

식재모듈을 활용한 조름나물(*Menyanthes trifoliata* L.) 인공서식지 조성의 효과

허진옥 · 김흥태 · 김철민* · 배연재** · 김재근†

서울대학교 생물교육과

*(주)한국도시녹화

**고려대학교 환경생태공학부

Effects of an Artificial Habitat Creation of *Menyanthes trifoliata* L. Using Planting Module

Jinok Heo · Heung-Tae Kim · Cheol Min Kim* · Yeon Jae Bae** · Jae Geun Kim†

Department of Biology Education, Seoul National University

*Korea Urban Forestation Co., Ltd

**Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University

(Received: 4 November 2014, Revised: 6 November 2014, Accepted: 10 January 2015)

요약

멸종위기종인 조름나물의 인공서식지 조성을 위해 식재 모듈을 이용하여 호수의 가장자리에서 개방수면으로 성장하는 조름나물의 서식 유형을 재현하였다. 간편하게 설치할 수 있고, 관리를 최소화할 수 있는 형태의 서식지를 조성할 목적으로 메조코즘 실험을 수행하고 3년간 모니터링 하였다. 또한 조름나물 식재 모듈이 사용된 메조코즘이 수서 대형무척추동물에게 서식지로서의 기능을 발휘할 수 있는지를 확인하였다. 식재 모듈은 상토와 펄라이트, K-SOIL(바탕에쉬를 활용한 인공경량토양)로 기질 조건을 달리하였고, 이 모듈은 크기가 다른 2종류의 습지박스(1170×2250×300mm³, 900×1360×190mm³)에 설치되었다. 모니터링 결과 조름나물은 잎의 수와 피도에 있어서 기질 조건과 습지박스 크기에 의해 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 잎의 수는 상토(평균 23개)와 K-SOIL(평균 28개) 조건에서는 유사한 생육 상태를 보였지만, 펄라이트(평균 2개)에서는 생육이 불량하였다. 또한 큰 습지박스의 조름나물이 작은 습지박스의 조름나물보다 더 많은 잎을 가졌다(p=0.015). 피도와 지하경의 길이, 지하경의 수에 있어서도 유사한 경향을 나타내었다. 1,145개체를 포함한 수서 대형무척추동물 21개 분류군이 조름나물 메조코즘 내에 서식하는 것을 확인하였으며, 다양도 지수 및 정착 지수 값 또한 주변 인공습지를 대상으로 한 결과와 유사하였다. 이러한 결과들은 조름나물 메조코즘은 수서 대형무척추동물에게 충분히 서식지를 제공할 수 있음을 의미한다. 식재 기질로 상토와 K-SOIL을 사용하고, 조름나물이 성장할 수 있는 개방수면이 확보되도록 모듈을 설치하며, 수심이 약 30cm가 되도록 관리한다면 식재 모듈을 이용한 조름나물 서식지 조성은 성공적일 것이다.

핵심용어 : 메조코즘, 수서 대형무척추동물, 저관리형

Abstract

Habitat creation for endangered species *Menyanthes trifoliata* L. using planting module represents a habitat type such as the rhizome grows horizontally to open water at the margin of the lake. The objectives of this mesocosm experiment are habitat creation with easy construction and low management effort, and to investigate the potential of providing a habitat for aquatic macroinvertebrates. Planting modules had three different substrates of bed soil, perlite and K-SOIL (artificial lightweight soil using bottom ash). These modules were established in two different size of the tub(1170×2250×300mm³, 900×1360×190mm³). According to the monitoring results, number of leaves and coverage of *M. trifoliata* showed significant difference with substrate and tub size. The number of leaves showed similar growth responses in bed soil (mean 22.979) and K-SOIL (mean 28.042) substrates but growth was poor in perlite substrate (mean 1.667). The number of leaves in the large tub was more than small tub (p=0.015). Similar responses were obtained with the coverage, the length of rhizome and the number of rhizome in *M. trifoliata*. A total of 21 taxa of aquatic macroinvertebrates including 1,145 individuals was found in the mesocosm. The Shannon diversity index and colonization index in the mesocosm were similar to the previous studies. These results suggest that the experimental mesocosm could provide sufficient habitats for aquatic macroinvertebrates. If planting modules use bed soil or K-SOIL by planting substrate, establish that taking into account open water surfaces for *M. trifoliata* growth and manage about 30cm of water depth control, then habitat creation for *M. trifoliata* will be successful.

Key words : Aquatic macroinvertebrate, Low management, Mesocosm

† To whom correspondence should be addressed.
Department of Biology Education, Seoul National University
E-mail: jaegkim@snu.ac.kr

1. 서론

조름나물(*Menyanthes trifoliata* L.)은 북반구 온대와 한대 지역에 넓게 분포하는 종이다(Hewett, 1964). IUCN Red List에 의하면 비위협종(Least Concern ver 3.1)으로 지정되었으며, 세계적으로는 안정된 개체군을 유지하고 있다. 그러나 지역에 따라 국지적으로 개체군이 감소하는 지역이 존재한다. 불가리아와 크로아티아, 헝가리, 슬로바키아에서는 멸종위기종(endangered)으로, 체코, 독일, 룩셈부르크, 슬로베니아에서는 취약종(vulnerable)으로 지정되어 보호받고 있다(Akhani, 2014). 미국에서 조름나물은 메릴랜드 주에서 멸종위기종으로, 아이오와 주와 노스캐롤라이나, 오하이오 주에서는 위협종(threatened)으로 분류되어 있다(USDA and NRCS, 2014). 우리나라에서 조름나물은 환경부에서 지정한 멸종위기 II급의 수생식물로, 우리나라 중부와 북부의 몇 곳에만 자연서식지가 남아 있다(Lim, 2010). 조름나물은 산지습지 또는 동해안의 인근 습지 지역에 한정적으로 분포하며, 자생지에서의 개체수 또한 많지 않다(Korea National Arboretum, 2008; Lim, 2010). 대표적으로 알려진 서식지인 대암산 용늪에서도 조름나물은 물웅덩이 주변에 제한적으로 분포하고 있어 특별한 보호관리가 요구되고 있다(Choi and Heo, 2009; Lee, 2010).

보호종에 대한 관리는 자생지를 보존하는 것이 가장 우선시되어야 한다. 그러나 조름나물과 같이 몇 개의 제한된 자생지를 가지는 보호종의 경우, 자생지 내 교란이나 서식지 파괴에 의해 종의 유지가 위협받을 수 있다. 그러므로 현지 외 보존 전략도 필요하다. 현지 외 종 보존의 방법 중 서식지 조성에는 대상종의 생태적 특성을 파악하여 반영하는 것이 중요하다(Box, 1996). 마찬가지로 조름나물이 지속될 수 있는 서식지 조성을 위해서는 자생지의 조름나물이 서식하는 환경과 조름나물의 특성을 파악하여 조성되는 서식지에 반영하여야 한다.

국내 자생지의 조름나물 서식 유형은 4가지로 구분할 수 있다. 산지습지인 대암산 용늪에서는 물이끼에 의해 형성된 이탄층에서 서식하며(Choi and Koh, 1989; Lee, 2010), 강원도 태백의 산지 연못에서는 조름나물의 지하경과 뿌리가 얽혀 이루어진 식물섬(floating island)의 형태로 다른 기질 없이 물에 떠서 서식하고 있다. 동해안의 일부 호수에서는 줄 또는 갈대의 사체와 뿌리, 지하경이 얽혀 이루어진 부유성 매트에서 서식하며, 호수의 가장자리에서는 조름나물이 토양에 뿌리를 내리고 개방수면 방향으로 자란다(Kim et al., 2013). 이 연구에서는 위의 네 가지 서식 유형 중 호수의 가장자리에서 개방수면 방향으로 자라는 서식 유형을 모듈화하여 서식지를 조성하는 방안을 시험해보고자 한다. 이 서식 유형은 대표적인 조름나물의 군집 유형 중 하나로(Hewett, 1964), 토양을 기질로 하는 유형이기 때문에 기질이 없거나, 물이끼 이탄층 또는 부유성 매트와 같은 특수한 기질을 만드는 것보다 쉽게 접근할 수 있는 방식이어서 우선적으로 시험하였다.

모듈을 이용하여 표준화된 식재 방법을 적용한다면 설치가 간편하면서도 관리를 최소화할 수 있는 형태로 조름나물의 인공서식지를 조성할 수 있다. 모듈을 이용한 식물 식재는 옥상이나 벽면과 같이 일반적인 방법으로는 식물 식재가 어려운 인공지반을 녹화시키고자 할 때 주로 이용되고 있다(Ryu and Lee, 2011). 현재까지 습지식물을 대상으로 한 사례는 우리나라에는 없는 상황이며, 일반적으로 습지 조성이 어렵다고 생각되는 옥상과 같은 환경에도 모듈을 이용한다면 간편하게 설치하고 관리할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 식재 기질과 모듈이 설치된 습지박스의 크기 차이에 의한 조름나물 생장을 비교하여, 모듈을 이용한 서식지 조성 시 사용할 기질을 선별하고 저관리형 서식지 조성 방안을 마련하고자 하였다. 식물을 생육시키고자 할 때 주로 사용되는 기질인 상토와 옥상녹화 등에 많이 사용되었던 인공경량토양인 펠라이트, 새롭게 개발된 인공경량토양인 K-SOIL에서의 조름나물 생육 차이를 확인하여 인공서식지 조성 시 활용될 수 있는 기질을 선별하는 것이 이 연구의 목적이다. 또한 인공서식지 조성 시 조름나물의 생장이 원활할 수 있는 서식 공간의 크기를 추정하기 위하여 크기가 다른 두 습지박스를 이용하여 조름나물의 생육 차이를 확인하였다. 더불어 이렇게 조성된 조름나물의 인공서식지가 수서 대형무척동물의 새로운 서식지로서 어느 정도의 생태적 기능을 발휘할 수 있는지 검토하였다.

2. 연구 방법

2.1 식재 모듈

모듈은 토양과 식생을 담을 수 있는 용기로써 배수, 지수, 방근, 필터층 등의 역할을 동시에 수행한다. 모듈은 벽면, 옥상 등 인공지반의 녹화시스템에 주로 사용되며, 식물이 심겨진 상태로 바로 설치할 수 있어 시공이 간편하다. 식생을 미리 식재하여 설치하는 모듈은 경쟁에 약한 조름나물의 서식에 방해가 되지 않는 동반종을 미리 구성할 수 있다. 따라서 종 다양성을 확보하면서도 조름나물의 생육은 방해하지 않을 수 있다. 한편, 모듈은 토심이 깊지 않아 식재할 수 있는 종이 제한된다. 조름나물은 기질이 없는 개방수면으로 지하경을 뻗으며 자랄 수 있는 식물로 깊은 토심을 요구하지 않아 모듈 적용에 있어 유리하다. 본 연구에서는 6층으로 이루어진 12구의 식생패널(GWS-KP, 규격 500×250×120mm³, (주)한국도시녹화)을 이용하여 모듈을 구성하였다.

2.2 실험 설계

모듈을 이용한 서식지 조성관 관리 방안 도출을 위해 메조코즘 실험을 수행하였다. 2011년 7월부터 2014년 5월까지 수행되었으며, 고려대학교 덕소농장에 모듈을 설치하였다. 식재 기질로는 상토(승진상토 잔디 정원수용, 승진비료)와 펠라이트(파라소 육성용, 경동세라텍), K-SOIL((주)한국

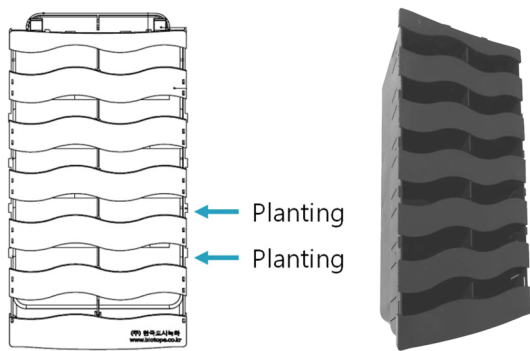


Fig. 1. Module GWS-KP. Arrows indicate planting positions of *M. trifoliata*.

도시녹화)을 사용하였다. 상토는 식물의 생육에 적합한 물리성, 화학성, 생물성을 갖춘 기질로 톱밥, 수피, 토탄 등을 혼합하여 만들며, 식물 생육에 널리 쓰인다. 펄라이트는 화산 작용으로 생긴 진주암을 순간적으로 고열 처리하면 원광석의 10배 이상 팽창되는 특성을 이용하여 만든 백색의 가벼운 입자로 실내나 옥상조경의 초경량 인공토로 많이 활용된다. K-SOIL은 (주)한국도시녹화에서 개발한 인공경량토양으로 화력발전소 슬러지인 바텀애쉬와 분변토, 굴폐각, 피트모스 등을 혼합하여 만든다. 본 메조코즘 실험에서는 배합토인 K-SOIL의 조름나물 서식기질로써 활용 가능성을 알아보고자 하였다.

6층으로 이루어진 식생패널의 2층과 3층에 조름나물을 각각 1개체씩, 식생패널당 2개체씩을 식재하였다(Fig. 1). 함께 식재한 동반종으로 참뚱발은 1층에, 미나리와 물달개비는 3, 4, 5층에, 질경이택사는 4층에 식재하였다. 3종류의 기질을 4반복한 12개의 식생패널은 2가지 규격의 습지박스(tub)에 설치되었다. 큰 습지박스(Large)와 작은 습지박스(Small)의 규격은 각각 가로×세로×높이가 1170×2250×300mm³, 900×1360×190mm³이다. 큰 습지박스 1개(Fig. 2의 Tub 1)와 작은 습지박스 2개(Fig. 2의 Tub 2와 3)에 각각 6개, 3개의 조름나물이 식재된 식생패널을 설치하였으며, 식생패널의 배치는 Fig. 2와 같았다. 큰 습지박스에는 상토(B, Bed soil)와 펄라이트(P, Perlite), K-SOIL(K, K-SOIL)이 기질로 사용된 식생패널이 2개씩 설치되었으며, 작은 습지박스에는 세 기질이 각각 1개씩 배치되었다. 작은 습지박

스에는 자갈과 발흙을 채우고 식물을 식재하지 않은 식생패널(Blank) 3개를 추가 설치하였다. 습지박스에는 지하수를 지속적으로 공급하였으나, 날씨의 영향으로 5cm 내외의 수위 변동이 있었다.

2.3 조름나물의 생육

조름나물은 다년생 식물로, 지상부 광합성 산물을 지하경에 저장한다(Haraguchi, 1996; Sjörs, 1991). 따라서 지하경의 길이가 중요한 초기 생육 조건이 된다. Lee and Kim (2012)에 의하면 조름나물 삽목 시 잎이 있는 지하경(길이 15.5±1.1cm)은 100%의 생존률을 보였으며, 잎이 없는 경우에는 4~10cm 길이에서 가장 효율적이었다. 실험에 사용된 조름나물은 생육에 불리함이 없도록 길이가 10cm 이상 되고 잎이 있는 지하경을 선별하여 식재하였다. 사용된 조름나물은 국립수목원으로부터 분양받아 영양번식을 통해 증식시킨 개체들이다.

서로 다른 조건에서 조름나물의 생육 상태를 비교하기 위해 조름나물의 최대 생장기인 6월(2014년에는 5월 30일)에 각 식생패널 별로 잎의 수와 피도를 조사하였으며, 식재 후 1년 동안 생장한 지하경의 길이와 분지한 지하경의 수를 조사하였다. 조름나물의 지하경은 영양생식기관으로, 기존의 지하경 끝에서 형성되는 끝눈(generative bud) 외에 지하경의 마디 사이에서 형성되는 결눈(lateral bud)을 만들어 분지한다(Haraguchi, 1996; Hewett, 1964). 그러므로 지하경의 수가 증가한다는 것은 영양생식이 이루어져 분지하였음을 의미한다.

2.4 수서 대형무척추동물 조사

메조코즘 내 수서 대형무척추동물의 종류 및 정착 정도를 확인하기 위한 조사는 2012년 7월 18일(Jul), 8월 26일(Aug), 9월 28일(Sep)에 수행되었다. 조사로 인한 수생 대형무척추동물 군집의 교란을 최소화하기 위하여, 각 메조코즘(Tub 1, 2, 3) 내에서 무작위로 채집지점을 선정하고, 지름 35cm의 core sampler를 설치한 후 안의 생물상을 망목 1mm의 뜰채를 이용하여 1회 정량채집하였다. 실험실로 가져온 채집물은 칼스용액에 일정 시간 담갔다가 80% 알코올로 옮긴 후 동정이 가능한 분류 수준까지 확인하고(Jeong, 2011;

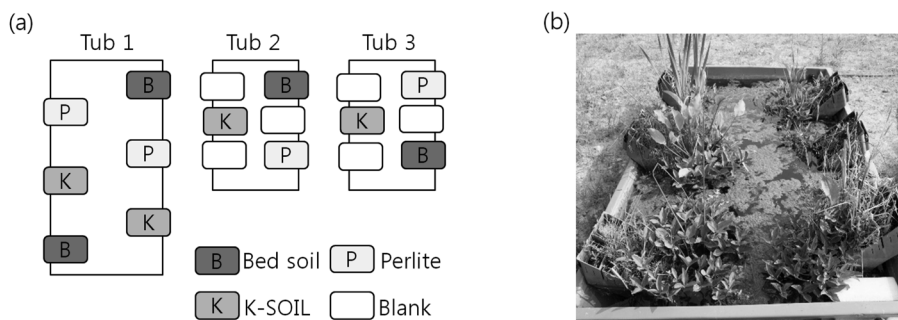


Fig. 2. Experiment design of planting module experiment. (a) Arrangement of module and tub condition, (b) Overview of experiment (photo taken in July 2011). Blank means that no plant was planted.

Kwon et al., 1993; Won et al., 2005), 분류군별로 채집된 수를 기록하였다. 수서 대형무척추동물의 메조코즘 내 유입 및 정착 정도를 확인하기 위하여 Shannon 다양도 지수와 함께 Kim et al. (2014)이 습지에서 초기 천이 과정 동안 수서 군집의 변화를 측정하기 위해 개발한 정착 지수(CI: colonization index)를 이용하였다.

$$CI = \left| \frac{(2B - A - C) \times 50}{B} \right|$$

A: 조사 시 확인된 종의 수

B: 이전 조사 시 확인된 종의 수

C: 두 조사 시기에 공통으로 나타난 종의 수

따라서 CI는 0~100의 값을 보이며, 값이 작을수록 기존에 정착한 종이 안정적으로 계속 서식하고 있음을 의미한다.

2.5 수환경 조사

수온은 습지박스에 설치된 TidbiT v2 temperature logger (UTBI-001, Onset, USA)를 통하여 1시간 간격으로 측정하였다. 측정된 수온 자료로부터 월별로 최대와 최소, 평균 수온을 산출하였다.

수환경 조사를 위해 유입수와 각 습지박스의 수질을 현장 측정하고, 채수하여 분석하였다. pH와 전기전도도는 현장에서 각각 pH meter(AP63, Fisher, USA)와 Corning Checkmate II(311, Corning, USA)를 이용하여 측정하였다. 채수한 물의 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 는 indophenol method로(Solorzano, 1969), $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 는 hydrazine method로(Kamphake et al., 1967), $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 은 ascorbic acid reduction method(Murphy and Riley, 1962)로 분석하였다. 채수한 물속의 K와 Na, Ca, Mg의 농도는 원자흡광광도계(AA240FS, Varian, USA)를 이용하여 측정하였다.

2.6 통계분석

2011년 7월 식재한 지 일주일 후의 측정치를 초기 조건으

로 하고, 2012년부터 2014년까지 3년 동안의 잎의 수와 파도 자료를 이용하였다. 기질의 종류와 습지박스 크기에 의한 효과를 반복 측정 분산분석을 이용하여 검증하였으며, 임의 요인(random effect)은 각 모듈이었다. 통계 프로그램은 R 3.1.0(R Core Team, 2014)을 이용하였으며, R 패키지인 nlme 3.1-117(Pinheiro et al., 2014)를 이용하여 혼합효과모형(mixed effects model)으로 분석하였다. 잔차 분석(Shapiro-Wilk normality test)을 통해 통계 분석의 가정을 만족하는지 확인하였고, 사후검정은 R 패키지인 multcomp (Torsten et al., 2008)를 이용하여 Tukey 사후검정을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수온 및 수환경

2012년 4월부터 2014년 4월까지 큰 습지박스(Tub 1)의 수온 변화는 Fig. 3(a)와 같다. 이 기간 동안 수온의 극값은 $-8 \sim 37.8^\circ\text{C}$ 범위였으며, 월평균 수온은 $-2.2 \sim 24.1^\circ\text{C}$ 범위였다. Hewett (1964)에 의하면, 조름나물 분포 지역의 월평균 기온 범위는 $-45 \sim 27^\circ\text{C}$ 였는데, 넓은 기온 범위에서 조름나물이 분포하는 것으로 보아 북반구 온대 지역에서 기온은 조름나물의 분포를 제한하는 주요한 요인이 아니라고 보았다. 우리나라 위도 범위에 포함된 일본의 조름나물 자생지인 Mizorogaike Pond(35°N , 135°E)에서 측정된 표층 온도 극값의 범위는 약 $2 \sim 35^\circ\text{C}$ 였다(Haraguchi, 1995). 한편, 2011년부터 2013년까지 우리나라 지역별 기온 극값의 범위는 $-27.7 \sim 39.2^\circ\text{C}$ 였고, 평년값(1981년~2010년) 자료에 의하면 지역별 월평균 기온의 범위는 $-12.6 \sim 31.1^\circ\text{C}$ 였다(KMA, 2014). 지역별 기온의 범위로 보아 우리나라 대부분의 지역에서 기온 조건은 조름나물 서식의 제한 요인이 아닐 것으로 판단된다.

2013년 8월부터 2014년 4월까지 습지박스 크기에 따른 월평균 수온 분포는 Fig. 3(b)와 같다. 큰 습지박스(Tub 1)와 작은 습지박스(Tub 2와 3)의 평균 수온 분포는 유사하였다. 다만, 2013년 8월 자료에서 큰 습지박스의 월 평균 수온이 작은 습지박스에 비해 약 2°C 가량 높았는데, 개방

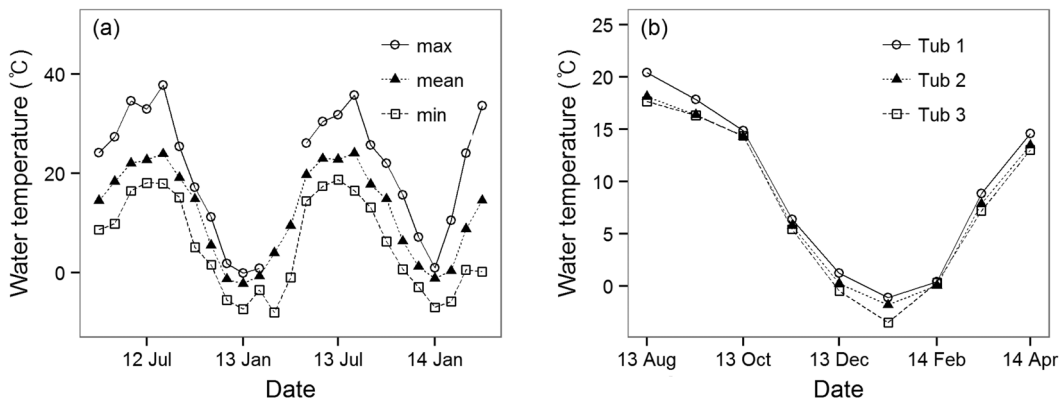


Fig. 3. Water temperature changes during research period. (a) minimum, mean, maximum temperatures in large tub from April 2012 to April 2014, (b) mean temperature in three tubs from August 2013 to April 2014.

Table 1. Means and ranges of chemical properties for water from inflow and tubs, Sunyoodam* data from Kim et al.(2013). mean (min~max)

Factor	Inflow	Tub 1	Tub 2	Tub 3	Sunyoodam*
pH	6.9 (6.5~7.4)	7.2 (6.3~10.2)	6.9 (6.2~8.9)	6.6 (6.3~7.5)	5.06 (4.95~5.12)
EC (μ S/cm)	330 (299~357)	282 (133~418)	304 (120~529)	290 (115~365)	59.4 (55.1~67.4)
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.02 (0~0.03)	0.06 (0~0.21)	0.07 (0~0.21)	0.05 (0~0.11)	0.02 (0.01~0.02)
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	6.6 (2.0~10.2)	2.7 (0.0~6.9)	3.6 (0.1~6.7)	3.3 (0~6.9)	9.32 (7.13~10.48)
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.03 (0.02~0.03)	0.05 (0~0.07)	0.04 (0~0.07)	0.07 (0.02~0.15)	0.04 (0.04~0.05)
K (mg/L)	1.48 (1.43~1.51)	1.2 (0.2~2.2)	1.0 (0.2~2.5)	1.1 (0.2~1.8)	1.5 (1.2~1.6)
Na (mg/L)	15.4 (15.1~15.6)	10.0 (5.1~16.1)	10.4 (4.6~14.1)	12.6 (6.3~17.5)	15.1 (11.7~17.1)
Ca (mg/L)	14.6 (13.2~15.5)	15.1 (4.3~18.9)	18 (9~35)	18 (3~35)	11.1 (7.8~23.1)
Mg (mg/L)	9.9 (9.9~10.0)	5.5 (3.0~10.0)	6.2 (3.1~8.9)	6.4 (0.9~10.8)	11.3 (9.2~12.7)

Sunyoodam* is a natural habitat of *M. trifoliata* in Gangwon-do.

수면이 많아 빛에 노출되는 면적이 더 컸기 때문에 추정된다.

습지박스의 수환경 조사 결과는 Table 1에 제시되어 있으며, 세 습지박스의 값은 크게 차이를 보이지 않았다. 각 요인의 관측 범위가 넓은데, 계절에 따라 수환경의 변화가 심하였다. 수환경의 변화는 각 요인이 식물의 생육에 사용되거나 우수의 유입에 의해 농도가 희석되어 나타나는 변화로 추정된다. 2012년 5~9월 자료에 의하면 pH와 EC, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, K, Na의 값은 세 습지박스에서 공통적으로 7월에 낮은 값을 보였다. 이러한 결과는 식물의 활발한 생육기와 우리나라 6~7월 높은 강수량 조합이 일으키는 효과로 추정된다. 조름나물의 자생지 중 하나인 선유담의 수환경과 비교하면 pH와 EC, NH₄⁺-N은 높은 편이며, NO₃⁻-N은 낮은 편이다. PO₄³⁻-P와 K, Na, Ca, Mg는 선유담과 유사한 수준이었다. 조름나물은 넓은 범위의 토양 양분 조건에서 서식한다(Hewett, 1964). 유사하게 수환경도 넓은 범위에서 서식 가능하리라 추정할 수 있다. 따라서 조사된 수환경 조건이 조름나물 생육에 제한 요인이 되지 않았을 것이라 가정할 수 있다.

3.2 기질의 종류와 습지박스 크기에 따른 조름나물의 생육

매조코즘 조성 후 3년 동안의 모니터링 결과에 의하면, 모듈에 식재한 조름나물의 생육이 기질의 종류에 따라 달랐으며, 모듈이 설치된 습지박스 크기에 의해서도 달라졌다 (Table 2, Fig. 4). 기질에 의한 조름나물 생육 차이는 Fig. 4에서 확인할 수 있다. 사후검정 결과에 의하면 잎의 수에 의한 조름나물의 생육이 상토(평균 22.979)와 K-SOIL(평균 28.042, p=0.797)은 유의한 차이가 없었으나, 상토와 펠라이트(평균 1.667, p=0.019), K-SOIL과 펠라이트(p=0.002)는 유의한 차이가 있었다. 피도에 의한 조름나물 생육 결과도 유사하였다. K-SOIL은 상토와 비교하여 동일한 수준 또는 통계적으로 유의하지는 않지만 더 좋은 생육을 보여, 식생패널의 식재 기질로 사용하기에 적합한 배합토임을 증명하였다. 한편, 옥상과 벽면 녹화에서 일반적으로 사용하는 경량토 중 하나인 펠라이트에서는 조름나물의 생육 상

Table 2. Repeated measures ANOVA table for growth descriptors of *M. trifoliata* from planting module experiment

Parameter	Source of variation	df	F	p
Number of leaves	Substrate	2,8	6.309	0.023*
	Tub size	1,8	9.460	0.015*
	Date	3,33	9.358	< 0.001***
Coverage	Substrate	2,8	5.119	0.037*
	Tub size	1,8	10.235	0.013*
	Date	3,33	8.918	< 0.001***

* indicates significant effects. *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001. Substrate (Bed soil, K-SOIL, Perlite), Tub size (Large 1170×2250×300mm³, Small 900×1360×190mm³)

태가 불량하여 식재 기질로는 적절하지 않음을 보여주었다. 펠라이트와 배합토양에서의 식물의 생육을 비교한 Ahn et al. (2013)에 의하면 펠라이트는 단독으로 사용할 경우 배합토양에 비해 식물 생육이 불량하였다. 본 연구에서도 펠라이트를 사용한 모듈의 상층부에 정착한 식물이 다른 기질의 상층부 식생에 비해 생육이 불량했던 것으로 보아 펠라이트는 단독으로 사용하기 보다는 다른 기질과 배합하여 사용해야 할 것으로 보인다.

모듈이 설치된 습지박스 크기에 의한 조름나물 생육 차이 (잎의 수와 피도 각각 p=0.015, p=0.013)도 확인되었다 (Table 2, Fig. 4). 큰 습지박스의 조름나물은 작은 습지박스의 개체에 비해 더 많은 잎의 수와 피도를 보였다(Fig. 4). 큰 습지박스는 작은 습지박스에 비해 수심이 깊고(Large: 24cm, Small: 13cm) 개방수면이 많다. 조름나물은 습윤한 장소에서만 자라 지형적으로 제한된 분포를 보이고(Hewett, 1964), 자생지에서도 물웅덩이(pools)와 같은 미소지형에서 두드러지는 식생이다(Choi and Heo, 2009; Daulat and Clymo, 1998; Lee, 2010). Han and Kim (2006)에 의하면 이탄부유매트에 자라는 조름나물은 기질의 수분보유능이 높을수록(또는 수심이 깊을수록) 잎자루의 길이가 길어지며, 잎의 면적도 증가하였다. 이러한 결과들로 볼 때 습지박스 크기에 의한 차이의 원인 중 하나는 더 깊은 수심에 의해 나타난 것으로 볼 수 있다. 큰 습지박스에서는 수심이 상대적으로 깊어 조름나물의 생장에 유리하였으며, 그 결과로 더 좋은 생육 상태를 보이게 된 것이다.

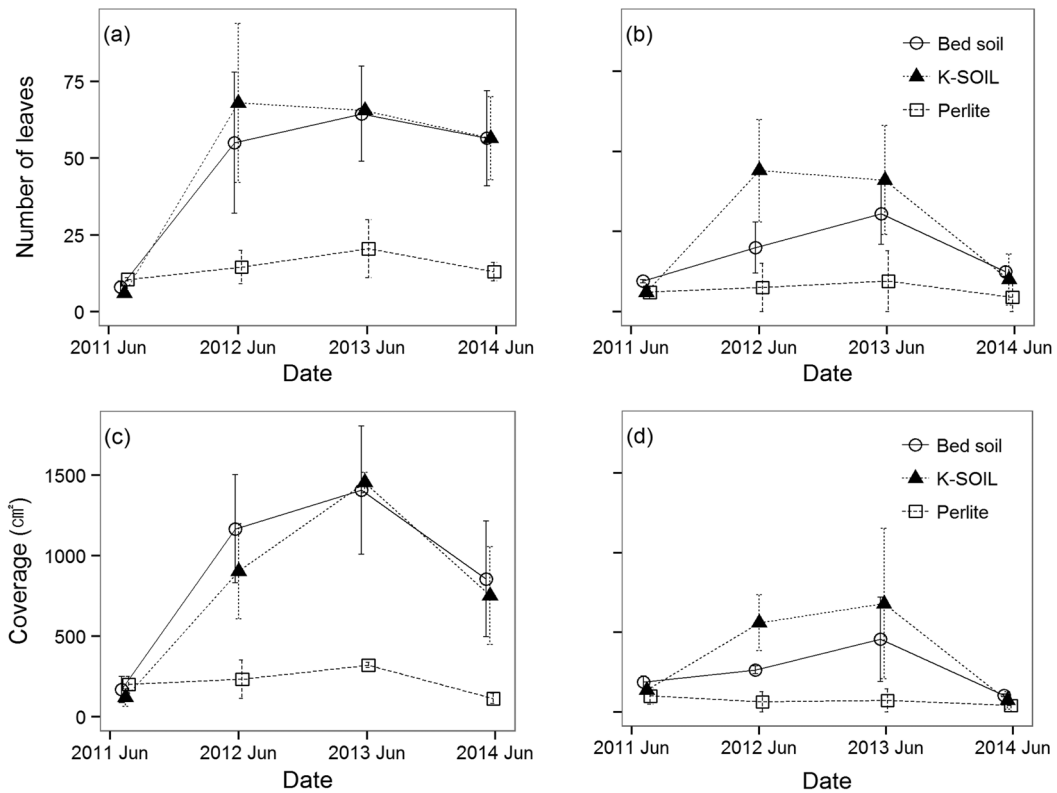


Fig. 4. Change of growth parameters during the planting module experiment. (a) Number of leaves in large tub, (b) number of leaves in small tub, (c) coverage in large tub, (d) coverage in small tub.

큰 습지박스에서 조름나물이 더 좋은 생육 상태를 보이는 또 다른 원인은 다른 종과의 경쟁이 없는 개방수면의 크기에 있다. 조름나물은 더 큰 식물 종과 양분과 빛을 경쟁할 때 잘 자라지 못하고, 경쟁종이 없는 새로운 서식지의 초기 정착종으로써 호수의 가장자리와 같은 환경에서 잘 성장한다(Haraguchi, 1993; Hewett, 1964). 동반종이 있는 상황에서 조름나물의 생장이 제한된다는 Lee and Kim (2011)의 실험 연구 결과도 있다. 그러므로 큰 습지박스에서 조름나물은 경쟁종이 없는 개방수면으로 지하경을 뻗으며 성장할 수 있어서 그 결과 더 좋은 생육 상태를 보이게 된 것이다. 결과적으로 모듈을 설치하는 습지박스는 수심이 깊을수록, 조름나물이 성장할 수 있는 충분한 개방수면을 가질수록 조름나물 생육에 유리할 것이다.

식재 후 1년 동안의 지하경 길이와 수 변화는 Table 3과 같다. 지하경 길이와 수 역시 위의 잎의 수, 피도 결과와 유사한 경향을 보인다. 큰 습지박스의 조름나물이 같은 기질 조건에 있는 작은 습지박스의 조름나물보다 지하경의 길이 생장이 더 많고 분지한 지하경의 수도 더 많았다. 기질에 의한 차이 역시 상토와 K-SOIL은 펄라이트에 비해 더 큰 성장을 보이고 분지한 지하경의 수도 더 많았다. 조름나물의 지하경은 지상부 광합성 산물의 저장소으로써 조름나물의 성장량을, 끊어짐과 분지에 의한 영양생식기관으로써 개체수를 대변한다. 식재 후 1년 동안 조름나물의 지하경은 큰 습지박스의 상토와 K-SOIL 기질에서 크게 성장하고, 개체수를 더 많이 증가시켰다.

Table 3. Growth descriptors of *M. trifoliata* rhizome in module condition(n=4)

Parameter	Condition	2011 July	2012 July
Length (cm, mean ± se)	Large tub		
	Bed soil	7.07 ± 3.82	64.55 ± 16.93
	K-SOIL	8.00 ± 3.10	45.35 ± 19.22
	Perlite	5.95 ± 2.73	16.85 ± 5.63
	Small tub		
	Bed soil	3.52 ± 1.90	7.67 ± 2.46
Number (mean ± se)	Large tub		
	Bed soil	1 ± 0	4.00 ± 0.92
	K-SOIL	1 ± 0	4.75 ± 1.60
	Perlite	1 ± 0	1.75 ± 0.48
	Small tub		
	Bed soil	1 ± 0	2.00 ± 0.41
K-SOIL	1 ± 0	4.00 ± 0.70	
Perlite	1 ± 0	1.50 ± 0.50	

식생패널에 함께 식재한 참통발은 식생패널에서 분리된 개체가 습지박스 전체로 확장되었다. 미나리는 수면 근처와 수면 아래의 개체가 유지되었다. 물달개비는 대부분의 개체가 사라졌다. 질경이택사는 개체가 계속 성장하여 차지하는 면적을 확장하였다. 위의 결과로 보아 참통발과 미나리는 조름나물의 성장을 저해하지 않으면서 개체가 유지되므로, 수면 아래의 식생패널에 동반종으로 식재할 수 있다. 질경

이택사는 잘 자라지만, 잎이 넓고 조름나물과 유사한 높이를 차지해 조름나물의 경쟁종이 될 수 있다. 그러므로 조름나물과 함께 식재하고자 할 경우 조름나물의 생장을 방해하지 않는 식재 위치를 선정해야 한다.

식생패널에 식재하지 않은 종이 출현하기도 하였다. 상층부에는 방동사니와 개망초, 털별꽃아재비 등의 종이 차지하였으나 피도가 크지는 않았다. 조름나물의 생육에 위해를 가할 정도로 피도를 높인 종은 고마리가 있었다. 고마리는 2011년 습지박스 3에 출현하여 2012년에는 조름나물 개체가 보이지 않을 정도로 뒤덮었다. 고마리는 초고에 있어서 조름나물과 유사한 높이를 차지하며, 수위 조건에서도 겹치는 범위가 존재한다. 고마리에 뒤덮인 조름나물은 잎자루를 길게 늘어 탈출을 시도하였으나, 고마리의 생육 속도가 매우 빨라 결국 조름나물의 잎이 보이지 않는 상태가 되었다. 이후 고마리는 물리적으로 제거하였고, 제거 후 조름나물은 계속 유지되었다. 조름나물은 지하경에 양분을 저장하는 다년생 식물이기 때문에 일시적인 생육 불량 상태를 견딜 수 있다. 그러므로 1년에 1~2번의 잡초 제거로 조름나물의 경쟁종을 관리할 수 있다. 잡초 제거 시기는 조름나물의 생육이 최대이면서 대부분의 다른 식물은 아직 덜 자란 상태인 6월과 대부분의 다른 식물 생육이 최대인 8월을 권장한다.

3.3 조름나물 메조코즘 내 수서 대형무척추동물의 다양도 및 정착

모듈을 이용하여 조름나물을 식재한 메조코즘에 서식하는 수서 대형무척추동물을 조사한 결과, 3개의 습지박스(tub

1, 2, 3)에 서식하는 것으로 확인된 분류군 수는 총 21개, 개체 수는 1,145개체였다(Table 4). 고려대학교 덕소농장에서 메조코즘이 설치된 지역 주변 습지에 주로 출현하는 분류군은 60개인 것으로 조사되었으며(Kim et al., 2014a), 본 연구 메조코즘에 출현한 분류군 중 15개 분류군이 이에 해당하였다. 한편, 동일 지역에 직사광선을 막는 차광막을 설치하고 바닥을 흙으로 마감하여 조성된 인공습지에서는 3년의 조사기간 동안 21개 분류군이 서식하는 것으로 확인되었다(Kim et al., 2014b).

메조코즘의 수서 대형무척추동물에 대한 Shannon 다양도 지수는 크기가 큰 습지박스(Tub 1)가 작은 습지박스(Tub 2와 3)에 비해 높은 값을 보였으나, 전체적으로는 7~9월 사이에 큰 변화 없이 평균 0.62를 보였다(Fig. 5). 이는 조름나물이 부유성을 형성하며 서식하는 자생지에서 조사된 수서 대형무척추동물의 Shannon 다양도 지수 값이 0.26~0.95의 범위를 보였다는 점(unpublished data)과 비교하면 자

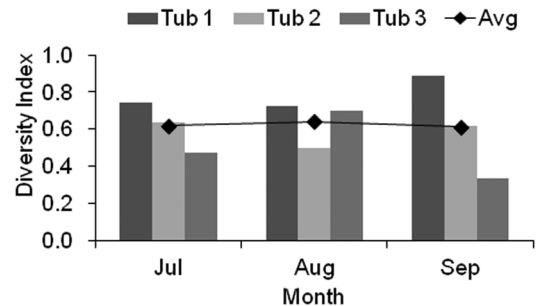


Fig. 5. Shannon diversity index of aquatic macroinvertebrates in three tubs. Avg indicates average value for three tubs.

Table 4. List of aquatic macroinvertebrates collected in the mesocosms

Order	Scientific name	Korean name	no.	Kim et al.(2014a)*	Kim et al.(2014b)*
Triachanta	<i>Dugesia japonica</i>	플라나리아	4		
Lumbriculata	<i>Lumbriculus variegatus</i>	실지렁이붙이	50		
Basommatophora	<i>Physa acuta</i>	원돌이물달팽이	71	*	*
	<i>Hippeutis cantori</i>	수정포아리물달팽이	247	*	
	<i>Gyraulus chinensis</i>	또아리물달팽이	93		
	<i>Radix auricularia</i>	물달팽이	266	*	*
Ephemeroptera	<i>Cloeon dipterum</i>	연못하루살이	75	*	*
Odonata	<i>Ischnura asiatica</i>	아시아실잠자리	25	*	*
	<i>Cercion calamorum</i>	검은등실잠자리	35	*	
	<i>Anax parthenope julius</i>	왕잠자리	1	*	
	<i>Lyriothemis pachygastra</i>	배치레잠자리	1		
	<i>Pantala flavescens</i>	된장잠자리	1	*	*
	<i>Sympetrum danae</i>	검은줄잠자리	3		
	<i>Sympetrum depressiosculum</i>	고추줄잠자리	12	*	*
Coleoptera	<i>Rhantus suturalis</i>	애기물방개	4		
	<i>Agabus japonicus</i>	땅콩물방개	2	*	
	<i>Enochrus simulans</i>	애늪적물팽이	12	*	*
Trichoptera	<i>Mystacides</i> KUa	청나비날도래KUa	1	*	
Diptera	<i>Culex</i> sp.	집모기류	102	*	*
	<i>Chironomidae</i> spp.	갈따구류	139	*	*
	<i>Tipulidae</i> sp.	각다귀류	1	*	*

*These studies were conducted in Deokso Farm of Korea University in Gyeonggi-do

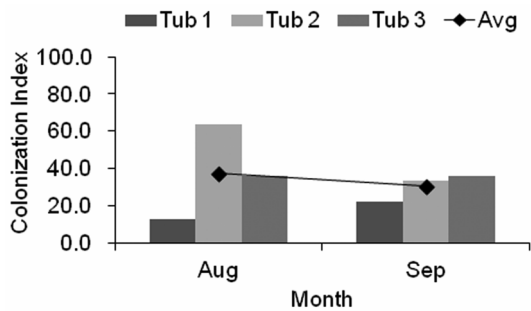


Fig. 6. Colonization Index (CI) for aquatic macroinvertebrates in three tubs. Avg indicates average value for three tubs.

생지와 비슷한 수준이라고 판단된다.

정착 지수(CI)는 크기가 작은 습지박스가 크기가 큰 습지박스에 비해 높은 값을 보였으나, 전체적으로는 평균 37.3에서 30.4로 줄어들었다(Fig. 6). 이러한 정착 지수 값은 메조코즘 주변에 조성된 인공습지에서 조성 1년 후에 보인 정착 지수 값의 범위에 해당하며(Kim et al. 2014b), 정착 지수 값의 감소는 수서 대형무척추동물이 안정적으로 서식하고 있음을 의미한다.

본 연구의 조류나물 식재 메조코즘은 바닥에 특별한 기질을 깔지 않고 조성한지 1년밖에 되지 않았지만, 플라나리아, 물달팽이를 비롯하여 애기물방개, 애늪적물뽕뽕이 등의 다양한 수서 대형무척추동물이 안정적으로 서식하고 있는 것으로 확인되었다. 이는 메조코즘의 수서 무척추동물 공급원으로 작용할 수 있는 습지가 주변에 있을 경우, 식재 모듈을 이용한 조류나물 인공서식지가 다양한 수서 대형무척추동물에게 보조 서식지로서 충분히 기능할 수 있음을 의미한다. 따라서 조류나물을 활용한 수변 인공 서식지는 다양한 수서 생물이 살 수 있는 새로운 생태계 공간을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결론

습지박스에 설치된 식생패널을 이용하여 조류나물의 서식지를 조성하는 것은 3년의 모니터링 결과로 보아 성공적이다. 수서 대형무척추동물을 위한 서식지라는 측면에서도 충분히 새로운 서식지 제공의 기능을 수행할 수 있는 것으로 나타났다. 식생패널과 습지박스를 이용하여 간편하게 조류나물의 서식지를 조성하였으며, 이 기간 동안 조류나물은 크게 성장하였다. 물 공급 외에는 추가적인 시비는 이루어지지 않았으며, 1년에 한 번 고마리를 제거하는 활동 외에는 다른 관리 노력 없이 저관리형 서식지를 조성하였다. 이 결과들을 종합하여 도출한 식생 모듈을 이용한 조류나물 서식지 조성 방안은 다음과 같다.

- 1) 모듈 설치 가능 범위: 조류나물은 기존 조건에서 우리나라의 대부분 지역에 서식 가능하며, 수환경이나 토양 환경의 조건 역시 넓은 범위에서 살아갈 수 있다. 습지박스를 이용할 경우 물 공급만 이루어진다면 옥상

과 같은 인공지반 환경에도 조류나물의 서식지를 조성할 수 있다.

- 2) 모듈 설치 간격: 조류나물은 개방수면 방향으로 지하경과 잎자루를 성장시키므로 성장 가능한 개방수면을 고려하여 모듈을 설치한다.
- 3) 식재 시 조류나물 조건: 식재시 조류나물은 10cm 이상의 지하경에 잎이 있는 상태로 식재하며 잎자루가 충분히 길어 물 밖으로 잎이 나올 수 있는 개체를 선별한다.
- 4) 조류나물 식재 위치: 조류나물은 모듈의 하부에 식재하여 습윤한 상태가 유지되도록 한다.
- 5) 기질의 선택: 기질은 펄라이트를 제외한 상토 또는 K-SOIL을 이용할 수 있으며, 폐기물 재활용의 측면에서 K-SOIL 사용을 권장한다.
- 6) 물 공급: 습윤한 상태가 유지되도록 물 공급에 유의한다. 식생패널의 밑면을 기준으로 관리수위를 30cm로 하여 식재한다. 관리수위를 30cm로 한다면 일시적으로 건조 상황이 발생해 수위가 낮아져도 어느 정도의 기간은 생존할 수 있다. 또한 일시적인 강우에 의해 이 관리수위를 넘더라도 일시적인 침수 상황에서는 수평 방향으로 자라는 잎자루를 수직 방향으로 세워 침수 상황을 견디는 조류나물의 특성으로 인해 생존할 수 있다.
- 7) 동반종: 단일 군락을 형성할 수 있으므로 단일 종으로 식재 가능하다. 키 큰 식물과 잎이 넓은 식물은 함께 식재하지 않는다. 실현 지위가 중복되지 않는 키가 작고 잎이 좁은 식물과 함께 식재 가능하다. 함께 식재 가능한 동반종으로는 참뚱발과 미나리, 질경이택사가 있으며 식물의 생육과 조류나물과의 경쟁을 고려하여 배치한다.
- 8) 잡초 제거: 식재하지 않은 출현종은 고마리와 같이 큰 피도를 차지하는 종을 제외하고는 조류나물의 생육에 위해를 가하지 않으므로, 잡초 제거는 고마리와 같은 종이 출현하지 않는 한 필요하지 않다.

식생 모듈을 이용하여 조류나물의 서식지를 조성하면 다양한 환경에 조류나물의 서식지를 간편하게 조성 가능하여 멸종위기종을 보호하는 생물다양성 보존의 가치를 가지면서도 경관을 좋게 하고, 수서무척추동물과 양서류의 서식지로서의 역할을 할 것이다.

사 사

실험 설계와 설치, 모니터링 전반에 도움을 준 이광문에게 감사의 말을 전합니다. 본 연구는 환경부 차세대에코이노베이션기술개발사업(416-111-010, 416-111-009)의 지원을 받아 수행된 과제입니다.

References

- Ahn, GY, Han, SW and Lee, EH (2013). Soil moisture reduction pattern and that influences for plants in the

- condition of no rainfall and no irrigation, *Korean J. of Environment and Ecology*, 27(6), pp. 745–756. [Korean Literature]
- Akhani, H (2014). *Menyanthes trifoliata*, The IUCN Red List of Threatened Species, Version 2014.2. www.iucnredlist.org.
- Box, J (1996). Setting objectives and defining outputs for ecological restoration and habitat creation, *Restoration Ecology*, 4(4), pp. 427–432.
- Choi, HJ and Heo, K (2009). Flora monitoring of Yongneup, an alpine wetland, in Mt. Daeam, *Korean J. of Nature Conservation*, 3:93–104. [Korean Literature]
- Choi, KR and Koh, JK (1989). Studies on moor vegetation of Mt. Daeam, east-central Korea, *J. of Ecology and Environment*, 12(4), pp. 237–244. [Korean Literature]
- Daulat, WE and Clymo, RS (1998). Effects of temperature and water table on the efflux of methane from peatland surface cores, *Atmospheric Environment*, 32(19), pp. 3207–3218.
- Han, M and Kim, JG (2006). Water-holding capacity of a floating peat mat determines the survival and growth of *Menyanthes trifoliata* L (bog bean) in an oligotrophic lake, *J. of Plant Biology*, 49(1), pp. 102–105.
- Haraguchi, A (1993). Phenotypic and phenological plasticity of an aquatic macrophyte *Menyanthes trifoliata* L., *J. of Plant Research*, 106(1), pp. 31–35.
- Haraguchi, A (1995). Seasonal changes in oxygen consumption rate and redox property of floating peat in a pond in central Japan, *Wetlands*, 15(3), pp. 242–246.
- Haraguchi, A (1996). Rhizome growth of *Menyanthes trifoliata* L. in a population on a floating peat mat in Mizorogaike Pond, central Japan, *Aquatic botany*, 53(3–4), pp. 163–173.
- Hewett, DG (1964). *Menyanthes trifoliata* L., *J. of Ecology*, 52(3), pp. 723–735.
- Jeong, KS (2011). *Odonata Larvae of Korea*, Nature & Ecology [Korean Literature]
- Kamphake, LJ, Hannah, SA and Cohen, JM (1967). Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction, *Water Research*, 1(3), pp. 205–216.
- Kim, DG, Kang, HJ, Baek, MJ, Lee, CY, Kim, JG and Bae, YJ. (2014a). Analyses of benthic macroinvertebrate colonization during the early successional phases of created wetlands in temperate Asia, *Fundamental and Applied Limnology*, 184(1), pp. 35–49.
- Kim, DG, Lee, CY, Choi, LJ, Kang, HJ, Baek, MJ, Kim, JG and Bae, YJ. (2014b). Drought effects on the colonization of benthic macroinvertebrate communities in the early successional phases in experimental mesocosm wetlands, *J. of Freshwater Ecology*, 29(4), pp. 507–524.
- Kim, HT, Lee, GM and Kim, JG (2013). The ecological characteristics and conservation counterplan of *Menyanthes trifoliata* habitat in floating mat in Korean east coastal lagoon, Sunyoodam, *J. of Wetlands Research*, 15(1), pp. 25–34. [Korean Literature]
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2014). <http://www.kma.go.kr/>.
- Korea National Arboretum (2008). *Rare Plants Data Book in Korea*, Korea National Arboretum, p.158. [Korean Literature]
- Kwon, OG, Park, GM and Lee, JS (1993). *Coloured Shells of Korea*, Academy Publishing Company [Korean Literature]
- Lee, GM and Kim, JG (2011). Effects of habitat substrates and companion plants on the growth of *Menyanthes trifoliata*, *J. of Wetlands Research*, 13(3), pp. 613–621. [Korean Literature]
- Lee, GM and Kim, JG (2012). Effects of rhizome length and node numbers on the proliferation of *Menyanthes trifoliata* cuttings, *J. of Wetlands Research*, 14(2), pp. 193–198. [Korean Literature]
- Lee, JS (2010). *Multivariate analysis of vegetation and controlling factors in Yongneup of Mt. Daeam in Korea*, Master's Thesis, Kangwon National University, Chuncheon, Korea. [Korean Literature]
- Lim, Y (2010). *Distribution characteristics of hydrophytes in Korea*, Ph.D. Dissertation, Soonchunhyang University, Asan, Korea. [Korean Literature]
- Murphy, J and Riley, JP (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters, *Analytica chimica acta*, 27(1), pp. 31–36.
- Pinheiro, J, Bates, D, DebRoy, S, Sarkar, D and R Core Team (2014). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models, R package version 3.1–117, <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Ryu, NH and Lee, CS (2011). Monitoring on the Soils and Plant Growth in Modular Sloped Rooftop Greening System, *J. of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 14(5), pp. 53–67. [Korean Literature]
- Sjörs, H (1991). Phyto- and necromass above and below ground in a fen, *Holarctic Ecology*, 14(3), pp. 208–218.
- Solorzano, L (1969). Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method, *Limnology and Oceanography*, 14(5), pp. 799–801.
- Hothorn, T, Bretz, F and Westfall, P (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal* 50(3), pp. 346–363.
- USDA and NRCS. The PLANTS Database (2014). <http://plants.usda.gov>.
- Won, DH, Kwon, SJ and Jeon, YC (2005). *Aquatic Insects of Korea*, Korea Ecosystem Service Co., Ltd. [Korean Literature]