

습지 지표종으로서 딱정벌레류를 이용한 부산, 경남 주요 습지의 특성 및 변화 관찰^{1a}

도윤호² · 문태영³ · 주기재^{2*}

Application of the Carabid Beetles as Ecological Indicator Species for Wetland Characterization and Monitoring in Busan and Gyeongsangnam-do^{1a}

Yu-No Do², Tae-Young Moon³, Gea-Jae Joo^{2*}

요 약

습지의 서식지 특성 및 환경 지표종을 찾기 위해 부산과 경남에 위치한 습지 유형이 다른 하천습지, 산지습지, 하구 습지에서 딱정벌레류를 조사하였다. 조사결과 딱정벌레과, 먼지벌레과, 폭탄먼지벌레과에 속한 22속 28종이 채집되었고, 종다양성은 하천습지(우포늪, 화포늪), 산지늪(재약산늪), 하구습지(낙동강하구) 순으로 나타났다. 딱정벌레류의 종조성은 각 습지에서 독립적으로 나타났는데($\chi^2=1716.8, P<0.01$), 하천습지와 산지늪이 가장 다른 종조성을 보였다. 지표종분석을 통해 각 유형의 습지를 대표하는 2~6종의 딱정벌레류를 지표종으로 선출하였는데, 지표종들은 토성과 토양습도, 인위적 환경변화에 대해 민감하게 반응하여 습지환경변화를 모니터링할 수 있는 것으로 보인다. 추후 생활사나 먹이특성 등 딱정벌레류의 각 종별로 자세한 생태적 특성이 연구되면 지표종으로 딱정벌레류를 일반화하여 여러 서식지에서 활용할 수 있을 것으로 보인다.

주요어 : 지표성딱정벌레류, 생태지표종, 환경변화

ABSTRACT

Investigation of carabid beetles as an ecological indicator species for wetland characterization and monitoring was conducted in three types of wetlands such as emergent wetland, forested wetland, and estuary. During the investigation period, twenty-eight species belonging to twenty-two genera and three families (Carabidae, Harpalidae, Brachinidae) were identified. The diversity of carabid beetles at riverine wetland such as Woopo ($H=1.18$) and Hwapo-neup ($H=1.08$) were higher than in the forested wetland ($H=1.03$) and estuarine ($H=0.91$). Species compositions in each wetland were significantly different ($\chi^2=1716.8, P<0.01$). Riverine wetlands differed significantly from the forested wetland. Indicator species for the wetland chose with indicator species analysis were reacted sensitively on the parameter such as soil composition, moisture of soil, and environmental change. Thus, it was consequently suggested that these

1 접수 12월 27일 Received on Dec. 27, 2006

2 부산대학교 생물학과 Department of Biology, Pusan National Univ., Busan (609-735) Korea

3 고신대학교 생명과학부 Division of Biological Sciences, Kosin Univ., Busan (606-701) Korea

a 이 논문은 환경부 장기생태연구사업과 부산대 BK사업 지원에 의한 연구 논문임.

* 교신저자 Corresponding author (gjoo@pusan.ac.kr)

indicator species may be applied for wetland characterization and monitoring of the wetland ecosystem.

KEY WORDS : GROUND BEETLE, ECOLOGICAL INDICATOR, ENVIRONMENTAL CHANGE

서론

생물다양성을 보전하는 것은 항상 시간적인 제한이 뒤따르는 작업으로 과학적이고 효율적인 보전 전략과 방법을 찾는 것이 중요하다(May, 1988). 보전을 위해 필요한 가장 기본적인 작업 중 하나가 보전 대상지역 혹은 후보지역에 서식하는 생물들에 대한 종목록을 작성하는 것이다(Kremen *et al.*, 1993). 그러나 아무리 좁은 지역 혹은 서식지라도 완전한 종목록을 작성하는 것은 거의 불가능하므로(Cranston, 1990), 지표종(indicator species)이나 모니터링 대상종을 선정하고 이들 종을 이용하여 지역의 환경변화나 보전에 필요한 정보를 연구한다(Noss, 1990). 특히 습지와 같이 시간의 흐름에 따라서 생태계가 자연적으로 변하는 장소에서는 지표종을 선정하여 서식지 변화를 확인하고 예측하는 방안이 절실히 요구된다.

습지는 연중 또는 상당기간 동안 물이 지표면을 덮고 있거나 지표 인근에 물이 위치하고 있는 토지를 말하고(Mitsch and Gosselink, 1993), 매우 독특한 생태계로 서식하는 생물상 역시 특이성이 있는 것으로 알려져 있다. 습지에 서식하고 있는 다양한 생물들이 지표종으로 활용 가능하지만 수생식물(Reed, 1997)을 제외한 다른 분류군은 다양성이나 생태적 기능 등에 대한 정보가 부족하여 지표종으로 활용된 사례는 많지 않다(Niemi and McDonald, 2004). 국내에서도 여러 지역에서 습지가 발견되고 있으며, 화염늪과 무제치늪, 우포늪 등이 생태계 보전지역이나 습지보전지역으로 지정되어 다각적인 보전방안들이 마련되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 전국 내륙습지조사사업(환경부, 2002)이 진행되어 습지 목록과 일부 습지의 생물다양성이 파악되었다. 그러나 사업의 특성상 짧은 연구기간 내에 가능한 높은 생물다양성을 기록해야하므로 연구의 결과가 회귀종이나 멸종 위기종 집단의 유무에 집중되었다. 따라서 습지에 서식하는 생물을 이용하여 각 습지의 특성을 구분하고 환경변화를 설명하기에는 어려움이 있다.

습지의 지표종으로 활용 가능한 생물 중 딱정벌레류(carabid beetle)는 전형적인 포식성 종들로 미소토양무척추동물을 먹이로 하여 공격적인 조절자의 역할을 하는 종류가 많다. 또 포식자인 동시에 분해자의 역할도 수

행하는 종들도 포함되어 있어 대형척추동물들에 의한 분해가 거의 없는 지역에서 물질순환의 최종단계에 참여하는 종들로 볼 수 있다. 따라서 이들은 지역생태계의 물질순환 유지를 위해 매우 중요한 역할을 수행하는데 특히 높은 수분함량과 낮은 pH 등 독특한 토양환경에 의해 분해가 잘 이루어지지 않는 습지에서 이들의 다양성은 더욱 중요하다.

딱정벌레류는 미소서식지의 환경 특히 식생과 토양 습도 변화에 민감하게 반응(Rainio and Niemelä, 2003)하여 습지의 환경변화를 확인하는 지표종으로 활용될 가능성이 크다. 국내에서도 딱정벌레류를 이용하여 습지의 건조화 정도를 판단하는데 이용된 바 있다(도윤호와 문태영, 2002a). 그 밖에도 자연습지와 인공습지인 수답에서 기록된 딱정벌레류의 종조성이 서로 독립적인 것(도윤호와 문태영, 2002b)으로 나타나서 딱정벌레류를 이용하여 습지의 종류를 분류하고 습지의 환경변화를 파악하거나 예측할 수 있을 것으로 보인다.

따라서 유형이 서로 다른 습지에서 딱정벌레류를 조사하여 습지의 서식지 및 환경 지표종을 찾기 위해 노력하였다. 이를 위해서 유형이 다른 습지마다 딱정벌레류의 종목록을 작성하여 습지별 다양성을 파악하고 종조성의 차이와 지표종분석(Indicator Species Analysis, Dufrene and Legendre, 1997)을 통해 습지 지표종을 선정하였다. 각 습지유형에서 지표종으로 선정된 종별 생태적 특성을 고려하여 습지의 환경변화를 확인할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지역

2004년부터 2005년 사이에 경상남도와 부산시에 위치한 화포늪, 우포늪, 재약산 톱텅에 위치한 늪(공식명칭 미지정, 본 논문에서는 재약산늪으로 지칭함), 낙동강하구에서 각각 3지점을 선정하여 4회 이상(계절조사) 딱정벌레류를 조사하였다. 각 습지의 소재지, 지리좌표, 면적, 해발고도, 습지유형에 대한 정보는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Description of location, coordinates, altitude, area and type for study sites

name	location	geographic coordinates	altitude (m)	area (ha)	type
Hwapo-neup	Hanlim-myeon, Gimhae-si, Gyeongsangnam-do	128° 48' 47" E 35° 19' 43" N	3.2	118	Riverine (Emergent wetland)
Woopo	Yueo-myeon, Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do	128° 24' 56" E 35° 33' 15" N	20	231	Palustrine (Emergent wetland)
Jaeyaksan-neup	Danjang-myeon, Miryang-si, Gyeongsangnam-do	128° 58' 52" E 35° 32' 40" N	950	95	Palustrine (Forested wetland)
Nakdong River Estuary	Saha-gu, Busan	128° 56' 22" E 35° 5' 21" N	1.4	5,500	Estuarine

2. 연구방법

딱정벌레류를 채집하기 위해서 glucose:nitrate:ethylalcohol의 비율을 6:2:2로 혼합한 유인액을 사용한 함정트랩(pit-fall trap)을 이용하였다. 유인액을 지름이 7.5cm인 종이컵에 3~4cm를 채우고 각 조사 지점에서 4~6m간격으로 10개씩 설치하여 2일 후 수거하였다. 종의 분류는 Habu(1973, 1978)을 이용하여 종수준까지 분류하기 위해 노력하였고, 종수준까지 분류가 어려운 일부 종들에 대해서는 추후 논의를 위하여 종목록표에 구분하여 나타내었다. 분류체계는 한국곤충명집(1994)을 원칙으로 따랐으며 결과에 삽입된 그림에서는 지면을 고려하여 각 종의 약어를 이용하였다(cf. Table 2). 딱정벌레류의 다양성과 특성을 파악하기 위해서 각 지역별로 다양도지수(H' , Shannon-Wiener, 1949)와 균등성지수(J' , Shannon-Wiener, 1949)를 구하였다. 지역간의 종 조성 차이를 확인하기 위해서 상대풍부도(Relative Abundance)와 종수도분포(Species Abundance Distribution), χ^2 검정을 실시하였다. 지표종분석(Indicator Species Analysis, Dufrene and Legendre, 1997)을 위해 비가중산술평균(Unweighted Pair-Group Mean Average, UPGMA)으로 집괴분석(clustering analysis)하여 아래의 공식에 따라서 지표값(Indicator Value, IndVal)을 산출하였다.

A_{ij} (특이성 점정) = N 개체수 $_{ij}$ / N 개체수

B_{ij} (적합도 점정) = N 지역 $_{ij}$ / N 지역

$IndVal_{ij}$ = $A_{ij} \times B_{ij} \times 100$

N 개체수 $_{ij}$ = j 번째 그룹의 지점에 있는 i 번째 종의 평균 개체수

N individuals $_i$ = 전체그룹에 있는 i 번째종의 평균개체수의 합

N sites $_{ij}$ = i 번째 종이 있는 j 번째 집괴 내에 있는 지점수
 N sites $_j$ = 집괴내의 총 지점수

결 과

1. 딱정벌레류의 다양성

네 지역의 습지에서 채집된 딱정벌레과(Carabidae), 먼지벌레과(Harpalidae), 폭탄먼지벌레과(Brachinidae)는 모두 22속 28종으로 나타났다(Table 2). 먼지벌레과가 19속 25종으로 전체 종수의 약 89.3%를 차지하여 과(family) 수준에서 가장 높은 다양성을 보였고, 딱정벌레과가 2속 2종(7.1%), 폭탄먼지벌레과가 1속 1종(3.6%) 순으로 나타났다.

4지역의 습지 중 우포늪에서 먼지벌레과와 폭탄먼지벌레과에 속한 13속 17종이 채집되어 다양도지수(H')가 1.18로 가장 높은 다양성을 나타내었다. 우점종은 중국먼지벌레(*Nebria chinensis chinensis* Bates)로 상대풍부도(Relative Abundance, RA)가 11.3%로 나타났고, 아우점종은 풀색먼지벌레(*Chlaenius pallipes* Gebler, RA=8.6%)와 등빨간먼지벌레(*Dolichus halensis halensis* (Schaller), RA=8.1%)였다. 화포늪($H'=1.08$)에서는 먼지벌레과와 폭탄먼지벌레과에 10속 15종이 기록되었고, 우점종은 폭탄먼지벌레(*Pheropsophus jessoensis* Morawitz, RA=15.5%)이며 아우점종은 윤납작먼지벌레(*Synuchus nitidus* (Motschulsky), RA=12.5%)와 등빨간먼지벌레(RA=11.8%)였다. 재약산늪에서는 딱정벌레과와 먼지벌레과에 13속 14종($H'=1.03$)이 채집되었는데, 우점종은 꼬마좁쌀먼지벌레(*Stenolophus fulvicornis* Bates, RA=23.9%)이고 아우점종은 만주애납작먼지벌레(*Pristosia vigil* (Tschitschérine), RA=12.7%), 한국길쭉먼지벌레(*Trigonognatha coreana*

Table 2. Species inventory of carabid beetle in the study sites

scientific name	national name	abv.	Hp	Wp	Nr	Jy
Family Carabidae		딱정벌레과				
<i>Calosoma inquisitor cyanescens</i> Motschulsky	플색명주딱정벌레	Cin	0	0	0	8
<i>Hemicarabus tuberculatus</i> (Dejean et Boisduval)	애딱정벌레	Htu	0	0	0	4
Family Harpalidae		먼지벌레과				
<i>Nebria chinensis chinensis</i> Bates	중국먼지벌레	Nch	14	25	0	8
<i>Nebria ochotica</i> Sahlberg(?)	검정가슴먼지벌레	Noh	0	0	0	13
<i>Anisodactylus punctatipennis</i> Morawitz	점박이먼지벌레*	Apu	6	4	5	2
<i>Anisodactylus signatus</i> (Panzer)	먼지벌레*	Asi	8	10	24	13
<i>Harpalus capito</i> Morawitz	머리먼지벌레	Hca	0	0	26	0
<i>Lebidia bioculata</i> Morawitz	쌍점박이먼지벌레	Lbi	0	0	0	21
<i>Parena cavipennis</i> (Bates)	납작선두리먼지벌레	Pca	28	17	3	0
<i>Stenolophus fulvicornis</i> Bates	꼬마좁쌀먼지벌레	Sfu	3	11	0	64
<i>Diplocheila zeelandica</i> (Redtenbacher)	모래사장먼지벌레	Dze	12	0	0	0
<i>Dolichus halensis halensis</i> (Schaller)	등빨간먼지벌레	Dha	32	18	98	21
<i>Synuchus nitidus</i> (Motschulsky)	윤납작먼지벌레	Sni	34	16	44	0
<i>Synuchus cycloderus</i> (Bates)(?)	붉은칠납작먼지벌레*	Scy	1	6	12	0
<i>Synuchus melantho</i> (Bates)	검정칠납작먼지벌레	Sme	21	11	75	0
<i>Pristosia vigil</i> (Tschitschérine)(?)	만주애납작먼지벌레	Pvi	0	0	0	34
<i>Colpodes buchmanani</i> Hope	날개끝가시먼지벌레	Cbu	0	0	10	0
<i>Colpodes adonis</i> Tschitschérine	줄납작먼지벌레	Cad	22	10	31	0
<i>Platynus quadriimpressus</i> (de Geer)	넙점박이먼지벌레	Pqu	0	15	0	0
<i>Agonum daimio</i> (Bates)	등줄먼지벌레	Ada	0	0	0	20
<i>Trigonognatha coreana</i> (Tschitschérine)	한국길쭉먼지벌레	Tco	0	0	0	26
<i>Pterostichus audax</i> Tschitschérine(?)	수도길쭉먼지벌레	Pau	0	0	0	13
<i>Lesticus magnus</i> (Motschulsky)	큰먼지벌레	Lma	0	7	86	0
<i>Amara ussuriensis</i> Lutshnik	우수리둥글먼지벌레	Aus	0	2	10	21
<i>Chlaenius naeviger</i> Morawitz	쌍무늬먼지벌레	Can	8	21	0	0
<i>Chlaenius virgulifer</i> Chaudoir	끝무늬먼지벌레	Cvi	18	12	0	0
<i>Chlaenius pallipes</i> Gebler	플색먼지벌레	Cpa	22	19	0	0
Family Brachinidae		폭탄먼지벌레과				
<i>Pheropsophus jessoensis</i> Morawitz	폭탄먼지벌레	Pje	42	17	0	0
species richness			15	17	12	14
diversity index(H')			1.08	1.18	0.91	1.03
evenness(J')			0.91	0.96	0.84	0.90

abv., abbreviation; Hp, Hwapo-neup; Wp, Woopo; Nr, Nakdong River Estuary; Jy, Jaeyaksan-neup; $\chi^2=1716.8$, $df=297$, $P<0.01$; * $P>0.05$

(Tschitschérine), RA=9.7%)였다. 다양성이 가장 낮게 나타난 낙동강하구($H'=0.91$)에서는 먼지벌레과에 8속 12종이 기록되었고 우점종은 등빨간먼지벌레(RA=23.1%), 아우점종은 큰먼지벌레(*Lesticus magnus* (Motschulsky), RA=20.3%)로 나타났다.

2. 습지별 딱정벌레류의 종조성

종수도분포를 통해 점박이먼지벌레(*Anisodactylus punctatipennis* Morawitz, $\chi^2=2.06$, $P=0.94$), 먼지벌레(*A. signatus* Panzer, $\chi^2=11.08$, $P=0.43$), 붉은칠납작먼지벌레(*Synuchus cycloderus* (Bates), $\chi^2=20.79$, $P=0.04$)를 제외한 딱정벌레류는 각 습지에서 서로 독립

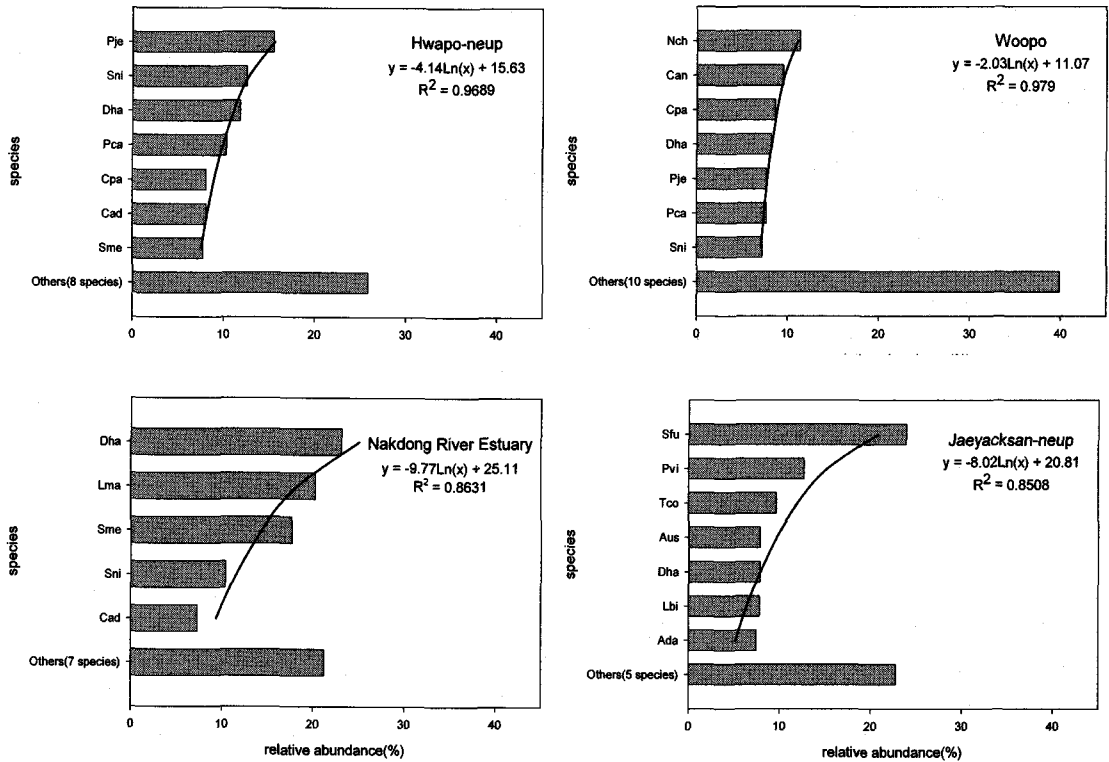


Figure 1. Relative abundances of carabid beetles in four wetlands

적인 것으로 나타났다($\chi^2=1716.8, P<0.01$). 우포늪과 화포늪에서 상위우점종들의 상대풍부도 회귀식이 각각 $y=-2.03\ln(x)+11.07(R^2=0.98)$, $y=-4.14\ln(x)+15.63$ ($R^2=0.97$)으로 재약산늪과 낙동강하구에 비해서 우점군의 영향이 뚜렷하지 않은 종조성을 보였다(Figure 1). 균등도(J) 역시 우포늪이 0.96로 가장 높게 나타났으며 화

포늪($J=0.91$), 재약산늪($J=0.90$), 낙동강하구($J=0.84$) 순으로 나타났다.

습지간 딱정벌레류의 종조성의 유사성을 집괴분석한 결과, 화포늪과 우포늪의 유사도가 0.88로 하나의 유사군으로 묶였고, 이 유사군과 낙동강하구의 유사도는 0.64이었다. 종조성의 차이가 가장 큰 재약산늪은 다

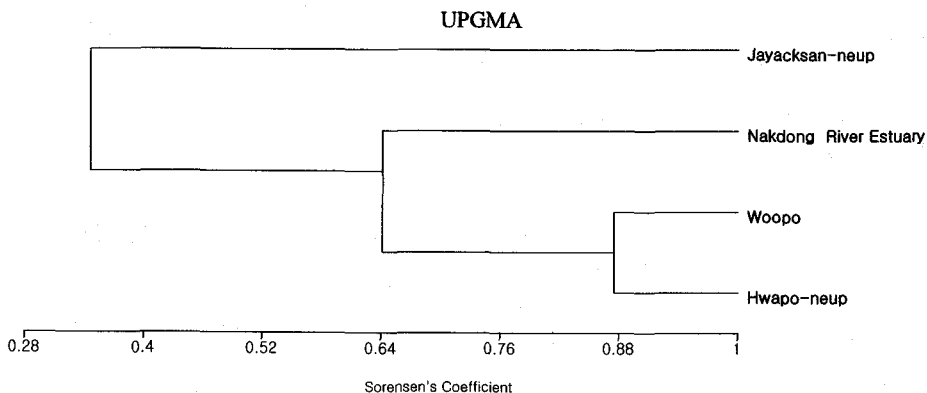


Figure 2. Dendrogram for cluster analysis of four wetlands

른 3지역의 습지와 유사도가 0.35로 나타났다(Figure 2).

3. 습지 지표종

집괴분석을 바탕으로 지표종 분석을 실시한 결과 지표종 수는 낙동강하구가 9종으로 가장 다양하고 재약산(7종), 화포늪-우포늪(6종) 순으로 나타났다(Figure 2). 최대 지표값(IndVal=100)을 보인 종수의 비율은 재약산늪이 60%로 가장 높고 화포늪-우포늪(50%), 낙동강하구(22%)로 지표종군들을 이용한 설명력은 재약산늪의 지표종들이 높은 것으로 나타났다. 습지에서 기록된 종 중 모래사장먼지벌레(*Diplocheila zeelandica* (Redtenbacher), IndVal=50, P=0.23), 녀적박이먼지벌레(*Platynus quadriimpressus* (de Geer), IndVal=50, P=0.27), 우수리등글먼지벌레(*Amara ussuriensis* Lutshnik, IndVal=

65.6, P=0.12), 풀색명주딱정벌레(*Calosoma inquisitor cyanescens* Motschulsky, IndVal=66.7, P=0.08), 애딱정벌레(*Hemicarabus tuberculatus* (Dejean et Boisduval), IndVal=66.7, P=0.08), 점박이먼지벌레(IndVal=41.7, P=0.49)는 통계적으로 유의한 지표값을 가지지 못했다.

화포늪-우포늪의 지표종은 두 지역 습지에서 공통적으로 출현하는 종들로 폭탄먼지벌레류와 무늬먼지벌레류가 최대 지표값을 보였고, 납작선두리먼지벌레(*P. cavipennis* (Bates), IndVal=73.5)와 중국먼지벌레(IndVal=70.9) 순으로 나타났다. 재약산늪의 지표종은 좁쌀먼지벌레류와 같이 습한 장소를 선호하는 종들과 납작먼지벌레류, 가슴먼지벌레류와 같이 주변환경은 건조하지만 돌이나 나뭇잎으로 인해 토양이 덮여 습한 장소에서 발견되는 종이 높은 지표값을 보였다. 낙동강하구의 지표종들은 다른 습지의 지표종에 비해 낮은 지표값을 보였는데, 머리먼지벌레(*Harpalus capito* Morawitz)와 날개끝가시먼지벌레(*Colpodes buchanani* Hope)가 최대 지표값을 보였고, 납작먼지벌레류가 포함되었다.

Table 3. Indicator value(IndVal) of species in clustered sites.

sites	species	IndVal (%)
Hwapo-neup Woopo	Dze*	50.0
	Pqu*	50.0
	Nch	70.9
	Pca	73.5
	Can	100.0
	Cvi	100.0
	Cpa	100.0
	Pje	100.0
	Aus*	65.6
	Cin*	66.7
Jaeyaksan-neup	Htu*	66.7
	Sfu	90.8
	Lbi	100.0
	Pda	100.0
	Tco	100.0
	Pau	100.0
	Noc	100.0
	Pji	100.0
	Apu*	41.7
	Asi	50.0
Nakdong River Estuary	Sni	63.8
	Cad	66.0
	Dha	68.1
	Scy	77.4
	Sme	82.4
	Lma	96.0
	Hca	100.0
	Cbu	100.0

* P>0.05

고찰

4지역의 습지에서 딱정벌레과, 먼지벌레과, 폭탄먼지벌레과에 속한 22속 28종이 채집되었고 각 습지에서 평균 14종이 출현하였는데, 일반적으로 산지에서 출현하는 딱정벌레류의 다양성(도윤호와 문태영, 2002a; Ings and Hartley, 1999)에 비해 낮게 나타났다. 물론 본 연구에서는 함정채집만을 이용하였기 때문에 초식성향을 보이는 머리먼지벌레류(*Harpalus*)와 등글먼지벌레류(*Amara*)의 채집이 상대적으로 많이 이루어지지 않아 딱정벌레류의 다양성이 낮게 나타날 수도 있다. 그러나 채집방법의 차이로 인해 습지에서 딱정벌레류의 다양성이 낮게 나타났기 보다는 목본식물의 침입이 적은 습지는 넓은 그늘이 없어서 지표거주성향이 강한 딱정벌레류의 체온 상승과 대기노출에 의한 탈수라는 문제와 동절기에 과도한 수분에 의한 동사 등이 제한 요인으로 작용하기 때문으로 생각한다 (문태영, 2002).

습지에서 딱정벌레류의 종조성에 영향을 미치는 주요인은 토양의 조성고 습도인데(Gardner, 1991), 종조성의 유사도를 살펴보면 강배후습지인 강의 제방내에 위치하거나 배후습지성 호소인 화포늪과 우포늪이 서로 유사하게 묶였다. 강의 수변 특성과 염습지 특성을 모두 가지는 낙동강하구도 호소성 범람습지와 유사한 종조성을 보인 반면 산지성 늪인 재약산늪은 매우 이질적인 종조성을 보였다.

지표종분석을 통해 각 습지의 지표종을 선정하였는데 이들 종은 포괄적 의미로 습지성 곤충이다. 습지성 곤충은 습지를 선호(preference)하는 곤충군과 습지에서 생활사의 전부 또는 일부를 습지에 의존해 습지를 선택적(selection)으로 활용하는 곤충 모두를 포함해 지칭한다. 이러한 습지성 곤충은 직, 간접적으로 습지에 의존하거나, 긴밀한 영향을 주고받는 관계에 있어 습지의 변화에 민감하게 반응하게 된다. 이러한 의미에서 지표종으로 선정된 딱정벌레류는 습지에서 서식하는 종뿐만 아니라 습지 주변의 서식지를 활용하지만 습지에서 관찰되는 종들까지도 포함된다.

먼저 각 습지에서 지표종으로 나타난 종들의 생태적 특성을 활용하여 습지의 종류와 지리적 특성을 확인해보면 화포늪과 우포늪의 지표종으로 나타난 무늬먼지벌레류는 모래보다 미사와 점토의 함유량이 높은 장소를 서식지로 선호하는데(Barrion and Litsinger, 1985; Andersen, 1983), 범람에 의해 유지되는 이들 습지는 수변대의 토성이 미사와 점토 함유량이 높은 특성을 보인다. 반면 낙동강하구의 지표종으로 나타난 납작먼지벌레류들은 Andersen(1983)에 따르면 수체의 변동이 적은 수변대 중 모래질의 함유량이 높은 장소를 서식지로 활용하는 종들로 사주와 하중도가 잘 발달한 낙동강하구의 특성을 잘 보여준다. 특히 이들의 분포가 갯벌이 발달한 지역의 수변대에서는 출현개체수가 적은 것을 관찰하였다. 재약산늪의 지표종들로 나타난 종들은 습지를 둘러싸고 있는 소나무림에서 흔히 관찰되는 종들과 습지 가장자리에 이끼류나 키가 낮은 초본식생이 있는 습한 장소에서 관찰되는 종이 함께 관찰되어 산지성 늪의 지리적 위치를 잘 나타낸다.

습지의 환경을 변화시키는 대표적인 요인으로 수량의 변화와 인위적인 교란이 있는데(Keddy, 1983), 각각의 요인에 따라 습지에서 딱정벌레류의 종조성이나 다양성이 바뀔 수 있다. 특히 재약산늪과 같은 산지성 늪은 수량의 감소에 의해 건조화의 진행이 하천습지나 연안습지에 비해 빠르게 진행되는데, 건조화가 진행되면 건조한 지역을 선호하는 종들은 습지에서 출현 장소가 넓어지고 수도와 다양성은 증가한다. 도윤호와 문태영(2002a)에 의하면 산지성 딱정벌레류들이 무제치늪에서 건조화되는 장소를 중심으로 습지 내부까지 침입하여 출현하는 것을 확인한 바 있다. 더욱이 이들 분포가 소나무나 졸참나무와 같이 건조성 교목식물의 침입보다 더 빨리 습지로 내부로 침입하여 습지의 건조화를 파악하는데 유의한 것으로 나타났다. 화포늪이나 우포늪과 같은 하천습지의 경우에도 습지가 위치한 수계에 불필요한 저수지나 보, 제방 건설로 인해 계절적 범람의 영향

을 받는 면적이 감소하면 무늬먼지벌레류와 같이 범람에 적응하여 범람 전후로 활용하는 서식지가 달라지는(Adis and Junk, 2002) 종들의 출현지역과 다양성은 감소할 가능성이 크다. 낙동강하구의 지표종인 납작먼지벌레류는 Ishitani *et al.*(2003)에 따르면 하구가 개발되어 수변대와 연안대의 면적이 감소하면서 납작먼지벌레류의 수도와 다양성이 급격히 감소하는 것을 확인한 바 있다. 그러나 하구의 개발이 납작먼지벌레류 서식지의 어떠한 요소에 영향을 미쳐서 다양성이 감소하는지는 확인할 수 없지만 전반적인 하구의 건강성을 확인하는데 활용할 수 있을 것이다.

국내에서는 출현 종의 희귀성에 초점을 두어 보전지역을 선정하거나 관리방안을 제시하는 경우가 많다. 그러나 희귀종을 대상으로 서식지의 변화를 확인하는 실험은 불가능하고 환경변화에 따른 집단의 크기 변화를 추정하는 연구도 제한된다(Usher and Jefferson, 1991). 국내의 산지 습지를 중심으로 꼬마잠자리(*Nannophya pygmaea* Rambur)나 넓적뿌리일벌레(*Plateumaris sericea* (L.))가 습지의 환경에 적응하여 서식하는 종들로 알려지고 있으나(조영복과 김도성, 1998), 멸종위기종이거나 관찰개체수가 너무 적어서 습지에서 이들 종의 출현유무만을 확인할 수 밖에 없다. 또한 이들 종은 습지에서 특이적으로 분포하는 종이기는 하지만 습지의 환경변화를 대표하거나 설명하기에는 어려움이 있다. 반면, 본 연구에서 지표종으로 선정된 딱정벌레류들은 희귀성보다 다양성을 기조로 선정한 종들이므로 다양한 조사방법을 통해 결과를 도출할 수 있다. 또한 함정채집이라는 비교적 정량화되어 있고 간단한 방법을 통해 쉽게 채집이 가능하며 짧은 기간내에 조사된 결과만을 이용하더라도 다양성과 분포양상을 파악하여 서식지 특성과 변화를 확인할 수 있는 장점이 있다(Spence and Niemelä, 1994).

습지에 서식하는 곤충류에 관한 전반적인 정보가 극히 부족한 국내의 현실에서는 습지의 환경을 모니터링하기 위해 지표종으로서 딱정벌레류뿐만 아니라 다른 분류군에 대한 장기적이고 그 구성원들의 생태적 중요성에 관한 연구가 선행되어야 할 것이다. 추후 이러한 연구가 진행될수록 여러 습지에서 일반화된 방법으로 많은 지표종 그룹을 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

인용문헌

- 도윤호, 문태영(2002a) 울주군 무제치 제1늪의 지표보행성 갑충군의 다양성 구조. 한국습지학회지 4(1): 33-42.
 도윤호, 문태영(2002b) 양산 원효산 화염늪에서 육화에 따른

- 곤충군집의 천이. 한국습지학회지 4(2): 13-22.
- 문태영(2002) 내륙습지 곤충상의 다양성과 생태에 대한 스케치. 2002한국생태학회 심포지움 강연록, 43~69쪽.
- 조영복, 김도성(1998) 정족산 무제치늪의 곤충상과 그 보존 방안. 정족산 무제치늪 조사 결과 보고서(2차년도). 환경부, 62~78쪽.
- 한국곤충학회, 한국응용곤충학회(1994) 한국곤충명집. 건국대학교출판부, 214쪽
- 환경부(2002) 전국내륙습지조사보고서.
- Andersen, J.(1983) Towards an ecological explanation of the geographical distribution of riparian beetles in western Europe. *J. Biogeogr.* 10: 421-435.
- Adis, J. and W.W. Junk(2002) Terrestrial invertebrates inhabiting lowland river floodplains of Central Amazonia and Central Europe: a review. *Fresh. Biol.* 47: 711-731.
- Barrion, A.T. and J.A. Litsinger(1985) *Chlaenius* spp. (Coleoptera: Carabidae), a leafholder (LF) predator. *IRRN.* 10: 21.
- Cranston, P.S.(1990) Biomonitoring and invertebrate taxonomy. *Environ. Environ. Monit. Assess.* 14: 265-273.
- Dufrêne, M., and P. Legendre(1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol. Monogr.* 67: 345-366.
- Gardner, S.M.(1991) Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) communities on upland heath and their association with heathland flora. *J. Biogeogr.* 18: 281-289.
- Habu, A.(1973) Fauna Japonica. Carabidae: Harpalini (Insecta: Coleoptera). 430pp(24pls).
- Habu, A.(1978) Fauna Japonica. Carabidae: Platynini (Insecta: Coleoptera). 447pp(36pls).
- Ings, T.C., and S.E. Hartley(1999) The effect of habitat structure on carabid communities during the regeneration of a native Scottish forest. *For. Ecol. Manage.* 119: 123-136.
- Ishitani, M., D.J. Kotze, and J. Niemelä(2003) Changes in carabid beetle assemblages across an urban-rural gradient in Japan. *Ecography* 26: 481-489.
- Keddy, P.A.(1983) Freshwater wetland human-induced changes: indirect effects must also be considered. *Environ. Manage* 7: 299-302.
- Kremen, C., R.K. Colwell, T.L. Erwin, D.D. Murphy, R.F. Noss, and M.A. Sanjayan(1993) Terrestrial arthropod assemblages: their use in conservation planning. *Conserv. Biol.* 7: 796-808.
- May, R. M.(1988) Conservation and disease. *Conserv. Biol.* 2: 28-30.
- Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink(1993) *Wetlands*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp21-29.
- Niemi, G.J. and M.E. McDonald(2004) Application of ecological indicators. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35: 89-111.
- Noss, R.F.(1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conserv. Biol.* 4: 355-364.
- Rainio, J. and J. Niemelä(2003) Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiv. Conserv.* 12: 487-506.
- Reed, P. B.(1997) Revision of the national list of plant species that occur in wetlands. US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington D.C., 253pp.
- Shannon, C.E. and W. Wiener(1949) *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press, Urbana, 117pp.
- Spence, J.R. and J.K. Niemelä(1994) Sampling ground beetle assemblages with pitfall trap: the madness and the method. *Can. Entomol.* 126: 522-530.
- Usher, M.B. and R.G. Jefferson(1991) *Creating new and successional habitats for arthropods, The conservation of insects and their habitats*. Collins NM, Thomas JA, Academic Press, London, pp263-291.