

모래하천에서 식생 침입에 대한 육상곤충 군집의 반응

Response of Terrestrial Insect Community to the Vegetation Invasion at a Sand-Bed Stream

조건호¹ · 조강현^{2*}¹서울대학교 응용생물화학부, ²인하대학교 생명과학과Geonho Cho¹ and Kang-Hyun Cho^{2*}¹Department of Applied Biology and Chemistry, Seoul National University, Seoul 08826, Korea²Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 22212, Korea

Received 27 March 2017, revised 30 March 2017, accepted 30 March 2017, published online 31 March 2017

ABSTRACT: In order to investigate the response in fauna and biological communities of terrestrial insects to the vegetation encroachment on the sandbar, species composition, species diversity, functional species traits and community structure of land-dwelling insects sampled by a pit-fall trap were compared at the bare and vegetated sandbar of a typical sand-bed stream, the Naeseong Stream, Korea. Species diversity of the insects was increased but their density was decreased as the riparian vegetation encroached at the sandbar. In particular, indicator species of bare sandbar such as *Cicindela laetescripta* and *Dianemobius csikii*, were found at the bar sandbar. The insect communities were clearly classified at the bare and vegetated sandbar according to coverages of riparian plants. The food web of the bare sandbar was composed of detritus – detritivore and scavenger – predator consisted mainly of Coleoptera. On the other hand, the food web of the vegetated sandbar was composed of plants – sucking and chewing herbivore – parasitoid and predator. These results showed that biodiversity of terrestrial insects was increased, food web was changed from grazing to detritus food chain, and insect fauna specific bare sandbar disappeared as the riparian vegetation invaded on the sandbar of a sand-bed stream.

KEYWORDS: Fauna, Food web, Insect, Sand-bed stream, Vegetation

요 약: 대표적 모래하천인 내성천의 사주에서 식생 정착에 대한 지면 서식 육상곤충의 생물상과 생물군집의 반응을 파악하기 위하여, 나지 사주와 식생 사주에서 함정법으로 곤충을 채집하여 종조성, 종다양성, 기능특성군 및 생물군집 구조를 비교하였다. 내성천에서 육상곤충은 나지사주에 식생이 정착함에 따라서 서식 곤충의 종다양성은 증가하였으나 서식 밀도는 감소하였다. 특히 나지 사주에서는 강변길앞잡이, 동양알락방울벌레 등의 사주 지표성 곤충이 서식하였다. 사주의 곤충군집은 사주 식생의 피도에 따라서 나지사주와 식생사주로 뚜렷하게 구분되었다. 모래하천의 나지 사주의 먹이망은 쇠설물 – 쇠설물 섭식자와 청소자 – 주로 딱정벌레목에 속하는 포식자로 구성되었다. 반면에 식생 사주 먹이망은 식물 – 흡즙 초식자와 저작 초식자 – 포식기생자와 포식자로 구성되었다. 결론적으로 모래하천에서 나지 사주에 식생이 정착함에 따라서 종다양성은 증가하고 초식 먹이사슬로 변화하고, 나지 사주에 특이적인 곤충상과 쇠설물 기반 먹이사슬이 사라지는 것으로 판단되었다.

핵심어: 동물상, 먹이망, 곤충, 모래하천, 식생

*Corresponding author: khcho@inha.ac.kr, ORCID 0000-0003-4546-3546

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

우리나라의 하천은 대부분 인간에 의하여 심각하게 변경, 훼손되어 왔다. 하천정비, 댐 조성, 유역의 토지이용 변화 등에 의하여 물 흐름, 유사의 공급과 이송이 변경되어 하천 생태계 구조와 기능이 교란되었다 (Resh et al. 1988). 이러한 하천 생태계 변화에 사주와 수심이 얇은 서식처의 감소를 포함하는 하도 지형의 변화가 포함된다 (Graf 2006). 더불어 인간 간섭에 따른 물 흐름과 유사 이송의 변화, 수질 오염 등에 의하여 사주 형성이 제한되고 식생이 사주에 번성하게 된다 (Graf 2006, Woo and Park 2016). 사주 형성이 저해되고 기존의 사주에 식생이 고착됨에 따라서 이곳에 정착한 생물상과 군집구조에 변화가 뒤따르게 된다 (Smith 2011, Stucker et al. 2012, Fischer et al. 2015).

유사의 운반이 이루어지는 하천 중류역에서는 일반적으로 모래하천이 형성되고, 이 중류역이 전체 하천에서 가장 길다 (Schumm 1977). 몬순 기후에 영향을 받는 우리나라는 하상계수가 커서 넓은 사주와 이곳에 하상재료가 노출된 나지 사주가 발달하였다 (Woo 2008). 그러나 하천 공사, 유역 토지이용 변화 등에 의한 유황과 유사 특성의 변화로 나지 사주에 식생이 이입 정착하면서 식생 사주가 확장되고 고정사주로서 육화되고 있다 (Woo and Park 2016). 모래하천에서 식생사주로 환경이 변화함에 따라서 나지 사주의 고유한 생물상과 생물군집 구조가 점차 변화할 것으로 예상된다.

지구상에는 수백만 종이 넘는 다양한 곤충이 서식하고 있다. 이들의 생태적 특성이 매우 다양하여 먹이망의 다양한 영양단계에서 양적으로 우위를 차지하고 있다 (Gullan and Cranston 2014). 하천에서도 다양한 곤충이 서식하고 있으며 이들이 환경변화에 민감하게 반응하므로 하천 환경에 대한 지표종으로서 이용되고 있다 (Richards et al. 1997, Heino 2010). 하지만 우리나라 하천 사주에서 육상 곤충에 대한 연구는 찾아볼 수 없다. 단지 하천 사주와 유사한 환경인 해안 사주에서 육상곤충에 관한 연구가 곤충상을 중심으로 수행되었다 (Kim 2003, Han 2010).

낙동강의 1차 지류인 내성천은 대표적인 모래 하상 하천으로서 모래하천 고유의 물리적, 생물적 특성을 유지하고 있다. 내성천의 하상재로는 대부분 중간 내지는 조립질 모래로 구성되어 있고, 식생이 정착한 사주 표면에는 D_{50} 이 0.2 - 0.5 mm인 세립질 모래가 퇴적되어

있다 (Lee et al. 2013). 특히 이동상 모래하상이 잘 발달된 내성천에는 연속 만곡부에 소위 백사장인 나지 사주가 형성되어 있다. 이곳의 나지 사주는 회룡포, 무섬마을 등의 역사문화 자원과 연관되어 있다. 그러나 2016년부터 내성천 중류에 건설된 영주댐이 운영됨에 따라서 그 하류 하천에서 급격한 환경 변화와 이에 따른 생물 변화가 예상되고 있다 (Lee et al. 2015).

따라서 본 연구에서는 대표적 모래하천인 내성천의 사주에서 식생 정착에 따른 지면 서식 육상곤충의 생물상과 생물군집의 변화를 파악하기 위하여, 나지 사주와 식생 사주에서 함정법으로 육상곤충을 채집하여 출현 곤충의 종조성, 종다양성, 기능특성군 및 생물군집 구조를 조사하였다. 이러한 연구 결과는 향후 영주댐 운영에 따라서 하류 생태계의 변화를 모니터링하는데 기초 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구 방법

2.1 조사지 개황

본 연구의 대상 하천인 내성천은 경상북도 봉화군 물야면 오전리의 선달산(1,236 m)에서 발원하여 남류 또는 남서류하면서 영주시, 예천군을 지나 문경시 영순면 달지리에서 낙동강에 유입한다. 내성천의 본류 길이는 111 km, 유역 면적은 1,815 km²이다 (Lee and Kim 2009) (Fig. 1). 내성천은 우리나라의 대표적인 모래 하

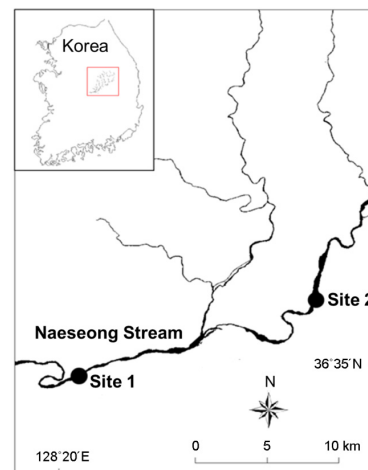


Fig. 1. Map showing the study sites at the Naeseong Stream, Korea. The sampling sites of insects are located on the bare sandbar of the site 1 and the vegetated sandbar of site 2.

상 하천으로서 보전가치가 높지만 현재 내성천의 종류에 영주담이 건설되어 앞으로 급격한 환경 변화가 예상되는 하천이다 (Lee et al. 2015).

조사 대상 하천인 내성천에서 사주의 식생 정착 정도가 다른 2 구간을 조사지로 선정하였다 (Fig. 1). 각 조사지에서 사주의 제방 방향에서 주수로 쪽으로 트랜젝트를 설치하고 3 조사지점에서 곤충을 채집하였다. 먼저 식생이 유입되지 않은 개방 사주의 조사지는 예천군 지보면 마산리에 위치한 조사지 1 (Site 1)을 선정하였다. 이곳에서는 제방쪽의 고수부지에 달뿌리풀이 정착하여 있지만 물가의 사주에는 식생이 없는 개방 사주가 형성되어 있었다. 이곳에서 제방 쪽의 식생이 있는 곳으로부터 물가로 이동하면서 개방사주에서 조사지점 1-A (Site 1-A), 조사지점 1-B (Site 1-B) 및 조사지점 1-C (Site 1-C)로 나누어 채집지점을 선정하였다. 주로 달뿌리풀이 밀생하여 정착하여 있는 식생 사주의 조사지점은 예천군 호명면 직산리에 위치한 조사지 2 (Site 2)에서 선정하였다. 이곳에서도 제방 쪽에서 물가로 가면서 식생사주에서 조사지점 2-A (Site 2-A), 조사지점 2-B (Site 2-B) 및 조사지점 2-C (Site 2-C)로 나누어 곤충 채집지점을 선정하였다.

2.2 표본 채집 및 동정

조사지의 사주에서 함정 (pit-fall trap) 채집법으로 곤충을 채집하였다. 함정으로는 높이 9 cm, 지름 6 cm의 플라스틱 컵 용기를 이용하였다. 이 함정을 컵의 입구를 지면에 맞추어 사주에 묻었다. 함정 안에는 70% 알코올과 막걸리를 6:4의 비율로 혼합하여 넣었다. 함정은 각 조사지점에서 3개를 5 m 간격으로 설치하였다. 그러므로 식생사주와 나지사주의 조사지에서 각각 12개의 함정을 설치하였다. 함정은 2012년 6월 28일에 설치하고 다음날인 29일에 수거하였다. 수거된 함정 안의 채집물은 플라스틱 용기에 옮겨 실험실로 운반한 후에 분류 동정하였다. 채집된 시료의 동정은 Kim (1970), Lee et al. (1971), Park et al. (2006), Kim (2007), Kwon et al. (2012) 및 Park et al. (2012)를 참고하였다. 동정이 끝난 표본은 액침표본으로 보관하였다.

2.3 자료 처리

내성천의 식생사주와 나지사주에서 곤충의 군집구

조를 종다양성으로서 비교하였다. 먼저 각 조사지에서 곤충 군집의 종다양도 지수 (H')와 종균등도 지수 (E')를 산출하였다. 종다양도는 자연로그를 이용한 Shannon의 종다양도 지수를 사용하였다 (Shannon 1948). 종균등도 지수는 군집의 최대 Shannon 종다양도 지수에 대한 실제 종다양도 지수의 비율로서 표시하였다 (Pielou 1975). 또한 군집의 다양성은 순위-수도 곡선 (rank-abundance curve)으로서 표시하였다 (Whittaker 1965). 이 분석은 생물군집 자료를 이용하여 R 환경 (R Development Core Team 2013)에서 Vegan package (Oksanen et al. 2015)의 'radfit' 함수를 이용하여, Akaike 정보 기준 (Akaike's information criteria, AIC)에 의하여 최적 곡선 모형을 선정하였다.

조사지점 간의 곤충군집 구조를 비교하기 위하여 종별 개체수를 로그로 변환한 입력자료를 이용하여 집괴 분석 (cluster analysis)과 서열분석 (ordination)을 실시하였다. 집괴분석은 이용하여 R 환경 (R Development Core Team 2013)에서 Vegan package (Oksanen et al. 2015)의 'hclust' 함수로 계층적 집괴분석을 수행하였다. 거리의 산출은 Bray-Curtis (Bray and Curtis 1957)의 방식을 적용하였다. 집괴분석에서 산출된 높이 수준 (height level)을 기준으로 각 조사지점간 유사거리를 complete 방식으로 분류하였다. 서열분석은 조사지점 사이 거리는 Bray-Curtis 방식 (Bray and Curtis 1957)으로 산출하여 비계량형 다차원척도법 (non-metric multi-dimensional scaling, NMDS)를 R 환경 (R Development Core Team 2013)에서 Vegan package (Oksanen et al. 2015)의 'metaMDS' 함수로 수행하였다.

사주에서 환경 요인과 곤충의 기능특성 (functional trait)의 관계를 파악하기 위하여 RLQ 분석을 실시하였다 (Dolédec et al. 1996). RLQ 분석을 위하여 곤충 군집의 종별 개체수 (L-matrix), 환경요인 (R-matrix), 출현종의 기능특성군 (Q-matrix)의 3가지 입력 자료를 구성하였다 (Diaz et al. 2008). 환경요인 자료는 조사지점에서 식생 피도, 식생 높이, 수로로부터 거리 및 식생으로 거리로 구성하였다. 출현종의 기능특성은 11개 특성군으로 구분하였다 (Table 1). 구분한 특성군은 생활사로서 발달시기, 변태, 이동성으로서 비행력, 분산, 형태로서 성체 크기, 외장 (armoring), 구기, 생태로서 행동, 영양형, 식성, 서식지이었다. RLQ 분석은 R 환경 (R Development Core Team 2013)에서 ade4 package

Table 1. Classification of total 11 functional traits applied to insects at the Naeseong Stream. The letter in each code refers to the trait and the number refers to the trait state.

Trait group	Trait	Trait state (code)
Life history	Development	Fast seasonal (Dev1), Slow seasonal (Dev2), Nonseasonal (Dev3)
	Metamorphosis	Complete metamorphosis (Meta1), Incomplete metamorphosis (Meta2)
Mobility	Flying ability	Weak (Fly1), Strong (Fly2)
	Dispersal	Low (Disp1), High (Disp2)
Morphology	Size at maturity	Small (Size1), Medium (Size2), Large (Size3)
	Armoring	None (Armr1), Poor (Armr2), Good (Armr3)
	Mouthpart	Chewing (Mout1), Siphoning (Mout2), Piercing and sucking (Mout3), Sponging (Mout4)
Ecology	Habit	Burrow (Habi1), Loitering (Habi2), Settlement (Habi3)
	Trophic category	Predator (Trop1), Herbivore-chewing (Trop2), Herbivore-sucking (Trop3), Scavenger (Trop4), Parasitoid (Trop5)
	Diet	Carnivore (Diet1), Herbivore (Diet2), Omnivore (Diet3), Detritivore (Diet4)
	Habitat	Aquatic (Hatt1), Terrestrial (Hatt2), Arboreal (Hatt3), Aerial (Hatt4)

(Dray and Dufour 2007)의 ‘rlq’ 함수를 이용하였다.

3. 결과 및 논의

3.1 사주 환경

모래하천인 내성천의 사주에서 식생이 정착한 여부에 따라서 선정된 조사지 중에서 조사지 1 (Site 1)은 식생이 정착하지 않은 개방사주이었다 (Table 2). 이 조사지에서 조사지점 1-A (Site 1-A)는 주변 식생으로부터 11 m, 수로로부터 121 m가 떨어진 물가에 가장 먼 곳이었으며, 조사지점 1-C (Site 1-C)은 수로로부터 11 m 거리에 위치한 물에서 가장 가까운 곳이었다. 한편 사주에 식생이 정착한 조사지 2 (Site 2)에서는 3곳의 조사지점에서 식생의 차이를 보였다. 조사지점 2-A (Site 2-A)는 물에서 가장 먼 곳으로서 물쭉 (*Artemisia selengensis*)과 환삼덩굴 (*Humulus japonicus*)이 주로

분포하였다. 조사지점 2-B (Site 2-B)와 조사지점 2-C (Site 2-C)에서는 달뿌리풀 (*Phragmites japonica*)이 우점하였는데, 조사지점 2-B에서는 달뿌리풀이 높이 2 m이었고 매우 밀도가 높았고 조사지점 2-C에서는 달뿌리풀의 밀도가 다소 낮았고 아까시나무 (*Robinia pseudoacacia*) 등의 다른 식물이 곳곳에 위치하였다.

3.2 곤충상

내성천의 나지 및 식생 사주에서 6월에 함정 (pit-fall trap)으로 채집된 곤충은 총 7목 142종 2,209개체이었다 (Table 3). 나지 사주 (Site 1)에 비하여 식생이 정착된 사주 (Site 2)에서 채집된 종수는 많았으나 개체수는 적었다. 종수에서는 식생 사주에서는 특히 딱정벌레목 (Coleoptera), 벌목 (Hymenoptera), 메뚜기목 (Orthoptera)의 종수가 나지 사주보다 많았다. 딱정벌레목은 내륙 산지에서 주로 발견되는 배회성 먼지벌레류가 식생 사주

Table 2. Environmental conditions at the studied station of Naeseong Stream.

Site	Vegetation cover (V_COV) (%)	Vegetation height (V_HIG) (cm)	Distance from water (DIS_W) (m)	Distance from vegetation (DIS_V) (m)
Site 1-A	0	0	121	11
Site 1-B	0	0	71	61
Site 1-C	0	0	11	121
Site 2-A	100	100	247	0
Site 2-B	100	200	215	0
Site 2-C	80	130	177	0

Table 3. The numbers of species and individuals of insects at the bare and vegetated sandbar of the Naeseong Stream. Numerals in the parenthesis indicate the percentages to the total numbers.

Order	No. of species		No. of individuals	
	Site 1 (bare sandbar)	Site 2 (vegetated sandbar)	Site 1 (bare sandbar)	Site 2 (vegetated sandbar)
Coleoptera	19 (32%)	26 (30%)	1,209 (89%)	78 (9%)
Diptera	25 (42%)	29 (33%)	45 (3%)	65 (8%)
Hymenoptera	2 (3%)	13 (15%)	41 (3%)	342 (40%)
Hemiptera	7 (12%)	10 (11%)	10 (1%)	93 (11%)
Orthoptera	2 (3%)	9 (10%)	2 (0.1%)	244 (29%)
Dermaptera	1 (2%)	1 (1%)	48 (4%)	28 (3%)
Lepidoptera	3 (5%)	0 (0%)	4 (0.3%)	0 (0%)
Total	59 (100%)	88 (100%)	1,359 (100%)	850 (100%)

Table 4. Species diversity (H') and evenness (E') of insect communities at the bare and vegetated sandbar of the Naeseong Stream.

Site	Species diversity (H')	Species evenness (E')
Site 1 (bare sandbar)	1.86	0.56
Site 2 (vegetated sandbar)	2.27	0.62

에서 많은 종이 채집되었다. 메뚜기목은 대부분 초식성 혹은 잡식성으로 식생이 침입한 사주에서 더 다양한 종이 분포하였다. 또한 벌목은 주로 맷시벌 종류이었다. 맷시벌은 포식기생자(parasitoids) 또는 포식자 역할을 수행하며 주로 딱정벌레목과 메뚜기목 등의 유생 또는 성충에 기생하거나 이들을 섭식하므로 딱정벌레목과 메뚜기목이 다양한 식생사주에서 벌목이 더 종수가 많은 것으로 생각된다. 반면에 인시목(Lepidoptera)은 나지 사주에서만 채집되었으나 4개체에 불과하였다. 내성천 사주의 곤충상을 동해안 사구의 것과 비교하면, 딱정벌레목이 우점하는 것은 유사하지만 사구에 비하여 파리목의 종수가 많았고 노린재목의 종수는 적었다(Han 2010).

내성천의 나지 사주에서 채집된 총개체수는 식생 사주보다 많았으나, 나지 사주에서는 대부분이 딱정벌레목에 속하였다(Table 3). 또한 다른 목에서는 식생 사주에서 나지 사주보다 개체수가 많거나 유사하였다. 나지 사주(Site 1)에서 채집된 딱정벌레목은 대부분이 딱정벌레과(Carabidae) 먼지벌레류와 풍뎅이붙이과(Histeridae) 애풍뎅이붙이 종류로서 단단한 외피를 가지면 대부분이 물가에서 채집되었다. 이들 종류는 포식자로서 물가에 모여드는 유충, 사체 또는 썩설물을 먹이로 섭취하는데 유리할 것으로 생각된다. 또한 나지 사주에

서는 모래 환경에 지표종인 것으로 생각되는 강변길앞잡이 (*Cicindela laetescripta*)와 동양알락방울벌레 (*Dianemobius csikii*)가 발견되었다(Lelej et al. 2001, Satoh et al. 2003).

3.3 군집 구조

대표적인 모래하천인 내성천 사주에 식생이 침입하면서 곤충 군집의 종다양성(H')과 종균등도(E')가 증가하였다(Table 4). 또한 각 조사지에서 물가로부터 거리에 따라서 곤충의 종다양성을 순위-수도 곡선(rank-abundance curve)으로 파악하였다(Fig. 2). 나지 사주에서 저수로부터 가장 멀고 주변 식생에서 가장 가까운 조사지점 1-A에서 물가의 조사지점 1-C로 갈수록 순위-수도 곡선의 기울기가 급해지고 x 축 절편이 작았다. 따라서 나지 사주에서 주변 식생에서 멀어질수록 종균등도와 종풍부도가 낮아짐을 알 수 있었다(Whittaker 1965). 반면에 식생 사주에서는 저수에서 가장 먼 조사지점 2-A에서 종다양성이 가장 낮았다. 이러한 결과를 종합하면 사주에서 식생이 번무하거나 주변 식생과 가깝고 또한 물가에 위치하여 습윤한 곳에서 곤충의 종다양성이 높은 것으로 판단된다.

조사지별 곤충 출현종의 수도 자료를 이용하여 수행

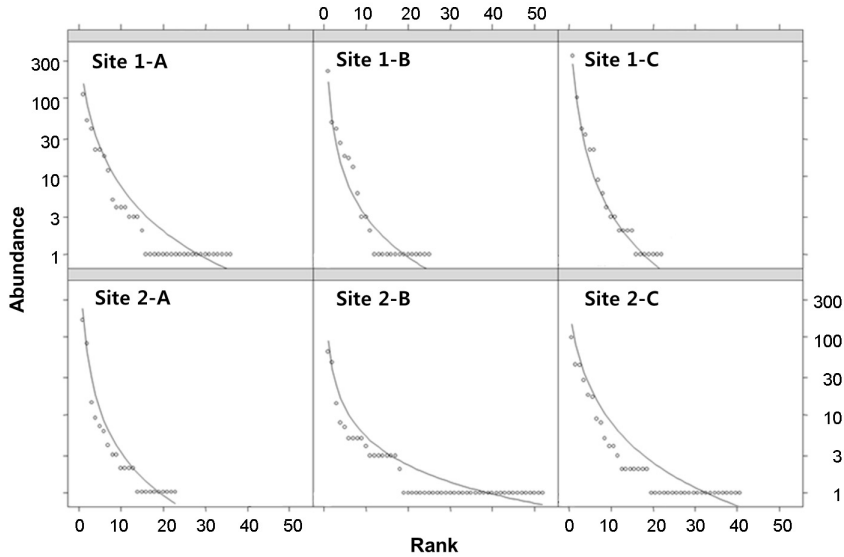


Fig. 2. Rank abundance curves of insect communities on the bare (Site 1) and vegetated (Site 2) sandbars at the Naeseong Stream. The alphabets following the site number indicates the positions of the sampling sites: A, far from water channel; B, middle; C, close to water channel.

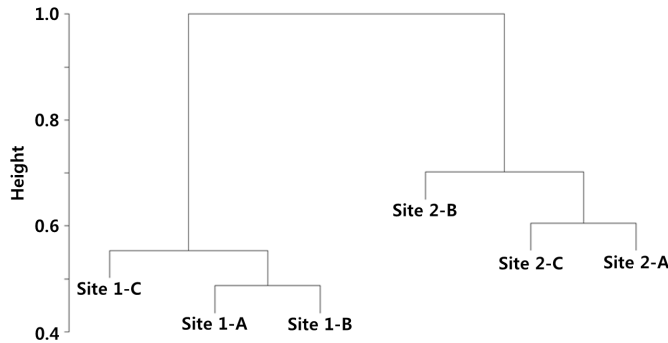


Fig. 3. Dendrogram from the cluster analysis of of insect communities on the bare (Site 1) and vegetated (Site 2) sandbars at the Naeseong Stream. The alphabets following the site number indicates the positions of the sampling sites: A, far from water channel; B, middle; C, close to water channel.

한 집괴분석에서 나지사주 (Site 1)와 식생사주 (Site 2)의 곤충 군집이 뚜렷하게 구분되었다 (Fig. 3). 식생사주에서는 조사지점 2-B 보다는 조사지점 2-A와 2-B가 서로 유사한 군집구조를 보이고 있었다. 이러한 결과는 비계량형 다차원척도법 (NMDS) 결과에서도 유사하게 나타났다 (Fig. 4). 즉 NMDS 결과에서 1축으로 나지사주와 식생사주가 뚜렷히 구분되었다. 또한 2축으로는 식생사주에서 조사지점 2-B가 2-A 및 2-C와 분리되었다. 조사지점 2-B에서는 큰 키의 달뿌리풀이 밀생하는 곳으로서 달뿌리풀의 피도가 보다 낮고 물쭉, 아까시나무 등의 다른 식물이 침입하여 있는 조사지점 2-A 및 2-C와 다른 곤충 군집의 특성을 보이고 있었다.

이상의 결과를 종합하면 나지 사주에 식생이 침입함에 따라서 곤충 군집의 종다양성이 증가하고 군집 구조도 뚜렷하게 변화하는 것으로 생각된다.

3.4 종 기능군 특성

내성천 사주에서 곤충 군집 구조에 영향을 미치는 환경요인을 규명하고 곤충 종의 기능특성군의 관계를 파악하기 위하여 RLQ 분석을 실시하였다 (Fig. 5). RLQ 분석에서 1축과 2축의 고유값 (eigen value)이 각각 80.76과 0.06으로서 1축의 설명력이 매우 높았다. 조사 지점의 배열에서는 1축의 오른쪽에 나지 사주 (Site 1)

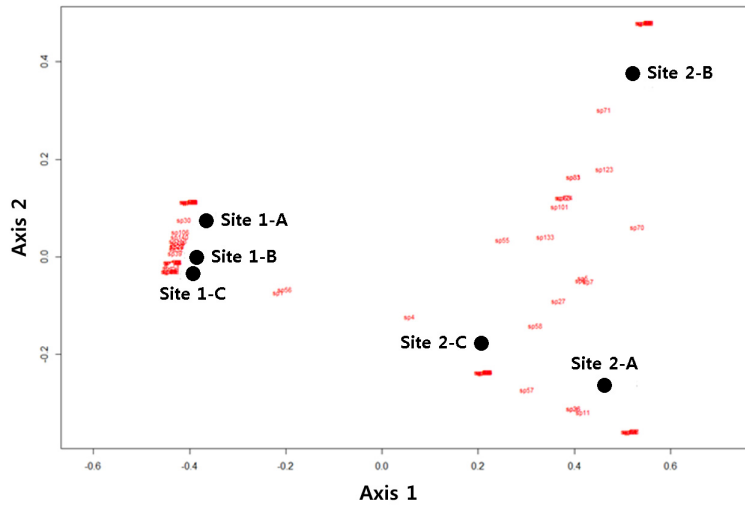


Fig. 4. Biplot by non-metric multidimensional scaling (NMDS) on the bare (Site 1) and vegetated (Site 2) sandbars at the Naeseong Stream. The alphabets following the site number indicates the positions of the sampling sites: A, far from water channel; B, middle; C, close to water channel. The red characters indicate the insect species.

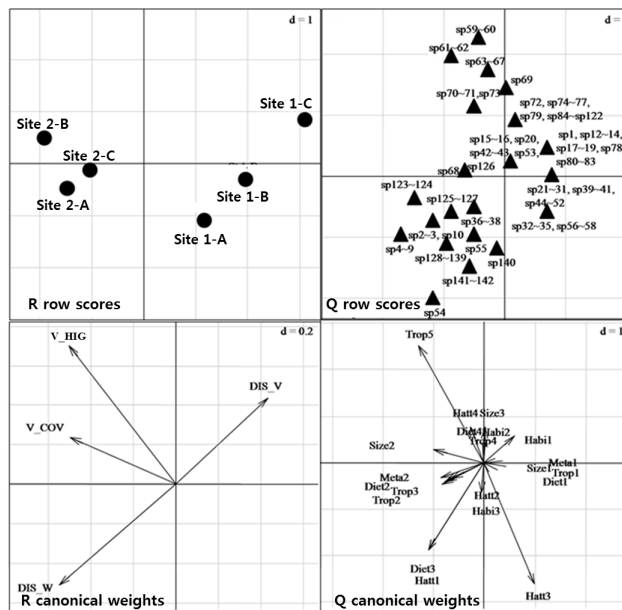


Fig. 5. Results of RLQ analysis using data on species abundance, environmental variables and functional traits of the insect community at the bare and vegetated sandbars of the Naeseong Stream. Site number refers to Fig. 1 and Table 2, acronym of environmental factors refers to Table 2 and acronym of functional traits refers to Table 1.

가 왼쪽에 식생사주(Site 2)가 위치하였다. 환경요인과의 관계를 살펴보면 1축의 왼쪽으로 갈수록 식생의 피도와 높이가 높고 물로부터 거리가 멀고 주변 식생과의 거리가 가까웠다. 또한 출현종의 배열과 함께 종의 기능특성군의 배열을 살펴보면 1축에서 식생의 번무하는 왼쪽 방향으로 갈수록 중간 크기 (Size2), 불완전 변태

(Meta2), 초식성(Diet2), 흡즙 초식자(Trop2), 저작 초식자 (Trop3), 기생포식자 (Trop5)의 특성이 커졌다. 반면에 나지 사주가 위치한 오른쪽으로 땅굴생활 (Habi1), 완전변태 (Meta1), 포식자 (Trop1), 육식성 (Diet1)의 기능군이 위치하였다. 따라서 사주에 식생이 침입하여 번무함에 따라서 먹이원과 사주 환경이 변화

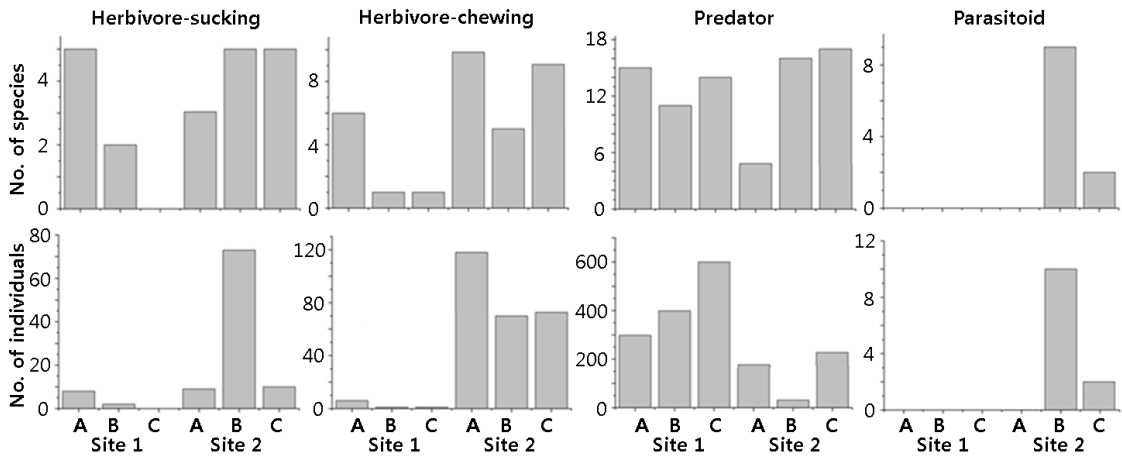


Fig. 6. The numbers of species and individuals of insects according to their traits according to trophic category on the bare (Site 1) and vegetated (Site 2) sandbars at the Naeseong Stream.

하고 이에 따라서 서식하는 곤충 기능군의 특성에도 변화가 초래되었다.

내성천 나지사주와 식생사주의 각 조사지점에서 영양이용형에 따른 기능군별 종수와 개체수를 비교하였다 (Fig. 6). 흡즙 초식자와 저작 초식자의 종수와 개체수는 나지사주 (Site 1)보다 식생사주 (Site 2)에서 많았다. 또한 나지사주에서는 식생에 가까운 조사지점 (Site 1-A)에서 이들이 식생과 먼 조사지점 (Site 1-C)보다 많았다. 포식자는 종수에서는 나지사주와 식생사주에서 비슷하였으나 개체수에서는 나지사주가 식생사주보다 많았다. 반면에 기생포식자는 나지사주에서는 발견되지 않았고 식생사주에서만 관찰되었다. 이들 기생포식자는 식생사주에서도 달뿌리풀이 밀생하는 조사지점 2-B를 선호하였다. 이 조사지점 2-B에서는 흡즙 초식자가 특히 많았다. 이상의 결과를 종합하면 사주에 식생이 번무함에 따라서 초식자 곤충이 증가하고 이에 따라서 포식자보다는 기생포식자의 영양단계가 강화되는 것으로 판단된다.

4. 결론

모래하천인 내성천에서 사주의 지면에 설치한 함정으로 채집한 지면 서식 곤충의 생물상과 군집구조는 사주에 식생이 침입함에 따라서 먹이원, 서식환경 등의 변화에 따라서 변화하였다. 나지사주에 식생이 침입하여 번성해짐에 따라서 서식 곤충의 종다양성은 증가하였으나 서식 밀도는 감소하였다. 특히 식생사주에서 딱

정벌레목, 벌목, 메뚜기목의 종수가 증가하였는데 이들은 하천 사주가 아닌 주변 육상지역에도 서식하는 종들이었다. 나지사주에서는 딱정벌레목의 개체수가 전체 곤충 개체수의 약 90%를 차지하였다. 이들의 대부분은 딱정벌레과 먼지벌레류와 풍덩이붙이과 애풍덩이붙이종류로서 건조 환경에 내성이 있고 쇠설물을 먹이원으로 하는 특성이 있었다. 따라서 나지사주에 식생이 침입함에 따라서 종다양성이 증가하지만 나지사주에 특이적이고 희소성이 높은 종의 개체수가 감소하였다.

집괴분석과 서열분석의 결과에 따르면 사주의 곤충 군집은 나지사주와 식생사주의 서식지 환경에 따라서 뚜렷하게 구분되었다. 사주의 곤충군집에 영향을 미치는 주요 환경 요인은 사주 식생의 피도와 높이 및 주변 식생과의 거리이었다. 식생 분포에 따라서 곤충 종의 기능군의 특성도 변화하였다. 즉 사주에 식생이 번무함에 따라서 불완전변태, 초식성, 흡즙 및 저작 초식자, 기생포식자 기능군의 비중이 증가하였다. 반면에 나지사주에서는 완전변태, 포식자, 육식성, 포식자의 기능군의 비중이 증가하였다. 따라서 하천 사주에 서식하는 곤충은 각각의 생태적, 형태적, 기능적 특성에 따라서 자신이 선호하는 서식지에 분포하는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 내성천의 나지 및 식생 사주에서 먹이망을 모식적으로 도시하였다 (Fig. 7). 나지사주인 조사지 1에서는 에너지 공급원은 주로 유기 쇠설물 (organic detritus)로서 인근 식생이나 홍수터로부터 식물 및 동물 고사체와 분비물 등이 바람과 물에 의하여 공급되는 것으로 생각된다. 이러한 쇠설물은 작은

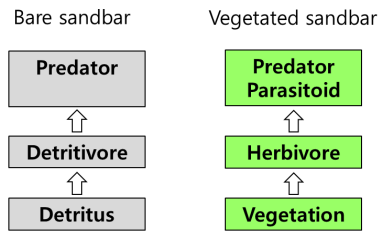


Fig. 7. Comparison of conceptual diagrams of the food web on the bare and vegetated sand bars of the Naeseong Stream, Korea.

곤충이나 곤충 유충으로 구성된 쇠설물 섭식자(detritivore) 또는 청소자 (scavenger)에 의하여 소비된다. 이들은 다시 주로 딱정벌레목 (Coleoptera)에 속하는 포식자에 의하여 피식된다. 반면에 식생이 번무하는 사주에서는 먹이사슬의 바탕이 달뿌리풀, 물쭉, 환삼덩굴, 아까시나무 등의 1차생산자인 것으로 생각된다. 이들 식물을 초식자인 흡즙 곤충 (sucking insects)와 저작 곤충 (chewing insects)이 이용한다. 조사지에서 흡즙 곤충은 노린재류이었고 저작 곤충은 주로 메뚜기류 이었다. 이들 초식자를 포식하는 상위 소비자는 포식기생자 (parasitoid)와 포식자로서 주로 벌목과 딱정벌레목이었다. 그러므로 모래하천에서 자연 나지 사주에서는 전형적인 쇠설물 기반 먹이사슬을 이루고 있었고, 이곳에 식생이 침입하여 번성하면 점차 초식 먹이사슬로 변하는 것으로 판단된다.

우리나라 모래하천에서 댐 건설, 기후변화 등에 의한 유량과 유사량의 변화, 골재채취, 하천정비, 경작지 홍수터 편입 등과 같은 인위적 교란, 영양물질 유입 증가에 의하여 나지의 사주가 식생이 번무하는 사주로 변화하고 있다 (Woo and Park 2016). 사주에 식생이 정착하고 번무하면 이에 따라서 먹이원과 환경의 변화로 이곳에서 서식하는 곤충 군집의 변화가 본 연구에서 확인되었다. 내성천 나지 사주에는 최근 달뿌리풀, 물쭉, 환삼덩굴, 버드나무, 아까시나무 등의 식생이 점차 번성하고 있다. 이에 따라서 사주에 서식하는 곤충의 종다양성과 서식 밀도가 증가하였다. 또한 종 기능 특성군은 초식 먹이사슬로 변화하였다. 식생 사주의 곤충상과 군집구조는 주변 지역의 식생지에서 나타나는 일반적인 유형인 것으로 판단된다. 따라서 나주 사주에서 나타나는 고유성과 희귀성이 높은 쇠설물 기반 먹이사슬을 이루는 곤충 군집과 강변길앞잡이, 동양알락방울벌레와 같은 사주 지표성 곤충상의 보전을 위하여 나주 사

주의 보전을 위한 하천 관리가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원 (12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

References

- Bray, J.R. and Curtis, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27(4): 325-349.
- Diaz, A.M., Alonso, M.L.S. and Gutierrez, M.R.V.A. 2008. Biological traits of stream macroinvertebrates from a semi-arid catchment: patterns along complex environmental gradients. *Freshwater Biology* 53(1): 1-21.
- Dolédec, S., Chessel, D., Ter Braak, C.J.F. and Champely, S. 1996. Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics* 3(2): 143-166.
- Dray, S. and Dufour, A.B. 2007. The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* 22(4): 1-20.
- Fischer, J., Paukert, C. and Daniels, M. 2015. Influence of riparian and watershed alterations on sandbars in a Great Plains river. *River Research and Applications* 31(9): 1140-1150.
- Graf, W.L. 2006. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology* 79(3): 336-360.
- Gullan, P.J. and Cranston, P.S. 2014. *An Outline of Entomology*. Wiley-Blackwell, West Sussex, UK.
- Han, G.-S. 2010. Distribution of the vegetation and insects of coastal dunes in Yangyang. *Journal of the Environmental Sciences International* 19(8): 1035-1046. (in Korean)
- Heino, J. 2010. Are indicator groups and cross-taxon congruence useful for predicting biodiversity in aquatic ecosystems? *Ecological Indicators* 10(2): 112-117.
- Kim, C.H. 1970. *Illustrated Flora & Fauna of Korea, Vol. 11, Insecta (III)*. Ministry of Education, Seoul, Korea. (in Korean)
- Kim, J.I. 2003. Insects fauna from the coastal sand-dunes of Korea. *Korean Journal of Nature Conservation* 1(1): 27-45. (in Korean)
- Kim, T.W. 2007. *Taxonomic Review of the Korean Orthoptera (Insecta)*. Ph.D. Thesis, Sungshin Women's University, Seoul, Korea. (in Korean)
- Kwon, T.S., Kim, S.S., Lee, C.M., Jung, S.J. and Sung, J.H. 2012. *Korean Ant Atlas*. Korea Forest Research Institute, Seoul, Korea. (in Korean)

- Lee, C.E., Cho, B.S., Lee, K.W., Kim, C.H., Lee, T.J. and Park, S.H. 1971. Illustrated Flora & Fauna of Korea, Vol. 12, Insecta (IV). Ministry of Education, Seoul, Korea. (in Korean)
- Lee, C.J., Chung, S.J. and Hwang, S.Y. 2013. Study on the monitoring of the changes in landform and riparian vegetation of sand-bed stream before the dam construction: in the case of Naesung Stream before the dam construction. *Water for Future* 46(5): 120-127. (in Korean)
- Lee, C.J., Kim, J.S., Kim, K.H. and Shin, H.S. 2015. Analysis on fluvial geomorphological characteristics based on past and present data for river restoration: an application to the Miho River and the Naesung River. *Journal of Korea Water Resources Association* 48(3): 169-183. (in Korean)
- Lee, G.R. and Kim, S.H. 2009. Comparative analysis on geomorphological and hydrological properties of Nae-seongcheon River and Wicheon River in The middle and upper reaches of Nakdong River. *Journal of the Korean Geomorphological Association* 16(3): 43-57. (in Korean)
- Lelej, A.S., Choi, J.Y. and Tripotin, P. 2001. Review of the mutillid wasps (Hymenoptera, Mutillidae) of Korea. *Far Eastern Entomologist* 96: 1-15.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H. and Wagner, H. 2015. Package 'vegan', Community Ecology Package. <http://vegan.r-forge.r-project.org>. Assessed 1 August 2015.
- Park, H.C., Kim, S.S., Lee, Y.B. and Lee, Y.J. 2006. Korean Beetles (Coleoptera). Kyo-Hak Co., Seoul, Korea. (in Korean)
- Park, K.T., Kwon, Y.J., Park, J.K., Bae, Y.S., Bae, Y.J., Byun, B.K., Lee, B.W., Lee, S.W., Lee, J.W., Lee, J.E., Han, K.D. Han, K.D. Han, H.Y. and Korea National Arboretum. 2012. Insects of Korea. Geobook, Seoul, Korea. (in Korean)
- Pielou, C.E. 1975. *Ecology Diversity*. Wiley, New York, USA.
- R Development Core Team. 2013. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>. Assessed 1 March 2015.
- Resh, V.H., Brown, A.V., Covich, A.P., Gurtz, M.E., Li, H.W., Minshall, G.W., Reice, S.R., Sheldon, A.L., Wallace, J.B. and Wissmar, R.C. 1988. The role of disturbance in stream ecology. *Journal of the North American Benthological Society* 7(4): 433-455.
- Richards, C., Haro, R., Johnson, L. and Host, G. 1997. Catchment and reach-scale properties as indicators of macroinvertebrate species traits. *Freshwater Biology* 37(1): 219-230.
- Satoh, A., Uéda, T., Enokido, Y. and Hori, M. 2003. Patterns of species assemblages and geographical distributions associated with mandible size differences in coastal tiger beetles in Japan. *Population Ecology* 45(2): 67-74.
- Schumm, S.A. 1977. *The Fluvial System*. Wiley, New York, USA.
- Shannon, C.E. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal* 27: 379-423 and 623-656.
- Smith, C.B. 2011. Adaptive management on the central Platte River-Science, engineering, and decision analysis to assist in the recovery of four species. *Journal of Environmental Management* 92(5): 1414-1419.
- Stucker, J.H., Buhl, D.A. and Sherfy, M.H. 2012. Emergent sandbar construction for least terns on the Missouri River: Effects on forage fishes in shallow-water habitats. *River Research and Applications* 28(8): 1254-1265.
- Whittaker, R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities: numerical relations of species express the importance of competition in community function and evolution. *Science* 147(3655): 250-260.
- Woo, H. 2008. White river? Green river? *Magazine of Korea Water Resources Association* 41(11): 38-47. (in Korean)
- Woo, H. and Park, M. 2016. Cause-based categorization of the riparian vegetative recruitment and corresponding research direction. *Ecology and Resilient Infrastructure* 3: 207-211. (in Korean)