 27(5): 45-54. (in Korean)
- Lee SC · Kang HM · Kim JS · Yu CY and Choi SH. 2014. A study on the correlation plant community and environmental factors of Tongdosa (Temple) Area, Gajisan(Mt.) Provincial Park. *Korea Journal Environment and Ecology* 28(6): 715-724.
- Lee SK · Kim KH · Kim YT · Park JY and Lee SH. 2005. Occurrence of Rhizina Root Rot in a black pine (*Pinus thunbergii*) forest located at the western coastal area in Korea and its spreading patterns. *Research in Plant Disease* 11(2): 208-212.
- Lee TB 2003. Coloured Flora of Korea.
- Lee WT · Chon SK. 1984. Ecological studies on the coastal plants in Korea - On the sand dune vegetation of the western coast. *Korea Journal of Ecology* 7(2): 74-84. (in Korean with English abstract)
- Nakashima Y. 2005. Situations and problems of

- coastal forest in Japan. Proc. of joint seminar of Korean Society of Coastal Forest and Japanese Society of Coastal Forest, pp. 7-10.
- Oh HK. 2002. Vegetation structure and habitat management of windbreak forest: In case of four sites in the southern coast of the Korean peninsula. M.S. thesis, University of Yeungnam, Gyungsan, Korea, p. 169.
- Park CM · Kim SW and Park SH. 2009. Study on growth characteristics of *Pinus thunbergii* windbreak forests around Goosipo beach, Gochang-gun. Korea Journal Environment and Ecology 23(4): 365-375. (in Korean with English abstract)
- Rural Development Administration(RDA). 1988. Analysis Methods of Soil Physical and Mineralogical Properties.
- Shin HS. 2013. Community ecological research for the mid west coast vegetation conservation and restoration. Ph.D thesis, Kongju National University, Gongju, Korea, p. 119. (in Korean with English abstract)
- Song HK · Jang KK and Kwon KW. 1994. An analysis on the forest community in Mt. Odae by Ywo-Way indicator species analysis and by Detrended Canonical Correspondence Analysis. Research Report Environment Science Technique of Chungnam National University 12: 47-54. (in Korean with English abstract)
- Song HK · Jang KK and Oh DH. 1998. An analysis of vegetation-environment relationships of *Quercus mongolica* in Soraksan National Park. Korea Journal of Ecology 11(4): 462-468. (in Korean with English abstract)
- Ter Braak, C. J. F. 1987. CANOCO-A FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [cannical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis(version 2.1) TNO Institute of Applied Computer Science, Statistics Department, Wageningen, The Netherlands.
- www.nature.go.kr