

서열법(ordination)을 이용한 보성강 하천 습지의 식물군락 분포 특성 분석

이일원·김기대[†]

한국교원대학교 환경교육과

A analysis of plant communities distribution characteristics of Boseong river wetland using ordination

Il Won Lee·Kee Dae Kim[†]

Department of Environmental Education, Korea National University of Education

(Received : 19 October 2022, Revised : 17 November 2022, Accepted : 27 November 2022)

요약

하천 습지에서 생육하는 식물 군락의 분포와 생물과 비생물적 환경요인과의 관계를 분석하기 위해서 보성강내 하천 습지에서 식물 군락과 환경요인을 조사하였다. 연구장소인 보성강 하천 습지는 화평습지, 반구정습지, 석곡습지로 구성되어 있다. 2022년 6월부터 9월까지 상관식생적 관점에서 식물군락 조사를 수행하였고 출현종의 피도는 Braun-Blanquet scale을 따랐다. 식물 군락 조사를 위한 방형구내에서 식물종과 각 종의 피도를 기록하였고 생물 요인으로 방형구 울폐도, 총 출현 종수, 외래종 수를 측정하였다. 비생물 요인으로서는 고도, 방위, 경사도, 토성, litter 층 깊이, 우점종 흉고직경, 지형을 기록하였다. 총 50개의 방형구에서 버드나무와 달뿌리풀 군락이 가장 많이 발견되었고 Shannon 종다양도 지수가 가장 큰 군락은 달뿌리풀-물피 군락이었다. DCCA에 의한 서열법 분석 결과, 하천제방, 제방사면, 상부고수부지권, 하부고수부지권, 고수변부, 수변부, 저수변부, 사주, 하중도, 개방수역 등 지형 요인에 의하여 가장 유의하게 군락이 분리되었다. 하천 습지에서 보전되어야 하는 희귀식물로서 자라풀과 낙지다리는 저수변부에서 발견되어 털물참새피 같은 생태계교란식물의 지형적 분포와 일치하여 저수변부의 하천 관리가 필요함이 밝혀졌다.

핵심용어 : 습지 지형, DCCA, 하천 식생 군락, 생태적 관리

Abstract

To analyze the distribution of plant communities growing in river wetlands and the relationship between biotic and abiotic environmental factors, plant communities and environmental factors were investigated in river wetlands in the Boseong River. The Boseong River Wetland, the research site, consists of Hwapyeong Wetland, Bangujeong Wetland, and Seokgok Wetland. From June to September 2022, a plant community survey was conducted from the perspective of physiognomical vegetation, and the coverage of the emerging species followed the Braun-Blanquet scale. Plant species and the coverage of each species were recorded in the quadrant for plant community survey, and the cover of the quadrant, the total number of species, and the number of exotic species were measured as biological factors. As abiotic factors, altitude, orientation, inclination, soil texture, litter layer depth, dominant species diameter at breast height, and topography were recorded. In a total of 50 square plots, the most common *Salix koreensis* and *Phragmites japonicus* communities were found, and the community with the highest Shannon species diversity index was *Phragmites japonicus-Echinochloa caudata* community. As a result of ordination analysis by DCCA, the most significant clusters were separated according to topographic factors such as levee, levee slope, upper floodplain, lower floodplain, upper waterside, middle waterside, lower waterside, river island and open water. As rare plants that need to be preserved

[†]To whom correspondence should be addressed.

Department of Environmental Education, Korea National University of Education, Cheongju, Chungbuk, Republic of Korea
E-mail: kdkim@knue.ac.kr

• Il Won Lee Department of Environmental Education, Korea National University of Education / graduate student(nanna210@hanmail.net)
• Kee Dae Kim Department of Environmental Education, Korea National University of Education / professor(kdkim@knue.ac.kr)

in river wetlands, *Hydrocharis dubia* and *Penthorum chinense* were found in lower waterside, and it was found that the management of the river in the reservoir is necessary in line with the topographical distribution of ecosystem-disrupting plants, such as *Paspalum distichum* var. *indutum*.

Key words : wetland geomorphology, DCCA, stream vegetation, ecological management

1. 서 론

습지의 환경적 기능의 중요성이 증대되면서 습지를 보다 생태적으로 관리하기 위한 움직임이 지속적으로 일어나고 있다(USDA, 1998; Ministry of Environment, 2002). 그 일환으로 환경부는 습지 형성·유지의 핵심요인(지형, 토양 환경, 수문조건, 식생)과 국내 기후 특성을 고려한 국가습지 유형분류 체계를 마련하여 습지를 평가하고 관리하고 있다(Ministry of Environment, 2011). 국내 특성을 고려한 국가습지 유형분류 체계에 따르면, 하천형 습지는 기수역과 유수역, 정수역으로 분류 된다(Ministry of Environment, 2011). 그 하위분류로 식생, 토양환경, 수문에 따라 기수역은 하구갯벌습지, 하구삼각주습지, 하구염습지로 분류되고, 유수역은 하도습지, 보습지로 나뉘며 정수역은 배후습지, 용천습지로 분류되어 관리된다(Ministry of Environment, 2011). 호수형 습지의 경우 기수역과 담수역으로 나뉘며, 기수역은 석호습지, 간척호습지로 구성되고, 담수역은 담수호습지, 우각호습지, 사구습지로 분류된다(Ministry of Environment, 2011).

보성강 수계는 보성댐, 동복댐, 주암댐이 축조되면서 인위적인 변화에 의해서 어류와 식물플랑크톤 등 생물 군집의 변화가 기록되었다(Kim et al., 1993; Cho et al., 2020). 연구 대상 지역인 보성강 수계 내 습지는 하천형 습지로 유수역에 속한 제외지인 하도습지와 호수형 습지로 우각호습지에 속하는 구하도로 구성이 된다. 하도습지와 구

하도는 각각의 지형적, 생태적인 특징에 따라 세부적인 습지경계를 갖고 있는데 이는 세 지역으로 구분된다. 첫 번째 지역은 습지 여건이 형성되어 습지식생이 발달한 지역으로 핵심지역(core zone)이다(Ministry of Environment, 2011). 핵심지역은 하도와 지하수면이 1m 이내의 범위로 수변부와 하부고수부지권으로 구분한다. 두 번째 지역은 핵심지역을 보호하기 위한 공간인 완충지역(buffer zone)으로 일시적인 범람지역 또는 직접 영향권에 해당하며 상부고수부지권과 제방사면, 제방까지를 포함하는 공간이다(Ministry of Environment, 2011). 세 번째 지역은 전이지역(trasition zone)으로 제방 너머 제내지를 나타내는데 습지생태계와 인접 생태계의 경계라고 볼 수 있는 공간이다(Ministry of Environment, 2011).

이렇게 습지의 유형을 분류하고, 유형에 따라 전형적으로 나타나는 지형을 범람원(floodplain), 사주(bar), 하중도 등 지형단위로 고려하는 것은 하천습지 관리를 위해 반드시 수행되어야 할 연구이다. 하천 지형과 더불어 수지질학(hydrogeology) 부분은 수변 굴곡과 수로 주변 습지의 식물 군락에 영향을 준다고 알려져 있다. 특히 지형과 식생을 연계한 연구는 지형의 변화로 인한 식생 구조 형성의 패턴을 확인함으로써 인위적인 교란으로 인한 지형변화가 식생 구조 형성 패턴과 수생태계 건강성에 미치는 영향을 파악할 수 있는데, 이는 생태적인 습지 관리에 중요하기 때문에 더욱 필수적이다. 하지만 선행연구를 살펴보면, 지형적인 연구와 식생학적 연구가 분절적으로 진행되거나 통합적·생



Fig. 1. The location of wetlands in the Boseong River water system.

태적인 연구가 부족한 실정이다(Oh, 2021; Son, 2022).

이에 따라 본 연구의 목적은 우리나라 대표적인 하천 습지인 보성강 수계 내 습지를 대상으로 하천지형에서 분포하는 식물 군락을 분류하고 각 군락의 특성을 종다양성, 서열법(ordination)으로 분석하여 하천지형에 따른 식물 군락의 차이점과 관리방안을 도출하고자 하는 것이다.

2. 연구방법

2.1. 연구장소

보성강 수계는 보성군 웅치면 용반리의 일림산과 사자산에서 발원하여 곡성군 오곡면 압록리에서 섬진강으로 흘러드는 섬진강 지류로 길이는 약 120km, 유역면적은 1,309.7km²이다(Sung, 2019). 본 연구가 진행된 곳은 순천시 주암면 궁각리에 위치한 보성강 곡류부 하도습지인 화평습지, 보성강 직강화 공사로 인하여 하천 곡류부가 절단되어 구하도 습지로 형성된 곡성군 목사동면 대곡리에 위치한 반구정습지, 곡성군 목사동면 공북리에 위치한 하도습지인 석곡습지로 남북으로 길게 늘어진 보성강 수계 내 습지이다(Fig. 1; Ministry of Environment, 2017). 연구지역의 평년 기온은 인접한 순천시 기상 관측지 기준으로 6월~9월 평균 기온 24.3°C, 평균 강수량 237.8mm를 나타내었고, 연구기간이었던 2022년 6월~9월간 평균기온은 23.65°C, 평균 강수량은 171.1mm로 측정되어 평년보다

기온은 낮고, 강수량은 적은 것으로 나타났다.

2.2. 연구방법

2.2.1. 식물 군락 조사 및 분류

식물 군락 조사를 2022년 6월부터 9월까지 4주 간격으로 4회에 걸쳐 진행함으로써 시계열에 따른 식생의 변화를 고려하였다. 사전 습지 예비조사 결과와 드론을 이용한 항공촬영 결과를 바탕으로 하천제방 사면 상부에서부터 저수변권까지 출현하는 군락을 균등하게 선정하였고, 선정 지점 내부에 서식하는 우점종의 수고에 자승의 크기로 방형구를 설치하여 조사하였다(Fig. 2). 식물 군락은 전국내륙습지 조사지침(Guideline of National Wetland Survey Protocol)(Ministry of Environment, 2011)에 제시된 상관식생적(physiognomical vegetation) 관점으로 분류하였고, 방형구 내에 출현한 식물종의 피도는 Braun-Blanquet scale에 따라 측정되었다(Fig. 3).

입지 환경요인은 비생물 환경요인으로 조사지의 고도, 방위, 경사도, 토성, Litter층 깊이, 지형을 관찰 기록 및 측정하였고, 생물 환경요인으로 방형구 울폐도, 우점 목본종의 흉고직경, 방형구 내 총 출현 종 수와 출현한 외래종의 수를 측정하였다. 해발고도는 GPS 장비(GPSMAPS64S, GARMIN, USA)를 이용하여 측정하였고, 방위는 나침반(SUUNTO, Finland)을 사용하여 방위각으로 나타냈다. 경사도는 경사계(SUUNTO, Finland)를 이용하여 측정하였

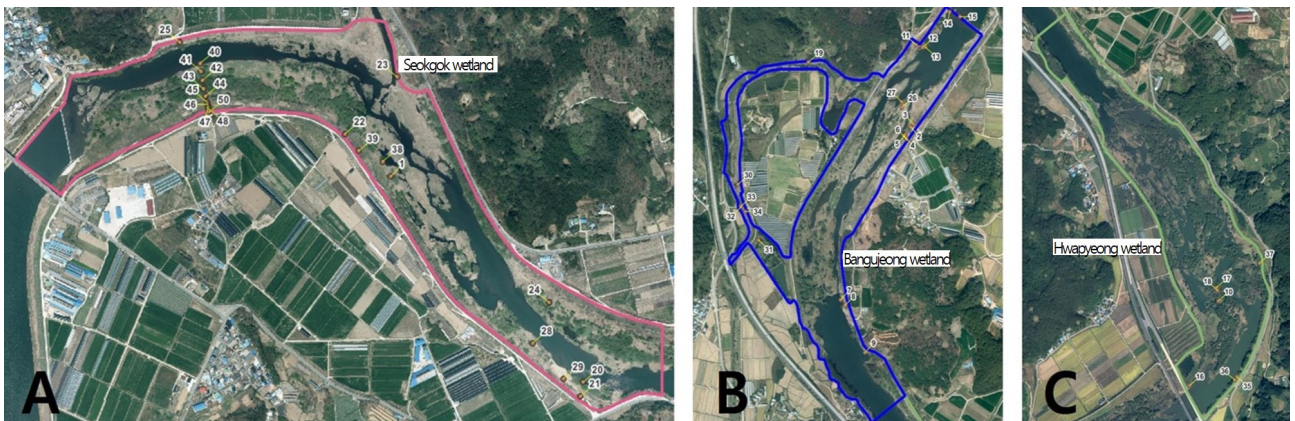


Fig. 2. The survey location in wetlands in Boseong River water system. The dots and numbers on map indicate the location of investigated quadrats in wetlands(A: Seokgok wetland, B: Bangujeong wetland, C: Hwapyeong wetland).

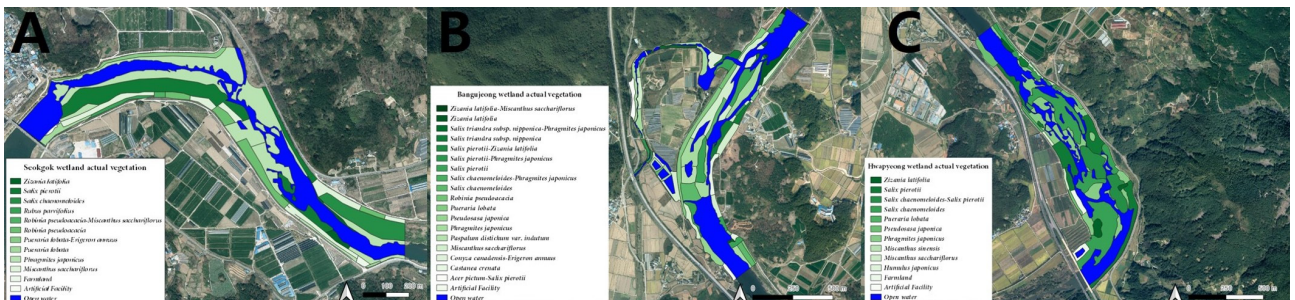


Fig. 3. Actual vegetation in investigated wetlands(A: Seokgok wetland, B: Bangujeong wetland, C: Hwapyeong wetland).

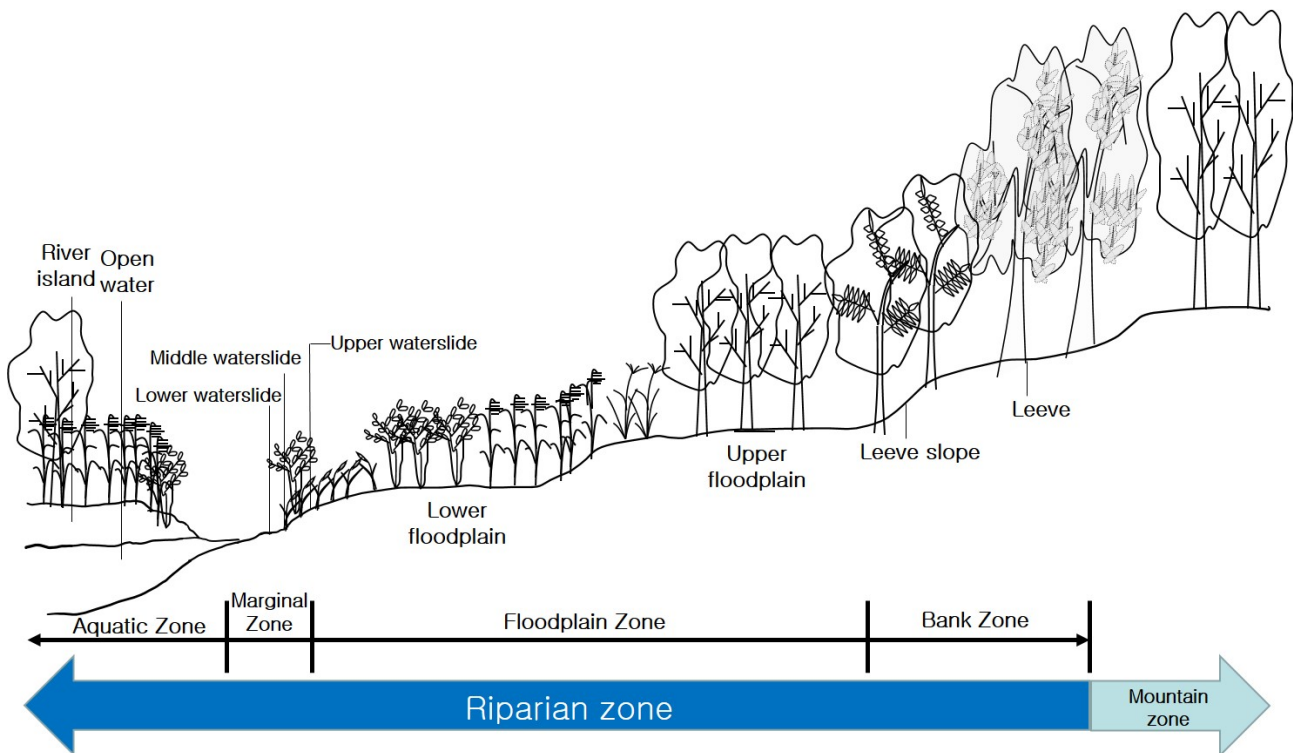


Fig. 4. A cross-sectional diagram in stream(Lee et al., 2007).

다. 토성은 촉감법을 사용하여 구별한 뒤 토포람 토양환경 지도를 이용하여 재확인하였다. 촉감법은 촉감을 이용한 간 이토성 분석법으로 조사 현장에서 즉각적으로 토성을 구분 짓는 방법이다. 사토의 경우 점토 함량이 적기 때문에 손바닥 안에서 뭉쳐지지 않고 그대로 부서지고, 양토는 손 안에서 뭉쳐지지만 떠를 만들 때 2.5cm 이상 길어지지 않는다(Brower et al., 1998). 식양토는 뭉쳐지며 5cm 이상 떠가 만들어지고 까끌거리는 느낌이 있으며, 식토는 점토함량이 많아 손 안에서 뭉쳐지고 떠가 5cm 이상 만들어지며 매끄러운 느낌이 든다(Brower et al., 1998). Litter층 깊이는 접자를 이용하여 낙엽 대부분이 분해되지 않고 원형 그대로 쌓여 있는 층의 깊이를 측정하였고, 흉고직경은 DBH자를 이용하여 수종의 가슴높이 직경을 측정하였다. 지형은 하천의 지형적 단면을 유형구분하여 제방권(제방, 제방사면), 고수부지권(상부고수부지, 하부고수부지), 수변권(고수변권, 수변부, 저수변부), 사주, 하중도, 개방수역으로 나누었다(Fig 4). 율폐도는 구형 수관밀도측정기를 이용하여 측정하였고, 출현한 종 중에 외래종은 한국의 외래귀화식물(Park, 1996)을 참고하여 동정하였다.

2.2.2. 군락 특성 분석

각 군락 구조의 특징을 정량적으로 비교하고, 이를 통해 습지 식생의 안정성을 유추하기 위해 군락별로 Shannon의 종다양도 지수(H')를 산출하였다. 각 방형구 내의 종 구성 다양도를 피도(coverage)에 기반한 Shannon의 종다양도 지수(H')를 이용하여 산출하였고, 동일 군락별로 각 방형구의 종다양도 지수(Species Diversity Index) 평균값을

정리하였다. Shannon의 종다양도 지수(H')는 일반적으로 1.5와 3.5사이의 값을 가지며, 값이 높을수록 다양성이 큰 의미를 지니고, 군집 내 희귀종의 영향력을 고려하는 지수이다(Stilling, 2014).

방형구에서 나타난 식생들이 환경요인과 어떻게 상호 영향을 주고 받는지 살펴보기 위해 방형구별 출현종의 피도가 입력된 식생 자료 행렬(vegetational data matrix)을 만들고, 환경요인을 수리분석에 유리하게 입력한 환경 자료 행렬(environmental data matrix)을 작성하였다. 이 행렬 자료를 바탕으로 서열법(Ordination)을 활용하여 식물 군락이 환경 요인으로 인해 공간에 배열되도록 하였으며, 이를 통해 식물과 환경간의 관계를 2차원적으로 해석을 하였다(Kim, 2007). 서열법은 Canoco for Windows Version 4.55를 이용하였고, DCCA(Detrended Canonical Correspondence Analysis)를 수행하였다. Ordination 분석은 방형구별 고도(Altitude), 방위(Direction), 경사도(Slope), 토성(Soil texture), Litter층 깊이(Litter), 흉고직경(DBH), 지형(Geomorphology), 수관층 피도(Crown), 출현종 수(Number of species), 외래종 수(Exotic species)와 같은 환경요인과 각 방형구별 식생과의 관계에 대해 분석하였다. 분석 시 해발고도는 m 단위, 방위는 방위각($^{\circ}$)으로, 경사도는 도($^{\circ}$)를 사용하였고, 토성은 사토(1), 양질사토(2), 사양토(3), 양토(4), 미사질양토(5), 미사토(6), 사질식양토(7), 식양토(8), 미사질식양토(9), 사질식토(10), 미사질식토(11), 식토(12), 습지(13)으로 구분하였다. litter층은 매우양호(1), 양호(2), 보통(3), 빈약(4), 매우빈약(5)로 구분하였고, 흉고직경은 직경을 cm단위

Table 1. Species diversity index of 24 communities investigated in wetlands. The species diversity index is calculated by averaging the Shannon diversity indices.

Name of community	Species Diversity Index
<i>Phragmites japonicus</i> - <i>Echinochloa caudata</i> community	2.44
<i>Robinia pseudoacacia</i> community	2.22
<i>Salix chaenomeloides</i> - <i>Phragmites japonicus</i> community	2.13
<i>Salix pierotii</i> community	2.11
<i>Erigeron annuus</i> - <i>Conyza canadensis</i> community	2.02
<i>Leersia japonica</i> community	2.01
<i>Salix chaenomeloides</i> community	2.01
<i>Bidens bipinnata</i> community	1.90
<i>Hydrocharis dubia</i> community	1.86
<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> - <i>Sium suave</i> community	1.86
<i>Zizania latifolia</i> community	1.76
<i>Salix chaenomeloides</i> - <i>Salix pierotii</i> community	1.68
<i>Lespedeza cuneata</i> community	1.67
<i>Trapa japonica</i> community	1.55
<i>Bidens bipinnata</i> community	1.51
<i>Pueraria lobata</i> community	1.43
<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> community	1.42
<i>Phragmites japonicus</i> - <i>Salix pierotii</i> community	1.40
<i>Zizania latifolia</i> - <i>Hydrilla verticillata</i> community	1.32
<i>Miscanthus sacchariflorus</i> community	1.18
<i>Humulus japonicus</i> community	1.14
<i>Phragmites japonicus</i> community	0.87
<i>Hydrilla verticillata</i> community	0.83
<i>Potamogeton crispus</i> community	0.52

로 입력하였다. 지형은 단면의 유형에 따라 하천제방(1), 제방사면(2), 상부고수부지권(3), 하부고수부지권(4), 고수변부(5), 수변부(6), 저수변부(7), 사주(8), 하중도(9), 개방수역(10)으로 구분하였다. 수관층 피도와 각 방형구별 출현종의 피도는 백분율(%)로 환산하여 입력하였고, 출현종 수와 외래종 수는 조사된 종의 수를 그대로 사용하였다.

습지 내 방형구에 서식하는 희귀식물이나 생태계교란식물의 유무는 습지생태계의 교란의 정도나 건강성을 측정할 수 있는 척도이므로(Lee et al., 2015), 방형구 내 발견된 식물들의 희귀식물 및 생태계교란식물 서식 여부를 판단하기 위해 한국 희귀식물 목록집(Korea Forest Service, 2008)과 생태계교란 생물 현장관리 가이드(Ministry of Environment and National Institute of Ecology, 2021)를 이용하여 동정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 군락 분류 및 분포 면적 비율

50개의 방형구 조사 결과, 연구장소에서 식생상관적으로 분류된 군락은 버드나무군락(*Salix pierotii* community, 8개 방형구), 달뿌리풀군락(*Phragmites japonicus* community, 8개 방형구), 물억새군락(*Miscanthus sacchariflorus* community, 4개 방형구), 검정말군락(*Hydrilla verticillata* community, 3개 방형구), 칩군락(*Pueraria lobata*

community, 2개 방형구), 줄군락(*Zizania latifolia* community, 2개 방형구), 털물참새피군락(*Paspalum distichum* var. *indutum* community, 2개 방형구), 왕버들군락(*Salix chaenomeloides* community, 2개 방형구), 환삼덩굴군락(*Humulus japonicus* community, 2개 방형구), 아까시나무군락(*Robinia pseudoacacia* community, 2개 방형구), 비수리군락(*Lespedeza cuneata* community, 2개 방형구), 자라풀군락(*Hydrocharis dubia* community, 1개 방형구), 마름군락(*Trapa japonica* community, 1개 방형구), 나도겨풀군락(*Leersia japonica* community, 1개 방형구), 털물참새피-개발나물군락(*Paspalum distichum* var. *indutum*-*Sium suave* community, 1개 방형구), 달뿌리풀-물피 군락(*Phragmites japonicus*-*Echinochloa caudata* community, 1개 방형구), 개망초-망초군락(*Erigeron annuus*-*Conyza canadensis* community, 1개 방형구), 왕버들-버드나무군락(*Salix chaenomeloides*-*Salix pierotii* community, 1개 방형구), 왕버들-달뿌리풀군락(*Salix chaenomeloides*-*Phragmites japonicus* community, 1개 방형구), 말즘군락(*Potamogeton crispus* community, 1개 방형구), 달뿌리풀-버드나무군락(*Phragmites japonicus*-*Salix pierotii* community, 1개 방형구), 줄-검정말군락(*Zizania latifolia*-*Hydrilla verticillata* community, 1개 방형구), 도깨비바늘군락(*Bidens bipinnata* community, 1개 방형구), 갈퀴나물군락(*Bidens bipinnata* community, 1개 방형구)으로 총 24개로 구분되었다. 구분된 군락들이 차지하는 방형구의 수는 대체

로 현존식생도에서 나타난 우점군락의 면적과 비례하는 경향을 나타냈다. 50개의 방형구에서 가장 많은 방형구를 차지하는 달뿌리풀군락(8개 방형구), 버드나무군락(8개 방형구), 물억새군락(4개군락)은 전체 연구장소 면적의 각각 26%, 17%, 10%를 차지하며 전체의 절반이상의 면적에서 우점하였다. 반면 1개이하의 방형구 수를 보이는 군락인 자라풀군락, 마름군락, 나도겨풀군락, 털물참새피-개발나물군락, 달뿌리풀-물피군락, 개망초-망초군락, 왕버들-버드나무군락, 왕버들-달뿌리풀군락, 말즘군락, 달뿌리풀-버드나무군락, 줄-검정말군락, 도깨비바늘군락, 갈퀴나물군락은 전체 면적의 10%이하를 차지하며 소규모로 분포하였다.

3.2. 군락 특성

3.2.1. 종다양도 분석

각 24개의 군락을 Shannon의 종다양도 지수(H')로 살펴보면, 지수값이 상대적으로 높은 2이상인 군락은 달뿌리풀-물피군락(2.44), 아까시나무군락(2.22), 왕버들-달뿌리풀군락(2.13), 버드나무군락(2.11), 개망초-망초군락(2.02), 나도겨풀군락(2.01), 왕버들군락(2.01)으로 나타났다(Table 1). 지수값이 2미만 1이상인 군락은 갈퀴나물군락(1.90), 자라풀군락(1.86), 털물참새피-개발나물군락(1.86), 줄군락(1.76), 왕버들-버드나무(1.68), 비수리군락(1.67), 마름군락(1.55), 도깨비바늘군락(1.51), 침군락(1.43), 털물참새피군락(1.42), 달뿌리풀-버드나무군락(1.40), 줄-검정말군락(1.32), 물억새군락(1.18), 환삼덩굴군락(1.14)으로 나타났다(Table 1). 지수값이 상대적으로 낮은 1미만의 군락은 달뿌리풀군락(0.87), 검정말군락(0.83), 말즘군락(0.52)으로 나타났다(Table 1).

3.2.2. Ordination 분석

연구장소인 보성강 수계 습지 내에 분포하는 석곡습지, 반구정습지, 화평습지 일대에서의 식생조사로 얻은 정량적 측정치와 10개의 주요 환경요인을 서열법으로 연관지어서 50개의 방형구를 DCCA(Detrended Canonical Correspondence Analysis)를 통해 분석하였다.

DCCA 분석결과에 나타난 서열도(Ordination diagram)는 50개의 조사 지점에 설치된 방형구와 종과 상호작용하는 환경변수를 나타낸 것이다(Fig 5). 서열도에서 긴 화살표를 가진 환경변수는 짧은 화살표를 가진 환경변수보다 배열(Ordination)축과 더욱 강하게 관련되어 군락의 분화에 더 큰 상관관계를 보인다. 따라서 화살표의 길이는 종조성적 변화를 결정하는 환경변수의 상대적 중요도에 해당된다(Kim et al., 2002). 이러한 환경변수에 따라 군락을 배열하여 종과 환경변수 사이의 관계를 분석한 결과는 다음과 같다.

Table 2는 DCCA 결과에 의해 나타난 제1축과 제2축의 상관관계이다. 제1축에서는 Geomorphology(지형)라는 환경변수가 군락의 분화에 가장 큰 상관관계를 보이는 것으로 나타났다(Fig 5). 이러한 연구 결과는 아시아 다른 국가

에서 습지 식물의 종 변화가 수계 지형과 기후에 영향을 받는다는 것과 일치한다(Liu et al., 2016). 10개의 유형으로 구분되어 조사된 지형에서 나타난 군락을 살펴보면, 제방에서 나타난 군락은 갈퀴나물군락이었고, 제방사면에서 나타난 군락은 침군락, 환삼덩굴군락, 아까시나무군락, 도깨비바늘군락으로 사방공사에 주로 이용되는 덩굴식물과 질소 고정식물인 아까시나무와 같은 콩과식물이었다. 상부고수부지에서는 제방사면과 같은 건생초지에서 자라는 식물과 습생초지에서 자라는 식물이 공존하였는데 제방과 가까운 상부고수부지에서는 아까시나무군락, 비수리군락, 개망초-망초군락과 같은 건생식물이 나타났고, 수변쪽으로 가까워질수록 물억새군락, 달뿌리풀군락, 버드나무군락이 나타나기 시작하였다. 하부고수부지에는 물억새군락, 달뿌리풀군락과 같은 습생식물들이 대부분 우점하였고 습지에서 전형적으로 나타나는 교목군락인 버드나무군락과 왕버들군락이 대규모로 번성하였다. 고수변부에는 버드나무군락, 왕버들군락, 왕버들-버드나무군락과 같은 목본성 식물이 대체로 우점하였고, 하천의 수위가 상승하였을 때 만들어진 정수지역에서는 자라풀과 같은 부엽식물이 우점하였다. 하도와 접해 있고, 하천 수위의 변동으로 자주 침수되는 저수변부나 저수변부에 형성된 정수지역에서는 목본성 식물은 나타나지 않고 습생초본식물인 달뿌리풀군락, 물억새군락, 줄군락, 나도겨풀군락, 털물참새피군락, 털물참새피-개발나물군락, 달뿌리풀-물피군락, 줄-검정말군락, 환삼덩굴군락이 나타나며 수분스트레스에 적응하여 서식하고 있었다. 특히 수변부에 움푹 파여들어가서 물의 흐름이 매우 느린 곳이나 물이 고여 정수지를 형성한 곳에서는 털물참새피군락이 넓은 면적으로 우점하였다. 하중도에서는 하도와 가까운 하중도 외곽에는 습생초본인 달뿌리풀군락이 우점한 반면 하중도 내부에는 버드나무와 같은 목본식물이 우점하였다. 개방수역에서는 하천 곡류부의 유속이 느려지는 지점에서 침수식물인 검정말군락, 말즘군락, 부엽식물인 마름군락이 우점하였고, 유속이 빠른 지점에서는 식물을 발견하지 못하였다.

제2축에서는 Allspecies(방형구에서 출현한 총 종 수)의 환경변수가 군락의 분화에 가장 큰 상관관계를 나타냈다(Fig 6). 방형구에서 출현한 총 종 수는 2종~25종의 범위에서 나타났는데, 15종이상으로 출현종이 상대적으로 많이 나타난 군락은 버드나무군락과 달뿌리풀-물피군락으로 대부분 저수변부, 고수변부, 하부고수부지에서 나타나며 수역과 가까운 거리에서 분포하는 군락으로 다층구조를 이루는 군락이 대부분이었다. 방형구에서 출현한 총 종 수가 10~14종으로 나타난 군락은 물억새군락, 줄군락, 나도겨풀군락, 털물참새피군락, 왕버들군락, 버드나무군락, 왕버들-버드나무군락, 왕버들-달뿌리풀군락, 아까시나무군락이었고 분포지역은 역시 대부분 저수변부, 고수변부, 하부고수부지이었으나 아까시나무와 같이 상부고수부지와 제방사면에서 자라는 군락이 나타나기 시작하였다. 방형구에서 출현한 총 종 수가 10종 미만인 군락은 검정말군락, 말즘군락, 줄-검정말군락, 자라풀군락, 마름군락, 줄군락, 달뿌리풀군

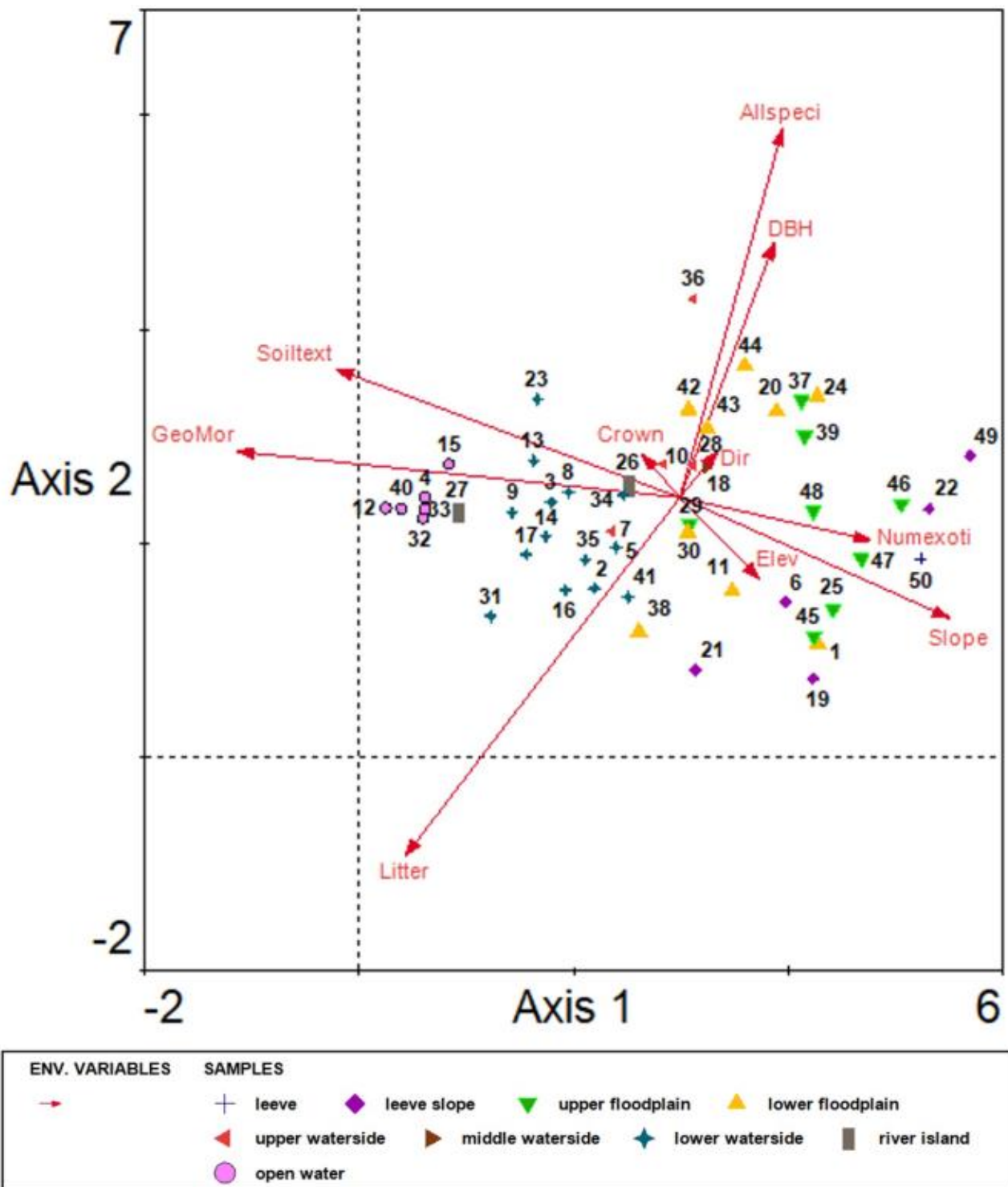


Fig. 5. The ordination diagram according to change of geomorphology. The environmental variables are: Allspeci=total number of species, DBH=Diameter at breast height, Numexoti=Number of exotic species, Slope, Elev=Elevation, Dir=Direction, Crown=coverage of canopy, Soiltext, GeoMor=Geomorphology, Litter=Litter layer. The figures on diagram are the number of quadrats.

락, 물억새군락, 털물참새피군락, 털물참새피-개발나물군락, 달뿌리풀-버드나무군락, 버드나무군락, 비수리군락, 개망초-망초군락, 환삼덩굴군락, 도깨비바늘군락, 갈퀴나물군락이었다. 이 군락들은 개방수역에서 자라는 침수식물이나

부엽식물이거나 수변부 정수지역에서 나타나는 습생초지식물이었고, 일부는 상부고수부지, 제방사면, 제방 같은 상대적으로 건조한 지역에 분포하는 건생초지식물로 다층구조를 이루지 않는 군락이 주를 이루었다.

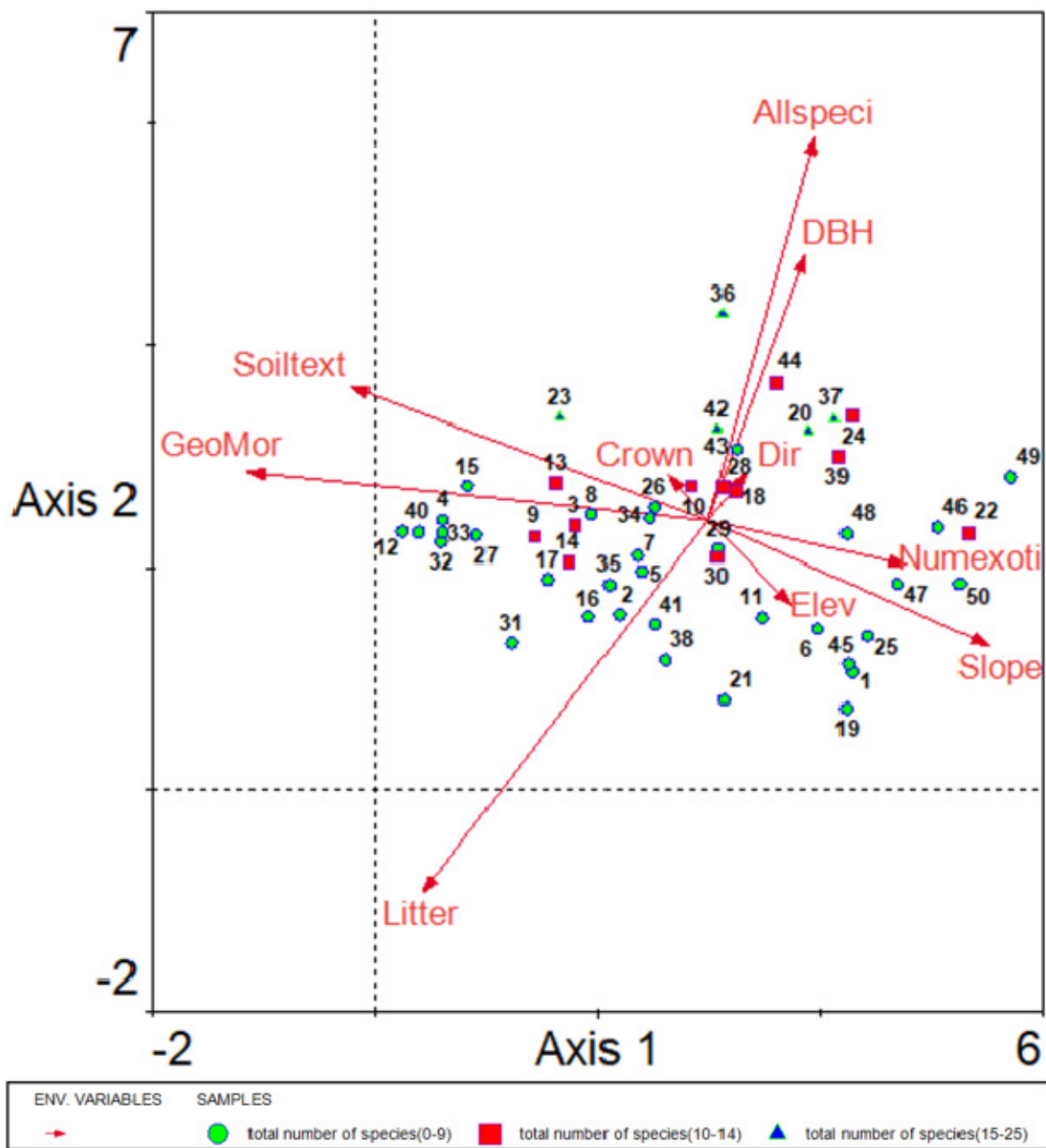


Fig. 6. The ordination diagram according to change of total number of species in qudarats. The environmental variables are: Allspeci=total number of species, DBH=Diameter at breast height, Numexotic=Number of exotic species, Slope, Elev=Elevation, Dir=Direction, Crown=coverage of canopy, Soiltext, GeoMor=Geomorphology, Litter=Litter layer. The figures on diagram are the number of qudarats.

지형의 변화에 따른 방형구의 분포(Fig 5)와 방형구에서 출현한 총 종 수의 변화에 따른 방형구의 분포(Fig 6)를 비교해보면 방형구에서 출현한 총 종 수가 많아 종다양도가

풍부한 방형구는 주로 하부고수부지와 고수변부인 것을 알 수 있다(Fig 7).

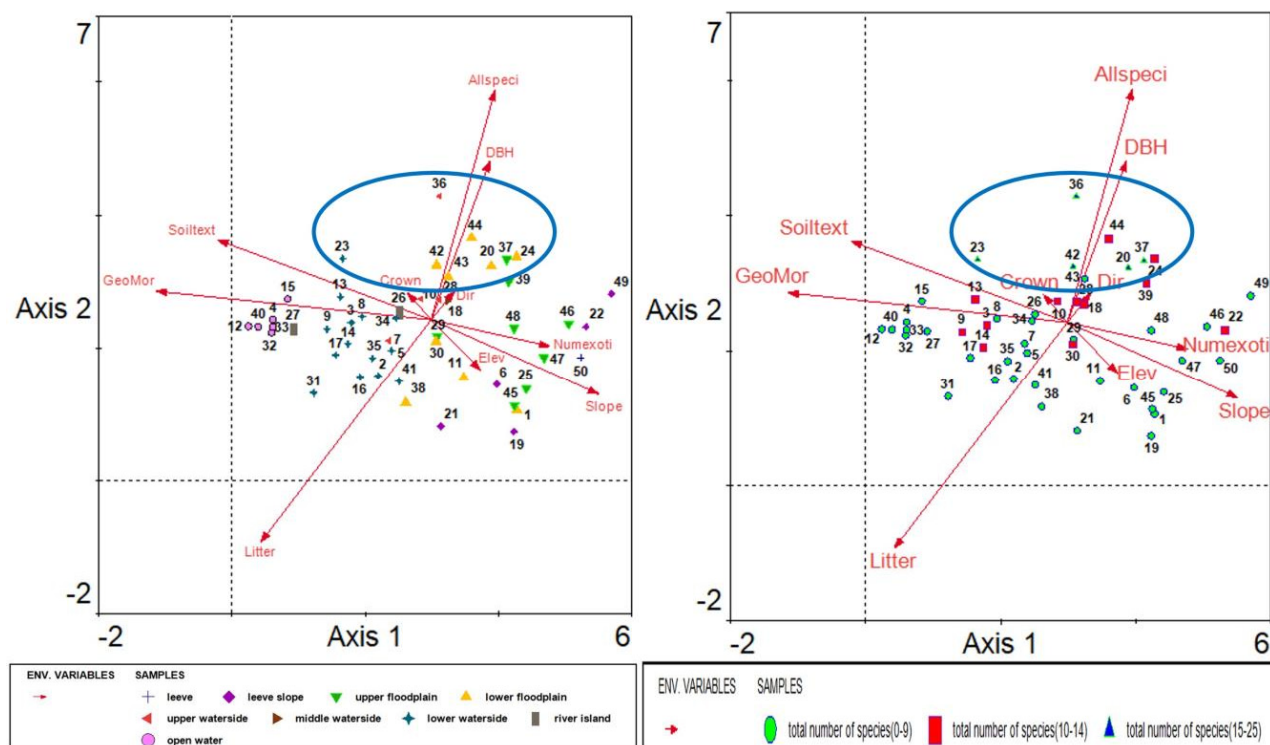


Fig. 7. The comparison between the distribution of quadrats according to the change of geomorphology(Fig. 5) and the distribution of quadrats according to the change in total number of species in quadrats(Fig. 6). Quadrats rich in species diversity are mainly located in upper waterside and lower floodplain(Quadrats in circle in diagram).

Table 2. DCCA result through quadrats-environment variables.

AXES	Axis 1	Axis 2	Total inertia
Eigenvalues	0.717	0.430	11.963
Species-environment correlations	0.945	0.928	
Cumulative percentage variance			
Of species data	6.0	9.6	
Of species-environment correlation	21.3	34.9	
Elevation	0.1519	-0.1437	
Direction	0.0745	0.0869	
Soiltext	-0.6676	0.2147	
Slope	0.5229	-0.2039	
Litter layer	-0.5508	-0.6730	
Crown(Coverage of canopy)	-0.0727	0.0777	
Number of exotic species	0.3716	-0.0667	
DBH(Diameter at breast height)	0.1939	0.4738	
Geomorphology	*-0.8655	0.0583	
Total number of species	0.2154	*0.6830	
Sum of unconstrained eigenvalues			11.963
Sum of canonical eigenvalues			3.312

3.3. 군락 내 희귀식물 및 생태계교란식물 현황

연구장소에서 분류된 24개 군락에 서식하는 희귀식물 및 생태계교란식물 현황을 살펴보면, 희귀식물로는 약관심종(LC)인 자라풀, 낙지다리, 새박이 발견되었고, 생태계교란식물로는 환삼덩굴, 털물참새피, 돼지풀이 발견되었다(Table 3).

희귀식물이 발견된 하천 지형 유형을 살펴보면(Fig 8),

자라풀의 경우 대부분 개방수역이나 저수변부에서 발견이 되었고, 유속이 느리거나 미지형적인 특징에 의해 물이 고여있는 정수지역에서 주로 서식하였다. 낙지다리는 저수변부에서 발견이 되었는데, 수심 1cm 정도의 습한 환경에서 양호한 생육상태를 보이기 때문에(Kang et al., 2003), 범람 및 건조 등의 자연적 교란이 심한 저수변부에서 생육상태가 양호하지 못하였다. 새박은 상부고수부지권에서 나타나며 다른 희귀식물에 비해 건조한 환경에서 출현하며 다년

Table 3. Status of rare plants and ecosystem disturbance plants inhabiting 24 communities.

Designated Status	Species	Designated Levels	Inhabitat Community
Rare Plants	<i>Hydrocharis dubia</i>	LC(Least Concern)	<i>Hydrocharis dubia</i> community, <i>Trapa japonica</i> community, <i>Hydrilla verticillata</i> community, <i>Phragmites japonicus</i> community, <i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> community, <i>Leersia japonica</i> community, <i>Zizania latifolia</i> community
	<i>Penthorum chinense</i>	LC(Least Concern)	<i>Phragmites japonicus</i> - <i>Echinochloa caudata</i> community, <i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> - <i>Sium suave</i> community
	<i>Melothria japonica</i>	LC(Least Concern)	<i>Phragmites japonicus</i> community
Ecosystem Disturbance Species	<i>Humulus japonicus</i>		<i>Humulus japonicus</i> community, <i>Pueraria lobata</i> community, <i>Salix chaenomeloides</i> - <i>Phragmites japonicus</i> community, <i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> - <i>Sium suave</i> community, <i>Salix pierotii</i> community, <i>Salix chaenomeloides</i> community, <i>Erigeron annuus</i> - <i>Conyza canadensis</i> community
	<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i>		<i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> community, <i>Paspalum distichum</i> var. <i>indutum</i> - <i>Sium suave</i> community, <i>Trapa japonica</i> community
	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>		<i>Pueraria lobata</i> community, <i>Robinia pseudoacacia</i> community

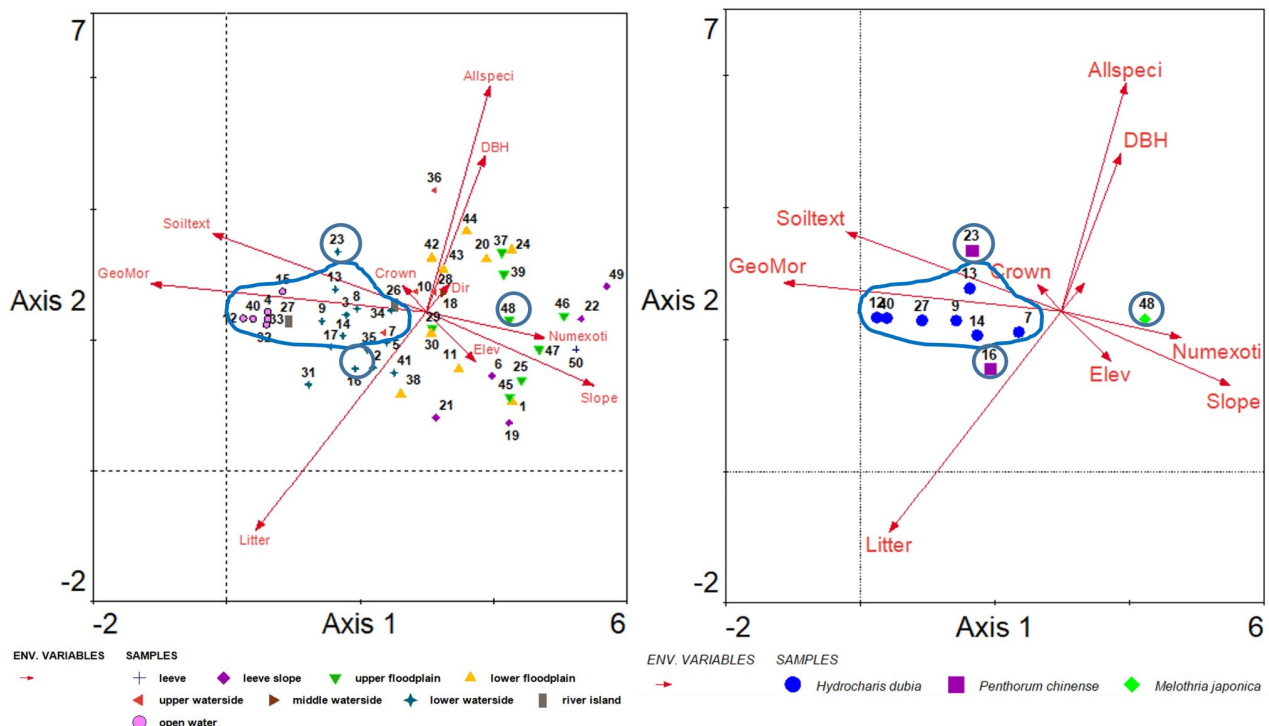


Fig. 8. Stream geomorphology in which the rare plants are distributed on the ordination diagram. *Hydrocharis dubia* were widely distributed in the lower waterside and open water area. *Penthorum chinense* were distributed in lower waterside and *Melothria japonica* were only distributed in upper floodplain.

생 습생초지식물과 다년생 건생초지식물이 혼재하는 방형구에서 나타났다. 희귀식물이 발견된 군락의 총 종 수를 살펴보면(Fig 10), 자라풀이 발견된 군락은 14종 이내의 종수가 출현했고, 낙지다리는 25종 이내, 새박 9종 이내의 총 출현 종의 수를 나타냈다. 자라풀은 부엽식물로 수환경에 직접적으로 서식하기 때문에 자라풀이 나타나는 군락에서

는 육상 기반 식물들의 출현이 제한되는 경향을 보였다. 새박이 출현한 군락은 달뿌리풀이나 비수리와 같은 특정 종의 피도 점유율이 압도적으로 높아 많은 종이 출현하지 못했다. 반면 낙지다리가 출현한 군락은 물피와 같은 1년생 초본식물들이 우점하여 종다양도가 높은 초기 천이단계의 특성을 보였다(Kang et al., 2003).

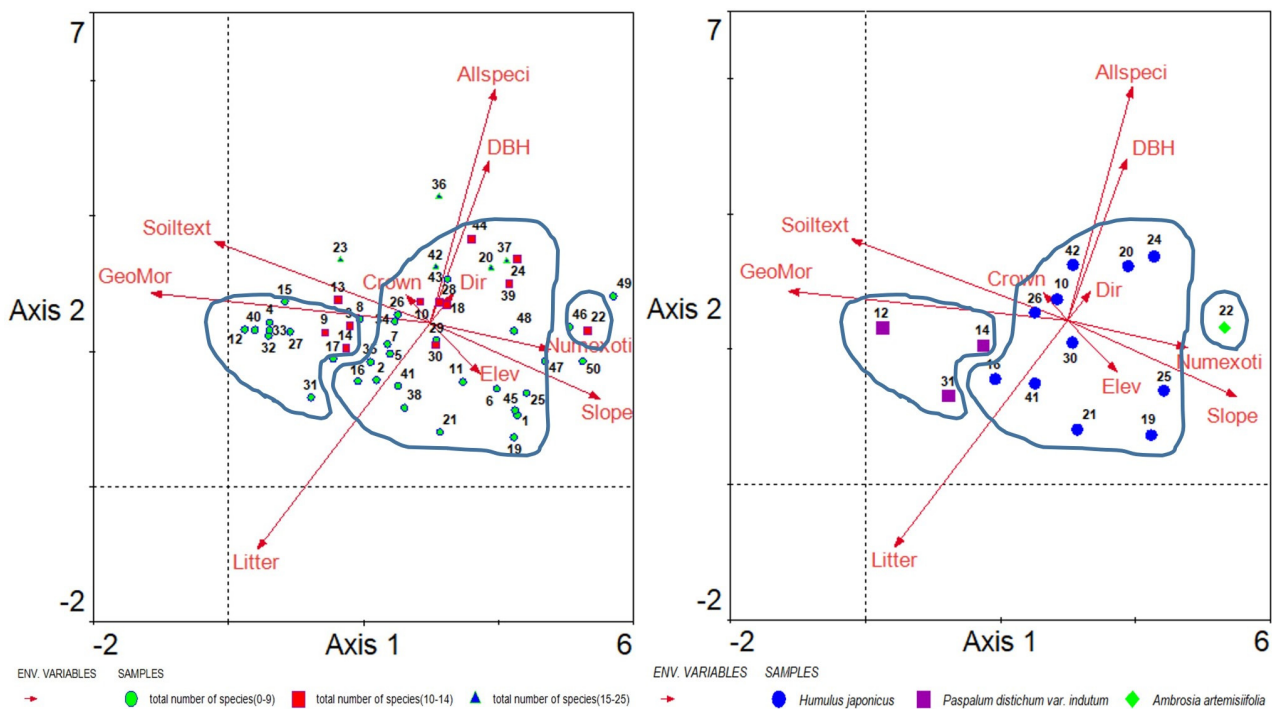


Fig. 9. Stream geomorphology in which the ecosystem disturbance plants are distributed on the ordination diagram. *Humulus japonicus* were widely distributed in the lower waterside and floodplain areas. *Paspalum distichum* var. *indutum* were distributed in the open water and lower waterside and *Ambrosia artemisiifolia* were distributed in levee slope.

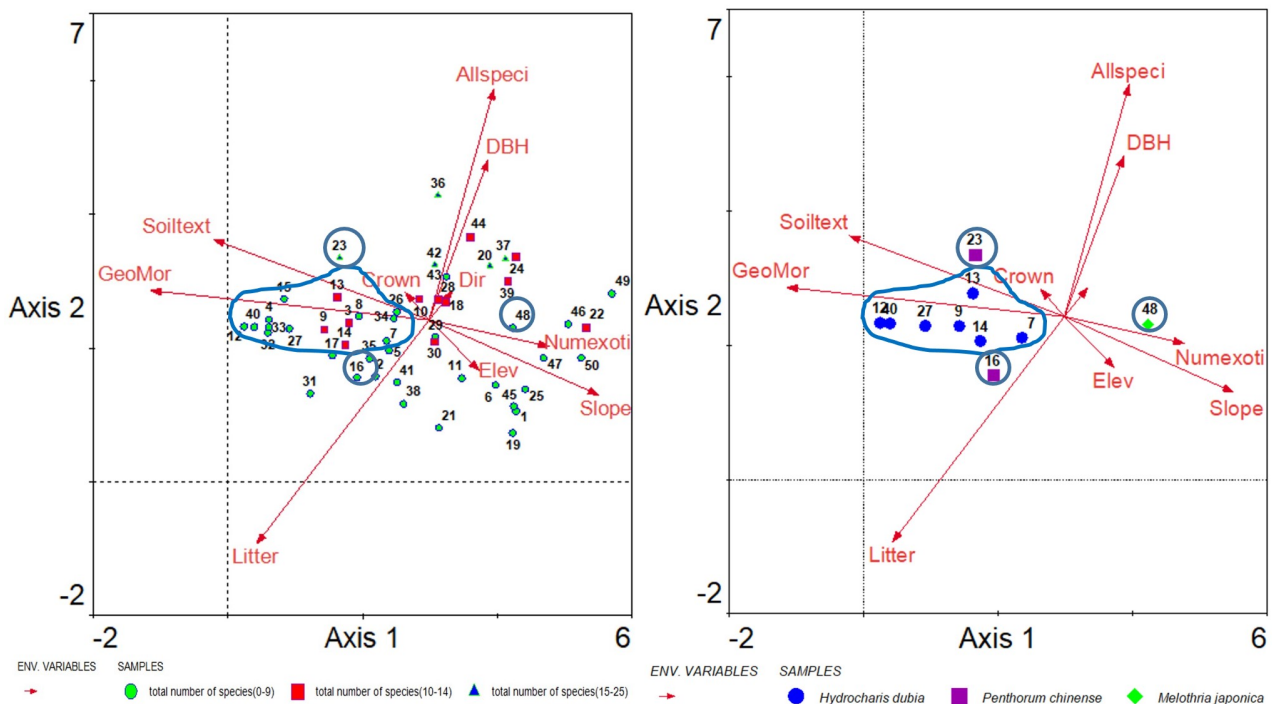


Fig. 10. Total number of species in quadrats in which the rare plants are distributed on the ordination diagram. The total number of species in quadrats inhabited by *Hydrocharis dubia* were in the range of 0–14. The total number of species in quadrats inhabited by *Penthorum chinense* were in the range of 0–25 and *Melothria japonica* were in the range of 0–9.

생태계교란식물이 발견된 하천 지형 유형을 살펴보면(Fig 9), 환삼덩굴의 경우 저수변부와 고수부지권에서 넓게 분포하며 군락 내에서 상대적으로 넓은 피도로 다른 식물들을

피압하는 것으로 나타났다. 털물참새피는 저수변부와 개방수역에서 나타났는데, 대부분 하천 유속이 느려지는 곡류부 안쪽이나 정수지역에서 높은 피도를 점유하였다. 돼지풀은

제방사면에 분포하였는데 침군락이나 아까시나무군락처럼 사방공사를 위해 의도적으로 식재해놓은 군락에서 나타났다. 생태계교란식물이 나타난 군락에서 출현한 총 종 수를 살펴보면(Fig 11), 환삼덩굴이 발견된 군락은 대부분 14종 이내의 종 수가 출현하였는데, 대부분 군락에서 상대적으로 높은 피도를 나타내며 군락 내 다른 종들을 피압하여 출현 종 수가 다양하지 않다는 것을 알 수 있다. 털물참새피가 출현하는 군락 역시 14종 이내의 종 수가 나타났다. 털물참새피는 유속이 느리거나 정수지역과 같은 특정 서식환경에서 압도적 피도로 분포하기 때문에 다른 종의 출현이 낮았다. 돼지풀이 발견된 군락에서는 10~14종이 발견되었는데, 사방공사를 위해 식재한 덩굴목본인 침이나 아까시나무의 압도적 우세로 인해 많은 종이 발견되지 않았으며, 균등도가 매우 떨어져 침이나 아까시나무의 피도가 타 종에 비해 상대적으로 매우 높은 피도를 나타냈다. 연구장소의 희귀식물과 생태계교란식물의 분포를 지형과 연결하였을 때 저수변부의 경우 희귀식물을 보호하고 생태계교란식물을 억제하기 위해서 생태계교란식물 제거 등 하천 관리가 필요하다고 판단되었다.

References

- Brower, JE, Zar, JH and von Ende, CN (1998). *Field and Laboratory Methods for General Ecology*, The McGraw-Hill Education, New York, NY.
- Cho, HJ, Na, JE and Lee, HY (2020). Comparison of Spatio-temporal Variations of Phytoplankton Communities in Lakes in the Boseibg River, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 53(1), pp. 11-21. [in Korean with English abstract]
- Kang, HK, Ohkuro, T and Makoto, I (2003). Vegetation Structure and Environmental Characteristics of Native Habitats for a Vulnerable Plant Species "Penthorum chinense" -A Focus on the Southern Part in Ibaraki, Japan-, *Journal of Korean Journal of Korean Institute of Landscape Architecture*, 31(2), pp. 83-93. [in Korean with English abstract]
- Kim, JH, Cho, HW, Han, WD and Lee, WO (1993). The Change of Fish Communities by the Change of Ecosystem in the Posong River, *Korean Journal of Environmental Biology*, 11(2), pp. 154-160. [in Korean with English abstract]
- Kim, KD (2007). A Study on the Vegetation Ecological Characteristics and Management of Ansan Reclaimed Wetlands, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 21(4), pp. 318-335. [in Korean with English abstract]
- Kim, YS, Kim, CH and Lee, KB (2002). Canonical Correspondence Analysis of Riparian Vegetation in Mankyeong River, Jeollabuk-do, *Journal of the Environmental Sciences*, 11(10), pp. 1031-1037. [in Korean with English abstract] [DOI: <https://doi.org/10.3741/JKWRA.2014.47.4.321>]
- Korea Forest Service (2008). *Rare plants data book in Korea*, Korea Forest Service. [Korean Literature]
- Lee, CW, Kim, DK, Cho, HS and Lee, HYM (2015). The Riparian Vegetation Disturbed by Two Invasive Alien Plants, *Sicyos angulatus* and *Paspalum distichum* var. *indutum* in South Korea, *Ecology and Resilient Infrastructure*, 2(3), pp. 255-263 [in Korean with English abstract] [DOI: <https://doi.org/10.17820/ERI.2015.2.3.255>]
- Lee, YK, Kwon, SG and Baek, HM (2007). The Riparian vegetation Characteristics in habitats of *Cottus koreanus*(Cottidae: Osteichthyes)¹, *Korean Society of Environment and Ecology*, 21(5), pp. 390-399. [in Korean with English abstract]
- Liu, W, Yanga, J, Sunc, J and Li, X (2016). Species turnover of wetland vegetation in northeastern China: Disentangling the relative effects of geographic distance, climate, and hydro-geomorphology, *Flora*, 220, pp. 1-7
- Mazur, CML, Wilcox, DA and Wiley, MJ (2020) Hydrogeology and Landform Morphology Affect Plant Communities in a Great Lakes Ridge-and-Swale Wetland Complex. *Wetlands*, 40, pp. 2209-2224, <https://doi-org-ssl.access.yonsei.ac.kr:8443/10.1007/s13157-020-01312-6>
- Carlson Mazur, M.L., Wilcox, D.A. & Wiley, M.J. Hydrogeology and Landform Morphology Affect Plant Communities in a Great Lakes Ridge-and-Swale Wetland Complex. *Wetlands* 40, 2209-2224 (2020). <https://doi-org-ssl.access.yonsei.ac.kr:8443/10.1007/s13157-020-01312-6>
- Ministry of Environment (MOE) (2017). *The Primary Monitoring for National Inland Wetlands*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) (2002). *Development of Close-to-Nature River Improvement Techniques Adapted to the Korean Streams: Development of Conservation, Rehabilitation, and Creation Techniques of Natural Environment for the Coexistence of Man with Nature*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) (2011). *Guideline of National Wetland Survey Protocol*, Ministry of Environment. [Korean Literature]
- Ministry of Environment (MOE) and National Institute of Ecology (NIE) (2021). *Information for the Field*

- Management of Invasion Alien Species in Korea*, Ministry of Environment, National Institute of Ecology.
- National Institute of Agricultural Sciences (NIAS) (2010). <http://soil.rda.go.kr>
- Oh, IS (2021). Integrated Riverine Ecosystem Classification of Damyang River Wetland Using Geomorphology-vegetation-sediment Patches, *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*, [in Korean with English abstract] [DOI: 10.26863/JKARG.2021.8.27.3.319]
- Park, SH (2009). *Korean naturalized plants*, ILCHOKAK Publishing, Seoul. [Korean literature]
- Son, HL (2022). *Relationship between Hydrogeomorphological Characteristics and Riparian Vegetations of Urban Streams*, MA Dissertation, Konkuk University, Seoul, Korea. [in Korean with English abstract]
- Stiling, P (2014). *Ecology: Global Insights and Investigations, 1st Edition*, McGraw-Hill Education, New York, NY
- Sung, JG (2019). *Community structure of benthic macroinvertebrates in the Boseongang river water system*, MA Dissertation, Changwon National University, Changwon, Korea. [in Korean with English abstract]
- U.S. Department of Agriculture (USDA) (1998). *Stream corridor restoration: Principles, process, and practices*, U.S. Department of Agriculture, Washington.