

도로개발 사업이 외래식물 유입에 미치는 영향

Impact on Introduction of the Alien Plants by Road Development Projects

추연수 · 김종권 · 이효혜미*

국립생태원 환경영향평가팀

Yunsoo Chu, Jung-Kwon Kim and Hyohyemi Lee*

Environmental Impact Assessment Team, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea

Received 14 September 2017, revised 22 September 2017, accepted 22 September 2017, published online 30 September 2017

ABSTRACT: Linear development such as road and railway construction is considered to be an important factor in the dispersion agent of alien species. The purpose of this study is to investigate the effect of road project implementation on the introduction of alien plants. We selected the roadworks that have been completed or completed by more than 70% of the projects in the Han River basin environment agency. The alien plant data were divided into five phases: pre-construction (P0) and construction (P25, P50, P75, P100) according to the annual process rate. As the construction progresses, the naturalization rate, the urbanization index and the tendency of the number of exotic plants increase. Especially, alien plants were introduced rapidly at the beginning of the construction period, and the introduced species continued to appear until the construction was completed. Therefore, it is necessary to minimize the introduction of alien plants by concentrating management of embankment process and the vegetation restoration process at the beginning of roadworks.

KEYWORDS: Alien plants, Introduction, Road development, Management, Construction Process

요약: 도로 및 철도 건설과 같은 선형개발은 외래생물의 확산에 중요한 요인으로 고려된다. 본 연구는 도로사업 수행이 외래식물 유입에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 한강유역환경청 관할 사업 (80개 사업) 중 현재 공사가 70% 이상 진행 중이거나 완공된 도로사업장을 대상으로 공정률에 따른 외래식물 변화를 연구하였다. 공정률은 공사 전 (P0)과 공사 중 (P25, P50, P75, P100)의 5단계로 구분하였다. 공사가 진행됨에 따라 귀화물, 도시화지수 및 외래식물 종수가 증가하였다. 특히 외래식물은 공사 초기에 급속히 유입되고 유입종은 공사가 완료될 때까지 지속적으로 출현하는 경향이었다. 그러므로 도로사업장의 외래식물 관리를 위하여 공사 초기에 성토 공정과 식생복원 공정을 집중관리하여 외래식물 유입을 최소화시킬 필요가 있다고 생각된다.

핵심어: 외래식물, 도입, 도로개발, 관리, 공정률

1. 서론

도로 및 철도 건설과 같은 선형사업 (linear development) 은 교통수단을 통한 이동 기능을 기반으로 하여 산업입지의 지원 등의 접근 기능, 공간 제공 및 방재 기능 등 경

제성장의 견인차 역할을 담당한다 (Fan and Chan-Kang 2005). 우리나라에서는 광복 이후 산업화가 급격하게 이루어지면서 도로 및 철도가 상당수 건설이 되었으며, 현재는 국토공간상 시간과 거리가 단축됨에 따라 전국의 1일 생활권화되었다 (Choi 1996). 풍요로운 삶의 영

*Corresponding author: hyohyemi@gmail.com, 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.

위뿐만 아니라 국가 경쟁력 강화를 위하여 도로 및 철도와 같은 선형사업은 지속적으로 진행되고 있는 중이다. 그러나 선형사업의 이면에는 교통사고의 증대, 지구온난화·대기오염·소음 등 환경오염의 가중, 지역단절 그리고 정체성의 저하 등 인간에게 부정적인 영향이 증대되고 있다(Lee et al. 2004b). 또한 최근에 와서야 자연환경 훼손의 최소화, 이용객의 안전 강화 등을 고려한 환경친화적인 도로건설을 추진하고 있으나, 진행된 대부분의 도로사업은 저감방안이 체계적으로 수립되지 못하여 지역적인 규모에서 생물다양성을 포함하는 생태 및 환경에도 부정적인 영향이 미치고 있다(Findlay et al. 2000). 서식처 파편화 및 가장자리 효과로 인한 생물의 이동성 제한과 로드킬 발생, 야생동물 서식처에 인간의 접근성 증가 및 외래종의 침입 등이 대표적인 예이다(Mader 1984, Cowie and Warner 1993, Goodman et al. 1994).

도로개발은 벌목, 성토, 절토 등의 토공이 기본적으로 진행되는 공사로서, 대상 지역은 안정화된 생태계 훼손 또는 표토의 교란으로 나대지 또는 초지 생태계로 변화하여 (Doody 2013, Faucette et al. 2006), 외래식물의 침입에 매우 용이한 지역이 된다 (Forman et al. 2003). 외래식물은 교란된 환경에 적응하기 쉽고, 생존력 및 번식력이 고유종에 비해 뛰어나다. 이 중에는 생태계의 균형을 깨트리고 종 다양성을 감소시키는 심각한 문제를 일으키기 때문에 법적으로 관리되는 생태계 교란 식물도 포함되어 있다. 정착에 성공한 외래식물은 주변지역의 고유생태계로 확산되면서 피해를 유발하기 때문에 외래식물 종자가 포함된 토양이 특별한 대책 없이 외부로 반출될 경우 반입된 지역에도 식생 교란 및 생태계 훼손 등의 피해를 줄 수 있다(Okimura 2016).

사후환경영향조사는 환경영향평가법 제36조 및 동법 시행규칙 제19조에 의거 사업자 혹은 사업자가 지정한 대행자가 수행하는 것으로, 해당 사업을 착공한 후에 그 사업이 주변 환경에 미치는 영향을 협의내용에서 제시한 환경영향조사 계획에 따라 조사하고 그 결과와 그에 따른 조치사항 및 이행사항을 구체적으로 작성하여 환경부장관, 승인기관의 장에게 통보하는 일련의 과정을 거친다. 이러한 체계를 통해서 진행된 도로건설사업은 2016년 12월까지 수행된 사후환경영향조사서 중 약 20.7% 정도를 차지할 정도로 환경영향평가 대상사업 중 단일사업으로는 가장 많음에도, 그 동안 이에 대

한 체계적인 연구가 수행되지 않아 평가단계의 영향에 측과 공사 시 및 운영 시 실제 영향의 정도가 정밀하게 파악되지 못하고 있다(Lee et al. 2004a). 특히 도로개발의 영향으로 생태계교란 식물의 확산 및 피해에도 불구하고, 현재까지 환경영향평가 절차 중에 생태계교란 식물의 피해 확산 방지와 관련된 환경영향평가 규정이나 지침은 미흡한 실정이다(Bang 2014).

본 연구에서는 도로개발이 진행됨에 따른 외래식물의 분포 및 확산 추이를 파악하기 위하여 (1) 선정된 도로사업에서 수행된 환경영향평가 및 사후환경영향조사 통보서의 식물상 자료를 정리 및 분석하고, (2) 공사의 진행률 (공정률)에 따른 외래식물의 변화를 파악하여, (3) 도로개발 사업의 환경영향평가 단계에서 활용할 수 있는 외래식물 관리 및 저감방안 수립의 기초자료를 제공하는데 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사지 개황

도로개발의 영향으로 인한 외래식물의 출현현황을 파악하기 위하여, 도로 사업의 환경영향평가서 및 사후환경영향조사결과 통보서에 제시된 식물상 자료를 이용하였다. 사업수행에 따른 외래식물상 변화를 분석하기 위하여 조사대상 사업은 공사가 완료된 ‘운영시’거나, 거의 완료된 ‘공사시’ 사업을 선정하였으며, 사업장간의 지역적 식생변이를 최소화하고자 서로 인접한 사업장을 선택하였다. 따라서 도로개발 사업이 가장 활발하게 일어나는 한강유역환경청 관할의 도로개발 사업 총 80개 사업(2016년 기준) 중 다음을 만족하는 사후환경영향조사 사업을 선정하였다.

- 공사가 5년이상 지속된 사업장
- 공정률이 2016년 12월 기준 70% 이상이거나, 완공된 사업장
- 연도별 조사자료를 모두 제출한 사업장

위의 조건을 만족하는 사업장은 총 8곳으로, 기존의 개통된 도로를 확포장하는 공사가 진행되는 4개 사업과, 설마~구읍간 도로(SM), 연천~신탄리간 도로(YC), 본오~오목천간 도로(BO), 조리~법원간 도로(JL), 도로를 신설하는 4개 사업으로; 신갈우회도로(SG), 적성~전곡 도로(JS), 장흥~송추 우회도로(JH), 여주IC~장호원 도로(YJ) 사업이다 (Fig. 1, Table 1).

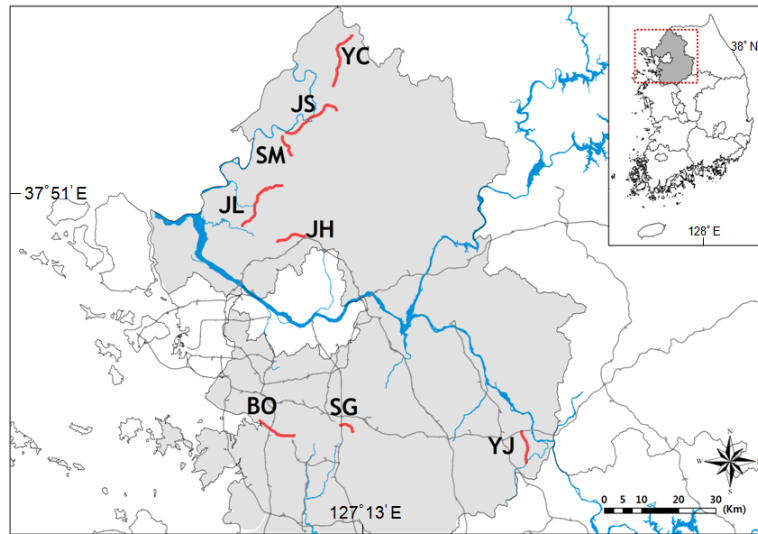


Fig. 1. Map showing the eight study sites of road construction in Korea (BO, Bono~Omokcheon; SM, Seolma~Gueup; SG, Singal; YJ, Yeju IC~Janghowon; YC, Yeoncheon~Sintan; JH, Jangheung~Songchu; JS, Jeokseong~Jeongok; JL, Jori~Paju).

Table 1. Road section, implementation company, authorizing institution, road length and road type of the study sites.

Project name (Site abbreviation)	Road section	Implementation company	Authorizing institution	Road length (km)	Road type
Bono~Omokcheon road construction (BO)	Bono-dong, Ansan-si ~ Omokcheon-dong, Suwon-si	Gyeonggi-do Construction office	Gyeonggi-do	5.4	Local road
Seolma ~Gueup road construction (SM)	Nam-myeon, Yangju-si ~ Jeokseong-myeon, Paju-si	Gyeonggi-do Construction office	Gyeonggi-do	8.0	Local road
Singal road construction (SG)	Giheung-gu, Yongin-si	Seoul Regional Construction and Management Administration	Seoul Regional Construction and Management Administration	5.1	Detour
Yeju IC ~Janghowon road construction (YJ)	Jeombong-dong, Yeju-si ~ Jeomdong-myeon, Yeju-si	Seoul Regional Construction and Management Administration	Seoul Regional Construction and Management Administration	8.3	National road
Yeoncheon~Sintan road construction (YC)	Yeoncheon-eup, Yeoncheon-gun	Seoul Regional Construction and Management Administration	Seoul Regional Construction and Management Administration	10.7	National road
Jangheung~Songchu road construction (JH)	Jangheung-myeon, Yangju-si	Seoul Regional Construction and Management Administration	Seoul Regional Construction and Management Administration	8.3	Detour
Jeokseong~Jeongok road construction (JS)	Cheongsan-myeon, Yeonche on-gun ~ Jeokseong-myeon, Paju-si	Seoul Regional Construction and Management Administration	Seoul Regional Construction and Management Administration	17.8	National road
Jori~Paju road construction (JL)	Jori-eup, Paju-si ~ Beobwon-eup, Paju-si	Gyeonggi-do Construction office	Gyeonggi-do	13.7	Local road

Table 2. Summary of ANOVA for testing the effects of road length on floristic characteristics of alien species.

Floristic characteristics	Road length	
	F value	P value
Number of alien species	1.845	0.223 ^{ns}
Percentage of alien species	2.457	0.168 ^{ns}

Table 3. Classification of the construction progress rate by annual reports (Abbreviations of sites refer to Fig. 1) (P0, pre-construction; P25, P50, P75 and P100, 1-25%, 26-50%, 51-75% and 76-100% of construction progress rate, respectively).

Sites	Items	P0 (NA)*	P25 (1-25%)				P50 (26-50%)				P75 (51-75%)				P100 (76-100%)			
BO	Order		1st	2nd	3rd			4th	5th		6th			7th	8th			-
	Rate (%)	0	4.1	20.1	25.9			30.9	50.3		67.8			84.1	100			
	Year	98	10	11				12	13		14			15	16			
SM	Order		1st	2nd	3rd			4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th				-
	Rate (%)	0	5.2	15.1	27.2			32.4	45.1	49.2	59.2	59.9	71.6	82.1				
	Year	05	07	08	09			10	11	12	13	14	15	16				
SG	Order		1st	2nd	3rd	4th		5th	6th		7th			-				-
	Rate (%)	0	10.6	12.5	18.8	27.2		37.4	58.8		79.2							
	Year	07	10	11	12	13		14	15		16							
YJ	Order		1st	2nd	3rd			4th	5th	6th	7th	8th		9th				In Opr. **
	Rate (%)	0	9.3	20.8	29.5			37.9	43.6	52.5	64.2	81.7		100				100
	Year	04	07	08	09			10	11	12	13	14		15				16
YC	Order		1st	2nd	3rd			4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th			-
	Rate (%)	0	6.5	13.1	22.2			30.6	38.4	47.4	63.4	67.4	75	82.5	98.8			
	Year	03	06	07	08			09	10	11	12	13	14	15	16			
JH	Order		1st	2nd	3rd			4th	5th		6th	7th		8th	9th	10th		-
	Rate (%)	0	0.7	5.46	17.8			37.2	45.3		62.4	75.9		85.4	85.4	92.5		
	Year	04	06	07	08			09	10		11	12		13	14	15		
JS	Order		1st	2nd	3rd			4th	5th		6th	7th		8th				-
	Rate (%)	0	3.1	9.7	18.2			32.5	52.7		63	69.3		83.3				
	Year	05	09	10	11			12	13		14	15		16				
JL	Order		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th		8th	9th		-				-
	Rate (%)	0	0.9	1.8	6.9	12.5	20.2	33.6	46.3		65.9	73.2						
	Year	05	08	09	10	11	12	13	14		15	16						

*NA, no action; ** In Opr., period of 'in operation' after construction

선정된 사업장의 사업구간 길이가 출현 외래식물 종수에 미치는 영향을 파악하기 위해 R 환경 (R Core Team 2017)에서 일원분산분석 (one-way ANOVA)를 수행하였다 (Table 2). 그 결과 사업구간의 길이에 따른 외래식물 종수와 귀화율 (PN) 모두 유의한 차이가 없는 것을 확인하였기 때문에, 이후 도로사업장 연장 (길이) 요인은 분석에서 제외하였다.

2.2 자료 처리 및 분석

각 사업장에서 수행된 환경영향평가조사 및 사후환경영향조사의 식물상 조사 자료 중 외래식물상 자료를

추출하였다 (Appendix 1). 사업규모 및 재정 상황에 따라 사업 연차별 공정률 진행이 상이하므로 사업 연차가 아닌 공정률을 분석 기준으로 활용하였다. 공정률 구분은 공사 전 (pre-construction, P0), 공사진행 1~25% (post-construction25, P25), 공사진행 26~50% (P50), 공사진행 51~75% (P75) 그리고 공사진행 76~100% (P100)로 5단계로 분류하였다 (Table 3). 5단계로 분류한 외래식물상 자료를 이용하여 도시화지수 (UI), 귀화율 (PN), 일년생 식물 (PAN) 및 이년생 (PBI)의 비율 그리고 총 과수 (NOF)를 산출하였다 (Kim et al. 2000, Park 2009).

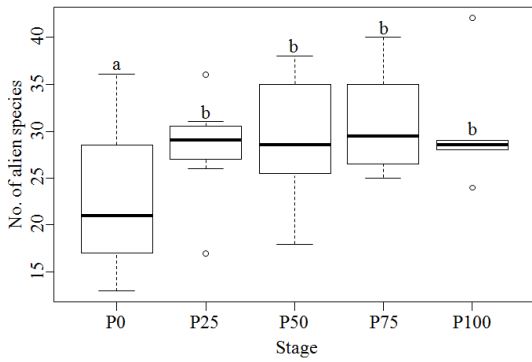


Fig. 2. Comparison of the number of alien species with construction progress rate. The horizontal line within the box indicates the median, boundaries of the box indicate the 25th- and 75th- percentiles. Error bars indicate the value of range from the greatest to the least, excluding outliers and circles indicate outliers. Different letters above the graph mean significant differences between the numbers of exotic species according to the construction progress rate (* $p < 0.05$) (P0, pre-construction; P25, P50, P75 and P100, 1-25%, 26-50%, 51-75% and 76-100% of construction progress rate, respectively).

5단계의 공정률에 따른 외래식물 출현종 수의 차이를 검증하기 위해 R의 ‘aov’의 함수를 이용하여 다중비교를 실시하였다 (R Core Team 2017). 공정률과 외래종수의 관계는 직선회귀분석을 실시하여 결정계수 (R^2)로 유의성을 검증하였다. 각 사업장에서 사업진행 (공정률)에 따른 외래식물상의 변화를 파악하기 위하여 서열분석을 실시하였다. 2개 이상의 사업장에서 출현한 외래식물의 출현 유무로 식물상 자료를 구축하였다. 이 자료를 이용하여 vegan 패키지의 ‘vegdist’ 함수로 Bray-Curtis 거리지수를 구하고, ‘cmdscale’ 함수로 주좌표분석 (principal coordinates analysis, PCoA)을 실시하였다 (Oksanen et al. 2017).

3. 결과 및 고찰

3.1 공정률에 따른 외래식물 풍부도 변화

공정률에 따른 외래식물 풍부도의 변화를 파악하기 위한 일원분산분석의 결과에 따르면, 외래식물의 풍부도는 공사 전 (P0)보다 공사 후 (P25, P50, P75, P100)에 더 많은 외래식물이 출현하였고, 공사에 의해 사업장 및 주변지역에 외래식물이 증가하는 것으로 확인되었다 (Fig. 2). 직선회귀분석 결과에서도 공사가 진행됨에 따라 사업장 및 주변지역에서 외래식물이 유의하게

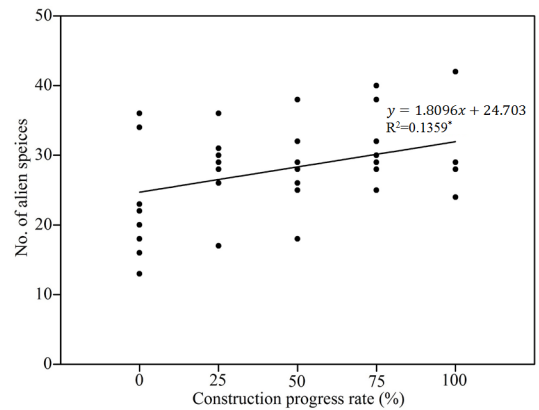


Fig. 3. Relationship between the number of alien species and the progress rate of road construction (* $p < 0.05$).

증가하였다 ($p < 0.05$) (Fig. 3).

3.2 공정률에 따른 외래식물 군집 특성

조사대상 사업의 공정률에 따른 외래식물 군집의 생태적 특성 및 천이 양상 등을 포함하는 특성을 파악하기 위하여 서열법을 실시하였다 (Fig. 4). 여주IC~장호원도로 (YJ), 적성~전곡도로 (JS), 신갈우회도로 (SG) 사업장은 현존식생의 차이로 인해 다른 사업장과 구별되었다 (Fig. 4a). 공정률에 따라 각 사업장은 도시화지수 (UI) 및 귀화율 (PN)이 증가하는 1사분면 방향으로 이동하는 경향이 확인되었다 (Fig. 4b). 또한 유입된 외래식물은 시간이 경과함에 따라 일년생 (PAN)에서 이년생 이상 다년생 (PBE)으로 대체되었으며, 주요한 2년생 이상 외래식물로는 가시상추 (La.sc), 서양등골나물 (Eu.ru), 오리새 (Da.gl), 실망초 (Er.bo) 등이 확인된다 (Fig. 4b). 이상의 결과를 종합하면, 각 사업장의 공정률이 증가함에 따라 조사대상 사업장에서 귀화율 (PN), 도시화지수 (UI), 출현 외래식물 과 (family)의 수 (NOF) 및 이년생 이상 다년생 외래식물 출현비율 (PBE)은 증가하고 1년생 외래식물의 출현비율 (PAN)은 감소하는 방향으로 이동하고 있으며, 공사의 진행이 외래식물 종의 천이에 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다 (Zeng et al. 2010).

3.3 외래식물 현황 및 출현의 지속성

공정률에 따라 각 사업장에서 출현하는 외래식물 군집의 조성이 일년생에서 이년생 혹은 다년생으로 변화하면서 점차로 증가하는 경향을 나타내는 것을 확인되

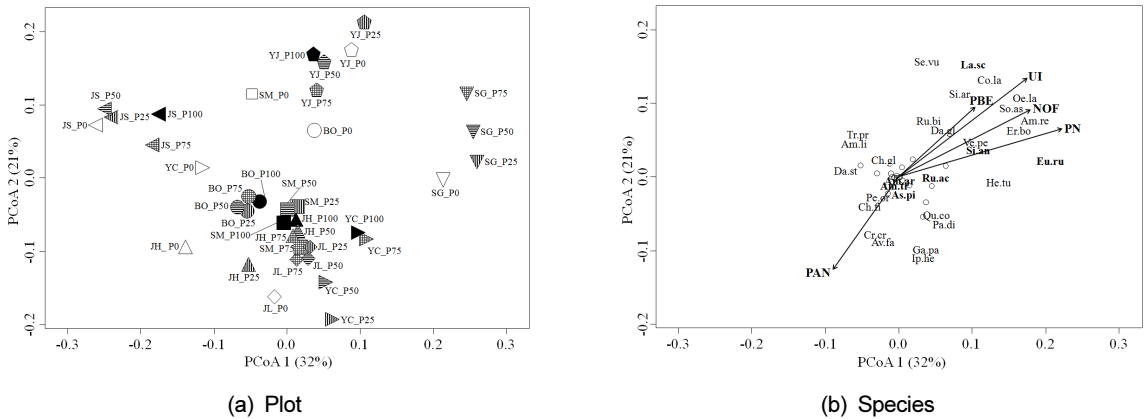


Fig. 4. Results of principal coordinates analysis (PCoA) using flora data at the construction sites. Biplot of road construction sites (a) (white, P0; vertical line, P25; horizontal line, P50; grid, P75; black, P100, abbreviations refer to Table 1) and biplot of alien species with species traits (b) (UI, urban index; PN, naturalized ratio; NOF, no. of family; PAN, percent of annuals; PBE, percent of biennials) (abbreviations of species refer to Table 5). The length and angle of arrows show the contribution of a particular plant trait variable to the PCoA axes.

Table 4. Changes in number of alien species according to the status and introduction types (abbreviations of sites refer to Table 1).

Sites	Disappeared sp. (DN)	Continued sp. (CN)	Introduced sp. (IN)		Disimilarity (%)*
			Intentionally	Unintentionally	
Bono~Omokcheon (BO)	3	19	0	11	42
Seolma ~Gueup (SM)	13	21	2	9	53
Singal (SG)	21	2	5	14	50
Yeosu IC ~Janghwon (YJ)	8	28	4	13	47
Yeoncheon~Sintan (YC)	2	16	3	17	58
Jangheung~Songchu (JH)	3	13	3	20	67
Jeokseong~Jeongok (JS)	0	13	2	15	57
Jori~Paju (JL)	1	19	1	5	27
Mean ± Standard error	6±3	16±3	3±2	13±2	50±4

*Dissimilarity = (DN + IN) / Total no. of species.

있으므로, 군집 변화의 속성을 파악하기 위하여 종수준의 출현 지속성을 분석하여 Table 4에 정리하였다. 둥근잎돼지풀, 삼, 자리공 등의 9종은 공사전에만 발견되고 공사가 시작된 후 사라졌으며, 단풍잎돼지풀, 돼지풀, 미국쭉부쟁이 등의 53종은 공사이전부터 공사가 완료되는 시점까지 지속적으로 출현이 확인되었다 (Table 5). 공사 이후 새로게 도입된 외래식물은 총 25종으로 큰감의털, 큰금계국, 끈끈이대나물 등과 같이 식생복원의 목적으로 의도적 도입을 한 종 (7종)과, 가시박, 가시상추, 털여뀌 등과 같이 비의도적으로 유입된 종 (18종)으로 구분할 수 있다. 비의도적 도입 외래

식물은 사업장 주변지역에서 자연적으로 확산되었거나 성토 및 복원을 위하여 외부로부터 반입된 토양에 종자상태로 포함되어 유입된 것으로 판단된다. 외래식물 조성의 변화에서는 신갈우회도로 (SG), 장흥~송추 우회도로 (JH)가 각각 67% ((3+3+20)/53), 58%로 가장 큰 변화가 있는 것으로 분석되었으며, 반면에 조리~법원간 도로 (JL)는 27%로 변화가 가장 적은 사업장인 것으로 나타났다 (Table 5). 대부분의 사업장의 외래식물의 변화는 40~60%로, 초기출현 외래식물의 50%가 공사마지막까지 지속적으로 출현하며 나머지는 다른 외래종으로 대체되는 것으로 파악되었다.

Table 5. Major alien species at the road construction sites.

Scientific name	Korean name	Abbreviation	Growth form	Life cycle	Introduction type
<i>Abutilon avicennae</i>	어저귀	Ab.av	Herb	Annual	Continued
<i>Achillea millefolium</i>	서양톱풀	Ac.mi	Herb	Perennial	Unintentionally
<i>Ailanthus altissima</i>	가죽나무	Ai.al	Tree	Perennial	Continued
<i>Amaranthus lividus</i>	개비름	Am.li	Herb	Annual	Continued
<i>Amaranthus retroflexus</i>	털비름	Am.re	Herb	Annual	Continued
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elator</i>	돼지풀	Am.ar	Herb	Annual	Continued
<i>Ambrosia trifida</i>	단풍잎돼지풀	Am.tr	Herb	Annual	Continued
<i>Ambrosia trifida</i> for. <i>integrifolia</i>	등근잎돼지풀	Am.ti	Herb	Annual	Disappeared
<i>Amorpha fruticosa</i>	족제비싸리	Am.fr	Shru	Perennial	Continued
<i>Aster pilosus</i>	미국썩부쟁이	As.pi	Herb	Perennial	Continued
<i>Astragalus sinicus</i>	자운영	As.si	Herb	Biennial	Intentionally
<i>Aster subulatus</i>	비짜루국화	As.su	Herb	Annual	Unintentionally
<i>Avena fatua</i>	메귀리	Av.fa	Herb	Biennial	Continued
<i>Avena sativa</i>	귀리	Av.sa	Herb	Biennial	Disappeared
<i>Bilderdykia dentato-alata</i>	큰닭의덩굴	Bi.de	Climb	Annual	Unintentionally
<i>Bidens frondosa</i>	미국가막사리	Bi.fr	Herb	Annual	Continued
<i>Bilderdykia dumetora</i>	닭의덩굴	Bi.du	Climb	Annual	Unintentionally
<i>Brassica juncea</i> var. <i>integrifolia</i>	갓	Br.ju	Herb	Biennial	Continued
<i>Bromus tectorum</i>	털립새귀리	Br.te	Herb	Biennial	Unintentionally
<i>Calinsoga ciliata</i>	털별꽃아재비	Ca.ci	Herb	Annual	Unintentionally
<i>Carduus crispus</i>	지느러미영경귀	Ca.cr	Herb	Biennial	Continued
<i>Cannabis sativa</i>	삼	Ca.sa	Herb	Annual	Disappeared
<i>Centaurea cyanus</i>	수레국화	Ce.cy	Herb	Biennial	Intentionally
<i>Chenopodium album</i>	흰명아주	Ch.al	Herb	Annual	Disappeared
<i>Chenopodium ficifolium</i>	좁명아주	Ch.fi	Herb	Annual	Continued
<i>Chenopodium glaucum</i>	취명아주	Ch.gl	Herb	Annual	Continued
<i>Chloris virgata</i>	나도바랭이	Ch.vi	Herb	Annual	Unintentionally
<i>Cirsium ochrocentrum</i>	서양가시영경귀	Ci.oc	Herb	Biennial	Continued
<i>Coreopsis lanceolata</i>	큰금계국	Co.la	Herb	Perennial	Continued
<i>Cosmos bipinnatus</i>	코스모스	Co.bi	Herb	Annual	Continued
<i>Conyza canadensis</i>	망초	Co.ca	Herb	Biennial	Continued
<i>Crassocephalum crepidioides</i>	주홍서나물	Cr.cr	Herb	Annual	Continued
<i>Dactylis glomerata</i>	오리새	Da.gl	Herb	Perennial	Continued
<i>Datura stramonium</i> var. <i>chalybea</i>	독말풀	Da.st	Herb	Annual	Continued
<i>Erechtites hieracifolia</i>	붉은서나물	Er.hi	Herb	Annual	Continued
<i>Erigeron annuus</i>	개망초	Er.an	Herb	Biennial	Continued
<i>Erigeron bonariensis</i>	실망초	Er.bo	Herb	Biennial	Continued
<i>Eupatorium rugosum</i>	서양등골나물	Eu.ru	Herb	Perennial	Continued
<i>Euphorbia supina</i>	애기땅빈대	Eu.su	Herb	Annual	Continued
<i>Festuca arundinacea</i>	큰김의털	Fe.ar	Herb	Perennial	Intentionally
<i>Galinsoga parviflora</i>	별꽃아재비	Ga.pa	Herb	Annual	Unintentionally
<i>Helianthus tuberosus</i>	땅단지	He.tu	Herb	Perennial	Continued
<i>Hibiscus trionum</i>	수박풀	Hi.tr	Herb	Annual	Disappeared
<i>Ipomoea hederacea</i>	미국나팔꽃	Ip.he	Climb	Annual	Unintentionally
<i>Ipomoea lacunosa</i>	애기나팔꽃	Ip.la	Climb	Annual	Unintentionally
<i>Ipomoea purpurata</i>	등근잎나팔꽃	Ip.pu	Climb	Annual	Unintentionally
<i>Lactuca scariola</i>	가시상추	La.sc	Herb	Biennial	Unintentionally
<i>Lepidium apetalum</i>	다닥냉이	Le.ap	Herb	Biennial	Continued
<i>Lepidium virginicum</i>	콩다닥냉이	Le.vi	Herb	Biennial	Disappeared
<i>Lolium perenne</i>	호밀풀	Lo.pe	Herb	Perennial	Intentionally
<i>Melilotus alba</i>	흰전동싸리	Me.al	Herb	Biennial	Intentionally
<i>Medicago lupulina</i>	잔개자리	Me.lu	Herb	Biennial	Continued

Table 5. Continued.

Scientific name	Korean name	Abbreviation	Growth form	Life cycle	Introduction type
<i>Medicago sativa</i>	자주개자리	Me.sa	Herb	Perennial	Unintentionally
<i>Melilotus suaveolens</i>	전동싸리	Me.su	Herb	Biennial	Continued
<i>Oenothera biennis</i>	달맞이꽃	Oe.od	Herb	Biennial	Continued
<i>Oenothera erythrosepala</i>	큰달맞이꽃	Oe.la	Herb	Biennial	Continued
<i>Panicum dichotomiflorum.</i>	미국개기장	Pa.di	Herb	Annual	Continued
<i>Papaver rhoeas</i>	개양귀비	Pa.rh	Herb	Annual	Intentionally
<i>Persicaria orientalis</i>	털여뀌	Pe.or	Herb	Annual	Continued
<i>Phleum pratense</i>	큰조아재비	Ph.pr	Herb	Perennial	Intentionally
<i>Plantago lanceolata</i>	창질경이	Pl.la	Herb	Perennial	Unintentionally
<i>Phytolacca americana</i>	미국자리공	Ph.am	Herb	Perennial	Continued
<i>Phytolacca esculenta</i>	자리공	Ph.es	Herb	Perennial	Disappeared
<i>Poa pratensis</i>	왕포아풀	Po.pr	Herb	Perennial	Continued
<i>Potentilla supina</i>	개소시랑개비	Po.su	Herb	Biennial	Continued
<i>Quamoclit coccinea</i>	등근잎유홍초	Qu.co	Climb	Annual	Continued
<i>Robinia pseudoacacia</i>	아까시나무	Ro.ps	Tree	Perennial	Continued
<i>Rudbeckia bicolor</i>	원추천인국	Ru.bi	Herb	Perennial	Continued
<i>Rumex acetocella</i>	애기수영	Ru.ac	Herb	Perennial	Continued
<i>Rumex crispus</i>	소리쟁이	Ru.cr	Herb	Perennial	Continued
<i>Rumex obtusifolius</i>	돌소리쟁이	Ru.ob	Herb	Perennial	Disappeared
<i>Senecio vulgaris</i>	개썩갓	Se.vu	Herb	Annual	Continued
<i>Sicyos angulatus</i>	가시박	Si.an	Climb	Annual	Unintentionally
<i>Silene armeria</i>	끈끈이대나물	Si.ar	Herb	Annual	Continued
<i>Solanum americanum</i>	미국까마중	So.am	Herb	Annual	Unintentionally
<i>Sonchus asper</i>	큰방가지뚥	So.as	Herb	Annual	Continued
<i>Sonchus oleraceus</i>	방가지뚥	So.ol	Herb	Annual	Continued
<i>Symphytum officinale</i>	컴프리	Sy.of	Herb	Perennial	Unintentionally
<i>Tagetes minuta</i>	만수국아재비	Ta.mi	Herb	Annual	Unintentionally
<i>Taraxacum officinale</i>	서양민들레	Ta.of	Herb	Perennial	Continued
<i>Thlaspi arvense</i>	말냉이	Th.ar	Herb	Biennial	Continued
<i>Trifolium pratense</i>	붉은토끼풀	Tr.pr	Herb	Perennial	Continued
<i>Trifolium repens</i>	토끼풀	Tr.re	Herb	Perennial	Continued
<i>Veronica arvensis</i>	선개불알풀	Ve.ar	Herb	Annual	Continued
<i>Veronica persica</i>	큰개불알풀	Ve.pe	Herb	Biennial	Continued
<i>Vicia villosa</i>	벧지	Vi.vi	Climb	Biennial	Disappeared
<i>Xanthium strumarium</i>	도꼬마리	Xa.st	Herb	Annual	Continued

4. 결론 및 제언

본 연구에 의하면, 도로개발이 진행될수록 외래식물 종수, 귀화율(UI) 및 도시화지수(PN)가 증가한다. 그러므로, 도로공사는 사업장 및 사업장 인근의 외래식물 종수 증가에 영향을 미치는 것으로 파악되었다. 또한 공사초기에는 일년생 초본이 우점하고, 완공 시기에는 이년생 및 다년생 초본으로 외래식물 종 조성이 변화하는 외래식생의 천이도 확인되었다(Johnston and Johnston 2004). 공사에 따른 외래식물 종수는 공사 초기 외래식물 종수가 적을 경우 그 증가 경향이 뚜렷하게 나타났다.

또한 외래식물의 유입은 공사 초기에 주로 일어나며,

한 번 유입된 외래식물은 공사가 완료될 때까지 지속적으로 출현하는 것도 본 연구로 확인되었다. 외래식물 유입과 연관있는 주요공정은 식생복원과 성토 공정을 고려할 수 있으며, 식생복원은 의도적 도입으로, 성토 공정은 비의도적 유입으로 구분할 수 있다.

따라서 도로사업장의 외래식물 관리를 위하여, 외부 반입 토양의 사업장 적체시 ‘포장 관리(외부로부터 종자가 날아와 적체된 토양에 정착하여 외래식물의 공급원(source)이 되지 않도록 덮어서 관리하는 방법)’, 사업장 내 표토를 활용 혹은 자생종을 활용한 식생복원 등의 유입방지 노력이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국립생태원 “선형사업대상 생태분야 환경영향평가 방법 연구(NIE-기반연구-2017-04)”의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Bang, S.W. 2014. Environmental impact assessment plant of invasive alien plant in Korea. Korea Environment Institute, Seoul, Korea. (in Korean)
- Choi, J.H. 1996. Role of road and change of policy. Journal of Korean Society of Civil Engineers 44: 10-14. (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, Netherlands. pp. 177-199.
- Fan, S. and Chan-Kang, C. 2005. Road Development, Economic Growth, and Poverty Reduction in China. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, USA.
- 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: 355-362.
- Findlay, T., Scot, C. and Bourdages, J. 2000. Response time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. Conservation Biology 14: 86-94.
- 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.
- Goodman, S.M., Pidgeon, M. and O'Connor, S. 1994. Mass mortality of Madagascar radiated tortoise caused by road construction. Oryx 28: 115-118.
- Johnston, F.M. and Johnston, S.W. 2004. Impacts of road disturbance on soil properties and on exotic plant occurrence in subalpine areas of the Australian Alps. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 36: 201-207.
- Kim, J.M., Yim, Y.J. and Cheon, E.S. 2000. The Naturalized Plants in Korea. Science Books, Seoul, Korea. (in Korean)
- Lee, S.J., Choi, J.K., Choi, S.G., Lee, H.S., Jeong, H.R., Lee, G.K., Kang, Y.H. and Seo, S.C. 2004a. Environmental Impact Assessment of Road Construction Projects: Analysis of Prediction and Monitoring. Korea Environment Institute, Seoul, Korea. (in Korean)
- Lee, Y.M., Park, S.H., Jung, S.Y., Oh, S.H. and Yang, J.C. 2011. Study on the current status of naturalized plants in South Korea. Korean Journal of Plant Taxonomy 41: 87-101. (in Korean)
- Lee, Y.T., Jeong, I.H., Kim, S.H., Min, M.G., Kim, J.S., Kim, E.S., Seo, J.C., Sin, B.Y. and Choi, J.S. 2004b. Roads and the Environment. Korea Research Institute for Human Settlements, Anyang, Korea. (in Korean)
- Mader, H.J. 1984. Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. Biological Conservation 29: 81-96.
- National Institute of Ecology (NIE). 2015. Nationwide Survey of Non-native Species in Korea. Chungcheongnam-do, Korea (in Korean)
- 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. 2017. Package 'vegan', Community Ecology Package. <http://vegan.r-forge.r-project.org>. (Assessed 01 August 2017)
- 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: 995-1009.
- Park, S.H. 2009. New Illustrations and Photographs of Naturalized Plants of Korea. Ilchokak, Seoul, Korea. (in Korean)
- R core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. (Assessed 01 August 2017)
- 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 42: 437-448.

Appendix 1. List of alien plants emerged in the road construction sites (Abbreviations of sites refer to Table 1 and abbreviations of species refer to Table 5).

Abbr.	SM					JS					YC					JL			
	P0	P25	P50	P75	P100	P0	P25	P50	P75	P100	P0	P25	P50	P75	P100	P0	P25	P50	P75
Ab.av	o								o	o									
Ac.mi																			
Ai.al		o	o	o	o								o	o			o	o	o
Am.ar	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Am.fr	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		o	o	o	o	o	o	o	o
Am.li	o						o	o	o	o									
Am.re	o																		
Am.tr	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Am.ti																			
As.pi				o	o				o	o	o	o	o	o					
As.si																			
As.su																			
Av.fa		o	o	o	o				o			o	o			o	o	o	o
Av.sa																			
Bi.de									o	o									
Bi.du											o	o		o					
Bi.fr	o	o	o	o	o				o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Br.ju	o																		
Br.te									o	o									
Ca.ci																			
Ca.cr	o	o	o	o	o				o	o	o	o	o	o			o	o	o
Ca.sa																			
Ce.cy																			
Ch.al	o																		
Ch.fi							o	o	o	o		o	o	o	o		o	o	o
Ch.gl									o	o		o							
Ch.vi		o																	
Ci.oc																			
Co.la																			
Co.bi		o	o	o	o							o	o	o	o	o	o	o	o
Co.ca	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Cr.cr		o	o	o															
Da.gl	o	o	o	o	o				o	o									
Da.st								o											
Er.hi	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o						o	o	o	o
Er.an	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Er.bo											o								
Eu.ru																			
Eu.su		o	o																
Fe.ar																			
Ga.pa				o								o	o	o	o				
He.tu												o	o	o	o				
Hi.tr											o								
Ip.he												o	o	o					
Ip.la												o	o	o					

Appendix 1. Continued.

Abbr.	BO					SG				JH					YJ				
	P0	P25	P50	P75	P100	P0	P25	P50	P75	P0	P25	P50	P75	P100	P0	P25	P50	P75	P100
Ab.av																			
Ac.mi								o											
Ai.al	o	o		o	o	o	o	o	o						o	o	o	o	o
Am.ar		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Am.fr	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Am.li	o	o	o	o	o					o	o					o	o	o	o
Am.re	o					o	o	o	o						o	o			
Am.tr			o	o	o			o	o		o	o	o	o	o		o	o	o
Am.ti																			
As.pi		o	o	o	o			o			o	o	o	o			o	o	o
As.si																o			
As.su										o									
Av.fa		o	o	o	o					o	o								
Av.sa						o	o	o											
Bi.de											o								
Bi.du																			
Bi.fr		o	o	o	o		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Br.ju															o				o
Br.te																			
Ca.ci								o	o										
Ca.cr		o	o	o	o						o	o	o	o	o		o	o	o
Ca.sa	o																		
Ce.cy								o	o										
Ch.al																			
Ch.fi	o	o	o	o	o														
Ch.gl										o	o	o	o			o	o	o	o
Ch.vi																			
Ci.oc															o	o	o	o	o
Co.la								o	o						o		o	o	o
Co.bi	o	o	o	o	o	o	o	o			o	o	o	o		o	o	o	
Co.ca	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Cr.cr										o	o								
Da.gl						o	o	o	o						o	o	o	o	o
Da.st	o	o	o	o															
Er.hi		o	o	o	o											o	o	o	o
Er.an	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Er.bo						o	o	o	o						o				
Eu.ru						o	o	o	o			o							
Eu.su	o	o	o	o	o										o				
Fe.ar							o	o	o										
Ga.pa											o	o	o	o					
He.tu	o					o	o	o	o					o		o			
Hi.tr																			
Ip.he											o	o		o					
Ip.la													o						

Appendix 1. Continued.

Abbr.	SM					JS					YC					JL			
	P0	P25	P50	P75	P100	P0	P25	P50	P75	P100	P0	P25	P50	P75	P100	P0	P25	P50	P75
Ip.pu																			
La.sc																			
Le.ap	o	o	o	o	o		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Le.vi	o																		
Lo.pe																			
Me.al																			
Me.lu																			
Me.sa																			
Me.su																			
Oe.od	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Oe.la																			
Pa.di		o	o	o	o							o	o	o	o	o	o	o	o
Pa.rh																			
Pe.or	o								o	o		o	o	o					
Ph.am	o	o	o	o	o							o	o	o	o	o	o	o	o
Ph.es	o																		
Ph.pr									o	o									
Pl.la																			
Po.pr																			
Po.su	o								o	o	o	o	o	o					
Qu.co		o	o									o	o	o	o	o	o	o	o
Ro.ps	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Ru.bi															o	o			
Ru.ac	o	o	o	o								o	o	o			o	o	o
Ru.cr	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Ru.ob	o																		
Se.vu	o																		
Si.an												o	o	o					
Si.ar	o																		
So.am									o	o									
So.as	o																		
So.ol	o	o	o	o	o		o	o	o	o	o	o	o	o					
Sy.of																			
Ta.mi																			
Ta.of	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		o	o	o	o	o	o	o
Th.ar	o	o	o	o	o							o	o	o	o	o	o	o	o
Tr.pr	o	o	o			o	o	o	o	o									
Tr.re	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Ve.ar		o		o								o							
Ve.pe													o	o		o	o	o	o
Vi.vi																			
Xa.st	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		o	o	o		o	o	o

