

준위협종 긴흑삼릉의 서식지 보전과 복원을 위한 환경 특성 분석

김서현 · 김재근

서울대학교 생물교육과

Analysis of Environmental Characteristics for Habitat Conservation and Restoration of Near Threatened *Sparganium japonicum*

Seohyeon Kim and Jae Geun Kim

Department of Biology Education, Seoul National University.

ABSTRACT

Sparganium japonicum Rothert. is designated as a near threatened species by the National Institute of Biological Resources and is restrictively distributed in South Korea. To conserve and restore habitats of this plant, we investigated environmental characteristics and vegetation at five habitats during the growing season. Thirty plant species from seventeen families were found in the *S. japonicum* community. The species frequently found in this community included *Utricularia vulgaris*, *Potamogeton distinctus*, *Phragmites japonica*, *Cicuta virosa*, *Persicaria thunbergii*, *Phragmites communis*, *Hydrilla verticillata*. Maximum height of this plant reached at August and average height at five habitats is 120 cm at this time. Water and soil environmental factors showed low values compared with that of other wetlands. *S. japonicum* lived in not only shallow water level but also deep water level. These results can be helpful for *S. japonicum* habitat conservation and restoration.

Key Words : *Near threatened species, Soil properties, Vegetation, Water properties.*

First author : Seohyeon Kim, Dept. of biology Education, Seoul National University,
Tel : +82-2-880-9077, E-mail : seohyeon2008@gmail.com

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

Received : 15 October, 2014. **Revised** : 30 December, 2014. **Accepted** : 20 January, 2015.

I. 서 론

긴흑삼릉(*Sparganium japonicum* Rothert.)은 부들목 흑삼릉과에 속하는 다년생 정수식물로 우리나라와 일본에 제한적으로 분포한다(Ministry of environment of Korea, 2012; Ministry of the Environment of Japan, 2007). 예부터 혈액순환 조절, 어혈제거, 생리불순, 항암작용 등 약리작용이 뛰어나 약재로 사용해왔으며 관상용, 수질정화 용도로도 이용해왔다(Shirota et al., 1996; Cho et al., 2006; Albay and Akcaalan, 2008). 그러나 우리나라에서는 국립수목원에서 발행한 한국희귀식물목록집에서 자료부족종으로 지정되어 있으며, 국립생물자원관에서 발행한 국가적색목록에 가까운 장래에 멸종우려 범주에 있는 준위협종(near threatened)으로 기재되어 있다(Korea National Arboretum, 2012; National Institute of Biological Resources, 2013). 일본에서도 적색목록에 멸종위기종으로 올라와있으며, 흑삼릉속 식물의 서식지가 보호지로 지정되어 보호되고 있다(Ministry of the Environment of Japan, 2007). 우리나라에서는 인천시 옹진군, 경기도 용인시, 강원도 인제군 등 13곳에 분포한다고 알려졌으나 2000년대 이후 실제로 수행된 자생지 조사에서 분포지가 계속 줄어들고 있는 추세이며 전국 개체수 또한 2,000개체 미만으로 추정된다(Kim and Lee, 2003; Lim, 2010; National Institute of Biological Resources, 2013).

긴흑삼릉을 대상으로 한 국내 연구로는 긴흑삼릉이 서식하고 있는 지역과 자생지에 대한 분류, 특정 시기 자생지의 환경 조건에 대한 연구가 진행된 바 있다(Kim and Lee, 2003). 하지만 이와 같은 연구들은 많은 종을 대상으로 한 시기에 이루어지므로 특정 시기의 생활형, 서식지 및 채집지 등을 알려줄 뿐 우리나라와 같이 계절이 뚜렷이 구별되는 곳의 연중 종의 서식환경의 변화를 알려줄 수 없으므로 특정 식물의 개체군 수준에서의 변동과 생태적 지위의 폭을 파

악하는데 어려움이 있다(Lee et al., 2011). 국외 연구 또한 흑삼릉속의 분류, 분포 형태, 약재로서의 효능 등에만 국한되어 있고 서식지에 대한 생태적 환경에 대한 연구는 미비한 실정이다(Harms, 1973; Dite et al., 2004; Hua et al., 2007; Pollux et al., 2009; Lee et al., 2010; Kaneko and Jinguji, 2012; Sulman et al., 2013).

환경이 급변함에 따라 종의 개체군 동태(population dynamics)와 환경요인의 관계를 파악하는 것은 빈번한 서식지 파괴와 생물다양성 감소에 직면한 현대 사회에 필수적인 생태학적 요구라고 할 수 있으며 앞으로 계속 수행되어야 할 중요한 생태학적 문제 중 하나이다(Sutherland et al., 2009; Sutherland et al., 2013). 한 종의 분포와 생장에 영향을 주는 환경요인과 동반종을 파악하는 것은 그 종의 기본적인 생태적 지위를 알려줄 수 있으며, 이러한 정보가 바탕이 되어야 종의 보전과 서식지 보존을 할 수 있다. 따라서 멸종위기종이나 취약종의 서식환경요인과 동반종을 파악하는 것이 중요하다. 최근 습지식물 중에서 멸종위기종이나 취약종의 서식환경요인과 동반종에 대한 연구에는 꿀풀, 창포, 독미나리, 가시연 등이 있다(Yoo and Kim, 2010; Yoon et al., 2011; Jeon et al., 2013; Shin et al., 2013).

따라서 본 연구에서는 긴흑삼릉의 종 보전과 서식지 복원을 위하여 현장조사를 통하여 긴흑삼릉이 분포하고 있는 지역 다섯 곳을 선정하여 긴흑삼릉 군락의 연중 생육 특성과 동반종을 조사하였다. 또한 일반적으로 식물의 성장과 분포에 중요한 영향을 미치는 강수량과 기온, 긴흑삼릉이 서식하고 있는 곳의 환경특성을 분석하기 위하여 개체군 별 수질과 토양의 이화학적 특성에 대해 조사하여 긴흑삼릉 군락 환경의 연중변화와 환경범위를 파악하고자 하였다. 이러한 연구는 긴흑삼릉 군락이 감소하고 있는 원인을 파악하고 서식지의 보존과 복원을 위한 필수적인 자료를 제공한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 장소

문헌조사(Lim, 2010; National Institute of Biological Resources, 2012)를 통하여 긴혹삼룡이 자생하고 있는 지역을 조사하였고 현장조사를 통해 확인한 황성 2곳(HS1, HS2), 파주 2곳(DMZ1, DMZ2), 양평 1곳(YP)을 본 연구의 조사지로 선정하였다(Table 1). 황성 조사지는 강원도 축산기술연구센터 근처의 방목지역과 논 사이에 위치하며, HS1의 면적은 962 m²로 묵논의 형태였고 HS2의 면적은 716 m²으로 개울가였다. 파주 조사지는 DMZ 지역 안에 있는 지역으로 농업용수로 사용하기 위하여 물을 저장하

는 둌병 중 긴혹삼룡이 자생하는 두 곳을 조사하였다. 조사면적 146 m²인 DMZ1, 832 m²인 DMZ2 모두 논 사이에 있으나 제방으로 인해 논과의 직접적인 물 교환이 이루어지지 않으며 DMZ1은 지하수가 수원이고, DMZ2는 지하수와 지표수로 물이 유입된다(Kim et al., 2011). 양평 조사지의 면적은 3,173 m²로 북한강 줄기에서 나온 개천의 초입이므로 여름에 범람이 일어난다.

조사한 연도를 기준으로 10년 평균 기온과 강수량을 비교하여 조사지 세 곳을 비교한 결과 황성, 파주, 양평 중 파주의 기온이 여름철과 겨울철 모두 낮았다(Figure 1). 연간강수량은 세 지역 모두 비슷하였으나 양평의 경우 세 지역과

Table 1. Location and type of study sites.

Habitat Name	Code	GPS information	Type
Hoengseong	HS1	N 37°29'28" E 128°10'05"	Abandoned paddy field Stream let
	HS2		
Paju	DMZ1	N 37°52'26" E 126°42'58"	Agricultural waterway Agricultural waterway
	DMZ2		
Yangpyeong	YP	N 37°35'14" E 127°20'35"	Stream let

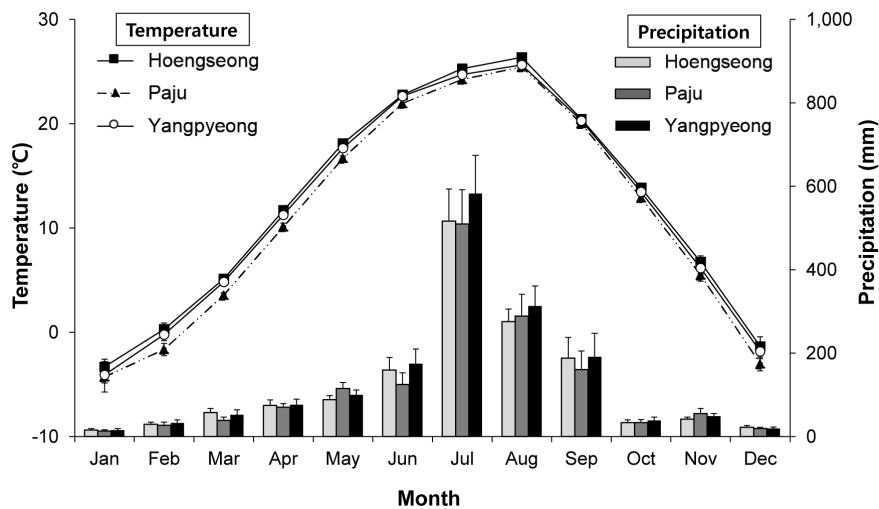


Figure 1. Monthly mean temperature and precipitation at Hoengseong (HS1, HS2), Paju (DMZ1, DMZ2), Yangpyeong (YP) during 2004~2013(data from <http://kma.go.kr>). Vertical bars indicate \pm SE.

비교하여 7월에 가장 많은 양의 강우가 집중된 것을 알 수 있다.

2. 식생 조사

습지식물이 성장하기 시작하는 5월부터 생활사가 끝나는 10월까지 HS1에서 15개, HS2에서 7개, DMZ1에서 4개, DMZ2에서 5개, YP에서 7개로 총 38개의 1 m × 1 m 고정방형구를 설치하였다. 식물들이 활발하게 성장하는 5~6월에 깎아삼릉 지상부가 물 속에 잠겨있는 경우가 많았으므로 남아있는 깎아삼릉 사체 피도 50% 이상인 곳에 고정방형구를 설치하였고 깎아삼릉 지상부가 수면 위로 나타난 8월에는 깎아삼릉 피도 50% 이상인 방형구를 추가하여 기존 고정방형구와 추가된 방형구를 모두 조사하였다. 방형구 조사는 브라운-브랑케(Braun-Blanguet)의 식물사회화학적인 방법을 변형하여 깎아삼릉과 동반종의 피도, 초고, 개체수를 측정하였다(Kim et al., 2004). 방형구 내 깎아삼릉과 동반종들의 상대 피도를 알아보기 위하여 방형구 내에 존재하는 종들의 모든 피도를 합한 값에 각 종들이 차지하는 피도를 나눈 후 100을 곱한 값으로 상대피도를 구하여 나타내었다.

깎아삼릉의 월별 생산량을 알아보기 위하여 생물량을 측정하고 싶었으나 준위협종인 깎아삼릉 특성 상 자생지가 한정되어 있고 개체수가 적어 수확하여 건중량으로 생물량을 측정하지 못하였다. 따라서 직접적으로 개체당 건중량과 밀도를 곱하여 계산하지 못하였고 간접적으로 개체수와 식물의 초고를 곱하여 생물량 추정값을 계산하였다(Jeon et al., 2013).

3. 수환경 조사

깎아삼릉이 자생하는 곳의 연중 수환경을 파악하기 위하여 2013년 4월부터 10월까지 조사지역 5곳에서 1 m 대자를 이용하여 각 방형구의 수위를 측정하였다. 각 방형구별로 pH는 pH meter(model AP 63; Fisher), 전기전도도는 Corning

Checkmate II(model 311; Corning), 탁도는 탁도계(2100P Turbidimeter; HACH)를 이용하여 측정하였다. 식물의 생장에 영향을 크게 미치는 요인인 NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P와 양이온 분석을 위하여 매 달마다 125 ml HDPE 병에 기포가 생기지 않도록 채수하여 membrane filter(pore size 0.45 μm)로 거른 후 1주일 이내에 분석하였다. NO₃-N는 Hydrazine method로(Kamphake et al., 1967), NH₄-N는 Indophenol method로(Liddicoat et al., 1975), PO₄-P는 아스코르빈산환원법(Solorzano, 1969)으로 각각 비색 정량하였다. K⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺과 같은 양이온은 원자흡광광도계(Model AA240FS; Varian)로 분석하였다. DMZ 조사지의 8월 수환경은 조사 당시 일시적으로 농업용수 제공을 위하여 물을 모두 퍼내어 수행하지 못하였다.

4. 토양환경 조사

깎아삼릉 서식지의 토양환경 분석을 위하여 식물의 생장이 가장 활발하게 일어나기 시작하는 6월에 파이프를 사용하여 10 cm 깊이로 채취하였다. 채취한 토양은 실험실에서 표토의 식물체와 식물의 잔뿌리를 제거한 후 2 mm 체를 이용하여 거른 토양을 분석에 사용하였다. 생토의 수분함량은 거른 토양을 105°C 오븐에서 24시간 이상 건조시킨 후 측정하였고, 유기물함량은 550°C의 용광로에서 4시간 동안 작열한 후 감량으로 계산하였다(John, 2004). NO₃-N은 2M KCl 용액으로 추출한 것을 Hydrazine법(Kamphake et al., 1967)으로 PO₄-P는 Bray 용액으로 추출하여 아스코르빈산 환원법(Solorzano, 1969)을 사용하여 비색 정량하였다.

III. 결과 및 논의

1. 깎아삼릉 군락의 종조성

5개 조사지역을 대상으로 깎아삼릉 군락의 38개 방형구를 조사한 결과 총 17과 29종이 깎아

삼릉과 함께 분포하였으며 평균출현종수는 6종이었다. 조사한 방형구에서는 통발이 26.8%로 가장 높은 출현율을 보였으며 가래(24.1%), 달뿌리풀(23.2%), 독미나리(18.8%), 고마리(15.2%), 갈대(14.3%), 검정말(14.3%) 순으로 출현하였다. 조사지별 긴혹삼릉의 상대피도를 살펴보면

HS1 조사지의 경우 17~47%였다(Figure 2a). 주요 동반종은 3~45%의 상대피도를 가지는 통발과 2~17%의 상대피도를 가지는 고마리, 3~13% 상대피도를 가지는 독미나리였고, 주로 생장하는 6~8월에 통발의 상대피도가 높았다. HS2 조사지의 긴혹삼릉 상대피도는 35~75%였

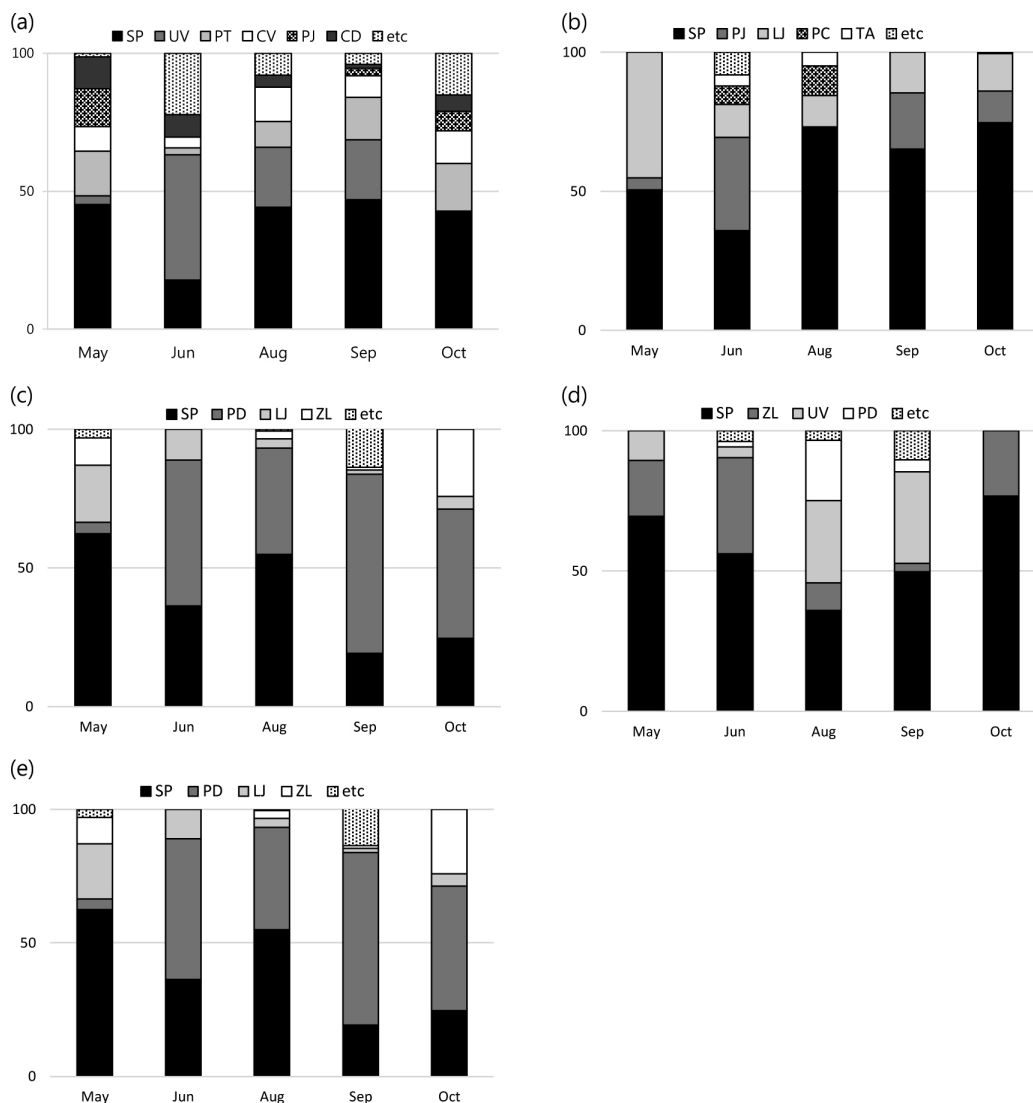


Figure 2. Species composition and relative coverage of *S. japonicum* community at HS1 (a), HS2 (b), DMZ1 (c), DMZ2 (d) and YP (e). SP: *Sparganium japonicum*, UV: *Utricularia vulgaris*, PT: *Persicaria thunbergii*, PJ: *Phragmites japonica*, CD: *Carex doniana*, PC: *Phragmites communis*, LJ: *Leersia japonica*, TA: *Typha angustifolia*, PD: *Potamogeton distinctus*, ZL: *Zizania latifolia*

다(Figure 2b). 주요 동반종은 각각 4~33%, 11~45%, 0~11%, 0~5%, 0~8%의 상대피도를 가지는 달뿌리풀과 버드나무, 갈대, 애기부들이었다. 시간이 지날수록 긴혹삼릉의 상대피도가 증가하는 경향을 보이는데, 이는 긴혹삼릉 지상부가 물 속에서 다른 식물 중 보다 오래 살아남기 때문이다. DMZ1 조사지의 긴혹삼릉 상대피도는 19~62%였다(Figure 2c). DMZ1 조사지는 긴혹삼릉과 함께 가래, 나도겨풀, 줄이 주요 동반종으로 각각 상대피도가 4~65%, 1~21%, 0~25%였다. 6월 이후 가래의 상대피도가 폭발적으로 증가함에 따라 긴혹삼릉의 상대피도가 줄어들었으나 가래는 부엽식물이므로 6월 이후 지상부가 물 밖으로 나오는 긴혹삼릉의 실질적인 광합성에는 영향을 적게 미친다고 할 수 있다. DMZ2 조사지의 긴혹삼릉 상대피도는 35~77%였다(Figure 2d). 주요 동반종으로는 줄과 통발, 가래로 각 상대피도는 2~34, 0~30%, 0~22%였다. YP 조사지의 긴혹삼릉 상대피도

는 15~70%였다. 주요 동반종으로는 검정말, 도루박이, 나도겨풀, 마름을 들 수 있고 각 각의 상대피도는 0~55%, 5~20%, 0~9%, 0~6%였다.

2. 긴혹삼릉 초고, 피도, 개체수

긴혹삼릉은 조사지 모두 8월부터 꽃이 피기 시작하여 9~10월에 열매를 맺었다. 최고 성장량에 도달하는 8월 긴혹삼릉 초고는 HS1은 124 ± 27.4 cm, HS2은 127 ± 30.1 cm, DMZ1은 75 ± 7.1 cm, DMZ2는 127 ± 15.3 cm, YP는 113 ± 40.4 cm로(Figure 3a), DMZ1의 경우 다른 서식지들과 다르게 매우 낮았다. 피도의 경우 HS1, HS2에서 개화기인 8월까지 증가하다가 그 이후로 감소하였으며 DMZ1, DMZ2, YP은 10월까지 증가하였다(Figure 3b). 이는 초기에 성장한 지상부 이외에 8~9월에 지하경으로 번식하는 새로운 지상부가 올라오면서 수위에 따라 성장 형태를 바꾸는 흑삼릉속의 특성으로 인

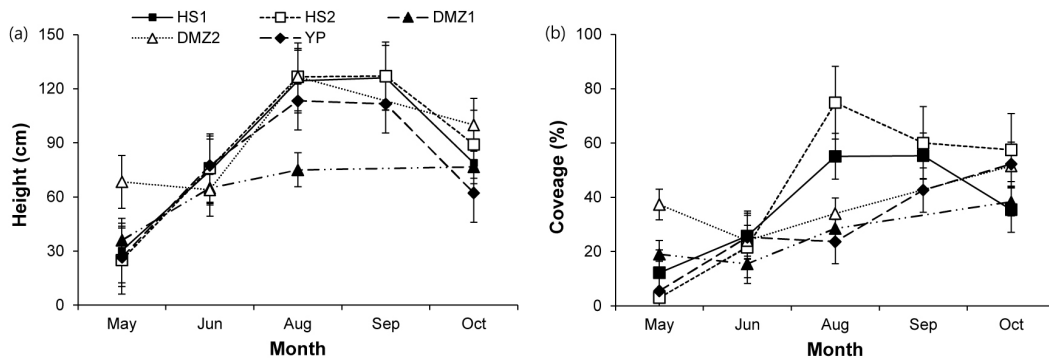


Figure 3. Monthly change of height (a) and coverage (b) of *S. japonicum*. Vertical bars indicate \pm SE.

Table 2. Means of shoot number of *S. japonicum*. Values are means \pm S.D.

Habitat	Month	May	June	August	September	October
		Shoot number	Shoot number	Shoot number	Shoot number	Shoot number
HS1		30 \pm 16.5	21 \pm 11.9	74 \pm 20.9	41 \pm 22.6	34 \pm 29.9
DMZ1		19 \pm 15.6	12 \pm 7.8	15 \pm 12.0	17 \pm 7.7	16 \pm 11.8
DMZ2		-	-	33 \pm 26.5	-	4 \pm 0.0
YP		14 \pm 10.6	12 \pm 6.2	11 \pm 9.2	27 \pm 11.1	28 \pm 26.8

해(Kankaala et al., 2000; Riis et al., 2000; Asaeda et al., 2010) 잎이 부엽 형태로 수면을 따라 퍼지기 때문이다.

긴흑삼릉 개체수는 HS1 조사지의 경우 74 ± 20.9 개로 8월에 가장 많았지만 나머지 세 곳에서는 뚜렷한 경향성을 나타내지 않았다(Table 2). 이것은 흑삼릉속의 성장 특성 때문인데, 봄에 싹을 틔우고 햇빛이 강한 여름에 최고 성장을 이루고 겨울에 노화되는 일반적인 식물과는 달리 긴흑삼릉은 개체별로 생활사와 성장 형태가 다른 특징을 가진다(Asada et al., 2010). 여름에 성장량과 피도가 최대가 되기는 하나 개체별로 성숙되는 시기가 다르고 생장이 활발한 여름철, 겨울철에도 새로운 지상부가 출현하므로 HS1 조사지를 제외하고 개체수는 시기별로 특별한 경향성을 나타내지 않았다.

3. 수환경

비록 많은 영양인자들이 식물의 성장과 관련이 있지만 물에 녹아 있는 질소와 인은 수생식물의 성장에 필수적이며 이 영양분의 이용가능성이 담수 생태계의 초기 성장을 좌우한다(Bornette and Puijalón, 2011). 특히 물에 녹아 있는 질산염과 암모늄 농도는 수생 식물 군집 구성에 영향을 미친다(Carbiener et al., 1990). 흙에 뿌리를 박고 있는 수생식물의 경우는 물과 토양에서 양분을 흡수하므로 물에 있는 양분 또한 식물의 성장에 중요하다(Madsen and Cedergreen, 2002).

조사한 긴흑삼릉 서식지의 수환경 인자들의 연평균값은 pH 6.3~7.6, 전기전도도 53.5~148.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 탁도 2.5~16.0 NTU, $\text{PO}_4\text{-P}$ 0.0~0.10 mg/L, $\text{NO}_3\text{-N}$ 0.0~0.40 mg/L, $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.01~0.63 mg/L, K^+ 0.47~16.45 mg/L, Ca^{2+} 2.68~20.14 mg/L, Na^+ 1.88~6.72 mg/L, Mg^{2+} 0.75~17.17 mg/L 였다(Figure 4). 이러한 결과는 다른 습지의 수질영양소에 비교하여 비교적 낮은 영양상태를 나타내었다(Byun et al., 2008; Hong and Kim, 2012; Jeon et al., 2013; Kim et al.,

2011; Lee et al., 2005; Yoon et al., 2011). 특히 식물의 성장에 주요한 요인인 질소와 인의 함량이 낮았으므로 낮은 수준의 영양 상태에서도 잘 자랄 수 있는 stress tolerators로서의 역할을 하는 것을 알 수 있다(Shiple et al., 1989). 인과 질소의 함량을 조절하여 갈대, 애기부들, 부들, 흑삼릉속 식물의 생물량을 측정 한 실험에서 질소의 양을 높게 처리한 후 인의 함량을 높였을 경우 세 종에 비해 흑삼릉속 식물의 생물량이 현저하게 줄어든 결과를 확인할 수 있는데(Ulrich and Burton, 1988), 이것은 습지의 영양상태가 높은 수준으로 유지될 경우 부영양화가 진행된 곳에서 잘 자라는 부들속과 갈대속 식물 등과 같은 다른 종과의 경쟁에서 긴흑삼릉이 밀릴 가능성이 있다는 것을 말해준다(Barrat-Segretain et al., 1998; Ennabili et al., 1998; Kao et al., 2003; Liu et al., 2012).

4. 수위

긴흑삼릉 서식지의 계절별 수위변화는 Figure 5와 같다. 기존 연구결과에서 긴흑삼릉이 분포하는 곳의 수심은 0~20 cm로 비교적 얇은 물이라고 언급되었으나(Kim and Lee, 2003; Yang et al., 2004) 본 연구에서는 60 cm 이상의 수위에서 피도가 높은 경향을 보였다. 이것은 연구 시기 차이에 의한 수위변동과 조사지의 차이 때문인 것으로 생각된다. 우리나라는 여름철에 강수량이 집중되므로 조사지별 5월 수위와 비교하여 8월 수위가 높기 때문이다. 하지만 DMZ1과 DMZ2의 경우는 계절의 영향을 크게 받지 않고 일정 수위를 유지하는데, 이는 농업용수의 사용 등 인위적인 교란에 의한 것으로 사료된다.

수위는 식물의 생존과 정착을 제한하여 종의 분포와 군집의 생태적 지위를 결정하므로 매우 중요하다(Spence, 1967; Keddy, 1983; Nilsson et al., 1997). 수위가 깊어질수록 광합성에 제한을 받고 토양의 이화학적 성질에 변화를 주므로 식물의 성장에 영향을 준다(Van der Valk and

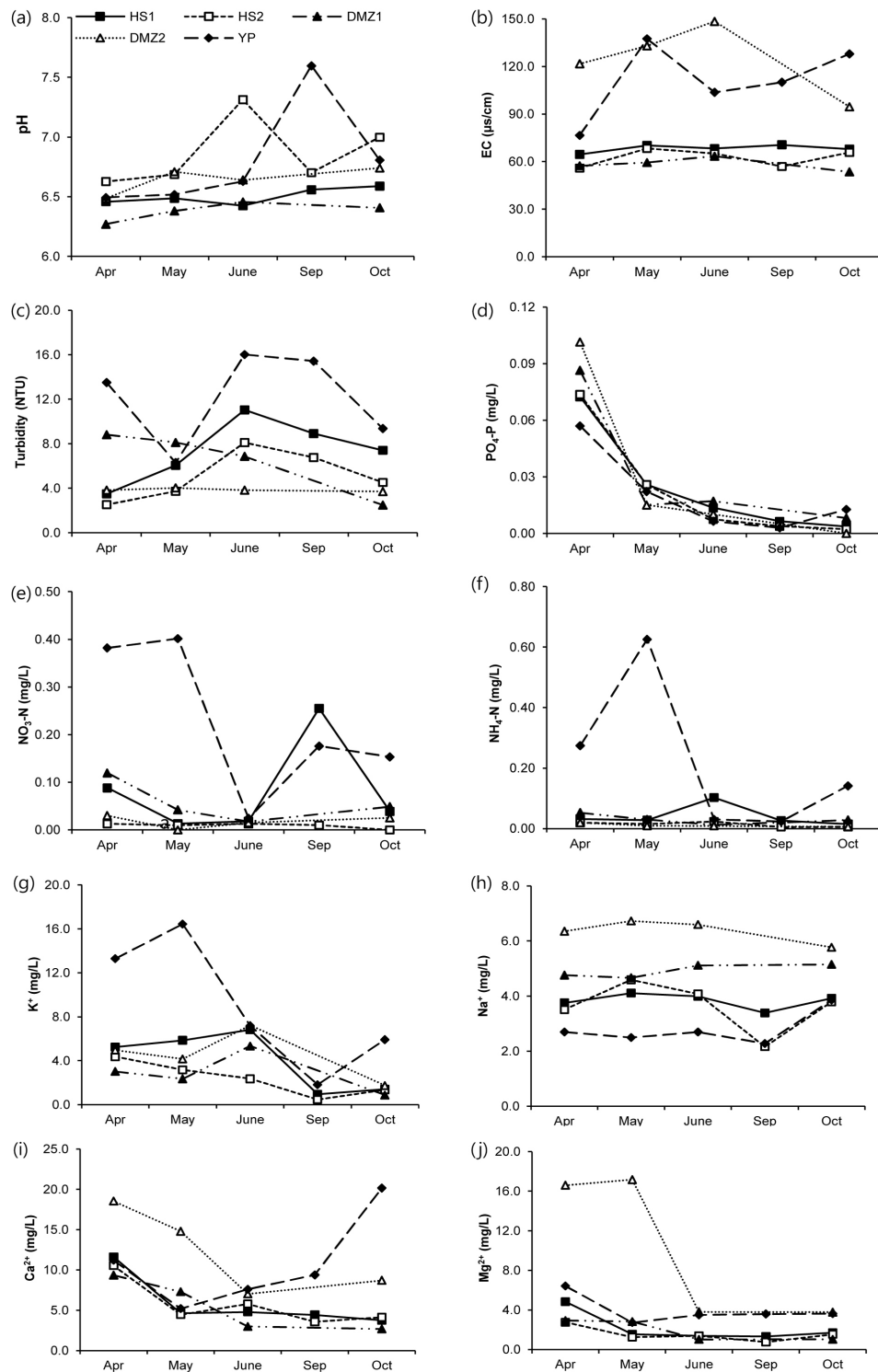


Figure 4. Seasonal change in water environment characteristics at *S. japonicum* habitats during the growing season in 2013.

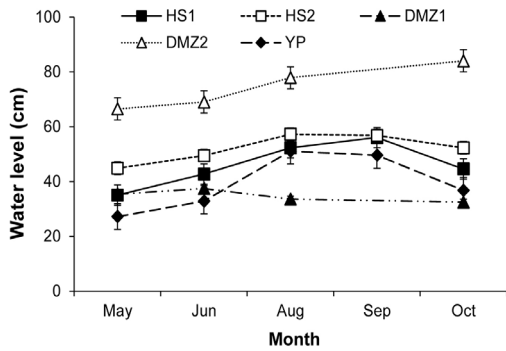


Figure 5. Seasonal change in water level of *S. japonicum* habitats.

Welling, 1988). 따라서 수생 식물은 광합성과 호흡에 제한을 받으므로 침수에 대한 부작용을 최소화하기 위해 통기조직의 발달과 지상부 신장 등 침수에 적응하는 형태로 진화하였다(Voesenek et al., 2006; Mony et al., 2010; De Wilde et al., 2014). 하지만 수생식물임에도 수위가 올라가면 생장이 줄어들고 형태학적 변화가 일어난다(Coops et al., 1996; Fraser and Karnezis, 2005). 긴혹삼릉은 본 연구의 5월 식생 조사 결과 60 cm 이상의 수위에서 생물량 추정값이 더 높았고 8월 조사에서도 70~94 cm 수위에서 최고 생물량 추정값을 나타내었다(Figure 6).

긴혹삼릉 서식지의 주요 동반종이며 긴혹삼릉과 생태적 지위가 비슷한 대형수생식물인 애기부들, 줄, 갈대의 적정생육수심범위는 각각 -20~24 cm, -5~39 cm, 0~30 cm(Kang and Ju, 1999; Kim and Lee, 2003; Kwon et al., 2006)였는데 이러한 종들과 비교하여 보았을 때 긴혹삼릉은 비교적 깊은 수위에서도 군락을 이루는 것을 알 수 있다. 5월 방형구 조사 시, 동반종들이 많은 얕은 수위에 비해 깊은 수위에서 긴혹삼릉의 생물량 추정값이 높았고 생산량이 최대에 도달하는 8월 또한 얕은 수위보다 깊은 수위에서 긴혹삼릉 생물량 추정값이 높았다. 식생조사는 고정방형구에서 이루어졌으므로 5월에 깊은 수위에서 군락을 형성한 것이 8월까지 유지되었다고 볼 수 있다. 이것은 군락을 형성하고 유지하기 위해서는 번식체의 수뿐만 아니라 초기에 얼마나 군락을 형성하는가가 특정 지역의 식생을 결정한다는 기존 연구결과와 일치한다(Riis, 2008). 이와 같은 결과는 다른 종들에 비해 긴혹삼릉은 깊은 곳에서도 잘 자랄 수 있다는 점을 시사한다.

습지 조성의 목적이 산업 발달로 인하여 오염된 수질을 정화하는 데 있다면 다른 식물들과 최대 생물량을 비교해볼 필요가 있다. 식물은

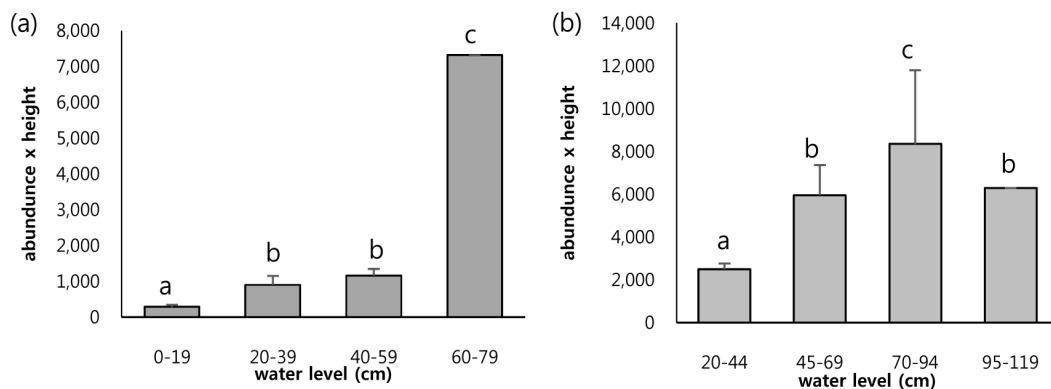


Figure 6. Biomass estimate of *S. japonicum* at water level section according sturge's formula in May (a), August (b). (a) n = 16, (b) n = 20. Letters on the graphs mean significant difference at the 5% level based on Duncan's test. Vertical bars indicate \pm SE.

생장하는 곳의 퇴적물로부터 유기 양분을 흡수하므로, 최대 생물량은 해당 식물이 얼마나 많은 유기물을 흡수하여 오염된 수질을 정화할 수 있는지에 대한 지표로서 사용이 가능하기 때문이다(Sagova-Mareckova et al., 2009). 본 연구에서는 준위협종인 긴흑삼릉의 자생지를 파괴할 수 없어 직접적으로 최대 생물량을 측정할 수 없었다. 그러나 흑삼릉속에 대한 국외 연구에서 생물량이 최대가 된다고 여겨지는 8월에 대형 정수식물 9종을 대상으로 군도 5이상 되는 방형구를 선별하여 생물량을 비교한 결과, 갈대는 2,296 g/m², 애기부들 2,158 g/m², 흑삼릉 1,293 g/m²로 3번째로 생물량이 높은 것을 확인할 수 있다(Ennabili et al., 1998). 또한 흑삼릉속 식물 중 하나인 *Sparganium emersum*을 대상으로 한 생물량 실험에서도 습지의 종류와 기후, 연도에 따른 퇴적물의 정도에 따라 다르지만 최저 745 g/m²~2,212 g/m²의 생물량을 가진다는 연구결과가 있다(Sagova-Mareckova and Kvet, 2002). 본 연구결과에서도 5월 또는 6월의 양분이 급감하는 것을 볼 수 있는데(Figure 4), 이것은 가을에 떨어진 식물의 잎에서 분해되어 물속에 녹아 있던 영양분이 봄까지 유지되다가 식물이 성

장하면서 물 속의 양분을 흡수하는데(Barko and Smart, 1981; Barko et al., 1991) 긴흑삼릉이 주요한 역할을 한다고 볼 수 있다. 따라서 다른 대형정수식물들의 적정생육수심범위보다 더 깊은 수심에 수질 정화 식물을 심어야 할 경우 갈대속, 부들속 식물과 같은 수질 관리 효과가 있을 것이라고 생각된다.

5. 토양환경

대부분의 수생식물의 생태적 지위를 결정하는 지표로 오로지 물에 있는 양분 농도만 사용하지만(Barko et al., 1986) 토양에 뿌리를 박고 있는 수생식물은 토양간극수의 양분 또한 사용하므로 토양의 양분 수준을 살펴볼 필요가 있다(Bornette and Puijalon, 2011). 긴흑삼릉 조사지의 연평균 양분 범위는 NO₃-N 4.2~12.4 mg/kg, PO₄-P 2.8~19.1 mg/kg 값을 보였다(Table 3).

토성 또한 식물이 뿌리를 박을 수 있는 깊이를 결정하며 토성에 따라 식물 종마다 뿌리가 유속에 견디는 힘이 다르다(DENNY, 1980). 현장에서 조사한 긴흑삼릉 서식지의 토성은 사양토(sandy loam), 점토(silt), 미사질양토(silty loam)로 점토의 함량이 높은 곳에서 주로 분포하였다

Table 3. Means and ranges of soil environmental properties at *S. japonicum* habitats in June.

Soil factor	HS1	HS2	DMZ1	DMZ1	YP
	Mean (range)	Mean (range)	Mean (range)	Mean (range)	Mean (range)
Soil texture	Sandy loam	Silt loam	Silt	Sandy loam	Sandy loam
Fresh moisture (%)	52.7 (28.5~69.2)	58.5 (54.3~66.3)	54.3 (38.4~68.2)	43.7 (34.7~59.0)	40.0 (26.4~60.1)
Air-dried moisture (%)	1.9 (0.0~8.4)	7.7 (0.2~13.3)	0.1 (0.0~0.4)	0.0 (0.0~0.1)	5.5 (0.1~13.6)
LOI (%)	4.2 (0.9~13.5)	3.9 (0.0~11.1)	5.9 (1.0~12.3)	5.2 (0.5~11.9)	5.0 (0.0~12.9)
NO ₃ -N (mg/kg)	7.2 (1.3~16.1)	12.4 (7.5~17.4)	5.2 (2.9~8.0)	4.2 (3.1~5.2)	4.7 (0.0~13.6)
PO ₄ -P (mg/kg)	11.7 (4.9~17.0)	6.0 (1.4~12.2)	19.1 (15.5~22.4)	6.1 (4.4~8.8)	2.8 (0.0~9.8)

HS1, n = 8; HS2, n = 5; DMZ1, n = 3; DMZ2, n = 3; YP, n = 6

(Table 3). 점토의 함량이 높으면 물이 흐려져 가라앉은 종자로부터 나오는 유묘의 생장을 방해하고(Barrat-Segretain, 1996) 흙에 뿌리를 박는 능력이 줄어든다(Handley and Davy, 2002). 현장에서 긴혹삼릉을 뽑았을 때 흙에 뿌리를 얇게 박는 것으로 보여지므로 토양 깊이에 따른 지하경의 식재 실험 또한 긴혹삼릉 군락을 복원하는데 필요할 것으로 생각된다.

토양의 유기물 함량은 대형수생식물의 성장과 분포에 영향을 미친다(Barko and Smart, 1983). 유기물이 분해되어 유기물에 포함된 각종 무기물질들이 식물이 이용할 수 있는 형태가 되므로 습지의 영양소 순환과 보유에 중요하다(Barko and Smart, 1981). 유기물 함량이 지나치게 높으면 유기산의 함량이 높아 식물에게 독성을 보이며(Ponnamperuma, 1972; Islam and Islam, 1973) 차광으로 인하여 생산성이 낮아질 수 있으므로(McNaughton, 1968) 적절한 유기물 함량이 중요하다. 긴혹삼릉 자생지의 유기물 함량은 평균 5%로(Table 3), 다른 습지식물들의 자생지의 유기물 함량과 비교하였을 때(Kwon et al., 2006; Jeon et al., 2013 Shin et al., 2013) 비슷한 유기물 함량을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

국가적색목록에 준위협종으로 지정된 긴혹삼릉의 서식지 보전과 복원을 위해 국내 자생지 다섯 곳의 긴혹삼릉 군락의 연중 생육 특성과 동반종을 조사하였고 연중 환경범위를 파악하고자 하였다. 총 17과 29종이 긴혹삼릉과 함께 분포하였으며 그 중 통발이 26.8%로 가장 높은 출현율을 보였고 가래(24.1%), 달뿌리풀(23.2%), 독미나리(18.8%), 고마리(15.2%), 갈대(14.3%), 검정말(14.3%) 순으로 출현하였다. 긴혹삼릉은 독특한 생장특성으로 인하여 9~10월에도 높은 피도와 개체수를 유지하였다. 또한 긴혹삼릉 서식지의 수환경 인자들의 연평균 값 또한 경쟁종

들이 서식하고 있는 곳과 비교하여 낮은 영양상태를 나타내었다. 긴혹삼릉이 서식하고 있는 수위는 선행연구결과와 본 연구 결과를 종합하여 보았을 때 얇은 수위부터 깊은 수위까지 군락을 이룰 수 있으므로 다른 종들에 비해 깊은 수위에서도 잘 자랄 수 있다는 점을 시사한다. 따라서 긴혹삼릉 서식지를 보호하거나 조성할 때 위의 결과를 참고할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

현장 조사에 도움을 준 DMZ 생태연구소와 서울대학교 식물습지생태연구실의 김재현, 바쁜 일정에도 불구하고 현장 조사에 도움을 준 저의 가족들에게 감사의 말을 전합니다. 본 연구는 환경부 “차세대 에코 이노베이션 개발사업 (416-111-010)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

Albay, M. and Akcaalan, R. 2008. Effects of water quality and hydrologic drivers on periphyton colonization on *Sparganium erectum* in two Turkish lakes with different mixing regimes. *Environ. Monit. Assess.* 146(1-3): 171-181.

Asaeda, T. · Rajapakse, L. and Kanoh, M. 2010. Fine sediment retention as affected by annual shoot collapse: *Sparganium Erectum* as an Ecosystem Engineer in a Lowland Stream. *River Res. Appl.* 26(9): 1153-1169.

Barko, J. · Adams, M. and Clesceri, N. 1986. Environmental factors and their consideration in the management of submersed aquatic vegetation: a review. *J. Aquat. Plant Manage.* 24(1): 1-10.

Barko, J. W. · Gunnison, D. and Carpenter, S. R. 1991. Sediment interactions with submersed macrophyte growth and community dynamics.

- Aquat. Bot. 41(1): 41-65.
- Barko, J. W. and Smart, R. M. 1981. Sediment-based nutrition of submersed macrophytes. Aquat. Bot. 10(339-352).
- Barko, J. W. and Smart, R. M. 1983. Effects of Organic Matter Additions to Sediment on the Growth of Aquatic Plants. J. Ecol. 71(1): 161-175.
- Barrat-Segretain, M. H. 1996. Germination and colonisation dynamics of *Nuphar lutea* (L.) Sm. in a former river channel. Aquat. Bot. 55(1): 31-38.
- Barrat-Segretain, M. H. · Bornette, G. and Hering-Vilas-Boas, A. 1998. Comparative abilities of vegetative regeneration among aquatic plants growing in disturbed habitats. Aquat. Bot. 60(3): 201-211.
- Bornette, G. and Puijalón, S. 2011. Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. Aquat. Sci. 73(1): 1-14.
- Byun C · Kwon GJ · Lee D · Wojdak, J. M and Kim JG. 2008. Ecological assessment of plant succession and water quality in abandoned rice fields. J. Ecol. Environ. 31(3): 213-223.
- Carbiener, R. · Trémolières, M. · Mercier, J. L. and Ortscheit, A. 1990. Aquatic macrophyte communities as bioindicators of eutrophication in calcareous oligosaprobe stream waters (Upper Rhine plain, Alsace). Vegetatio 86(1): 71-88.
- Cho SI · Cho SJ · Kim BY and Dhayal, M. 2006. Anticancer Activities of *Sparganium stoloniferum* on the Proliferation of MCF-7 Cells. J. Biomed. Nanotechnol. 2(2): 125-128.
- Coops, H. · van den Brink, F. W. B. and van der Velde, G. 1996. Growth and morphological responses of four helophyte species in an experimental water-depth gradient. Aquat. Bot. 54(1): 11-24.
- De Wilde, M. · Sebei, N. · Puijalón, S. and Bornette, G. 2014. Responses of macrophytes to dewatering: effects of phylogeny and phenotypic plasticity on species performance. Evol. Ecol. DOI 10.1007/s10682-014-9725-8
- DENNY, P. 1980. Solute movement in submerged angiosperms. Biol. Rev. 55(1): 65-92.
- Dite, D. · Pukajova, D. and Slivinsky, J. 2004. *Sparganium angustifolium* (Sparganiaceae) - a new locality in the Carpathians. Biologia 59(4): 491-492.
- Ennabili, A. · Ater, M. and Radoux, M. 1998. Biomass production and NPK retention in macrophytes from wetlands of the Tingitan Peninsula. Aquat. Bot. 62(1): 45-56.
- Fraser, L. H. and Karnezis, J. P. 2005. A comparative assessment of seedling survival and biomass accumulation for fourteen wetland plant species grown under minor water-depth differences. Wetlands 25(3): 520-530.
- Handley, R. J. and Davy, A. J. 2002. Seedling root establishment may limit *Najas marina* L. to sediments of low cohesive strength. Aquat. Bot. 73(2): 129-136.
- Harms, V. L. 1973. Taxonomic Studies of North-American *Sparganium*. 1. *S. hyperboreum* and *S. minimum*. Can. J. Bot.-Rev. Can. Bot. 51(9): 1629-1641.
- Hong MG and Kim JG. 2012. Growth characteristics of cutting culms sectioned at different positions from three reed population. J. Korean Environ. Reveget. Technol. 15(1): 53-62.
- Hua, H. M. · Yuan, T. · Wang, Y. L. and Pei, Y. H. 2007. A new aromatic alkene from the tuber of *Sparganium stoloniferum*. Fitoterapia 78(3): 274-275.

- Islam, A. and Islam, W. 1973. Chemistry of submerged soils and growth and yield of rice. *Plant Soil* 39(3): 555-565.
- Jeon SH · Kim H · Nam JM and Kim JG. 2013. Habitat characteristics of sweet flag (*Acorus calamus*) and their relationships with sweet flag biomass. *Landscape Ecol. Eng.* 9(1): 67-75.
- John, B. 2004. A comparison of two methods for estimating the organic matter content of sediments. *J. Paleolimn.* 31(1): 125-127.
- Kamphake, L. J. · Hannah, S. A. and Cohen, J. M. 1967. Automated analysis for nitrate by hydrazine reduction. *Water Res.* 1(3): 205-216.
- Kaneko, K. and Jinguji, H. 2012. Effects of environmental factors on *Sparganium emersum* and *Sparganium erectum* colonization in two drainage ditches with different maintenance. *Agri. Sci.* 3(4): 538-544.
- Kang HC and Joo YK. 1999. The Structural Characteristics in Natural Wetlands and Fitted Depth Zones of *Phragmites Japonica*. *J. Korea Inst. Landsc.* 17(4): 191-200.
- Kankaala, P. · Ojala, A. · Tulonen, T. · Haapamäki, J. and Arvola, L. 2000. Response of littoral vegetation on climate warming in the boreal zone; an experimental simulation. *Aquat. Ecol.* 34(4): 433-444.
- Kao, J. T. · Titus, J. E. and Zhu, W. X. 2003. Differential nitrogen and phosphorus retention by five wetland plant species. *Wetlands* 23(4): 979-987.
- Keddy, P. A. 1983. Shoreline vegetation in Axe Lake, Ontario: effects of exposure on zonation patterns. *Ecology* 64(2): 331-344.
- Kim JG · Park JH · Choi BJ · Sim JH · Kwon G J · Lee BA · Lee YW and Ju EJ. 2004. Method in Ecology. Bomoondang, Seoul. (in Korean)
- Kim SH · Kim JH and Kim JG. 2011. Classification of small irrigation ponds in western Civilian Control Zone in Korea. *J. Wetlands Res.* 13(2): 275-289.
- Kim SH · Kim JH and Kim JG. 2011. Water characteristics and similarity analysis of wetland plant communities in 4 types of small irrigation ponds in western civilian control zone in Korea. *J. Wetlands Res.* 13(3): 581-591.
- Kim SN and Lee JS. 2003. Ecological characteristics and growth environment of Korean native water plants. *J. Kor. Flower. Res. Soc.* 11(1): 21-35.
- Kwon GJ · Lee BA · Nam JM and Kim JG. 2007. The optimal environmental ranges for wetland plants: 1. *Zizania Latifolia* and *Typha angustigolia*. *J. Korean Environ. Reveget. Technol.* 9: 72-88.
- Lee BA · Kwon GJ and Kim JG. 2005. The relationship of vegetation and environmental factors in Wangsuk stream and Gwarim reservoir: I. Water environments. *J. Ecol. Field. Biol.* 28(6): 365-374.
- Lee SY · Choi SU · Lee JH · Lee DU and Lee KR. 2010. A new phenylpropane glycoside from the rhizome of *Sparganium stoloniferum*. *Arch. Pharm. Res.* 33(4): 515-521.
- Lee YM · Yeo US · Oh DH and Sung GJ. 2011. Annual Changes in *Scirpus planiculmis* and Environmental Characteristics of the Nakdong River Estuary. *J. Wetlands Res.* 13(3): 567-579.
- Liddicoat, M. · Tibbits, S. and Butler, E. 1975. The determination of ammonia in seawater. *Limnol. Oceanogr.* 20(1): 131-132.
- Lim YS. 2012. Distribution Characteristics of Hydrophytes in Korea. Soonchunhyang Univ.

- Doctorate thesis.
- Liu, X. · Huang, S. L. · Tang, T. F. Z. · Liu, X. G. and Scholz, M. 2012. Growth characteristics and nutrient removal capability of plants in subsurface vertical flow constructed wetlands. *Ecol. Eng.* 44: 189-198.
- Madsen, T. V. and Cedergreen, N. 2002. Sources of nutrients to rooted submerged macrophytes growing in a nutrient-rich stream. *Freshw. Biol.* 47(2): 283-291.
- Mc Naughton, S. 1968. Autotoxic feedback in relation to germination and seedling growth in *Typha Latifolia*. *Ecology* 49(2): 367-369.
- Mony, C. · Mercier, E. · Bonis, A. and Bouzillé, J.-B. 2010. Reproductive strategies may explain plant tolerance to inundation: a mesocosm experiment using six marsh species. *Aquat. Bot.* 92(2): 99-104.
- National Institute of Biological Resources. 2013. Red data book of endangered vascular plants in Korea. Ministry of Environment (in Korean).
- Nilsson, C. · Jansson, R. and Zinko, U. 1997. Long-term responses of river-margin vegetation to water-level regulation. *Science* 276(5313): 798-800.
- Pollux, B. J. A. · Luteijn, A. · Van Groenendael, J. M. and Ouborg, N. J. 2009. Gene flow and genetic structure of the aquatic macrophyte *Sparganium emersum* in a linear unidirectional river. *Freshw. Biol.* 54(1): 64-76.
- Ponnamperuma, F. 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24: 29-96.
- Riis, T. 2008. Dispersal and colonisation of plants in lowland streams: success rates and bottlenecks. *Hydrobiologia* 596(1): 341-351.
- Riis, T. · Sand-Jensen, K. and Vestergaard, O. 2000. Plant communities in lowland Danish streams: species composition and environmental factors. *Aquat. Bot.* 66(4): 255-272.
- Sagova-Mareckova, M. and Kvet, J. 2002. Performance of *Sparganium emersum* Rehm. shoots in response to sediment quality. *Hydrobiologia* 479(1): 131-141.
- Sagova-Mareckova, M. · Petrusek, A. and Kvet, J. 2009. Biomass production and nutrient accumulation in *Sparganium emersum* Rehm. after sediment treatment with mineral and organic fertilisers in three mesocosm experiments. *Aquat. Ecol.* 43(4): 903-913.
- Shin CJ · Nam JM and Kim JG. 2013. Comparison of environmental characteristics at *Cicuta virosa* habitats, an endangered species in South Korea. *J. Ecol. Environ.* 36: 19-29.
- Shipley, B. · Keddy, P. · Moore, D. and Lemky, K. 1989. Regeneration and establishment strategies of emergent macrophytes. *J. Ecol.* 77(4): 1093-1110.
- Shirota, O. · Sekita, S. · Satake, M. · Yan, N. and Hua, W. Y. 1996. Chemical constituents of Chinese folk medicine "San Leng", *Sparganium stoloniferum*. *J. Nat. Prod.* 59(3): 242-245.
- Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14(5): 799-801.
- Spence, D. H. N. 1967. Factors Controlling the Distribution of Freshwater Macrophytes with Particular Reference to the Lochs of Scotland. *J. Ecol.* 55(1): 147-170.
- Sturges, H. A. 1926. The choice of a class interval. *J. Am. Stat. Assoc.* 21(153): 65-66.
- Sulman, J. D. · Drew, B. T. · Drummond, C. · Hayasaka, E. and Sytsma, K. J. 2013. Systematics, biogeography, and character evolution of *Sparganium* (Typhaceae): Diversification of a widespread, aquatic

- lineage. *Am. J. Bot.* 100(10): 2023-2039.
- Sutherland, W. · Adams, W. · Aronson, R. · Aveling, R. · Blackburn, T. M. · Broad, S. · Ceballos, G. · Cote, I. · Cowling, R. and Da Fonseca, G. 2009. One hundred questions of importance to the conservation of global biological diversity. *Conserv. Biol.* 23(3): 557-567.
- Sutherland, W. J. · Freckleton, R. P. · Godfray, H. C. J. · Beissinger, S. R. · Benton, T. · Cameron, D. D. · Carmel, Y. · Coomes, D. A. · Coulson, T. and Emmerson, M. C. 2013. Identification of 100 fundamental ecological questions. *J. Ecol.* 101(1): 58-67.
- Ulrich, K. E. and Burton, T. M. 1988. An Experimental Comparison of the Dry-Matter and Nutrient Distribution Patterns of *Typha-Latifolia* L, *Typha-Angustifolia* L, *Sparganium-Eurycarpum* Engelm and *Phragmites-Australis* (Cav) Trin Exsteudel. *Aquat. Bot.* 32(1-2): 129-139.
- Van der Valk, A. and Welling, C. H. 1988. The development of zonation in freshwater wetlands: an experimental approach. (In During, H. J. · Werger, M. J. A. & Willems, H. J. eds., "Diversity and Pattern in Plant Communities"). The Hague SPB Academic Publishing bv. pp. 145-158.
- Yang HS · Kim DS and Park SH. 2004. Weeds of Korea 1. Seoul: Leejeonongupjawondoseo. pp. 137-166.
- Yoo YH and Kim HR. 2010. Key factors causing the *Euryale ferox* endangered hydrophyte in Korea and management strategies for conservation. *J. Wetlands Res.* 12(3): 49-56.
- Yoon J · Kim H · Nam JM and Kim JG. 2011. Optimal environmental range for *Juncus effusus*, an important plant species in an endangered insect species (*Nannopya pygmaea*) habitat in Korea. *J. Ecol. Field. Biol.* 34: 223-235.