Ecology and Resilient Infrastructure (2019) 6(4): 191-199
https://doi.org/10.17820/eri.2019.6.4.191

http://www.kseie.or.kr/
Online ISSN: 2288-8527

ORIGINAL ARTICLE

우리나라에서 도로 공사장의 성토사면과 절토사면에서 외래식물의 도입

Introduction of Alien Plants on the Fill and Cut Slopes of the Road Construction in South Korea

추연수[1] · 진승남[2] · 손덕주[3] · 박신영[4] · 조형진[5] · 이효혜미[6]*

[1]국립생태원 습지연구팀 전임연구원, [2]수생태공간정보연구소 연구원, [3]농촌진흥청 국립원예특작과학원 도시농업과 전문연구원, [4]서울대학교 생명과학부 석사, [5]수생태공간정보연구소 소장, [6]국립생태원 환경영향평가팀 선임연구원

Yeounsu Chu[1], Seung-nam Jin[2], Deokjoo Son[3], Shinyeong Park[4], Hyungjin Cho[5] and Hyohyemi Lee[6]*

[1]Assistant Researcher, National Institute of Ecology, Changnyeong 50303, Korea
[2]Researcher, Research Team, Eco&Geo Co. Ltd., Incheon 22170, Korea
[3]Postdoctoral Researcher, Urban Agricultural Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Wanju 55365, Korea
[4]Master's Degree, School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Korea
[5]Director, Research Team, Eco&Geo Co. Ltd., Incheon 22170, Korea
[6]Senior Researcher, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea

Received 1 November 2019, revised 13 November 2019, accepted 14 November 2019, published online 31 December 2019

ABSTRACT: Road development is considered an important factor in invasion and dispersion of ailen plants by damaging the natural ecosystems and connecting the detached landscapes into long tubular structures. In this study, vegetation survey was carried out according to the topographical characteristics of cut slope, fill slope, and flat land at the construction site in order to understand the effect of road developemt on the change of the floristic composition of ailen plants. Road developement projects caused a lot of changes in annual and biennial alien plants because of continuous disturbances. Changes in species composition of alien plants decreased in the cut slope. On the other hand, the ailen palnts of the fill slope increased. The increase or decrease alien plants on flat land were identified depending on where it occurred, and no major trend was found. The cause of these change was driven by unintentionally introduced alien plants. In particular, the cut slope with a high occurence of unintentional ailen plants should not be used as a source of high-risk alien plants such as ecosystem disturbances. Since the transplanted species were intentionally planted by the landscape plan, it was possible to identify colonies from early stages and spread to the nearby flat land. Therefore, in order to minimize the impact of road slope vegetation on the surrounding ecosystem during and after road construction, it is suggested to plant high viability plants in the landscape design during the environmental impact assessment consultation.

KEYWORDS: Alien plant, Cut slope, Fill slope, Road construction, Slope revegetation

요 약: 도로 공사는 자연 생태계를 훼손하고, 떨어진 경관들을 긴 통로구조로 연결함으로써 외래식물의 침입 및 확산에 중요한 요인으로 고려된다. 본 연구는 도로 공사가 외래식물 조성 변화에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 공사가 진행 중인 사업장에서 절토사면, 성토사면 및 평탄지의 지형특성에 따라 외래식물상 조사를 수행하였다. 지속적인 교란이 발생하는 사업으로써 일 · 이년생 외래식물에서 주로 증감이 발생하였다. 지형특성별 외래식물상 변화는 절토사면에서 감소하는 반면, 성토사면에서 증가하는 것으로 나타났으며, 평탄지는 발생장소에 따라 증감 특성이 달랐다. 이러한 외래식물상 변화의 원인은 비의도적으로 유입된 외래식물에 의해 주도되었다. 특히 성토사면에서 비의도적으로 유입되는 외래식물이 증가하는 것으로 연구되어, 성토사면이 생태계교란식물과 같은 위해성 높은 외래식물의 공급원으로 이용되지 않도록 관리하여야 한다. 반면 의도적으로 도입된 식재종들은 파종 시부터 대량 살포하기 때문에 군집을 형성하기 쉬우며 비식재지인 평탄지까지 확산하는 것을 파악할 수 있었다. 따라서, 도로공사 중이나 공사 후 도로사면 식생이 주변 생태계에 미치는 영향을 최소화되도록, 성토사면 조경계획에 지속성이 높은 고유종 식재를 환경영향평가 협의 시에 제안하는 것이 바람직하다.

핵심어: 외래식물, 절토사면, 성토사면, 도로개발, 사면녹화

***Corresponding author:** hyohyemi@nie.re.kr, ORCID 0000-0002-5088-4751

ⓒ 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. 서 론

도로는 물자의 운송로, 지식과 문화 및 기술 등의 전파로, 인간집단 상호 간의 정보교환과 재화의 유통을 촉진하는 수단으로 건설된, 인류의 문명발전과 함께해 온 기초적인 사회간접자본이다. 1997년 자동차 등록수 1,000만대의 폭발적 증가와 비례하여 (Choi 2002), 도로의 건설도 1980년 이후 20년만에 국토의 총 도로 연장이 2배 가까이 증가하였다 (Table 1). 2018년 12월 기준 우리나라 도로 연장은 110,714 km에 이르고 있으며, 교통량 증가로 인한 교통체증 해소, 지역 발전 촉진, 더 나아가 국토의 균형적인 발전을 도모하기 위한 목적으로 끊임없이 건설되고 있다. 인간의 삶의 질을 향상시키는 도로를 건설하는 과정의 이면에는 생태계 교란, 서식처 파편화, 외래생물 칩입 등 생물다양성을 위협하는 요인이 발생한다 (Mader 1984, Cowie and Werner 1993).

도로 공사는 벌목, 성토, 절토 등 대규모 지형적 변화 및 토양층 교란을 일으키는 토목공사부터 아스팔트와 같은 시공 재료에 따라 서식처의 물리·화학적 특성이 바뀌는 포장공사까지, 생물적, 비생물적 환경의 큰 변화를 동반한다 (Olander et al. 1998, Faucette et al. 2006, Karim and Mallik 2008). 도로환경은 자연생태계에 지속적인 교란을 주며, 광도 및 온도 변화에 영향을 미쳐 서식지의 물리적 환경 변화도 일으킨다 (Choi et al. 2018). 이렇게 건조하며 나지가 드러나 있는 환경에서는 기존에 서식하던 종이 아닌 비자생종이 침입할 가능성이 높아진다 (Forman et al. 2003, Doody 2013). 또한 도로는 경관을 관통하는 선형 구조 개발 사업으로, 공사 시 확산을 저해하는 자연적 구조인 생태계의 보호장벽을 물리적으로 일시에 제거함으로써 외래생물에게 잘 정리된 분산 전용 통로를 제공하여 침입을 촉진한다 (Parendes and Jones 2000). 건설된 도로는 긴 관과 같은 구조로 작용하여 멀리 떨어진 이질적인 생태계를 연결함으로써 생물들의 새로운 이동통로 역할을 수행하며, 이 통로를 따라 유입 및 확산되는 종으로 인하여 각각의 독특한 생태계는 점차로 균질한 종조성을 가진 생태계로 변하게 된다 (Arévalo et al. 2010). 공사 시 침입한 외래식물의 경우 도로를 따라 이동하는 차량 및 반입되는 토양 속에 포함되어 장거리 분산이 가능한 것은 물론 (Taylor et al. 2012), 특별한 대책 없이 외부로 반출되면 반입된 지역에도 식생 교란 및 생태계 훼손 등의 피해를 줄 수 있다 (Okimura et al. 2016).

도로가 외래식물의 확산과 주변 생태계의 생물다양성 하락에 영향을 주며, 생태계 교란을 주도하여 고유종 감소와 일반종 및 외래생물의 증대로 도로로 연결된 생태계의 지역적 특이성을 감소시키는 것에 대해서는 다양한 연구가 진행되었다 (Christen and Matlack 2006, Arévalo et al. 2010, Joly et al. 2011, Zeng et al. 2010). 그러나, 도로 사업의 공정을 이해하고, 그에 따른 유입 외래생물의 특성을 분석하여 관리방안을 제안하는 연구는 아직 미흡한 상태이다 (Chu et al. 2017). 따라서 본 연구에서는 도로개발이 진행됨에 따른 외래식물상의 변화 추이를 파악하기 위하여 (1) 공사가 진행 중인 도로 사업에서 외래식물상 조사를 수행하고, (2) 공사 진행에 따른 외래식물의 종 조성 및 특성을 파악하여, (3) 도로 공사 시 적용할 수 있는 외래식물 관리 및 저감 방안 수립의 기초자료를 제공하는 데 있다.

Table 1. Changes in number of registered vehicles and total length of roads (KOSIS 2019, MSS 2019)

Year	Vehicle		Road	
	Number	Annual growth rate (%)	Total length (km)	Annual growth rate (%)
1980	500,000	-	46,950,909	-
1990	3,400,000	0.21	56,714,687	0.02
1995	8,470,000	0.20	74,237,403	0.06
2000	12,060,000	0.07	88,775,021	0.04
2005	15,400,000	0.05	102,293,000	0.03
2010	17,940,000	0.03	105,565,078	0.01
2015	20,990,000	0.03	107,526,581	0.004
2018	23,200,000	0.03	110,714,298	0.01

2. 연구 방법

2.1 조사지 개황

도로 공사의 영향으로 유입된 외래식물상 변화를 파악하기 위하여, 경기도 용인시 기흥구에 위치한 도로 사업인 '신갈우회도로 건설공사 (SG)'와 용인시 '삼가~대촌 국도대체우회도로 건설공사 (DC)'를 선정하였다 (Fig. 1, Table 2). 두 사업은 연결 노선으로 2010년에 착공한 4차선 우회도로 신설 사업이며, 연장은 신갈우회도로 사업이 5.1 km, 삼가 - 대촌 국도대체우회도로 사업이 7.44 km에 이른다. 2018년 기준의 공사 시 9차년도 공정률은 80% 이상 진행되었다 (Table 3). 선정된 사업장은 1) 도로 개발을 위하여 절토지와 성토지가 40곳 이상 발생되어 분석이 용이하며, 2) 발생된 절·성토지에 식생녹화가 이미 완료되어 식재에 의한 식물군집 변화 분석이 가능하고, 3) 두 개의 사업장이지만, 서로 인접되어 경관 및 지역적 식생 특성이 유사할 것으로 판단된다.

2.2 식생 조사 및 자료 분석

식생 조사는 도로사업 구간을 지형 특성에 따라 성토사면 (Fill slope), 절토사면 (Cut slope), 식생제거 평탄지 (이하 평탄지, Flat land)로 분류하여, 구분된 지형에서 각각 외래식물상 조사를 수행하였다. 성토사면이란,

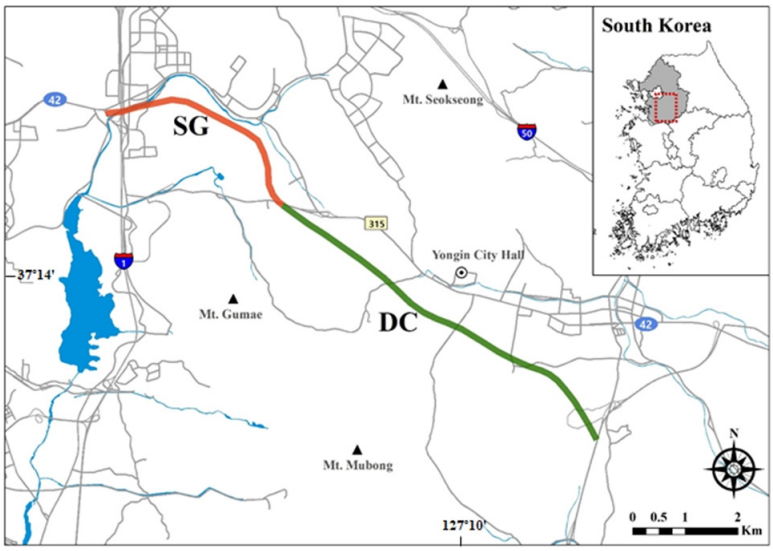


Fig. 1. Map showing the study sites of road construction in Korea (SG, Singal Detour Road; DC, Samga-Daechon Detour Road).

Table 2. Road section, implementation company, traffic lane, road length and type of the study sites

Project name (Site abbreviation)	Road location	Traffic lane	Road length (km)
Singal road construction (SG)	Giheung-gu, Yongin-si	4	5.10
Samga-Daechon road construction (DC)	Giheung-gu, Yongin-si - Cheoin-gu, Yongin-si	4	7.44

Table 3. Progress rate of the road construction in the Singal Detour Road (SG) and Samga-Daechon Detour Road (SD) from 2010 to 2018 (EIASS 2019)

Site	Progress rate (%)								
	1st 2010	2nd 2011	3rd 2012	4th 2013	5th 2014	6th 2015	7th 2016	8th 2017	9th 2018
SG	10.6	12.5	18.8	27.2	37.4	58.8	72.0	73.9	95.8
DC	11.4	15.1	22.5	28.5	41.1	48.5	58.3	72.1	80.6

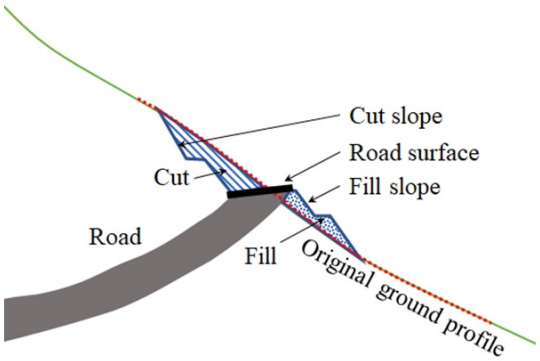


Fig. 2. A diagram showing the cut and fill construction of road.

기존의 지반위에 흙을 쌓아 만든 사면이며, 절토사면은 기존 지반을 깍아 만들어진 사면이다 (Fig. 2). 평탄지는 주로 평지에 임시로 형성되는 지형으로, 도로 옆 가장자리의 식재가 이루어지지 않은 지형이나 도로의 진·출입로로 이용되는 지점이 해당된다. 신갈우회도로 (SG) 사업에서는 성토사면 4곳, 절토사면 15곳, 평탄지 5곳이 발생되었으며, 삼가 - 대촌 우회도로 (DC) 사업에서는 성토사면 6곳, 절토사면 17곳, 평탄지 2곳이 발생되었다. 전체 사업지의 60% 이상이 산림을 지나기 때문에 절토사면의 발생 비율이 더 높았다. 총 조사기간은 2017년 3월부터 2018년 10월까지로, 계절별로 구분하여 봄철 (4 - 5월), 여름철 (7 - 8월), 가을철 (9 - 10월) 조사를 수행하였다.

조사된 외래식물상은 녹화계획에 의해 의도적으로 도입되는 경우와 비의도적으로 도입되는 경우로 구분하여 분석하였다. 환경영향평가서와 현장조사를 통하여 의도적으로 도입된 외래식물은 총 14종인 것으로 확인되었다 (Table 4). 또한 외래식물상 변화 양상의 특성을 분석하기 위하여 Seed Information Database (Kew Gardens 2018)와 Plant Trait Database (TRY 2018)에서 제공하는 종의 산포 기작 등 종자 특성 자료를 이용하였다.

각 사업장에서 사업연차에 따른 서식처별 외래식물 군집의 변화를 파악하기 위하여 통계프로그램 R (R Core Team 2019)을 활용하여 서열분석을 실시하였다. 분석에는 지역적 특이성을 배제하기 위하여, 장소별 외래식물상 조사에서 1개 장소에서만 출현된 외래식물을 제외하였다. 따라서 2개 이상의 조사 지점에서 출현한 외래식물을 활용하여, R에 포함된 'Vegan' 패키지의 'vegdist' 함수로 'Bray-Curtis' 거리지수를 구하고, 'cmdscale' 함수로 주좌표분석 (principal coordinates analysis, PCoA)을 실시하였다 (Oksanen et al. 2019).

3. 결과 및 고찰

3.1 외래식물 출현현황 연차 비교

신갈우회 도로사업장 (SG)과 삼가 - 대촌 도로사업장 (DC)의 도로사업 시 발생된 세 지형인 평탄지, 절토사면 및 성토사면에서 외래식물상 변화는 지형에 따라 증감양상이 비슷한 것으로 분석되었다 (Fig. 3). 신갈우회 도로사업장 (SG)과 삼가 - 대촌 도로사업장 (DC)의 절토사면에서는 녹화 후 외래식물상이 전체적으로 감소한 반면, 성토사면에서는 시간이 지남에 따라 증가하는 경향이 나타났다. 평탄지의 경우 신갈우회 도로사업장 (SG)에서는 감소한 반면 삼가 - 대촌 도로사업장 (DC)에서는 증가하여 지형적 특성과 식생의 상관관계가 명확하지 않았다. 특히, 절토사면이나 성토사면 녹화에 의해 의도적으로 도입된 외래식물은 지속적으로 출현하여 변화가 거의 없었으며, 비의도적으로 주변에서 유입되는 외래식물의 변화는 지형 특성에 따라 다르게 나타났다. 성토사면에서는 증가하고 절토사면에서는 감소하는 외래식물상 변화의 원인은 비의도적으로 유입된 외래식물의 증감이 주요인이었다. 평탄지의 경우는 공사 과정에서 일시적으로 나타나는 지형으로, 식재 계획 등의 관리 구역에서 배제되며, 지속적인 교란에 노출된다. 따라서, 외래식물의 장기 생육지 보다는 임시 거처로 활용되며, 발생지역에 따라 그 외래식물상이 달라진다. 평탄지는 공사장 내에 있지만, 관리 사각지대이기 때문에 주변지역에서 수시로 유입되는 식물

Table 4. List of species used for slope revegetation in the Singal Detour Road (SG) and Samga-Daechon Detour Road (SD)

Site	Seed spray species
SG	*Centaurea cyanus, Cosmos bipinnatus, Cosmos sulphureus, Coreopsis lanceolata, Coreopsis tinctoria, Festuca arundinacea, Indigofera pseudotinctoria, Leucanthemum×superbum, Lolium perenne, Lotus corniculatus, Medicago sativa, Melilotus suaveolens, Silene armeria, Rudbeckia bicolor*
DC	

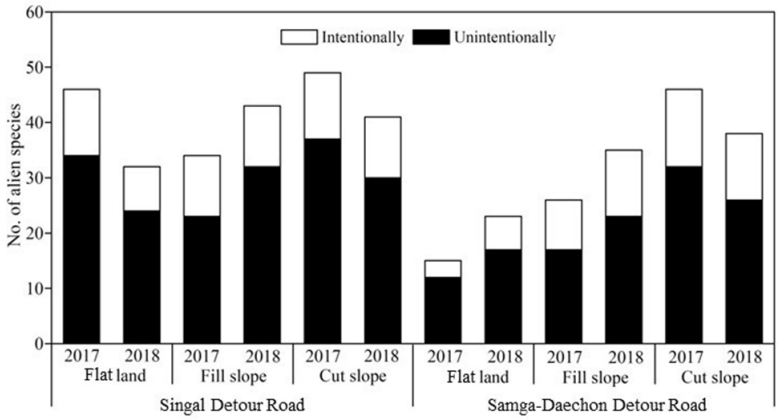


Fig. 3. Changes of the number of alien plant species intentionally and unintentionally introduced to the different ground condition in the Singal Detour Road and Samga-Daechon Detour Road from 2017 to 2018.

Table 5. Number of alien plant species according to their species traits in the Singal Detour Road (SG) and Samga-Daechon Detour Road (SD) in 2017 and 2018

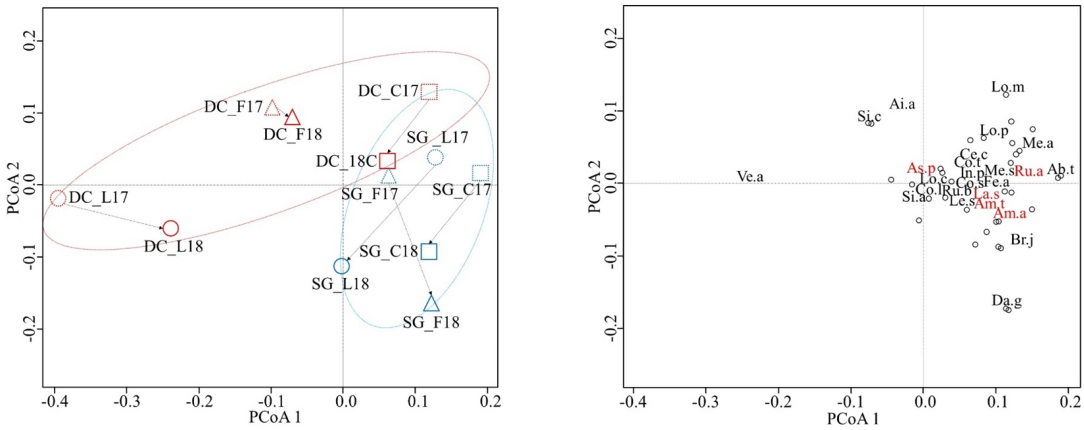
Species trait	SG						DC					
	Flat land		Fill slope		Cut slope		Flat land		Fill slope		Cut slope	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Life cycle												
Anuual & Biennial	28	23	18	26	31	24	9	12	16	21	26	23
Perennial	18	9	16	17	18	17	6	11	10	14	20	15
Dispersal type												
Wind	16	11	11	12	20	14	6	8	10	13	18	11
Unassisted	17	13	12	17	15	15	7	11	10	16	14	14
Animal	13	8	11	14	14	12	2	4	6	6	14	13

로 식생이 유지되므로, 절성토 사면의 외래식물상보다 출현 종수가 적었다. 의도적으로 도입되는 외래식물은 녹화 공법 시 대량으로 살포되기 때문에 한 번 정착하면 다음 해에도 쉽게 유지가 된다. 반면에 비의도적으로 도입되는 외래식물은 서식처 유형에 따라 주변 지역과 연결성이 높은 성토사면에서는 종수가 증가하는 반면 그렇지 않은 절토사면에서는 감소하는 것으로 보인다.

외래식물 종 특성에 따른 연차변화에서는 교란이 지속해서 발생하는 사업의 특성상 일이년생 외래식물에서 대부분 증감이 발생하나 (Abella 2010), 뚜렷한 경향성은 나타나지 않았다 (Table 5). 산포 방법의 경우 안정적인 형태가 유지되기 힘든 평탄지에서는 특성을 파악하는 것이 어려웠으나, 절성토 사면에서 중력산포 종은 증가하고 풍산포 종은 감소하였다. 증감을 겪은 종들은 대부분 토양 및 차량 이동에 의해 비의도적으로 유입된 종들로, 종자 크기가 크고 무게가 많이 나가는 중력산포 종 특성상 유입에 상대적으로 용이한 것으로 판단된다 (Howe and Smallwood 1982).

3.2 서식처 유형에 따른 외래식물 군집 특성

조사대상 사업의 공사가 진행됨에 따라 서식처 유형별 외래식물 군집 연차 변화를 파악하기 위하여 주좌표 분석 (PCoA)을 실시하였다 (Fig. 4). 삼가 - 대촌 도로사업 (DC)의 경우 서식처 유형에 따라 배열이 유사하게 묶이는 반면, 신갈우회 도로사업 (SG)은 사업연도에 따라 배열이 분리되었다 (Fig. 4 (a)). 삼가 - 대촌 도로사업 (DC)과 달리 신갈우회 도로사업 (SG) 전 구간에서 교란이 지속해서 발생하여 전체 외래식물상의 변화를 초래한 것으로 보인다. 도로사면 녹화용으로 식재된 큰금계국 (Co.l), 끈끈이대나물 (Si.a), 원추천인국 (Ru.b), 샤스타데이지 (Le.s), 서양벌노랑이 (Lo.c), 노



(a) Sites (b) Species

Fig. 4. Results of principal coordinates analysis (PCoA) using flora data of the alien palnts at the different ground condition in the Singal Detour Road (SG) and Samga-Daechon Detour Road (SD) in 2017 (17 of the abbreviation) and 2018 (18 abbreviation). (a) biplot of road construction sites by habitat type (circle, flat land; triangle, fill slope; square, cut slope; dash line, 2017; solid line, 2018) and (b) biplot of alien species (red text indicates invasive alien plant) (Ab.t, *Abutilon theophrasti*; Ai.a, *Ailanthus altissima*; Am.a, *Ambrosia artemisiifolia* var. *elatior*; Am.t, *Ambrosia trifida*; As.p, *Aster pilosus*; Br.j, *Brassica juncea*; Ce.c, *Centaurea cyanus*; Co.l, *Coreopsis lanceolate*; Co.s, *Cosmos sulphureus*; Co.t, *Coreopsis tinctoria*; Da.g, *Dactylis glomerata*; Fe.a, *Festuca arundinacea*; In.p, *Indigofera pseudotinctoria*; La.s, *Lactuca scariola*; Le.s, Leucanthemum×superbum; Lo.c, *Lotus corniculatus*; Lo.m, *Lolium multiflorum*; Lo.p, *Lolium perenne*; Me.a, *Melilotus alba*; Me.s, *Melilotus suaveolens*; Ru.a, *Rumex acetocella*; Ru.b, *Rudbeckia bicolor*; Si.a, *Silene armeria*; Si.c, *Silene conoidea*; Ve.a, *Veronica arvensis*).

랑코스모스 (Co.s) 등은 가운데에 밀집하여 배열되었다 (Fig. 4 (b)). 절성토 사면에서 지속해서 출현하는 것은 물론 녹화 처리를 하지 않은 평탄지에도 확산하여 출현하는 것으로 분석되었다 (Bochet et al. 2007). 생태계교란생물인 가시상추 (La.s), 미국쑥부쟁이 (As.p), 단풍잎돼지풀 (Am.t)도 도로사업의 전 구간에서 발견되었으며, 특히 단풍잎돼지풀은 절토사면에서 대규모 군락을 형성하고 있었다.

3.3 외래식물의 출현 지속성

각 사업장에서 연차에 따라 외래식물의 출현 양상이 변화하는 것을 파악하여, 외래식물의 출현 지속성을 종 특성과 함께 Table 6에 정리하였다. 신갈우회 도로사업장 (SG)에서는 큰낭아초, 가는털비름, 실망초 등 8종이 신규로 출현하였고 (+) 미국개기장, 비짜루국화, 개맨드라미 등 14종이 발견되지 않았다 (-). 삼가- 대촌 도로사업장 (DC)에서는 가는털비름, 실망초, 미국나팔꽃 등 9종이 새로이 출현하였고, 개양귀비, 쥐보리, 방가지똥 등 9종이 발견되지 않았다. 사면 녹화 시 도입된 큰낭아초를 제외하고는 모두 비의도적으로 도입된 종들로, 대규모 군락을 형성하지 못하고 개체 수준으로만 유지가 된다면 경쟁에 밀려 사라질 것으로 판단되며, 어저귀, 비짜루국화, 큰방가지똥, 개양귀비 등 일이년생 종들이 해당한다. 다른 특이점으로는 가는털비름, 둥근잎유홍초, 미국나팔꽃, 실망초 등이 두 사업장에서 신규로 출현한 종들로, 연계된 노선의 영향이 있었을 것으로 판단된다. 또한 연계된 노선이기 때문에 종이 확산되는 빈도는 매우 높기 때문에 새로 발견되지 않았거나 (-) 출현하지 않았던 종 (N)들이라도 도입될 가능성을 배제할 수 없으며, 미국까마중, 돼지풀, 다닥냉이, 미국개기장 등이 해당한다. 이렇게 사업노선을 따라서 일반적인 외래식물뿐만 아니라 생태계교란생물의 유입이 가능하기 때문에 완공 후에도 지속적인 관리가 필요하다 (Christen and Matlack 2009).

4. 결론 및 제언

본 연구에 의하면, 교란이 발생하는 사업으로써 일이년생 외래식물에서 주로 증감이 발생하며, 비의도적으로 도입된 외래식물 종 조성에서만 끊임없이 변화가 일어나고 있었다. 즉 의도적으로 도입된 식재종들은 파종

Table 6. Change of the appearance of alien plants in the Singal Detour Road (SG) and Samga-Daechon Detour Road (SD) from 2017 to 2018 (-, disappeared; +, newly appeared; C, continuously appeared; N, not existed)

Scientific name	Korean name	Life cycle	Dispersal type	SG	DC
Amaranthus patulus	가는털비름	Annual	Unassisted	+	+
Erigeron bonariensis	실망초	Biennial	Wind	+	+
Ipomoea hederacea	미국나팔꽃	Annual	Unassisted	+	+
Quamoclit angulata	둥근잎유홍초	Annual	Unassisted	+	+
Brassica napus	유채	Biennial	Unassisted	+	N
Bromus tectorum	털빕새귀리	Perennial	Animal	+	N
Dactylis glomerata	오리새	Perennial	Animal	+	N
Indigofera pseudotinctoria	큰낭아초	Perennial	Unassisted	+	C
Aster subulatus var. *sandwicensis*	큰비짜루국화	Annual	Wind	N	+
Ipomoea purpurata	둥근잎나팔꽃	Annual	Unassisted	N	+
Lepidium apetalum	다닥냉이	Biennial	Unassisted	N	+
Silene conoidea	염주장구채	Annual	Unassisted	N	+
Helianthus tuberosus	뚱딴지	Perennial	Animal	C	+
Achillea millefolium	서양톱풀	Perennial	Wind	-	N
Celosia argentea	개맨드라미	Annual	Wind	-	N
Galinsoga ciliata	털별꽃아재비	Annual	Wind	-	N
Ipomoea lacunosa	애기나팔꽃	Annual	Unassisted	-	N
Abutilon avicennae	어저귀	Annual	Animal	-	N
Lepidium virginicum	콩다닥냉이	Biennial	Unassisted	-	N
Potentilla paradoxa	개소시랑개비	Biennial	Unassisted	-	N
Viola papilionacea	종지나물	Perennial	Unassisted	-	N
Amorpha fruticosa	족제비싸리	Perennial	Animal	-	C
Panicum dichotomiflorum	미국개기장	Annual	Wind	-	C
Solanum americanum	미국까마중	Annual	Animal	-	C
Lolium multiflorum	쥐보리	Biennial	Animal	N	-
Papaver rhoeas	개양귀비	Annual	Wind	N	-
Ambrosia artemisiifolia	돼지풀	Annual	Unassisted	C	-
Rumex acetocella	애기수영	Annual	Wind	C	-
Sonchus oleraceus	방가지똥	Annual	Wind	C	-
Trifolium hybridum	선토끼풀	Perennial	Animal	C	-
Melilotus alba	흰전동싸리	Biennial	Wind	-	-
Aster subulatus	비짜루국화	Annual	Wind	-	-
Sonchus asper	큰방가지똥	Annual	Wind	-	-

시부터 대량 살포하기 때문에 군집을 유지하는 것은 물론 도입되지 않았던 평탄지까지 확산하는 것을 파악할 수 있었다. 도로사업 시 발생하는 대표적인 지형 유형에 따른 외래식물상 변화 결과, 성토사면에서 비의도적으로 유입되는 외래식물이 크게 증가하였다. 특히, 성토사면은 주변지역으로 확산 및 유입이 용이한 곳에 위치하여 비의도적 유입 외래식물의 장기 생육 거점이 되고 있는 것으로 판단된다. 비의도적 유입 외래식물에는 생태계교란식물도 포함되기 때문에, 생태계위해성이 높은 식물의 성토사면 유입 방지를 위하여 녹화 시 장기 유지가 가능한 식물을 선별하여 성토사면에 식재함으로써, 성토사면의 식생이 주변지역에 위해성 식물 공급원으로 작용하지 않도록 식재계획 시 고려되어야 할 것이다.

공사 진행 정도에 따라서 차이가 나타나지만, 완공에 가까운 사업인 만큼 절토사면과 성토사면에서는 식재종 및 자생종들이 정착함에 따라서 새로운 외래종의 유입은 감소하고 있는 것으로 판단된다. 도로공사가 마무리되고 식생이 안정화되면서 외래종의 유입은 감소할 것이지만 도로라는 특성상 정착한 외래식물의 외부 확산 가능성이 높기 때문에 확산을 방지하기 위한 노력도 필요하다. 현장 확인 결과, 늦은 가을 식재종 외의 외래종이 번무한 지역에서 제초작업을 실시하는 것이 확인되었으나, 시기가 대부분의 종이 결실을 맺어 종자 산포가 이루어진 후이기 때문에 다음 해에 다시 외래종이 종자로 인해 유입될 가능성이 높다. 따라서 이러한 제초작업의 시기를 적합하게 조절하여도 외래종의 유입 및 확산 방지에 효과를 보일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립생태원 “선형사업대상 생태분야 환경영향평가 방법 연구 (NIE-기반연구-2019-04)”의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

Abella, S.R. 2010. Disturbance and plant succession in the Mojave and Sonoran Deserts of the American Southwest. International Journal of Environmental Research and Public Health 7(4): 1248-1284.

Arévalo, J., Otto, R., Escudero, C., Fernández-Lugo, S., Arteaga, M., Delgado, J. and Fernández-Palacios, J. 2010. Do anthropogenic corridors homogenize plant communities at a local scale? A case studied in Tenerife (Canary Islands). Plant Ecology 209(1): 23-35.

Bochet, E., García-Fayos, P. and Tormo, J. 2007. Road slope revegetation in semiarid Mediterranean environments. Part I: seed dispersal and spontaneous colonization. Restoration Ecology 15(1): 88-96.

Choi, J. 2002. Study on the Development of Quantitative Assessment Method to Select Environment-friendly Roadway. PhD dissertation, Konkuk University, Seoul. (in Korean)

Choi, J., Park, M.S., Kim, S.K., Yu, S.H., Choi, W.T., Song, W., Kim, W.M., Kim, S.Y. and Lee J.Y. 2018. Changes in temperature and humidity in the forest caused by development. Journal of Environmental Impact Assessment 27(6): 604-617. (in Korean)

Christen, D.C. and Matlack, G.R. 2006. The role of roadsides in plant invasions: a demographic approach. Conservation Biology 20(2): 385-391.

Christen, D.C. and Matlack, G.R. 2009. The habitat and conduit functions of roads in the spread of three invasive plant species. Biological Invasions 11(2): 453-465.

Chu, Y., Kim, J.K. and Lee, H. 2017. Impact on introduction of the alien plants by road development projects. Ecology and Resilient Infrastructure 4(3): 156-168. (in Korean)

Cowie, I.D. and Werner, P.A. 1993. Alien plant species invasive in Kakadu National Park, tropical northern Australia. Biological Conservation 63: 127-135.

Doody, J.P. 2013. Alien plant invasion. In Doody, J.P. (ed.), Sand Dune Conservation, Management and Restoration. Springer, Dordrecht, Netherlands. pp. 177-199.

EIASS. 2019. Environmental Impact Assessment Support System. http://eiass.go.kr/. Accessed 01 November 2018.

Faucette, L.B., Risse, L.M., Jordan, C.F., Cabrera, M.L., Coleman, D.C. and West, L.T. 2006. Vegetation and soil quality effects from hydroseed and compost blankets used for erosion control in construction activities. Journal of Soil and Water Conservation 61(6): 355-362.

Forman, R.T.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshal, C.D., Dale, V.H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C.R., Haenue, K., Jones, J.A., Swanson, F.J., Turrentine, T. and Winter, T.C. 2003. Road Ecology: Science and Solutions. Island Press, Washington, DC, USA.

Howe, H.F. and Smallwood, J. 1982. Ecology of seed dispersal. Annual review of ecology and systematics 13: 201-228.

Joly, M., Bertrand, P., Gbangou, RY., White, M.C., Dubé, J. and Lavoie, C. 2011. Paving the way for invasive species: road type and the spread of common ragweed (Ambrosia artemisiifolia). Environmental Management 48(3): 514-522.

Karim, M. and Mallik, A.U. 2008. Roadside revegetation by native plants: I. Roadside microhabitats, floristic zonation and species traits. Ecological Engineering 32(3): 222-237.

Kew Gardens. 2018. Seed Information Database-SID. http://data.kew.org/sid/. Accessed 01 November 2018.

KOSIS. 2019. Korean Statistical Information Service. http://kosis.kr. Accessed 01 Septembert 2019. (in Korean)

Mader, H.J. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. Biological Conservation 29: 81-96.

MSS. 2019. MOLIT Statistic System. http://stat.molit.go.kr. Accessed 01 Septembert 2019. (in Korean)

Okimura, T., Koide, D. and Mori, A.S. 2016. Differential processes underlying the roadside distributions of native and alien plant assemblages. Biodiversity and Conservation 25(5): 995-1009.

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. 2019. Package 'vegan', Community Ecology Package. http://vegan.r-forge.r-project.org. Accessed 01 September 2019.

Olander, L.P., Scatena, F.N. and Silver, W.L. 1998. Impacts of disturbance initiated by road construction in a subtropical cloud forest in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. Forest Ecology and Management 109: 33-49.

Parendes, L.A. and Jones, J.A. 2000. Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the HJ Andrews Experimental Forest, Oregon. Conservation Biology 14(1): 64-75.

R core Team. 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. http://www.R-project.org. Accessed 01 Septembert 2019.

Taylor, K., Brummer, T., Taper, M.L., Wing, A. and Rew, L.J. 2012. Human-mediated long-distance dispersal: an empirical evaluation of seed dispersal by vehicles. Diversity and Distributions 18(9): 942-951.

TRY. 2018. Plant Trait Database. http://try-db.org/TryWeb/Home.php. Accessed 01 November 2018.

Zeng, S.L., Zhang, T.T., Gao, Y., Ouyang, Z.T., Chen, J.K., Li, B. and Zhao, B. 2010. Effects of road disturbance on plant biodiversity. World Academy of Science, Engineering and Technology 66: 437-448.