

조성 후 15년이 경과한 인공습지의 식물상과 식생구조

Flora and Vegetation Structure in a 15-Year-Old Artificial Wetland

손덕주¹ · 이호혜미² · 이은주¹ · 조강현³ · 권동민^{4*}

¹서울대학교 생명과학부, ²국립생태원 위해생물연구부, ³인하대학교 생명과학과, ⁴㈜아셈

Deokjoo Son¹, Hyohyemi Lee², Eun Ju Lee¹, Kang-Hyun Cho³ and Dongmin Kwon^{4*}

¹School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²Department of Eco-safety Research, National Institute of Ecology, Seoecheon 325-813, Korea

³Department of Biological Sciences, Inha University, Incheon 402-751, Korea

⁴Assum Ecological System Inc., Chusaro 128, Gwacheon 427-070, Korea

Received 4 March 2015, revised 11 March 2015, accepted 20 March 2015, published online 31 March 2015

ABSTRACT: This study was conducted to investigate the flora and vegetation structure at a 15-year-old artificial wetland for the water purification in Jincheon, Korea. The percentage of species number of obligate wetland plants and facultative wetland plants totaled 40%, whereas that of obligate upland plants and facultative upland plants was 57%. This result showed that the artificial wetland in the study experienced terrestrialization. The number of annual and biennial plants that are pioneer vegetation in a successional stage was lower than that of perennial herbs as a result of the long-term stabilization of vegetation. From the results of DCA (detrended correspondence analysis), water depth played an important role on the classification of vegetation structure in an old artificial wetland. Species diversity was higher in the terrestrialized plant communities such as *Iris pseudacorus* and *Aster koraiensis* than in any other wetland communities. Plant communities could be classified according to the wetland indices; obligate upland for *A. koraiensis* community, facultative wetlands for *Carex dispalata* var. *dispalata* and *I. pseudacorus* community, and obligate wetlands for *Nymphoides peltata*, *Nymphaea tetragona*, *Phragmites communis*, *Potamogeton maackianus*, and *Typha angustifolia* community. In conclusion, this result suggests that wetland vegetation should be maintained against terrestrialization through the proper management of sedimentation and hydrological regime in an artificial wetland.

KEYWORDS: Artificial wetland, Terrestrialization, Vegetation, Wetland index

요 약: 본 연구에서는 충북 진천에 위치한 총 면적 3,000 m² 인 수질정화용 인공습지에서 조성 15년 후의 식물상과 식생구조를 파악하였다. 이곳 인공습지에서는 총 93종의 식물종이 출현하였고, 절대습지식물과 임의습지식물의 비율이 40%, 절대육상식물과 임의육상식물의 비율은 57%로 나타나 천이에 의하여 인공습지가 점차 육상화되었음을 확인할 수 있었다. 천이가 진행됨에 따라 천이 선구자 종인 1, 2년생 식물보다 다년생 식물의 종수 비율이 높아졌다. DCA (detrended correspondence analysis) 결과, 습지 군집 구조를 결정하는 중요한 환경요인은 수심이였다. 군집별 종다양성은 노랑꽃창포 군집, 벌개미취 군집 등의 육상화된 군집에서 높았다. 식물 군집별 습지지수는 벌개미취 군집은 육상, 샷사초 및 노랑꽃창포 군집은 임의습지, 노랑어리연꽃, 수련, 갈대, 새우가래 및 애기부들 군집은 절대습지로 나타났다. 결론적으로 인공습지에서는 천이에 의하여 식물 군집의 육상화가 진행되므로 퇴적과 수문 체계를 지속적으로 관리하여 습지식생을 유지할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

핵심어: 인공습지, 육상화, 식생, 습지지수

*Corresponding author: derealmadrid@naver.com

© 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

습지는 육상생태계와 수생태계의 전이지역으로 영구적 또는 계절적으로 습윤한 상태를 유지하며 늪, 소택지, 습한 목초지, 범람원 등을 포함한다 (Tiner 1991, Song and Park 2013). 습지는 사회문화 및 경제적 가치를 제공할 뿐 아니라, 영양물질 운반, 물질순환, 수질정화, 동식물 서식처 제공, 퇴적물 침적 및 저장, 홍수 방지 등 다양한 생태적 서비스를 제공한다 (Woodward and Wui 2001, Hoeltje and Cole 2007). 특히 인공습지는 습지 식물이 서식하지 않았던 장소에 인위적으로 식물을 식재하고 수문학적 조건을 갖추어 수질 정화 기능을 수행할 수 있게 조성한 곳이다 (Kim et al. 2011). 인공습지에서 수질정화는 수생식물과 미생물 그리고 토양 침적물의 상호작용 및 생지화학적 작용에 의해 이루어진다 (Gersberg et al. 1986).

습지 식물은 식물의 생장 기간 중 적어도 한 시기는 식물 전체나 일부가 물속에서 성장하는 식물이며 (Cronk and Fennessy 2001), 주기적으로 토양 내 산소가 부족한 혐기성 환경을 접한다 (Tiner 1991). 습지 식물은 습지의 수질정화와 물질순환 기작에 영향을 미치며 광합성을 통해 유기물을 생산하는 1차 생산자 역할을 하여 습지 생태계에 유기물을 공급하기도 한다 (Lee and Sung 2013). 인공습지에서의 대형 수생식물은 줄기에서 뿌리로 산소를 이동시켜 습지 토양의 혐기성 환경을 호기성 환경으로 바꾸어 미생물의 물질 분해 활동이 활발하게 이루어질 수 있게 돕는다 (Gersberg et al. 1986).

수문 체계는 시공간적으로 습지 식물의 다양성을 결정하는 중요 인자이며 식물 군집의 종조성, 수도 및 분포에 영향을 끼친다 (Raulings et al. 2010). 습지의 수계를 구성하는 요소는 수심, 강우 기간, 강우 빈도, 건기와 우기 변동 주기 등이 있다 (Casanova and Brock 2000). 특히, 습지의 수심은 습지 식물의 종조성과 식물 군집 형성에 영향을 주는 주요 요인이다 (Valk et al. 1994).

습지에서는 천이가 진행됨에 따라서 유기물과 토양 침적물의 퇴적, 지하수위 감소 등으로 습지 식물 대신 육상 식물이 점차 정착하고 번식하는 것으로 알려져 있다 (Cronk and Fennessy 2001). Weller (1994)

에 의하면, 습지의 개방 수면에서 식물 플랑크톤이 주요 생산자 역할을 하다가 침수식물이 정착하게 되고, 후에 정수식물이 우점한다. 습지 토양의 혐기성 환경에서 이탄과 유기물이 점차 쌓이게 되어 수위가 감소하면 육상식물이 정착하여 천이를 겪게 된다. 이러한 습지 식물의 종류나 종수의 변화는 습지가 교란을 거친 후에 점차 안정된 생태계, 즉 극상으로 천이하는 것을 나타낸다 (Cronk and Fennessy 2001).

습지 식물의 종 구성이나 분포가 수리적 조건에 영향을 받기 때문에 (Raulings et al. 2010) 습지 조성에도 도입된 식물종, 초기 정착종과 외래종에 대한 변화 및 생활사를 연구하는 것은 인공습지의 구조와 기능의 변화를 파악하기 위해 중요한 일이다 (Kim and Myung 2008). 또한 국내 연구에서 인공습지 조성 단시간 (3-4년) 경과 후의 식물상 연구는 수행되었으나 (Kim and Myung 2008, Kim et al. 2011) 장시간 (10년 이상) 경과 후의 식물상 모니터링은 거의 수행되지 않았다. 인공습지 조성 직후는 인위적인 수생식물 도입과 공사에 의한 교란이 발생했기 때문에 초기 식재된 습지 식물의 정착 양상과 변화를 모니터링 할 필요가 있다.

본 연구에서는 수질정화의 목적으로 1998년에 조성한 충청북도 진천읍에 위치한 인공습지에서 15년 후에 식물상, 식물 군집 구조 및 식생분포를 파악하여, 인공습지에서 장기간의 천이에 따른 식생의 변화를 추적하고 인공습지의 지속가능한 관리를 위한 방안을 제언하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상지

충청북도 진천군 진천읍 송두리 432번지에 위치한 (주)아썸 진천 공장 내 Research Eco Park 인공습지 (36°52'33.02"N, 127°27'9.48"E)는 1998년도에 조성되었다. 조사 대상 습지는 가로 약 40 m, 세로 약 70 m로 전체 면적은 약 3,000 m²이며 쿡팔형 습지, 생태수로, 생태호수 등 다양한 소규모 습지로 구성되어 있다 (Fig. 1). 이 습지는 습지식물을 이용한 수질정화 기술의 현장 적용을 위한 시험지 (test bed)로 조성되어 운영되어 왔다.

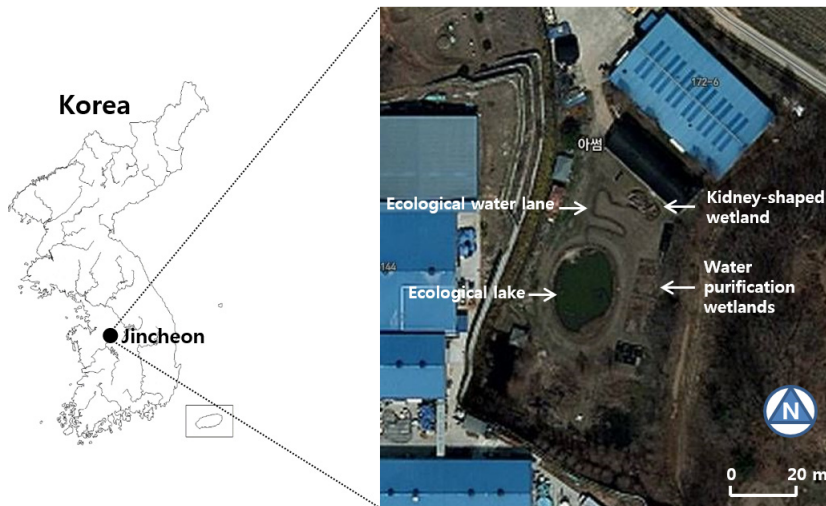


Fig. 1. Map and aerial photograph showing the study site.

2.2 연구 방법

식물상 조사는 2013년 5월에 현지에서 직접 답사하며 출현하는 식물종을 동정하여 식물종 목록을 작성하였으며 현장에서 동정이 어려운 종은 식물을 채집하여 실험실에서 재동정하였다. 식물종의 동정, 명명 및 분류는 원색 대한식물도감 (Lee 2003), 국가표준식물목록 (KFS 2014), 세밀화와 사진으로 보는 한국의 귀화식물 (Park 2009)을 참조하였다. 출현 식물종의 생활형 및 습생도는 Choung et al. (2012)을 따라 정리하였다.

본 연구대상 습지의 식생분포는 조사 대상지역내에 우점종을 중심으로 항공 영상 지도 (<http://map.daum.net/>)에 작성하였다. 항공사진에 식생의 경계를 표시하고 현장에서 식생을 직접 관찰하여 식생의 경계와 종류를 구분하였다. 식생도에 표시하는 군집의 최소 면적은 5 m² 이상을 기본으로 하되 필요하다고 판단되면 이보다 작은 군집도 표시하였다.

인공습지의 식물 군집 구조를 파악하고 수심과의 관계를 조사하기 위해 방형구 조사를 실시하였다. 갈대 군집, 노랑어리연꽃 군집 등 각 식물 군집에서 방형구를 설치하여 식물 피도를 조사하였으며, 방형구 크기는 0.5 m x 0.5 m이었다. 수심은 수면을 0 cm로 기준으로 하여 접자를 이용하여 측정하였으며 물이 있는 곳은 + 수심으로, 물이 없는 곳은 - 수심으로 계산하였다. 식생구조와 수심과의 관계분석은 R (3.0.1)

(R Development Core Team 2013)을 이용하여 detrended correspondence analysis (DCA)를 수행하였다 (Hill and Gauch 1980).

종다양도 (species diversity)는 종수를 나타내는 종풍부도 (species richness)와 각 종에 속하는 개체수가 얼마나 고르게 분포하는가를 나타내는 균등도 (species evenness)를 동시에 나타내는 척도이다. 본 연구에서는 종다양도지수로서 Shannon diversity index (H')와 종균등도지수로서 Pielou's evenness index (E')를 산출하였다 (Bulla 1994).

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i) \quad (p_i: \text{종 } i \text{의 상대적 중요도}) \quad (1)$$

$$E' = \frac{H'}{\ln S} = \frac{-\sum p_i \ln(p_i)}{\ln S} \quad (S: \text{군집에서 총 출현종수}) \quad (2)$$

또한 습지가 본래의 기능을 제대로 수행하는지 각 식물 군집에서 습지지수 (community type wetland index, CTWI)를 구하였다 (Coles-Ritchie et al, 2007).

$$CTWI = \sum_{i=1}^n (p_i * WIV_i) \quad (3)$$

(WIV_i : 식물종 i 의 습지지표값 (wetland indicator value))

습지지표값은 절대육상지역의 값이 1, 임의육상지

Table 1. Number of plant species according to their life history, wetland indicator status, and origin at a 15-year-old artificial wetland.

Criterion	Category	No. of species	Percentage (%)
Life history	Annual	17	18
	Biennial	18	19
	Perennial	58	63
	Total	93	100
Wetland indicator	Obligate wetland plant	19	20
	Facultative wetland plant	19	20
	Facultative plant	3	3
	Facultative upland plant	5	6
	Obligate upland plant	47	51
	Total	93	100
Origin	Native plant	78	84
	Exotic plant	15	16
	Total	93	100

역이 25, 양생지역이 50, 임의습지가 75, 절대습지가 100을 나타내며 각 군집의 식생종의 중요도와 습지 지표값을 곱한 후에 총 합을 구하여 습지지수를 구하였다. 군집의 습지지수 (CTWI)가 100에 가까운 값일수록 습지로 유지되고 있으며, 1에 가까울수록 육상화가 이루어졌음을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 식물상 변화

인공습지 조성 15년 후인 2013년에 조사된 식물상은 39과 77속 93종이었다. 출현한 식물은 쇠무릎, 창포, 박주가리, 꽃마리 등이며, 출현종 중 벼과가 16종 (18%)으로 가장 높은 비율을 차지하였고 국화과 13종 (14%), 사초과 9종 (10%) 순이었다. 출현종 93종 중에 초본은 85종이며 목본은 8종으로 나타났다. 1998년도 조성 당시에 식재한 식물은 갈대, 애기부들, 노랑꽃창포, 꽃창포, 달뿌리풀, 줄, 세모고랭이, 큰고랭이가 있으며 (Kwon 1999), 이 중에서 꽃창포와 세모고랭이는 2013년도 조사에서는 기록되지 않았다.

출현종을 생활사별로 분류해보면 1년생이 17종 (18%), 2년생이 18종 (19%), 다년생이 58종 (63%)

로 다년생이 1, 2년생 초본의 비율보다 높게 나타났다 (Table 1). 습지 천이의 초기에는 선구종들인 1, 2년생 식물이 우점하다가, 질소영양분 축적 등의 환경 변화로 인해 점차 안정된 다년생 습지식생 유형으로 천이가 진행됨을 알 수 있다 (Kim et al. 2011).

출현종 93종 중에 외래식물은 가축나무, 개자리, 달맞이꽃, 들묵새, 망초, 미국쑥부쟁이, 서양민들레 등 총 15종 (16%)이 발견되었다 (Table 1). 이 중에서 미국쑥부쟁이는 환경부가 지정한 생태계교란 야생식물이며 미국가막사리, 유럽점나도나물, 큰김의털은 귀화도가 4등급 이상이면서 빠르게 전국으로 확산될 우려가 높은 외래식물로 지속적인 관리와 모니터링이 필요하다 (Lee et al. 2011). 외래식물 분포 및 확산의 경로는 다양한데 아썸 인공습지에는 도로, 경작지, 차량 통행, 유동 인구 등에 의해 외래식물이 정착하였을 것으로 사료된다. 외래식물의 정착 및 확산이 인공습지의 자생식물과 주변식생에 영향을 미칠 수 있으므로 외래식물의 잠재적인 확산을 방지해야 한다. 외래식물의 감소를 위해서는 안정한 습지식생의 유지가 중요하며 (Kim and Myung 2008), 수생 및 습지식물의 다양성을 향상시킬 수 있도록 적절한 수위와 토양수분을 유지시켜주는 것이 중요하다.

Choung et al. (2012)에 따라 습지출현빈도에 따른 식물상 분류는 Table 1과 같다. 자연상태에서 거의 항상 습지에서만 출현하는 절대습지식물 (obligate

wetland plant)은 19종 (20%)이었으며 대부분 습지에서 출현하나 낮은 빈도로 육상에서도 출현하는 임의습지식물 (facultative wetland plant)은 19종 (20%)으로 조사되었다. 습지나 육상에서 비슷한 빈도로 출현하는 양생식물 (facultative plant) 3종 (3%)이었고 대부분 육상에서 출현하나 습지에서도 낮은 빈도로 출현하는 임의육상식물 (facultative upland plant)은 5종 (6%)이었다. 자연상태에서 거의 항상 육상에서만 출현하고 습지에서는 거의 출현하지 않는 절대육상식물 (obligate upland plant)은 47종 (51%)이었다. 절대습지식물과 임의습지식물을 합한 38종 (40%)보다 절대육상식물이 47종 (51%)으로 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 인공습지는 조성 후 시간 경과에 따라 습지에 주로 출현하는 수생 및 습지식물보다는 자연 천이 및 육상화로 육상식물의 비율이 높다는 것을 알 수 있었다. 하지만 인공습지 조성 15년이 지난 후에도 습지식물이 40% 정도 존재하므로 여전히 습지로서의 수생 및 습지 식물 서식처로서의 기능을 한다고 할 수 있다. 하지만 천이가 진행될 때, 수심이 얕아지기 전에는 수위변동과 수질이 식물 군집의 종조성과 구조를 결정하지만, 수심이 이미 얕아진 후에는 토양기질의 조건이 식물 군집의 종을 결정하는 경향이 있으므로 (Kim et al. 2010), 습지의 기능을 지

속적으로 유지하기 위해서는 수심 관리와 토양 수분 보유능을 유지하여 다양한 수생식물 및 습지식물이 서식할 수 있도록 해야 한다.

3.2 식생 분포 및 구조

습지 내에서 목본으로는 메타세콰이아와 키버들 군집이 나타났고 초본으로는 별개미취, 삿갓사초, 노랑꽃창포, 노랑어리연꽃, 수련, 갈대, 새우가래, 애기부들 군집이 형성되어 있다 (Fig. 2). 정수식물인 갈대, 노랑꽃창포, 애기부들 등은 습지 내 물과 만나는 경계면에서 군집이 나타났고 수련, 노랑어리연꽃과 같은 부엽식물은 생태호수 내 수심이 깊은 곳에서 침수식물인 새우가래 군집과 함께 나타났다.

각 군집에서 별개미취 군집의 우점종 중요도는 0.55, 삿갓사초 군집에서 우점종 중요도는 0.70, 노랑꽃창포 군집에서 우점종 중요도는 0.52로 나타났다. 노랑어리연꽃 군집에서 우점종 중요도는 0.97, 수련 군집에서 우점종 중요도는 0.93, 갈대 군집에서 우점종 중요도는 0.95이었으며, 새우가래 군집에서 우점종 중요도는 0.71, 애기부들 군집에서 애기부들 중요도는 0.60으로 나타났다 (Table 2).

각 군집의 Shannon 다양도지수는 0.13부터 1.67까지 나타났으며 노랑꽃창포 군집에서 가장 높았고,

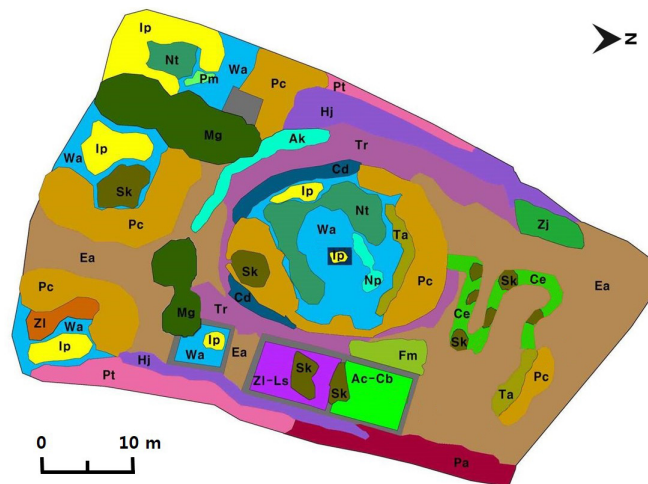


Fig. 2. Vegetation map of a 15-year-old artificial wetland of the study site (Ac-Cb: *Acorus calamus* - *Carex breviculmis*, Ak: *Aster koraiensis*, Cd: *Carex dispalata* var. *dispalata*, Ce: *Calamagrostis epigeios*, Ea: *Erigeron annuus*, Fm: *Festuca myuros*, HJ: *Humulus japonicus*, Ip: *Iris pseudacorus*, Mg: *Metasequoia glyptostroboides*, Np: *Nymphoides peltata*, Nt: *Nymphaea tetragona*, Pa: *Phalaris arundinacea*, Pc: *Phragmites communis*, Pm: *Potamogeton maackianus*, Pt: *Persicaria thunbergii*, Sk: *Salix koriyanagi* for. *koriyanagi*, Ta: *Typha angustifolia*, Tr: *Trifolium repens*, Wa: Open Water, Zj: *Zoysia japonica*, Zl: *Zizania latifolia*, Zl-Ls: *Zizania latifolia* - *Lythrum salicaria*).

Table 2. Importance value of plant species at the plant communities of a 15-year-old artificial wetland (importance value was calculated from relative coverage and relative frequency).

Plant species	Community							
	Ak	Cd	Ip	Np	Nt	Pc	Pm	Ta
<i>Aster koraiensis</i> (Ak)	0.55							
<i>Equisetum arvense</i>	0.09							
<i>Trifolium repens</i>	0.08							
<i>Erigeron annuus</i>	0.07							
<i>Festuca arundinacea</i>	0.07							
<i>Poa pratensis</i>	0.05							
<i>Artemisia dubia</i>	0.05		0.02					
<i>Phragmites communis</i> (Pc)	0.02		0.03		0.03	0.95		0.05
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	0.01		0.02					
<i>Humulus japonicus</i>	0.01		0.02					
<i>Carex dispalata</i> var. <i>dispalata</i> (Cd)		0.70						
<i>Penthorum chinense</i>		0.08						
<i>Persicaria sagittata</i>		0.05						
<i>Lythrum anceps</i>		0.03	0.09					
<i>Mosla dianthera</i>		0.03						
<i>Acorus calamus</i>		0.03						
<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i>		0.03						
<i>Glycine soja</i>		0.02	0.06					
<i>Aeschynomene indica</i>		0.02						
<i>Iris pseudacorus</i> (Ip)			0.52					
<i>Bidens frondosa</i>			0.09			0.05		
<i>Scirpus radicans</i>			0.09					
<i>Persicaria thunbergii</i>			0.07					
<i>Nymphoides peltata</i> (Np)				0.97	0.01			0.27
<i>Leersia japonica</i>				0.03				0.03
<i>Nymphaea tetragona</i> (Nt)					0.93			
<i>Potamogeton maackianus</i> (Pm)					0.02		0.71	
<i>Hydrocharis dubia</i>					0.01		0.29	
<i>Typha angustifolia</i> (Ta)								0.60
<i>Zizania latifolia</i>								0.05

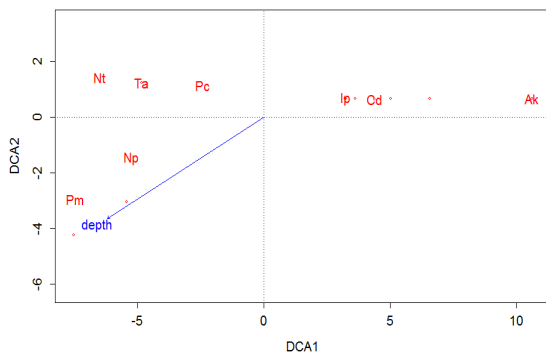
균등도지수는 0.19에서 0.86까지 나타났으며 새우가래 군집에서 가장 높았다 (Table 3). 전체적으로 군집의 다양도지수가 낮은 편이긴 하지만, 출현종 수가 많고 각 종의 피도가 비교적 고른 군집에서는 다양도지수가 높았음을 알 수 있었다. 습지에서 일반적으로 미소환경이 다양하게 유지된다면 각 군집에 서식할 수 있는 식물종수가 증가하여 다양도지수가 높아질 것이다.

우점종의 키는 갈대의 평균 키가 200 cm로 가장 컸으며, 별개미취의 평균 키가 20 cm로 가장 작았다 (Table 3). 또한 별개미취 군집과 삿갓사초 군집의 평균 수심은 0 cm 이었으며, 노랑어리연꽃 군집의 평균 수심이 120 cm, 수련 군집의 평균 수심이 93 cm로 나타났다 (Table 3). 각 군집마다 생육지의 평균 수심이 다양하며 수심에 따라 출현종이 달라졌다.

식생자료를 이용한 다변량분석인 DCA 결과를 살

Table 3. Species diversity, height of dominant plants, and water depth at the plant communities of a 15-year-old artificial wetland.

Community (Abbr.)	No. of species	Shannon Diversity Index	Evenness Index	Height of dominant species (cm)	Water depth (cm)
<i>Aster koraiensis</i> (Ak)	10	1.61	0.70	20	0
<i>Carex dispalata</i> var. <i>dispalata</i> (Cd)	9	1.19	0.54	50	0
<i>Iris pseudacorus</i> (Ip)	10	1.67	0.72	110	3
<i>Nymphoides peltata</i> (Np)	2	0.13	0.19	120	120
<i>Nymphaea tetragona</i> (Nt)	5	0.34	0.21	90	93
<i>Phragmites communis</i> (Pc)	2	0.20	0.29	200	1
<i>Potamogeton maackianus</i> (Pm)	2	0.60	0.86	80	80
<i>Typha angustifolia</i> (Ta)	5	1.06	0.66	190	82

**Fig. 3.** Ordination biplot of DCA (detrended correspondence analysis) based on the plant communities at the study site. The angle and length of the radiating arrow indicate the direction and the strength of relationships of the water depth with the ordination scores. The circles represent the plant species and the each abbreviation indicates the species for which coverage is over 10%. Abbreviations are in Fig. 2.

해보면 (Fig. 3), 수심에 가장 영향을 받는 식물 종은 새우가래와 노랑어리연꽃으로 나타났다 ($p < 0.01$). 새우가래는 평균 수심 80 cm 이상인 곳에서, 노랑어리연꽃은 평균 수심 120 cm인 곳에서 서식하고 있었다. 결과적으로 습지에서 수심이 식생의 종류를 결정하는 가장 중요한 요인중의 하나인 것으로 파악되었다.

각 식물 군집의 습지 유지 상태를 알아보기 위하여 군집별 습지지수 (CTWI) (Coles-Ritchie et al. 2007)를 구하였다 (Table 4). 별개미취 군집의 습지지수는 18로서 절대육상으로 판명되었고, 삿갓사초 군집의 습지지수는 74, 노랑꽃창포 군집의 습지지수는 83으

Table 4. Evaluation of wetland status using wetland indicator indices at the plant communities of a 15-year-old artificial wetland.

Community (Abbr.)	Wetland indicator	
	Index*	Status
<i>Nymphoides peltata</i> (Np)	100	Obligate wetland
<i>Nymphaea tetragona</i> (Nt)	100	Obligate wetland
<i>Potamogeton maackianus</i> (Pm)	100	Obligate wetland
<i>Typha angustifolia</i> (Ta)	100	Obligate wetland
<i>Phragmites communis</i> (Pc)	99	Obligate wetland
<i>Iris pseudacorus</i> (Ip)	83	Facultative wetland
<i>Carex dispalata</i> var. <i>dispalata</i> (Cd)	74	Facultative wetland
<i>Aster koraiensis</i> (Ak)	18	Obligate upland

*Wetland indicator index is in the range of 1 (upland) – 100 (wetland).

로 두 곳은 임의습지로 나타났다. 노랑어리연꽃 군집, 수련 군집, 갈대 군집, 새우가래 군집, 애기부들 군집은 모두 절대습지임을 알 수 있었다.

습지에서 천이가 진행됨에 따라서 일반적으로 수심이 얕아지는데, 이러한 수심의 변화에 따라서 식물 종다양도가 변할 것으로 예상된다. 본 연구의 결과에 따르면 통계적으로 유의하지는 않지만 수심이 얕아짐에 따라서 종수와 종다양성이 증가하는 경향이있

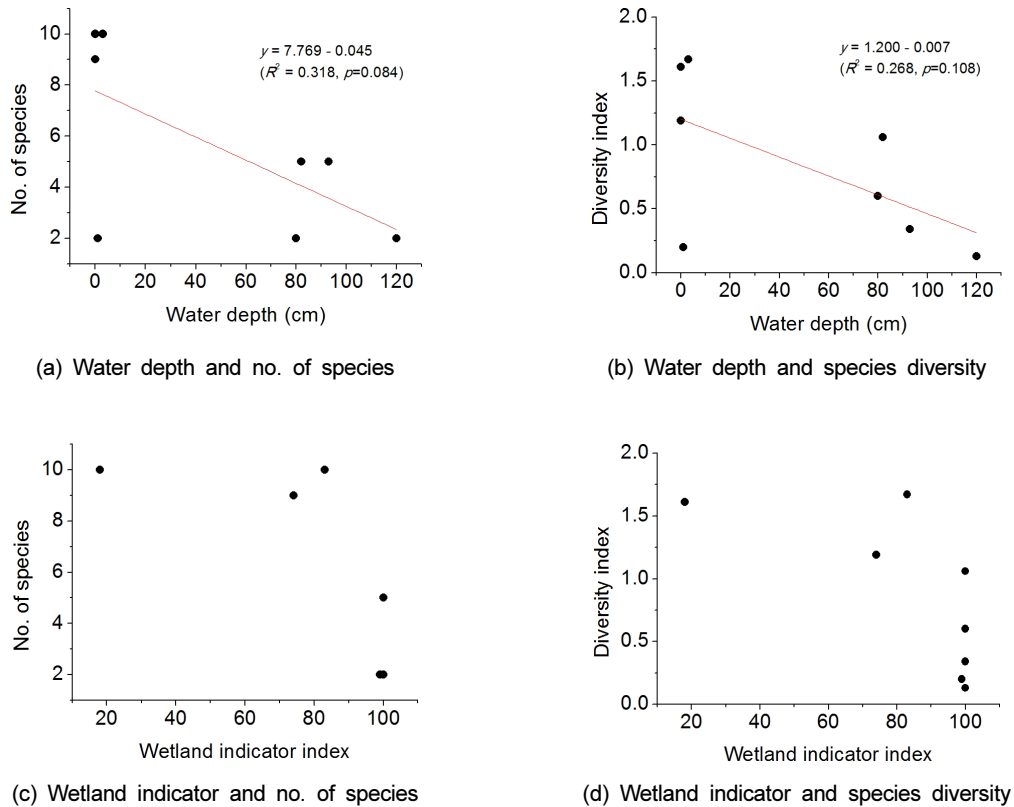


Fig 4. Relationships between water depth or wetland indicator index and species diversity at the plant communities of a 15-year-old artificial wetland.

다 (Fig. 4). 또한 절대습지 식생에서는 종수와 종다양성이 낮거나 높은 다양한 범위를 나타내지만 육상식생인 경우는 대체로 종다양성이 높은 것으로 나타났다 (Fig. 4). 수심이 깊은 곳에서는 식물이 단종으로서 조각상 (patchy)을 형성하므로 종다양성이 낮은 경우가 흔하지만, 대기에 노출된 육상에서는 물 환경보다는 토양의 다양한 변이와 지형변화에 의하여 종다양성이 높은 것으로 생각된다.

4. 결론 및 제언

충청북도 진천에 위치한 아썸 인공습지의 조성 15년후의 식물상과 식생구조를 알아보았다. 2013년에 이루어진 조사에서 인공습지에 서식하고 있는 식물은 총 93종으로 기록하였으며, 이중에서 절대습지·임의습지식물의 비율 (40%)보다 절대육상·임의육상식물 비율 (57%)이 약 17% 더 높은 것으로 보아

이미 육상화가 많이 진행되었음을 알 수 있었다. 외래식물 비율은 16%로 높은 편은 아니지만, 생태계교란종으로 지정된 미국쭈뚱쟁이가 서식하고 있어 관리가 필요하다. 군집별 습지지수를 구한 결과, 벌개미취 군집은 육상, 삿갓사초, 노랑꽃창포 군집은 임의습지, 노랑어리연꽃, 수련, 갈대, 새우가래, 애기부들 군집은 절대습지로 나타났다.

인공습지 조성 후 15년이 지나 습지 내 수심 감소와 토양 퇴적물 증가에 따라 수생 및 습지식물의 비율이 줄어들었음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 출현 식물상과 식생 피도, 수심 중심으로 분석을 하였으나 추후 습지의 식생 군락의 면적변화 및 천이의 원인 등을 면밀히 연구하기 위해서는 토양수분, 토성, 유기물 함량, 수심변동 등 다양한 항목에 대한 분석도 함께 수행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과 15년간의 인공습지에서의 육역화가 빠르게 진행되어 수생 및 습지식물이 감소하였다. 식물 및 저서생물, 어류, 조류 등의 생물 서식처를 유

지하기 위해서는 수위를 중점적으로 관리하여야 한다. 주기적인 퇴적물 제거, 수문 관리를 통해 적절한 수위가 유지될 수 있다면 습지 환경에 맞는 습지 식물, 토양의 생지화학적 조건들이 적절히 수반될 수 있고 (Mitsch et al. 2005) 저서 생물, 어류 등이 정착하여 인공습지가 생물 서식처로서의 기능을 다할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 적정 수위 유지는 육상 식물의 정착, 확산을 방해하여 습지 천이를 지연시킬 수 있다.

인공습지 조성시에는 수변부의 수심, 경사도, 기저 등의 환경 구배가 완만하게 변화도록 계획하여야 한다. 미소지형이 완만하게 변화할수록 이에 적응할 수 있는 다양한 수생·습지식물을 선별하여 식재할 수 있으며 식물종 다양성도 높아질 수 있다. 인공습지에서 식생과 지형이 다양해지면 다른 동물들의 서식처, 번식처, 휴식처로서의 기능도 향상될 수 있으므로 수변부가 급변하지 않게 완경사로 조성하도록 한다.

References

- Bulla, L. 1994. An index of evenness and its associated diversity measure. *Oikos* 70: 167-171.
- 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.
- Choung, Y.S., Lee, Y.T., Cho, K.H., Joo, K.Y., Min, B.M., Hyun, J.O., and Lee, K.S. 2012. Categorizing Vascular Plant Species Occurring in Wetland Ecosystems of the Korean Peninsula. Center for Aquatic Ecosystem Restoration, Chuncheon, Korea. (in Korean)
- Coles-Ritchie, M.C., Roberts, D.W., Kershner, J.L., and Henderson, R.C. 2007. Use of a wetland index to evaluate changes in riparian vegetation after livestock exclusion. *Journal of American Water Resources Association* 43: 731-743.
- Cronk, J.K. and Fennessy, M.S. 2001. *Wetland Plants: Biology and Ecology*. CRC Press, Boca Raton, FL., USA.
- Gersberg, R., Elkins, B., Lyon, S., and Goldman, C. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Water Research* 20: 363-368.
- Hill, M.O. and Gauch, Jr, H.G. 1980. Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. *Vegetatio* 42: 47-58.
- Hoeltje, S.M. and Cole, C.A. 2007. Losing function through wetland mitigation in Central Pennsylvania, USA. *Environmental Management* 39: 385-402.
- Kim, C.H., Choi, Y.E., Kim, J.W., Myung, H., and Lee, S.I. 2011. 3-year change of vegetation and life form at the man-made wetland in Sinpyecheon City. *Korean Journal of Environment and Ecology* 25: 57-64. (in Korean)
- Kim, C.H., Kang, E.O., Choi, Y.E., Park, B.M., and Baek, J.S. 2011. Flora and life form of 4 man-made wetlands in Gunsan City. *Journal of the Environmental Sciences* 20: 1125-1140. (in Korean)
- Kim, H.Y., Kim, M.H., Choi, H.K., Lyang, D.Y., Shin E.J., Lee, K.S., and Yi, H.B. 2010. Changes of vegetation structure according to the hydro-seral stages in the east coastal lagoons, Korea. *Journal of Wetlands Research* 12: 129-144. (in Korean)
- Kim, C.H. and Myung, H. 2008. A 4-year follow-up survey of flora at the human-made wetlands along Boknaecheon of Juam Lake. *Journal of the Korean Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology* 11: 25-37. (in Korean)
- KFS. 2014. Korean Plant Names Index. Korea Forest Service, Korea. <http://www.nature.go.kr/>. Assessed 30 August 2014. (in Korean)
- Kwon, O.B. 1999. A Study on the Improvement of Water Quality and Restoration of Ecosystem in the Lakes and Marshes with Vegetated Artificial Floating Island. Master Dissertation, Hanyang University, Seoul, Korea. (in Korean)
- Lee, T.B. 2003. *Colored Flora of Korea*. Hyangmoon Publishing Co. Ltd., 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, G.J. and Sung, K.J. 2013. Effects of floating and submerged plants on important water environments of wetland. *Journal of Wetlands Research* 15: 289-300. (in Korean)
- Mitsch, W.J., Zhang, L., Anderson, C.J., Altor, A.E., and Hernández, M.E. 2005. Creating riverine wetlands: Ecological succession, nutrient retention, and pulsing effects. *Ecological Engineering* 25: 510-527.
- Park, S.H. 2009. *New Illustrations and Photographs of Naturalized Plants of Korea*. Ilchokak Publishing Co., Ltd., Seoul, Korea. (in Korean)
- R Development Core Team. 2013. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project>. Assessed 30 August 2014.
- Raulings, E.J., Morris, K.A.Y., Roache, M.C., and Boon, P.I. 2010. The importance of water regimes operating at small spatial scales for the diversity and structure of

- wetland vegetation. *Freshwater Biology* 55: 701-715.
- Song, I.G. and Park, S.J. 2013. Flora of Gonggeom-ji Wetlands Protection Area (Sangju-si, Gyeongsangbuk-do). *Journal of Wetlands Research* 15: 203-214. (in Korean)
- Tiner, R.W. 1991. The concept of a hydrophyte for wetland identification. *BioScience* 41: 236-247.
- Valk, A.G. v. d., Squires, L., and Welling, C.H. 1994. Assessing the impacts of an increase in water level on wetland vegetation. *Ecological Applications* 4: 525-534.
- Weller, M.W. 1994. *Freshwater Marshes*. University of Minnesota Press, Minneapolis, USA.
- Woodward, R.T. and Wui, Y.S. 2001. The economic value of wetland services: a meta-analysis. *Ecological Economics* 37: 257-270.