한국습지학회지 제11권 제1호, 2009년 4월 (39 - 48)

# 비정수식물의 인공습지도입을 위한 자연습지토양 발아실험

이 용 민* / 강 대 석** / 성 기 준***+

# Germination Experiments using Natural Wetland Soil for Introducing Non-emergent Plants into a Constructed Wetland

Yong min Yi* / Daeseok Kang** / Kijune Sung***+

**요약** : 습지식물은 습지의 일차생산자로서 습지 내의 다른 생물뿐만 아니라 습지토양, 수문 등과 같은 무생물 환경요인과 다양한 상호작용을 함으로써 습지의 기능에 큰 영향을 미친다. 따라서 습지식생은 습지 설계에서 중요하게 고려해야 하는 인자이다. 본 연구에서는 인공습지를 조성할 때 식물도입방법으로 다양한 습지식물의 씨앗을 함유한 자연습지토양의 활용성을 알아보기 위하여 습지 mesocosm을 제작한 다음 수심과 자연습지토양 함유량에 따른 수생식물의 출현종과 성장 정도를 조사하였다. 자연습지토양의 발아실험에서 7종의 습지식물이 출현하였는데, 이 가운데 5종은 토양 채취지점인 서낙동강의 식물종과 일치하였으나 2종은 발아실험에서 새롭게 출현하였다. 수심에 따른 출현 식물 개체수는 침수 조건에서 15개체가 출현하여 2개체만 출현한 습윤조건에 비해 훨씬 더 많은 개체가 출현하였다. 자연습지토양의 혼합비율에 따른 출현 개체수는 자연습지토양이 100%일 때 개체수가 가장 많았으며, 자연습지토양의 비율이 50%, 75%, 25%의 순으로 나타났다. 모든 습지실험조에서 출현한 검정말과 붕어마름의 성장 정도를 살펴보면, 검정말은 자연습지토양의 비율이 50%인 조건에서 가장 활발히 성장하였으며 붕어마름은 100% 자연습지토양에서 가장 좋은 성장을 보였다. 자연습지토양 함유량에 따른 식물성장실험 결과 자연습지토양의 혼합비율이 50%인 조건에서도 식물의 성장이 원활하여 자연습지토양과 인공습지 조성지역 토양을 1:1로 혼합하여도 인공습지에서 식물의 안정된 활착에 문제가 없을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 자연습지토양, 토양종자은행, 침수식물, 조성습지, 습지식물도입

**Abstract** : Wetland plants are an important component for wetland design and construction because they determine functions of wetlands through interactions with the abiotic environment such as wetland soil and hydrology as well as with other wetland organisms. In this study, germination experiments with soils from a natural wetland that contain seeds of wetland plants were conducted in wetland mesocosms to investigate the applicability of natural wetland soils for introducing and establishing wetland plants into constructed wetlands. Seven species were germinated in the experiment, with two new species that were not found in the field survey of wetland plants in the West Nakdong River area, Korea. The number of plant individuals germinated in submerged conditions (15 individuals) was much greater than that in waterlogged conditions (2 individuals). In experiments in which soils from a natural wetland and a wetland construction site were mixed at different ratios, the largest number of plant individuals was observed in the condition with 100% natural wetland soil. The highest growth was observed at 50% natural wetland soil for *Hydrilla verticillata* and 100% for *Ceratophyllum demersum.* These results suggest that 1:1 mixture of soils from natural wetland wetlands and wetland construction sites would provide an appropriate condition for secure establishment of submerged plants in constructed wetlands.

**Keywords** : Natural Wetland soil, Soil seed bank, Submerged plant, Constructed wetland, Wetland plant introduction

+ Corresponding author : ksung@pknu.ac.kr
* 비회원 · 부경대학교 생태공학과 대학원 · 석사과정
** 정회원 · 부경대학교 생태공학과 교수
*** 정회원 · 부경대학교 생태공학과 교수

# 1. 서 론

습지는 생산성이 높고, 홍수방지, 수질 정화, 지하수 공급, 휴식 공간의 기능을 가질 뿐만 아니라 질소, 황, 메탄 등의 지구적 순환에 매우 중요한 역할을 하기 때문에 최근 습지의 복원과 조성이 많은 관심을 끌고 있다(Cronk and Fennessy, 2001). 수문, 토양과 함께 습지 시스템을 구성하는 주요 요소인 식생은 물새나 어류, 저서생물 등의 먹이로 직접 이용되기도 하며, 부착생물의 착생부위나 수서생물의 산란장, 양육장 및 은신처로서 생태적 기능을 담당한다. 정수식물은 바람 에너지를 흡수함으로써 부유물질의 침전을 촉진하고 토양의 안정화에 기여한다(EPA, 2000). 비정수성 식물은 광합성을 통하여 수중과 저토에 산소를 공급함으로써 근계와 저토에 서식하는 미생물의 분해효율을 높여 수질정화에 도움을 준다. 또한 이들 식물은 수층으로 유입하는 빛을 차단함으로써 식물플랑크톤의 발생을 억제하는데 기여하며, 영양물질을 흡수하여 수질정화에 긍정적인 역할을 한다(윤해순 등, 2002). 이러한 식생은 고사한 뒤에는 미생물의 신진대사에 필요한 유기 탄소를 공급하는 역할을 하므로 습지를 조성하거나 복원할 경우 식생은 중요한 설계 인자로서 작용하게 된다. 따라서 습지식생의 선정이나 도입은 식생의 생활형이나 서식환경 등을 고려하여 신중하게 접근해야 한다.

침수식물이 우점한 습지시스템은 정수식물이 우점한 습지와 다른 영양염류 제거 메커니즘을 가지는데, 침수식물은 수체내의 영양염류를 직접 흡수하고 pH 조절을 통해서 인의 흡착능을 증가시킨다(Dierberg et al., 2002). 침수식물은 광합성을 수행하는 경엽부가 물속에 완전히 잠겨 있어 수중생태계에서 물질생산과 영양소 순환에 직접적인 영향을 미치므로 습지조성시 침수식물 도입의 중요성이 계속 부각되고 있다(조강현 등, 1996). 따라서 인공습지를 조성할 때 정수식물만 이용하는 것보다는 다양한 비정수식물을 함께 식재하는 것이 영양염류 제거효율을 높이는 방법이 될 수 있다. 또한 다양한 식물의 복합 식재는 식물사이의 상호 보완작용으로 인해 병충해 및 천적의 공격에 대한 저항성이 증가할 수 있으며, 여러 생물들에게 서식환경 및 먹이공급 등의 효과도 기대할 수 있다(Mitsch and Gosselink, 2000).

식물을 습지에 도입하는 방법에는 식물 옮겨심기, 종자살포, 자연습지토양을 이용한 방법이 있는데, 침수식물의 경우에는 물속에서 생활할 뿐만 아니라 잎, 줄기가 연약하기 때문에 직접 식물을 옮겨 심는 방법보다는 습지식물의 종자를 함유한 자연습지토양을 이용하는 방법이 적합한 식물 도입 방법이 될 수 있다. 또한 습지식물은 교란이 일어나면 대다수가 습지토양 속에 종자은행을 구성하여 생존하기 때문에(Warwick and Brock, 2003), 이를 이용하여 식물을 도입할 경우 그 지역에 서식하였던 다양한 식물의 출현을 기대할 수도 있다. 그러나 자연습지토양을 이용하여 인공습지에 식물을 직접 도입하고자 할 경우 습지식물의 발아율이나 성장률이 인공습지 조성여건과 환경조건에 따라 달라질 수 있기 때문에 이에 대한 연구가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 다양하고 풍부한 습지식물 종자를 함유한 자연습지토양을 채취하고, 이들 식물의 서식환경을 파악하기 위하여 서낙동강의 8개 지점에서 식생 현황, 수질 및 저질 특성을 조사하였다. 또한 자연습지토양의 효과적이고 적합한 적용 환경을 찾기 위해서 수위에 따른 식물 출현수와 자연습지토양 함유량에 따른 식물 출현수와 성장정도를 파악하였다.

습지에서 수위는 산소, 염, 빛 등에 영향을 미치기 때문에 습지 식물의 발아에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 알려져 있다(Casanova and Brock, 2000). 한편 습지에 침수식물을 도입하기 위하여 자연습지토양을 이용하고자 할 경우 무분별한 습지토양의 채취는 오히려 기존 습지를 훼손할 수 있으므로 가능한 토양 채취량을 최소로 해야 한다. 이를 위해서 본 연구에서는 자연습지토양을 이용하여 식생을 도입할 경우 자연습지토양의 함유량에 따른 식물 발아 개체수를 조사하여 습지 조성시 조성지의 토양과 자연습지토양의 적

절한 혼합비율을 찾고자 하였다. 또한 자연습지토양의 함유량에 따른 성장정도를 파악함으로써 식물의 발아와 안정된 식생의 정착 가능성을 알아보고자 하였다.

## 2. 재료 및 실험 방법

### 2.1 실험방법

#### 2.1.1 서낙동강 식생현황 및 저질특성 조사

본 연구에서 자연습지토양의 채취 대상지역으로 선정한 서낙동강은 부산광역시 강서구와 경상남도 김해시 대동면의 경계지역 동경 128° 59′, 북위 35° 13′지점에서 낙동강 본류로부터 분기하는데, 1934년에 농업용수로 이용하기 위하여 대저수문과 녹산수문이 설치된 이후 수문관리에 따라 본류로부터 유입과 배수가 이루어지는 반호수적인 수문특성을 가지고 있다(김구연, 2002). 하상경사는 1/24,000~1/30,000 정도의 완경사로 강변에 수생식물이 풍부하지만, 물의 흐름이 정체되어 수질오염이 심한 곳으로 알려져 있다(정하영·조경제, 2003).

식생현황 조사는 배를 이용하여 서낙동강 상류 8지점에 접근한 후(Fig. 1), 각 지점에서 3반복으로 0.25m$^2$ (50cm × 50cm) 방형구를 설치하고 방형구내의 출현종을 채취하였다. 출현 습지식물종은 원색대한식물도감(이창복, 2003)을 기준으로 동정하였다. 이중 정수식물을 제외한 비정수식물을 대상으로 건물생산능력을 분석하기 위하여 방형구내의 수생식물을 종별로 구분한 후 60℃ dry oven에서 항량이 될 때까지 건조하여 건물중을 칭량하였다. 건물중과 방형구 면적을 이용하여 수생식물 종별 단위면적당 건물생산능력을 계산하였다. 또한, 상대발생빈도와 절대발생빈도는 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

상대발생빈도 : (해당초종의 절대발생빈도/모든 초종의 절대발생빈도합계)×100

절대발생빈도 : (해당초종이 발생된 조사지점수/총 조사지점수 합계)×100

상대건물중 : (해당초종의 건물중/모든 초종의 건물중의 합)×100

수생식물이 자라고 있는 지역의 저질특성을 살펴보기 위하여 길이 2m, 지름 5cm의 아크릴 코어를 이용하여 대상지역의 저질을 채취한 후 토성은 현장에서 간이 측정법을 이용해서 측정하였고(Brady and Weil, 2002), pH, CEC, 염농도, 질소, 인산은 국립농업과학원의 토양분석방법(농업기술연구소, 1988)을 참조하여, 강열감량과 COD는 해양환경공정시험방법(환경부, 2004)에 따라 분석하였다.

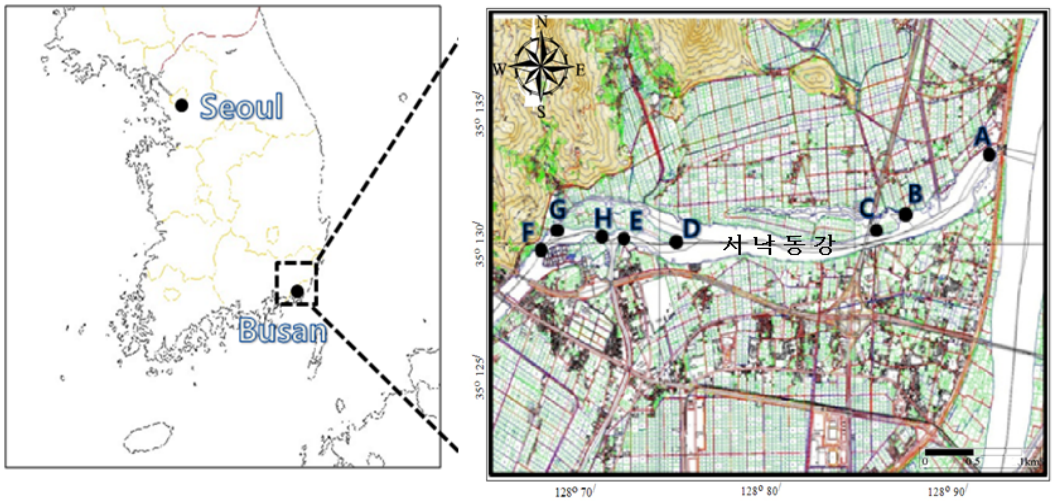



Fig. 1. Map of the study area in the upper reach of the West Nakong River, Korea

#### 2.1.2 자연습지토양의 발아실험

자연습지토양은 식생현황 조사에서 가장 다양하고 풍부한 식물종이 나타난 서낙동강 B지점에서 2008년 3월 5일에 채취하였다. 채취한 토양은 20일 동안 4℃에서 냉장 보관 후 실험에 이용하였다. 실험에 이용된 습지 mesocosm의 크기는 가로 40cm, 세로 40cm, 높이 80cm로 투명 아크릴 재질로 제작하였으며, 빛이 직접 퇴적층에 들어가지 못하도록 mesocosm의 옆면과 바닥을 검은색 천으로 차단하였다.

또한 실제 인공습지 조성지역과 비슷한 환경을 만들어주기 위해서 인공습지 조성예정지역에서 가져온 모래 41%, 미사 49%, 점토 9%의 미사질양토를 5cm 정도 두께로 mesocosm 바닥에 깔아주었다. 수위에 따른 식물 출현 개체수를 관찰하기 위해서 인공습지 조성 예정지역 토양위에 서낙동강에서 채취한 자연습지토양 4.5kg을 두 개의 습지 mesocosm에 각각 넣어준 뒤, 증류수를 이용하여 하나는 수위 30cm를 계속해서 유지해주고(submerged), 다른 하나는 수위가 약 1cm가 되도록 하였다(waterlogged). 실험 시작 53일 이후 각 습지 mesocosm에 나타난 식물 출현 개체수를 파악하였다.

자연습지토양의 함유량에 따른 출현종과 출현개체수, 성장정도를 비교 분석하기 위해 수위를 30cm로 동일하게 유지한 4개의 mesocosm에 자연습지토양과 인공습지 조성지역 토양을 비율을 달리하여 투입하였는데, 자연습지토양을 무게비로 각각 100%, 75%, 50%, 25%로 혼합하였다. 모든 실험은 온실에서 이루어졌으며 기온은 27±3℃로 측정되었다. 램프를 이용하여 15시간 : 9시간의 광주기를 주었으며, 빛이 있는 동안 물 속 15cm 지점에서 측정한 4개의 습지 mesocosm에서 빛의 세기는 1.97±0.83mmol/$m^2$·s를 나타냈다. 습지 mesocosm에서 발아한 습지식물은 대한식물도감을 참조해서 동정하였고, 발아한 식물은 주 1회 지상부의 길이를 측정하여 성장정도를 파악하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 자연습지토양 채취지역의 수생식물현황 및 저질특성

#### 3.1.1 수생식물현황

서낙동강의 8개 지점에서 식생현황을 조사한 결과 대가래(*Potamogeton malaianus*), 실말(*Potamogeton berchtoldii*), 생이가래(*Salvinia natans*), 톱니나자스말(*Najas minor*), 마름(*Trapa japonica*), 애기마름(*Trapa pseudo-incisa*), 붕어마름(*Ceratophyllum demersum*), 좀개구리밥(*Lemna paucicostata*), 가시연꽃(*Euryale ferox*), 연꽃(*Nelumbo nucifera*), 노랑어리연꽃(*Nymphoides peltata*), 검정말(*Hydrilla verticillata*), 나사말(*Vallisneria asiatica Miki*), 자라풀(*Hydrocharis dubia*) 등 총 9과 14종의 수생식물이 발견되었다. 이중 부엽식물이 6종, 침수식물이 6종, 부수식물이 2종을 차지하였다. 윤 등(2002)의 조사에서 나타난 식물종과 비교한 결과 톱니나자스말과 애기마름을 제외한 12종은 모두 일치하여 서낙동강의 식물종에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

각 식물별 식물상대발생빈도를 보면 침수식물인 붕어마름이 21.5%로 가장 높았으며, 검정말(16.5%), 좀개구리밥(13.9%), 나사말(10.1%), 자라풀(10.1%) 등의 발생빈도가 높았다. 식물별 상대건물중은 붕어마름이 28.2%로 가장 높았으며, 부엽식물인 자라풀 17.9%, 검정말 15.6%의 순으로 높았다(Table 1). 식물별 상대발생빈도와 상대건물중을 고려할 때 상대발생빈도와 상대건물중 모두 높은 값을 보인 붕어마름과 검정말이 자연습지토양을 이용하여 습지식물을 도입할 때 발아에 성공하거나 성장이 좋을 가능성이 높은 것으로 판단된다.

조사 지점별 식생 현존량을 파악하기 위해서 각 조사지점에서 출현한 식물에 대해서 단위면적당 건중량을 조사하였다(Table 2). 조사지점 가운데 상류에 위치한 B지점에서 가장 많은 식물종이 출현하였으며, 건중량 또한 가장 높았다.

Table 1. Relative occurrence frequency and relative dry weight of wetland plants surveyed in the West Nakdong River. Korea

| Family | Species | life form | relative occurrence frequency (%) | relative dry weight (%) |
|---|---|---|---|---|
| *Ceratophyllaceae* | *Ceratophyllum demersum* | Submerged | 21.52 | 27.4 |
| *Hydrocharitaceae* | *Hydrilla verticillata* | Submerged | 16.46 | 15.6 |
| *Lemnaceae* | *Lemna paucicostata* | Floating | 13.92 | 12.9 |
| *Hydrocharitaceae* | *Vallisneria asiatica* | Submerged | 10.13 | 1.8 |
| *Hydrocharitaceae* | *Hydrocharis dubia* | Floating leaved | 10.13 | 16.0 |
| *Trapaceae* | *Trapa japonica* | Floating leaved | 8.86 | 9.1 |
| *Trapaceae* | *Trapa pseudo-incisa* | Floating leaved | 3.80 | 2.5 |
| *Potamogetonaceae* | *Potamogeton malaianus* | Submerged | 3.80 | 2.2 |
| *Menyanthaceae* | *Nymphoides peltata* | Floating leaved | 3.80 | 2.5 |
| *Nymphaeaceae* | *Euryale ferox* | Floating leaved | 2.53 | 1.4 |
| *Potamogetonacea* | *Potamogeton berchtoldii* | Submerged | 1.27 | 0.2 |
| *Salviniaceae* | *Salvinia natans* | Floating | 1.27 | 0.1 |
| *Najadaceae* | *Najas minor* | Submerged | 1.27 | 1.0 |
| *Nymphaeaceae* | *Nelumbo nucifera* | Floating leaved | 1.27 | 7.3 |
| *Potamogetonaceae* | *Potamogeton cristatus* | Submerged | · | · |
| *Potamogetonaceae* | *Potamogeton crispus* | Submerged | · | · |
| *Pontederiaceae* | *Eichhornia crassipes* | Floating | · | · |
| *Araceae* | *Pristia stratiotes* | Floating | · | · |
| Submerged: 6 Floating leaved : 6 Floating : 2 | | | | |

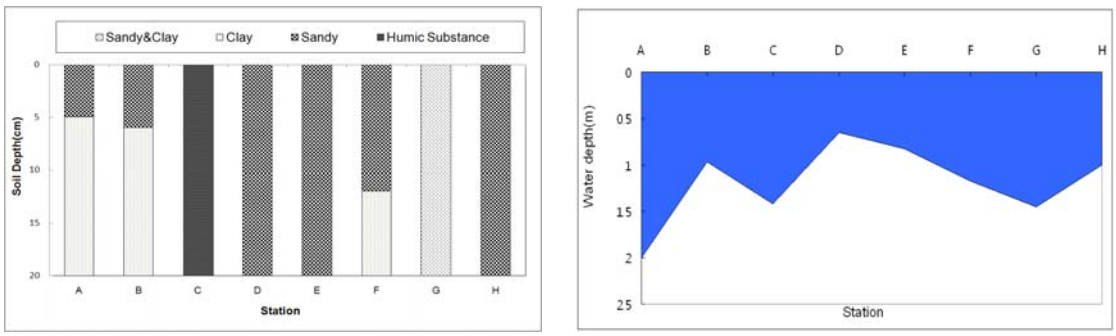
Table 2. Plant species and their dry weights at the survey sites in the West Nakdong River, Korea

| Species | Station | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | sum |
| *Euryale ferox* | | 18.7 | | | | | | | 18.7 |
| *Hydrilla verticillata* | 0.7 | 83.3 | 2.0 | 28.7 | 34.7 | | 3.3 | 50.0 | 202.7 |
| *Vallisneria verticillata* | 2.0 | 2.0 | | 2.0 | 2.7 | 6.0 | 3.3 | 6.0 | 24.0 |
| *Nymphoides peltata* | 33.1 | | | | | | | | 33.1 |
| *Potamogeton malaianus* | 8.0 | | | | | | 20.7 | | 28.7 |
| *Trapa japonica* | 22.4 | 12.0 | | 8.7 | | | 60.7 | 14.0 | 117.7 |
| *Ceratophyllum- demersum* | 107.7 | 30.0 | | 35.3 | 60.7 | 46.0 | 46.0 | 30.0 | 355.7 |
| *Salvinia natans* | | | | | 0.7 | | | | 0.7 |
| *Potamogeton berchtoldii* | | | | | | | | 2.0 | 2.0 |
| *Trapa pseudo-incisa* | | | | 14.7 | | 18.0 | | | 32.7 |
| *Nelumbo nucifera* | | | 95.2 | | | | | | 95.2 |
| *Hydrocharis dubia* | | 164.7 | 6.0 | | 22.7 | | | 14.0 | 207.3 |
| *Lemna paucicostata* | | 81.3 | 2.0 | 36.0 | 12.0 | 30.0 | | 6.0 | 167.3 |
| *Najas minor* | | | | | | | 12.7 | | 12.7 |
| *Sum* | 173.9 | 392.0 | 105.2 | 125.3 | 133.3 | 100.0 | 146.7 | 122.0 | 1298.4 |

### 3.1.2 저질특성

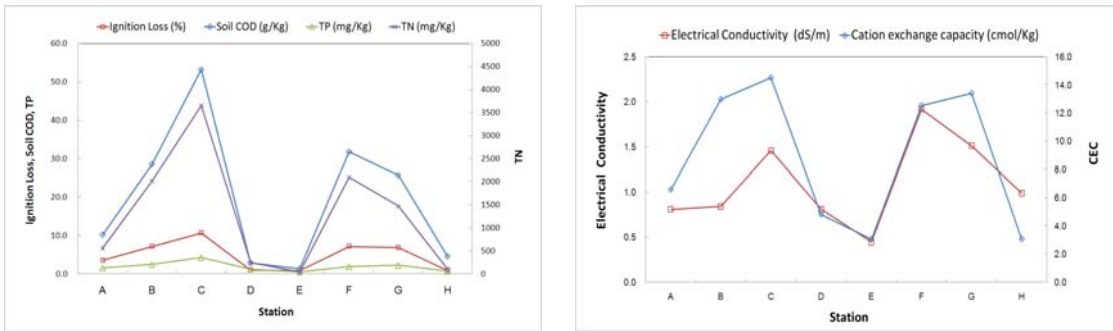
서낙동강 수생식물의 서식환경 특성을 살펴보기 위하여 길이 2m, 지름 5cm의 아크릴관을 이용하여 저질을 채취하였다. 조사지점별로 하천바닥의 저질 상태를 살펴보면, A지점의 저질은 상부 5cm까지 사질을 이루었고, 그 이하는 니질이 대부분을 차지하였다. B지점의 경우는 상부 6cm까지 사질이었고, 그 이하는 니질이었다. C지점은 채취된 모든 저질이 부식층을 이루었으며, D지점, E지점, H지점은 저질이 모두 사질로 구성되었다. F지점에서는 상부 12cm까지 사질, 그 이하는 니질이었고, G지점에서는 사질과 니질이 각각 50%씩 섞여 있었다(Fig. 2(a)).

조사지점별 수심은 Fig. 2(b)에 나타내었다. 지점A와 같이 수심이 2.4m로 깊은 지역도 있었으나, 평균 수심이 1.24±0.54m로 대부분 1m 내외였다. 출현 식물종과 건중량이 가장 높았던 B지점의 수심도 1m 내외인 것으로 밝혀졌다. 수심은 식물의 발아 및 성장에 큰 영향을 줄 수 있는 요인으로 습지의 형태와 수문조건과의 관계에 의하여 형성되므로 적절한 습지 형태의 유지와 습지의 수문 조절은 인공습지의 식생관리에 있어서 중요한 요인이 될 수 있다. 한편 강열감량, 저질 COD, 총인, 총질소가 가장 높게 나타난 지역은 연꽃이 우점하고 있던 C지역이었으나(Fig. 3), 출현 식물의 종류는 가장 적었다. 본 조사결과를 종합하면, 나사말은 사질 토양에 주로 서식하였으며, 검정말과 붕어마름은 전 지역에서 골고루 서식하고 있어 저질의 영향을 비교적 적게 받음을 알 수 있다. 또한 저질실험 결과 저질 중 사질함량과 유기물, 저질 TN 및 TP는 음의 성관관계를 보여주었다.




(a) (b)

Fig. 2. (a) Depth profile of soil texture and (b) water depth of the wetland plant survey sites in the West Nakdong River, Korea




(a) (b)

Fig. 3. Physicochemical soil characteristics at the wetland plant survey sites in the West Nakdong River, Korea

## 3.2 자연습지토양 발아실험 및 성장실험

### 3.2.1 출현 식물종

자연습지토양의 발아실험에서 검정말(*Hydrilla verticillata*), 붕어마름(*Ceratophyllum demersum*), 자라풀(*Hydrocharis dubia*), 좀개구리밥(*Lemna paucicostata*), 나사말(*Vallisneria verticillata*), 솔잎가래(*Potamogeton pecinatus*), 나자스말(*Najas graminea*) 등 총 7종의 습지식물이 발아하였다(Table 3). 이를 서낙동강 식생현황 조사결과와 비교하면, 발아한 7종 가운데 5종이 일치하였고 솔잎가래, 나자스말 2종이 새로 출현하였으며 가시연꽃(*Euryale ferox*)과 마름(*Trapa japonica*)은 발아실험에서 나타나지 않았다. 이러한 결과는 식물종 서식시기의 환경조건과 관련 있는 것으로 판단된다. 서낙동강의 5개소에서 월별 조사를 실시한 김(2002)에 따르면 마름은 5월부터 출현해서 10월까지 발견되었다. 또한 최 등(1997)의 마름종자 발아특성에 관한 연구에 따르면 35℃ 항온조건에서는 마름이 전혀 발아하지 않았고, 30℃이하의 온도조건에서부터 발아가 이루어지기 시작하였으며, 20℃ 및 25℃에서 발아율이 가장 양호하였다. 이러한 연구결과를 종합할 때 마름이 발아하기 위해서는 다른 식물에 비해 다소 낮은 온도가 필요한 것으로 보인다.

서낙동강 식생현황 조사와 발아실험에서 모두 나타난 식물은 자라풀, 검정말, 좀개구리밥, 붕어마름, 나사말이었는데, 김(2002)에 따르면 이들 5종은 6~8월에 주로 나타났다. 이러한 결과는 습지식물 발아에서 온도가 아주 중요한 제한 요소라는 것을 제시하며, 온도를 관측함으로써 인공습지 조성 후 나타나는 식물종을 예측할 수 있을 것으로 보인다. 자연습지토양을 이용하여 인공습지에 식물을 도입할 경우에도 가능한 많은 종의 식물이 나타나도록 하기 위해서는 여름보다는 봄에 식물을 도입하는 것이 적절한 것으로 판단된다.

식생현황 조사에서 나타나지 않고 mesocosm 실험에서 새롭게 출현한 솔잎가래와 나자스말은 식생현황 조사 이전에 이 지역에 서식했던 식물종으로 판단된다. 이는 자연습지토양은 시기에 제한받지 않고 그 지역에 서식했던 모든 식물종을 포함하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 자연습지토양을 이용한 식물 도입 방법은 옮겨심기 방법에 비해 훨씬 더 다양한 식물종을 도입할 수 있는 방법이라고 볼 수 있다.

### 3.2.2 수위에 따른 출현 식물 수

수위에 따른 식물 출현개체수를 53일에 걸쳐 4회 측정하였다. 최종 조사일의 출현 개체수 비교결과 침수조건과 습윤조건에서 각각 15개체, 2개체의 식물이 출현하여, 습윤조건의 식물 출현개체수가 침수조건보다 현저하게 낮았다(Fig. 4). 이는 토양을 채취한 지역이 연중 침수된 지역임을 고려할 때 이 자연습지토양에는 습윤한 상태에서 성장할 수 있는 정수식물의 씨앗이 포함되지 않았으며, 침수식물 또한 조건이 잘 맞지 않아 대부분 발아에 실패한 것으로 판단된다. 또한 습윤 토양에서 나타난 2개체의 식물도 생육조건이 맞지 않아 제대로 생장하지 못하고 고사하였다. 이러한 결과는 온도와 함께 수위가 식물 발아를 결정짓는

Table 3. Comparison of plant species germinated in mesocosm experiments with the survey results in the West Nakdong River, Korea

| Occurred at this experiment and the West Nakdong river | Germinated at this experiment only | Not germinated at this experiment |
|---|---|---|
| *Hydrocharis dubia* | *Potamogeton pecinatus* | *Euryale ferox* |
| *Hydrilla verticillata* | *Najas graminea* | *Trapa japonica* |
| *Lemna paucicostata* | | |
| *Ceratophyllum demersum* | | |
| *Vallisneria verticillata* | | |

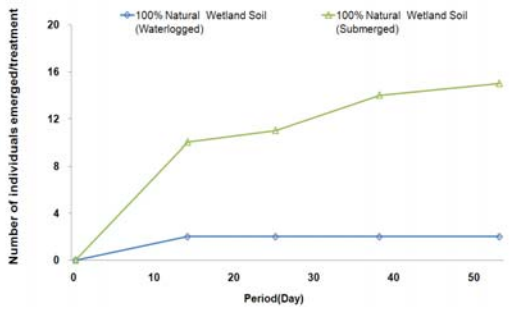



Fig. 4. Number of individuals emerged at different water depth with time

중요한 제한요소이며, 인공습지에 식물을 도입할 경우 적절한 수위 조절이 필요함을 보여준다.

### 3.2.3 자연습지토양 혼합비에 따른 출현개체수

자연습지토양과 인공습지토양의 혼합비율에 따른 식물 출현개체수를 관찰한 결과, 자연습지토양을 100% 사용한 실험에서 15개체로 가장 많은 개체수가 발견되었으며, 50%의 자연습지토양을 혼합한 실험에서 두 번째로 많은 11개체가 출현하였다(Fig. 5). 자연습지토양 혼합비율과 식물 개체수는 서로 상관관계를 나타내지는 않았다. 또한 실험이 이루어지는 동안 자연습지토양을 50% 도입한 습지 mesocosm에서 입자성 물질의 부유가 거의 관찰되지 않았다. 이러한 결과는 인공습지 조성에 활용할 자연습지토양이 제한된 경우에는 자연습지토양과 인공습지 조성지의 토양을 1:1 비율로 섞어서 도입하는 방안이 충분한 대안이 될 수 있음을 보여준다.

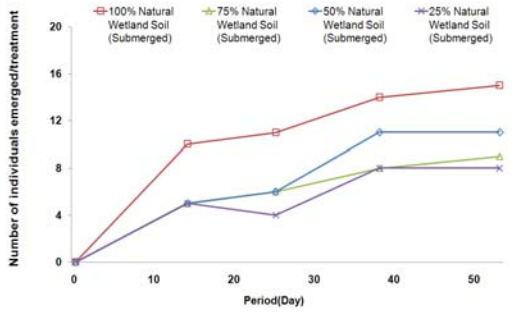



Fig. 5. Number of individuals emerged by the Quantity of the Soil Seed Bank

### 3.2.4 자연습지토양 혼합비에 따른 식물 성장정도

자연습지토양과 인공습지토양의 혼합비율에 따른 식물성장 정도를 모든 습지실험조에서 출현한 두 식물종(붕어마름, 검정말)에 대해서 비교·분석하였다(Fig. 6). 붕어마름의 성장은 자연습지토양을 100% 사용한 습지실험조에서 가장 좋았지만, 검정말은 자연습지토양을 50% 사용한 습지실험조에서 가장 잘 성장하였다. 자연습지토양을 25% 투입한 습지실험조의 경우 검정말은 잘 성장하였지만, 붕어마름은 성장률이 현저하게 낮게 나타났다. 자연습지토양 혼합비율에 따른 식물성장실험에서 검정말의 경우 자연습지토양의 혼합비율이 50%인 조건에서 가장 잘 성장하였고, 붕어마름의 경우도 같은 조건에서 낮은 성장을 보이지 않았기 때문에 인공습지 조성시 자연습지토양과 인공습지 조성지역 토양을 1:1로 섞어서 사용하여도 식물의 안정된 활착에 문제가 없을 것으로 판단된다.

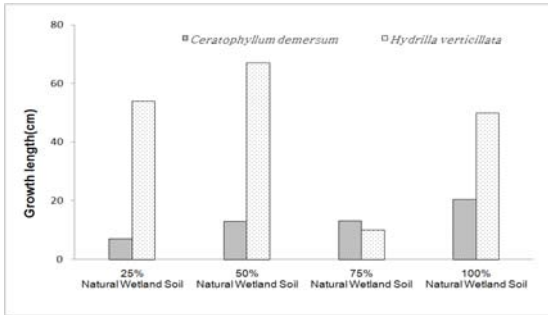



Fig. 6. Growth length by the Quantity of the Soil Seed Bank over 53days

## 4. 결 론

습지의 다양한 기능이 가지고 있는 생태학적, 사회경제적 효과로 인하여 습지의 복원과 조성에 대한 관심이 커지고 있다. 본 연구에서는 습지설계의 중요한 요소가운데 하나인 식생도입과 관련하여 다양한 습지식물의 씨앗을 함유하고 있는 자연습지토양의 활용성을 조사하였다. 습지에 식생을 도입할 때 단일종보다는 생활형에 따른 다양한

식물종을 도입하는 것이 바람직하며, 이를 위해서는 수생식물의 구조적 특이성과 서식특성을 고려하여 자연습지토양을 이용하는 것이 효과적으로 사료된다. 자연습지토양의 발아실험 결과 서낙동강 식생현황 조사지점에서 출현한 식물종 가운데 5종이 습지 mesocosm을 이용한 발아 실험에서도 나타나, 현장에서 조사된 식물의 71%가 발아하였다. 다양하고 풍부한 씨앗을 함유한 자연습지토양을 얻기 위해서는 사전조사를 통하여 토양채취 대상지역에 대한 식생조사가 필요한 것으로 판단된다. 발아실험 및 성장실험 결과 실험조건에 따라 발아하는 식물종과 출현 개체수, 성장정도가 현저하게 다르게 나타났다. 따라서 인공습지에서 식물의 효과적인 발아와 활착을 위해서 자연습지토양 채취지역의 저질특성이나 수심과 같은 식물의 서식환경을 조사하여 인공습지에 식물을 도입할 때 각 식물에 적합한 환경조건을 조성해 주어야 한다. 또한 온도는 식물 발아에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 다양한 식물종의 발아를 위해서는 자연습지토양의 도입 시기를 가능한 이른 봄철로 하는 것이 적합할 것으로 보인다. 자연습지토양을 도입할 때 이용 가능한 자연습지토양의 양이 제한된 환경에서는 자연습지토양과 인공습지 조성지역의 토양을 1:1로 혼합하여 사용하는 것도 좋은 방법이 될 것으로 보인다. 자연습지토양 혼합비율에 따른 식물성장실험에서 검정말의 경우 자연습지토양의 혼합비율이 50%인 조건에서 가장 잘 성장하였고, 붕어마름의 경우도 같은 조건에서 낮은 성장을 보이지 않았기 때문에 인공습지 조성시 자연습지토양과 인공습지 조성지역 토양을 1:1로 섞어서 사용하여도 식물의 안정된 활착에 문제가 없을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 부산지역환경기술개발센터의 2007년도 연구사업비(07-1-70-76)의 지원과 2008년도 교육과학기술부와 한국산업기술재단 지역혁신인력양성사업의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

김구연, 낙동강 하구의 수생관속식물의 분포와 생장에 관한 연구, 석사학위논문, 동아대학교 대학원, 2002.

김춘송, 고지연, 이재생, 황재복, 박성태, 강항원, 서낙동강 유역 하천의 식생 분포특성과 영양염류 정화 수생식물 탐색, 한국환경농학회지, 제25권, 제2호, pp. 147-156, 2006.

농업기술연구소, 토양화학분석법, 1988.

윤해순, 김구연, 김승환, 이원화, 이기철, 서낙동강 수질의 이화학적 특성과 수생관속식물의 분포, 한국생태학회지, 제25권, 제5호, pp. 305-313, 2002.

이창복, 대한식물도감, 향문사, 2003.

정하영, 조경제, 낙동강 하류 수계에서 저층수 및 저질퇴적층의 환경, 한국육수학회지, 제36권, 제3호, pp. 311-321, 2003.

조강현, 신현철, 최홍근, 한강에서 침수식물의 분포에 대한 기초연구, 인하대학교 기초과학연구소 논문집, 제17권, pp. 97-105, 1996.

최정섭, 김진석, 임희경, 곽현희, 조광연, 마름종자의 발아특성에 관한 연구, 한국잡초학회지, 제17권, 제4호, pp. 40-45, 1997.

Brady, N.C. and Weil, R. R., The Nature and Properties of Soils, Prentice Hall, New Jersey, 2000.

Casanova, M.T. and Brock M.A., How do depth duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities? Plant Ecology, Vol. 147, No. 2 pp. 237-250, 2000.

Cronk, J.K. and Fennessy, M.S., Wetland plants : Biology and Ecology, Lewis Publishers, Washington D.C., 2001.

Dierberg, F.E., DeBusk, T.A., Jackson, S.D., Chimmey, M.J., Pietro, K., Submerged

aquatic vegetation-based treatment wetlands for removing phosphorus from agricultural runoff: response to hydraulic and nutrient loading, Water research, Vol. 36, pp. 1409-1422, 2002.

Warwick, N.W.M. and Brock, M.A., Plant reproduction in temporary wetlands : the effects of seasonal timing, depth, and duration of flooding, Aquatic botany, Vol. 77, pp. 153-167, 2003.

Mitsch, W.J. and Gosselink, J.G., Wetlands, 3rd ed. John Wiley, New York, 2000.

EPA, Chesapeake Bay Submerged aquatic vegetation water quality and habitat-based requirements and restoration targets : A second technical synthesis, 2000.