

생태복원 습지의 조성 후 식생구조 변화*

김나영¹⁾ · 송영근²⁾ · 이근호³⁾

¹⁾ 서울대학교 대학원 협동과정 조경학 · ²⁾ 서울대학교 환경대학원 환경조경학과 · ³⁾ 참생태연구소

Change in the Wetland Vegetation Structure after the Ecological Restoration*

Kim, Na-Yeong¹⁾ · Song, Young-Keun²⁾ and Lee, Kun-Ho³⁾

¹⁾ Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies,
Seoul National University,

²⁾ Dept. of Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,

³⁾ Chamecology Laboratory.

ABSTRACT

We studied the change of wetland vegetation structure to understand ecological restoration process of wetlands through the field survey of ecological restoration projects in Incheon, Iksan and Busan. We compared the vegetation plan at the time of planted with the results of the vegetation monitoring in 2018, and analyzed the changes in wetland vegetation structure. Based on results, we attempted to understand the restoration process of those wetlands and discuss the management measures for sustainable wetland restoration. As a result, in the Incheon Yeonhee restoration wetland, the number of plant species was increased, from 18 species in 2016 to 29 in 2018. The dominant species, *Myriophyllum verticillatum*, covered the wetland most and its occupied area was increased. On the other hand, the distribution area of the planted emergent hydrophytes was reduced. The area of open water decreased from 71.7% in 2016 to 48.8% in 2018. In Busan Igidae restoration wetland, the number of plant spe-

* 본 연구는 환경부의 환경정책기반공공기술개발사업(RE201805204)에 의해 지원받아 수행된 것임.

First author : Kim, Na-Yeong, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture,
Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,
Tel : +82-2-880-8860, E-mail : nynayeong@snu.ac.kr

Corresponding author : Song, Young-Keun, Dept. of Landscape Architecture,
Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University,
Tel : +82-2-880-8860, E-mail : songyoung@snu.ac.kr

Received : 19 November, 2018. **Revised** : 12 December, 2018. **Accepted** : 12 December, 2018.

cies was increased, from 6 species in 2014 to 31 in 2018. The dominant species was *Myriophyllum verticillatum* and its occupied area was increased. The area of floating plant communities that planned has decreased. The open water area decreased from 83.9% in 2014 to 31.8% in 2018. In Iksan Sorasan restoration wetland, the number of plant species was increased, from 13 species in 2016 to 36 in 2018. The dominant species was *Phragmites communis* Trin. and its occupied area was increased. The other planted species showed a tendency to be decreased by *Phragmites communis* Trin. and its terrestrialization. The open water area decreased from 86.6% in 2016 to 6.7% in 2018. These results suggest that wetlands should be managed by considering the change of vegetation structure and open water areas based on the following succession process, because it affects the habitat suitability of wetland organisms and biodiversity as well. Thus, the continuous monitoring for the ecological structure of restored wetland is important, and it could be possible step to develop sustainable wetland ecological restoration model.

Key words : *vegetation monitoring, wetland vegetation succession, wetland management plan, open water*

I. 서 론

오늘날 습지생태계에 대한 사회적 관심의 증가와 필요성에 따라 다수의 생태습지 복원, 조성 사업이 시행되고 있다. 습지의 개념은 다양하게 정리된 바 있으며 국가와 기관, 연구자마다 조금씩 다르게 정의된다. 국내의 경우 「습지보전법」에서 “습지란 담수(淡水), 기수(汽水) 또는 염수(鹽水)가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역으로서 내륙습지 및 연안습지를 말한다.”라고 정의하고 있으며 내륙습지, 연안습지 등 세부적 용어의 뜻을 명시하고 있다. 습지는 자연적, 인공적인 것을 모두 포함하며 영구적 혹은 일시적으로 습윤한 상태를 유지하고 이러한 환경에 적응한 동식물이 서식하는 장소를 의미한다(The Ramsar Convention on Wetland, 1971; National Wetland Center, 2018). 또한, 본 연구에서 다루게 되는 생태복원 습지는 습지생태공원, 습지공원 등의 용어와 혼용되며 생태적으로 복원 혹은 조성된 습지, 생태적인 방법으로 관리되고 있는 습지를 총체적으로 이르는 말로 습지 생물이 다양하게 보존되고 습

지생태계를 연구하기 적합한 습지를 뜻한다(National Institute of Korean Language, 2018).

습지생태계는 육상생태계와 수생태계의 점이 대로 생태적으로 중요한 가치를 가지며 종다양성이 높은 것으로 알려져 있다(Cowardin et al., 1979; Gibbs, 2000; Hong et al., 2015). 습지는 수면부 침식 방지, 온실 효과 방지, 홍수 방지, 수질 정화, 탄소 저장, 수생 생물 및 야생 생물의 다양성 유지 및 서식처로서의 기능을 하며 일부 기능은 습지시스템 내에서 호환가능하고 타 기능과 상승효과를 가지게 된다(Kim et al., 2009). 이와 같은 습지의 기능은 습지의 위치, 지역적 기후, 식생 구조, 주변부 이용 등과 같은 매개변수의 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 주변 환경, 생태계와 연결되어있다고 할 수 있다(Brander et al., 2006; Kim et al., 2009; Weisner et al., 2010).

습지의 생태적 복원은 습지가 인위적 간섭 요인에 의하여 교란되었을 때, 원래의 생태계에 가깝게 되돌리고 기능이 원활하게 균형을 이룰 수 있도록 하는 일련의 행위라 할 수 있으며(USDA, 2003; Kim et al., 2015; An et al., 2016)

“기능적으로 저하되고, 변형되고, 손상되거나 파괴된 생태계의 회복 혹은 이러한 회복을 가속화하는 과정”이라는 생태적 복원에 대한 정의 (Lewis, 1989; SER, 2002; McDonald et al., 2016)를 기반으로 하고 있다. 습지 복원 시에는 생태계 훼손의 원인, 정도, 대상지의 특성 등에 따라 복원의 방향을 설정하게 되며 습지의 구조와 기능, 유지관리와 현명한 이용을 포함하는 지속가능한 습지 복원을 위하여 복원 방향과 목표상에 부합하는지에 대해 주기적으로 진단·평가할 필요가 있다(Jill, 2006; Kim et al., 2009; Bai et al., 2013)

국내 습지 복원, 조성과 관련한 법령에서는 주로 습지 보전의 측면에서 습지생태계에 대하여 규정, 관리의 중요성을 언급하고 있다(Bang et al., 2006; An et al., 2016). 「습지보전법」에서는 국내 습지의 현황에 대한 기초 조사를 통한 습지의 보전과 관리, 습지 보호지역 설정과 같은 사항들을 다루고 있으며 「자연환경보전법」에서는 습지를 포함하는 훼손된 자연생태계의 조성 혹은 복원을 내용으로 하는 생태계보전협력금사업, 자연자산의 관리 등의 자연환경보전 관련 사항을 규정하고 있다. 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」에서는 생물자원의 보전과 생물다양성 증진의 측면에서 습지생태계와 서식 생물종의 중요성을 이야기하고 있다. 또한, 랍사르협약과 생물다양성협약으로 대표되는 국제 협력을 통하여 습지생태계 복원과 보호를 위한 습지 생물다양성 보전체계 구축, 습지 모니터링, 기후변화 적응 습지 조성 등을 행하고 있다(Lee et al., 2014; National Environment Information Network System, 2018). 이러한 사회·제도적 기반을 바탕으로 습지 복원, 조성에 대한 필요성이 제기됨에 따라 전국을 대상으로 다양한 규모와 유형의 습지생태계가 복원, 조성되고 있다. 지속가능한 생태복원의 필요성에 따라 정부, 지자체에서도 이에 관한 다양한 사업과 연구를 시행, 지원하고 있다.

습지 자연환경의 유지관리, 습지생태계 생물 다양성에 대한 중요성은 지속적으로 강조되어 왔으며 이에 발맞추어 습지의 복원과 조성 방안에 관한 연구가 다수 진행되었다(Park et al., 2018). 습지 조성 모델 및 평가기법에 관한 연구(Koo, 2002; Kim et al., 2009), 습지의 분류 및 복원 매뉴얼 작성 연구(Lee et al., 2010), 습지 관측 모델에 관한 연구(Kim et al., 2014) 등은 기존의 습지에 대한 데이터 구축과 국내의 습지 복원 사례를 통해 습지의 복원-진단평가-유지관리의 프로세스를 확립하고 습지모델을 제시하였다. 또한, 복원된 생태습지에 대한 구체적이며 종합적 진단이 필요함에 따라 습지 식생 모니터링에 대한 연구(Song et al., 2006; Kim et al., 2008; Hong et al., 2015; Son et al., 2015; An et al., 2016)도 활발하게 진행되고 있으나 보다 정량적이며 지속적인 연구가 필요한 실정이다(Brander et al., 2006; Holl & Aide, 2011; Cha et al., 2017).

특히 습지 복원 후 정착, 우점하는 식물상은 토양, 수문 조건 등 다양한 요인에 의하여 식재 당시의 식물상에서 변화하기 때문에(Wetzel & Valk 1998; Nam et al., 2015; Son et al., 2015) 복원 후 식물의 변화, 천이과정 모니터링은 습지의 구조와 기능에 대한 특성 이해를 바탕으로 지속가능한 습지 복원을 가능하게 한다(Declerck et al., 2005; Kim et al., 2011; Chun, 2011). 생태복원 습지의 개방 수면 관리는 습지 식생의 다양성 유지와 특정종 우세, 습지 육지화 등의 문제 해결 방안으로 이용되며(Kwon & Choi, 2009; Kim et al., 2015) 습지의 유지관리는 습지 안정화와 생태계 다양성 유지를 위한 중요한 요소로 작용한다(Kim et al., 2011; Li et al., 2014; Hong et al., 2015; Kim et al., 2015). 그러나 기존의 습지 식생변화 연구에서는 식생 피복 면적에 대한 공간적 분석 없이 출현종의 변화 기록에 초점을 두고 있어 습지 식생의 종합적 변화양상을 파악하는 데 한계를 가지고 있으며

생태복원된 습지의 식생변화를 반영한 유지관리 방안에 대한 중요성을 시사할 필요가 있다 (Song et al., 2006; Lee & Myeong, 2015; Kim et al., 2016).

이에 본 연구에서는 생태복원 습지의 지속적인 유지관리의 관점에서 계획 및 조성 이후 습지 식생 변화와 개방수면의 변화를 분석하고자 하였다. 선정된 자연마당 사업지 내 습지복원지역을 중심으로, 식생 유형 및 면적, 생활형의 변화를 분석함으로써 복원 상태를 고찰하고 이를 바탕으로 지속가능한 유지관리에 대한 시사점을 도출하는 것을 연구의 목적으로 하였다.

II. 연구 대상지와 방법





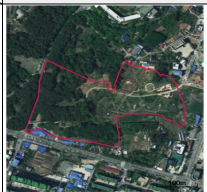

1. 연구 대상지

본 연구에서는 생태적으로 복원, 조성된 습지를 대상으로 식생 구조의 변화를 분석하기 위하여 전국의 자연마당 사업 대상지 22개소를 대상으로 적합한 대상지를 선정하고자 하였다. 연구 대상인 자연마당은 훼손된 자연생태계를 복원하기 위한 방향으로 조성되었으며 다음과 같은 기준을 적용하여 선정하였다. 연구 대상지 선정 기준은 다양한 생물 서식지 조성을 위하여 사업 면적 50,000㎡ 이상인 자연마당사업지 내 조성·복원된 생태습지로, 식생 조사 시점인 2018년 9월 기준으로 완공된 지 2년 이상으로 안정된 생태계이어야 하며, 준공 시의 식생계획도면이 존재하여 조성 전, 조성 당시, 조성 후의 식생이 비교 가능하여야 한다. 또한, 주변 50m 이내에 자연생태계가 위치하여 생태적 출입이 가능하여야 한다.

위와 같은 선정 기준을 바탕으로 인천 연희자연마당 생태습지, 부산 이기대자연마당 생태습지, 익산 소라산자연마당 생태습지 3개소가 연구 대상지로 적합하다고 판단되었다. 인천 연희자연마당 생태습지는 인근 농경지로부터 조류의 생태적 유입 가능성이 충분하고 습지의 관리

가 잘 되고 있는 것으로 확인되어 습지 복원모델 제시에 적합한 사례로 판단되어 선정하였으며, 부산 이기대자연마당 생태습지의 경우 이용자의 출입이 많은 상황임에도 불구하고 습지 내 생태환경이 우수하고 습지 식생에 대한 주변 환경으로부터의 영향을 조사해보고자 대상지로 정하였다. 마지막으로 익산 소라산자연마당 생태습지의 경우 기존 갈대습지를 복원, 확장하여 조성한 생태습지로 습지의 구성이 다양하다. 이러한 습지의 특성을 반영하여 습지 식물을 계획, 식재하였기 때문에 복원 후 습지 내 식생 구

Table 1. Study sites' overall condition

		Incheon Yeonhui		
Location/ Present condition				
	Yongdusan-ro, Seo-gu, Incheon			
Area	69,442 m ²	Created	2016.06.	
Damaged factor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ neglected waste disposals ▪ used as tree nursery 			
		Busan Igidae		
Location/ Present condition				
	Yongho-ro, Nam-gu, Busan			
Area	73,398 m ²	Created	2014.12.	
Damaged factor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ landslide restoration area ▪ used as illegal farmland 			
		Iksan Sorasan		
Location/ Present condition				
	Dongseo-ro, Iksan-si, Jeollabuk-do			
Area	55,000 m ²	Created	2015.12.	
Damaged factor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ landization of reedy marsh ▪ used as illegal farmland 			

조의 변화를 파악하는데 용이할 것으로 판단되어 선정하였다. 각 대상지의 세부 사항은 다음과 같다.

1) 인천 연희자연마당 생태습지

인천 연희자연마당은 인천시 서구 연희동 산 129(위도 37° 54' 45", 경도 126° 66' 26")에 위치하며 논 경작지, 소규모 산림과 접하는 도시 외곽에 입지하고 있다. 대상지는 복원 전, 폐자재와 폐기물이 방치되어 있었으며 양묘장으로 이용되었다. 복원의 목표는 생태숲 복원, 수체계 개선을 통한 습지 조성으로 이를 위해 생태숲, 초화원, 암석원, 생태습지 등을 조성하였다. 세부 연구 대상지인 생태습지는 총 면적 3852m²이며 평균 수심은 약 1m이다. 또한, 습지는 3단 정화습지로 자연마당 내 생태수로와 연결되어 있으며 양서류의 서식이 확인된 바 있으며(Cha et al., 2017) 2018년 9월 조사시 오리류의 채이가 확인되었다.

2) 부산 이기대자연마당 생태습지

부산 이기대자연마당은 부산시 남구 용호2동 산198(위도 35° 10' 34", 경도 129° 12' 29")에 위치하며 이기대 도시자연공원과 접하는 해안 절벽에 입지하고 있다. 대상지는 복원 전, 산림 사면부와 나지가 방치되어 있었으며 임시 복구된 산사태 발생지, 포진지 유적이 분포하였다. 복원의 목표는 난대성 해안림 복원, 습지 조성으로 이를 위해 해안림, 천이 유도 군락지, 역사 숲길, 생태습지 등을 조성하였다. 세부 연구 대상지인 생태습지는 총 면적 2800m²이며 평균 수심은 약 1.2m이다. 또한, 생태습지 내 오류도를 형상화한 인공섬 5개소를 조성하였으며 양서류의 서식이 확인된 바 있다(Cha et al., 2017).

3) 익산 소라산자연마당 생태습지

익산 소라산자연마당은 익산시 영등동 산276(위도 35° 95' 24", 경도 126° 96' 75")에 위치하며

소라산, 습지와 접하는 고립된 녹지에 입지하고 있다. 대상지는 복원 전, 불법 경작지, 주거지, 공업지가 혼재되어 있었으며 육화가 진행된 갈대습지가 분포하였다. 복원의 목표는 구룡성 계류와 수체계의 복원으로 이를 위해 생태습지, 다랭이논습지, 나비마당, 생태모델숲 등을 조성하였다. 세부 연구 대상지인 생태습지는 총 면적 7013m²이며 평균 수심은 약 1.9m이다. 또한, 기존의 갈대습지 외 다랭이논습지, 저류정화습지, 기후변화대응습지 등 다양한 습지를 구성하였으며 물장군 대체서식지를 조성, 물장군을 방생하였다.

2. 연구방법

1) 식생자료 수집

본 연구에서는 인천 연희자연마당 생태습지, 부산 이기대자연마당 생태습지, 익산 소라산자연마당 생태습지를 대상으로 식생 자료를 수집하였다. 식생 조사는 식물사회학적 방법(Braun-Blanquet, 1964)을 적용하였으며 생태습지 구획 내 초본류를 중심으로 조사하였다. 현존 식생자료는 2018년 현장조사를 통하여 수집하였으며 구체적으로는 7~8월 대상지별 개황 파악 후 9~10월에 걸쳐 세부 식생조사를 실시하였다. 인천 연희자연마당 내 생태습지는 9월 9일, 부산 이기대자연마당 내 생태습지는 10월 9일, 익산 소라산자연마당 내 생태습지는 10월 3일에 각각 조사하였다. 조사방법으로는 생태습지를 따라 도보 이동하며 군락별 피복경계와 종조성을 조사하였으며, 동정이 어렵거나 침입종, 외래종의 경우에는 표본 사진 촬영 후 도감과 대조 확인을 거쳐 기록하였다. 종의 동정과 명명, 목록 작성의 순서는 원색 대한 식물도감(Lee, 2003), 한국 식물 도감(Lee, 1997) 등을 참고하였다. 초본의 경우 식재 개체가 많고 계절 및 관리에 따라 생육상태가 달라지는 점을 감안, 출현종 전 수조사가 아닌 피도와 우점종을 중심으로 조사하되 도면 상에 군락별 공간범위를 기록하는 데에 중점을 두었다.

2) 식생도 작성과 식생자료 분석

생태습지 식생도는 수생식물대 중심의 상관식생도(physiognomic map)로 작성하였다. 복원 당시의 준공도면 중 식재계획도와 Google Earth의 인공위성사진을 바탕으로 조성당시 및 현재의 생태습지 경계를 설정하고 현지 조사를 통해 수정 후 중첩분석을 시행하였다. 식물의 생활형은 Raunkiaer(1934)의 생활형 기준에 따라 분류하였으며 식물의 학명은 국가생물종지식정보시스템의 국가표준식물 목록을 참고하였다. 식생도 작성 및 복원 전 후 식생 구조의 면적 변화 분석에는 Arc GIS 10.2.1과 Auto CAD를, 식생자료의 통계분석은 SPSS Statistics 22를 이용하여 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 인천 연희자연마당 생태습지

1) 생태습지의 식생 및 분류군 현황

인천 연희자연마당 생태습지의 식물상은 2018년 9월 19과 25속 28종으로 총 29분류군이 조사되었다. 2016년 조성 당시의 식물상은 식재계획도의 실제 반영 정도와 계획의 변경가능성을 감안하여 계획도면과 기본계획보고서 등을 종합하여 산정하였다. 그 결과, 2016년에는 13과 15속 18종 총 18분류군이 식재된 것으로 나타나, 현재의 식물상은 조성 당시와 비교하여 종 수가 10종 증가한 것으로 나타났다. 전반적으로는 현재에도 계획도면과 마찬가지로 다양한 식물군락이 생태습지 내 소규모의 패치 상을 형성하며 고르게 분포하고 있었다. 수변의 부들(*Typha orientalis*), 물억새(*Miscanthus sacchariflorus*), 갈대(*Phragmites communis* Trin) 등에 대해서는 습지 내부로의 과도한 확산과 침입을 막기 위해 인위적 제거 등 관리가 시행되고 있는 것이 확인되었다.

2016년 생태복원 습지의 식재계획과 2018년 현재의 식생도를 비교해 보면 습지 내 식생이

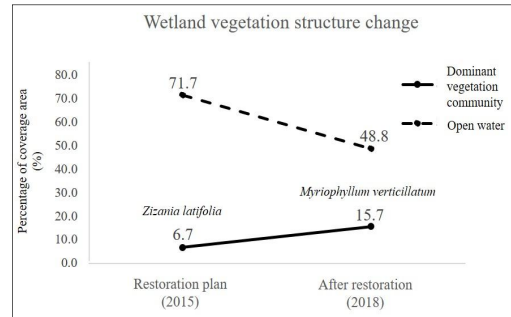


Figure 1. Change in the dominant vegetation cover and open water area from the time of completion to the current state - in the case of Incheon

확연히 변화하였음을 알 수 있다 (Figure 2). 개방수면 면적비율은 2016년 당시 71.7%에서 2018년 현재 48.8%로 감소하였다 (Figure 1). 식생의 경우 각 군락별 분포 면적의 총 합은 2016년 당시의 면적 727.1m²에서 1,857m²로 약 39.2% 증가한 것으로 나타났다. 현재 물수세미(*Myriophyllum verticillatum* L.)군락이 전체 습지면적의 15.7%에 걸쳐 가장 넓은 면적비율로 분포하고 있었으며, 이어서 마름(*Trapa japonica*) 9.6%, 애기부들(*Typha angustifolia* L. sensu lato) 8.6% 순으로 나타났다. 우점 군락인 물수세미군락의 경우 2016년 조성 당시 면적의 6.8%에 불과하였으나 빠른 확장세를 보이며 생태습지 전반에 걸쳐 분포하게 되었다 (Figure 1). 한편 애기부들군락의 경우 조성당시 줄(*Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf), 부들과 혼식하였으나 서식영역을 확대, 군락 내 다른종들을 피압, 우점하였다. 공간적으로는 습지 동측의 이용자 주 동선 주변과 같이 교란에 노출된 곳이 서측의 접근이 통제된 지역에 비해 다양한 군락유형이 작은 패치로 혼재하는 경향을 보였다.

2) 생태습지 내 식생변화 및 외래종 출현

인천 연희자연마당 생태습지의 주요 식생은 물수세미군락(15.8%), 마름군락(9.6%), 애기부

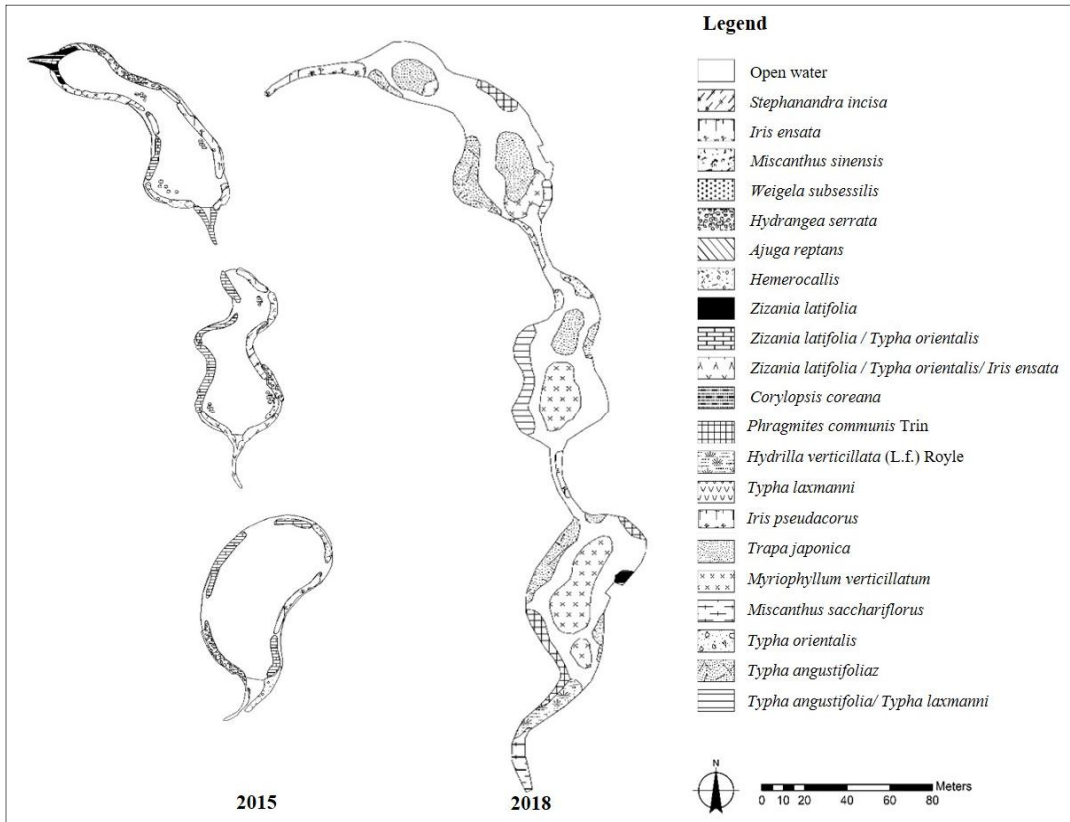


Figure 2. Change in the vegetation cover from the time of completion to the current state - in the case of Incheon

들군락(8.6%), 갈대군락(3.9%), 애기부들-꼬마부들군락(3.6%), 노랑꽃창포군락(2.8%), 검정말군락(2.4%), 물억새군락(2.4%), 부들군락(1.1%) 등의 순으로 나타났다 (Table 2). 2016년의 계획도면과 비교해 볼 때 산수국, 히어리, 무늬억새와 같은 군락은 소멸되었거나 물수세미, 부들 등으로 교체된 것으로 나타났다 (Figure 2).

종 구성의 특징으로는 벼과가 5분류군으로 가장 많았고, 다음으로는 버드나무과(4분류군), 부들과(3분류군) 등의 순으로 나타났다. 갈대, 부들, 애기부들, 물억새, 마름, 노랑꽃창포, 좀개구리밥, 갯벼들, 붕어마름 등이 생태습지 내 서식하는 종으로 관찰되었으며 습지에 유입된 귀화식물로는 미국가막사리, 코스모스 2종이 확인되었다. 또한, 주변의 논 경작지에서 유입된 것으로 보이는 사마귀풀, 벼풀 석잠풀, 주름잎 등이

발견되었다. 습지의 생육 기간이 길지 않은 것을 고려하였을 때, 추후 습지의 천이과정, 계절적 요인 등에 따른 군락 변화에 대한 모니터링이 요구된다.

2. 부산 이기대자연마당 생태습지

1) 생태습지의 식생 및 분류군 현황

부산 이기대자연마당 생태습지의 식물상은 2018년 10월 19과 27속 26종 4변종 1품종으로 총 31분류군이 조사되었으며 2014년 조성 당시 기본계획보고서 상 식재계획의 5과 6속 6종 총 6분류군과 비교하여 종 수가 크게 증가한 것으로 나타났다. 그러나 자료의 한계 상 2014년 종 수가 다소 과소 추정되었을 수 있다.

습지 전체의 개방수면은 83.9%에서 31.8%로 2배 이상 감소하였다 (Figure 3), (Figure 4). 습

Table 2. Proportion of the area in each cover type to the all wetland area - in the case of Incheon

Cover type	Area (㎡)	Coverage ratio(%)
Open water	1767	48.8
Major community scientific name	Life form*	
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	HH(rd)	568 15.7
<i>Trapa japonica</i>	HH(Th)	346 9.6
<i>Typha angustifolia</i> L. sensu lato	HH(rd)	312 8.6
<i>Phragmites communis</i> Trin	G	141 3.9
<i>Typha angustifolia</i> L. sensu lato - <i>Typha laxmanni</i> Lepech.	HH(rd) - HH(rd)	132 3.6
<i>Iris pseudacorus</i> L.	G	101 2.8
<i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle	HH(rd)	88 2.4
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	H	87 2.4
<i>Typha orientalis</i>	HH(rd)	40 1.1
<i>Typha laxmanni</i> Lepech.	HH(rd)	27 0.8
<i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Turcz. ex Stapf	HH(rd)	15 0.4
Total	3624	100

* Raunkiær's plant life-form; (Th) Therophyte, (G) Geophyte, (HH) Hydatophytes; HH(Th) Plants that stem is in the water and therophyte, HH(rd) Plants that root is in the mud, HH(n) Plants that floating on the water

지 내 식생변화를 보면, 습지 내 식생이 차지하는 면적이 1,231㎡로 식재계획 당시 333.3㎡에서 27.1% 증가하였으며, 출현 종 수는 식재계획과 비교하여 25종이 증가한 것으로 나타났다 (Figure 3). 또한, 전체 습지면적의 31.8%를 물수세미(*Myriophyllum verticillatum*)군락이 차지하고 있어 우점군락으로 나타났고, 이어 노랑어리연꽃(*Nymphoides peltata*) 14.3%, 개구리밥(*Spirodela polyrhiza*)-좀개구리밥(*Lemna paucicostata*) 6.6% 등이 넓게 분포하는 것으로 조사되었다.

공간 분포의 특성으로는 물수세미군락이 생태습지 전반에 걸쳐 패치형태로 분포하고 있는 것에 비해, 노랑어리연꽃군락의 경우 대상 습지의 남서쪽 부근에 하나의 큰 군락을 형성하고

있었다. 습지 내 하중도에서는 기린초(*Sedum kamtschaticum*) 군락, 송엽국(*Lampranthus specabilis*) 군락이 조사되었다.

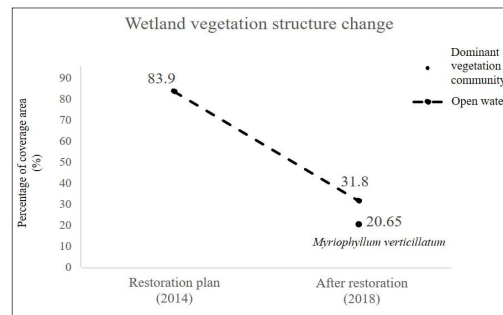


Figure 3. Change in the dominant vegetation cover and open water area from the time of completion to the current state - in the case of Busan



Figure 4. Change in the vegetation cover from the time of completion to the current state - in the case of Busan

2) 생태습지 내 식생변화 및 외래종 출현
 부산 이기대자연마당 생태습지의 주요 식생은 물수세미군락(20.7%), 노랑어리연꽃군락(14.3%), 개구리밥-좀개구리밥(6.7%), 기린초(5.2%), 애기부들(2.7%), 연꽃(2.5%), 송이고랭이(2.2%), 수련

(1.7%) 등의 순으로 나타났다 (Table 3). 2014년 습지 조성 시 부유식물, 정수식물, 침수식물, 부엽식물 군락이 각각 425m², 170m², 17m², 5m² 식재 계획되었으나 생태습지 조성 이후 식물의 구성이 변화하고 있는 것을 확인할 수 있다. 부유식물 분

Table 3. Proportion of the area in each cover type to the all wetland area - in the case of Busan

Cover type	Area (m ²)	Coverage ratio(%)
Open water	575	31.8
Grassland	202	11.2
Major community scientific name	Life form*	
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	HH(Rd)	20.7
<i>Nymphoides peltata</i> (S.G. Gmel.) Kuntze	HH(rd)	14.3
<i>Spirodela polyrhiza</i> - <i>Lemna paucicostata</i>	HH(Th) - HH(Th)	6.7
<i>Sedum kamtschaticum</i>	H	5.2
<i>Typha angustifolia</i> L. sensu lato	HH(rd)	2.7
<i>Nelumbo nucifera</i>	HH(rd)	2.5
<i>Schoenoplectus triangulatus</i> (Roxb.) Soják	HH(rd)	2.2
<i>Nymphaea tetragona</i> Georgi	HH(Th)	1.7
<i>Lampranthus spectabilis</i> (Haw.) N. E. Br.	G	0.9
<i>Iris ensata</i> var. <i>spontanea</i>	G	0.2
Total	1,806	100

* Raunkiær's plant life-form; (Th) Therophyte, (G) Geophyte, (HH) Hydatophytes; HH(Th) Plants that stem is in the water and therophyte, HH(rd) Plants that root is in the mud, HH(n) Plants that floating on the water

포역이 전체 식생에서 차지하는 면적 비율이 68.9%에서 30.7%로 대폭 감소하였으며, 정수식물의 경우 전체 식생에서 차지하는 면적 비율이 27.6%에서 7.5%로 감소하였다. 또한, 부엽식물의 면적 비율도 감소한 것으로 나타났다. 한편 침수식물의 비율은 2.8%에서 30.3%로 증가하였으며 기린초, 송엽국과 같은 초본류의 균락이 새롭게 관찰되었다.

종 구성을 보면 각 과별 종다양도는 국화과가 6분류군으로 가장 많았고, 다음으로는 버드나무과와 사초과(3분류군) 등의 순으로 나타났다. 구성을 보면, 물수세미, 노랑어리연꽃, 개구리밥, 좁개구리밥 등의 수생식물, 부들, 애기부들, 송이고랭이, 갯버들 등의 정수식물이 생태습지 내 서식하는 종으로 관찰되었으며, 희귀식물 목록집에서 자료부족종으로 지정된 부산꼬리풀, 벼풀이 발견되었다. 부산꼬리풀은 경우 2016년 3천700여 본을 자연마당 진입로에 식재한 것으로 조사되었다. 습지에 유입된 귀화식물로는 소리쟁이, 큰금계국, 개망초, 원추천인국 4종이 확인되었다. 2014년 식재계획되었던 매자기와 세모고랭이는 소멸하였거나 다른 수종으로 대체

된 것으로 판단된다. 현재에도 식생에 대한 지속적인 유지보수를 진행하고 있는 상황이기 때문에 생태습지 내 식생의 변화를 지속적으로 모니터링할 필요가 있다.

3. 익산 소라산자연마당 생태습지

1) 생태습지의 식생 및 분류군 현황

익산 소라산자연마당 생태습지의 식물상은 2018년 10월 현재 21과 29속 34종 2변종으로 총 36분류군이 조사되었다. 2016년 조성 당시의 식물상을 당시 식재계획도, 기본계획보고서 등

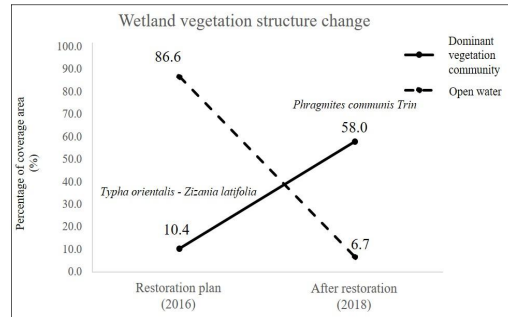


Figure 5. Change in the dominant vegetation cover and open water area from the time of completion to the current state - in the case of Iksan

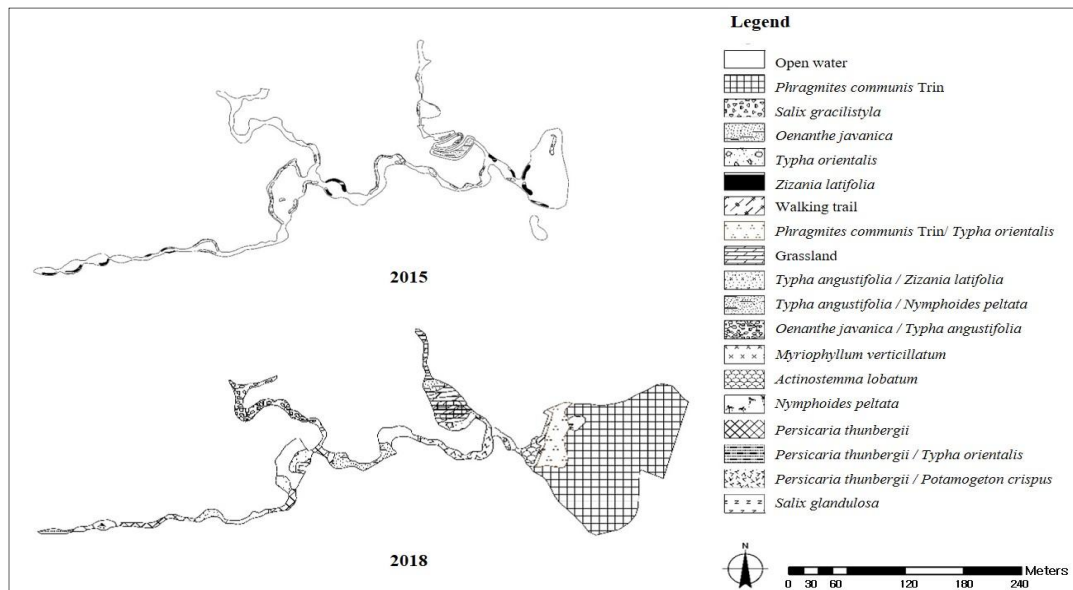


Figure 6. Change in the vegetation cover from the time of completion to the current state - in the case of Iksan

Table 4. Proportion of the area in each cover type to the all wetland area - in the case of Iksan

Cover type	Area(m ²)	Coverage ratio(%)
Open water	580	6.7
Grassland	346	4.0
Walking trail	211	2.4
Major community scientific name	Life form*	
<i>Phragmites communis</i> Trin	G	568 15.7
<i>Phragmites communis</i> Trin - <i>Typha orientalis</i>	G - HH(rd)	505 5.8
<i>Oenanthe javanica</i> DC.- <i>Typha angustifolia</i> L. sensu lato	HH(rd) - HH(rd)	434 5.0
<i>Typha orientalis</i>	HH(rd)	318 3.7
<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zucc.)	HH(Th) - HH(n)	268 3.1
H.Gross - <i>Potamogeton crispus</i>		
<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zucc.) H.Gros	HH(Th)	242 2.8
<i>Typha angustifolia</i> L. sensu lato - <i>Nymphoides peltata</i> (S.G. Gmel.) Kuntze	HH(rd) - HH(rd)	222 2.6
<i>Actinostemma lobatum</i> (Maxim.) Franch. & Sav	Th	112 1.3
<i>Nymphoides peltata</i> (S.G. Gmel.) Kuntze	HH(rd)	86 0.1
<i>Oenanthe javanica</i> DC.	HH(rd)	80 0.9
<i>Typha angustifolia</i> L. sensu lato - <i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Turcz. ex Stapf	HH(rd) - HH(rd)	78 0.9
<i>Salix glandulosa</i> SEEM.	HH(rd)	74 0.9
<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zucc.)	HH(Th) - HH(rd)	49 0.6
H.Gross - <i>Typha orientalis</i>		
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	HH(Rd)	29 0.3
Total	8645	100

* Raunkiær's plant life-form; (Th) Therophyte, (G) Geophyte, (HH) Hydatophytes; HH(Th) Plants that stem is in the water and therophyte, HH(rd) Plants that root is in the mud, HH(n) Plants that floating on the water

을 종합하여 산정한 결과, 8과 11속 13종 총 13 분류군이 식재된 것으로 나타났다. 따라서 현재의 식물상은 조성 당시와 비교하여 종 수가 2배 이상 증가한 것으로 나타났다. 현재 습지에는 다양한 식물군락이 패치상으로 분포하며 수변의 부들(*Typha orientalis*), 애기부들(*Typha angustifolia* L. sensu lato), 갈대(*Phragmites communis* Trin) 등의 정수식물에 대하여 지상부를 제거하는 인위적 관리가 시행되고 있는 것으로 확인되었다 (Figure 6).

2016년 생태복원 습지의 식재계획과 2018년 현재의 식생도를 비교해 보면 습지의 형태와 구성이 변화하였음을 알 수 있다 (Figure 6). 전체 습지의 개방수면 면적비율은 2016년 당시 86.6%에서 2018년 현재 6.7%로 감소하였다

(Figure 5), (Figure 6). 식생의 경우 기존 갈대군락이 우점하고 있던 습지 부분을 제외한 각 군락별 분포 면적의 총 합은 2016년 524.9m²에서 2963m²로 대폭 증가하였다.

현재는 전체 습지 지역 내 갈대군락이 58.0%에 걸쳐 우점하고 있으며, 갈대-부들 5.8%, 미나리-애기부들(*Oenanthe javanica* DC.-*Typha angustifolia* L. sensu lato) 5.0%, 부들 3.7% 등의 순서로 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 우점군락인 갈대군락은 생태습지 전반에 걸쳐 분포하며, 특히 습지 하류부 기존 습지에도 넓게 분포하고 있는 것으로 확인되었다. 또한 일부 지역의 경우 육지화가 진행되며 군락의 종 구성이 단순화되고 있는 것으로 조사되었다.

2) 생태습지 내 식생변화 및 외래종 출현

익산 소라산자연마당 생태습지의 주요 식생은 갈대군락(58.0%), 갈대-부들군락(5.8%), 미나리아기부들군락(5.0%), 부들군락(3.7%), 고마리-말즘군락(3.1%), 고마리군락(2.8%), 애기부들-노랑어리연꽃군락(2.6%), 뚜껍덩굴군락(1.3%), 노랑어리연꽃군락(1.0%) 등의 순서로 나타났다 (Table 4).

식생 구성을 보면, 물수세미, 개구리밥, 좁개구리밥, 노랑어리연꽃, 말즘 등의 수생식물과 줄, 갈대, 부들, 애기부들, 골풀, 갯버들 등의 정수식물이 생태습지 내 서식하는 종으로 관찰되었다. 습지에 유입된 귀화식물로는 미국가막사리, 서양민들레, 토끼풀, 도꼬마리, 돌소리쟁이, 소리쟁이 6종이 확인되었다. 또한, 복원 전 경작지로 이용되었던 지역적 특성으로 인해 뚜껍덩굴, 올방개, 골풀, 큰물칭개나물 등 다양한 식물들이 유입된 것으로 확인되었다. 각 과별 종다양도는 벼과가 5분류군으로 가장 많았고, 다음으로는 버드나무과(4분류군), 부들과(3분류군) 등의 순으로 나타났다. 2015년 식재계획된 갯버들, 아주가초콜릿과 같은 군락은 소멸되었거나 부들, 줄 군락과 혼재, 교체된 것으로 나타난다 (Figure 6).

4. 생태복원 습지의 유지관리

본 연구의 조사 결과, 습지 조성 시 식재계획보다 현재의 출현종 수는 모든 대상지에서 증가하였으며 식생의 구조도 빠른 변화를 보이고 있음을 확인할 수 있었다. 각 대상지별 변화양상과 이를 고려한 유지관리 방향은 다음과 같이 고찰할 수 있다.

인천 연희자연마당 생태습지는 다만 정화습지로 조성 후 지속적으로 유지관리가 시행되고 있는 상황이나 각 습지의 식생구조의 변화를 직간접적으로 나타낸다고 할 수 있는 개방수면은 축소되고 있는 것으로 확인되었다(Yi et al., 2010). 또한 물수세미, 부들 군락이 주변 식생을 피압, 식생 구성을 단순화시키는 경향을 보여

습지 내 개방수면과 식생 구조에 대한 모니터링이 요구된다. 수생동식물의 서식환경 다양성을 증진시키는 모래톱은 계절에 따라 침수되며 이를 활용, 적응관리를 통하여 습지 식생의 다양성 유지가 가능할 것으로 판단된다(Im et al., 2015). 주변 이차림 및 논경작지와 농수로를 통한 식생종 유입이 예상되어 추후 지속적인 모니터링이 필요하다.

부산 이기대 자연마당 생태습지는 소규모 단일 인공습지로 식생이 서식기반환경에 영향을 받기 쉬운 환경이라 할 수 있다(Son et al., 2015). 따라서 습지생태계의 구조와 기능에 주의를 기울여야 하며 습지식물 식재시 생활형별, 군락별 식재하였기 때문에 군락의 변화 양상에 대한 지속적인 모니터링이 요구된다. 추후 생장속도가 빠른 물수세미, 노랑어리연꽃과 같은 특정종 우세 방지를 위한 유지관리가 필요하며 개방수면 관리를 통하여 다양한 서식 생물종을 위한 습지 환경 유지가 요구된다.

익산 소라산자연마당 생태습지는 전체 습지에 걸쳐 구룡성의 계류를 복원하였으며 다양한 동식물을 위한 서식처를 제공하고 있다고 할 수 있다. 하지만 기존의 육역화된 습지와도 연결되어 있어, 이를 연계한 관리가 필요하며(Sung et al., 2010; Kim et al., 2011; Kim et al., 2015) 각 구역에서의 수문체계, 기반환경의 관리를 통해 습지생태계의 구조와 기능 발달을 도모할 수 있을 것으로 사료된다(Kwon & Choi, 2009). 현재 습지 내외부의 식생 제거와 가장자리 토양 침식을 방지를 위한 식생매트 설치 등의 유지관리를 진행하고 있으나 식생의 과도한 확산, 생육에 영향을 끼치는 기반환경에 대한 관리가 추가로 고려되어야 한다.

IV. 결 론

습지생태계의 지속가능한 복원을 위해서는 습지의 생태기반환경 설계와 이를 반영한 종 선

정 및 식재가 필요하며 인위적 교란, 주변부 식생환경 등 복합적인 요소가 고려되어야 한다 (USDA, 2003; Hong et al., 2015; Kim et al., 2015). 본 연구에서는 생태복원, 조성된 습지 3 개소를 대상으로 습지 식생 구조의 변화를 살펴 보았다.

인천 연희자연마당 생태습지의 경우 2016년 13과 15속 18종 총 18분류군에서 2018년 19과 25속 28종 총 29분류군으로 종 수가 증가하였다. 우점 군락의 경우 정수식물인 줄-부들군락에서 수중식물인 물수세미군락으로 변화하였으며 전체 습지에서 식생이 차지하는 면적은 39.2% 증가한 것으로 나타났다. 반면 전체 습지에서 개방수면이 차지하는 면적의 비율은 2016년 71.7%에서 2018년 현재 48.8%로 감소하였으며 습지에 대한 지속적인 유지관리가 시행되고 있는 것이 확인되었다.

부산 이기대자연마당 생태습지의 경우 2014년 5과 6속 6종 총 6분류군에서 2018년 19과 27속 26종 4변종 1품종 총 31분류군으로 종 수가 증가하였으나 조성시 구체적인 식재계획에 대한 추가 조사가 반영될 필요가 있다. 우점 군락의 경우 부유식물 군락에서 수중식물 중 침수식물로 분류되는 물수세미군락으로 변화하였으며 전체습지에서 식생이 차지하는 면적은 27.1% 증가한 것으로 나타났다. 또한 습지 내 하중도에서는 기린초 군락 등이 식재되어 단경초지로 관리되고 있음이 확인되었다. 반면 전체 습지에서 개방수면이 차지하는 면적의 비율은 2014년 83.9%에서 2018년 현재 31.8%로 감소하였으며 습지 내 부엽 식물에 대한 유지관리가 시행된 것이 확인되었다.

익산 소라산자연마당 생태습지의 경우 2016년 8과 11속 13종 총 13분류군에서 2018년 10월 현재 21과 29속 34종 2변종 총 36분류군으로 종 수가 증가하였다. 우점 군락의 경우 기존 습지의 우점종으로 조사되었던 정수식물인 갈대군락이 전체 습지에 걸쳐 군락 면적이 증가하였

으며, 습지의 육역화를 진행시키는 경향을 보이는 것으로 확인되었다(Weinsner et al., 2010). 전체 습지에서 식생이 차지하는 면적은 17.7% 증가하였으며 전체 습지의 개방수면 면적 비율은 2016년 당시 86.6%에서 2018년 현재 6.7%로 급격하게 감소하였다.

각 습지는 입지 조건, 생태기반 환경, 식재계획 등 차이가 있었으나, 복원 후 습지 식생 종수의 증가, 부엽식물 분포역의 증가, 개방수면의 감소, 특정 군락의 우세로 인한 군락 구성의 단순화 등의 공통적인 변화를 확인할 수 있었다. 특히 습지 식생의 구성뿐 아니라 습지생태계 동식물의 서식에 영향을 주는 개방수면의 경우 조성 후 약 3~4년 사이에 계획된 개방수면 면적의 38.0% 수준으로 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 개방수면의 감소에는 부엽식물 분포역의 증가가 영향을 끼친 것으로 조사되었다. 복원 후 습지 식생 종수는 평균 약 3.2배 증가한 반면, 습지의 생태적 건전성 지표라 할 수 있는 식물군집의 구성은 선행연구와 같이 단순화되는 경향을 보였다(Kwon & Choi, 2009). 또한 초지종의 유입이 공통적으로 관찰됨에 따라 습지의 건조화, 육지화가 우려되어 각 습지에서 관찰되는 습지식물의 생육패턴에 주의를 기울여야 할 것으로 사료된다.

생태복원 습지의 식생변화 모니터링 결과는 습지 식생의 천이과정과 기반환경, 습지의 생태적 복원 단계와 목적을 고려한 유지관리 전략의 도입이 필요하는 것을 시사한다. 또한 복원된 습지생태계의 식생 생육 패턴, 개방수면의 변화, 대상지 특성 등을 반영한 적응적 접근은 습지 관리지역의 구획화, 시기별 관리, 적합 식생종 구성 등의 유지 관리 방안 수립이 가능하게 하며 이러한 과정을 통해 생태복원 습지의 지속가능성이 증진된 복원모델을 제시할 수 있다(Lee et al., 2014; You et al., 2017).

본 연구는 생태복원 습지의 조성 후 식생 구조와 개방수면 면적 변화분석을 기반으로 습지

식물의 생육 패턴, 습지의 특성 파악을 통해, 관리 구획화와 시기별 관리방안을 제시하였다. 생태복원 습지의 조성 후 식생 구조와 개방수면 면적 변화분석을 기반으로 향후 지속가능한 유지관리의 필요성을 강조하였다는 데에 의의가 있다. 향후 본 연구에서 조사되지 못한 시기의 식생과 관리시행 여부에 따른 변화 차이, 수질, 수량, 기타 생물상 등에 대한 조사 및 변화분석 등에 대한 후속 연구 수행을 통해 보다 종합적인 습지의 복원단계, 조성 후 식생구조 변화를 반영한 지속가능한 습지생태계 복원, 유지관리 모델을 기대할 수 있다.

References

- An JH · Lim CH · Nam GB · Jung SH and Lee CS. 2016. Passive restoration under progress in wetland of National Institute of Ecology. *Journal of Wetlands Research*, 18(4), 465- 473. (in Korean with English summary)
- Bai Jh · Cui, Baoshan · Cao, Huicong · Li, Ainong and Zhang, Baiyu. 2013. Wetland De- gradation and Ecological Restoration. *The Scientific World Journal*. 2013. 523632. 10.1155/2013/523632.
- Bang SW · Park JH and Ahn SY. 2006. Wetland Environment Forum: Policy materials. Korea Environment Institute. (in Korean with English summary)
- Brander, L., Florax, M., & Vermaat, R. 2006. The Empirics of Wetland Valuation: A Comprehensive Summary and a Meta-Analysis of the Literature. *Environmental and Resource Economics*, 33(2), 223-250
- Braun-Blanquet, J. 1964. *Pflanzensoziologie, Grundzüge der Vegetationskunde*. 3rd Edition, Springer-Verlag, Berlin, 631
- Cha JK · Lee SM · Choi TY · Moon HK · Kang DI · Lee IH · Seo HS and Park EJ. 2017. Diagnostic Assessment of Damaged Ecosystem and Restoration Areas and Practice of Resilience. National Institute of Ecology, Bureau of Ecological Research. (in Korean with English summary)
- Chun SH. 2011. Assessment of Degree of Naturalness of Vegetation on the Riverine Wetland. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 20(1), 1-11. (in Korean with English summary)
- Cowardin, L.M., V. Carter V., F.C. Golet, E.T. LaRoe. 1979. Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States. U.S. Fish and Wildlife Service Report No. FWS/OBS/-79/31. Washington, D.C.
- Declerck S., Vandekerkhove J., Johansson L. 2005. Multi-group biodiversity in shallow lakes along gradients of phosphorus and water plant cover. *Ecology*, 86, 1905-1915
- Im RY · Kim JY · Choi JY · Do YO and Joo GJ. 2015. Changes of River Morphology in the Mid-lower Part of Nakdong River Basin after the 4 Large River Project, South Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 48(3), 188-194. (in Korean with English summary)
- Gibbs, J. 2000. Wetland Loss and Biodiversity Conservation. *Conservation Biology*, 14(1), 314-317
- Holl, K.D · Aide, T.M.. 2011. When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1558-1563
- Hong SJ · Kim JW · Jung JY · Kim DH · Ahn KS · Kim HS and Lee JS. 2015. A Study on the plant monitoring for artificial wetlands in the rivers. *Journal of Wetlands*

- Research, 17(1), 91-100. (in Korean with English summary)
- Jill A. Hapner. 2006. Development of Methods to Assess and Monitor Small Wetlands Restored on Private Lands. Final Report to U.S. EPA - Region V Wetland Program Grant # CD96509801-0
- Kim BC · Lee GK · Yang HK · Shin JS · Jo DK · Jeon WS · No BH · Lee JH · Park HC · Choi EY · Jang HJ · Lee MJ · Ku YS · Kim MC · Seong HK · Jo BH · Kim SY · Lee JH · Baek SK · Kim JS · Kim SH · Kim SJ · Yoo JJ · Maeng DH · Khodadad Sara · Park SY · Kim HS · Park JW · Han EK · Park JW · Kim D Y · Byun HK · Ha D · Park SH · Choi HM · Sim YJ · Lee JH and Lee DJ. 2014. Development of Integrative Observation Model and Application Technology for Wise Use of Wetland Ecosystem. Ministry of Environment, Korea Environment Institute. (in Korean with English summary)
- Kim CH · Choi YE · Kim JW · Myong H and Lee SI. 2011. 3-year Change of Vegetation and Life Form at the Man-made Wetland in Sinpyeoncheon City. Korean Journal of Environment and Ecology, 2011, Vol.25(1), p.57. (in Korean with English summary)
- Kim HG · Jeong YS and Koo BK. 2008. The Discrimination and Vegetation Structure of Several Mountainous Wetlands in Chung-ju and Around Area. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 11(2), 55. (in Korean with English summary)
- Kim HS · Kim JK · Yoo BK · Kim DK · Gwak JW · Yoon SH · Seo SS · Shin WS · Jang KH · Kim HT · Nam JM · Hong MK · Shin HK · Lee KM · Min SJ and Choi H. 2009. A Study on Development Model and Evaluation Technique of Ecological Wetland in Four major Rivers. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. (in Korean with English summary)
- Kim MJ, Lim JC, Suh JH, Choi TB, Shin YK, Ahn KH, Cho HS and Lee YK. 2016. Wetland Management Plan on Distributional Characteristics of Vegetation in Hwaem Wetland. Journal of Environmental Impact Assessment, 25(3), 190-208. (in Korean with English summary)
- Kim TS · Baek CY · Lee JY · Lim JC · Yang BK · Park JY · Lee GK and Lee JH. 2015. Guide for Restoration of Inland Wetlands. National Institute of Environmental Research, National wetlands center. (in Korean)
- Koo BH. 2002. A Study on the Classification and Mapping Methods of Wetlands in Korea. Seoul National University, Doctoral dissertation. (in Korean with English summary)
- Korean Plant Names Index. 2018.11.1. <http://www.nature.go.kr/kpni/SubIndex.do>. (in Korean)
- Kwon YH and Choi HK. 2009. The Impact of Climate Change on the Ecosystem : The Case of Wetland Plants. Korean Environment Institute. (in Korean with English summary)
- Lee CB. 2003. Coloured flora of Korea. Seoul: Hyangmunsa. (in Korean)
- Lee GG · Lee JH and Cha JY. 2014. The Management Planning Model for Wetland Conservation Area in South Korea: Focused on Conservation and Management Planning According to Making Mt.

- Daeam's Yong-neup Opening to the Public. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 17(1), 185-201. (in Korean with English summary)
- Lee HJ · Jeong JW · Park SJ · Shin MH · Yang HS · Lee JH · Lee CS · Kim TS · Lee JY and Kang NK. 2014. Guide book for person in charge of wetland policy. National Institute of Environmental Research. (in Korean)
- Lee KK · Seong HC · Tang HK · Lee JH · Kim MS · Jeong HY · Lee KH · Yeon JK · Kim KR · Lee YJ · Lee MJ · Park ES · Hwang SY · Shin YK. 2010. Classification of national wetland by type and grade · Wetland Restoration Manual by Type. Ministry of Environment. (in Korean with English summary)
- Lee SM · Myeong HH. 2015. Vegetation and Landscape Analysis and Management Methods of Ip-am Wetland in the Naejang National Park. Korean Journal of Ecology and Environment, 48(1), 26-31. (in Korean with English summary)
- Lee ST. 1997. 韓國植物檢索集 / Seoul: Academybooks. (in Korean)
- Lewis, Roy. 1990. Wetlands restoration/creation/enhancement terminology: Suggestions for standardization. Wetland Creation and Restoration: The Status of the Science. 417-422
- Li, W., Tan, R., Yang, Y., & Wang, J. 2014. Plant diversity as a good indicator of vegetation stability in a typical plateau wetland. Journal of Mountain Science, 11(2), 464-474
- McDonald T, Gann GD, Jonson J, and Dixon KW. 2016. International standards for the practice of ecological restoration - including principles and key concepts. Society for Ecological Restoration, Washington, D.C.
- Nam JM · Cho HS and Kim JG. 2015. Effect of Plant Life Cycle on Plant Settlement in Diverse Water Level. Journal of Wetlands Research, 17(1), 19-25. (in Korean with English summary)
- National Environment Information Network System. 2018.11.1. <http://www.neins.go.kr/etr/ecology/doc02b.asp>. (in Korean)
- National Institute of Korean Language. 2018.11.1. https://opendict.korean.go.kr/dictionary/view?sense_no=750958&viewType=confirm(in Korean)
- National wetlands center. 2018.11.1. <http://www.wetland.go.kr/information/marshyValue.do>. (in Korean)
- Park HK. 2018. A study on the vegetation change and management method of ecological restoration site. Dankook University, Masters dissertation. (in Korean with English summary)
- Raunkiaer, C. 1934. The life forms of plants and statistical plant geography: being the collected papers of C. Raunkiaer. Clarendon press, Oxford, England.
- Society for Ecological Restoration Science & Policy Working Group. 2002. The SER Primer on Ecological Restoration.
- Son DJ · Lee HHM · Lee EJ · Cho KH and Kwon DM. 2015. Flora and Vegetation Structure in a 15-Year-Old Artificial Wetland. Ecology and Resilient Infrastructure, 2(1), 54-63. (in Korean with English summary)
- Song HK · Park GS · Park HR · So SK · Kim HJ and Kim MY. 2006. Vegetation and Soil Properties of a Forest Wetland in Jangdo,

- Sinan-Gun. Korean Journal of Environment and Ecology, 20(4), 407. (in Korean with English summary)
- Sung KJ · Yee YM · Chung YH and Park SY. 2010. Development of Phragmites communis Expansion Control Methods at the Wetland Ecological Park. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 13(5), 1-11. (in Korean with English summary)
- The Ramsar Convention on Wetland. 1971. Final Act of the International Conference on the Conservation of Wetlands and Waterfowl.
- The U.S. Department of Agriculture. 2003. ECS 190-15 Wetland Restoration, Enhancement, Management & Monitoring. 425 pp
- Weisner, Stefan & Thiere, Geraldine. 2010. Effects of vegetation state on biodiversity and nitrogen retention in created wetlands: A test of the biodiversity-ecosystem functioning hypothesis. Freshwater Biology. 55. 387-396. 10.1111/j.1365-2427.2009.02288.x.
- Wetzel, P. R. & van der Valk, A. G. 1996. Vesicular arbuscular mycorrhizae in prairie pothole wetland vegetation in Iowa and North Dakota. Can. J. Bot. 74: 883-890
- Yi JY · Kim MJ · Yang BG · Kim TK · Choi TY · Park SJ · Kim HG · Oh GJ · Rho BH and Park SB. 2010. Ecosystem Assessment Division, Ecology Research Department National Institute of Environmental Research Korea Environment Institute. Nakdong Estuary Eco Center. (in Korean with English summary)
- You JH · Park KH and Lee WS. 2017. Vascular Plants Distributed in Hwapocheon Wetland, Gimhae, Gyeongnam. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology, 20(2), 61-77. (in Korean with English summary)

Appendix 1. List of plant species in each study sites

Class	Family	Scientific name (Korean name)	Incheon Yeonhui (2018)	Busan Igidae (2018)	Iksan Sorasan (2018)
	Aizoaceae	<i>Lampranthus spectabilis</i> (Haw.) N. E. Br. (송엽국)		○	
	Apiaceae	<i>Peucedanum japonicum</i> Thunb. (갯기름나물)		○	
	Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i> (서양민들레)			○
	Asteraceae	<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i> (O. Kuntze) Hara (왕고들빼기)		○	
	Asteraceae	<i>Rudbeckia bicolor</i> Nutt. (원추천인국)		○	
	Asteraceae	<i>Cosmos bipinnatus</i> Cav. (코스모스)	○		
	Asteraceae	<i>Coreopsis lanceolata</i> L. (큰금계국)		○	
	Asteraceae	<i>Farfugium japonicum</i> (털머위)		○	
	Asteraceae	<i>Aster spathulifolius</i> (해국)		○	
	Balsaminaceae	<i>Impatiens textori</i> Miq (물봉선)			○
	Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i> L. (붕어마름)	○		
	Compositae	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers. (개망초)		○	
	Compositae	<i>Xanthium strumarium</i> var. <i>japonicum</i> HARA (도꼬마리)			○
	Compositae	<i>Bidens frondosa</i> L. (미국가막사리)	○		○
	Crassulaceae	<i>Sedum kantschaticum</i> (기린초)		○	
	Cruciferae	<i>Cardamine flexuosa</i> With. (황새냉이)			○
	Cucurbitaceae	<i>Actinostemma lobatum</i> (Maxim.) Franch. & Sav (뚜껍덩굴)			○
	Fabaceae	<i>Trifolium repens</i> (토끼풀)			○
	Gentianaceae	<i>Nymphoides peltata</i> (S.G. Gmel.) Kuntze (노랑어리연꽃)		○	○
	Haloragaceae	<i>Myriophyllum verticillatum</i> (물수세미)	○	○	○
	Haloragaceae	<i>Myriophyllum spicatum</i> (이삭물수세미)	○		
Dicotyledonae	Labiatae	<i>Stachys japonica</i> Miq. (석잠풀)	○		
	Moraceae	<i>Humulus japonicus</i> (환삼덩굴)			○
	Myrsinaceae	<i>Ardisia japonica</i> (자금우)		○	
	Nymphaeaceae	<i>Nymphaea tetragona</i> Georgi (수련)		○	
	Nymphaeaceae	<i>Nelumbo nucifera</i> (연꽃)		○	
	Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> L. (랭이밥)			○
	Pittosporaceae	<i>Pittosporum tobira</i> (돈나무)		○	
	Polygonaceae	<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zucc.) H.Gross (고마리)	○		○
	Polygonaceae	<i>Rumex obtusifolius</i> (돌소리쟁이)			○
	Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i> L. (소리쟁이)		○	○
	Polygonaceae	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Delarbre (여뀌)			○
	Salicaceae	<i>Salix gracilistyla</i> (갯버들)	○	○	○
	Salicaceae	<i>Salix pseudo-lasiogyne</i> (능수버들)	○		○
	Salicaceae	<i>Salix koreensis</i> Andersson (버드나무)	○	○	○
	Salicaceae	<i>Salix glandulosa</i> SEEM. (왕버들)	○		○
	Salicaceae	<i>Salix matsudana</i> for. <i>tortuosa</i> (용버들)		○	
	Scrophulariaceae	<i>Veronica pusanensis</i> Y.Lee (부산꼬리풀)		○	
	Scrophulariaceae	<i>Mazus pumilus</i> (Burm.f.) Steenis (주름잎)	○		
	Scrophulariaceae	<i>Veronica anagallisaquatica</i> (큰물청개나물)			○
	Theaceae	<i>Camellia japonica</i> L. (동백나무)		○	
	Trapaceae	<i>Trapa japonica</i> (마름)	○		
	Umbelliferae	<i>Oenanthe javanica</i> DC. (미나리)			○

Appendix 1. continue

Class	Family	Scientific name (Korean name)	Incheon Yeonhui (2018)	Busan Igdæ (2018)	Iksan Sorasan (2018)
	Alismataceae	<i>Sagittaria trifolia</i> L. (벧풀)	○		
	Commelinaceae	<i>Commelina communis</i> (닭의장풀)	○	○	
	Commelinaceae	<i>Murdannia keisak</i> (Hassk.) Hand.-Mazz. (사마귀풀)	○		
	Cyperaceae	<i>Cyperus amuricus</i> Max. (방동사니)	○		○
	Cyperaceae	<i>Schoenoplectus triangulatus</i> (Roxb.) Soják (송이고랭이)		○	
	Cyperaceae	<i>Eleocharis kuroguwai</i> Ohw (올방개)			○
	Gramineae	<i>Phragmites communis</i> Trin (갈대)	○		○
	Gramineae	<i>Phalaris arundinacea</i> L. (갈풀)	○		
	Gramineae	<i>Setaria viridis</i> (강아지풀)		○	
	Gramineae	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (물억새)	○		○
	Gramineae	<i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Sprengel (수크령)	○		
	Gramineae	<i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Turcz. ex Stapf (줄)	○		○
	Hydrocharitaceae	<i>Hydrilla verticillata</i> (L.f.) Royle (검정말)	○		
Monocotyledonae	Iridaceae	<i>Iris ensata</i> var. <i>spontanea</i> (꽃창포)		○	
	Iridaceae	<i>Iris pseudacorus</i> L. (노랑꽃창포)	○	○	
	Iridaceae	<i>Iris sanguinea</i> (붓꽃)	○		
	Juncaceae	<i>Juncus decipiens</i> (Buchenau) Naka (골풀)			○
	Lemnaceae	<i>Spirodela polyrhiza</i> (개구리밥)		○	○
	Lemnaceae	<i>Lemna paucicostata</i> (좁개구리밥)	○	○	○
	Liliaceae	<i>Liriope muscari</i> (Decne.) L.H.Bailey (맥문동)		○	
	Liliaceae	<i>Hemerocallis</i> L. (원추리)		○	
	Pontederiaceae	<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i> (Roxb.) Solms (물옥잠)			○
	Pontederiaceae	<i>Monochoria korsakowii</i> Regel & Maack (물달개비)	○		
	Potamogetonaceae	<i>Potamogeton crispus</i> (말즘)	○		○
	Typhaceae	<i>Typha orientalis</i> (부들)	○	○	○
	Typhaceae	<i>Typha angustifolia</i> L. sensu lato (애기부들)	○	○	○
	Typhaceae	<i>Typha laxmanni</i> Lepech. (꼬마부들)	○		
Pteridophyte	Equisetaceae	<i>Equisetum arvense</i> L. (쇠뜨기)			○