

우포늪 목포습지 수심 분포에 따른 수생식물의 분포 특성¹

임정철² · 안경환^{3*} · 이창우⁴ · 이정현⁵ · 최병기⁶

Distribution Patterns of Hydrophytes by Water Depth Distribution in Mokpo of Upo Wetland¹

Jeong-Cheol Lim², Kyung-Whan An^{3*}, Chang-Wo Lee⁴, Jeong-Hyun Lee⁵, Byeong-Ki Choi⁶

요 약

우포늪의 목포습지에서 수심에 따른 수생식물의 분포 특성을 밝히기 위한 연구가 수행되었다. 274개 지점에서의 수심 및 식물종 분포 현황에 대한 표본조사가 이루어졌다. 선행연구에서 이루어진바 없었던 목포에 대한 상세한 수심 분포 지도가 만들어졌다. 평균 수심은 77cm(±29cm), 최대 수심은 157cm로서 가장자리는 60cm 이내이며, 중심부가 120-130cm 정도의 오목한 그릇 형태를 이루고 있는 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 침수식물 6종(검정말, 나사말, 나자스말, 말즘, 붕어마름, 실말)과 부엽식물 3종(가시연꽃, 자라풀, 마름)의 서식이 확인 되었다. 이들 수생식물들의 분포는 통계적으로 유의한 차이($\chi^2 = 982.2$, $df = 8$, $p < 0.01$)를 보여 환경조건에 따라 식물종의 분포 양상이 다른 것으로 확인되었다. 마름이 244회 출현하여 가장 높은 빈도로 출현하는 것으로 나타났으며, 말즘과 함께 수심이 깊을수록 피도가 높아지는 분포 양상을 보였다. 가시연꽃, 자라풀, 검정말, 나자스말, 붕어마름 5종은 수심이 깊을수록 피도가 낮아지는 음의 상관관계를 나타내었다. 수심에 따른 수생식물의 분포는 근본적으로 각각의 식물종이 가지는 생태적 특성에 의한 것이지만, 목포습지의 환경 특성을 반영하고 있는 것으로 나타났다.

주요어: 상관관계, 침수식물, 부엽식물, 광합성, 휴면타파

ABSTRACT

The purpose of this study is to identify distribution patterns of hydrophytes in the Mokpo wetland in relation to the depth of water. Sample surveys were conducted based on plant species distribution status and water depths at 274 spots. This study also developed a detailed depth distribution map for Mokpo wetland, which was never done in any previous studies. Through this study, it was found that the average depth of the wetland was 77cm (±29cm) and the maximal depth was 157cm. The outer edge was no deeper than 60cm and the center approximately 120~130cm in depth, forming a concave bowl-like shape. This research confirmed inhabitation of 6 types of submerged plants (*Verticillate hydrilla*, *Vallisneria natans*, *Najas graminea*, *Potamogeton crispus*, *Ceratophyllum demersum*, and *Potamogeton brechtoldi*), and three types of floating leaved plants (*Euryale ferox*, *Hydrocharis dubia* and *Trapa japonica*) in the surveyed areas of the wetland. The distribution of these

1 접수 2016년 2월 15일, 수정 (1차: 2016년 4월 5일, 2차: 2016년 4월 19일), 게재확정 2016년 4월 25일

Received 15 February 2016; Revised (1st: 5 April 2016, 2nd: 19 April 2016); Accepted 25 April 2016

2 국립환경과학원 National Institute of Environmental Research, 52, Hwangyeong-ro, Seo-gu, Incheon 22689, Korea (limsu8002@gmail.com)

3 국립환경과학원 National Institute of Environmental Research, 52, Hwangyeong-ro, Seo-gu, Incheon 22689, Korea (phytosociology@gmail.com)

4 국립생태원 National Institute of Ecology, 1210, Geumgang-ro, Maseo-myeon, Seochen-gun, Chungcheongnam-do 33657, Korea (jacky903@daum.net)

5 국립생물자원관 National Institute of Biological Resources, 42, Hwangyeong-ro, Seo-gu, Incheon 22689, Korea (lee98511@korea.kr)

6 동의대학교 Dong-Eui University, 52-57, Yangjeong-ro, Busanjin-gu, Busan 47340, Korea (eco@deu.ac.kr)

* 교신저자 Corresponding author: E-mail: phytosociology@gmail.com

hydrophytes showed a statistically significant difference ($\chi^2 = 982.2$, $df = 8$, $p < 0.01$), which confirms the fact that distribution varies based on environmental conditions. The most frequently observed species was *Trapa japonicas* at 244 times, and it showed a distribution pattern by which coverage increased with greater depth, as was also seen in the case of *Potamogeton crispus*. Five species- *Euryale ferox*, *Hydrocharis dubid*, *Verticillate hydrilla*, *Najas graminea*, and *Ceratophyllum demersum*- showed a negative correlation to depth, by which coverage decreased with increasing depth. It has been shown that fundamentally, the distribution of hydrophytes based on depth is affected by ecological factors, but also reflects the environmental properties of Mokpo wetland.

KEYWORD : CORRELATION, SUBMERGED PLANT, FLOATING-LEAVED PLANT, PHYTOSYNTHESIS, BREAKING DORMANCY

서 론

수생식물은 습지 생태계의 주요 구성요소이며, 다양한 생물들에게 먹이, 은신처, 산란처 등을 직·간접적으로 제공한다. 또한 퇴적물의 침식을 조절하고 수중 광합성을 통한 산소 공급 및 물질 순환을 이끌며, 오염물질 흡수, 타감물질 방출과 빛과 양분의 경쟁에 의한 조류 발생 억제(Takamura *et al.*, 2003) 등 다양한 기능을 한다. 특히 수생식물의 생육은 환경의 영향을 받을 뿐만 아니라 습지의 환경 변화에도 영향을 미칠 수 있기 때문에(O'Neil-Morin and Kimball, 1983; Carpenter and Lodge, 1986; Jaynes and Carpenter, 1986; Joo *et al.*, 2002) 수질정화(Dhote and Dixit, 2009) 또는 환경 분석(Dennison *et al.*, 1993) 등에 활용되기도 한다.

수생식물의 분포, 빈도, 활력은 수온, pH, 용존산소량, 영양염류, 탁도(Squires *et al.*, 2002), 퇴적물 유형(Gafny and Gasith, 1999), 수질과 풍향, 수심(Wallsten and Forsgren, 1989; Havens, 2003), 수위변동(Wetzel, 1983; Hudon, 1997) 등 비생물적 영향을 받는다(Bornette and Puijalon, 2011). 생물학적 영향요소로서는 섭식 어류(Hanson and Butler, 1994), 곤충, 연체동물, 질병(곰팡이, 선충) 등의 다양성과 밀도의 영향을 받기도 한다. 식물간의 상호관계, 인위적 간섭에 의한 수생식물의 이동(어망에 얽힘 등) 또한 수생식물의 분포와 빈도에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

수생식물 분포에 영향을 미치는 다양한 환경요소 가운데 수심은 정수식물 분포와 생물량에 직접적인 영향을 미치며(Wetzel, 1983), 빛의 강도 감소를 통해 침수식물 생물량에 간접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Chambers and Kalff, 1985; Duarte and Kalff, 1990; Middelbøe and Markager, 1997). 빛 침투의 최대 깊이는 침수식물 생물량에 영향을 미치며, 식물의 정착을 결정짓는다(Chambers

and Prepas, 1988). 또한 수심에 따른 환경 차이에 대응하는 식물종 생육형에 의해 군락의 구조적 특성(Chamber and Kalff, 1985)과 종조성(Schwarz and Hawes, 1997)에 영향을 미친다. 이러한 식물종의 적응은 낮은 강도에서의 광합성 효율 차이(Titus and Adams, 1979)에 의한 것으로 알려져 있으며, 때때로 식물 계통발생의 결과로 알려져 있다(Chambers and prepas, 1988; Schwarz and Hawes, 1997).

수생식물의 분포와 관련된 각종 환경 요소에 대해 식물종과 서식처별로 적합한 환경조건에 대한 연구가 드물게 이루어지기도 하였다(Duarte and Kalff, 1986; Kemp *et al.*, 2004). 그러나 국내에서 수생식물의 분포 결정 요소들에 대해 현장조사를 바탕으로 정량적 수치로서 분포 범위를 밝힌 것은 알려진바 없다. 본 연구는 국내 최대 자연습지로 알려진 우포늪 가운데 목포습지에서 수생식물의 분포에 영향을 미치는 환경요소 가운데 수심(water depth)에 따른 식물종 분포 특성을 밝히는 것이 주요 목표이다. 또한 그러한 환경 요소에 의한 수생식물 분포에 대한 정량적 범위를 밝혀 습지 관리의 기초자료로서 제공하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상

목포(木浦)습지는 창녕군 이방면 안리에 위치하고 있으며, 우포, 목포, 사지포, 쪽지벌 4개의 배후습지로 이루어진 우포늪 가운데 두 번째로 큰 습지(530,284m²)로서 길이 약 1.8km, 폭 약 230~410m 이다. 목포습지는 초곡리에서 발원하는 총길이 약 4km의 초곡천이 논경작지를 지나는 동안 풍부한 유기물과 퇴적물을 운반하여 이루어진 자연 습지이다. 본래 목포습지는 우포와 연결되어 있었으나 1967년 목포습지를 논으로 개발하기 위해 우포와 연결된 지역에 제방을 쌓고 수문을 설치하여 현재처럼 우포와 분리되었다

(Nakdong-river System Commission, 2009). 대상지 주변 지질은 대부분 경상누층군 가운데 함안층으로 사암, 이질암 및 응회암의 쇄설성 퇴적암이다(Kim *et al.*, 2005). 한편, 현장조사시 습지의 기저는 대부분 점토질의 퇴적물과 다년간 축적된 식물 고사체로 이루어져 있는 것으로 확인 되었다.

대상지역에 인접한 합천군 지역의 지난 30년간(1981~2010) 연평균 기온은 12.9°C(Figure 1)로 월평균 최저온도가 -10°C를 넘지 않는 비교적 온난한 기온과, 연강수량 1,275.5mm로서 연중 하절기에 편중된 집중적인 강수 패턴을 나타내는 난온대(warm-temperate)와 냉온대(cool-temperate) 기후의 이행대적 성격을 가지는 지역이다(Walter and Breckle, 2002).

최근 6년간 목포습지의 수위는 장마와 태풍에 의한 대량 강우시(7월~9월)를 제외하면 연중 비교적 일정한 수위를 유지하고 있는 것으로 나타난다(Figure 2). 관측지점에서 계절적으로 강수량이 적은 1월은 평균 43cm의 수위를 유지하고 있으며, 침수부엽 식물의 발아와 초기 생장이 이루어지는 4월~5월은 평균 54~60cm 정도의 수위를 유지하고 있다. 하절기 대량 강우시에는 2009년 7월에 최대 164cm를 기록하기도 하였으며, 9월까지 평균 82~119cm의 수위를 유지한다. 최근 6년간 목포습지의 평균 수위는 65cm이며, 연평균 수위는 2010년 이후 지속적으로 낮아지는 경향성을 보여 2014년에는 2010년 대비 약 25cm 가량 낮아졌다.

목포습지를 포함한 우포늪은 1992년 습지보호지역으로 지정되었다. 이후 습지는 습지보전법에 따라 각종 개발과

이용은 보전을 전제로 제한적으로 이루어져왔다. 현재 목포습지를 대상으로 이루어지고 있는 주요 인간간섭은 우포늪 전체에 대해 12명의 지역주민에게 허가된 어로행위이다. 어로행위는 목포습지를 포함한 우포늪 전반에 걸쳐 이루어지고 있다. 이러한 약간의 교란요소를 제외하면, 습지보호지역 지정 후 20년 이상 기타 특별한 개발 및 교란 행위와 제한되어 왔고, 수심이 비교적 깊어 수심에 따른 수생식물의 분포특성을 규명하기에 적합한 곳이다.

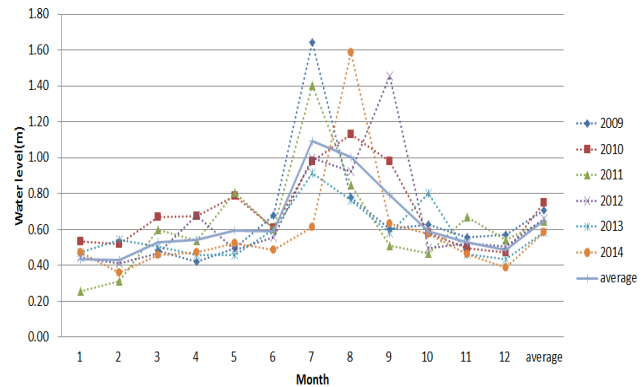


Figure 2. Mok-po wetland water-levels (2009~2014)

2. 조사방법

1) 수생식물 및 수심 조사

목포습지에서 수생식물의 다양성과 풍부성 및 수심 측정을 중심으로 하는 표본조사는 식물생장 최적기를 고려하여 2014년 7월 28일부터 30일까지 3일 동안 이루어졌다. 표본조사는 대상지역이 습지보호지역으로 관리되고 있는 특별지역이기 때문에 노를 저어 이동하는 카약을 이용하였다. 표본조사 조사지점은 동-서 방향으로 습지 가장자리 임의의 지점을 향해 이동하면서 불규칙적인 간격으로 조사하였다. 표본조사 간격은 최대한 정확한 습지의 기저단면 지형도를 얻기 위해 조사지점간의 폭을 최소화 하였으며, 습지 최외곽 지점과 급격한 수심변화가 의심되는 지점에 대해서는 보다 높은 밀도로 조사 하였다. 수생식물 다양성과 풍부성 조사를 위해 카약을 고정된 상태에서 약 1m² 면적에 대해 바닥부터 수면까지 폭 30cm의 갈고리로 수생식물을 들어 올려 확인 하였으며, 카약의 좌우로 총 2회 실시 하였다. 갈고리는 최대한 천천히 들어 올려 수면위에서 수생식물의

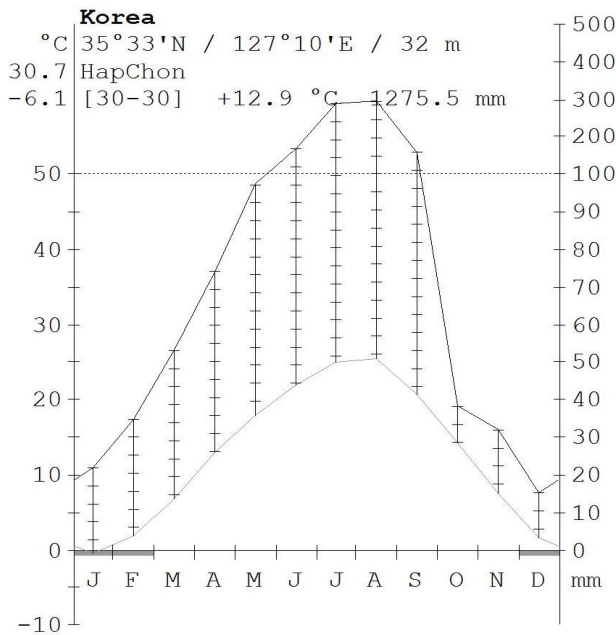


Figure 1. Climate diagram for Hapchon located on the same latitude from the study area

종조성을 확인하였다. 이때 출현하는 각 식물종이 단위면적 내에서 차지하는 상대적인 피도는 비율로서 % 단위로 그 양을 관측하여 기록하였다. 수심은 2m 길이의 막대자를 이용하여 1cm 단위로 측정하였다. 한편, 조사기간 동안 목포습지의 수위(낙동강유역환경청 관리)는 7월 28일 0.54m, 29일 0.528m, 30일 0.518m로 3일간 2.2cm의 수위 감소가 있었다. 날짜별 감소된 수위 값은 현장조사 결과 값에 반영하여 통계 처리에 이용 하였다.

2) 통계분석

현장 조사결과 수심과 수생식물 분포 사이에 서로 유의미한 상관관계가 있는지 검증하기 위해 통계분석이 이루어졌다. 조사지점별 수생식물의 출현빈도 차이가 유의미한 조사 결과인지 분석하기 위해 비모수통계법인 카이제곱검정(chi-square test)이 이용되었다. 조사지점별 수생식물의 피도와 수심 사이에 서로 상관관계가 있는지 알아보기 위한 분석은 비모수통계법인 스피어만 서열상관관계분석(Spearman correlation)을 이용하였다. 이를 위해 수생식물의 피도는 0%는 1, 1~25%는 2, 26~50%는 3, 51~75%는 4, 76~100%는 5로 총 5단계의 서열척도로 변환하여 분석하였다. 수생식물별 출현 수심 자료는 모두 비정규 분포하는 것으로 확인되었으며(Shapiro-Wilk's normality test, $p < 0.05$), 비모수통계법인 독립 K-표본검증(Kruskal-Wallis H test)으로 수생식물별 수심의 차이를 검증하였다. 수생식물별 출현 수심의 차이는 부엽식물 집단(가시연꽃, 자라풀, 마름)과 침수식물 집단(검정말, 나자스말, 말즘, 붕어마름, 실말)으로 구분하여 별도로 분석하였으며, 집단-내 차이는 일원분산분석(one-way ANOVA)의 사후검증(Tukey test)을 통해 확인하였다. 전체 조사지점 가운데 단 1곳에서만 출현이 확인된 나사말의 경우, 수생식물별 출현 수심의 차이 분석에서는 제외하였다. 모든 통계분석은 SPSS(Statistical Package for the Social Science, ver. 23)로 분석하였고 유의수준(α)은 0.05를 기준으로 판단하였다. 본문의 모든 자료는 평균 \pm 표준편차로 제시하였다.

결과 및 고찰

1. 수심분포

목포습지에서 수심과 식물종 조사를 위해 수변부에서 50cm 이상 이격된 총 274개 지점에 대한 수심과 식물종 분포 현황에 대한 표본조사가 이루어졌다. 표본조사 한 274개 지점의 수심 분포는 22~157cm로 평균 77cm(± 29 cm)의 수심이 발달하고 있는 것으로 나타났다(Figure 3). 수심별 조사지점의 수는 50~60cm가 총 45개소로 가장 많았으며,

140~150cm, 150~160cm 구간은 각각 1개소씩 조사되었다(Table 1). 목포습지 최상류 지역과 최하류 지역을 제외한 지역의 대부분은 수변으로부터 중심으로 약 10m 정도까지 60cm 이내의 완만한 수심 분포를 보이고 있다. 그러나 급격하게 수심이 증가하여 목포습지 중심부는 120~130cm 정도의 수심 분포로서 전반적으로 오목한 그릇형을 이루는 것으로 나타났다(Figure 3). 이러한 목포습지의 수심 분포는 평균수심이 52cm(± 29 cm)로서 평탄하고 완만한 기저지형(Ahn, 2009)을 가지는 것으로 알려진 우포와 비교했을 때 현저한 차이를 가지는 것이다. 즉, 이러한 수심 분포의 차이는 수온, 물순환(circulation), 영양염류 및 플랑크톤류의 이동, 수생식물 분포에 차이를 만들어 결국에 다른 생태적 특성을 이끌어낸다는 것이다(Jeppesen *et al.*, 1997; Hudon *et al.*, 2000; Abebe *et al.*, 2006). 특히 수심이 보다 깊고 점진적인 수분구배를 형성함으로써 우포보다 다양한 생물서식처를 제공하여 생물다양성 측면에서 매우 중요한 의미를 가진다(Rørslett, 1991; Riis and Hawes, 2002).

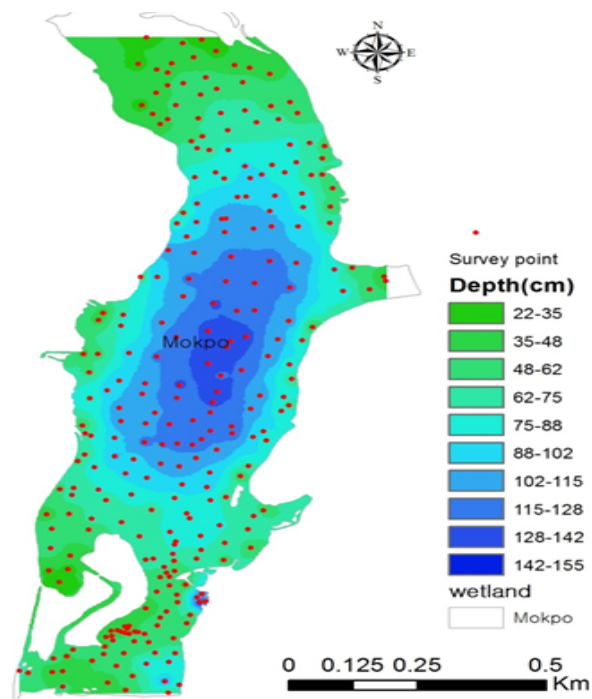


Figure 3. Water depth map of Mok-po using IDW interpolation to depict extent and distribution of water depth

이것은 습지에서 수심구배가 식물종의 분포를 결정짓는 중요 결정인자로서 식물의 발아와 정착에 직접적인 영향(Nicol and Ganf, 2000) 또는 경쟁적 상호관계에서 물 체제의 간접적인 영향을 주기 때문이다(Wilson and Keddy, 1985;

Keddy and Constable, 1986). 수위 체계와 관련된 식물군락 발달의 차이 또한 실험적으로 입증된바 있다(Weiher and Keddy, 1995; Nielsen and Chick, 1997).

Table 1. Number of site and species according to water depth

Water depth(cm)	Number of site	Number of species	Water depth(cm)	Number of site	Number of species
20~30	6	2	90~100	15	5
30~40	17	6	100~110	18	4
40~50	33	7	110~120	27	5
50~60	45	8	120~130	16	4
60~70	35	7	130~140	7	4
70~80	29	5	140~150	1	1
80~90	24	5	150~160	1	3

수심별 출현 식물종의 풍부도는 전반적으로 수심 30~70 cm 범위에서 최대 8종이 관찰되어 가장 높았다(Table 1). 30cm 이하 또는 140cm 이상에서는 기타 수심에 비해 식물

종의 풍부도가 비교적 낮은 것으로 나타났다. 이러한 분포는 공간적으로 수심 30~70cm의 분포면적이 목포습지에서 가장 넓기 때문이기도 하겠지만 수심과 식물종 분포에 관한 연구들(Pearsall, 1920; Spence, 1982; Keddy, 1986)에 의하면, 출현 식물종들의 최적 분포범위 중첩의 영향이 큰 것으로 예상된다(Figure 4).

습지의 수심 관측 연구는 국내에서 매우 드물며, 특히 수심과 수생식물 또는 수서곤충 등 수생태계의 상호관계에 관한 연구는 아직까지 관심 밖에 있다고 할 수 있다. Yang 등(Yang *et al.*, 2003)은 우포를 대상으로 위성 이미지를 이용하여 지형 변화와 기저 퇴적물 분포를 연구하는 과정에 50~100m 간격으로 총 79개 지점의 퇴적물 샘플을 수집하면서 수심을 측정한다. Yang 등의 연구는 수심을 등고선도로 나타내어 우포의 전반적인 기저지형을 이해할 수 있었으나, 상세한 수심 정보는 제시하지 않았으며, 퇴적물 분포 특성을 제외한 기타 생태적 특성 연구와 연계 되지 못했다. 이후 안경환(Ahn, 2009) 또한 우포만을 대상으로 1m 간격으로 총 1,787개 지점의 수심을 측정하여 우포의 기저지형 구조를 분석하였다. 그 결과 조사 당시 우포의 평균수심은 52cm(±18cm)임을 밝혀냈으며, Yang 등의 연구와

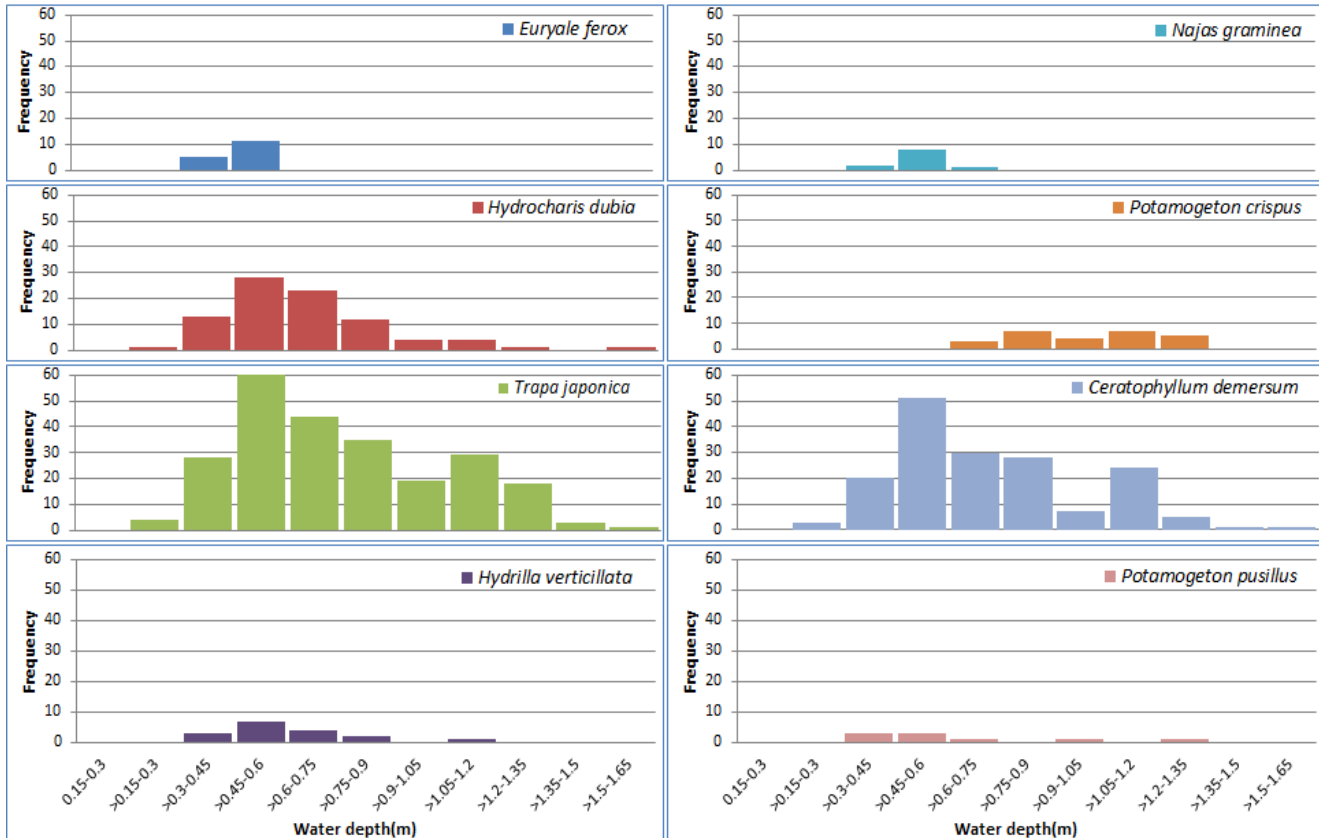


Figure 4. Frequency distribution at different depth classes of the aquatic plants in Mok-po

같이 우포는 전반적으로 평탄하고 완만한 지형을 가지고 있음을 밝혔다. 그러나 수심 측정이 단일 직선상에서 이루어져 우포 전체의 수심 분포 특성을 이해하기에 한계가 있으며, Yang 등의 연구와 마찬가지로 수심 분포와 연계된 수생생물의 분포 특성 등 추가적인 연구는 진행되지 못하였다.

2. 수생식물 다양성과 출현빈도

목포습지의 침수, 부엽식물은 모두 6과 8속 9종이 확인되었다. 침수식물은 6종(검정말(*Hydrilla verticillata*), 나사말(*Vallisneria natans*), 나자스말(*Najas graminea*), 말즘(*Potamogeton crispus*), 붕어마름(*Ceratophyllum demersum*), 실말(*Potamogeton pusillus*))이며, 부엽식물은 3종(가시연꽃(*Euryale ferox*), 자라풀(*Hydrocharis dubia*), 마름(*Trapa japonica*))이 기재되었다. 이 가운데 가장 높은 빈도로 출현한 식물종은 마름으로서 244회 출현하였으며, 붕어마름 170회, 자라풀 87회, 말즘 26회, 검정말 17회, 가시연꽃 16회, 나자스말 11회, 실말 9회, 나사말 1회 순이었다. 이들 수생식물의 출현빈도는 통계적으로 유의한 차이를 보여 실제로 목포습지 내에서 균일하게 분포하고 있는 것은 아닌 것으로 나타났다($\chi^2 = 982.2$, $df = 8$, $p < 0.01$). 즉, 통계적 검증결과 각 조사지점별 종조성에 뚜렷한 차이가 있으며, 이러한 차이를 만드는 특별한 환경조건이 있다는 것을 의미하는 것이다.

본 연구에서 확인된 식물종들의 생태적 특성은 강가 또는 수로나 연못 등지에서 느리지만 유속이 유지되는 입지에 분포하는 나사말(Ahn, 2009, Kim *et al.*, 2011)을 제외하면 대부분 유속이 거의 없는 연못과 같은 정수역 입지에 서식하는 것이다. 본 연구에서 나사말은 초곡천이 유입되는 장재마을 앞에서 1회만 관찰되었다. 나사말은 유속이 유지되는 입지에 모래 또는 자갈과 진흙이 섞인 토양에 분포하는 종으로서(Kurauchi *ichije*, 1954) 목포습지의 최상류 지역은 느린 유속이 유지되고 있으며, 상류에서 흘러 내려온 모래가 진흙과 함께 분포하는 서식 환경을 형성하고 있기 때문에 고착된 것으로 판단된다.

한편, 1987년부터 2010년까지 우포늪 일대를 대상으로 조사된 12건의 식물상 연구결과(Kim *et al.*, 2011)에 의하

면 총 100과 305속 524종의 식물종이 분포하고 있으며, 이 가운데 침수, 부엽식물은 모두 18종이다. 따라서 이번 목포습지 조사에서 출현이 확인되지 않은 식물종은 물별이끼(*Callitriche palustris*), 물수세미(*Myriophyllum verticillatum*), 노랑어리연꽃(*Nymphoides peltata*), 톱니나자스말(*Najas minor*), 수염마름(*Trapa sinensis*), 애기마름(*Trapa incisa*), 가래(*Potamogeton distinctus*), 대가래(*Potamogeton malaianus*), 큰가래(*Potamogeton natans*) 등 9종이다.

우포늪에서 수염마름과 애기마름의 분포는 매우 드문 것으로 알려져 있으며, 주로 쪽지벌 일대에서 적은 개체가 분포하는 것으로 알려져 있기 때문에 본 조사에서도 출현하지 못했던 것으로 판단된다. 수심이 얇은(0.3m 미만) 물가 또는 논, 습지 가장자리의 진흙 퇴적물 위에 서식하는 물별이끼(Lee, 2009)는 목포습지 내에 적합한 서식처가 없기 때문에 이번 조사에서 누락된 것으로 판단된다. 가래, 대가래, 큰가래는 주로 유속이 있는 수환경에 분포하기 때문에(Lee, 2004; Lee, 2009; Kim, 2013) 목포습지와 같은 정수(lentic)의 환경에서는 분포가 제한적인 것으로 판단된다. 우포늪에서도 이들 세 종은 토평천 일대에서만 제한적으로 관찰되고 있다. 노랑어리연꽃은 물 흐름의 영향을 간접적으로 받는 모래와 자갈이 섞인 점토질 토양의 우수역 가장자리 또는 정수역(Lee, 2005; Kim *et al.*, 2011)이 일반적인 서식처로서 목포습지에서 이러한 입지는 초곡천 유입부가 가장 유사하지만 유속이 비교적 빠르고, 기타 토양 환경 등도 적합하지 않아 서식하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 입지에 따른 식물종 풍부도의 차이는 목포습지 내에서 뿐만 아니라 우포지역 전체에서도 뚜렷한 차이를 보이며(Oh, 1990), 이러한 차이는 수심을 포함한 유속, 수질, 퇴적토 등 다양한 환경조건 차이에 의한 것으로 판단된다.

3. 수심과 수생식물 분포의 상관관계

식물종의 분포는 각각 서로 다른 생육특성에 의해 서식처 환경조건에 따라 서로 다른 분포특성을 가진다(Wetzel, 1983; Bornette and Puijalón, 2011). 특히 습지에서 수심에 따라 수생식물과 습지 식물군락의 반응이 서로 다르다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다(Sculthorpe, 1967; Spence 1982).

Table 2. Correlation between water depth and cover degree in Mokpo wetland

	Floating-leaved plant					Submerged plant			
	<i>E. ferox</i>	<i>H. dubia</i>	<i>T. japonica</i>	<i>H. verticillata</i>	<i>N. raminea</i>	<i>P. crispus</i>	<i>C. demersum</i>	<i>P. pusillus</i>	<i>V. natans</i>
r	- 0.27	- 0.26	0.24	- 0.14	- 0.19	0.27	- 0.24	- 0.09	- 0.03
p	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.05	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.13	0.59

수심 변화에 따른 9종의 수생식물 출현 빈도와 피도값 분포양상을 이용한 수생식물과 수심 사이에 상관관계 분석 결과, 마름과 말즘 2종은 양의 상관관계를 보여 수심이 깊을수록 피도는 높아지는 것으로 나타났다(Table 2). 가시연꽃,

자라풀, 검정말, 나자스말, 붕어마름 5종은 음의 상관관계를 보여 수심이 깊을수록 피도는 낮아지는 것으로 확인되었다. 즉, 통계적으로 마름과 말즘은 수심에 대해 음의 상관관계를 가지는 5종에 비해 상대적으로 보다 깊은 곳에서도 성장

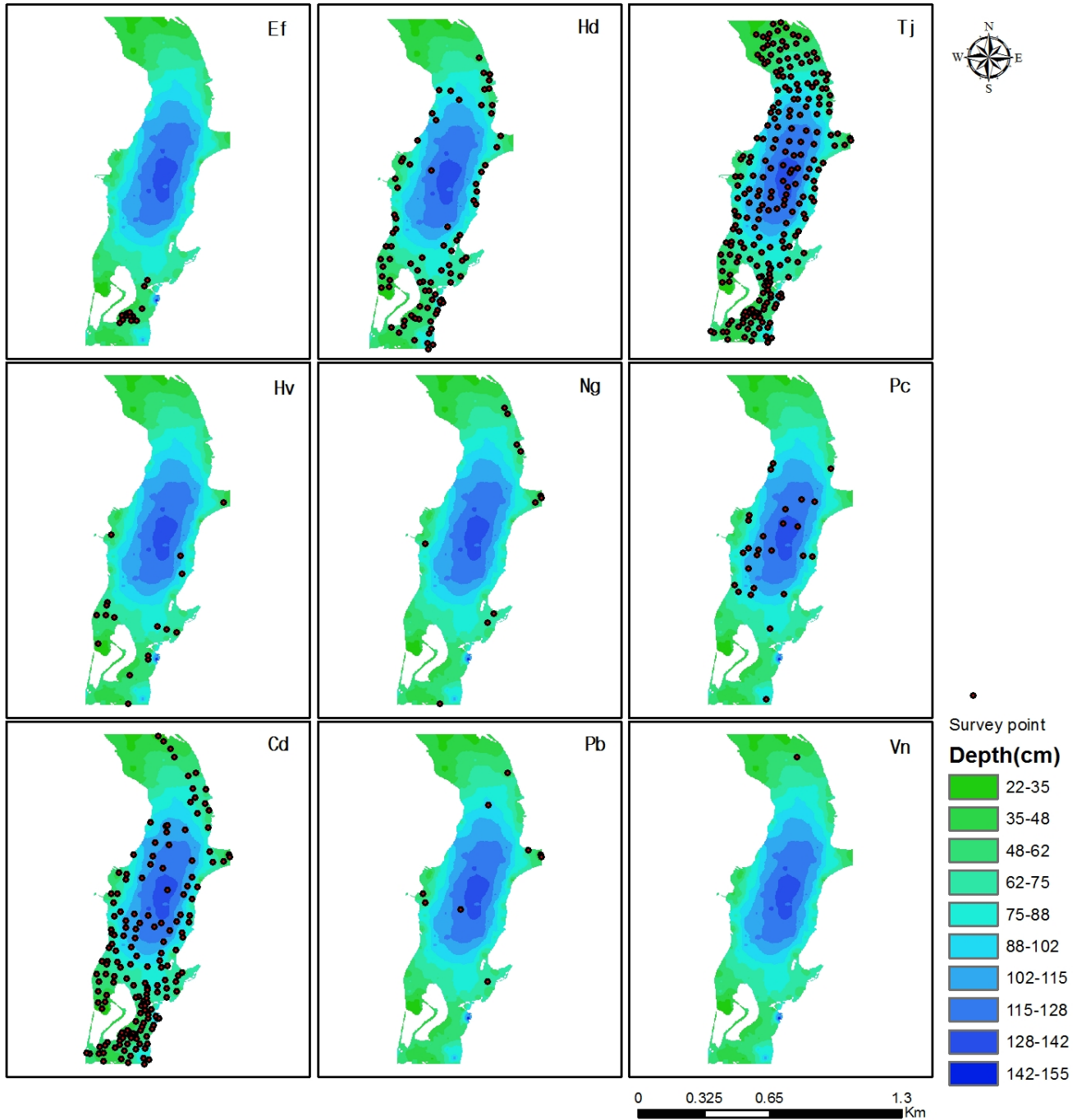


Figure 5. Distribution maps of nine aquatic plants
 Ef=*Euryale ferox*, Hd=*Hydrocharis dubia*, Tj=*Trapa japonica*, Hv=*Hydrilla verticillata*, Ng=*Najas graminea*,
 Pc=*Potamogeton crispus*, Cd=*Ceratophyllum demersum*, Pb=*Potamogeton pusillus*, Vn=*Vallisneria natans*

이 양호하며, 우점적으로 출현할 가능성이 크다는 것이다. 실제로 마름(*Trapa japonica*)은 조사지역에서 평균 76.2cm, 최대 244cm의 가장 깊은 수심에서 관찰되었다. 또한 선행연구결과에서도 마름은 5m 이하의 깊은 수심에서 생육이 가능하며 약 2m 깊이의 진흙 퇴적 입지에 가장 흔하게 출현하는 것으로 알려져 있다(Bogucki *et al.*, 1980). 또한 생활환에서 상대적으로 빠른 줄기 신장능력과 상관(canopy) 형성, 큰 종자 생성 등 다른 식물에 비해 높은 생존 경쟁력(Kunii, 1988)을 가진다. 이러한 마름의 생리, 생태적인 특성들은 깊은 수심에서도 유리한 생육을 가능하게 하는 것으로서 목포습지를 포함한 비교적 수심이 깊은 정수 또는 호소형 습지 전반에 우점적으로 분포하고 있는 것으로 판단된다.

말즘(*Potamogeton crispus*)은 수심 1~3m에서 가장 흔하게 서식하는 것으로 알려져 있으며(Bolduan *et al.*, 1994), 최대 수심 7m까지 생육 가능한 것으로 알려져 있다(Tobiessen and Snow, 1984). 연구지역에서 말즘은 평균 97.7cm, 최대 133cm의 깊이에서 관찰 되었다. 말즘은 어두운 빛 조건(Tobiessen and Snow, 1984)과 높은 탁도(Nichols, 1992)에 내성을 가지고 있기 때문에 깊은 수심에서도 생장이 빠르고 우점적으로 분포할 수 있는 것으로 알려져 있다. 또한 말즘은 물수세미, 검정말, 말즘, 이삭물수세미, 물수세미 등과 마찬가지로 겨울철에 종자 외에 휴면구조의 일종인 잠아(turion)를 형성하여 휴면상태로 월동하기 때문에 생존과 생육에 유리하다. 이러한 생육 특성에 의해 습지 복원의 선구식물(pioneer species)로 널리 활용되기도 한다(Wu *et al.*, 2009). 한편, 잠아는 최저수온 1~4°C에서 생존(Tobiessen and Snow, 1984) 가능한데, 수심이 깊을수록 보온효과에 따른 냉해 피해가 적어지므로 상대적으로 깊은 수심에서 보다 높은 피도를 형성하게 되는데 효과적일 것으로 판단된다. 결국 말즘은 빛(light) 이용능력과 잠아 형성능력에 의해 다른 종과의 생존경쟁에 유리한 보다 깊은 수심에서 보다 높은 피도를 형성하게 되는 것으로 판단된다.

수심과 피도가 음의 상관관계를 가지는 가시연꽃(*Euryale ferox*)은 목포습지에서 평균 47cm, 최대 58cm의 비교적 낮은 수심에서 관찰되었으며, 일반적으로 1.5m 이하의 수심에서 생육하는 것으로 알려져 있다(Goren-Inbar *et al.*, 2014). 그러나 종자 발아시 발아 조건이 적합하지 않으면 휴면상태로 수심 1년을 유지하기(Wakita, 1959; Kadono, 1983; Otaki, 1987) 때문에 같은 장소에서도 연도별 개체군 차이가 큰(Miyashita, 1983; Kume, 1987) 것으로 알려져 있다. 실제로 현재 가시연꽃이 목포습지 하류지역에서 소규모로 관찰되는 것에 비해 1995년 현존식생지도(Jeong *et al.*, 1995)에서는 하류지역 대부분과 상류 일부지역까지 폭넓게 분포하고 있었던 것으로 확인되고 있다. 이러한 분포를 결정짓는 중요 요소 가운데 하나로서 온도는 가시연꽃

발아에 가장 중요한 인자(Bouwmeester and Karssen, 1992; Bouwmeester and Karssen, 1993)로 알려져 있다. 실험에 의하면 2~3°C에서 1달간 예냉(Prechilling)한 경우 30%가 발아 했으나 항온에서는 전혀 발아되지 않아 저온처리(cold stratification) 효과가 가시연꽃 종자의 휴면타파에 직접적인 영향(Kumaki and Minami, 1973)을 미치는 중요한 요소인 것으로 알려져 있다. 그러나 발아 이후 빛과 온도는 성장에 특별한 영향이 없는 것으로 알려져 있다(Okada, 1935; Wakita, 1959). 결국 목포습지에서 가시연꽃은 동절기에 보다 뚜렷하게 예냉효과를 경험할 수 있는 수심이 낮은 입지에서 상대적으로 빈도 높게 출현할 가능성이 클 것으로 판단된다. 겨울철 호수의 수온은 여름철과 반대로 표층보다 수심이 깊을수록 보다 높은 온도를 형성하는 것이 일반적이기 때문이다(Ellis *et al.*, 1991). 그러나 현재 가시연꽃은 비슷한 수심을 가지는 지역 가운데에서도 특히 하류지역의 일부 지역에서만 관찰되고 있기 때문에 수심에 따른 온도차이 외에도 복합적인 요인들이 작용되고 있는 것으로 판단된다. 필요한 연구로서 가시연꽃은 하배축에 훅(hook)이 없기 때문에 6cm이상의 토양이 퇴적되면 발아하지 못하므로(You and Kim, 2010) 습지 상류지역에서 유입되는 부유물질 또는 식물 고사체 등의 지속적인 퇴적 영향 등에 대해 보다 상세한 연구가 필요하다. 또한, 부유성인 가시연꽃의 종자 산포 특성이 현재의 분포에 어떠한 영향을 미치는지 확인하는 등 다양한 관점에서 분포를 결정짓는 요소에 대한 연구가 필요하다.

검정말(*Hydrilla verticillata*)은 낮은 수준의 빛(low light level)으로도 광합성을 하는데 잘 적응된 식물이다(Bowes *et al.*, 1977). 그렇기 때문에 일반적으로 수심 3m 이내의 강이나 호수 등의 습지에서 흔하게 관찰되지만 깊이 15m에 이르는 깊은 수심에서도 서식하는 것이 관찰되기도 한다(Langeland, 1996). 검정말 분포를 결정짓는 핵심 요인은 투명도(clarity)로서(Canfield *et al.*, 1984) 수심보다 투명도에 따라 분포범위가 제한되며, 특히 성장초기에 가장 민감한 요소로 작용하는 것으로 알려져 있다(Carter *et al.*, 1994). 목포습지로 유입되는 초곡천은 벼농사가 시작되는 봄부터 여름까지 대량의 부유물질을 포함하고 있다. 따라서 이시기에 목포습지는 수심이 깊을수록 투명도가 낮아져 태양광 차단 효과가 높아지게 된다. 이러한 환경은 발생초기 식물의 성장 저해를 유발할 수 있으며, 성장 초기의 검정말에는 보다 직접적인 영향을 줄 수 있다. 결과적으로 검정말은 목포습지에 유입된 부유물질이 유속이 감소함에 따라 침전율이 증가하여 투명도가 향상(Lee and Yoon, 1999)되는 하류지역에 주로 분포하는 패턴을 나타내게 되는 것으로 판단된다(Figure 5). 특히 하류지역 중에서도 양호한 광조건 유지가 가능한 낮은 수심의 입지에 분포함으로써 음의

Table 3. Mean and range of water depth by hydrophyte exist in Mokpo wetland

	Floating-leaved plant				Submerged plant			
	<i>E. ferox</i>	<i>H. dubia</i>	<i>T. japonica</i>	<i>H. verticillata</i>	<i>N. graminea</i>	<i>P. crispus</i>	<i>C. demersum</i>	<i>P. pusillus</i>
Mean±SE (cm)	47.6±2.3	65.8±2.4	76.2±1.9	58.7±5.3	48.7±4.1	97.7±5.0	72.7±2.1	58.8±10.5
Range	16-58	20-157	22-244	17-115	11-68	26-133	22-170	9-131
Number of Occurrences	16	87	244	17	11	26	170	9

상관관계를 가지는 것으로 판단된다. 목포습지에서 검정말은 평균 58.7cm, 최대 115cm의 수심에서 관찰되었다.

붕어마름(*Ceratophyllum demersum*)은 검정말과 대조적으로 높은 수준의 빛 조건에 생장이 적응된 식물이다(Su et al., 2004). 따라서 앞서 언급되었듯이 계절적 영향으로 탁도가 높아지는 목포습지의 특성에 의해 보다 깊은 수심에서도 생육이 가능하지만 빛 조건이 양호한 보다 낮은 수심에서 높은 피도로 관찰되고 있는 것으로 판단된다. 목포습지에서 붕어마름은 평균 72.7cm, 최대 170cm의 수심에서 관찰되었다.

부엽식물인 **자라풀(*Hydrocharis dubia*)**은 수심이 깊은 곳에서 떠다니기도 하지만 일반적으로 수심이 얇은 습지가장자리에 서식한다. 평균 65.8cm, 최대 157cm의 수심에서 관찰되었다. 자라풀은 수심이 깊은 곳에서는 줄기가 신장되어 새로운 개체를 형성(Tsuchiya, 1989)하여 급격한 수위변동에 효과적으로 대응할 수도 있다(Cao and Mei, 2015). 따라서 목포습지에서 조사된 자라풀 가운데 수심이 깊은 곳에서 관찰된 소수의 개체는 수위가 낮은 습지가장자리에서 서식하였으나 수위변동 또는 파랑(wave)에 의해 이동한 개체 또는 이들로부터 증식된 것이다. 결국 수위가 높아짐에 따라 피도가 감소하는 음의 상관관계를 가지게 되는 것은 일반적인 자라풀의 생태적 특성 때문인 것이다.

나사말(*Vallisneria natans*)과 실말(*Potamogeton pusillus*)은 수심과의 상관관계 분석에서 통계적으로 유의한 수준에 차이를 보이지 않아 수심과 피도의 상관관계는 확인할 수 없었으나, 근본적으로 모집단 수의 부족으로 유효성을 확보하지 못한 것으로 예상된다.

3종의 부엽식물 그룹과 5종의 침수식물 그룹에 대해 식물종 각각의 수심 측정결과는 Table 3과 같다. 가시연꽃, 자라풀, 마름을 포함한 부엽식물 그룹의 출현 수심의 차이를 분석한 결과, 부엽식물 3종의 출현 수심은 통계적으로 유의한 차이를 보여 서로 차이가 있는 것으로 나타났다($\chi^2 = 21.3$, $df = 2$, $p < 0.05$). 부엽식물 그룹 내에서 마름은 가시연꽃과 자라풀보다 상대적으로 깊은 수심까지 생육하는 것으로 확인되었다(모든 경우, $p < 0.05$, Table 3). 반면에 가시연꽃과 자라풀은 다른 종들과 비교하여 출현 수심에

는 차이가 없는 것으로 나타났다(모든 경우, $p > 0.05$, Table 3). 그 밖에 침수식물 5종(검정말, 나자스말, 말즘, 붕어마름, 실말)은 각각의 출현 수심도 통계적으로 유의한 차이를 보였으며($\chi^2 = 37.9$, $df = 4$, $p < 0.05$), 말즘이 다른 침수식물 4종보다 깊은 수심에서 출현하는 것으로 확인되었다(모든 경우, $p < 0.05$, Table 3). 검정말, 나자스말, 붕어마름 및 실말은 상호 교차비교 하였을 때, 출현 수심에는 차이가 없는 것으로 확인되었다(모든 경우, $p > 0.05$, Table 3). 즉, 그룹 내에서도 각 식물종의 생태적 특성에 따라 서식범위에 뚜렷한 차이가 있음이 통계적으로 설명되었다.

감사의 글

본 연구의 진행에 있어 원만한 현장 조사가 이루어질 수 있도록 적극적으로 협조해 주신 낙동강유역환경청에 감사드립니다.

REFERENCES

- Abebe, E., I. Andr ssy and W. Traunspurger(2006) Freshwater Nematodes:Ecology and Taxonomy. CABI International. Wallingford.
- Ahn, K.H.(2010) Syntaxonomy and Synecology of the Upo Wetland. Ph. D. Dissertation, Keymyung University, Daegu, 126pp. (in Korean with English abstract)
- Bogucki, D.J., G.K. Gruending and M. Madden(1980) Remote sensing to monitor water chestnut growth in Lake Champlain. Journal of Soil Water Conservation 35(2):79-81.
- Bolduan, B.R. G.C Van Eeckhout, H.W. Wade and J.E. Gannon (1994) *Potamogeton crispus*-The other invader. Lake and Reservoir Management 10: 113-125.
- Bornette, G. and S. Puijalon(2011) Response of aquatic plants to abiotic factors : a review. Aquat Sci. 73: 1-14.
- Bouwmeester, H.J. and C.M. Karssen(1992) The dual role of temperature in the regulation of the seasonal changes in dormancy and germination of seeds of *Polygonum persicaria* L. Oecologia 90: 88-94.
- Bouwmeester, H.J. and C.M. Karssen(1993) Annual changes in

- dormancy and germination in seeds of *Sisymbrium officinale* (L.) Scop. N. Phytol. 124:179-191.
- Bowes, G., A.S. Holaday, T.K. Van and W.T. Haller(1977) Photosynthetic and photorespiratory carbon metabolism in aquatic plants. In Hall, D.O., J. Coombs and T.W. Goodwin (eds) Photosynthesis 77. Proceedings 4th Int. Congress of Photosynthesis, Reading (UK) pp. 289-298.
- Canfield, D.E.J., J.V. Shireman, D.E. Colle, W.T. Haller, C.E.I. Watkins and M.J. Maceina(1984) Prediction of chlorophyll-a concentration in Florida lakes: importance of aquatic macrophytes. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 41: 497-501.
- Cao, Q.J. and F.F. Mei(2015) Growth of floating-leaved and submerged plants in artificial co-cultured microcosms : morphological responses to various water fluctuation regimes. Pakistan Journal of Botany 47(1): 141-148.
- Carpenter, S.R. and D.M. Lodge(1986) Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. Aquatic Botany 26: 341-370.
- Carter, V., N.B. Rybicki, J.M. Landwehr and M. Turtora(1994) Role of weather and water quality on population dynamics of submersed macrophytes in the tidal Potomac River. Estuaries 17: 417-426.
- Chambers, P.A. and J. Kalff(1985) The influence of sediment composition and irradiance on the growth and morphology of *Myriophyllum spicatum* L. Aquat. Bot. 22: 253-263.
- Chambers, P.A. and E.E. Prepas(1988) Underwater spectral attenuation and its effect on the maximum depth of angiosperm colonisation Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 45: 1010-1017.
- Dennison, W.C. et al.(1993) Assessing water quality with submersed aquatic vegetation. BioScience 43: 86-94.
- Dhote, S. and S. Dixit(2009) Water quality improvement through macrophytes-a review. Environmental Monitoring and Assessment 152: 149-153.
- Duarte, C.M. and J. Kalff(1986) Littoral slope as a predictor of the maximum biomass of submerged macrophyte communities. Limnology and Oceanography 31: 1072-1080.
- Duarte, C.M. and J. Kalff(1990) Patterns of submerged macrophyte biomass of lakes and the importance of the scale of analysis in the interpretation. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 47: 357-363.
- Ellis, C.R., H.G. Stefan and R. Gu(1991) Water temperature dynamics and heat transfer beneath the ice cover of a lake. Limnology and Oceanography 36(2): 324-334.
- Gafny, S. and A. Gasith(1999) Spatially and temporally sporadic appearance of macrophytes in the littoral zone of Lake Kinneret, Israel: taking advantage of a window of opportunity. Aquat. Bot. 62: 249-267.
- Goren-Inbar, N., Y. Melamed, I. Zohar, K. Akhilesh and S. Pappu(2014) Beneath still waters-multistage aquatic exploitation of *Euryale ferox*(Salisb.) during the Acheulian, Internet Archaeol.(in Press)
- Hanson, M.A. and M.G. Butler(1994) Responses of plankton, turbidity, and macrophytes to biomanipulation in a shallow prairie lake. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 51: 1180-1188.
- Havens, K.E.(2003) Submerged aquatic vegetation correlations with depth and light attenuating materials in a shallow subtropical lake. Hydrobiologia 493: 173-186.
- Hudon, C.(1997) Impact of water level fluctuations on St. Lawrence river aquatic vegetation. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 54: 2853-2865.
- Hudon, C., S. Lalonde and P. Gagnon(2000) Ranking the effects of site exposure, plant growth form, water depth, and transparency on aquatic plant biomass. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 57: 31-42.
- Jaynes, M.L. and S.R. Carpenter(1986) Effects of vascular and non-vascular macrophytes on sediment redox and solute dynamics. Ecol. 67(4): 875-882.
- Jeong, W.G., Y.S. Kong and W.J. Yang(1995) The flora of vascular hydrophytes and hygrophytes in Mokop swamp and their protection. Environmental Problems Research Institute, Kyungnam Univ. 17: 77-94. (in Korean with English abstract)
- Joo, G.J., G.Y. Kim, S.B. Park, C.W. Lee and S.H. Choi(2002) Limnological characteristics and influences of free-floating plants on the Woopo wetland during the summer. Korean J. Limnol. 35(4): 273-284.
- Jeppesen, E., J.P. Jensen, M. Søndergaard, T. Lauridsen, L.J. Pedersen and L. Jensen(1997) Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth. Hydrobiologia 342/343: 151-164.
- Kadono, Y.(1983) Natural history of *Euryale ferox* Salisb. Nat. Stud. 29: 63-66. (in Japanese)
- Keddy, P.A.(1986) Great lakes vegetation dynamics: the role of fluctuating water levels and buried seeds. Journal of Great Lakes Research 12(1): 25-36.
- Keddy, P.A. and P. Constable(1986) Germination of ten shoreline plants in relation to seed size, soil and particle size and water level: an experimental study. Journal of Ecology 74: 133-141.
- Kemp, W.M. et al.(2004) Habitat requirements for submerged aquatic vegetation in Chesapeake Bay: Water quality, light regime, and physical-chemical factors. Estuaries 27(3): 363-377.
- Kim, C.S., K.H. Park and I.S. Paik(2005) ⁴⁰Ar/³⁹Ar Age of the volcanic pebbles within the Silla Conglomerate and deposition timing of the Hayang group. The Journal of the Petrological Society of Korea 14: 38-44. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.W., K.H. Ahn, C.W. Lee and B.K. Choi(2011) Plant Communities of Upo Wetland. Keimyung University Press,

- Daegu, 333pp. (in Korean)
- Kumaki, Y. and Y. Minami(1973) Seed germination of *Onibusu Euryale ferox* Salisb. (II).Bull. Fac. Educ., Kanazawa Univ., Nat. Sci. 22: 71-78.
- Kume, O.(1987) Growth situation of *Euryale ferox* Salisb. in Kagawa prefecture I. Bull. Water Plant Soc. Jpn. 27: 16-19. (in Japanese)
- Kunii, H.(1988) Seasonal growth and biomass of *Trapa japonica* flerov in Ojaga-ike pond, Chiba, Japan. Ecological research 3: 305-318.
- Kurauchi, I.(1954) Ecological studies on water plants in a irrigation trench, "Muro-Yosui, "Aichi Pref. Bulletin of the Society of Plant Ecology 3(4): 186-192. (in Japanese)
- Langeland, K.A.(1996) *Hydrilla verticillata* (L.F.) Royle (Hydrocharitaceae), "The Perfect Aquatic Weed". Castanea 61: 293-304.
- Lee, S.E.(2009) Syntaxonomy and synecology of plan communities at the potential floodplain in the Gyeongsangnam-do, Korea. Master Dissertation, Keymyung University, Daegu, 103pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, T.Y. and S.Y. Yoon(1999) A study on characteristics of water pollution in Woopo-Mokpo wetlands. Journal of Wetlands Research 1: 1-5. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.K.(2004) Syntaxonomy and synecology of the riparian vegetation in South Korea. Ph. D. Dissertation, Keymyung University, Daegu, 168pp. (in Korean with English abstract)
- Middelbøe, A. L. and S. Markager(1997) Depth limits and minimum light requirements of freshwater macrophytes. Freshwater Biol. 37: 553-568.
- Miyashita, Y.(1983) *Euryale ferox* Salisb. of Sakata lagoon in Niigata prefecture. Bull. Water Plant Soc. Jpn. 11: 4-6. (in Japanese)
- Nakdong-river System Commission(2009) Survey of Environment and Ecosystem of Lakes in the Nakdong River System(2nd). Nakdong-river system commission, Gyeong-Buk. (in Korean)
- Nicol, J. and G.G. Ganf(2000) Water regimes, seedling recruitment and establishment in three wetland plant species. Mar. Freshwater Res. 51: 305-309.
- Nichols, S.A.(1992) Depth, substrate, and turbidity relationships of some Wisconsin lake plants. Transactions of Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters 80: 97-118.
- Nielsen, D.L. and A.J. Chick(1997) Flood-mediated changes in aquatic macrophyte community structure. Mar. Freshwater Res. 48: 153-157.
- Oh, K.H.(1990) Effect of the aquatic vascular plants on the Eutrophication of the lake ecosystems. Journal of Natural Science 6: 91-108. (in Korean with English abstract)
- Okada, Y.(1935) Long-term dormancy of *Euryale ferox* Salisb. seeds. Seitaiagakutekikenkyu 1: 14-22. (in Japanese)
- O'Neil-Morin, J. and K. D. Kimball(1983) Relationship of macrophyte-mediated changes in the water column to periphyton composition and abundance. Freshwater Biology 13: 403-414.
- Otaki, S.(1987) *Euryale ferox* Salisb. in Japan. Nihon no seibutsu 1(4): 48-55. (in Japanese)
- Pearsall, W.H.(1920) The aquatic vegetation of the English lakes. The Journal of Ecology 8(3): 163-201.
- Riis, T. and I. Hawes(2002) Relationships between water level fluctuations and vegetation diversity in shallow water of New Zealand lakes. Aquatic Botany 74: 133-148.
- Rørslett B.(1991) Principal determinants of aquatic macrophyte richness in northern european lakes. Aquatic Botany 39: 173-193.
- Schwarz, A.M. and I. Hawes(1997) Effects of changing water clarity on characean biomass and species composition in a large oligotrophic lake. Aquat. Bot. 56: 169-181.
- Sculthorpe, C.D.(1967) The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold Lthd., London.
- Spence, D.H.N.(1982) The zonation of plants in freshwater lakes. Advance Ecology Research 12: 37-124.
- Squires, M.M., L.F.W. Lesack and D. Huebert(2002) The influence of water transparency on the distribution and abundance of macrophytes among lakes of the Mackenzie Delta, Western Canadian Arctic. Freshwater Biol. 47: 2123-2135.
- Su, W.H., G.F. Zhang, Y.S. Zhang, H. Xiao and F. Xia(2004) The photosynthetic characteristics of five submerged aquatic plants. Acta Hydrobiologica Sinica 28: 391-395.
- Takamura N., Y. Kadona, M. Fukushima, M. Nakagawa, B.H.O. Kim(2003) Effects of aquatic macrophytes on water quality and phytoplankton communities in shallow lakes. Ecol. Res. 18: 381-395.
- Titus, J.E. and M.S. Adams(1979) Coexistence and the comparative light relations of the submersed macrophytes *Myriophyllum spicatum* L. and *Vallisneria americana* Michx. Oecologia 40: 273-286.
- Tobiessen, P. and P.D. Snow(1984) Temperature and light effects on the growth of *Potamogeton crispus* in Collins Lake, New York State. Canadian Journal of Botany 62: 2822-2826.
- Tsuchiya, T.(1989) Growth and biomass turnover of *Hydrocharis dubia* L. cultured under different nutrient conditions. Ecol. Res. 4: 157-166.
- Wakita, H.(1959) Study on the fresh water plants in Nagoya and north-eastern part of Owari province; including ecological study of *Euryale ferox* Salisb. Chubunihon shizen kagaku chosadan hokoku 3: 5-7. (in Japanese)
- Wallsten, M. and P.O.O. Forsgren(1989) The effects of increased water levels on aquatic macrophytes. J. Aquat. Plant Manage. 27: 32-37.

- Walter, H. and S.W. Breckle(2002) Walter's vegetation of the earth, ed. 5. Springer Verlag, New York.
- Weihner, E. and P.A. Keddy(1995) The assembly of experimental wetland plant communities. *Oikos* 73: 323-335.
- Wetzel, R.G.(1983) *Limnology*. 2nd edition. New York(NY): Saunders college publishing. 860pp.
- Wilson, S.D. and P.A. Keddy(1985) Plant zonation on a shoreline gradient: physiological response curves of component species. *J. Ecol.* 73: 851-860.
- Wu, J., S. Cheng, W. Liang, F. He and Z. Wu(2009) Effects of sediment anoxia and light on turion germination and early growth of *Potamogeton crispus*. *Hydrobiologia* 628: 111-119.
- Yang, D.Y., J.Y. Kim, J.K. Kim, S.S. Hong, W.H. Nahm and J.Y. Lee(2003) Landform changes detected from satellite images and bottom topography-sediment distribution in the Upo wetland, S. Korea. *The Korean Journal of Quaternary Research* 17(2): 153-156.
- You, Y.H. and H.R. Kim(2010) Key factor causing the *Euryale ferox* endangered hydrophyte in Korea and management strategies for conservation. *Journal of Wetlands Research* 12(3): 49-56. (in Korean with English abstract)