

# 생태통로 내부 식생구조에 대한 지표성 딱정벌레류(딱정벌레목: 딱정벌레과)의 반응<sup>1a</sup>

정종국<sup>2</sup> · 박유정<sup>3</sup> · 이선경<sup>3</sup> · 이효석<sup>2</sup> · 박영균<sup>3</sup> · 이준호<sup>3,4</sup> · 최태영<sup>5</sup> · 우동걸<sup>5\*</sup>

## Response of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae) to Vegetation Structure in Wildlife Crossings<sup>1a</sup>

Jong-Kook Jung<sup>2</sup>, Yujeong Park<sup>3</sup>, Sun Kyung Lee<sup>3</sup>, Hyoseok Lee<sup>2</sup>, Young-gyun Park<sup>3</sup>, Joon-Ho Lee<sup>3,4</sup>, Tae Young Choi<sup>5</sup>, Donggul Woo<sup>5\*</sup>

### 요 약

최근 서식처 파편화에 의한 생물다양성 감소를 막고 서식처간 연결성을 증진시키기 위해 건설되는 생태통로의 수가 증가하고 있지만, 생태통로 내부의 식재 및 식생 유지·관리에 대한 구체적인 가이드라인과 내부 식생 구조 차이에 따른 생물 이동 영향에 대한 정보는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 지표성 딱정벌레류를 이용하여 동일한 농업-산림 경관에서 육교형 생태통로 상부 식생이 나지 및 초본으로 이루어진 생태통로(나지/초본형)와 관목림이 우거진 생태통로(관목형)에 대한 비교 연구를 수행하였다. 이를 위해 2015년 4월 하순부터 9월 초순까지 생태통로 및 인접한 산림을 따라 함정트랩을 설치하여 33종 4,207개체의 지표성 딱정벌레류를 채집하였다. 지표성 딱정벌레류의 우점종과 지점별 개체수 및 종수는 생태통로 내부의 식생이 복잡한 관목형이 나지/초본형에 비해 더 높은 경향이었으며, 종 구성은 나지/초본형 생태통로의 종 구성은 인근 산림 지역 및 관목형 생태통로에 비해 다른 특징을 보였다. 이와 유사하게 생태통로 내부의 식생 관리 여부는 토양습도와 교목층 울폐도에 영향을 주었고, pH, 초본층 피도 및 교목층 울폐도는 함정트랩이 설치된 위치에 따라서도 유의미한 차이를 보였다. 결론적으로 생태통로 내부의 식생이 복잡해지면 산림에 서식하는 지표성 딱정벌레류의 산림 패치간 이동 역시 증가할 것으로 판단된다. 따라서 생태통로의 생태적 기능을 향상시키기 위해서는 통로 가장자리에는 관목 또는 교목을 식재하여 은신처 및 이동통로로 제공하고, 중앙부에는 대형 포유동물이 이동하기 용이한 나지 형태의 통로를 제공하는 형태로 개선될 필요가 있을 것이다.

주요어: 서식처 파편화, 서식처 연결성, 생물다양성, 생태통로 가이드라인

### ABSTRACT

Korea has put in significant efforts to increase the number of wildlife crossings between fragmented habitats to prevent loss of biodiversity and to encourage the habitat connectivity in Korea. However, there is a lack of

1 접수 2016년 1월 26일, 수정 (1차: 2016년 3월 8일), 게재확정 2016년 3월 9일

Received 26 January 2016; Revised (1st: 8 March 2016); Accepted 9 March 2016

2 국립산림과학원 산림병해충연구과 Division of Forest Insect Pests and Diseases, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Korea(biojjong@gmail.com)

3 서울대학교 농생명공학부 곤충학전공 Entomology Program, Dept. of Agricultural Biotechnology, Seoul National Univ., Seoul 08826, Korea

4 서울대학교 농업생명과학대학 농업생명과학연구원 Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National Univ., Seoul 08826, Korea

5 국립생태원 생태보전연구실 Division of Conservation Ecology, National Institute of Ecology, Seoecheon 33657, Korea

a 이 논문은 국립생태원 “광역생태축의 보전 및 복원을 위한 기반 연구” 및 서울대학교 BK21 plus사업의 지원을 받아 연구되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-41-950-5801, Fax: +82-41-950-5943, E-mail: donggul.woo@gmail.com

biological data on the effect of vegetation structure in these wildlife crossings and guidelines for design and management of wildlife crossing structures in Korea. Therefore, we selected ground beetle assemblages as model organisms to compare the effect of vegetation structure in wildlife crossings, i.e. bare ground- and shrub-type corridors, in agro-forested landscapes. For this study, 4,207 ground beetles belonging to 33 species were collected through pitfall trapping along the northern forest - corridor - southern forest transects from late April to early September in 2015. Dominant species, abundance, and species richness of ground beetles were significantly higher in the shrub-type corridors than the bare ground-type corridors. Also, the species composition of bare ground-type corridor was significantly different compared to the other habitats such as shrub-type corridor and forests. Similarly, environmental variables were also influenced by vegetation management regimes or trap locations. Collectively, our study clearly indicates that the movement of forest associated ground beetles between forest patches can increase as the vegetation in wildlife crossings becomes complex. Although further studies are needed to verify this, there are indications that the current wildlife crossings that comply with the guidelines may be unfriendly to the movement of ground dwelling arthropods as well as ground beetles. To enhance the ecological function of wildlife crossings, the guidelines need to be rectified as follows: 1) Shrubs or trees should be planted along the corridor verges to provide refuge or movement paths for small mammals and ground dwelling arthropods, and 2) Open spaces should be provided in the middle of the corridors to be used as a path for the movement of large mammals.

**KEY WORDS: HABITAT FRAGMENTATION, HABITAT CONNECTIVITY, BIODIVERSITY, WILDLIFE CROSSING GUIDELINE**

## 서론

서식처의 파편화(habitat fragmentation)는 서식처 내 미소서식환경을 변화시켜 생물 종의 분포 변화로 인한 종 구성에 영향을 주게 되고, 중국에는 생물다양성의 감소와 생태계의 기능에 문제를 유발하기 때문에 보전생물학적 측면에서 매우 중요한 현상으로 다뤄지고 있다(Fahrig, 2003). 특히 토지 이용도 변화에 대한 생물 군집의 반응 연구는 인간의 교란과 그에 따른 생태계의 변화를 이해하기 위한 모델 시스템으로 제시된 바 있다(Pickett et al., 1997). 이후 많은 연구들이 섬생물지리학적 관점에서 서식처 면적의 감소에 의한 생물다양성 감소 현상을 연구하여 왔으며(Laurance, 2008), 최근에는 생물다양성 보전에 필요한 요소로 도심 내 녹지의 면적 증가, 서식처간 연결성 증대, 서식처 내 환경의 질적 요소 증진 등을 제시하고 있다(e.g., Magura et al., 2008; Fujita et al., 2008; Gaubloimme et al., 2008).

우리나라의 경우, 산림이 국토 면적의 약 64%를 차지하고 있으며, 많은 생물들의 서식처 역할을 하고 있기 때문에 보전 가치가 매우 높다고 할 수 있다(<http://www.forest.go.kr>). 그러나 급격한 산업화와 도시화로 인한 도로의 건설은 산림

서식처간 단절을 유발하여 생물의 서식처간 이동에 제한요소가 되고 있다. 따라서 국내에서는 단절된 서식처의 생물 다양성 보전을 위한 생태통로의 중요성이 부각되면서 많은 생태통로들이 건설되어 관리되고 있으며(Choi et al., 2012), 국내의 생태통로 관련 연구는 포유동물이나 조류 등 대형 동물을 대상으로 생태통로의 기능과 역할을 조명하기 위한 연구가 대부분을 차지하고 있다(e.g., Choi et al., 2012). 곤충의 경우, 생태통로의 조성효과 분석 및 관리매뉴얼 작성 연구(Seoul Development Institute, 2006)와 도시경관 내 녹지의 중요성을 강조한 연구(Park, 2010; Jung et al., 2012; Do et al., 2014a, b) 등이 수행된 바 있지만, 생태통로를 이용하는 곤충에 대한 연구는 서울시정개발연구원에서 발간한 보고서(Seoul Development Institute, 2006) 외에는 전무하며, 이마저도 단기간에 생태통로 내부만을 조사하여 생태통로에서 발견되는 곤충의 종 목록을 작성한 것에 불과하였다. 이에 비해 국외에서는 1990년대부터 관련 연구가 활발하게 수행되고 있다. 대형 동물 이외에도 곤충류인 나비류(Sutcliffe and Thomas, 1996; Haddad, 1999a, 1999b; Haddad and Baum, 1999; Haddad and Tewksbury, 2005; Townsend and Levey, 2005), 딱정벌레류(Vermeulen, 1994; Joyce et al., 1999; Eggers et al., 2010; Noordijk et al.,

2011), 개미류(Resasco *et al.*, 2014) 및 절지동물류(Collinge, 1998; Nicholls *et al.*, 2001; Haddad *et al.*, 2003; Orrock and Damschen, 2005; Orrock *et al.*, 2011; Vergnes *et al.*, 2012)를 대상으로 많은 연구들이 수행되어 서식처 패치간 이동에 있어 생태통로의 중요성을 강조하고 있다. 특히 많은 연구들이 생태통로의 역할과 기능을 밝히기 위해 대규모로 산림을 벌목하여 통로 형태로 만든 뒤 절지동물의 반응들을 연구하고 있으며(Haddad, 1997, 1999a, 1999b, 1999c; Collinge, 1998; Haddad *et al.*, 2003; Haddad and Tewksbury, 2005; Orrock and Damschen, 2005; Townsend and Levey, 2005; Orrock *et al.*, 2011; Resasco *et al.*, 2014), 이밖에 자연식생 또는 생울타리 등을 대상으로 녹지가 갖는 생태통로로서의 중요성을 조명하는 연구가 진행되고 있다(Vermeulen, 1994; Joyce *et al.*, 1999; Nicholls *et al.*, 2001; Eggers *et al.*, 2010; Noordijk *et al.*, 2011; Vergnes *et al.*, 2012).

본 연구에서는 생태통로를 이용하는 곤충류의 분포 특성을 이해하기 위해서 지표성 딱정벌레류(딱정벌레목: 딱정벌레과)를 모델 생물군으로 선정하였다. 지표성 딱정벌레류는 육식성 또는 협식성의 섭식 활동을 하므로 이들의 분포 여부가 다른 먹이 절지동물, 식물(씨앗)의 분포에 대한 및 식생구조 등 환경 조건에 대한 지표종의 역할을 하기에 많은 연구가 이뤄지고 있다(Lövei and Sunderland, 1996; Rainio and Niemelä, 2003). 또한 이들은 서식처 선호성이 뚜렷하고, 서식처의 조건에 따라 뚜렷한 군집구조의 변화가 관찰되는 등 환경 변화에 매우 민감한 특징이 있고(Lövei and Sunderland, 1996; Rainio and Niemelä, 2003; Koivula, 2011), 이들의 채집에 사용되는 함정트랩은 샘플의 크기(채집된 개체수 및 종수)에 크게 구애받지 않고 조사 지점 간 비교 분석을 하는데 있어 유용하다(Koivula, 2011). 이러한 기준으로 볼 때 본 연구의 대상 분류군인 지표성 딱정벌레류는 단절된 서식처간에 연결성을 증진시키기 위해 설치된 생태통로를 이용하는 곤충류를 대표하여 이용 현황을 모니터링하는데 적합하다고 할 수 있다.

생물다양성 보전 측면에서 수행된 국내외의 많은 연구들은 녹지(숲과 초지 등의 자연 외 인공녹지 포함)의 중요성을 강조하면서 생태통로로서의 직간접적인 이용가능성을 제시하고 있었으며, 국내에서도 생태통로의 합리적인 운영 및 관리를 위해 생태통로 설치 및 관리지침이 제시된 바 있다(Ministry of Environment, 2010). 하지만 생태통로 내부의 식재 및 식생 유지·관리에 있어서 구체적인 가이드라인이 제시되지 않았으며, 내부 식생 구조 차이에 따른 생물 이동 영향에 대한 정보는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 동일한 농업-산림 경관에서 나지와 초본으로 구성된 육교형 생태통로(나지/초본형)와 관목림이 우거진 육교형 생

태통로(관목형)를 대상으로 생태통로 내 식생구조 차이가 지표성 딱정벌레류의 개체수, 종수 및 종구성에 어떠한 영향을 주는지를 비교 평가하였다.

## 연구방법

### 1. 연구대상지

2014년 국립생태원에서 수행한 국내 생태통로의 현황 조사 결과를 토대로 나지와 초본이 주된 식생구조를 갖는 육교형 1개소(나지/초본형)와 관목림이 형성된 육교형 1개소(관목형)를 선정하였다. 두 곳의 생태통로는 충남 보령과 경북 울진을 연결하는 36번 국도의 동일 선상에 건설되어 있는데, 나지/초본형 생태통로(경북 영주시 이산면 지동리)와 관목형 생태통로(경북 봉화군 봉화읍 석평리)는 직선거리로 약 2.3km 정도 떨어져 있다. 두 지점을 조사 대상지로 선정할 이유는 생태통로의 준공일, 너비 및 길이가 동일하고, 생태통로 주변의 경관 구조나 주변 산림의 식생구조가 유사하였기 때문에 생태통로 내부의 식생 관리 여부에 따른 지표성 딱정벌레의 이용 정도를 비교하기에 매우 적합한 것으로 판단되었기 때문이다(Table 1). 두 곳의 생태통로 내부에는 “생태통로 설치 및 관리지침”(Ministry of Environment, 2010)에 따라 동물의 미소서식처 제공을 위한 돌무더기와 나무더미가 산재하여 있었지만, 생태통로 내부의 식생 구조는 큰 차이를 보였다(Table 1). 나지/초본형의 경우 산딸나무와 산철쭉이 일부 식재되어 있었지만, 식생이 거의 없어 서식처 구조는 매우 단순하였다(Figure 1a). 특히 4~6월에는 생태통로 내부가 나지의 형태로 유지되다가 7~9월 들어서는 식생의 천이 초기단계에 유입되는 강아지풀이 생태통로 대부분을 덮을 정도로 성장하였다. 이와 비교하여 관목형 생태통로의 내부에는 쭉, 싸리 및 아까시나무 등 초본과 관목이 연중 높은 밀도로 성장하고 있어 생태통로 내부의 식생 구조가 매우 복잡한 특징을 보였다(Figure 1b). 생태통로와 산림의 경계부에서도 나지/초본형은 교목이 벌목되어 나지의 형태로 유지되는 반면, 관목형은 소나무, 싸리 및 산철쭉이 성장하고 있어 차이를 보였다. 생태통로 주변의 산림 지역은 두 조사지역 모두 소나무나 신갈나무, 갈참나무 및 아까시나무가 동일한 구성으로 혼재되어 있었다.

### 2. 조사방법

생태통로의 관리 여부에 따른 생태통로 내 지표성 딱정벌레류의 이용 현황을 비교하기 위하여 생태통로를 중심으로 27개의 함정트랩을 9곳에 분산하여 설치하였다(Figure 1c). 생태통로를 기준으로 남쪽과 북쪽 산림 지역에 각각 3개

Table 1. Description of ecological corridors and their dominant plants in corridors, edges, and forest areas

Corridor type		Bare ground		Shrub type	
Corridor length (m)	20.1	20.1	20.1		
Corridor width (m)	15.2	15.2	15.2		
Construction year	2005	2005	2005		
Coordinates	N	36° 51' 15.8"	36° 51' 58.5"		
	E	128° 42' 10.6"	128° 43' 26.2"		
Habitat	Vegetation type*		Dominant plant		Dominant plant
Corridor interior	T1	<i>Cornus kousa</i> F. Buerger ex Miquel		<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	
	T2	-	-	-	
	S	<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i> (Lev.) Nakai		<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	
	H	<i>Setaria viridis</i> (L.) P. Beauv.		<i>Artemisia princeps</i> Pampanini	
Northern area	T1	-	-	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	
	T2	-	-	-	
	S	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.		<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	
	H	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.		<i>Miscanthus sinensis</i> var. <i>purpurascens</i> (Andersson) Rendle	
Corridor edge	T1	-	-	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	
	T2	-	-	-	
Southern area	S	<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i> (Lev.) Nakai		<i>Rhododendron yedoense</i> var. <i>poukhanense</i> (Lev.) Nakai	
	H	<i>Artemisia princeps</i> Pampanini		<i>Artemisia princeps</i> Pampanini	
Northern area	T1	<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.		<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	
	T2	-	-	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. Ex Ledeb.	
	S	<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. Ex Trautv.		<i>Rhus trichocarpa</i> Miq.	
	H	<i>Artemisia princeps</i> Pampanini		<i>Carex humilis</i> Leyss. var. <i>nana</i> (Lev. Et Van.) Ohwi	
Forest	T1	<i>Quercus aliena</i> Blume		<i>Pinus densiflora</i> Siebold & Zucc.	
	T2	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.		<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	
Southern area	S	<i>Corylus heterophylla</i> Fisch. Ex Trautv.		<i>Wisteria floribunda</i> (Willd.) DC.	
	H	<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i> (Hara) Ohwi		<i>Wisteria floribunda</i> (Willd.) DC.	

지점(총 18개 함정트랩)을 선정하였으며, 생태통로 내부에 3개 지점(9개 함정트랩)을 선정하여 조사하였다. 각 지점에는 3개의 함정트랩을 약 5m 간격으로 설치하였다. 지점과 지점간 간격은 생태통로 내부의 경우 약 10m이었고, 산림 지역은 약 20m 간격을 두었다. 함정트랩은 지표성 딱정벌

레류의 발생이 시작되는 2015년 4월 28일에 설치하고, 이후 9월 3일까지 약 4주 간격으로 4회에 걸쳐 수거하였다. 조사에 사용된 함정트랩은 일회용 플라스틱 컵을 겹쳐서 설치하였고(내부 컵 = 430ml; 외부 컵 = 500ml; 컵 입구의 지름 = 9.5cm), 또한 생태통로의 특성상 이동 중인 야생동물이

(a) Bare ground-type corridor



(b) Shrub-type corridor



(c) Sampling design

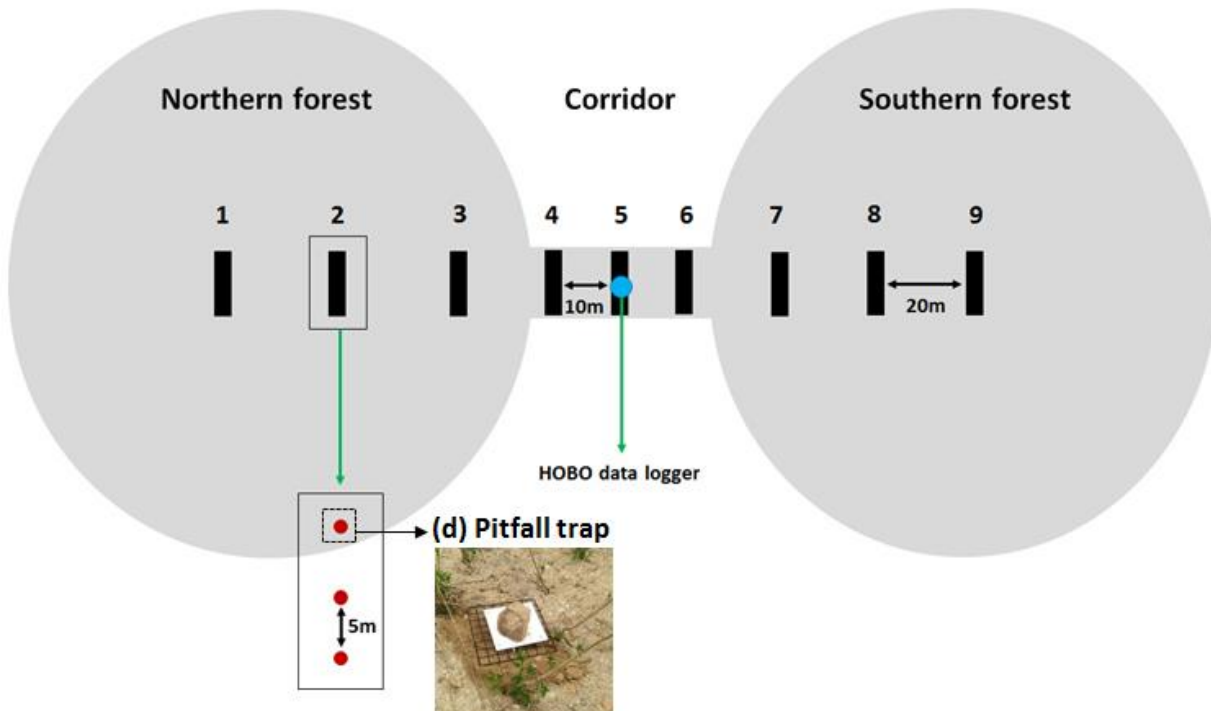


Figure 1. Photos of bare ground- (a) and shrub-type corridors (b) in Yeongju and Bonghwa, respectively. For collecting ground beetles, pitfall traps were installed along a northern forest-corridor-southern forest transect in each type of corridors (c). To prevent disturbance by animals and rain inflow into traps, wire meshes (29.5cm<sup>2</sup>) and rain covers (20cm<sup>2</sup>) were placed above pitfall traps (d). HOB0 data loggers were placed in center of corridors to measure temperature and relative humidity

트랩을 훼손하거나 섭식할 가능성이 높을 것으로 예상되어 플라스틱 컵 상부에 29.5cm<sup>2</sup> 크기의 철망(망 크기 = 3.6cm<sup>2</sup>)을 설치하여 고정한 후, 빗물의 유입을 방지하기 위해 포맥스 재질의 덮개(20cm<sup>2</sup>)를 플라스틱 컵 입구로부터 약 2~3cm 띄워 설치하였다. 함정트랩에는 야외조사 중 채집된 곤충류의 보존을 위해 에틸렌글리콜과 에틸알코올을 1:1로 섞은 혼합액을 보존액으로 사용하였으며, 약 4주 간격으로 트랩을 수거하면서 새로운 보존액으로 교체하였다. 수거한 트랩은 실험실로 운반하여 보존액, 낙엽 및 흙으로부터 샘플을 분리한 뒤 99% 에틸알코올에 액침하였으며, 종 동정은 Habu (1967, 1973, 1978, 1987), Kwon and Lee (1984), Park and Paik (2001), Park and Park (2013), Park *et al.* (2014) 등을 참고하여 실체현미경( $\times 63$ , Olympus SZ61) 하에서 실시하였다. 종 동정 후 증거 표본은 서울대학교 곤충생태학연구실에 수장하였다.

생태통로 내부와 주변 산림 지역의 미소환경 조사는 함정트랩을 설치한 지점 주변에서 이루어졌다. 토양 습도와 pH 측정을 위해 코어 샘플러를 이용하여 트랩 반경 2m 이내의 토양 샘플을 채취하여 지퍼백에 담은 뒤, 이를 실험실로 운반하여 토양 습도와 pH를 측정하였으며, 함정 트랩 주변의 초본층 피도와 교목층 울폐도를 조사하였다. 생태통로 관리 형태에 따른 대기 중 온도와 상대습도 차이를 비교하기 위해서 7월 2일부터 조사 종료 시까지 통로의 정중앙부에 온습도 측정기(Onset, HOBO U23-001 Pro v2 Temperature/Relative Humidity Data Logger)를 설치하였다.

### 3. 자료분석

생태통로의 식생 구조에 따른 지표성 딱정벌레류의 군집 특성을 비교하기 위해서 채집된 지표성 딱정벌레류 자료는 다음과 같이 분석하였다. 나지/초본형 및 관목형 생태통로 내 지표성 딱정벌레류 조사를 위해 운용한 총 54개의 함정트랩과 각 함정트랩 주변에서 수집한 환경변수들을 각각의 독립된 표본으로 처리하였고( $n=54$ ), 각각의 함정트랩당 조사기간 중 채집된 지표성 딱정벌레류의 종수와 개체수를 계수하였다. 이후 생태통로 내부 및 주변 산림지역에서 지표성 딱정벌레류의 개체수와 종수 비교를 위해 모든 함정트랩을 변량으로 처리하는 nested ANOVA 분석을 수행하였다. nested ANOVA 분석에 이용된 개체수 및 종수는 자료의 정규성 및 등분산을 위해  $\log(N+1)$ 으로 변환하여 분석하였다. 또한 생태통로 및 주변 환경에 대한 분석을 위해서 조사한 pH, 토양습도, 초본층 피도 및 교목층 울폐도에 대해서도 nested ANOVA를 수행하였다. 토양습도, 초본층 피도 및 교목층 울폐도의 경우, 백분율로 계산되었기 때문에 자료의 정규성 및 등분산을 위해 arcsine값으로 변환한 뒤

분석하였다.

지표성 딱정벌레류의 종 구성 분석을 위해서 다차원척도법(NMDS, nonmetric multidimensional scaling) 및 유사도 분석법(ANOSIM, analysis of similarity)을 이용하였으며, 조사지점별 지표성 딱정벌레류 조사 자료를 기반으로 조사지점간 Bray-Curtis similarity를 계산하였다. 일반적으로 야외 생태 자료는 정규성을 보이지 않고, 임의적이거나 또는 불연속적인 형태를 보이기 때문에(McCune and Grace, 2002), NMDS는 30번의 순열 검정을 수행하였다. NMDS 분석을 통해 얻어지는 stress 값은 산점도 내 점 좌표에 대한 왜곡된 정도를 의미하며, 이 값이 낮을수록 왜곡된 정도가 낮음을 뜻한다. 또한 ANOSIM 분석은 최대 999번의 순열 검정을 수행하였고, 이를 통해 분석 전에 정의한 4개의 그룹간(남쪽 산림, 북쪽 산림, 나지/초본형 생태통로 및 관목형 생태통로) 유사도를 Global R과 P값을 이용하여 비교하였다. 참고적으로 Global R값은 1에 가까워질수록 조사지점간 차이가 커짐을 의미한다.

nested ANOVA 분석을 위해서는 오픈소스 분석프로그램인 R 3.0.2.(R Development Core Team, 2013)을 이용하였으며, NMDS 및 ANOSIM 분석은 생물군집 분석 프로그램인 PRIMER v6.0(Clarke and Gorely, 2006)을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 생태통로의 환경특성

생태통로의 식생 구조 및 함정트랩의 위치가 산림 및 생태통로 내 환경특성(토양습도, pH, 초본층 피도 및 교목층 울폐도)에 미치는 영향을 확인하기 위해 nested ANOVA test를 실시하였다(Table 2). 그 결과, 생태통로의 식생 구조는 토양습도와 교목층 울폐도에 가장 크게 영향을 준 것으로 확인되었다(토양습도,  $F=22.97$ ,  $P<0.001$ ; 교목층 울폐도,  $F=15.43$ ,  $P<0.001$ ). 반면, pH, 초본층 피도 및 교목층 울폐도는 생태통로 내부 및 주변 산림 지역에 설치한 함정트랩의 위치에 따라 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(pH,  $F=29.79$ ,  $P<0.001$ ; 초본층 피도,  $F=4.28$ ,  $P<0.001$ ; 교목층 울폐도,  $F=55.22$ ,  $P<0.001$ ). 특히 생태통로 내부의 경우, 식생의 유무에 따라 외부환경에 노출되는 정도가 달라지기 때문에 나지/초본형 생태통로에 비해 관목형 생태통로 내부의 토양습도가 2배 정도 높은 양상을 보인 것으로 판단된다. 그러나 생태통로 내부의 대기 중 온도(나지/초본형=23.5 $\pm$ 2.39 $^{\circ}$ C, 관목형=23.5 $\pm$ 2.38 $^{\circ}$ C)와 상대습도(나지/초본형=82.6 $\pm$ 8.53%, 관목형=83.4 $\pm$ 8.56%)는 생태통로의 관리 형태간 차이가 없었다.

Table 2. Nested ANOVA showing differences in environmental variables (soil humidity, pH, and ground and canopy cover) between corridor types and between the nine locations of pitfall trap selected. To apply with parametric test assumptions, soil humidity, ground cover, and canopy cover, and pH data were arcsine- and log(x+1)-transformed, respectively

Dependent variables	Source of variation	df	Mean Sq	F	P
Soil humidity (%)	Corridor types	1	0.021	22.97	<0.001
	Trap locations	8	0.002	1.82	0.099
	Error	44	0.001		
pH	Corridor types	1	0.263	3.04	0.088
	Trap locations	8	2.578	29.79	<0.001
	Error	44	0.087		
Ground cover (%)	Corridor types	1	0.007	0.20	0.658
	Trap locations	8	0.150	4.28	<0.001
	Error	44	0.350		
Canopy cover (%)	Corridor types	1	0.355	15.43	<0.001
	Trap locations	8	1.270	55.22	<0.001
	Error	44	0.023		

## 2. 지표성 딱정벌레류의 군집구조

경상북도 영주시의 나지/초본형 생태통로와 봉화군에 위치한 관목형 생태통로 및 이들과 연결된 산림지역에서 4월 28일부터 9월 3일까지 약 4개월에 걸쳐 채집된 지표성 딱정벌레류는 총 33종 4,207개체로 확인되었다. 식생 구조 유형별로는 나지/초본형 생태통로에서 28종 1,813개체가(Appendix 1), 관목형 생태통로에서는 17종 2,394개체가 채집·동정되었다(Appendix 2). 관목형 생태통로 내부에서 나지/초본형 생태통로 내부보다 많은 개체수가 채집되었는데, 나지/초본형 생태통로 내부에서는 보다 다양한 종이 채집되어 차이를 보였다.

두 곳의 생태통로와 주변 산림지역에서 채집된 지표성 딱정벌레류 중 우점종은 둥근칠납작먼지벌레(*Synuchus arcuaticollis* Motschulsky, 1860, 3,217개체), 윤납작먼지벌레(*Synuchus nitidus* (Motschulsky, 1861), 306개체), 진홍단딱정벌레(*Coptolabrus smaragdinus* Fischer, 1823, 285개체), 일본머리먼지벌레(*Harpalus discrepans* Morawitz, 1862, 111개체), 제주칠납작먼지벌레(*Synuchus orbicollis* (Morawitz, 1862), 83개체) 및 쌍무늬먼지벌레(*Chlaenius naeviger* Morawitz, 1862, 73개체) 순이었고, 이들 6종이 전체 채집된 개체수의 96.9%를 차지할 정도로 우점도가 높았다. 이 중에서 둥근칠납작먼지벌레는 관리 형태에 상관없이 높은 발생밀도를 보였던 반면, 일본머리먼지벌레와 제주칠납작먼지벌레는 나지/초본형에서, 윤납작먼지벌레, 진홍단딱정벌레 및 쌍무늬먼지벌레는 관목형 생태통로가 있는 지역에서 많이 채집되어 우점종의 분포특성도 생태통로 유형간 차이가 있었다. 특히 관목형 생태통로에서 많이 채집

된 진홍단딱정벌레, 쌍무늬먼지벌레 및 둥근칠납작먼지벌레의 경우, 생태통로와 연결된 주변 숲뿐만 아니라 통로 내부에서도 비교적 많이 채집되어 생태통로 내부 환경을 활발하게 이용하는 것으로 생각된다(Appendix 2).

주변 산림지역과 비교하여 생태통로 내부의 식생 구조에 따라 개체수 및 종수의 변화 양상은 뚜렷한 차이를 보였다(Figure 2). 관목형의 경우, 생태통로의 북측에 위치한 지점(남사면)과 남측에 위치한 지점(북사면)간 지표성 딱정벌레류의 개체수는 큰 차이를 보이지는 않았던 반면, 나지/초본형에서는 남사면이 북사면에 비해 대체적으로 많은 개체가 채집되었다. 그러나 종수의 경우에는 나지/초본형 및 관목형 모두 생태통로와 주변 산림 지역 간에는 차이가 없었다. 이러한 결과들은 nested ANOVA test를 통해서도 확인되었는데(Table 3), 특히 생태통로의 식생 구조는 종수 보다는 개체수에 보다 유의미한 영향을 주는 것으로 확인되었다(개체수,  $F=20.06$ ,  $P<0.001$ ). 또한 개체수와 종수 모두 함정트랩이 설치된 위치(북쪽 산림-생태통로-남쪽 산림)에 따라 통계적으로 유의미한 차이를 보였다(개체수,  $F=18.68$ ,  $P<0.001$ ; 종수,  $F=2.45$ ,  $P=0.027$ ). 생태통로 주변 산림 지역의 영향을 제외한 생태통로 내부만을 대상으로 나지/초본형과 관목형 생태통로의 차이를 nested ANOVA test를 이용하여 비교한 결과에서도 생태통로 내부에서 트랩의 위치는 개체수와 종수 모두에 큰 영향을 주지 않았지만, 생태통로의 식생 구조는 개체수( $F=42.50$ ,  $P<0.001$ )와 종수( $F=9.02$ ,  $P=0.009$ )에 있어 통계적으로 유의미한 영향을 주었다(Table 3). 이는 생태통로 내부 식생의 관리 정도에 관계없이 주변 산림 지역과는 환경적인 차이가 뚜렷하기 때문인 것으로 생각된다. 특히 나지/초본형 생태통로는 내부 환경이 깨끗하게 정리되어

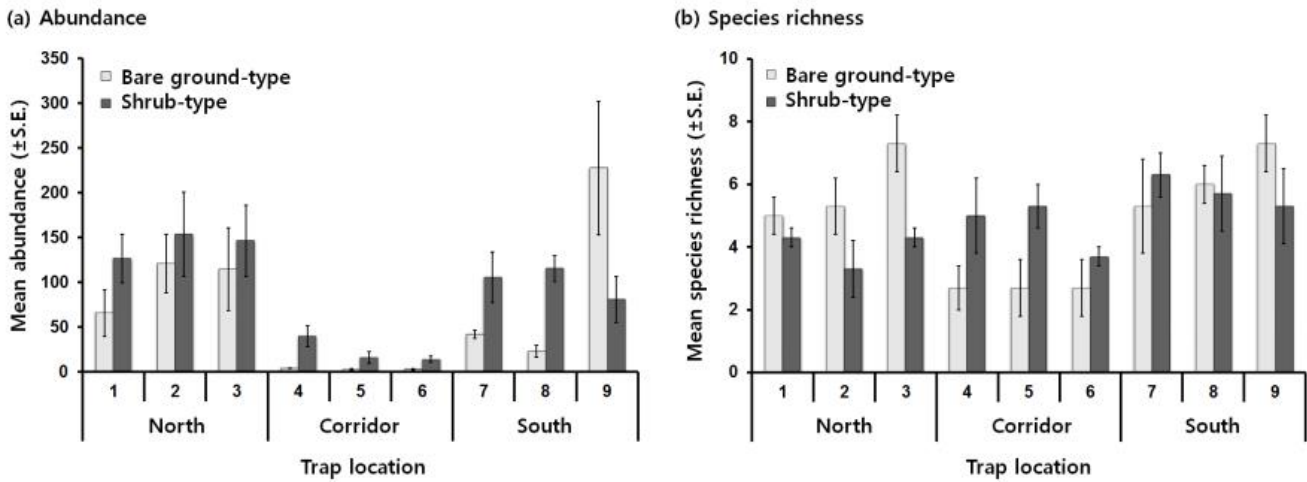


Figure 2. Comparisons of mean abundance (a) and species richness (b) of ground beetle assemblages between bare ground- and shrub-type corridors across northern forest (1 - 3) - corridor (4 - 6) - southern forest (7 - 9)

식생이 거의 자라지 않는 환경이었고, 관목형 생태통로는 관목 및 교목이 자라고 있긴 하지만 토양 환경의 특성이나 수목의 울폐도 등에서 주변 산림 지역과는 차이를 보였기 때문에 생태통로 내부의 종수는 주변 산림 지역과 비교하여 낮았던 것으로 판단된다.

계절 변화에 따른 생태통로 내 지표성 딱정벌레류의 개체 수 및 종수의 변화는 Figure 3과 같다. 나지/초본형의 경우, 1차와 4차 조사에서 2~3차 조사에 비해 높은 개체수와 종수를 보였는데, 이러한 결과는 2~3차 조사에서 채집된 지표성 딱정벌레류의 수가 너무 적었기 때문이다. 즉, 진흥단 딱정벌레, 쌍무늬먼지벌레 등 산림환경과 주변환경을 오가는 종의 이동도 거의 없었고, 산림성 성향이 강한 *Synuchus*

속의 종들은 생태통로 내부에서 거의 채집이 되지 않았기 때문이다. 또한 씨앗과 미소곤충을 섭식하는 협식성 종인 *Harpalus*속이나 *Amara*속 등에 속하는 종들의 먹이원이 될 수 있는 식생이 없어 전반적으로 다양성이 낮은 것으로 확인되었다. 반면, 관목형의 경우에는 다양한 식물이 존재하고, 식생구조 역시 복잡하였기 때문에 산림 가장자리에서 많이 발견되는 진흥단딱정벌레나 쌍무늬먼지벌레 외에도 산림성인 *Synuchus*속의 종들이 생태통로 내부로도 일부 이동하였기 때문에 다소 높은 개체수와 종수를 보였던 것으로 생각된다.

NMDS 및 ANOSIM 분석을 이용하여 종 구성을 비교한 결과, 생태통로의 관리 형태는 생태통로 주변의 산림 지역

Table 3. Nested ANOVA showing differences in abundance and species richness between corridor types and between the trap locations selected. Abundance and species richness data were log(x+1)-transformed to apply with parametric test assumptions

Dependent variables		Source of variation	df	Mean Sq	F	P
Total data	Abundance	Corridor types	1	1.767	20.06	<0.001
		Trap locations	8	1.647	18.68	<0.001
		Error	44	0.088		
	Species richness	Corridor types	1	0.002	0.10	0.752
		Trap locations	8	0.049	2.45	0.027
		Error	44	0.020		
Corridors only	Abundance	Corridor types	1	2.154	42.5	<0.001
		Trap locations	2	0.160	3.16	0.074
		Error	14	0.051		
	Species richness	Corridor types	1	0.183	9.02	0.009
		Trap locations	2	0.007	0.37	0.701
		Error	14	0.020		



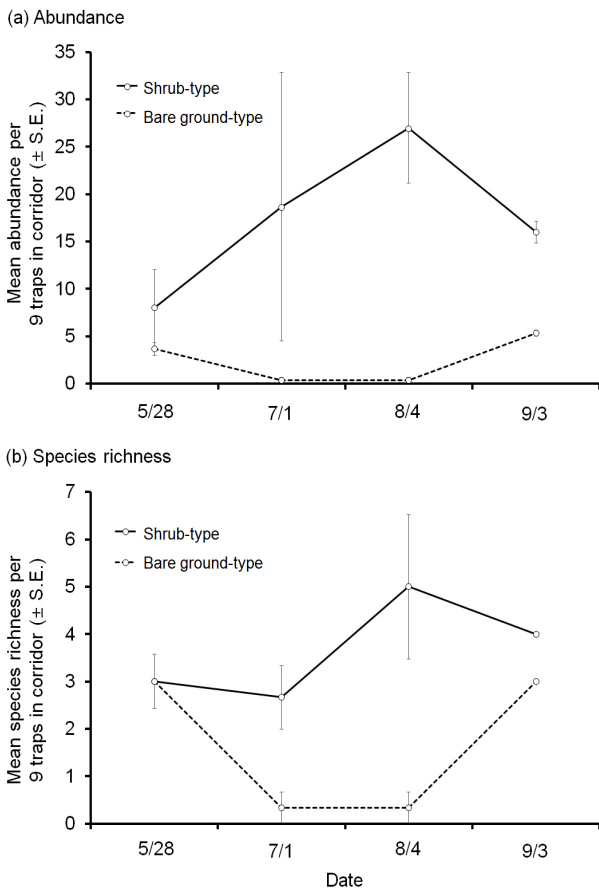


Figure 3. Seasonal change of mean abundance (a) and species richness (b) of ground beetles between bare ground- and shrub-type corridors except on data of ground beetles in northern and southern forest areas

보다는 생태통로 내부의 지표성 딱정벌레류 중 구성에 큰 영향을 주었다(NMDS, stress=0.14; ANOSIM, Global  $R=0.559$ ,  $P<0.001$ )(Figure 4). 또한 4종류의 그룹(남사면 및 북사면 산림, 나지/초본형 및 관목형 생태통로)간 유사도를 ANOSIM으로 분석한 결과에서도 생태통로 관리 정도에 따른 종구성은 높은 비유사성을 보였다(Global  $R=0.523$ ,  $P<0.001$ )(Table 4). 산림 지역의 경우, 남사면과 북사면의 차이가 다소 있긴 하였지만 생태통로 내의 종구성에 비교하면 상대적으로 유사한 종구성을 보였다. 다만, NMDS분석에서 나지/초본형 생태통로보다는 관목형 생태통로의 종 구성이 주변 산림 지역의 종 구성과 유사하였던 결과로 미루어볼 때 지표성 딱정벌레류와 같은 지표면 보행을 통해 이동하는 절지동물(거미류, 개미류, 반날개류 등)에 있어 식생의 구조적인 복잡성의 유무가 산림과 산림을 이동하기 위한 기본 요소라 생각되나 추후 보완 연구가 필요하다.

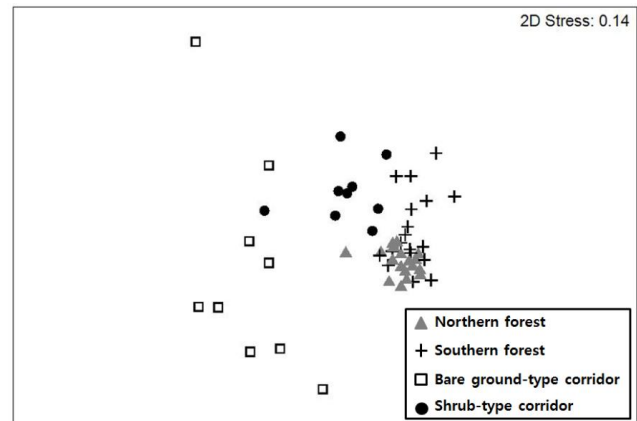


Figure 4. NMDS ordination based on ground beetle assemblages in bare ground- and shrub-type corridors across northern forest-corridor-southern forest

Table 4. Analysis of similarity (ANOSIM) for Bray-Curtis among groups for the ground beetle assemblages

Groups* (Trap location)	R statistic	Significance level (P value)
NF vs. SF	0.201	<0.001
NF vs. BC	0.856	<0.001
NF vs. SC	0.812	<0.001
BC vs. SF	0.850	<0.001
BC vs. SC	0.523	<0.001
SF vs. SC	0.575	<0.001

\* Abbreviation of groups: BC, bare ground-type corridor; NF, northern forest; SC, shrub-type corridor; SF, southern forest

결과를 종합하여 보면, 생태통로의 관리 형태(나지/초본형, 관목형)에 의한 지표성 딱정벌레류의 군집 구조를 조사한 결과, 비행이 아닌 지표면에서 보행을 통해 이동하는 성향이 강한 지표성 딱정벌레류의 생태통로 이용 빈도나 정도는 생태통로 내부의 식생 구조에 따라 크게 영향을 받는 것으로 판단된다. 일반적으로 산림성 지표성 딱정벌레류는 수목의 울폐도 정도에 의해 미소서식처 내 분포가 크게 달라지는데(Koivula *et al.*, 2004), 나지/초본형의 생태통로 내부는 수목이 거의 없어 지표성 딱정벌레류가 은신할 수 있는 공간이 부족하기 때문에 이들의 개체수, 종수 및 종구성 등 군집의 특성들이 산림 지역과 비교하여 매우 이질적인 양상을 보인 것이라 생각된다. 이러한 결과는 지표성 딱정벌레류 이외에도 거미류, 반날개류 및 개미류와 같은 기타 지표성 절지동물류에도 유사하게 적용되리라 생각되는데, 일반적으로 서식처의 복잡성(이질성)의 증가는 전체 생물 다양성의 증가에 긍정적인 영향을 주기 때문이다(Tews *et*

al., 2004; Lassau et al., 2005). 그러나 식생구조에 따른 지표성 딱정벌레류의 이용 정도를 판단하기에는 비교 대상 지역의 수가 적기 때문에 향후 추가 탐색을 통해 다양한 식생구조별 생태통로 유형을 파악하고 딱정벌레류를 포함한 곤충류의 이용현황을 확인할 필요가 있을 것이다. 동시에 실제 지표성 딱정벌레류가 생태통로를 이용하여 파편화된 숲과 숲 사이를 이동하는지에 대한 연구가 필요하다고 생각된다. 국내의 생태통로는 2014년 전수조사에서 10~237m 정도의 길이를 갖는 것으로 조사된 바 있는데(국립생태원 내부 자료), 뒷날개가 퇴화되어 보행을 통해 주로 이동하는 종이 많은 지표성 딱정벌레류의 경우 생태통로의 길이는 이들의 이동에 있어 중요한 제한사항이 될 수도 있다. 지표성 딱정벌레류의 경우, 이동 가능한 거리에 대한 연구 사례는 많지 않지만, 일부 연구에서 1일 동안 3m에서 77m를 이동한다고 보고된 바 있으며, 또한 산림성 종일지라도 먹이활동 및 생식을 위해 숲을 벗어나 이동하는 특성이 있는 것으로 알려져 있다(Thiele, 1977). 따라서 이들이 실제 생태통로를 이용하는지에 대한 정보를 확보한다면 생태통로의 관리지침 개선에 도움이 될 것이다. 한편, 본 연구의 대상지역이었던 영주의 나지/초본형 생태통로의 경우, 연구 기간 동안 초본류의 식생 구조가 변화하는 양상을 보였는데, 신규로 건설된 생태통로에 대한 중장기적인 모니터링을 통해 식생구조의 변화에 따른 지표성 딱정벌레류를 포함한 곤충류의 이용 정도가 어떻게 변화하는지에 대한 연구가 이뤄진다면 향후 생태통로의 설치 및 관리지침을 개선하는데 있어 도움이 될 것이다.

국내의 경우, 서식처의 복잡성과 연결성 증진을 위해 생태통로 내부에 다양한 구조물을 설치하도록 “생태통로 설치 및 관리지침”에 명시되어 있는데(Ministry of Environment, 2010), 본 연구의 대상 생태통로들도 이러한 지침에 따라 생태통로 내부에 징검다리 통나무와 돌무더기 그리고 개나리와 산철쭉을 식재하는 등 다양한 은신처들이 설치되어 있었다. 그러나 나지/초본형 생태통로의 경우 설치된 은신처들은 지표성 절지동물들이 양쪽 산림지역을 이동하는데 크게 도움이 되지 않거나 연결성이 떨어지는 형태이어서 생태통로의 연결성 증진 효과는 부정적이라 생각된다. 이러한 문제점은 비단 절지동물의 이동에만 해당되는 문제점은 아니라 생각된다. 대형 포유류의 경우, 조밀한 식생(관목림)이 오히려 이동에 장애물이 될 가능성이 있지만, 설치류나 조류와 같은 소형 동물에게는 관목림과 같은 식생은 좋은 은신처이자 이동 중 먹이를 섭식할 수도 있는 환경을 제공하기 때문이다. 이에 비해 대형 포유동물의 이동에는 제한적일 수도 있는 관목형 생태통로가 높은 서식처 복잡성으로 인해 많은 곤충류가 이동하거나 서식하기에 용이할 것으로 생각된다. 따라서 생태통로의 생태적 기능을 향상시키기 위

해서는 생태통로 가장자리에는 관목 또는 교목을 조밀하게 식재하고, 생태통로 중앙부에는 대형 포유동물이 이동하기 용이한 통로(나지/초본)를 제공하는 형태로 개선될 필요가 있다. 한편 향후 생태통로 설치 및 관리지침 개정에서 있어 통로 내부의 식재 계획 및 식생 유지·관리에 대한 구체적 가이드라인 제시가 추가적으로 필요한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국립생태원 “광역생태축의 보전 및 복원을 위한 기반 연구” 및 서울대학교 BK21 plus사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Clarke, K.R., Gorley, R.N. (2006) Primer v6: User manual/tutorial, PRIMER-E, Plymouth, pp. 192.
- Collinge, S.K. (1998) Spatial arrangement of habitat patches and corridors: clues from ecological field experiments. *Landsc. Urban Plan.* 42: 157-168.
- Do, Y., Kim, J.Y., Kim, G.-Y., Joo, G.-J. (2014a) Importance of closed landfills as green space in urbanized areas: ecological assessment using carabid beetles. *Landsc. Ecol. Eng.* 10: 277-284.
- Do, Y., Lineman, M., Joo, G.-J. (2014b) Carabid beetles in green infrastructures: the importance of management practices for improving the biodiversity in a metropolitan city. *Urban Ecosyst.* 17: 661-673.
- Eggers, B., Matern, A., Drees, C., Eggers, J., Härdtle, W., Assmann, T. (2010) Value of semi-open corridors for simultaneously connecting open and wooded habitats: a case study with ground beetles. *Conserv. Biol.* 24(1): 256-266.
- Fahrig, L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 34: 487-515.
- Fujita, A., Maeto, K., Kagawa, Y., Ito, N. (2008) Effects of forest fragmentation on species richness and composition of ground beetles (Coleoptera: Carabidae and Brachinidae) in urban landscapes. *Entomol. Sci.* 11: 39-48.
- Gaublomme, E., Hendrickx, F., Dhuyvetter, H., Desender, K. (2008) The effects of forest patch size and matrix type on changes in carabid beetle assemblages in an urbanized landscape. *Biol. Conserv.* 141: 2585-2596.
- Habu, A. (1967) Fauna Japonica, Carabidae truncatipennes group (Insecta: Coleoptera). Biogeographical Society of Japan, Tokyo. pp. 338.
- Habu, A. (1973) Fauna Japonica, Carabidae: Harpalini (Insecta: Coleoptera). Keigaku Publishing Co. Ltd, Tokyo. pp. 430.

- Habu, A. (1978) *Fauna Japonica, Carabidae: Platynini* (Insecta: Coleoptera). Keigaku Publishing Co. Ltd, Tokyo. pp. 447.
- Habu, A. (1987) Classification of the Callistini of Japan (Coleoptera, Carabidae). *Entomological Review of Japan*. 42: 1-36.
- Haddad, N.M. (1999a) Corridor and distance effects on interpatch movements: a landscape experiment with butterflies. *Ecol. Appl.* 9(2): 612-622.
- Haddad, N.M. (1999b) Corridor use predicted from behaviors at habitat boundaries. *Amer. Nat.* 153: 215-227.
- Haddad, N.M., Baum, K.A. (1999) An experimental test of corridor effects on butterfly densities. *Ecol. Appl.* 9(2): 623-633.
- Haddad, N.M., Bowne, D.R., Cunningham, A., Danielson, B.J., Levey, D.J., Sargent, S., Spira, T. (2003) Corridor use by diverse taxa. *Ecol.* 84(3): 609-615.
- Haddad, N.M., Tewksbury, J.J. (2005) Low-quality habitat corridors as movement conduits for two butterfly species. *Ecol. Appl.* 15(1): 250-257.
- Joyce, K.A., Holland, J.M., Doncaster, C.P. (1999) Influence of hedgerow intersections and gaps on the movement of carabid beetles. *Bull. Entomol. Res.* 89: 523-531.
- Jung, J.-K., Kim, S.T., Lee, S.Y., Park, C.G., Lee, E.H., Lee, J.-H. (2012) Ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblage in the urban landscape, Korea. *J. Ecol. Field Biol.* 35(2): 79-89.
- Koivula, M.J., Hyyryläinen, V., Soininen, E. (2004) Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) at forest-farmland edges in southern Finland. *J. Insect. Conserv.* 8: 297-309.
- Koivula, M.J. (2011) Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. *ZooKeys* 100: 287-317.
- Kwon, Y.J., and Lee S.M. (1984) Classification of the subfamily Carabinae from Korea (Coleoptera: Carabidae). *Insecta Koreana*, Series 4, Editorial Committee of *Insecta Koreana*. pp363.
- Lassau, S.A., Hochuli, D.F., Gassis, G., Reid, C.A.M. (2005) Effects of habitat complexity on forest beetle diversity: do functional groups respond consistently? *Diversity Distrib.* 11: 73-82.
- Laurance, W.F. (2008) Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island biogeographic theory. *Biol. Conserv.* 141: 1731-1744.
- Magura, T., Tóthmérész, B., Molnár, T. (2008) A species-level comparison of occurrence patterns in carabids along an urbanisation gradient. *Landsc. Urban Plan.* 86: 134-140.
- McCune, B., Grace, J.B. (2002) *Analysis of ecological communities*. MjM Software Design.
- Ministry of Environment (2010) *Guidelines for design and management of wildlife crossing structures in Korea*. Ministry of Environment, Seoul, Korea. Available from <http://webbook.me.kr/DLi-File/077/203004.pdf> (assessed 30 October 2015). (in Korean)
- Nicholls, C.I., Parrella, M., Altieri, M.A. (2001) The effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern California organic vineyard. *Landsc. Ecol.* 16: 133-146.
- Noordijk, J., Schaffers, A.P., Heijerman, T., Sýkora, K.V. (2011) Using movement and habitat corridors to improve the connectivity for heathland carabid beetles. *J. Nat. Conserv.* 19: 276-284.
- Orrock, J.L., Curler, G.R., Danielson, B.J., Coyle, D.R. (2011) Large-scale experimental landscapes reveal distinctive effects of patch shape and connectivity on arthropod communities. *Lands. Ecol.* 26: 1361-1372.
- Orrock, J.L., Damschen, E.I. (2005) Corridors cause differential seed predation. *Ecol. Appl.* 15(3): 793-798.
- Park, J.K. (2004) Subfamily Carabinae in Korea (Coleoptera: Carabidae). *Economic Insects of Korea* 23. *Ins. Koreana Suppl.* 30, Junghaeng-Sa, Seoul, pp. 96.
- Park, J.-K. (2010) Insect fauna of urban green park in Daegu Metropolitan City, Korea (II). *Kor. Turfgrass Sci.* 24(2): 182-190. (in Korean with English abstract)
- Park, J.-K., Choi, IJ, Park, J, Choi EY (2014) Insect fauna of Korea, vol. 12, no. 16, Ground beetle (Arthropoda: Insecta: Coleoptera: Carabidae: Chlaeniini, Truncatipennes group: Odacanthinae, Lebiinae). National Institute of Biological Resources, Ministry of Environment, Incheon. pp. 111.
- Park, J.-K., Park, J (2013) Insect fauna of Korea, vol. 12, no. 13, Ground beetle (Arthropoda: Insecta: Coleoptera: Carabidae: Pterostichinae). National Institute of Biological Resources, Ministry of Environment, Incheon. pp. 98.
- Park, J.K. and J.C. Paik (2001) Family Carabidae. *Economic Insects of Korea* 12. *Ins. Koreana Suppl.* 19, Suwon, pp. 170. (in Korean)
- Pickett, S.T.A., Burch, W.R. Jr, Dalton, S.E., Foresman, T.W., Grove, J.M., Rowntree, R. (1997) A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas. *Urban Ecosyst.* 1: 185-199.
- R Development Core Team. (2013) *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Rainio, J., Niemelä, J. (2013) Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodivers. Conserv.* 12: 487-506.
- Resasco, J., Haddad, N.M., Orrock, J.L., Shoemaker, D.W., Brudvig, L.A., Damschen, E.I., Tewksbury, J.J., Levey, D.J. (2014) Landscape corridors can increase invasion by an exotic species and reduce diversity of native species. *Ecol.* 95(8): 2033-2039.

- Seoul Development Institute. (2006) Analysis on the effect of ecological corridor in Seoul and Construction of management manual. Seoul Development Institute, Seoul, Korea. Available from [http://www.si.re.kr/sites/default/files/2006-R-22\\_0.pdf](http://www.si.re.kr/sites/default/files/2006-R-22_0.pdf) (assessed 30 October 2015). (in Korean with English abstract)
- Stork, N.E., McBroom, J., Gely, C., Hamilton, A.J. (2015) New approaches narrow global species estimates for beetles, insects, and terrestrial arthropods. *PNAS* 112: 7519–7523.
- Sutcliffe, O.L., Thomas, C.D. (1996) Open Corridors Appear to Facilitate Dispersal by Ringlet Butterflies (*Aphantopus hyperantus*) between Woodland Clearings. *Conserv. Biol.* 10(5): 1359-1365.
- Tews, J., Brose, U., Grimm, V., Tielbörger, K., Wichmann, M.C., Schwager, M., Jeltsch, F. (2004) Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *J. Biogeogr.* 31: 79-92.
- Thiele, H.U. (1977) Carabid beetles in their environment. Springer-Verlag, Berlin. pp. 369.
- Townsend, P.A., Levey, D.J. (2005) An experimental test of whether habitat corridors affect pollen transfer. *Ecol.* 86(2): 466-475.
- Vergnes, A., Le Viol, I., Clergeau, P. (2012) Green corridors in urban landscapes affect the arthropod communities of domestic gardens. *Biol. Conserv.* 145: 171-178.
- Vermeulen, H.J.W. (1994) Corridor function of a road verge for dispersal of stenotopic heathland ground beetles Carabidae. *Biol. Conserv.* 69: 339-349.



Scientific name	Korean name	Trap location								
		Northern forest			Bare ground-type corridor			Southern forest		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Scaritinae Bonelli, 1810</b>										
<i>Scarites terricola pacificus</i> Bates, 1873	긴조롱박먼지벌레									
<b>Zabrinae Bonelli, 1810</b>										
<i>Curtonotus hiogoensis</i> (Bates, 1873)	올롱동글먼지벌레									0.3±0.33

Appendix 2. List of ground beetle assemblages in shrub-type corridor, and its northern- and southern-forest

Scientific name	Korean name	Trap location								
		Northern forest			Shrub-type corridor			Southern forest		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Callistinae Chaudoir, 1872</b>										
<i>Chlaenius naeviger</i> Morawitz, 1862	쌍무늬먼지벌레	1.3±1.33	0.3±0.33	3.3±2.85	10.0±3.61	2.0±0.58	1.3±0.88	0.3±0.33	0.7±0.67	
<i>Chlaenius virgulifer</i> Chaudoir, 1876	끝무늬먼지벌레			0.3±0.33	0.7±0.67		0.3±0.33	0.3±0.33		0.3±0.33
<b>Carabinae Latreille, 1802</b>										
<i>Coptolabrus smaragdinus</i> Fischer, 1823	진홍단막정벌레	4.3±0.88	5.0±1.15	11.0±2.08	11.3±2.33	7.3±3.84	9.0±3.51	10.3±1.2	6.3±2.19	8.0±2.89
<b>Harpalinae Bonelli, 1810</b>										
<i>Harpalus discrepans</i> Morawitz, 1862	일본머리먼지벌레					0.3±0.33		0.7±0.33	1.0±0.58	0.3±0.33
<i>Harpalus eous</i> Tschitscherine, 1901	가슴털머리먼지벌레					0.3±0.33	2.5±1.22			
<b>Lebinae Bonelli, 1810</b>										
<i>Cymindis daimio</i> Bates, 1873	밑배진먼지벌레	0.3±0.33			1.3±1.33	0.3±0.33	0.3±0.33		0.3±0.33	0.7±0.33
<b>Pterostichinae Sloane, 1920</b>										
<i>Pterostichus audax</i> Tschitscherine, 1895	수도길쭉먼지벌레					2.3±2.33				
<i>Pterostichus sulcitaris</i> Morawitz, 1863	팬다리길쭉먼지벌레					0.3±0.33				
<i>Synuchus arcuaticollis</i> Motschulsky, 1860	동근칠납작먼지벌레	118.0±26.89	146.3±46.59	121.0±33.32	14.0±8.74	0.7±0.33	1.3±0.88	54.0±14.84	80.7±16.58	61±19.76
<i>Synuchus crocatus</i> (Bates, 1883)	긴목칠납작먼지벌레					0.7±0.67			0.3±0.33	
<i>Synuchus cycloclerus</i> (Bates, 1873)	붉은칠납작먼지벌레	0.7±0.33	0.3±0.33			0.3±0.33		1.7±0.88	0.3±0.33	0.3±0.33
<i>Synuchus nitidus</i> (Motschulsky, 1861)	올납작먼지벌레	2.0±1.00	1.7±1.20	10.0±3.79	0.3±0.33	1.0±1.00		35.0±11.93	25.0±5.00	9.3±3.33
<i>Synuchus orbicollis</i> (Morawitz, 1862)	제주칠납작먼지벌레			0.7±0.67	0.3±0.33					
<i>Synuchus</i> sp.1	-							0.3±0.30		
<i>Trigonognatha coreana</i> (Tschitscherine, 1895)	한국길쭉먼지벌레				1.3±1.33	0.3±0.33		2.3±1.86	0.3±0.33	0.7±0.33
<b>Zabrinae Bonelli, 1810</b>										
<i>Amara</i> sp.1	-				0.3±0.30					
<i>Curtonotus giganteus</i> (Motschulsky, 1844)	큰동글먼지벌레							0.7±0.70	0.3±0.30	