

태안해안국립공원 내 지표성 딱정벌레류(딱정벌레목 : 딱정벌레과) 군집 구조 : 사구와 방풍림 간의 비교^{1a}

정종국² · 홍의정³ · 김태근³ · 정종철^{3*}

Ground Beetle (Coleoptera: Carabidae) Assemblage Structure in Taeanhaean National Park : A Comparison between Coastal Dune and Windbreak Forest^{1a}

Jong-Kook Jung², EuiJeong Hong³, Tae Geun Kim³, Jong-Chul Jeong^{3*}

요약

독특한 경관특성과 높은 보존적 가치에도 불구하고, 사구와 관련된 곤충 다양성 연구는 매우 부족한 편이다. 따라서 본 연구에서는 태안해안국립공원에서 주로 관찰되는 사구와 방풍림(해송)에서 서식하는 지표성 딱정벌레류 군집 구조에 대한 비교 연구를 수행하였다. 2014년 6월 중순부터 10월 중순까지 함정트랩을 이용하여 방풍림 5개 지점과 사구 3개 지점을 조사하였다. 조사 결과, 총 2,335개체의 지표성 딱정벌레류를 채집하였으며, 이들은 15속 30종으로 동정되었다. 사구에서는 24종이 채집되었는데, 둥근칠납작면지벌레(158개체)와 등빨간면지벌레(153개체)가 우점하였다. 반면, 방풍림에서는 14종이 채집되었고, 둥근칠납작면지벌레(1,630개체), 윤납작면지벌레(130개체) 및 붉은칠납작면지벌레(42개체)가 우점하였다. 방풍림과 사구의 지표성 딱정벌레류 종 구성의 유사도는 27.4%로 낮았다. 본 연구 결과는 태안해안국립공원에서 발견되는 사구 지형이 방풍림과 비교해서 다른 곤충 군집을 보유하고 있음을 보여주고 있으며, 이는 향후 곤충 보전을 위한 중요한 정보가 될 것이다.

주요어: 딱정벌레과, 사구 지형, 방풍림, 다양성

ABSTRACT

There are few available studies for insect diversity in relation to coastal dune despite the unique landscape features and high conservation value. Therefore, this study compared ground beetle assemblages inhabiting between windbreak forests and sand dunes in the Taeanhaean National Park. It investigated five windbreak forests and three coastal dunes using pitfall traps from middle of June to middle of October in 2014. A total of 2,335 ground beetles belonging to 30 species of 15 genera were collected. *Synuchus arcuaticollis* (158 individuals) and *Dolichus halensis halensis* (153 individuals) were dominant of 25 species collected from sand dunes while *Synuchus arcuaticollis* (1,630 individuals), *Synuchus nitidus* (130 individuals), and *Synuchus cycloderus* (42 individuals) were dominant of 14 species collected from windbreak forests. The similarity of

1 접수 2018년 1월 11일, 수정(1차: 2018년 1월 25일), 게재확정 2018년 1월 29일

Received 11 January 2018; Revised (1st: 25 January 2018); Accepted 29 January 2018

2 국립산림과학원 산림병해충연구과 Division of Forest Insect Pests and Diseases, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea

3 국립공원연구원 National Park Research Institute, 171, Dangu-ro, Wonju 26441, Republic of Korea

a 본 논문은 국립공원관리공단 국립공원연구원의 2014년도 자연자원조사 사업의 지원으로 작성되었습니다.

* 교신저자 Corresponding author Tel: +82-33-769-1661, Fax: +82-33-769-1669, E-mail: incence001@naver.com

ground beetles compositions in sand dunes and windbreak forests was significantly low at 27.4%. The results of this study showed that sand dune geographical features found in the Taeanhaean National Park had different insect assemblages from windbreak forests. It will be the useful information for conservation of insects in the future.

KEY WORDS : CARABID, SAND DUNE, WINDBREAK FOREST, DIVERSITY

서론

충청남도 태안반도를 중심으로 분포하고 있는 태안해안국립공원은 국내에서는 유일한 해안형 국립공원이다. 태안해안국립공원에는 퇴적지형인 모래해안, 해안사구, 자갈해안 및 사구습지가 넓게 발달하고 있다(KNPRI, 2014). 이 중에서도 천연기념물 제431호로 지정된 신두리해안사구와 같이 해변의 모래가 바람에 날려 쌓인 해안사구는 태안해안국립공원에만 30개소 정도가 분포하고 있는데, 이는 충청남도에 분포하는 42개소의 71.4%에 해당되는 수치다(KNPRI, 2014). 해안사구 외에도 다수의 해수욕장이 태안해안국립공원 내에 분포하고 있거나 인접하고 있어 관광객으로부터 경제적 가치도 매우 높다고 할 수 있다.

독특한 경관특성과 높은 보존적 가치에도 불구하고, 사구와 관련된 곤충 연구는 매우 부족한 편이다. 국립공원연구원에서 발간한 “2014 태안해안국립공원 자연자원조사”에 따르면 태안해안국립공원에서의 곤충상은 총 16목 211과 1,561종으로 멸종위기 II급 곤충으로 닳두늬길앞잡이와 애기뿔소풍구리가 분포하는 것으로 보고된 바 있다(KNPRI, 2014). 이외에도 사구에 서식하는 곤충류에 관한 연구가 다수 확인되지만(Kim, 1981; Han, 2010; Cho, 2011; Lee et al., 2011; Kim et al., 2017), 실제 이 중에서 사구만을 대상으로 곤충상을 연구한 경우는 한국산 사구성 곤충에 관한 연구(Kim, 1981), 동해안 사구에 서식하는 곤충에 관한 연구(Han, 2010) 및 고래불해안사구 내 사구성 곤충에 관한 연구(Kim et al., 2017) 정도에 불과하다. 한편, 사구 지형 및 해안 지역에는 바람의 피해를 최소화하기 위해서 방풍림이 조성되어 왔다(Kim and Son, 2000). 일반적으로 방풍림 인근 농경지에서 해충과 천적의 분포는 풍속 감소의 영향을 받거나, 방풍림 내 식생 다양성과 밀접한 연관이 있는 것으로 알려져 있다(see Brandle et al., 2004). 하지만 국내에서는 방풍림을 대상으로 한 곤충상 관련 연구가 전무하며, 사구 지형 내 사구와 방풍림의 관리를 위한 기초 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 태안해안국립공원 내 사구와 방풍림(해송, *Pinus thunbergii*)에서 지표성 딱정벌레류 군집(종 다양

성 및 종 구성)에 대한 연구를 수행하였다. 또한 서식환경(사구 대 방풍림) 간의 비교를 통해 각각의 환경별 지표종을 선별함으로써 향후 서식환경 변화에 대한 모니터링에 필요한 기초 정보를 제시하고자 한다. 지표성 딱정벌레류는 전 세계적으로 33,000여 종 이상 기록되어 있고(Löbl and Smetana, 2003) 국내에서도 600여 종 이상 기록되어 있어(Paek et al., 2010) 종 다양성이 매우 높은 분류군 중 하나이다. 또한 이들은 다양한 서식환경에 적응하여 살고 있기 때문에 서식환경의 변화 또는 서식환경의 유형에 대한 지표종으로 활용이 가능하다(Lövei and Sunderland, 1996; Rainio and Niemelä, 2003). 이외에도 상대적으로 비용이 저렴하면서도 통계적으로 분석하기 용이한 채집방법인 함정트랩을 이용하여 모니터링을 수행하기에 적합한 장점도 있다(Koivula, 2011).

재료 및 방법

태안해안국립공원 내 지표성 딱정벌레류의 조사를 위해서 사구 3개소와 방풍림 5개소를 선정하였다(Table 1). 사구의 경우, 파도와 바람의 영향을 많이 받기 때문에 적절한 조사지를 확보하기 어려웠다. 이로 인해 서식환경 간 곤충상 비교에 있어 사구에 대한 조사지점의 수가 상대적으로 적었으나 종 다양성 및 종 구성 분석은 가능할 것이라 판단되어 조사를 진행하였다. 방풍림은 해송이 우점하고 있는 경우가 대부분이었으나, 학암포에 위치한 방풍림(격자번호 2번)에는 해송과 아까시나무(*Robinia pseudoacacia*)가 조림되어 있어 다소 차이가 있었다. 또한 다른 조사지점과 달리 학암포의 방풍림은 사구 지형에 조림되어 있어 토성은 사구처럼 입자가 고운 모래로 구성되어 있었다.

지표성 딱정벌레류의 채집은 함정트랩(500ml, 입구지름 10.5cm, 깊이 8cm)을 이용하여 2014년 6월 중순부터 10월 중순까지 수행하였다. 사구에 설치한 함정트랩의 경우, 바람에 의해 훼손될 가능성이 높기 때문에 식생이 밀집한 지점에 설치하였다. 모든 함정트랩에는 사각형의 플라스틱 덮개(20×20cm)를 트랩으로부터 3~4cm 위에 설치하여 빗물이나 낙엽의 유입을 방지하였다. 채집된 샘플의 보존을 위해

Table 1. Site description in Taeanhaean National park, Chungcheongnam-do

Habitat type	Quadrat ID*	Location
Sand dune	2a	Banggal-ri, Wonbuk-myeon
	110	Changgi-ri, Anmyeon-eup
	158	Sindu-ri, Wonbuk-myeon
Windbreak forests	2b	Banggal-ri, Wonbuk-myeon
	17	Euihang-ri, Sowon-myeon
	36	Dohwang-ri, Geunheung-myeon
	124	Seungun-ri, Anmyeon-eup
	139	Janggok-ri, Gonam-myeon

* Quadrat ID was assigned by Korea National Park Research Institute, and each quadrat covered area of 4km²

서 함정트랩에는 에틸알코올(99% Ethyl-alcohol)과 에틸렌 글리콜(99% Ethylene-glycol)을 1:1로 혼합하여 넣어두었으며, 월 1회 조사지점을 방문하여 샘플을 수거 후 재설치하였다. 수거한 샘플은 실험실로 운반하여 지표성 딱정벌레류만을 구분하여 실체현미경(Nikon SMZ745, 63배율) 하에서 동정하였다. 종 동정에는 Habu(1967, 1973, 1978, 1987), Kwon and Lee(1984), 그리고 Park and Paik(2001)을 참고하였으며, 종명은 Paek et al.(2010)을 참고하였다.

자료 분석을 위해 조사지점별 또는 서식환경별로 지표성 딱정벌레류의 개체수와 종수를 요약하였으며, 방풍림과 사구에서의 종수를 비교를 위해서 비모수적인 분석 방법인 종수추정곡선(rarefaction curves)을 이용하였다(Gotelli and Colwell, 2001). 다음으로 작성된 비유사도 행렬 자료를 이용하여 군집분석(cluster analysis)을 수행하였다. 군집분석은 생물군집과 환경과의 관계를 찾기 위해서 수행하는 분석 방법으로, 계층적 군집분석(hierarchical clustering), 즉 자료 간의 유사성을 계산하여 가장 가까운 객체들부터 차례로 군집화하는 방법 중 하나이다(Jongman et al., 1995). 군집분석을 위해서는 조사지점 간 유사도 계산이 필요한데, 본 연구에서는 서식환경별-조사지점별 채집된 지표성 딱정벌레류의 종별 개체수 정보를 기반으로 데이터 시트를 작성하여 비유사도(Bray-Curtis dissimilarity)를 계산하였다. 조사지점 간 유사도는 0과 1 사이의 값을 갖게 되는데, 조사지점 간 공통 출현 종이 없다면 조사지점 간 유사도는 0이 되고, 모든 조사지점에서 모든 종이 공통적으로 출현한다면 조사지점 간 유사도는 1이 된다. 계산된 비유사도 행렬 자료를 이용하여 평균연결법(average-linkage)으로 계통수(dendrogram)를 작성하였다.

또한 유사도 분석법(ANOSIM, analysis of similarity)을 이용하여 서식환경 간 지표성 딱정벌레류의 종 구성 차이를

분석하였다. ANOSIM 분석은 최대 999번의 순열 검정을 수행하였고, 이를 통해 서식환경 간 유사도를 Global R과 P값을 이용하여 비교하였다. 참고적으로 Global R값은 1에 가까워질수록 서식환경 간 차이가 커짐을 의미한다. 종 구성 분석에 사용된 지표성 딱정벌레류의 종별 개체수 정보는 제공된 변환된 자료(square-root transformed data)를 이용하였다.

마지막으로 각 서식환경에 대한 지표종 분석(Indicator value analysis)을 수행하였다(Dufrene and Legendre 1997). 지표종 분석에서는 종별 개체수와 출현 정보를 이용하여 분석하게 되는데, 특정 종의 모든 개체가 단일 조사지점 그룹 내에서 출현하고, 동시에 모든 조사지점에서 종이 출현한다면 지표종 값이 최대(100%)가 된다. 지표종 값에 대한 통계적 유의성 검정은 Monte Carlo permutation test를 이용하여 분석하였다(Legendre and Legendre 1998; McGeoch and Chown 1998).

종수추정곡선(package 'vegan' in Oksanen et al., 2017) 및 지표종 분석(package 'indispecies' in De Caceres and Jansen, 2016)을 위해서 오픈소스 프로그램인 R 3.3.2. (R Core Team, 2016)을 이용하였다. 또한 Cluster 및 ANOSIM 분석은 생물군집 분석 프로그램인 PRIMER v6.0 (Clarke and Gorely, 2006)을 이용하였다.

결 과

1. 지표성 딱정벌레류의 다양성

총 2,335개체의 지표성 딱정벌레류를 채집하였으며, 이들은 15속 30종으로 동정되었다(Table 2). 사구에서는 24종이 채집되어 등근칠납작먼지벌레(158개체)와 등빨간먼지벌레(153개체)가 우점하였다. 반면, 방풍림에서는 14종이 채집되었고, 등근칠납작먼지벌레(1,630개체), 윤납작먼지벌레(130개체) 및 붉은칠납작먼지벌레(42개체)가 우점하였다.

종수추정곡선을 이용하여 서식환경별 지표성 딱정벌레류의 종수를 추정한 결과, 방풍림에 비해 사구의 지표성 딱정벌레류 종 다양성이 더 높았고, 조사기간이 증가하면 더 많은 종이 채집될 것으로 기대되는 것으로 나타났다(Fig. 1). 방풍림의 경우, 매우 많은 개체수의 지표성 딱정벌레류가 채집되었음에도 불구하고, 종수의 증가 속도가 완만하여 더 많은 조사를 수행하더라도 증가하는 종수는 많지 않을 것이라고 예측되었다.

Table 2. List of ground beetles in sand dunes and windbreak forests

Scientific name	Korean name	Sand dune			Windbreak forest				
		2a	110	158	2b	17	36	124	139
<i>Amara hiogoensis</i> Bates	울릉둥글먼지벌레	3	2				1		
<i>Amara</i> sp.1	<i>Amara</i> sp.1			1					
<i>Amara</i> sp.2	<i>Amara</i> sp.2			1					
<i>Amara</i> sp.3	<i>Amara</i> sp.3			3					
<i>Brachinus scotomedes</i> Redtenbacher	꼬마목가는먼지벌레						6		
<i>Chlaenius costiger</i> Chaudoir	줄먼지벌레						1		
<i>Chlaenius micans</i> (Fabricius)	끝무늬녹색먼지벌레		2						
<i>Chlaenius naeviger</i> Morawitz	쌍무늬먼지벌레	1				2	9		6
<i>Chlaenius virgulifer</i> Chaudoir	끝무늬먼지벌레	7	2	9	5		1		
<i>Coptolabrus smaragdinus branickii</i> Taczanowski	진홍단딱정벌레	26			9	2	3		
<i>Craspedonotus tibialis</i> Schaum	딱정벌레붙이	2		17					
<i>Cymindis daimio</i> Bates	밑빠진먼지벌레		1						
<i>Diplocheila zeelandica</i> (Redtenbacher)	모래사장먼지벌레	5							
<i>Dolichus halensis halensis</i> (Schaller)	등빨간먼지벌레	19	55	79	6			1	
<i>Galerita orientalis</i> Schmidt-Goebel	목가는먼지벌레								2
<i>Harpalus capito</i> Morawitz	머리먼지벌레		1	1					
<i>Harpalus discrepans</i> Morawitz	일본머리먼지벌레	10							
<i>Harpalus simplicidens</i> Schauberberger	서울머리먼지벌레		3						
<i>Harpalus sinicus sinicus</i> Hope	중국머리먼지벌레		1	3					
<i>Harpalus tinctulus</i> Bates	붉은다리먼지벌레	1							
<i>Harpalus tridens</i> Morawitz	꼬마머리먼지벌레	1	4		2				
<i>Lachnolebia cribricollis</i> (Morawitz)	노랑가슴먼지벌레		1						
<i>Oxycentrus argutoroides</i> (Bates)	긴머리먼지벌레						1		
<i>Pterostichus microcephalus</i> (Motschulsky)	잔머리먼지벌레			9					
<i>Pterostichus sulcitaris</i> Morawitz	팬다리길쭉먼지벌레			22					
<i>Scarites sulcatus</i> Olivier	큰조롱박먼지벌레	1	17	2					
<i>Synuchus agonus</i> (Tschitschérine)	일본칠납작먼지벌레				1				
<i>Synuchus arcuaticollis</i> Motschulsky	등근칠납작먼지벌레	93	1	64	362	228	244	289	507
<i>Synuchus cycloderus</i> (Bates)	붉은칠납작먼지벌레					7	28	2	5
<i>Synuchus nitidus</i> (Motschulsky)	윤납작먼지벌레	5			2	2	104	13	9

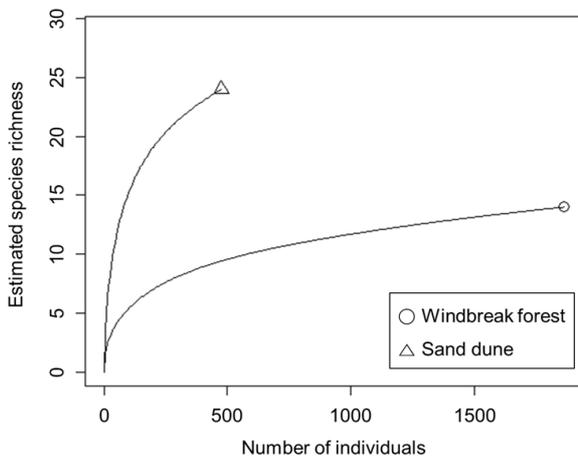


Fig 1. Rarefied species richness of ground beetles in windbreak forests and sand dunes.

2. 서식환경별 종 구성 및 지표종

서식환경 간(사구 대 방풍림) 지표성 딱정벌레류 종 구성의 유사도는 27.4%로 두 서식환경 간 지표성 딱정벌레류 군집은 매우 다른 것으로 나타났다(Fig. 2). 또한 방풍림 내 지표성 딱정벌레류 종 구성은 조사지점 간 유사성이 높은 것에 비해(62.2~79.7%) 사구에서 채집된 지표성 딱정벌레류의 종 구성은 조사지점 간 유사성이 상대적으로 더 낮은 것으로 나타났다(유사도 37.4~45.8%). ANOSIM 분석을 이용한 결과에서도 서식환경 간 지표성 딱정벌레류 종 구성은 통계적으로 유의미하게 다른 것으로 확인되었다(Global $R=0.867$, $P=0.018$).

각 서식환경별 지표종 분석을 수행한 결과, 큰조롱박먼지벌레, 등빨간먼지벌레, 끝무늬먼지벌레, 딱정벌레붙이, 머

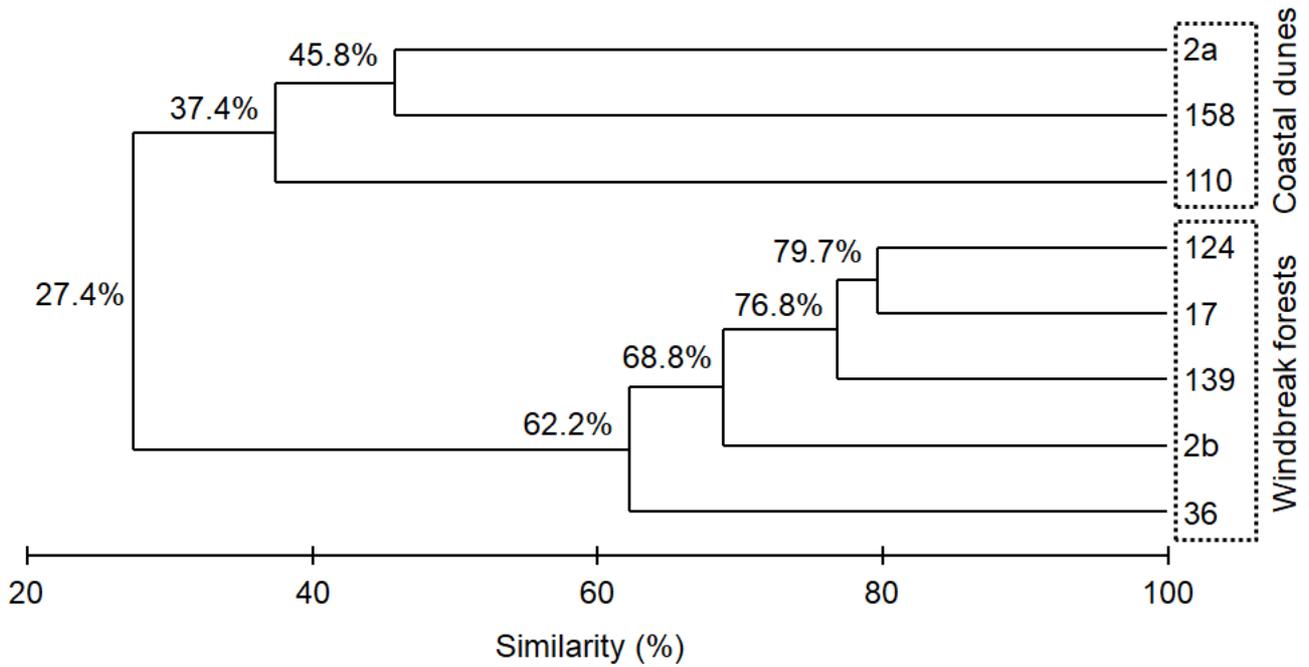


Fig 2. Group averaging cluster analysis of ground beetle assemblages based on square-root transformed data.

리먼지벌레, 중국머리먼지벌레 등이 사구에 대해서 높은 지표종 값을 갖는 것으로 나타났다(Table 3). 특히 큰조롱박먼지벌레와 등빨간먼지벌레는 채집된 전체 개체수 대부분이 사구에서만 관찰되었기 때문에 통계적으로 유의미한 지표종 값을 보였다. 반면, 다른 종들은 방풍림에 비해 사구에서 채집된 개체수가 상대적으로 많긴 하지만 방풍림과 비교가 어려울 정도로 유사하게 채집된 경우이거나(끝무늬먼지벌

레), 일부 지점에서 채집되지 않았기(딱정벌레붙이, 머리먼지벌레, 중국머리먼지벌레 등) 때문에 통계적 유의성을 보이지는 않았다. 반면, 통계적 유의성은 없었지만 윤납작먼지벌레, 붉은칠납작먼지벌레 및 쌍무늬먼지벌레가 방풍림 내에서 대부분의 개체가 채집되었고, 방풍림에 대한 지표종으로 활용 가능성이 있는 것으로 분석되었다.

Table 3. Two-way indicator table showing ground beetle species indicator value for habitat clustering hierarchy according to habitat type

Habitat type	Scientific name	Korean name	Indicator value	P-value
Sand dune	<i>Scarites sulcatus</i>	큰조롱박먼지벌레	1.000	*0.025
	<i>Dolichus halensis halensis</i>	등빨간먼지벌레	0.987	*0.039
	<i>Chlaenius virgulifer</i>	끝무늬먼지벌레	0.913	0.067
	<i>Craspedonotus tibialis</i>	딱정벌레붙이	0.816	0.116
	<i>Harpalus capito</i>	머리먼지벌레	0.816	0.119
	<i>Harpalus sinicus sinicus</i>	중국머리먼지벌레	0.816	0.119
	<i>Amara hiogoensis</i>	울릉등글먼지벌레	0.772	0.304
	<i>Harpalus tridens</i>	꼬마머리먼지벌레	0.733	0.376
	Windbreak forest	<i>Synuchus nitidus</i>	윤납작먼지벌레	0.969
<i>Synuchus cycloderus</i>		붉은칠납작먼지벌레	0.894	0.119
<i>Chlaenius naeviger</i>		쌍무늬먼지벌레	0.739	0.306

* P<0.05

고찰

본 연구 결과, 사구와 방풍림에서 서식하는 지표성 딱정벌레류의 종 다양성 및 종 구성은 큰 차이를 보이는 것이 확인되었다. 이러한 결과는 두 서식환경이 보여주는 고유한 환경적 특성 때문이라고 할 수 있을 것이다. 본 연구 대상지역의 사구는 초본류와 관목이 우점하고 있던 것에 비해, 방풍림은 해송과 하층 식생이 발달하고 있었기 때문에 서식환경 간 서식처의 구조 및 식물의 다양성이 매우 이질적이었다. 따라서 각각의 환경(사구와 방풍림)에 적응한 종이 다르기 때문에 지표성 딱정벌레류 종 구성의 유사도가 큰 차이를 보였던 것으로 생각된다. 예를 들어, 사구에서는 초지나 농경지에서도 쉽게 관찰되는 *Harpalus*속 및 *Chlaenius*속의 종 외에도 딱정벌레붙이나 큰조롱박먼지벌레와 같이 사구의 모래 환경에 적응한 종이 특이적으로 채집되었던 것에 비해, 방풍림에서는 *Synuchus*속의 종들이 주로 채집되었다. 이외에도 사구의 특성상 바람과 파도에 의한 교란이 자주 일어나는데 비해, 방풍림은 상대적으로 안정적인 환경을 유지하고 있는 것도 지표성 딱정벌레류의 분포에 영향을 주었을 가능성도 있다.

기존의 연구 문헌(Jung et al., 2014, 2017; Jung and Lee, 2016)과 비교하여 볼 때, 방풍림 내 지표성 딱정벌레류의 종 다양성은 일반적인 소나무림의 종 다양성과 비교해서 큰 차이가 없는 것으로 판단된다. 국내의 경우, 저지대의 소나무림(적송 또는 잣나무) 내 지표성 딱정벌레류의 종 다양성은 활엽수림(특히 고도가 높고 보존이 잘된 산림)(Jung et al., 2014, 2017), 농경지 및 초지(Jung and Lee, 2016)에 비해서 상대적으로 낮은 것으로 보고되는 것이 일반적이다. 특히 국내의 산림에서는 *Synuchus*속의 종이 가장 많이 채집되는 경향을 보이고 있으며(Jung et al., 2014, 2017; Jung and Lee, 2016), 간혹 주변 환경이나 조사지점의 위치에 따라서 쌍무늬먼지벌레와 같은 숲 가장자리를 선호하는 종이 다수 채집되는 경우(Jung and Lee, 2016)도 있는 것으로 보고된 바 있다. 반면, 본 연구를 통해 사구에서 채집된 지표성 딱정벌레류의 종 다양성은 초지 또는 농경지에서의 연구 결과(Jung and Lee, 2016)와 유사하였지만, 기존의 사구성 곤충 연구(Kim, 1981; Kim et al., 2017)에 비해서는 많은 종이 출현하였다. 이러한 차이는 조사방법 및 조사지점 주변의 식생 차이로 인한 것으로 생각된다.

결론적으로 본 연구 결과는 태안해안국립공원에서 발견되는 사구 지형이 방풍림과 비교해서 다른 곤충 군집을 보유하고 있음을 보여주고 있으며, 보호지역으로 지정된 신두리해안사구 외에 국립공원 내부 및 인접한 해안사구에 대해서도 곤충의 보존 대책 수립이 필요하다고 판단된다. 특히 국립공원에 포함되지 않은 사구 지형은 개발 압력에 의한

서식처 파괴가 일어날 가능성이 매우 높기 때문에 해안 사구 및 인접한 방풍림에 대한 지속적인 모니터링을 통해 곤충상의 변화를 추적할 필요가 있을 것이다. 이러한 모니터링에는 본 연구를 통해 선별된 지표종이 유용하게 사용될 수 있을 것이라 생각된다. 다만, 해안사구 지형에서의 곤충 다양성에 대한 연구는 여전히 부족하기 때문에 향후 더 많은 연구를 통해 각각의 서식환경별 지표종 개발이 필요할 것이다.

REFERENCES

- Brandle J.R., L. Hodges and X.H. Zhou(2004) Windbreaks in North American agricultural systems. *Agrofor. Syst.* 61: 65-78.
- Cho Y.H., Y.J. Kim, H.M. Lim, Y.G. Han, M.J. Choi and S.H. Nam(2011) A Faunistic Study of Insects of Uninhabited Islands in the Docho-myeon, Sinan-gun, Jeollanam-do, Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 25(5): 673-684.
- Clarke, K.R. and R.N. Gorley(2006) Primer v6: User manual/tutorial, PRIMER-E, Plymouth.
- De Caceres M., and F. Jansen(2016) Package 'indicspecies', version 1.7.6.
- Dufrène, M., and P. Legendre(1997) Species Assemblages and Indicator Species: The Need for a Flexible Asymmetrical Approach. *Ecol. Monograph* 67: 345-366.
- Gotelli, N.J., and R.K. Colwell(2001) Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecol. Lett.* 4: 379-391.
- Habu, A.(1967) Fauna Japonica, Carabidae truncatipennes group (Insecta: Coleoptera). Biogeographical Society of Japan, Tokyo.
- Habu, A.(1973) Fauna Japonica, Carabidae: Harpalini (Insecta: Coleoptera). Keigaku Publishing Co. Ltd, Tokyo.
- Habu, A.(1978) Fauna Japonica, Carabidae: Platynini (Insecta: Coleoptera). Keigaku Publishing Co. Ltd, Tokyo.
- Habu, A.(1987) Classification of the Callistini of Japan (Coleoptera, Carabidae). *Entomol Rev Japan* 42: 1-36.
- Jongman, R.H.G., C.J.F. ter Braak and O.F.R. van Tongeren(1995) Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press.
- Jung, J.K., and J.H. Lee(2016) Forest-farm edge effects on communities of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) under different landscape structures. *Ecol. Res.* 31: 799-810.
- Jung, J.K., S.K. Lee, S.I. Lee and J.H. Lee(2017) Trait-specific response of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) to forest fragmentation in the temperate region in Korea. *Biodivers. Conserv.* DOI:10.1007/s10531-017-1421-x. (Online published)

- Jung, J.K., S.T. Kim, S.Y. Lee, C.G. Park, J.K. Park and J.H. Lee(2014) A comparison of diversity and species composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) between conifer plantations and regenerating forests in Korea. *Ecol. Res.* 29(5): 877-887.
- Kim, H.K., D.S. Kim and Y.B. Cho(2017) The monitoring of sand dune insects using pitfall trap in Goraebul beach, Yeongdeok-gun, South Korea. *J. Asia-Pacific Biodivers.* DOI:10.1016/j.japb.2017.11.001. (Online published)
- Kim, J.I.(1981) Faune de la dune du sable littoral de la mer de Jaune. *Ent. res. Bulletin* 8: 61-72.
- Kim, J.S. and Y. Son(2000) Windbreak use and design. *Nat. Resource. Res.* 8: 21-35.
- Koivula, M.(2011) Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. In: Kotze DJ, Assmann T, Noordijk J, Turin H, Vermeulen R (Eds) *Carabid Beetles as Bioindicators: Biogeographical, Ecological and Environmental Studies.* *ZooKeys* 100: 287-317.
- KNPRI(2014) 2014 Resource monitoring of Taeanhaean National Park. Korea National Park Research Institute.
- Kwon, Y.J. and S.M. Lee(1984) Classification of the subfamily Carabinae from Korea (Coleoptera: Carabidae). *Insecta Koreana*, Series 4, Editorial Committee of *Insecta Koreana*.
- Legendre, P. and L. Legendre(1998) *Numerical Ecology.* Elsevier, Amsterdam.
- Löbl, I. and A. Smetana(2003) *Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Volume I. Archostemata-Myxophaga-Adephaga.* Apollo Books. Stenstrup, Denmark.
- Lövei, G.L. and K.D. Sunderland(1996) Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Ann. Rev. Entomol.* 41: 231-256.
- McGeoch, M.A. and S.L. Chown(1998) Scaling up the value of bioindicators. *Trends Ecol. Evol.* 13: 46-47.
- Oksanen, J., F.G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlinn, P.R. Minchin, R.B. O'Hara, G.L. Simpson, P. Solymos, M.H.H. Stevens, E. Szoecs and H. Wagner(2017) Package 'vegan'. *Community ecology package, version 2.4-2.*
- Paek, M.K., J.M. Hwang, K.S. Jung, T.W. Kim, M.C. Kim, Y.J. Lee, Y.B. Cho, S.W. Park, H.S. Lee, D.S. Ku, J.C. Jeong, K.G. Kim, D.S. Choi, E.H. Shin, J.H. Hwang, J.S. Lee, S.S. Kim and Y.S. Bae(2010) Checklist of Korean insects. *Nature and Ecology, Nature and Ecology. Academic Series 2.* (in Korean)
- Park, J.K. and J.C. Paik(2001) Family Carabidae. *Economic Insects of Korea* 12. *Ins. Koreana Suppl.* 19, Jungshaeng-sa, Seoul.
- R Core Team(2016) *R: a language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna. <http://www.R-project.org/>.
- Rainio, J. and J. Niemelä(2003) Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodivers. Conserv.* 12: 487-506.