

## 우리나라 저수지 호안에서 외래식물의 현황

# Current Status of Alien Plants in the Reservoir Shoreline in Korea

조현석 · 조강현\*

인하대학교 생명과학과

Hyunsuk Cho and Kang-Hyun Cho\*

Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 22212, Korea

Received 30 November 2015, revised 5 December 2015, accepted 20 December 2015, published online 31 December 2015

**ABSTRACT:** The reservoir shores seem to be vulnerable to biological invasion. The purpose of this research was to find out the floristic composition of alien plants and their relationship between environmental factors on reservoir shorelines in Korea. We investigated flora of alien plants and environmental factors of geomorphology, hydrology, water quality and soil on the shoreline of a total of 35 reservoirs with different water level managements. There were 56 species of alien plants, which was 15% of the total plant species identified in the study of reservoirs. A total of 57% of these alien species were the species which were introduced shortly after opening the port from 1876 to 1921 in Korea. More than 80% of the alien plants on the reservoir shores originated from America and Europe. The current distribution of *Ambrosia trifida* and *Paspalum distichum* were restricted in the central part and the southern region of the Korean Peninsula, respectively. The water level fluctuation, flood frequency at the median water level, water pollution index, coverage of rock exposure and mean degree of shoreline slope were determined as important environmental factors that have an effect on the characteristics of shoreline alien flora. Our results suggest that the reservoir shore was in danger of being invaded by alien plants due to the water level management and other human disturbances. For effective conservation of the reservoir ecosystem, periodic monitoring systems are required for the early detection of alien species on the reservoir shore.

**KEYWORDS:** Alien plant, Reservoir, Shoreline, Water level fluctuation, Water quality

**요 약:** 저수지 호안은 생물 침입에 취약하다고 생각된다. 본 연구의 목적은 우리나라 저수지 호안에서 침입식물의 종조성의 현황과 외래식물상과 환경요인 사이의 관계를 파악하는 것이다. 다양한 수위 관리를 하고 있는 35 개 저수지 호안에서 외래식물 식물상과 지형, 수문, 수질 및 토양 환경 요인을 조사하였다. 조사 대상 저수지 호안에서 외래식물은 56 종이 발견되어 출현식물 총종수의 15%를 차지하였다. 이들 외래식물을 도입시기별로 분류하면 1876 - 1921 년인 개항 직후에 도입된 것이 57%로서 많았다. 또한 이들의 원산지는 아메리카와 유럽이 80% 이상으로 많았다. 특이한 분포를 나타내는 외래종은 단풍잎돼지풀 (*Ambrosia trifida*)이 중부 지역에, 물참새피 (*Paspalum distichum*)가 남부 지역에 제한적으로 분포하였다. 저수지 호안에서 외래식물 식물상에 영향을 미치는 주요한 환경 요인은 연간 수위변동폭, 중앙수위 범람빈도, 수질오염 지수, 암석노출도 및 평균 사면 경사도이었다. 결론적으로 수위 관리와 기타 인간 교란이 가해지는 저수지 호안은 외래식물의 침입에 취약하였다. 저수지 호안의 효과적인 보전을 위하여 외래식물의 초기 도입을 탐지할 수 있는 주기적 모니터링 체계가 필요할 것으로 생각된다.

**핵심어:** 외래식물, 저수지, 호안, 수위변동, 수질

\*Corresponding author: khcho@inha.ac.kr

© 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

외래종은 생물다양성을 위협하는 가장 주요한 요인 중에 하나로서 생태계 서비스에 부정적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 질병 전파, 농작물 수확량 감소 등의 사회경제적인 손실을 발생시키는 원인이 되고 있다 (CBD 2009, Vilà et al. 2011). 산업이 발달하고 국가간 물류교류가 활발해지면서 외래식물의 확산이 더욱 심화되어 외래식물에 의한 피해가 전 세계적으로 확대되고 있다 (Lee et al. 2011). 많은 외래식물이 인간에 의하여 조성된 곳, 도시 또는 농경지에서 주로 발견되지만, 인간에 의하여 관리되지 않는 곳에서는 담수, 습지 및 하안 생육지에서 비교적 많은 외래식물이 분포한다 (Strayer 2010, Pyšek et al. 2012).

저수지는 제방이나 댐에 의하여 형성되어 특별한 목적으로 관리되는 수체 또는 인간의 활동과 요구에 따라 물을 공급하기 위해서 변경하였거나 관리되는 수체를 통칭한다. 이러한 저수지의 호안 (湖岸, shore)에서는 저수지 용도에 따른 인위적인 수문 운용에 따라 영향을 받기 때문에 다양한 환경 특성을 보이기에 따라 호안 생태계 구조와 기능의 차이로 다양한 식물이 분포한다 (Casanova and Brock 2000, Cho and Cho, 2013). 저수지 호안에서는 수위변동에 의한 스트레스와 교란이 지속적으로 발생하고 있고 친수 목적의 인간 교란도 빈번히 발생하고 있기 때문에 스트레스와 교란이 빈번하게 발생하는 곳을 중심으로 외래식물이 이입되기 용이하다 (Strayer 2010). 더욱이 담수 생태계에서는 연결성이 높기 때문에 외래식물이 유역을 가로질러 쉽게 확산될 수 있다 (Collen et al. 2014).

본 연구에서는 우리나라에서 다양한 수위변동과 이용 목적을 가진 35개 저수지의 호안에서 외래식물의 분포 특성을 파악하기 위하여 외래식물의 식물상과 종별 원산지, 도입시기와 분류학적 및 생태학적 종특성을 파악하고 이들 특성과 저수지 호안의 지형, 수문, 수질 및 토양 환경과의 관계를 분석하였으며, 이 연구 결과를 바탕으로 저수지 호안에서 외래식물의 관리 방안을 제안하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

호안에서 외래식물을 조사하기 위하여 저수지의 주요한 환경요인인 수위 변동에 큰 영향을 미치는 저수지 운영 목적과 연수위변동폭을 고려하여 전국의 35개 저수지를 조사대상지로 선정하였다. 조사대상 저수지를 주용도에 따라 분류하면, 농업용수용 13개 (금풍, 대정, 동부, 백곡, 번개, 불갑, 신송, 옥구, 원남, 지정, 청천, 초평, 흥덕 저수지), 생활·공업용수용 9개 (구천, 대곡, 동북, 보령, 부안, 사연, 연초, 영천, 운문 저수지), 홍수조절용 8개 (대청, 밀양, 소양, 임하, 진양, 충주, 파로, 합천 호), 수력발전용 5개 (의암, 청평, 춘천, 팔당 호 및 보성강 저수지)이었다. 각 저수지의 조사지 위치, 개황 및 지형, 수문, 수질, 토양 환경 특성은 Cho and Cho (2013)에 상술하였다. 선정된 저수지에서 외래식물 조사지점은 호안 식생이 잘 발달된 지역과 해당 저수지의 호안 환경특성이 잘 반영될 수 있는 곳을 저수지당 3지점 이상을 선정하였다. 외래식물 조사는 2011년 4월부터 2012년 8월까지 실시하였다. 선정된 저수지의 호안에서 외래식물 식물상 조사 공간은 만수위로부터 저수위까지의 수위변동역 (drawdown zone)과 수생식물이 분포하는 연안대 (littoral zone)를 포함하였다.

각 저수지의 선정된 조사지점에서 만수위 흔적 지역으로부터 저수지 수면으로 이동하면서 호안에서 출현하는 식물종을 현장에서 기록하였다. 현장 동정이 어려운 종은 채집하여 실내에서 Lee (2003)와 Park (2009)에 의하여 동정하고 외래종 여부를 판단하였다. 화분과 초본과 사초과, 골풀과 등과 같이 화분과 초본과 유사한 초본식물을 포함하는 협엽초본류 (graminoids)의 여부와 생활사 구분은 Kim (2000)과 Lee (2003) 및 Park (2009)를 따랐다. 또한 환경부 지정 생태계교란 야생식물은 NIER (2012)에 의하여 구분하였다. 각 저수지에서 외래식물의 종특성은 외래종수 (NEX)와 총출현종수에 외래식물종수 (PEX), 단자엽 협엽초본류 (PGR) 및 1·2년생 식물 (PAB)의 비율을 계산하였다. 저수지에서 출현한 외래종의 이입시기는 Lee et al. (2011)를, 원산지는 GRIN (2015)를 참조하여 구분하였다. 특히 이입시기는 Pak et al. (2009)에 따라서 제1기인 1876년 개항부터 Mori (1921)의 국내 식물 목록까지, 제2기인 1922

년부터 Lee and Ahn (1963)의 식물목록까지, 제3기인 1964년 이후로 구분하였다 (Kim et al. 2015). 저수지에서는 외래식물을 특성을 우리나라의 전국적 규모에서 외래식물 현황 (Lee et al. 2011)과 비교하였다.

저수지 호안의 외래식물상 특성과 환경 사이의 관계를 파악하기 위하여 RAWRIS (2012), WAMIS (2012) 및 Cho and Cho (2013)의 환경 자료를 추출하였다. 환경 자료는 지형, 수문, 수질 및 토양 특성 자료로 구성되었다. 지형 환경 자료는 호안 사면의 평균경사도 (SL), 수문 자료는 연수위변동폭 (WF)와 중앙수위 연범람빈도 (WN), 수질 자료는 호수수질 평가지수 (lake water quality index, LQI로서 COD, T-P 및 Chl-a를 이용하여 부영양의 정도를 나타냄 (Lee et al. 2014), 토양 자료는 호안의 토양 유기물 함량 (OM)과 암석노출도 (SR)로 구성하였다.

저수지 호안의 외래식물 특성과 환경 요인의 관계를 파악하기 위하여 R 환경 (R Development Core Team 2015)에서 Hmisc 패키지 (Harrell 2015)의 'rcorr' 함수를 이용하여 Pearson 상관 분석을 실시하였다. 2지점 이상의 저수지에서 출현한 외래식물 종의 출현 유무로 구성된 식물상 자료를 이용하여 식물 종 조성에 따른 저수지 사이의 관계를 파악하기 위하여 vegan 패키지 (Oksanen et al. 2015)의 'vegdist' 함수를 이용하여 Bray-Curtis 거리지수를 구한 다음 'cmdscale' 함수로 주좌표분석 (principal coordinates analysis, PCoA)을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 외래식물 식물상과 지리적 분포

우리나라 35개의 저수지 호안에서 외래식물은 16과 45속 56종류가 출현하였다 (Appendix 1). 이 중에서 국화과가 18종류로서 외래식물 총종수의 32%를 차지하였으며, 벼과가 8종류 (14%), 콩과가 8종류 (14%) 순으로 많았다. 저수지 호안에서 발견된 외래식물 56종류는 우리나라에서 보고된 총외래종수 321종류 (Lee et al. 2011)의 17%에 해당하였다. 프랑스와 북미 태평양 연안 북서부의 연안대에서 외래식물 종수가 총출현종수의 23-30%를 차지하는 것과 비교하면 약간 낮은 수준이었다 (Planty-Tabacchi et al.

1996).

우리나라 저수지 호안에서 출현빈도가 높은 외래식물은 미국가막사리 (*Bidens frondosa*), 소리쟁이 (*Rumex crispus*), 개망초 (*Erigeron annuus*), 돼지풀 (*Ambrosia artemisiifolia*), 족제비싸리 (*Amorpha fruticosa*), 망초 (*Conyza canadensis*), 달맞이꽃 (*Oenothera odorata*), 도꼬마리 (*Xanthium strumarium*), 토끼풀 (*Trifolium repens*), 쯤명아리주 (*Chenopodium ficifolium*), 개소시랑개비 (*Potentilla supina*), 다닥냉이 (*Lepidium apetalum*), 털물참새피 (*Paspalum distichum* var. *indutum*), 미국자리공 (*Phytolacca americana*) 등이 총 35개 조사대상 저수지 중에서 9개 이상 저수지에서 출현하였다.

저수지별 외래식물 출현종수를 살펴보면, 진양호에서 22종류로 가장 많았고, 그 다음으로 팔당호에서 21종류가 출현하였다 (Appendix 1). 진양호와 팔당호는 수위가 비교적 안정적으로 유지되어 다른 저수지에 비하여 호안에서 총출현종수가 많았고 외래종수도 많았지만 (Cho 2013), 총출현종수에 대한 외래종수 비율은 각각 17%와 12%로서 높지 않았다. 반면, 옥구저수지, 임하호 및 합천호의 경우 외래식물 출현종수가 8종, 9종 및 8종으로 적었지만 총출현종수에 대한 외래종수 비율은 약 25%로 가장 높았다. 임하호와 합천호는 수위변동 교란이 심하고 옥구저수지는 도시에 인접하여 인간 교란이 심한 환경 특성이 있었다.

우리나라 35개 저수지에서 특이한 지리적 분포를 보이는 외래식물을 살펴보면, 물참새피 (*Paspalum distichum*)는 불갑, 옥구 저수지 등의 전라도 지역과 연초호, 진양호 등의 경상남도 지역에 한정되어 분포하였다 (Fig. 1). 이러한 결과는 물참새피가 제주도과 한반도의 서·남부지방에 분포하고 있다는 기존 보고와 일치하였다 (Yang et al. 2002). 반면에 단풍잎돼지풀 (*Ambrosia trifida*)은 소양, 의암, 청평, 춘천, 파로, 팔당 호에서 출현하여 경기도와 강원도의 중부 지방 저수지 호안에서 주로 분포하였다. 이러한 단풍잎돼지풀의 분포는 이 식물이 주로 강원도 북서부지역에서 확산되었다는 보고와 유사하였다 (Choi et al. 2007).



**Table 1.** Pearson Correlation coefficients between characteristics of alien flora and environmental factors in the reservoir shoreline (n=35).

Floristic characteristics	Environmental factor					
	Range of annual water level fluctuation (WF)	Lake water quality index <sup>1</sup> (LQI)	Flood frequency at median water level (WN)	Shoreline slope (SL)	Rock exposure (SR)	Soil organic matter (OM)
No. of aliens (NEX)	-0.33	0.09	<b>0.41*</b>	<b>-0.41*</b>	<b>-0.36*</b>	0.00
% aliens (PEX)	0.15	0.19	<b>-0.36*</b>	0.11	0.10	<b>-0.41*</b>
% graminoids (PGR)	<b>-0.44**</b>	0.33	<b>0.36*</b>	<b>-0.41*</b>	-0.30	-0.26
% annuals and biennials (PAB)	<b>0.43***</b>	<b>-0.60***</b>	-0.16	<b>0.49**</b>	<b>0.47**</b>	0.04

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ .

<sup>1</sup> Lee et al. (2014)

연범람빈도 (WN), 호안 사면의 평균경사도 (SL) 및 암석노출도 (SR)와 유의한 상관관계를 나타내었다 (Table 1). 또한 외래식물 종수 비율 (PEX)은 중앙수위 연범람빈도 (WN) 및 토양유기물 함량 (OM)과 음의 상관을 나타내었다. 저수지 호안의 외래종수비율 (PEX)에 영향을 미치는 주요 환경요인을 선별하기 위하여 변수선택법을 적용한 결과, 다음과 같이 수위 변동폭 (WF), 호수수질 평가지수 (LQI), 암석노출도 (SR) 및 토양 유기물함량 (OM)이 선정되었다. 따라서 저수지 호안에서 외래종수 출현비율은 수위변동폭이 크고 부영양화가 진행되었으며 호안의 암석노출도가 높고 토양 유기물함량이 낮은 저수지에서 높았다.

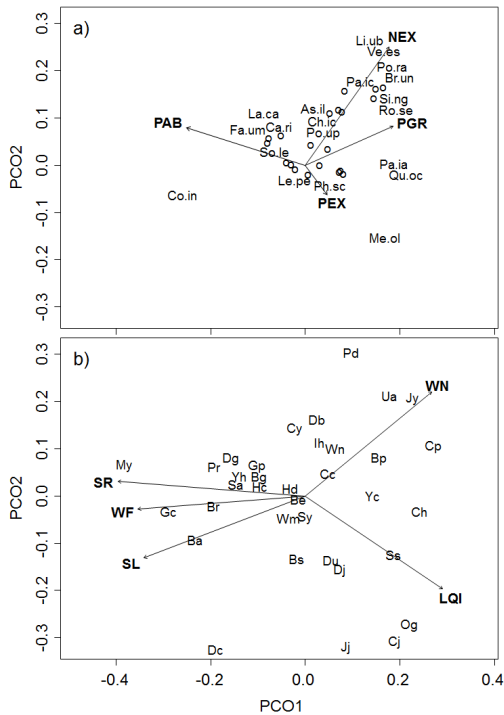
$$PEX = 10.655 + 0.274 WF + 0.222 LQI + 0.088 SR - 0.850 OM (R^2=0.256^*, n=35)$$

저수지 외래식물 중에서 단자엽 협엽초본 종수비율 (PGR)은 연수위변동폭 (WF) 및 호안 사면의 평균경사도 (SL)와 음의 상관을 보였고, 중앙수위 연범람빈도 (WN)과 양의 상관을 나타내었다 (Table 1). 또한 1·2년생 종수 비율 (PAB)이 연수위변동폭 (WF), 호안 사면의 평균경사도 (SL) 및 암석노출도 (SR)과 양의 상관을 보이고 호수수질 평가지수 (LQI) 및 중앙수위 연범람빈도 (WN)와 음의 상관을 나타내었다. 이러한 결과는 연수위변동폭이 크고 수위 변동이 심하며 호안의 경사가 급하고 암석이 많은 부영

양화되지 않은 저수지 호안에서 주로 다년생의 생활사를 갖는 협엽 초본성 외래식물이 적고 1·2년생 외래식물 종수의 비율이 높다는 것을 나타낸다.

조사대상 저수지 간에 외래식물상 특성을 비교하고 외래식물과 환경과의 관계를 종합적으로 파악하기 위하여 서열법을 실시하였다 (Fig. 3). 주좌표분석 (PCoA)에 의한 식물종 배열에서 오른쪽 위에 가시박 (Si.ng), 미국외풀 (Li.ub), 아까시나무 (Ro.se), 왕포아풀 (Po.ra), 큰개불알풀 (Ve.es) 등의 습생초본, 덩굴성 초본 및 목본의 다양한 식물이 분포하였고, 오른쪽 아래에 미국개기장 (Pa.ia), 개자리 (Me.ol), 덩굴성 식물인 둥근잎유홍초 (Qu.oc) 등이 분포하였다 (Fig. 3a). 이와는 대조적으로 그래프의 왼쪽에는 기생초 (Co.in), 닭의덩굴 (Fa.um), 방가지뚱 (So.le) 등과 같은 단명 교란지 식물종이 위치하였다. 이러한 식물종 배열을 식물 종특성으로서 파악하면 1축의 오른쪽 방향으로 외래식물 출현종수 (NEX) 및 단자엽 협엽초본류 (PGR) 종수 비율이 높았고 1축의 왼쪽 방향으로 1·2년생 출현종수 비율 (PAB)이 높았다.

한편 외래식물상에 의한 조사지 배열에서는 팔당호 (Pd), 의암호 (Ua), 진양호 (Jy), 청평 (Cp) 등의 수위가 안정적으로 유지되는 저수지가 배열의 오른쪽 위에 위치하였고, 지정저수지 (Jj), 충주호 (Cj), 옥구저수지 (Og), 신송저수지 (Ss) 등의 비교적 부영양화가 진행된 농업용저수지가 오른쪽 아래에 위치하였으며, 밀양호 (My), 구천저수지 (Gc), 부안호 (Ba), 보령호 (Br) 등의 수위변동폭이 크고 호안의 경사가



**Fig. 3.** Diagram of a principal coordinates analysis (PCoA) of 35 study reservoirs based on the data matrix of alien flora in the reservoir shoreline. (a) biplot of alien species with species traits (abbreviations refer to Table 1) (As.il, *Aster pilosus*; Br.un, *Brassica juncea*; Ca.ri, *Carduus crispus*; Ch.ic, *Chenopodium ficifolium*; Co.in, *Coreopsis tinctoria*; Fa.um, *Fallopia dumetorum*; La.ca, *Lactuca scariola*; Le.pe, *Lepidium apetalum*; Li.ub, *Lindernia dubia*; Me.ol, *Medicago polymorpha*; Pa.ia, *Paspalum disticum*; Pa.ic, *Panicum dichotomiflorum*; Ph.sc, *Phytolacca esculenta*; Po.ra, *Poa pratensis*; Po.up, *Potentilla supina*; Qu.oc, *Quamoclit coccinea*; Ro.se, *Robinia pseudoacacia*; Si.ng, *Sicyos angulatus*; So.le, *Sonchus oleraceus*; Ve.es, *Veronica persica*), (b) biplot of reservoirs with environmental variables (abbreviations refer to Fig. 1 and Table 1).

급하고 암석이 많은 저수지가 왼쪽에 위치하였다 (Fig. 3b).

이상의 결과를 종합하면, 주로 연수위변동폭이 작고 사면의 경사도가 완만하며 수위가 안정적으로 유지되는 환경에서 외래식물 출현종수가 많았지만 저수지의 총출현종수가 많아 총종수에 대한 외래종수 비율은 적었으며, 단자엽 협엽초본류의 출현 비율이 증가하는 양상이 나타났다. 반면에 연수위변동폭이 크고 호안의 사면 경사가 급하여 암석이 쉽게 노출될 수 있는 환경의 저수지에서는 1·2년생 외래식물 출현 비율이 높았다. 특히 연수위변동폭이 큰 저수지는

홍수 후 만수위에 도달하고 다음해 홍수 전까지 지속적으로 수위가 하강하며 지면이 노출되는데, 이 노출된 호안에는 가을부터 다음해 봄까지 성장하는 월년생 식물이 쉽게 정착할 수 있었다.

#### 4. 외래식물 관리를 위한 제언

호안은 자연적 또는 인위적 교란이 많고 인간과 호안이 가까이 접하고 하천수 또는 동물에 의한 종자 유입으로 호안을 따라서 외래종이 산포하는 통로로서 기능하기 때문에 호안은 외래종의 침입에 취약하다고 생각된다 (Bunn and Arthington 2002, Airoidi et al. 2005). 효과적으로 외래종을 관리하기 위해서는 예방, 생육지 복원, 전용 위협평가법, 우선순위 결정, 인식제고, 전용 법제도 등을 포함한 종합적인 접근이 필요하다 (Brundu 2015). 그러나 일단 외래종이 호안에 도입되어 정착하면 이를 박멸하거나 관리하는 것은 힘들거나 불가능하다 (Lodge et al. 2006). 그러므로 이들 외래종이 호안으로 도입되는 것 자체를 방지하는 것이 매우 중요하다 (Strayer 2010). 우리나라 저수지 호안에서는 역사적으로 최근 도입된 외래식물의 비중이 높지 않은 것으로 보아서 (Fig. 2), 이들 외래식물이 도입이 가능성이 크다고 생각되므로 이들 외래식물종에 대한 모니터링과 확산방지 대책이 중요한 것으로 생각된다. 특히 생태계교란 야생생물로 지정된 단풍잎돼지풀과 물참새피는 현재 분포지가 특정 지역에 제한되어 있으므로 (Fig. 1), 이들 식물의 확산에 대한 집중적인 모니터링이 필요하다. 또한 종분포 모델을 이용하여 이들 식물에 대한 잠재적 분포지를 예측하는 것이 중요하다고 생각된다 (Cho and Lee 2015).

본 연구의 결과에 의하면 우리나라 저수지 호안에서 수위변동폭, 부영양도 및 암석노출도가 높고 토양이 척박할수록 외래식물종수 비율이 높았다. 수위변동은 침수와 노출의 주기적인 교란으로서 호안에서 외래식물의 성공적인 정착을 결정하는 중요한 요인이다 (Davis et al. 2000). 수위변동폭이 클수록 수위변동역에서 주기적으로 노출되는 지역이 증가함으로써 외래식물의 정착 기회가 증가할 것으로 기대된다. 저수지에서 수위를 관리함으로써 외래식물의 도입을 관리할 수 있을 것으로 기대되지만, 우리나라 대부분

저수지에서 수위 관리는 용수 공급에 초점을 맞추기 때문에 호안 식생 관리를 위한 수위조절에 어려움이 있을 것으로 생각된다. 저수지 호안의 외래식물종수는 저수지의 수질과 상관관계를 갖는데, 이는 수질이 유역의 토지이용에 큰 영향을 받고 (Tong and Chen 2002), 결국 유역의 개발이 진행됨에 따라서 호안으로 외래식물이 확산되기 용이하기 때문인 것으로 생각된다 (Byers 2002). 그러므로 유역과 주변의 개발이 심한 저수지인 경우 외래식물의 침입에 대한 모니터링과 초기 관리를 강화할 필요가 있다. 또한 토양 침식이 진행되어 바위와 돌이 많이 노출되고 유기물 함량이 낮은 호안에서 외래식물종수의 비율이 높았다. 이와 같이 토양 교란이 심한 장소가 외래식물에 취약함으로 외래종 관리에 토양 보전이 중요하다는 점을 재확인할 수 있었다 (Daehler 2003).

결론적으로 외래식물은 일단 정착한 후에는 관리하기가 어렵고 수위변동이 심한 저수지 호안은 외래식물의 침입에 취약한 생태계이므로 외래식물의 초기 유입 단계에서 지속적인 모니터링을 통하여 외래식물 관리방안을 마련하는 것이 중요하다. 또한 생태계의 보전과 복원을 위한 외래식물의 관리는 직접 및 간접 방제법으로 구분할 수 있는데 (González et al. 2015), 저수지 호안에서 정착한 외래식물을 제거하는 직접적인 관리보다는 자연식생으로 복원하여 생태계 자체의 외래식물에 대한 취약성을 감소시키는 간접 방제법을 이용하는 것이 중요하다고 판단된다.

## 감사의 글

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

## References

- Airoldi, L., Abbiati, M., Beck, M.W., Hawkins, S.J., Jonsson, P.R., Martin, D., Moschella, P.S., Sundelof, A., Thompson, R.C. and Aberg, P. 2005. An ecological perspective on the deployment and design of low-crested and other hard coastal defence structures. *Coastal Engineering* 52: 1073-1087.
- Brundu, G. 2015. Plant invaders in European and Mediterranean inland waters: profiles, distribution, and threats. *Hydrobiologia* 746: 61-79.
- Bunn, S.E. and Arthington, A.H. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management* 30: 492-507.
- Byers, J.E. 2002. Impact of non-indigenous species on natives enhanced by anthropogenic alteration of selection regimes. *Oikos* 97: 449-458.
- Casanova, M.T. and Brock, M.A. 2000. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities? *Plant Ecology* 147: 237-250.
- CBD. 2009. Invasive alien species. Convention on Biological Diversity. Montreal, Canada. 6-9.
- Cho, H. 2013. Characteristics of the Vegetation Structure in the Drawdown Zone of Korean Reservoirs. Master Thesis, Inha University, Incheon, Korea. (in Korean)
- Cho, H. and Cho, K.-H. 2013. Analysis of environmental factors of geomorphology, hydrology, water quality and shoreline soil in reservoirs of Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* 46: 343-359. (in Korean)
- Cho, K.-H. and Lee, S.H. 2015. Prediction of changes in the potential distribution of a waterfront alien plant, *Paspalum distichum* var. *indutum*, under climate change in the Korean Peninsula. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2: 206-215. (in Korean)
- Choi, H.-J., Lim, S.-H., Kim, K.H. and Kim, S. 2007. Distribution of giant ragweed (*Ambrosia trifida*) at northwest of Gangwon, Korea. *The Korean Journal of Weed Science* 27: 241-247. (in Korean)
- Collen, B., Whitton, F., Dyer, E.E., Baillie, J.E.M., Cumberlidge, N., Darwall, W.R.T., Pollock, N., Richman, I., Soulsby, A.-M. and Böhm, M. 2014. Global patterns of freshwater species diversity, threat and endemism. *Global Ecology and Biogeography* 23: 40-51.
- Daehler, C.C. 2003. Performance comparisons of co-occurring native and alien invasive plants: implications for conservation and restoration. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34: 183-211.
- Davis, M.A., Grime, J.P. and Thompson, K. 2000. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology* 88: 528-534.

- Gonzalez, E., Sher, A.A., Tabacchia, E., Masip, A. and Pouline, M. 2015. Restoration of riparian vegetation: A global review of implementation and evaluation approaches in the international, peer reviewed literature. *Journal of Environmental Management* 158: 85-94.
- GRIN. 2015. Germplasm Resources Information Network. <http://www.ars-grin.gov/4/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?300625/>. Assessed 01 August 2015.
- Harrell, F.E. 2015. Package 'Hmisc'. <https://cran.r-project.org/package=Hmisc>. Assessed 01 August 2015.
- Kim, J.M., Yim, Y.J. and Cheon, E.S. 2000. *The Naturalized Plants in Korea*. Science Books, Seoul, Korea. (in Korean)
- Kim, S., Lee, H. and Cha, H.-C. 2015. Disturbance of university campus ecosystems by alien plants. *Ecology and Resilient Infrastructure* 2: 080-092.
- Lee, C.N. and Ahn, H.S. 1963. *Nomina Plantarum Koreanum*. Beomhaksa, Seoul, Korea. (in Korean)
- Lee, T.B. 2003. *Coloured Flora of Korea*, Hyangmun Publisher, Seoul, Korea. (in Korean)
- Lee, Y.-M., Park, S.-H., Jung, S.-Y., Oh, S.-H. and Yang, J.-C. 2011. Study in the current status of naturalized plants in South Korea. *Korean Journal of Plant Taxonomy* 41: 87-101. (in Korean)
- Lee, Y., Kim, J.-K., Jung, S., Eum, J., Kim, C. and Kim, B. 2014. Development of a water quality index model for lakes and reservoirs. *Paddy and Water Environment* 12: 19-28.
- Lodge, D.M., Williams, S., MacIsaac, H.J., Hayes, K.R., Leung, B., Reichard, S., Mack, R.N., Moyle, P.B., Smith, M., Andow, D.A., Carlton, J.T. and McMichael, A. 2006. Biological invasions: Recommendations for U.S. policy and management. *Ecological Applications* 16: 2035-2054.
- Mori, T. 1921. *An Enumeration of Plants Hitherto Known from Corea*. The Government of Chosen, Seoul, Korea. (in Japanese)
- NIER. 2012. *Invasive Alien Species*. National Institute of Environmental Research, Incheon, 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. 2015. Package 'vegan', Community Ecology Package. <http://vegan.r-forge.r-project.org>. Assessed 01 August 2015.
- Pak, H.S., Ju, I.Y., Kang, C.G. and Choe, S.C. 2009. *Inventory and Impact Assessment of Alien Plants in DPR Korea*. Foreign Book Publishing House, Pyongyang RokSan Printing House, Pyongyang, North Korea.
- Park, S.H. 2009. *New Illustrations and Photographs of Naturalized Plants of Korea*. Ilchokak, Seoul, Korea. (in Korean)
- Planty-Tabacchi, A.M., Tabacchi, E., Naiman, R.J., Deferrari, C. and Decamps, H. 1996. Invasibility of species-rich communities in riparian zones. *Conservation Biology* 10: 598-607.
- Pyšek, P., Bacher, S., Chytrý, M., Jarošík, V., Wild, J., Celesti-Grapow, L., Gassó, N., Kenis, M., Lambdon, P.W., Nentwig, W., Pergl, J., Roques, A., Sádlo, J., Solarz, W., Vilà, M. and Hulme, P.E. 2012. Contrasting patterns in the invasions of European terrestrial and freshwater habitats by alien plants, insects and vertebrates. *Global Ecology and Biogeography* 19: 317-331.
- R Development Core Team. 2015. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. Assessed 01 August 2015.
- RAWRIS. 2012. *Rural Agricultural Water Resource Information System*. <https://rawris.ekr.or.kr/>. Assessed 01 November 2012.
- Strayer, D.L. 2010. Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology* 55: 152-174.
- Tong, S.T. and Chen, W. 2002. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management* 66: 377-393.
- Vilà, M., Espinar, J.L., Hejda, M., Hulme, P.E., Jarošík, V., Maron, J.L., Pergl, J., Schaffner, U., Sun, Y. and Pyšek, P. 2011. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters* 14: 702-708.
- WAMIS. 2012. *Water Resources Management Information System*. <http://www.wamis.go.kr/>. Assessed 01 November 2012.
- Yang, Y.H., Song, C.K., Park, S.H. and Kim, M.H. 2002. A study on the distribution of naturalized plants of genus *Paspalum* L. *Journal of Asian Agriculture and Biotechnology* 18: 37-41.



**Appendix 1.** Alien plants in the reservoir shoreline of Korea (Bg, Baekgok; Be, Beongae; Br, Boryeong; Bs, Boseonggang; Ba, Buan; Bp, Bulgap; Cc, Cheongcheon; Cp, Cheongpyeong; Cy, Chopyeong; Ch, Chuncheon; Cj, Chungju; Dc, Daechong; Dg, Daegok; Dj, Daejeong; Db, Dongbok; Du, Dongbu; Gp, Geumpung; Gc, Gucheon; Hc, Hapcheon; Hd, Heungdeok; Ih, Imha; Jj, Jijeong; Jy, Jinyang; My, Milyang; Og, Okgu; Pd, Paldang; Pr, Paro; Sy, Sayeon; Ss, Sinsong; Sa, Soyang; Ua, Uiam; Wn, Wonnam Wm, Woonmun Yc, Yeoncho Yh, Yeongcheon).

Species	Abbreviation	Growth form	Life cycle	Introduction Period*	Origin**	Reservoir						
						Bg	Be	Br	Bs	Ba	Bp	Cc
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Am.et	Herb	Perennial	1st	tA							
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Am.rt	Herb	Annual	3rd	Am	○	○	○	○		○	○
<i>Ambrosia trifida</i>	Am.ri	Herb	Annual	3rd	Am							
<i>Amorpha fruticosa</i>	Am.ru	Shrub	Perennial	2nd	Am	○	○		○	○	○	○
<i>Aster pilosus</i>	As.il	Herb	Perennial	3rd	Am							
<i>Aster subulatus</i>	As.ub	Herb	Perennial	3rd	Am							
<i>Astragalus sinicus</i>	As.in	Herb	Annual	1st	As							
<i>Bidens frondosa</i>	Bi.ro	Herb	Annual	3rd	Am	○	○	○	○	○	○	○
<i>Brassica juncea</i> var. <i>integrifolia</i>	Br.un	Herb	Annual	1st	As					○		
<i>Carduus crispus</i>	Ca.ri	Herb	Biennial	1st	Eu							
<i>Chenopodium album</i>	Ch.lz	Herb	Annual	1st	Eu							
<i>Chenopodium ficifolium</i>	Ch.ic	Herb	Annual	1st	Eu							○
<i>Chenopodium glaucum</i>	Ch.la	Herb	Annual	1st	Eu							
<i>Coryza canadensis</i>	Co.ca	Herb	Annual	1st	Am	○	○	○		○	○	○
<i>Coreopsis lanceolate</i>	Co.an	Herb	Perennial	2nd	Am							
<i>Coreopsis tinctoria</i>	Co.in	Herb	Annual	1st	Am					○		
<i>Cosmos bipinnatus</i>	Co.ip	Herb	Annual	1st	Am						○	
<i>Crassocephalum crepidioides</i>	Cr.re	Herb	Annual	3rd	Af							
<i>Dactylis glomerata</i>	Da.lo	Grass	Perennial	1st	Eu							○
<i>Erechtites hieracifolia</i>	Er.ie	Herb	Annual	3rd	Am							○
<i>Erigeron annuus</i>	Er.nn	Herb	Annual	1st	Am	○	○	○	○	○	○	○
<i>Euphorbia supina</i>	Eu.up	Herb	Annual	1st	Am	○						
<i>Fallopia dumetorum</i>	Fa.um	Vine	Annual	1st	Eu		○					
<i>Festuca arundinacea</i>	Fe.ru	Grass	Perennial	3rd	Eu							○
<i>Festuca myuros</i>	Fe.yu	Grass	Annual	2nd	Eu							○
<i>Lactuca scariola</i>	La.ca	Herb	Annual	3rd	Eu							
<i>Lepidium apetalum</i>	Le.pe	Herb	Annual	1st	Am		○			○		
<i>Lindernia dubia</i>	Li.ub	Herb	Annual	3rd	Am							
<i>Lolium perenne</i>	Lo.er	Grass	Perennial	2nd	Eu							○
<i>Medicago polymorpha</i>	Me.ol	Herb	Annual	1st	Eu							
<i>Melilotus suaveolens</i>	Me.ua	Herb	Annual	1st	As							
<i>Oenothera biennis</i>	Oe.ie	Herb	Biennial	1st	Am	○	○	○		○	○	○
<i>Panicum dichotomiflorum</i>	Pa.ic	Grass	Annual	3rd	Am							
<i>Paspalum distichum</i>	Pa.ia	Grass	Perennial	3rd	tAs							○
<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i>	Pa.is	Grass	Perennial	3rd	Am		○	○			○	○
<i>Persicaria orientalis</i>	Pe.ri	Herb	Annual	1st	As							
<i>Phytolacca americana</i>	Ph.me	Herb	Perennial	2nd	Am		○	○				○
<i>Phytolacca esculenta</i>	Ph.sc	Herb	Perennial	1st	As							
<i>Plantago lanceolate</i>	Pl.an	Herb	Perennial	2nd	Eu							
<i>Poa pratensis</i>	Po.ra	Grass	Perennial	1st	Eu							
<i>Potentilla supine</i>	Po.up	Herb	Perennial	1st	Eu		○					○
<i>Quamoclit coccinea</i>	Qu.oc	Vine	Annual	1st	tA							○
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Ro.se	Tree	Perennial	1st	Am							
<i>Rumex crispus</i>	Ru.ri	Herb	Perennial	1st	Eu		○	○	○		○	○
<i>Rumex obtusifolius</i>	Ru.bt	Herb	Perennial	2nd	Eu							
<i>Sicyos angulatus</i>	Si.ng	Vine	Annual	3rd	Am							
<i>Sonchus asper</i>	So.sp	Herb	Annual	1st	Eu							
<i>Sonchus oleraceus</i>	So.le	Herb	Annual	1st	Eu							
<i>Spergula arvensis</i>	Sp.rv	Herb	Annual	2nd	Eu							
<i>Tradescantia reflexa</i>	Tr.ef	Herb	Perennial	1st	Am							
<i>Trifolium pretense</i>	Tr.ra	Herb	Perennial	1st	Eu							
<i>Trifolium repens</i>	Tr.ep	Herb	Perennial	1st	Eu				○		○	○
<i>Veronica persica</i>	Ve.es	Herb	Annual	2nd	Eu							
<i>Vigna unguiculata</i>	Vi.ng	Vine	Annual	1st	As							
<i>Xanthium canadense</i>	Xa.an	Herb	Annual	3rd	Am							
<i>Xanthium strumarium</i>	Xa.tr	Herb	Annual	1st	As	○	○				○	○
Total number of species						9	13	8	6	8	19	12

To be continued.

Appendix 1. Continued.

Abbr.	Reservoir																												
	Cp	Cy	Ch	Cj	Dc	Dg	Dj	Db	Du	Gp	Gc	Hc	Hd	Ih	Jj	Jy	My	Og	Pd	Pr	Sy	Ss	Sa	Ua	Wn	Wm	Yc	Yh	
Am.et																													
Am.rt	o	o				o				o	o	o	o	o		o	o			o	o			o	o	o	o	o	o
Am.ri	o		o																	o	o			o	o				
Am.ru	o	o	o				o			o	o		o	o	o	o			o	o		o	o	o	o	o	o	o	o
As.il																								o	o				
As.ub																o													
As.in								o																					
Bi.ro	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Br.un	o															o				o									
Ca.ri																				o	o				o	o			
Ch.lz																													
Ch.ic		o	o				o	o		o				o		o				o	o	o		o				o	o
Ch.la																							o						
Co.ca			o		o	o	o	o	o	o		o	o			o	o			o		o	o	o		o	o	o	o
Co.an			o										o																
Co.in												o																	
Co.ip																o									o				
Cr.re	o					o						o																	
Da.lo																										o			
Er.ie								o																					
Er.nn	o	o	o		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Eu.up																													
Fa.um								o								o													
Fe.ru																				o						o			
Fe.yu	o																			o									
La.ca		o				o																							
Le.pe			o	o					o	o			o								o			o		o	o		
Li.ub																				o					o				
Lo.er																													
Me.ol				o																								o	
Me.ua				o																									
Oe.ie		o				o		o	o	o	o	o	o	o		o	o			o	o	o		o	o	o			o
Pa.ic	o									o						o				o					o	o			
Pa.la																o		o										o	
Pa.is	o							o				o			o		o						o						
Pe.ri										o																			
Ph.me		o					o	o					o			o													o
Ph.sc										o													o						
Pl.an	o																												
Po.ra	o																			o									
Po.up		o				o		o				o		o		o				o	o	o			o	o	o	o	o
Qu.oc			o												o			o											
Ro.se	o		o					o								o									o				
Ru.ri	o		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		o	o			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Ru.bt										o																			
Si.ng	o		o													o									o	o			
So.sp								o															o						
So.le										o		o																	
Sp.rv																								o					
Tr.ef																						o							
Tr.ra													o																
Tr.ep	o		o	o		o		o	o			o	o		o					o			o	o	o	o	o	o	o
Ve.es																o				o									
Vi.ng																										o			
Xa.an	o																												
Xa.tr	o	o	o	o			o	o	o				o		o	o	o					o	o		o	o		o	o
Total	18	10	14	7	4	10	8	16	10	14	7	8	14	9	5	22	6	8	21	9	11	11	12	17	17	10	13	7	

\* 1st period, 1876-1921; 2nd period, 1922-1963; 3rd period, 1964-2015.  
 \*\* Am, America; tA, tropical America; As, Asia; tAs, tropical Asia; Eu, Europe; Eu-As, Europe-Asia; Eu-Af, Europe-Africa; Af, Africa; Aus., Australia; etc., other region.