

물이끼(*Sphagnum palustre*) 생육이 가능한 인공습지 사례보고*

홍문기 · 김재근

서울대학교 생물교육과

A Case Report on the Constructed Wetland for the Growth of *Sphagnum palustre**

Hong, Mun Gi and Kim, Jae Geun

Dept. of Biology Education, Seoul National University.

ABSTRACT

Construction of an artificial wetland for the growth of *Sphagnum palustre* with emergent macrophytes (*Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, and *Zizania latifolia*) was firstly tried and the growth of those plant components according to various environmental combinations has been monitored for three years. Above-ground dry weight of *Z. latifolia* (1,500g/m²) was higher than *T. angustifolia* (900g/m²) and *P. australis* (500g/m²) under most environmental conditions. In overall, planted emergent macrophytes seemed to prefer polishing sand without moss peat as a substrate and relatively deep water-depth condition (20cm) rather than shallow water-depth (5cm). Despite of high calcium content in inflow water (> 15ppm) into the constructed wetland, *S. palustre* populations have survived in most experimental plots during the monitoring period. Substrate layer including moss peat with high surface-area might play a role as an ion-filter. After three years, relatively thicker litter-layer in *Z. latifolia* plots due to vigorous growth appeared to heavily depress *S. palustre* by physical compressing and complete shading processes. Most of all, for the continuous growth of *S. palustre*, physio-chemical characteristics of water and substrate must be carefully managed. In addition, companion emergent species should be also cautiously selected not to depress

* 본 연구는 환경부 산하 수생태복원사업단의 Eco-STAR project(EW33-08-12) 연구비 지원을 통해 수행되었음을 밝힙니다.

First author : Hong, Mun Gi, Dept. of Biology Education, Seoul National University,
Tel : +82-2-880-9077, E-mail : duflex7@daum.net

Corresponding author : Kim, Jae Geun, Dept. of Biology Education, Seoul National University,
Tel : +82-2-880-7896, E-mail : jaegkim@snu.ac.kr

Received : 16 November, 2013. **Revised** : 10 December, 2013. **Accepted** : 9 December, 2013.

S. palustre by much litter production. We suggest *P. australis* and *T. angustifolia* as companion species rather than *Z. latifolia*.

Key Words : *Artificial wetland, Moss peat, Peatlands, Substrate, Water level.*

I. 서 론

선태류에 속하는 물이끼류(*Sphagnum* spp.)는 주로 북유럽이나 러시아, 캐나다 등 북반구의 고위도 지역에 주로 분포하며, 중위도의 아시아 및 아열대 지방에서도 서식하는 것으로 알려져 있다(Spatt and Miller, 1981; Gignac and Vitt, 1990; Rydin and Jeglum, 2009). 물이끼류가 만들어내는 페놀화합물에 의한 산성 환경은 습지 내 식물 분해를 느리게 하여 유기물이 분해되지 않은 채 이탄형태로 축적되게 한다. 이러한 물이끼류의 특성은 북반구에 넓게 발달된 이탄습지로 하여금 상당한 규모의 탄소저장고로서 기능하도록 하고 있으며, 그 양이 220~460PgC (1Pg = 10¹⁵g)에 육박한다(Gignac and Vitt, 1990; Gorham, 1991; Rydin and Jeglum, 2009).

우리나라의 경우 오대산 소항병산늪, 대암산 용늪 및 정족산 무제치늪 등의 산지습원과 무의도 산림습지등 상대적으로 높은 고도에 위치한 습지에서 물이끼류 서식이 제한적으로 보고된 바 있다(Kang, 1970; Bae *et al.*, 2003; Kang and Yoshioka, 2005; Kim, 2009; Paik, 2010; Park and Kim, 2012). 또한 안산시 반월동의 계단식 목논습지(해발고도, 약 80m)에서도 이례적인 물이끼 서식(*S. palustre*)이 확인된 바 있다(Hong and Kim, 2013). 이는 다른 서식처에 비해 상대적으로 낮은 고도에서도 물이끼류 서식이 가능함을 시사한다(Park *et al.*, 2013).

물이끼류는 형태적·생리적 특성으로 인하여 분포가 제한된다. 대부분의 물이끼류는 습지 내

이온 중 특히 마그네슘이나 칼슘 등의 이온이 과할 경우 고사하게 된다(Clymo and Hayward, 1982; Gignac and Vitt, 1990). 또한 물이끼류는 기온이나 수온이 높고 양분이 풍부한 환경에선 다른 유관속 식물들과의 경쟁에서 우위를 잡기 어렵다. 그러므로 우리나라에서는 이와 같은 생육 환경 조건을 모두 충족하는 산지습원에서만 서식한다.

물이끼류는 습지의 독특하고 특이적인 경관을 조성하여 심미적 가치를 높이며(Hong and Kim, 2013), 다양한 유관속 식물들의 서식기질로서 기여하는 등(Rochefort, 2000; Lee and Kim, 2011a, 2011b) 생태적 가치가 굉장히 높은 식물군이다. 또한 국내에서 보고된 대부분의 물이끼 습지처럼 일반적으로 낮은 양분 조건에 서식하는 물이끼의 생육은 다양한 식물종의 서식 가능성과도 직결된다(Kim, 2009; Park and Kim, 2012; Hong and Kim, 2013). 그럼에도 불구하고 우리나라의 경우 Choi(1989)에 의한 분류학적 연구 및 대암산이나 오대산 등지에서의 서식처 환경 인자 분석 등(Kang and Yoshioka, 2005; Kim, 2009; Park and Kim, 2012; Hong and Kim, 2013) 지극히 제한적인 연구만 수행되어 왔다. 뿐만 아니라 물이끼류의 분포나 생육 특성 등에 관한 생태학적 연구는 사실상 전무한 실정이다.

낮은 수준의 마그네슘이나 칼슘 이온 환경을 필요로 하는 생육 조건이 까다롭고 선태류로서 다른 식물군과의 경쟁에 있어 취약할 수밖에 없는 물이끼류는 빠른 기후 변화나 인간에 의한 교란 등에 의해 얼마든지 멸종위기에 처할 수 있다(Andrus *et al.*, 1992; Gunnarsson

et al., 2005; Hong and Kim, 2013). 오대산이나 대암산 등과 같은 산지습원뿐만 아니라 무의도 산림습지나 안산시 반월동의 계단식 묵논습지 등 취락이나 축사 등으로부터 가까운 습지들의 경우 인간에 의한 인위적인 교란에 의해 훼손될 가능성이 크다(Park and Kim, 2012; Hong and Kim, 2013).

본 연구는 그러한 취약성을 띠는 물이끼 습지를 보존하고 적절히 유지하기 위한 차원에서 고안되었으며 안산, 반월동 사례와 같이 상대적으로 낮은 고도에 위치한 습지로의 물이끼 확대도입에 대한 가능성 및 실효성을 타진하기 위해 계획되었다. 이를 위해 오대산의 갈대 습지(조개동 습지)와 안산 반월동의 계단식 묵논습지 내 물이끼류 생육 특성 등을 종합적으로 고려하여 인공습지를 설계하였다. 총 3년간(2011~2013년)의 모니터링을 통해, 동반식 재종과 매질 및 수심 등의 환경 조건이 인공습지 내 물이끼 생육과 더불어 습지생태계 전반에 어떤 영향을 미치는지 파악하였다. 이를 통해 생태적 가치가 높은 물이끼류에 대한 기초적인 이해와, 물이끼 습지의 보존, 관리 및 복원 등에 유용한 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 인공습지 설계 및 조성

인공습지 내 물이끼 생육 가능성 확인을 위해 상대적으로 낮은 고도에 위치한 습지에서 서식하는 안산시의 물이끼(*S. palustre*)를 식재 대상 물이끼 종으로 선정하였다. 조성된 인공습지에 물이끼를 포설하기 위해 안산시 계단식 묵논습지로부터 채취한 물이끼를 인공습지 조성 예정지(36°38'22.71"N, 127°36'10.53"E; 해발고도 약 210m)인 충북 청주에 위치한 온실에서 1년간 증식시켰다. 청주에 위치한 인공습지 조성예정지는 안산시 계단식 묵논습지(해발고도 약 86m)와 크게 다르지 않은 환경 조건

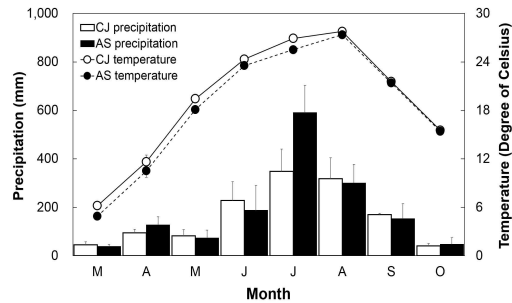


Figure 1. Mean temperature and precipitation in study site (CJ, Cheongju-si) and *Sphagnum* sampling site (AS, Ansan-si) during the monitoring period (2011.3~2013.10). SE bars were shown. Climatic records were obtained by the nearest meteorological administration in Cheongju-si and Suwon-si (<http://kma.go.kr>).

특히 기후 조건을 고려하여 선정하였다(Figure 1). 과한 칼슘 및 마그네슘 등의 양분 조건에 의해 물이끼가 고사하는 것을 방지하기 위해 빗물 집수 시스템을 갖춘 온실(주식회사 일송환경복원) 내에서 빗물을 사용하여 증식시켰으며 충분한 빛 조건과 온도가 유지될 수 있도록 하였다.

약 1,000m²(40m×25m) 면적의 인공습지는 총 40개의 실험구(3m×3m)로 구성되었으며 동일한 조건의 실험구가 서로 인접하지 않도록 임의배치 하였다. 각각의 실험구는 세 가지 식재 식물[갈대, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.; 애기부들, *Typha angustifolia* L.; 줄, *Zizania latifolia* (Griseb.) Turcz. ex Stapf]과 두 가지 수심 조건(5cm와 20cm), 두 가지 매질 조건(개별매질과 혼합매질), 그리고 세 개의 반복으로 구성되었다. 전체적으로 36개의 실험구와 4개의 대조구(식물을 식재하지 않은 채 두 가지 수심 조건과 두 가지 매질 조건을 혼합한 개별 대조구)로 구성되었다. 세 가지 대형정수 식물은 우리나라에서 흔히 관찰되는 종들 중 높은 생물량을 보이며 물이끼와의 혼재가능성을 고려하여 선별하였다. 실제 갈대의 경우 오

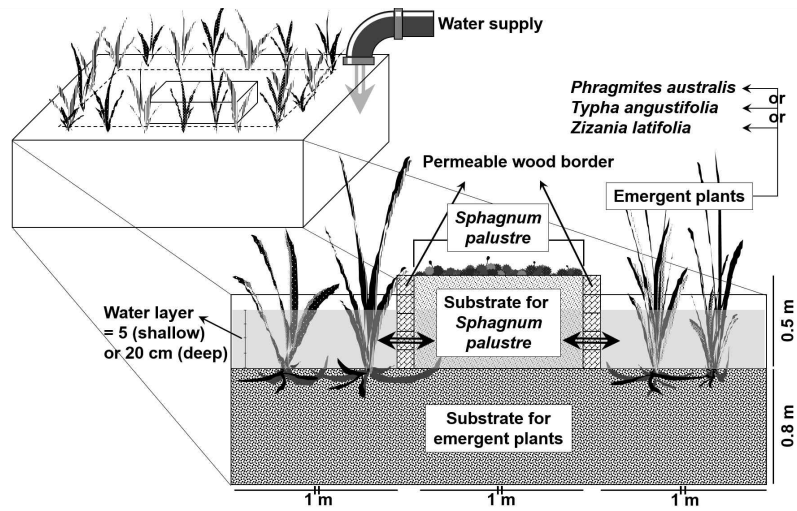


Figure 2. Schematic diagram of individual experimental plot : a case of separated substrates condition (moss peat as a substrate for *S. palustre* and polishing sand for emergent plants such as *P. australis* and *T. angustifolia*).

대산 조개동 습지에서 물이끼와의 혼재가 확인된 바 있다(Hong and Kim, 2012).

매질조건의 경우 개별매질과 혼합매질로 구분하였다. 실질적으로 갈대나 애기부들과 같은 대형정수식물 식재 시 선호되는 매질조건과 물이끼류 식재 시 활용되는 매질이 다르다(Kim, 2008). 그렇기 때문에 개별매질조건의 경우 일반적으로 대형정수식물 식재 시 활용되는 매질(모래를 포함한 마사토)과 물이끼류 식재에 활용되는 매질(moss peat)을 각각 구분하여 실험구를 조성하였으며 혼합매질조건의 경우 두 매질을 따로 구분하지 않고 동일 비율(1 : 1)로 섞어 실험구를 조성하였다(Figure 2). 물이끼는 과한 양분 조건에서 생육이 불량해지거나 고사할 여지가 있기 때문에 대형정수식물의 생육을 고려한 시비는 따로 수행하지 않았다.

물이끼와의 혼재를 위한 대형정수식물의 경우 갈대, 애기부들 그리고 줄을 선정하였으며, 노지의 거친 땅에 직접 식재해야하므로 갓 발아시킨 유묘 대신 2년생 식물을 준비하였다. 식재 시 갈대는 약 15cm, 애기부들과 줄은 약 20cm 정도의 초장이었으며 지하경과 뿌리가

잘 발달돼 있었다. 해당 종은 각 실험구별로 28개체(개체 간 약 30cm의 간격으로 정사각형의 네 변위에 선상으로 위치하도록 식재)씩 식재되었다(Figure 2). 물이끼의 경우 물이끼를 위한 1m×1m 방형구를 약 100개의 격자로 나눠 10cm×10cm의 개별 격자에 두상체(apical meristem)를 포함한 capitulum)를 포함하여 약 5cm 길이의 물이끼가 놓이도록 하여, 1개의 방형구(1m×1m) 당 총 100개의 물이끼가 포설되도록 하였다.

습지로 공급될 수원(인공습지 주변 계곡수)의 수질 분석 결과 칼슘 농도가 16.1±2.0ppm으로 물이끼류가 서식하는 것으로 확인된 산지습원(3ppm 이하)이나 안산시 계단식 목논습지(1ppm 이하) 등과 비교 시 상당히 높은 수준인 것으로 확인되었다(Table 1)(Hong and Kim, 2013). 칼슘 문제를 어느 정도 해결하기 위한 차원으로, 표면적이 넓어 높은 이온흡착력이 예상되는 moss peat를 포함한(또는 moss peat로만 구성된) 매질을 약 500 L(1m×1m×0.5m) 준비하여 물이끼를 위한 매질로 활용하고자 하였다.

Table 1. Physio-chemical characteristics of supplied water (N = 7).

	pH	EC (μ S/cm)	PO ₄ -P (ppm)	NO ₃ -N (ppm)	NH ₄ -N (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)
Mean	7.0	154.3	0.05	0.67	0.05	3.2	16.1	3.9	2.7
\pm 1SE	\pm 0.1	\pm 12.5	\pm 0.01	\pm 0.09	\pm 0.01	\pm 1.3	\pm 2.0	\pm 0.3	\pm 0.4

EC = electric conductivity, SE = standard error.

물에 대한 흡수력이 뛰어난 moss peat의 물리적 특성을 활용하여, 물이끼가 직접 물에 침수되지 않도록 moss peat를 포함한 매질을 먼저 통과한 물을 선택적으로 공급받을 수 있도록 설계하였다(Figure 2). 수심(5cm와 20cm) 조건의 경우 식재 직후엔 되도록 낮게(지면 수준) 유지시켰으며 약 한 달가량 생육시킨 뒤로부터 계획한 수준으로 유지될 수 있도록 자동 급수장치를 활용하였다.

2. 매질 내 양분 분석

유기물질을 다량 포함한 moss peat가 섞인 혼합매질과 주로 모래 등으로 구성된 마사토로만 구성된 개별매질 간 양분 차이가 날 것으로 예상하였다. 대형습지식물 생육에 직접적으로 영향을 미치게 되는 양분 수준 비교를 위해 인공습지 조성 후 약 1년경과 후인 2012년 늦봄 모든 조사구로부터 매질(대형정수식물 식재부)을 채취하였다. 매질 채취는 휴대용 채토기를 사용하였으며 각 실험구별로 5회 채토(매질로부터 약 5cm 깊이)한 뒤 섞어서 최대한 균질한 상태가 되도록 하였다.

채취한 토양은 유기물함량, PO₄-P, NO₃-N, NH₄-N, K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, 분석을 위해 실험실로 옮겨졌다. 본격적인 분석에 앞서 2mm 크기의 격자인 체를 통해 매질을 제외한 식물 성분(지하경 및 뿌리 등)을 제거하였다. 유기물함량의 경우 550°C의 용광로에서 4시간 동안 작열한 후 무게 차이로 측정하였다(Boyle, 2004). PO₄-P은 NH₄F와 HCl을 활용하는 Bray법(Bray and Kurtz, 1945)을, NO₃-N와 NH₄-N 분석의

경우 KCl로 침출한 뒤 각각 Hydrazine법과 Indo-phenol법으로 비색 정량하였다(Kamphake *et al.*, 1967; Kim *et al.*, 2004). 양이온 분석은 NH₄OAc로 침출한 뒤 원자흡광광도계(Varian, Model AA240FS)를 통해 정량하였다(Allen *et al.*, 1974).

3. 식물 생육 모니터링

식물 생육의 경우 3년 차인 2013년 초가을(9월)에 수행하였으며 각 실험구별로 식재 식물의 초고와 지상부 건중량을 측정하였다. 각 실험구를 대표할 수 있는 ramet을 부분적으로 수확한 뒤 전체 밀도(ramet의 수)를 고려하여 총 건중량으로 환산하였다. 대조구의 경우 25cm×25cm 면적의 방형구를 세 개씩 임의 설치 뒤 수확하였다. 수확한 지상부 식물체는 실험실로 옮겨진 뒤 70°C의 건조기에서 48시간 이상 건조시켜 저울을 통해 무게를 측정하였다.

물이끼 생육의 경우 보통 개별 개체의 초장 측정이나 수확을 통한 건중량을 측정하는 것이 보통이다(Breeuwer *et al.*, 2008). 하지만 다년에 걸쳐 수행되는 모니터링의 경우 각각의 개체를 구분하기 어려워져 초장 분석이 현실적으로 힘들며 수확의 경우 정수식물의 경우와 마찬가지로 이듬 해 생육에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 물이끼 생육을 비교할 수 있는 간단한 지수를 새롭게 개발·적용하였으며, 모니터링 마지막해인 2013년 늦여름에 일괄 측정하였다. 실험구 간 물이끼 생육을 간접적으로 비교하기 위한 지수에 대한 설명은 다음과 같다.

물이끼 생육 지수(*Sphagnum* growth index, SGI)

$$= \log(C) \times V$$

* C, coverage (피도) = 일반적으로 식물사회학적 분석을 위한 방형구 조사 시 활용되는 피도와 동일한 개념으로서 1m×1m 면적의 물이끼 방형구 내 물이끼가 덮고 있는 정도를 정량적으로 나타내는 수치.

** V, vitality (활력도) = 물이끼는 일종의 환경지표 종과 같이 수분조건이나 양분조건 등에 굉장히 민감하게 반응을 보이는 특징을 갖고 있다. 생육이 좋을 경우 밝고 선명한 녹색을 띠지만 그렇지 못할 경우 하얗게 변색되거나 검게 타면서 고사한다. 물이끼 외관의 색을 토대로 가장 상태가 좋을 경우 5점을, 반대로 가장 상태가 나쁠 경우 1점을 부여하는 식으로 총 다섯 등급을 부여할 수 있도록 평가하였다(Lickert scale).

자연적으로 유입되는 식물은 제거하지 않았는데 이는 인공습지 내 조성 환경에 따른 식재종 및 물이끼의 경쟁력과 자생력을 확인하기 위함이었다. 뿐만 아니라 이후 물이끼 서식 인공습지의 적정 관리 방안 마련을 위한 유용한 자료로 활용하고자 하였다. 단, 장마 이후 인공습지 인근의 밭으로부터 인공습지로 무분별하게 침투하는 환삼덩굴의 경우 조성 환경(수심 및 매질 조건)의 영향을 전혀 받지 않는 덩굴성 식물이므로 예외적으로 제거하였다.

매질 내 양분 분석 및 식물 생육 비교 시 사후 검정은 Duncan의 사후 검정을 활용하였다. Three-way ANOVA 분석 전 정규성(normality)과 등분산성(homoscedacity) 가정을 위해 지상부 건중량의 경우 제곱근(SQRT-x transformed) 변환을 수행하였다. Duncan의 사후 검정 및 three-way ANOVA(독립변수 : 식물종, 수심, 매질 조건)를 포함한 모든 통계분석은 통계프로그램인 statistics SPSS ver. 20.0 (for windows)을 활용하였다.

III. 결 과

1. 매질 양분 분석

매질 내 양분 수준의 경우 수심에 의한 차이 및 경향성 등은 확인할 수 없었으며 moss peat의 혼합 여부가 보다 유의미한 차이의 원인인 것으로 확인되었다(Figure 3). 대형정수식물을 위한 매질 조건 내 양분 분석 결과, 유기물함량, PO₄-P, 양이온 등 거의 대부분이 혼합 매질에서 더 높게 검출되었다(Figure 3). 혼합 매질 중 PO₄-P(약 20mg/kg)의 경우 개별매질(약 10mg/kg)에 비해 거의 두 배 수준으로 높게 검출되었다(Figure 3B). NO₃-N의 경우 혼합 매질과 개별매질 조건 간 차이가 없었으며(Figure 3C), NH₄-N의 경우 특별한 경향이 없는 것으로 확인되었다(Figure 3D).

2. 식물 생육

인공습지 조성 후 약 3년간의 생육 결과, 갈대, 애기부들 및 줄의 지상부 생산성 차이에 직접적인 영향을 주는 환경 인자는 식재종의 종류($P < 0.001$)와 매질조건($P < 0.01$)인 것으로 확인되었다(Table 2). 얇은 수심 조건과 상대적으로 깊은 수심 조건은 인공습지 내 대형정수식물의 생육에 결정적인 영향을 미치지 못한 것으로 확인되었다. 식재종의 종류, 수심 조건 그리고 매질조건 간 혼합효과는 존재하지 않는 것으로 나타났다(Table 2).

식물 종별 지상부 생산량의 경우 줄(약 1,500g/m²), 애기부들(약 900g/m²) 그리고 갈대(약 500g/m²) 순으로 높았다($P < 0.05$). 줄의 경우 개별매질이 상대적 깊은 수심 조건에서 2,412g/m²로 상당히 높은 지상부 생산성이 확인되었다. 수심 조건에 의한 지상부 생산성의 경우 유의미한 경향성은 확인되지 않았으나, 전반적으로 깊은 수심(20cm) 조건에서 상대적으로 높은 지상부 생산성을 보였다(Figure 4).

특히 세 종 모두 얇은 수심 조건과 혼합매

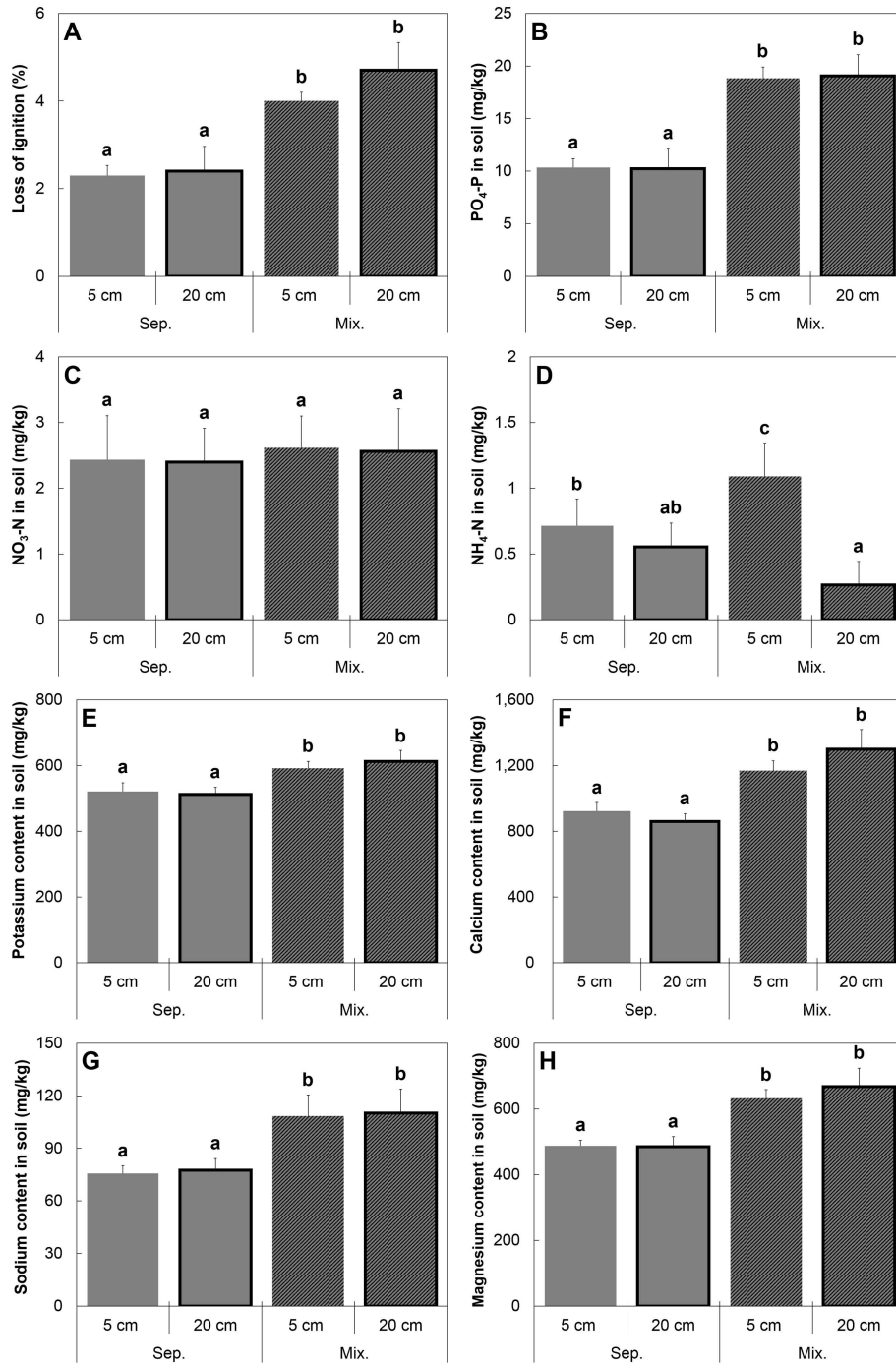


Figure 3. Organic matter (loss of ignition), macro, and micro nutrient contents in substrate for emergent plants (Each n = 9). SE bars were shown. Sep. = separated substrate (polishing sand only), Mix. = mixed substrate (polishing sand including moss peat). Different letters indicate statistically different sub-group by Duncan's post-hoc test ($P < 0.05$).

Table 2. Three-way ANOVA result for SQRT above-ground dry weight. Plant species (*Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, and *Zizania latifolia*), water level (shallow and deep condition), and substrate (separated and mixed).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Plant species (PS)	965.9	2	482.9	14.1	0.000***
Water level (W)	106.9	1	106.9	3.1	0.089
Substrate (S)	373.8	1	373.8	10.9	0.003**
PS x W	34.1	2	17.1	0.5	0.613
PS x S	7.9	2	4.0	0.1	0.891
W x S	42.3	1	42.3	1.2	0.277
PS x W x S	63.5	2	31.8	0.9	0.408

SQRT = square root.

** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

질 환경에서 상대적으로 낮은 지상부 생산성을 보였다. 갈대의 경우 유의미한 차이는 확인되지 않았으나 줄과 애기부들의 경우 다른 환경 조건의 약 절반 수준의 지상부 생산성(줄, 약 700g/m²; 애기부들, 약 500g/m²)을 나타내었다(Figure 4).

그러나 대조구 내 지상부 생산성의 경우 대형정수식물들과 완전히 반대의 경향을 보였다. 줄이나 애기부들과 같은 대형정수식물의 경우

얕은 수심 조건과 혼합매질 조건에서 이례적으로 낮은 지상부 생산성이 확인된 반면, 대조구의 경우 오히려 얕은 수심 조건과 혼합매질에서 상대적으로 높은 지상부 생산성을 보였다(Figure 4). 나머지 세 조합조건의 평균 지상부 생산성이 약 124g/m²인 반면 얕은 수심 조건과 혼합매질 환경의 경우 약 507g/m²로 거의 4배 이상의 차이가 확인되었다.

식재 식물종의 초고 분석 결과 갈대와 애기부들은 약 175cm 수준이었으며 줄은 약 120cm 수준이었다(Figure 5). 갈대와 애기부들의 경우 상대적으로 깊은 수심 조건에서 더 큰 초고($P < 0.05$)를 보이는 반면 줄은 유의미한 차이가 확인되지 않았다. 가장 높은 초고는 깊은 수심 조건 및 개별매질 조건의 갈대(265cm)였으며 가장 낮은 초고는 깊은 수심 조건 및 혼합매질 조건의 줄(69cm)이었다.

물이끼 생육 지수(SGI)를 토대로 조성 환경 조건별 물이끼 생육을 비교해 본 결과 깊은 수심 및 혼합매질(5.2±1.2)에서 가장 생육이 좋았으며 그 다음으로 깊은 수심 및 개별매질(4.4±1.6) 순이었다. 물이끼가 물에 직접 침수되지 않았음에도 불구하고 얕은 수심 환경의 경우 깊은 수심에 비해 전반적으로 물이끼 생육(개별매질,

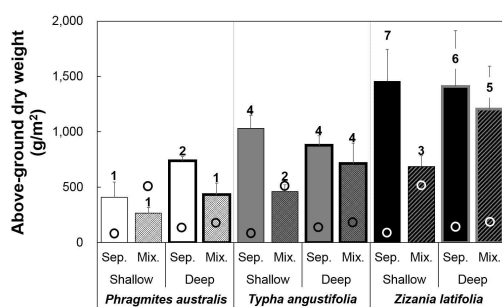


Figure 4. Above-ground dry weight of planted emergent species according to different environmental conditions (Each n = 3). Sep. = separated, Mix. = mixed. Different numbers on the SE bars indicate statistically different sub-group by Duncan's post-hoc test ($P < 0.05$). Circles on the graph denote above-ground dry weight from the control plots.

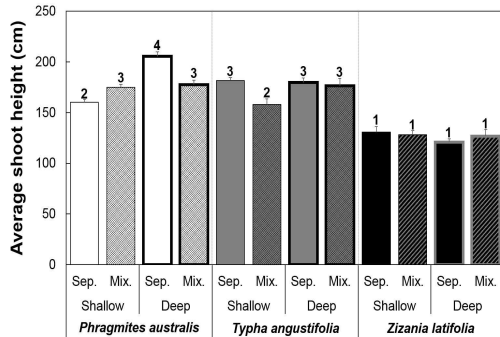


Figure 5. Average shoot height of planted emergent species according to different environmental conditions (Each n = 3). Sep. = separated, Mix. = mixed. Different numbers on the SE bars indicate statistically different sub-group by Duncan's post-hoc test ($P < 0.05$).

3.5±1.8; 혼합매질, 3.4±2.0)이 좋지 않은 것으로 확인되었다(Figure 6A).

물이끼와 혼재를 유도한 식재종의 생산성과 물이끼 생육 지수를 비교해본 결과, 상대적으로 생산성이 높았던 줄 실험구에서의 물이끼 생육지수(3.5±0.5)가 다른 두 종이 식재된 실험구의 생육지수보다 낮은 것으로 확인되었다(갈대, 4.4±0.6; 애기부들, 4.4±0.5)(Figure 6B).

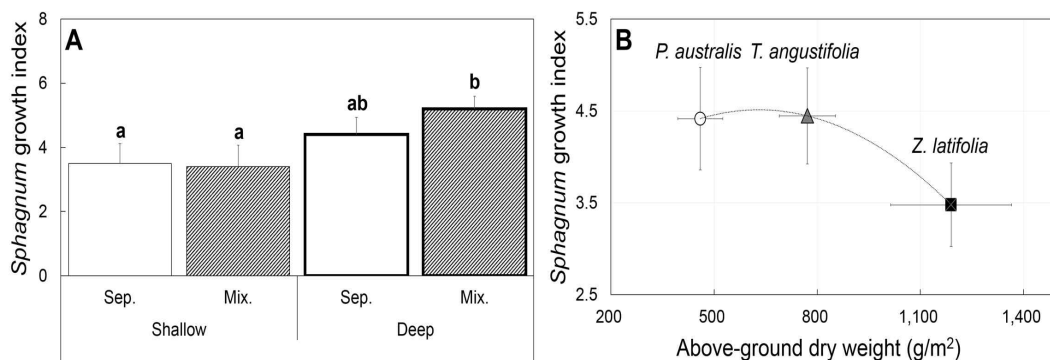


Figure 6. *Sphagnum* growth index (SGI) according to environmental conditions (A, each n = 9) and above-ground dry weight of planted species (B, each n = 12). SE bars were shown. Sep. = separated, Mix. = mixed. [SGI = log (coverage, %)×vitality (color-based)]. Different letters on the SE bars in left-side figure (A) indicate statistically different sub-group by Duncan's post-hoc test ($P < 0.05$). *P. australis* = *Phragmites australis*, *T. angustifolia* = *Typha angustifolia*, *Z. latifolia* = *Zizania latifolia*.

IV. 논 의

1. 물이끼 인공습지에서의 대형정수식물 생육

물이끼는 갈대나 애기부들과 대형정수식물과 달리 높은 양분 조건에 상대적으로 취약한 종이다. 특히 질소, 칼슘, 마그네슘 등이 과할 경우 고사하는 것으로 알려져 있다(Karlin and Andrus, 1988; Gunnarsson and Rydin, 2000; Yabe and Uemura, 2001). 물이끼 생육이 보장되는 인공습지는 물이끼를 제외한 다른 식물종 특히 갈대나 애기부들과 같은 대형정수식물의 생육이 다소 불량할 여지가 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 갈대나 애기부들과 같은 대형정수식물을 위한 환경(모래를 포함한 마사토 및 침수 환경 조성)과 hummock species에 속하는 물이끼(*S. palustre*)가 선호하는 환경(moss peat와 침수되지 않는 환경 조성)을 동시에 고려한 습지를 설계·조성하였다(Figure 2).

인공습지 조성 후 약 3년간의 식재식물(갈대, 애기부들 및 줄) 생육 모니터링 결과, 양분이 풍부한 범람원 등지에서의 지상부 생산성에는 미치지 못하지만 시비를 하지 않았음에도 불구하고 상당한 생장이 확인되었다. 특히,

줄의 경우 평균 약 1,500g/m²로 자연습지의 수준을 보여주었으며(Cho and Kim, 1994), 무엇보다도 줄과 같은 대형정수식물과 물이끼 간 혼재가 얼마든지 가능함을 보여주었다.

식재종들의 초고는 지상부 생산성과 정 반대 경향을 보인 것으로 보아 선행연구(Hong and Kim, 2012)에서 밝혀진 바와 같이 갈대 등 식재 식물종의 지상부 생산성은 초고에 의한 결과라기보다 밀도(ramet의 수)에 의한 것임을 알 수 있다(갈대, 약 234.8 ramets/plot; 애기부들, 약 233.4 ramets/plot; 줄, 약 860.9 ramets/plot).

상업적으로 판매하는 moss peat는 부숙시킨 물이끼 고사체를 다량 함유한 유기물 매질이다. Moss peat와 마사토를 1:1 비율로 섞은 혼합매질 조건의 경우 마사토로만 구성된 개별매질 조건에 비해 유기물함량 및 PO₄-P 등 대부분의 양분 조건이 우수한 것으로 확인되었다(Figure 3). 그럼에도 불구하고 세 종 모두 혼합매질보다 개별매질(moss peat가 포함되지 않은)에서 유의미하게 높은 수준의 생육(지상부 생산성)이 확인되었다(Table 2 and Figure 4). 이는 moss peat에 다량 포함된 여러 종류의 이끼류가 부숙되는 과정에서 배출되는 타감물질에 의한 타감작용 효과로 추정된다. 실제로 이탄습지 등지에서 물이끼류가 다른 유관속식물들과의 경쟁에 있어 페놀화합물을 포함한 다양한 종류의 타감물질을 배출함으로써 다른 식물들의 발아 및 생육을 저해하는 것으로 알려져 있다(Sharma *et al.*, 2009). 즉, moss peat가 대부분 유기물로 구성돼 있으며 PO₄-P 등 다량의 양분을 포함하는 것은 사실이나 상당량의 타감물질도 함께 포함하고 있어 갈대나 애기부들과 같은 대형정수식물의 생육이 오히려 저해된 것으로 판단된다.

대형정수식물을 위한 조성 수심(5cm와 20cm)의 경우 통계적 유의미성을 확보할 만큼의 명확한 차이는 아니었으나 전반적으로 낮은 수심 조건에서의 생육이 깊은 수심 조건에 비해

다소 불량한 것으로 확인되었다(Figure 4). 특히 낮은 수심 조건과 혼합매질 환경에선 세 종 모두 굉장히 낮은 수준의 생육을 보였다. 이는 앞서 언급한 타감작용과 더불어 낮은 수심으로 인해 상대적으로 낮아진 양분흡수능에 기인한 결과로 판단된다.

특히 애기부들이나 줄과 같은 깊은 수심을 상대적으로 선호하는 대형정수식물들의 경우 깊은 수심에서 오히려 생육이 좋은 것으로 알려져 있다(Cho and Kim, 1994; Inoue and Tsuchiya, 2006). 잘 발달돼 있는 통기조직을 통한 지하부의 산소 이행은 뿌리로 하여금 식물이 필요로 하는 양분을 보다 효율적으로 흡수할 수 있도록 돕는다(Inoue and Tsuchiya, 2008). 즉, 20cm 수심 조건은 침수 스트레스를 유발하는 환경이라기보다 오히려 매질에 포함된 양분을 보다 효과적으로 흡수할 수 있도록 하는 환경조건으로서 작용한 것으로 보여진다.

얕은 수심 및 혼합매질에서 세 식재종의 지상부 생산성이 상대적으로 낮은 것의 또 다른 원인으로서는, 자연적으로 유입된 잡초종에 의한 경쟁효과도 고려해볼 필요가 있다. 이는 대조구 내 식생을 대상으로 수행한 식물 수확 결과를 통해 간접적으로 확인할 수 있는데, 다른 조건들(약 124g/m²)에 비해 얕은 수심 및 혼합매질 조건에서 상대적으로 높은 수준의 지상부 생산성(507g/m²)이 확인되었다(Figure. 4).

네 가지 조건의 대조구 모두에서 출현하였으며 특히 얕은 수심과 혼합매질 조건에서 굉장히 높은 수준의 피도(84%)를 보인 고마리는, 얕은 수심을 선호하는 것으로 알려져 있는 높은 경쟁력의 1년생 습생잡초다(Kim *et al.*, 2013). 정량적인 결과물로서 제시되어 있진 않으나 실제로 거의 대부분의 실험구에서 고마리가 출현하였으며 얕은 수심과 혼합매질의 대조구에서 특히 높은 피도와 생물량을 보인 고마리가 식재식물종들의 생육을 다소 방해했을 것으로 판단된다(부록 참고).

2. 매질, 수심 및 등반중에 따른 물이끼 생육

관다발 및 뿌리 등이 제대로 발달하지 않아 능동적으로 물을 흡수할 수 없는 물이끼류는 대형정수식물과 같은 유관속식물과 비교하여 수질 등의 양분조건에 굉장히 민감하다. 특히 물에 포함돼 있는 과량의 질소나 칼슘, 마그네슘 등에 취약한 것으로 알려져 있는데(Karlin and Andrus, 1988; Gunnarsson and Rydin, 2000; Yabe and Uemura, 2001), 본 연구를 통해 조성된 인공습지로 공급된 계곡 유입수의 경우 무엇보다도 칼슘의 농도($16.1 \pm 2.0 \text{ppm}$)가 물이끼 생육엔 다소 부적합한 것으로 예상되었다(Hong and Kim, 2013). 본 연구진은 그러한 문제를 위한 해결책으로서 높은 표면적을 갖는 다량의 moss peat를 매질로서 활용하고자 하였다. 그 결과, 습지 조성 3년경과 후에도 대부분의 실험구에서 물이끼가 생존하였을 뿐만 아니라 몇몇 조건에선 상당히 좋은 물이끼 생육이 확인되었다(Figure 6A). 즉, 두꺼운 moss peat층이 일종의 이온여과체로서 잘 기능하여 물이끼 생육이 가능하도록 한 것이다.

Hummock species로서 침수환경에 취약한 중인 물이끼의 생태적 특성(Hong and Kim, 2013)을 고려하여 물이끼층이 물에 침수되지 않도록 설계하였다. 그럼에도 불구하고 상대적으로 깊은 수심 조건에서 물이끼의 생육이 전반적으로 높은 것으로 확인되었으며(Figure 6A), 해를 거듭할수록 그 효과가 커졌다. 관다발조직이 따로 발달하지 않은 물이끼는 오로지 수분퍼텐셜 차이로 물을 흡수하게 되는데, 물이끼가 성장하면 성장할수록 광합성 및 생장이 가장 활발하게 이뤄지는 두상체가 포함된 물이끼층의 상부까지 물이 끌어올려지기 어려워지는 것이다(물이끼의 길이 생장은 지면에 수평방향으로의 생장보다 수직방향으로의 생장에 보다 기여하게 된다). 실제로 많은 광량에 오랜 시간 노출되는 여름철엔 두상체 부위가 건조스트레스로 하얗게 고사한 경우를 수차례 확인하였다.

건조스트레스로 인해 상대적으로 전반적인 생육이 불량했던 얇은 수심조건과 달리 물 공급이 원활했던 깊은 수심 조건의 경우 매질 조건에 의한 물이끼 생육 차이를 확인할 수 있었다. 전반적으로 moss peat로만 구성된 개별 매질에서보다 마사토를 1:1 비율로 섞은 혼합 매질에서 물이끼 생육이 좋은 것으로 확인되었다(Figure 6A). Moss peat로만 구성돼 있는 개별매질의 물이끼들 대부분이 갈변하다가 검게 타면서 고사하였는데 이는 칼슘 등의 양분 이온에 의한 고사와는 다른 형태의 고사였다(칼슘이나 마그네슘 등이 과한 환경에서 물이끼가 고사할 경우 두상체에 하얀 결정들이 관찰된다). Moss peat로만 구성된 개별매질 실험구의 경우 물이끼뿐만 아니라 다른 건생잡초들 또한 굉장히 적었는데 이는 moss peat에 포함돼 있는 타감물질에 의해 외부로부터 유입된 건생잡초들의 유묘생장이 억제되었기 때문일 것이다(Sharma *et al.*, 2009).

물이끼와 함께 식재한 대형정수식물의 생육이 본격적으로 왕성해진 2년차부터 무성생식 기관인 지하경을 통한 확장이 본격적으로 진행되었다. 정사각형 형태인 가상의 방형구의 각 변에 선상으로 식재한 대형정수식물들은 2년차인 2012년 여름, 물이끼를 포설한 중심부를 포함한 실험구 전반으로 확장하였다. 2012년 늦가을, 다른 종들에 비해 상대적으로 생육이 좋았던 줄의 경우 많은 양의 사체가 물이끼층 위에 쌓인 채로 월동하였다. 그렇게 쌓인 다량의 줄 사체는 이듬해 물이끼 생육에 영향을 주었는데, 갈대와 애기부들이 식재된 실험구에 비해 줄이 식재된 실험구의 물이끼 생육이 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있었다(Figure 6B).

실제로 줄을 식재한 실험구의 경우 조사된 물이끼 피도가 '0'으로 실험구에서 완전히 사라진 경우도 있었다. 다른 유관속식물들과는 달리 길이생장이 더딘 물이끼의 경우 두꺼운 줄 사체

로 인한 완전한 차광 환경을 극복할 방법이 없기 때문에 고사하였거나 줄 분해 과정에서 방출된 과량의 양분에 의해 고사한 것으로 판단된다. 갈대와 애기부들의 경우 줄에 비해 초고는 크지만 상대적으로 밀도가 낮은 생장 특성을 보였다(Figure 4 and 5). 특히 갈대의 경우 고사한 이후에도 최소 2~3년 정도 줄기가 서있는 상태로 고사한 뒤, 바람에 의해 부숩지기 때문에 사체가 쌓임으로 인한 물이끼 생육 저해효과는 가장 적었을 것이다(Granéli, 1989).

V. 결 론

대형정수식물과 더불어 물이끼 생육이 가능한 인공습지 조성 후 3년 동안의 경과를 모니터링 하였다. 그 결과 유입되는 수원의 칼슘 농도가 높은 수준임에도 불구하고 높은 표면적을 지닌 moss peat가 일종의 이온여과제 역할을 하여줌으로써, 그로 인한 물이끼 고사는 확인되지 않았으며 일부 물이끼는 굉장히 좋은 생육을 보여주었다. 대형정수식물도 마찬가지로, 시비가 전혀 이뤄지지 않았을 뿐만 아니라 전반적으로 낮은 양분 조건의 유입수 및 매질 환경에도 불구하고 상당 수준의 생육을 보여주었다. 즉, 본 연구 성과는 안산시의 계단식 목논습지에서와 같이 갈대나 애기부들 그리고 줄과 같은 높은 생산성을 보이는 대형정수식물과 물이끼의 혼재가, 자연의 고층습원이 아닌 인공습지 수준에서도 얼마든지 가능함을 시사한다.

3년간의 모니터링 결과 자연적으로 혼재가 드물 뿐만 아니라 두꺼운 고사체로 물이끼 생육을 저해할 여지가 큰 줄 보다는 갈대나 애기부들 특히, 갈대가 물이끼와 혼식하기에 상대적으로 적합한 종으로 판단된다(Hong and Kim, 2012). 매질 조건의 경우 갈대 식재를 고려할 경우 moss peat를 포함하지 않는 편이 좋으며 물이끼의 경우 moss peat로만 구성하지 않고 마

사토를 함께 혼합하는 것이 더 적합한 것으로 확인되었다. 수심 조건의 경우 대형정수식물과 물이끼 모두 5cm와 같은 얇은 수심 보다는 20cm와 같이 어느 정도 깊은 수심을 유지하는 것이 보다 나은 것으로 판단된다(5cm 수심의 경우 대형정수식물의 양분 흡수 저해와 더불어 물이끼로 하여금 건조 스트레스를 받게 할 여지가 있다). 20cm 수심 조건의 경우 외부로부터 유입되는 잡초 발생 또한 어느 정도 방지해 줄 수 있다는 점에서도 유용할 것이다.

감사의 글

습지 조성 및 식물 생육 모니터링에 많은 도움을 주신 일송환경복원(주)의 허영진 사장님, 김용 차장님, 주백 과장님 그리고 이원삼 과장님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 인공습지 내 이화학적 특성 및 생물량 분석에 많은 도움을 준 연구실의 남보은과 박지현에게도 많은 고마움을 전합니다.

인 용 문 헌

- Allen, S. E. · Grimshaw, H. M. · Parkinson, J. A. and Quarmby, C. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Blackwell scientific publication, Oxford.
- Andrus, R. E. · Karlin, E. F. and Talbot, S. S. 1992. Rare and endangered *Sphagnum* species in North America. Biol. Conserv. 59(2-3) : 247-254.
- Bae, J. J. · Choo, Y. S. and Song, S. D. 2003. The patterns of inorganic cations, nitrogen and phosphorus of plants in Moojechi moor on Mt. Jeongjok. J. Ecol. Field Biol. 26(3) : 109-114. (in Korean with English summary)
- Boyle, J. 2004. A comparison of two methods for estimating the organic matter content of

- sediments. J. Paleolimnol. 31(1) : 125-127.
- Bray, R. H. and Kurtz, L. T. 1945. Determination of total, organic and extracted forms of phosphorus in soil. Soil Science 59 : 39-45.
- Breuer, A. · Heijmans, M. M. P. D. · Robroek, B. J. M. and Berendse, F. 2008. The effect of temperature on growth and competition between *Sphagnum* species. Oecologia 156 (1) : 155-167.
- Cho, K-H. and Kim, J-H. 1994. Comparison of shoot growth in the populations of *Zizania latifolia* along water depth. Korean J. Ecol. 17 (1) : 59-67. (in Korean with English summary)
- Choe, D. M. 1989. Overview of research in Korean *Sphagnum* spp. Kongju National Teachers College, Rep. Sci. Edu. 21(4) : 55-81. (in Korean with English summary)
- Clymo, R. S. and Hayward, P. M. 1982. The ecology of *Sphagnum*. In : Bryophyte Ecology, (ed. A. J. E. Smith). Chapman & Hall, London.
- Gignac, L. D. and Vitt, D. H. 1990. Habitat limitations of *Sphagnum* along climatic, chemical, and physical gradients in mires of Western Canada. Bryologist 93(1) : 7-22.
- Gorham, E. 1991. Northern peatlands : role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. Ecol. Appl. 1(2) : 182-195.
- Granéli, W. 1989. Influence of standing litter on shoot production in reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel. Aquat. Bot. 35(1) : 99-109.
- Gunnarsson, U. and Rydin, H. 2000. Nitrogen fertilization reduces *Sphagnum* production in bog communities. New Phytol. 147(3) : 527-537.
- Gunnarsson, U. · Hassel, K. and Söderström, L. 2005. Genetic structure of the endangered peat moss *Sphagnum angermacinum* in Sweden : a result of historic or contemporary process?. Bryologist 108(2) : 194-203.
- Hong, M-G. and Kim, J. G. 2012. Growth characteristics of cutting culms sectioned at different positions from three reed population. J. Korean Env. Restor. Tech. 15(1) : 53-62. (in Korean with English summary)
- Hong, M-G. and Kim, J. G. 2013. Inhabitation characteristics of *Sphagnum palustre* in abandoned paddy terrace wetland : a case report in Ansan. J. Wetlands Res. 15(1) : 71-78. (in Korean with English summary)
- Inoue, T. M. and Tsuchiya, T. 2006. Growth strategy of an emergent macrophyte, *Typha orientalis* Presl, in comparison with *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* L.. Limnology 7(3) : 171-174.
- Inoue, T. M. and Tsuchiya, T. 2008. Interspecific differences in radial oxygen loss from the roots of three *Typha* species. Limnology 9(3) : 207-211.
- Kamphake, L. J. · Hannah, S. A. and Cohen, J. M. 1967. Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction. Water Res. 1(3) : 205-216.
- Kang, S. J. 1970. Ecological studies of the raised bog in the Dae-am mountain adjacent to DMZ in Korea (2)- relation between vegetation and peat. J. Plant Biol. 13(3) : 20-24. (in Korean with English summary)
- Kang, S. J. and Yoshioka, T. 2005. Environmental change of high moor in Mt. Dae-Am of Korean peninsula. Korean J. Limnol. 38(1) : 45-53.
- Karlin, E. F. and Andrus, R. E. 1988. The *Sphagnum* species of New Jersey. B. Torrey Bot. Club 115(3) : 168-195.
- Kim, J. G. · Park, J. H. · Choi, B. J. · Shim, J. H. · Kwon, G. J. · Lee, B. A. · Lee, Y. W. and

- Ju, E. J. 2004. Method in Ecology. Bomoondang, Seoul. (in Korean)
- Kim, D. H. · Kim, H. T. and Kim, J. G. 2013. Effects of water level and soil type on the survival and growth of *Persicaria thunbergii* during early growth stages. Ecol. Eng. 61 : 90-93.
- Kim, J. G. 2009. Ecological characteristics of *Sphagnum* fens in Mt. Odae : I. Sowhang-byungsan-neup. J. Korean Wetlands Soc. 11(1) : 15-27. (in Korean with English summary)
- Kim, Y. K. 2008. Development and its assessment of construction method of *Sphagnum* wetland for landscape use : with focus on planting base, planting method, and nitrogen treatments. PhD Dissertation. Seoul National University, Seoul, Republic of Korea.
- Lee, G-M. and Kim, J. G. 2011. Effects of habitat substrates on growth of *Menyanthes trifoliata*. J. Korean Wetlands Soc. 13(2) : 355-362. (in Korean with English summary)
- Lee, G-M. and Kim, J. G. 2011. Effects of habitat substrates and companion species on the growth of *Menyanthes trifoliata*. J. Korean Wetlands Soc. 13(3) : 613-621. (in Korean with English summary)
- Mallik, A. U. and Wein, R. W. 1986. Response of a *Typha* marsh community to draining, flooding, and seasonal burning. Canadian J. Bot. 64(9) : 2136-2143.
- Paik, W. K. 2010. Vegetation of wetland in Mueuido (Incheon-city). Korean J. Plant Resour. 23(2) : 197-205. (in Korean with English summary)
- Park, J. and Kim, J. G. 2012. Ecological characteristics of *Sphagnum* fens in Mt. Odae : II. Conservation area of Jilmoe-neup. J. Wetlands Res. 14(1) : 101-120. (in Korean with English summary)
- Park, J. · Hong, M-G. and Kim, J. G. 2013. Relationship between early development of plant community and environmental condition in abandoned paddy terraces at mountainous valleys in Korea. J. Ecol. Environ. 36(2) : 131-140.
- Rocheftort, L. 2000. *Sphagnum* - a keystone genus in habitat restoration. Bryologist 103(3) : 503-508.
- Rydin, H. and Jeglum, J. K. 2009. The biology of peatlands. Oxford university press.
- Sharma, A. · Bargalis, K. and Pande, N. 2009. The allelopathic potential of bryophyte extract on seed germination and seedling growth of *Bidens biternata*. Nature Science 7(6) : 30-38.
- Spatt, P. D. and Miller, M. C. 1981. Growth conditions and vitality of *Sphagnum* in a tundra community along the Alaska pipeline Haul road. Arctic 34(1) : 48-54.
- Yabe, K. and Uemura, S. 2001. Variation in size and shape of *Sphagnum* hummocks in relation to climatic conditions in Hokkaido island, northern Japan. Canadian J. Bot. 79(11) : 1318-1326.

Appendix. 대조구 내 자연발생 식물상.

얕은 수심(5cm)				깊은 수심(20cm)							
개별매질 조건		혼합매질 조건		개별매질 조건		혼합매질 조건					
종명 (학명)	피도 밀도 (%) (개)	종명 (학명)	피도 밀도 (%) (개)	종명 (학명)	피도 밀도 (%) (개)	종명 (학명)	피도 밀도 (%) (개)				
고마리 (<i>Persicaria thunbergii</i>)	37	126	고마리 (<i>Persicaria thunbergii</i>)	84	254	물달개비 (<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i>)	32 128	고마리 (<i>Persicaria thunbergii</i>)	62	443	
사마귀풀 (<i>Aneilema keisak</i>)	9	54	큰잎부들 (<i>Typha latifolia</i>)	16	24	사마귀풀 (<i>Aneilema keisak</i>)	23 251	골풀 (<i>Juncus effusus</i>)	21	264	
골풀 (<i>Juncus effusus</i>)	6	14	미국가막사리 (<i>Bidens frondosa</i>)	7	16	골풀 (<i>Juncus effusus</i>)	18 247	쑥 (<i>Artemisia princeps</i>)	4	7	
미국가막사리 (<i>Bidens frondosa</i>)	6	11	닭의장풀 (<i>Commelina communis</i>)	5	11	고마리 (<i>Persicaria thunbergii</i>)	7	129	돌피 (<i>Echinochloa crusgalli</i>)	4	7
칭비너골풀 (<i>Juncus papillosus</i>)	5	18	기장대풀 (<i>Isachne globosa</i>)	4	8	보풀 (<i>Sagittaria aginashi</i>)	4	11	모기방동사니 (<i>Cyperus haspan</i>)	3	14
쇠털풀 (<i>Eleocharis acicularis</i>)	5	11	사마귀풀 (<i>Aneilema keisak</i>)	4	8	돌콩 (<i>Glycine soja</i>)	4	3	개망초 (<i>Erigeron annuus</i>)	3	5
물달개비 (<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i>)	4	17	돌피 (<i>Echinochloa crusgalli</i>)	4	7	올챙이고랭이 (<i>Scirpus juncoides</i> var. <i>hotaru</i>)	2	4	미국가막사리 (<i>Bidens frondosa</i>)	3	4
방울고랭이 (<i>Scirpus wichurae</i> var. <i>asiaticus</i>)	4	6	물달개비 (<i>Monochoria vaginalis</i> var. <i>plantaginea</i>)	3	6	도깨비사초 (<i>Carex dickinsii</i>)	2	3	별날개골풀 (<i>Juncus diastraphanthus</i>)	2	4
새팔 (<i>Vigna angularis</i> var. <i>nipponensis</i>)	3	5	새팔 (<i>Vigna angularis</i> var. <i>nipponensis</i>)	3	6	미국가막사리 (<i>Bidens frondosa</i>)	2	1	왕고들빼기 (<i>Lactuca indica</i>)	2	3
돌피 (<i>Echinochloa crusgalli</i>)	3	5	쇠뜨기 (<i>Equisetum arvense</i>)	3	5	개썩싸리 (<i>Lycopus ramosissimus</i>)	1	3	개썩싸리 (<i>Lycopus ramosissimus</i>)	2	3
모기방동사니 (<i>Cyperus haspan</i>)	2	5	도깨비사초 (<i>Carex dickinsii</i>)	3	3	버드나무 (<i>Salix koreensis</i>)	1	1	주름조개풀 (<i>Oplismenus undulatifolius</i>)	2	3
개구리밥 (<i>Spirodela polyrhiza</i>)	-	-	좁고추나물 (<i>Hypericum laxum</i>)	2	5	파대가리 (<i>Kyllinga brevifolia</i>)	1	1	사마귀풀 (<i>Aneilema keisak</i>)	1	7
물개구리밥 (<i>Azolla imbricata</i>)	-	-				주름조개풀 (<i>Oplismenus undulatifolius</i>)	1	1	여뀌바늘 (<i>Ludwigia prostrata</i>)	1	1
						여뀌바늘 (<i>Ludwigia prostrata</i>)	1	1			
						방동사니 (<i>Cyperus amuricus</i>)	1	1			
						검정말 (<i>Hydrilla verticillata</i>)	-	-			
						개구리밥 (<i>Spirodela polyrhiza</i>)	-	-			

* 모든 대조구에서 높은 피도와 밀도로 출현한 고마리는 짙은색으로 따로 표기하였다. 식물상 조사(3m×3m)의 경우 갈대나 애기부들 그리고 물이끼와 같은 식재종은 제외하였으며, 환경 조건별 피도순으로 나열하였다. 밀도는 일년생 초본의 경우 개체수를, 골풀과 같은 다년생 초본의 경우 ramet수를 세어 산정하였다.