한국환경생태학회지 37(1): 59−69, 2023
Korean J. Environ. Ecol. 37(1): 59-69, February 2023
ISSN 1229-3857(Print) ISSN 2288-131X(Online)
https://doi.org/10.13047/KJEE.2023.37.1.59

한강 하구 장항습지의 식생군락별 식물 분포 특성[1]

나미연[2] · 오충현[3*]

Characteristics of Plants Distribution by Vegetation Community at Janghang Wetland in Han-river Esturary, Korea[1]

Mi-yeon Na[2], Choong-hyeon Oh[3*]

요 약

본 연구는 한강 하구 장항습지 초본 군락과 버드나무속 군락의 식생분포 특성을 조사하여 식생 관리를 위한 기초자료로 활용하기 위해 수행되었다. 식생 분포 특성을 파악하기 위해 방형구법과 브라운브랑케 방법으로 총 50개소 조사구를 조사·분석하였다. 조사결과 초본군집의 식물상은 11과 24속 28종 3변종 총 31분류군이 조사되었다. 선버들 군락의 식물상은 16과 33속 39종 3변종으로 총 42분류군, 버드나무 군락의 식물상은 19과 37속 43종 3변종으로 총 46분류군이 조사되었다. 생활형 및 우점도 분석 결과 선버들 군락에서는 수생식물의 출현비율과 우점도가 높고, 초본 군락에서는 반지중식물, 버드나무 군락에서는 일년생식물의 비율이 높게 나타났다. 토양내 전기전도도(EC)와 치환성나트륨(Na+) 분석결과, 버드나무 군락의 토양은 상대적으로 높은 염분함량을 나타냈고, 선버들 군락과 초본 군락의 토양은 낮은 함량으로 확인되었다. 생활형과 토양 염분의 상관관계 분석 결과, 수생식물과 반지중식물은 음의 상관관계, 일년생식물은 양의 상관관계를 나타냈다. 따라서 상대적으로 건조하고 염분 함량이 높은 환경에서는 버드나무와 일년생식물의 출현비율이 높고, 염분농도가 낮고 습윤한 지역에서는 선버들과 수생식물, 반지중식물의 출현비율이 높은 것으로 분석되었다.

주요어: 선버들, 버드나무, 일년생식물, 염분, 기수역

ABSTRACT

This study was carried for the purpose of using basic data for vegetation management plans by analyzing the current status of herbaceous community and *Salix* spp. community at Janghang Wetland in Han-river estuary. In order to investigate the vegetation status, the 50 plots were investigated and analyzed using the quadrat and Braun-Branquet method. In the herbaceous community, were found a total of 31 taxa of 11 families, 24 genera, 28 species, and 3 variants. A total of 42 taxa of 16 families, 33 genera, 39 species and 3 variants were appeared in the *Salix subfragilis* community, and a total of 46 taxa with classification of 19 families, 37 genera, 43 species,

1 접수 2023년 1월 31일, 수정 (1차: 2023년 2월 16일), 게재확정 2023년 2월 17일
Received 31 January 2023; Revised (1st: 16 February 2023); Accepted 17 February 2023
2 동국대학교 대학원 바이오환경과학과 박사과정 Dept. of Biological and Environmental Science, Dongguk University, #304, Bio-hall, Donguk-ro 32, Goyang-si, Gyeonnggi-do, Korea (miyeonna7@gmail.com)
3 동국대학교 바이오환경과학과 교수 Dept. of Biological and Environmental Science, Dongguk University, #343, Bio-hall, Donguk-ro 32, Goyang-si, Gyeonnggi-do, Korea (ecology@dongguk.edu)
* 교신저자 Corresponding author: ecology@dongguk.edu

and 3 varieties were founded in the *Salix koreensis* community. As for the analysis of life-form and dominance, the hydatophytes was relatively high in the *Salix subfragilis* community, the hemicryptothytes was high in herbaceous community and therophytes was high in *Salix koreensis* community. As a result of correlation analysis of electrical conductivity(EC) and exchangeable sodium(Na+) in the soil, hydatophytes and hemicryptothytes showed a negative correlation, and therophytes showed a positive correlation. Therefore, it was analyzed that *Salix koreensis* and therophytes have a high rate of appearance in relatively dry and salty soil. *Salix subfragilis*, hydatophytes, and hemicryptothytes have a high rate of appearance in low salt concentrations and wet areas.

KEY WORDS: SALIX SUBFRAGILIS, SALIX KOREENSIS, THEROPHYTES, SALINITY, BRACKISH WATER

서 론

한강 하구는 담수와 해수가 혼합되는 전이지역으로서 (Na and Oh, 2021; Sung *et al.*, 2022; Choi *et al.*, 2022), 담수생태계가 해양생태계로 전환되면서 물질 순환 및 생태적 완충지대 기능을 수행하고 있다. 또한 한반도의 자연생태축의 교차점에 위치하고, 접경지역 생물권에 해당하여 생태계가 잘 보전되고 있다. 한강 하구에 위치한 장항습지 역시 육상생태계와 수생태계의 전이지대이자(Lee *et al.*, 2019) 기수역의 특성을 지니고 있어 생물다양성이 풍부한 곳이다(Yapp, 1922; Mitsch and Gosselink, 2014; Kahlolo *et al.*, 2021). 장항습지는 이런 특성을 인정받아 2006년 한강 하구 국가 습지보호지역으로 지정되었고, 2021년 5월 람사르 습지로 등록되었다.

장항습지는 1980년대 후반 한강종합개발사업 진행 이후 한강의 유속과 흐름의 변화로 하중도 형태에서 현재와 같은 사주 형태로 변화하였다(Hwang and Lee, 2018). 위성사진 분석한 결과, 장항습지의 식생피복면적은 2013년부터 2018년까지 2배 이상 확장되었다(Na and Oh, 2022). 이런 과정을 거치면서 장항습지는 육화현상(terrestrialization)이 진행되고 있다.

장항습지의 현존식생은 크게 버드나무속 군락, 초본성 습지, 논습지로 구분된다. 장항습지 식생을 대표하는 버드나무 군락은 다양한 층위구조를 가지고 있어서 동식물들의 서식처 기능을 하고(Bang *et al.*, 2011; Keddy, 2013), 오염물질과 중금속을 흡수한다(Kuzovkina and Quigley, 2005; Markus. M and D. Hanelt, 2018). 또한 하천의 침수 빈도와 토양상태를 추정하는 수문 관리 자료로 활용할 수 있다 (Powell *et al.*, 2019; Pike and Scatena, 2010; Hupp *et al.*, 2016).

장항습지와 같은 하천 습지 식생에 관한 연구로는 장항습지의 선버들과 말똥게의 공생관계에 관한 연구(Han *et al.*, 2010), 사주 지형변화 및 식생 정착에 관한 연구(Ahn *et al.*, 2012), 한강 하구습지 버드나무속의 군락구조 연구 (Choe, 2019), 보성강 하천 습지의 식물군락 분포특성(Lee and Kim, 2022), 한강 유량에 따른 하도 미지형 변화와 식물천이의 상호작용(Lee and Youn, 2022) 등의 연구가 있다.

본 연구는 육화현상이 진행되고 있는 장항습지의 식생군락을 대상으로 식물 분포 특성을 분석하여 향후 식생 관리를 위한 기초자료로 제공하기 위해 수행되었다.

연구방법

1. 연구대상지

연구는 한강 하구 습지보호지역 중 장항습지를 대상으로 하였다. 한강 하구 습지보호지역은 행정구역상 강화, 김포, 파주, 고양시의 일부 지역을 포함하고 있으며 총 면적은 60.67㎢이다. 이중 장항습지는 고양시에 속해 있으며 면적은 7.49㎢이다. 한강 하구의 지질은 선캄브리아기(Pre-Cambrian)에 속하는 경기 편마암 복합체와 제4기에 해당하는 충적층으로 구성되어 있다. 이중 장항습지는 편마암류 변성작용에 따른 호상편마암 등으로 구성되어 있다. 한강 하구의 연평균 기온은 11.0~12.2℃이다. 가장 무더운 8월은 23~27℃, 가장 추운 1월은 - 6~7℃이다. 연강수량은 1,152~1,344mm이며, 여름에 강수량이 집중되고, 겨울철에 건조한 특성이 있다(KME, 2014).

1985년 장항습지는 한강 하류에 위치한 하중도 형태였다. 1988년 한강종합개발사업을 위해 한강 수위 조절을 위한 신곡수중보가 건설되면서 물의 흐름이 변화되어, 1995년부터 고양시 장항동 방향으로 사주 형태의 지형이 생겨나기 시작했다. 이 영향으로 하중도는 사라지고 장항동 지역에 습지대가 넓게 발달하면서 현재의 장항습지가 형성되었다.

장항습지는 한강 기수역에 위치하여 조수간만의 차가 있

는 감조구간에 포함되지만, 염도는 낮고 담수 영향이 우세한 담수조석습지에 해당된다. 장항습지는 제방 주변 평지지형에는 논이 조성되어 있고, 논 외곽으로는 버드나무와 선버들로 구성된 버드나무속 군락이 발달하였다. 선버들은 간헐적 침수가 이루어지는 습윤한 곳에 서식하는 특징이 있다(Lee *et al.*, 2000; Asaeda *et al.*, 2019). 버드나무는 하천 또는 저수지 주변에서 잘 자라지만(Lee, 2003), 선버들에 비해 비교적 건조한 지역에서 잘 자라는 특징이 있다(Choe, 2019). 이와 같은 특징 때문에 사주 발달과정에서 만들어진 물골 주변에는 물을 좋아하는 선버들이 생육하고, 물골에서 멀어진 지역에서는 비교적 건조토양에 강한 버드나무가 자라고 있다. 하지만 미소지형의 변화가 심해 두 수종의 생육지가 명확하게 구분되지 않고 혼생하는 형태로 나타나고 있다. 한강 수면과 접한 지역은 강물에 의한 교란으로 목본이 자라지 못하고, 초지가 발달하였다. 현장조사는 버드나무속 군락지역과 초본군락으로 구분하여 조사하였다. 초본군락은 A1, A2지역, 버드나무속 군락은 B1, B2, B3, B4지역을 조사하였다(Figure 1).

2. 조사 및 분석 방법

조사 및 분석은 식생군락별로 식물상 조사, 식물 생활형 및 출현비율 분석, 식물 생활형별 우점도 분석, 토양 분석, 식물 생활형과 토양환경과의 상관관계 분석으로 구분하여 진행하였다. 조사는 버드나무속 군락과 초본 군락으로 구분하여 진행하였다. 버드나무속 군락은 방형구를 설치하여 선버들 우점 군락과 버드나무 우점군락으로 구분하여 조사하였다.

목본군락은 25개 방형구(10m x 10m)를 설치하여 수종, 수고, 흉고직경을 조사하고, 초본군락은 25개의 방형구(5m x 5m)를 설치하여 Brown-Blanquet 방법으로 조사하였다(Wikum and Shanholtzer, 1978). 식물군집 및 식물상 조사는 2018년 6월부터 2019년 5월까지 7회에 걸쳐 장항습지 출입이 가능한 오후 1시에서 5시까지 4시간씩 조사하였다(Table 1).

1) 식물상 조사

식물상은 선버들 군락, 버드나무 군락, 초본 군락의 세

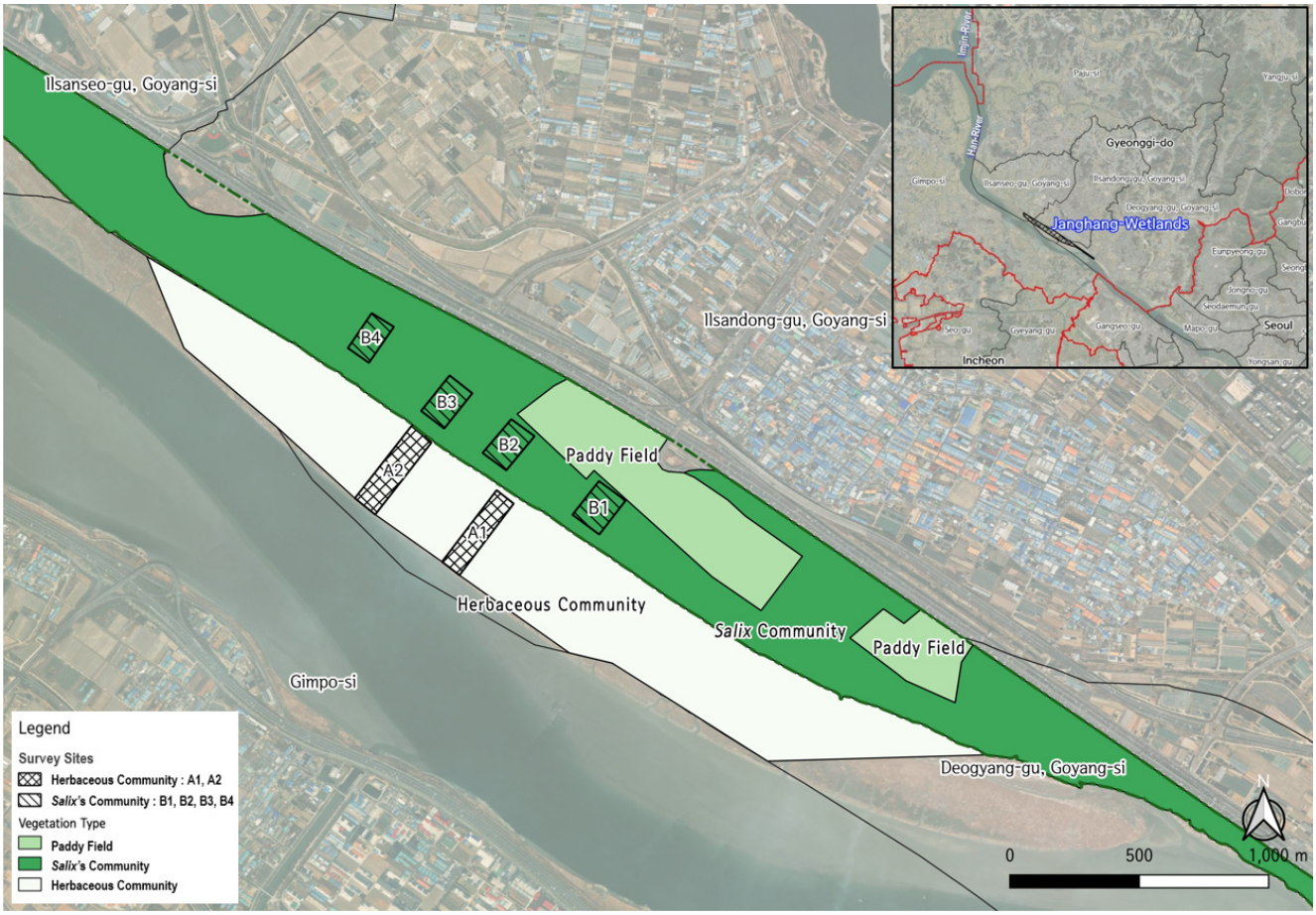

Figure 1. The study sites at Janghang Wetlands.

Table 1. Survey date and area at Janghang Wetalnds

Survey Date	1	2	3	4	5	6	7
	Jun.14th, 2018	Jul.18th, 2018	Jul. 20th, 2018	Aug. 17th, 2018	Oct.17th, 2018	Oct.25th, 2018	May.24th, 2019
Survey Area	A2, B3	A2, B3	A1, B2	A1, B2	B4	B4	B1
Location coordinate	37°38′36″N 126°44′36″E, 37°38′32″N 126°44′22E″	37°38′36″N126°44′36″E, 37°38′32″N126°44′22″E	37°38′36″N 126°44′42″E, 37°38′32″N 126°44′01″E	37°38′36″N 126°44′42″E, 37°38′32″N 126°44′01″E	37°38′38″N 126°44′40″E	37°38′38″N 126°44′40″E	37°38′16″N 126°45′10″E

그룹으로 구분하여 정리하였다. 출현식물의 분류는 대한식물도감(Lee, 2003)에 따라 동정하고, 염생식물은 한국의 염생식물(Kim, 2013)과 한국의 해안식물(NIBR, 2017)을 기준으로 구분하였다. 식물 배열순서와 식물 분류군은 Engler 분류체계에 따라 정리하고(Melchior, 1964), 2020년 개정된 국가표준식물목록을 참고하여 정리하였다.

2) 식물 생활형 및 출현비율 분석

식물 생활형은 Raunkiaer의 방법에 따라 분류하였다(Raunkiaer, 1934). 식물 생활형은 수생식물(HH, Hydatophytes), 반지중식물(H, Hemicryptothytes), 일년생식물(TH, Therophytes)로 구분하고 출현비율을 분석하였다. 출현식물의 생활형은 습지 건강성이 우수한 습지에서는 반지중식물(Hemicryptothytes)과 다년생식물(perennial plant)이 주로 분포하고(Lim *et al.*, 1982; Jang, 2018), 환경이 건조하거나 교란이 심한 습지에서는 일년생식물(Therophytes)의 분포 비율이 높은 특성이 있다(Kang, 1999; Kim and Myung, 2009; Lee *et al.*, 2020).

3) 식물 생활형별 우점도 분석

식물군락별, 조사구별, 식물 생활형별 우점도 현황과 분포 특성을 파악하기 위해 조사구별 식물우점도(r, +, 1, 2, 3, 4, 5)를 7개의 등급으로 구분하고(Maarel, 1979; Omar *et al.*, 2016; Kahlolo, 2021), 생활형별 우점도를 피도의 최소값을 적용하여 백분율(%)로 정리하였다(Table 2).

4) 토양 분석

토양은 각 군락별로 4~5개의 조사구를 선정하고, 조사구별로 세 지점에서 채취하여 혼합하였다. 토양 분석은 토양산도(pH), 전기전도도(EC), 치환성나트륨(Na^+)을 국립산림과학원 토양분석 방법에 따라 진행하였다(KOFPI, 2019).

5) 식물 생활형과 토양환경과의 상관관계 분석

식물 생활형과 토양수분 및 토양내 염분함량의 상관관계 분석을 위해 식물 생활형별 우점도 합산 값과 한강수변까지의 거리(Distance from Han River), 토양산도(pH), 전기전도도(EC, electrical conductivity), 치환성나트륨(Na^+, exchangeable sodium) 함량의 관련성을 R-studio(R-4.2.1.version for Windows) 프로그램을 이용하여 분석하였다. 조사구에서 한강수변까지의 거리는 지하수위 또는 침수 빈도를 추정할 수 있는 간접자료로 활용하였다(Choe, 2019).

결 과

1. 군락별 식물분포 특성

1) 식물상

식물상은 선버들 군락, 버드나무 군락, 초본 군락으로 구분하여 정리하였다(Table 3). 선버들 군락에서는 16과 33속 39종 3변종 총 42분류군이 조사되었다. 버드나무 군락에서는 19과 37속 43종 3변종 총 46분류군, 초본 군락은 11과 24속 28종 3변종 총 31분류군이 조사되었다. 전체 조사구의 식물상은 26과 56속 68종 6변종 총 74분류군이다. 버드나무 군락이 46분류군으로 가장 많이 출현하였고, 초본 군락은 가장 적은 31분류군이 조사되었다.

Table 2. Application coverage according to Braun-Branquet code at Janghang Wetlands

Braun-Branquet standard	Cover-abundance & coverage	Minimum coverage of Braun-Branquet (%)
+	1 – 2 individuals	1
r	3 – 10 individuals	2
1	11 – 100 individuals	3
2	> 100 individuals < 25 %	8
3	25 – 50 %	25
4	50 – 75 %	50
5	75 – 100 %	75

Table 3. Taxonomic numbers of vascular plant of Janghang Wetlands

Community	Order	Family	Genus	Species	Variety	Total
Salix subfragilis	13	16	33	39	3	42
Salix korrensis	15	19	37	43	3	46
Herbaceous	11	11	24	28	3	31
Total	19	26	56	68	6	74

2) 식물 생활형

선버들 군락은 일년생식물(40.48%) > 반지중식물(21.43%) > 수생식물(16.67%) > 지중식물(9.52%) > 지표식물(2.38%)의 순서로 출현하였다(Table 4). 버드나무 군락은 일년생식물(54.35%) > 수생식물(13.04%) > 반지중식물(10.87%) > 지중식물(4.35%) > 지표식물(2.17%)의 순서로 출현하여, 선버들 군락보다 반지중식물의 출현비율이 낮고, 일년생식물의 출현비율이 높게 나타났다. 초본 군락은 일년생식물(41.94%) > 반지중식물(29.03%) > 수생식물(22.58%) > 지중식물(3.23%)의 순서로 출현하여 다른 군락에 비해 반지중식물과 수생식물의 비율이 높게 나타났다.

3) 식물 생활형 출현비율 분석

수분환경에 따른 특성을 파악하기 위해 식물군락별로 수생식물, 반지중식물, 일년생식물의 조사구별 출현비율을 분석하였다. 선버들 군락에서 수생식물은 11개 전체 조사구에서 출현하였다. 버드나무 군락에서는 수생식물이 14개 조사구중 11개 조사구에서 출현하였고, 일년생식물은 14개 전체 조사구에서 출현하였다(Table 5).

군락별 식물 생활형 출현비율을 분석한 결과 수생식물의 분포는 선버들 군락(100%) > 초본 군락(88.00%) > 버드나무 군락(78.57%)으로 나타나 선버들 군락이 가장 높게 나타났다. 반지중식물은 초본 군락(76.00%) > 선버들 군락

Table 4. Number of species concerning life-form by plant communities at Janghang wetlands

Community \ Life-form		*M	N	E	CH	H	G	HH	TH	Total
Salix subfragilis	Number of species	3	1	-	1	9	4	7	17	42
	Ratio(%)	7.14	2.38	0.00	2.38	21.43	9.52	16.67	40.48	100
Salix korrensis	Number of species	4	3	-	1	5	2	6	25	46
	Ratio(%)	8.70	6.52	0.00	2.17	10.87	4.35	13.04	54.35	100
Herbaceous	Number of species	1	-	-	-	9	1	7	13	31
	Ratio(%)	3.23	0.00	0.00	0.00	29.03	3.23	22.58	41.94	100
Total	Number of species	5	3	-	1	16	5	12	32	74
	Ratio(%)	6.76	4.05	0.00	1.35	21.62	6.76	16.22	43.24	100

*M: Megaphanerophytes or Microphanerophytes, N: Nanophanerophytes, E: Epiphytes, CH: Chamaephytes, H: Hemicryptothytes, G: Geophytes, HH: Hydatophytes, TH: Therophytes

Table 5. The ratio of life-form at Janghang wetlands

Life-Form \ Community (Numbers of Quadrat)		*Salix subfragilis* (11)	*Salix korrensis* (14)	Herbaceous (25)
HH (Hydatophytes)	Numbers of Quadrat	**11**	11	22
	Ratio(%)	**100.00**	78.57	88.00
H (Hemicryptothytes)	Numbers of Quadrat	7	8	19
	Ratio(%)	63.63	57.14	76.00
TH (Therophytes)	Numbers of Quadrat	9	**14**	11
	Ratio(%)	81.81	**100.00**	44.00

(63.63%) > 버드나무 군락(57.14%) 순으로 나타나 토양내 수분함량이 초본 군락은 양호한 반면, 버드나무 군락은 상대적으로 양호하지 않은 것으로 분석되었다. 반면 일년생 식물의 출현 비율은 버드나무 군락(100%) > 선버들 군락(81.81%) > 초본 군락(44.00%) 순으로 나타나 초본 군락에 비해 버드나무 군락 및 선버들 군락이 건조한 환경인 것으로 분석되었다.

4) 식물 생활형별 우점도 분석

수생식물, 반지중식물, 일년생식물의 분포 특성을 분석하기 위해 조사구별 생활형의 우점도를 비교·분석하였다 (Table 6). 수생식물의 우점도(%)를 식물군락별로 합산한 결과, 선버들 군락(168) > 초본 군락(108) > 버드나무 군락(65) 등의 순서로 나타나 버드나무 군락의 수생식물 우점도가 낮게 분석되었다. 반지중식물의 경우, 초본 군락(82) > 버드나무 군락(8) > 선버들 군락(6)의 순서로 나타나 초본 군락이 가장 높은 값으로 분석되었다. 반면, 일년생식물은 버드나무 군락(86) > 선버들 군락(70) > 초본 군락(2)으로 나타나 버드나무 군락이 높고, 초본 군락이 가장 낮게 분석되었다.

Table 6. Minimum coverage(%) of dominance concerning life-form by plant communities at Janghang wetlands

Community		*Salix subfragilis*					*Salix korrensis*					Herbaceous			
Life-form	Quadrat No. / Scientific name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
*HH	*Phragmites communis*	25	-	-	1	-	-	-	-	50	-	-	50	3	-
	Beckmannia syzigachne	3	-	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-	25	3
	Echinochloa crusgalli	-	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Oenanthe javanica	-	-	-	3	-	-	-	-	8	-	-	-	-	-
	Scirpus triqueter	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	25
	Persicaria hydropiper	1	-	2		8		2	2	1	2	-	-	-	-
	Sub Total(%)	**29**	**50**	**2**	**4**	**83**	**0**	**2**	**2**	**59**	**2**	**0**	**50**	**30**	**28**
H	*Sium suave*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
	Lycopus ramosissimus	-	-	3	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-
	Bidens frondosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
	Scutellaria dependens	-	-	-	-	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-
	Carex scabrifolia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	3	2	-
	Achyranthes fauriei	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sub Total(%)	**0**	**3**	**3**	**0**	**0**	**2**	**0**	**2**	**0**	**4**	**76**	**3**	**2**	**1**
TH	*Sicyos angulatus*	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rorippa indica	3	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
	Artemisia annua	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Persicaria longiseta	-	1	1	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Perilla frutescens	-	8	-	3	-	2	-	-	1	-	-	-	-	-
	Persicaria perfoliata	-	8	-	25	-	2	8	-	3	2	-	-	-	1
	Phacelurus latifolius	-	-	-	-	-	8	3	2	-	25	-	-	-	-
	Stellaria media	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	Erechtites hieracifolia	-	-	-	-	-	-	2	2	3	2	-	-	-	-
	Aster subulatus	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rorippa palustris	-	-	8	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	Mosla dianthera	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Humulus japonicus	-	3	-	2	-	8	3	-	3	-	-	-	-	-
	Sub Total(%)	**5**	**20**	**11**	**32**	**2**	**25**	**16**	**6**	**10**	**29**	**0**	**0**	**0**	**2**
Total(%)		**34**	**73**	**16**	**36**	**85**	**27**	**18**	**10**	**69**	**35**	**76**	**53**	**32**	**31**

*HH: Hydatophytes, H: Hemicryptothytes, TH: Therophytes

2. 토양환경

1) 식생군락별 토양성분

장항습지 토양의 물리적 입경은 미사 함량이 70~80%로 미사질양토(SiL)로 확인되었다. 식생군락별 토양의 pH를 비교한 결과, 초본 군락(6.63) > 선버들 군락(6.52) > 버드나무 군락(6.42) 등의 순서로 나타났다. 세 군락 모두 6.0와 6.9 사이에 분포하여 식물생육의 적정범위에 속하였다(Table 7). 전기전도도(EC)는 버드나무 군락(1.24dS/m) > 선버들 군락(0.62dS/m) > 초본 군락(0.53dS/m) 등의 순서로 나타났다. 치환성나트륨(Na^+) 함량은 버드나무 군락(0.88cmol/kg) > 선버들 군락(0.55cmol/kg) > 초본 군락(0.49cmol/kg)의 순서로 나타나, 버드나무 군락이 상대적으로 높았다. 염분함량과 관련된 전기전도도(EC)와 치환성나트륨(Na^+)의 함량은 버드나무 군락에서 높게 나타나고, 선버들 군락과 초본 군락은 비슷하게 낮은 수치로 나타났다.

2) 식물 생활형별 우점도와 토양환경의 관계

수생식물의 우점도는 토양산도(pH)와 58.78%의 양의 상관관계를 나타냈고, 전기전도도(EC)와는 56.90%의 음의 상관관계, 치환성나트륨(Na^+) 함량과는 45.79%의 음의 상관관계를 나타냈다(Table 8). 반지중식물의 우점도와 pH는 0.67%의 양의 상관관계, 전기전도도(EC)와 29.33%의 음의 상관관계, 치환성나트륨(Na^+)은 29.85%의 음의 상관관계를 나타냈다. 반면, 일년생식물의 우점도는 pH와 55.96%의 음의 상관관계를 나타냈고, 전기전도도(EC) 및 치환성나트륨(Na^+)의 경우 69.02%, 42.03%의 비교적 높은 양의 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 식물우점도와 수변거리의 상관관계 분석 결과, 일년생식물은 57.95%의 양의 상관관계, 반지중식물은 45.29%의 음의 상관관계를 나타냈다. 수생식물의 경우 전기전도도(EC) 및 염분함량과 음의 상관관계를 가지므로 염류가 적은 지역에서 주로 생육하는 것으로 나타났다. 반면 일년생식물의 경우 양의 상관관계를 가지므로 염류에 대한 저항성이 수생식물 및 반지중식물에 비해 높은 것으로 분석되었다.

고 찰

장항습지의 식물 분포 특성 분석을 위해 식생군락을 선버들 군락, 버드나무 군락, 초본 군락의 세 군락으로 구분하고, 군락별 식물상, 식물 생활형, 토양환경을 조사·분석하였다. 연구 결과 선버들 군락에서는 수생식물의 출현빈도가 상대적으로 높게 나타났고, 초본 군락에서는 반지중식물의 출현빈도가 높았다. 버드나무 군락에서는 일년생식물의 출현빈도가 높게 나타났다. 일년생식물이 비교적 건조한 환경에서 잘 생육하는 점을 고려하면 버드나무 군락이 다른 식물군집에 비해 상대적으로 건조한 환경인 것으로 나타났다. 한강 수면에서 가까운 초본 군락은 잦은 침수에도 불구하고 수생식물보다는 반지중식물의 출현비율이 높았다. 일년생식물

Table 7. Analysis of soil properties by plant communities at Janghang Wetlands

Quadrat No. / Soil(unit)	*Salix subfragilis* community						*Salix korrensis* community						Herbaceous community				
	1	2	3	4	5	Mean	6	7	8	9	10	Mean	11	12	13	14	Mean
pH	6.6	6.9	6.2	6.6	6.3	6.52±0.27	6.5	6.6	6.0	6.7	6.3	6.42±0.27	6.5	6.7	6.8	6.5	6.63±0.15
EC(dS/m)	0.33	0.47	1.30	0.41	0.61	0.62±0.39	1.58	0.73	1.44	1.25	1.20	1.24±0.32	0.37	0.37	0.76	0.63	0.53±0.20
Na^+(cmol/kg)	0.46	0.57	0.76	0.47	0.51	0.55±0.12	0.86	0.57	0.75	1.29	0.93	0.88±0.26	0.39	0.38	0.63	0.55	0.49±0.12

Table 8. Correlation analysis of soil saline and dominance of life-form at Janghang Wetlands

Analysis Item	pH	EC	Na^+	*HH	*H	*TH	**D.R
pH	1						
EC	-0.53184	1					
Na^+	-0.15199	0.79967	1				
*HH	0.58781	**-0.56905**	**-0.45795**	1			
*H	0.00675	**-0.29339**	**-0.29853**	-0.27388	1		
*TH	-0.55966	**0.69020**	**0.42033**	-0.35937	-0.26157	1	
**D.R	-0.34173	**0.48244**	**0.49254**	-0.09608	-0.45297	0.57955	1

*HH: Hydatophytes, H: Hemicryptothytes, TH: Therophytes,
**D.R.: Distance from Han-River

의 출현비율이 높은 버드나무 군락의 토양 전기전도도와 나트륨 이온 함량은 선버들 군락 및 초본 군락보다 상대적으로 높았다. 한강 수면과의 거리와 일년생식물의 우점도 상관분석 결과 약 58% 양의 상관관계가 나타났다. 이는 건조에 강한 일년생식물이 한강으로부터 먼 곳에 주로 분포하는 것을 의미한다. 수변에서 멀어질수록 토양내 수분 증발로 인해 염류가 집적되어, 염분 저항성이 있거나 건조한 환경에 잘 견디는 식물종이 우점한다는 선행연구와도 동일한 결과이다.

장항습지는 기후변화와 한강 유속의 변화로 습지의 건조화가 진행되고 있다. 연구결과 역시 버드나무 군락의 경우 건조화의 영향이 나타나는 것으로 분석되었다. 따라서 국가습지보호지역이자 람사르습지인 장항습지의 육화로 인한 식생 변화를 지속적으로 파악하고 대책을 마련하기 위해서는 주기적인 식생 모니터링이 필요하다. 또한 습지 건강성을 회복을 위해 미소지형에 남아 있는 물골의 기능을 회복시키는 노력도 필요하다.

REFERENCES

Ahn, H.K., S.N. Kim, S.J. Chung, D.J. Lee and S.H. Kim(2012) Topographical change of sandbar and vegetation settlement in Jang-Hang wetlands for Han River Estuary. J. Wetlands Research 14(2): 277-288. (in Korean with English abstract)

Asaeda, T., M.D.H.J. Senavirathna, L.V. Krishna and N. Yoshida(2019) Impact of regulated water levels on willows (*Salix subfragilis*) at a flood-control dam, and the use of hydrogen peroxide as an indicator of environmental stress. Ecological Engineering 127: 96-102.

Bang, S.W., Y.C. Shin and A.S. Kim(2011) Estimating the Use Value of Janghang Wetlands in Han-River Estuary. Korea Environmental Policy and Administration Society, Academic Press, pp.3-15. (in Korean)

Choe, J.W.(2019) A Study on the Community Structure of *Salix* spp. Forests in Han-river Estuary. Master's Thesis, Dongguk University, Seoul, pp.43-44, 19.

Choi, H.G., H.Y. Kim, J.Y. Lee, B.Y. Sohn and J.Y. Lee(2022) Riparian Vegetation Monitoring and Health Assessment by Pilot Opening of Nakdonggang River Estuary. Kor. J. Env. Eco. 36(5): 445-459. (in Korean with English abstract)

Han, D.U., J.W. Yoo, Y.H. Yoo, E.J. Lee and S.G. Park(2010) Aboveground Primary Productivity of *Salix nipponica* and Secondary Productivity of *Sesarma dehaani* at Janghang Wetland in Han-River estuary. Kor. J. Limnology 43(2): 298-310. (in Korean with English abstract)

Hupp, C.R., S. Dufour and G. Bornette(2016) Vegetation as a Tool in the Interpretation of Fluvial Geomorphic Processes and Landforms. Chap.10 of 'Tools in Fluvial Geomorphology, pp.225-226.

Hwang, S.Y. and S.H. Lee(2018) Bed Changes downstream the Singok Submerged Weir in the Han River Estuary-from 2009 to 2010. Kor. J. Soc.Civil Engineers 38(6): 819-829. (in Korean with English abstract)

Jang, Y.J.(2018) Analysis of Life form Spectrum Change on Bamseom islets of Han River in Seoul, Korea. Master's Thesis, Dongguk University, Seoul, pp.77-79. (in Korean with English abstract)

Kahlolo, N., B.E. Mapeshoane, P. Chatanga, L. Seleteng-Kose and M.V. Marake(2021) Vegetation and Associated Environmental Conditions of the High-altitude Letšeng-la-Letsie Palustrine Wetland, a Ramsar Site in Lesotho. Wetlands 41(79): 1-15.

Kang, B.H. and S.I. Shim(1998) Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. Kor. J. Env. Agriculture 17(1): 26-33.

Keddy, P.A.(2013) Wetlands Ecology-Principles and conservation (2nd ed.). Cambridge University Press, pp.2-3.

Kim, C.H. and H. Myung(2009) Four-year Survey on Transitions of the Life Form of Plants after Developing Human-made Wetlands along Boknaecheon of Juam Lake. Kor. J. Env. Eco. 23(1): 30-40. (in Korean with English abstract)

Kim, E.K.(2013) Halophytes of Korea. Korea Jayeon and Ecology, Seoul, pp.44-45. (in Korea)

Kuzovkina, Y.A. and M.F. Quigley(2005) Willows beyond wetlands: Uses of *Salix* L. species for environmental projects. Water Air Soil Poll. 162: 183-204.

Lee, I.W. and K.D. Kim(2022) An analysis of plant communities distribution characteristics of Boseong river wetland using ordination. J. Wetlands Research 24(4): 54-366. (in Korean with English abstract)

Lee, J.M., Y.H. Cho and H.W. Kim(2019) A Study on the Flora and Vegetation Changes in the Riparian Zones of Han River Watershed. Kor. J. Env. Restoration Technology 22(2): 13-30. (in Korean with English abstract)

Lee, P.H., S.G. Son, C.S. Kim and K.H. Oh(2000) Population Dynamics of *Salix nipponica* and *S. koreensis* during the Riverbed Sedimentation in the Wetland of the Nam-River. Kor. Wetlands (2): 95-107. (Summery in English)

Lee, S.H. and S.J. Youn(2022) Mechanism of Wetland Formation according to Interaction of River Bed Fluctuation and Plant Success in the Hangang River Estuary. J. Wetlands Research 24(4): 320-330. (in Korean with English abstract)

Lee, S.M., J.E. Yun, D.I. Kang and J.G. Cha(2020) Planting Status of Ecological Restoration Project and Improvement Plan. Kors. J. Environmental Impact Assessment 29(5): 307-322.

Lee, T.B.(2003) Colored Flora of Korea. Hyangmunsa, pp.1-910.

(in Korea)

Lim, Y.J., G.H. Park and J.K. Shim(1982) Geographical distribution of living patterns by Raunkiaer in Korea. Institute of Technology and Science, pp.5-20. (in Korea)

Maarel, Van Der E.(1979) Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. J. Vegetation, 39: 97-114.

Markus-Michalczyk, H. and D. Hanelt(2019) Willow species vary in elevational occurrence and morphological characteristics on the tidal freshwater section of the Elbe estuary. Ecohydrology & Hydrobiology 19: 14-23.

Melchior, H.(1964) A Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. Band II, Gebruder Bomtraege, 666pp.

Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink(2014) Wetlands(5th ed.). WILEY, New Jersey, pp.3-4, 27-28.

Mitsch, W.J.(2005) Wetland creation, restoration, and conservation: A Wetland Invitational at the Olentangy River Park. Wetland Research, pp.243-244.

Na, M.Y. and C.H. Oh(2021) Community Characteristics of Riparian Forest in Janghang Wetlands of the Han-River Estuary. Kor. J. Env. Eco., Academic Press, pp.33-34. (in Korean)

Na, M.Y. and C.H. Oh(2022) Analysis Of The Willow Community Structure And Hydrarchy Succession Of Janghang Wetlands Ramsar Site in Korea. Research Square, pp.5-22. (unpublished data)

NIBR(2017) Coastal Plants of Korea. National Institute of Biological Resources, Incheon, pp.12-13. (in Korean)

Omar, M.Y., A. Maroyi and J.J. Van Tol(2016) Floral diversity, composition and distribution in a montane wetland in Hogsback, the Eastern Cape Province, South Africa. Pakistan Journal of Botany 48(5): 1861-1870.

Pike, A.S. and F.N. Scatena(2010) Riparian indicators of flow frequency in a tropical montane stream network. J. Hydrology 382(1): 72-87.

Powell, M.K., J.G. Wynn, M.C. Rains, M.T. Stewart and S. Emery(2019) Soil indicators of hydrologic health and resilience in cypress domes of West-Central Florida. Ecological Indicators 97: 269-279.

Raunkiaer, C.(1934) The life forms of plants and statistical geography. Claredon, Oxford, 632pp.

Sung, N.P., J.S. Moon and J.H. Kim(2022) The Relationship between Vegetation (Halophyte Communites) Distribution and Environmental Factors in Estuaries in Korea. Kor. J. Env. Eco. 55(1): 19-34. (in Korean with English abstract)

Wikum, D.A. and G.F. Shanholtzer(1978) Application of the Braun-Blanquet cover-abundance scale for vegetation analysis in land development studies. J. Env. Management 2(4): 323-329.

Yapp, R.H.(1922) The Concept of Habitat. J. Ecology 10(1): 1-17.

※ Appendix

No.	Scientific name	Salix subfragilis community	Salix korrensis community	Herbaceous community	Life-form	Remarks
1	*Salix koreensis* Andersson	O	O		M	
2	*Salix pseudolasiogyne* H. Lev.		O		M	
3	*Salix subfragilis* Andersson	O	O	O	M	
4	*Morus alba* L.	O			M	
5	*Humulus japonicus* Sieboid & Zucc.	O	O	O	TH	
6	*Urtica angustifolia* Fisch. ex Hornem.	O	O		G	
7	*Persicaria hydropiper* (L.) Spach	O	O	O	TH	
8	*Persicaria longiseta* (Bruijn) Kitag.	O	O		TH	
9	*Persicaria perfoliata* (L.) H.Gross	O	O	O	TH	
10	*Polygonum aviculare* L.			O	TH	
11	*Rumex crispus* L.	O		O	H	
12	*Rumex maritimus* L.	O			H	
13	*Rumex nipponicus* Franch. & Sav.			O	H	
14	*Achyranthes bidentata* Blume	O			H	
15	*Silene firm*a Siebold & Zucc.	O			TH	
16	*Stellaria aquatica* (L.) Scop.		O		TH	
17	*Stellaria media* (L.) Vill.	O	O		TH	
18	*Ranunculus sceleratus* L.			O	HH	
19	*Cocculus trilobus* (Thunb.) DC.		O		N	
20	*Cardamine fallax* L.		O		TH	
21	*Lepidium apetalum* Willd.	O		O	TH	
22	*Rorippa indica* (L.) Hiern	O	O		TH	
23	*Rorippa palustris* (Leyss.) Besser	O	O	O	TH	
24	*Sedum bulbiferum* Makino		O		TH	
25	*Rosa multiflora* Thunb.	O	O		N	
26	*Vicia angustifoliavar.* segetilis (Thuill.) K.Koch.		O		TH	
27	*Vicia tetrasperma* (L.) Schreb.			O	TH	
28	S*icyos angulatus* L.		O		TH	
29	*Eleutherococcus sessiliflorus* (Rupr. & Maxim.) S.Y.Hu		O		N	
30	*Cnidium monnieri* (L.) Cusson	O	O		TH	
31	*Oenanthe javanica* (Blume) DC.	O	O		HH	
32	*Sium suave* Walter		O		HH	
33	*Ligustrum obtusifolium* Siebold & Zucc.		O		M	
34	*Lycopus lucidus* Turcz.	O			HH	
35	*Lycopus ramosissimus* (Makino) Makino	O	O		H	
36	*Mentha piperascens* (Malinv.) Holmes	O			G	
37	*Mosla dianthera* (Buch.-Ham. ex Roxb.) ex Maxim.	O	O		TH	

No.	Scientific name	Salix subfragilis community	Salix korrensis community	Herbaceous community	Life-form	Remarks
38	*Perilla frutescensvar.* japonica (Hassk.) Hara	O	O		TH	
39	*Scutellaria dependens* Maxim.		O		H	
40	*Galium spuriumvar.* echinospermon (Wallr.) Hayek			O	TH	
41	*Ambrosia trifida* L.			O	TH	
42	*Artemisia annua* L.	O	O		TH	
43	*Artemisia apiacea* Hance ex Walp.	O			TH	
44	*Artemisia princeps* Pamp.	O	O		CH	
45	*Aster subulatus* Michx.	O			H	
46	*Bidens frondosa* L.		O	O	TH	
47	*Cirsium pendulum* Fisch. ex DC.			O	H	
48	*Conyza canadensis* (L.) Cronquist	O	O		TH	
49	*Erechtites hieracifolia* Raf.		O		TH	
50	*Erigeron strigosus* Muhl.	O			TH	
51	*Hemistepa lyrata* Bunge		O		TH	
52	*Ixeris polycephala* Cass.	O	O	O	H	
53	*Typha angustifolia* L.			O	HH	
54	*Typha orientalis* C.Presl			O	HH	
55	*Agropyron ciliare* (Trin.) Franch.		O	O	TH	
56	*Agropyron tsukushiense* var. transiens (Hack.) Ohwi	O	O	O	TH	
57	*Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald	O	O	O	HH	
58	*Bromus japonicus* Thunb. ex Murray		O	O	TH	
59	*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth	O	O		G	
60	*Echinochloa crusgalli* (L.) P.Beauv.	O	O		HH	
61	*Festuca arundinacea* Schreb.			O	H	
62	*Imperata cylindrica* var. koenigii (Retz.) Pilg.			O	G	
63	*Phacelurus latifolius* (Steud.) Ohwi	O	O		TH	
64	*Phalaris arundinacea* L.	O	O	O	HH	
65	*Phragmites communis* Trin.	O	O	O	HH	
66	*Carex dimorpholepis* Steud.			O	H	
67	*Carex leiorhyncha* C.A.Mey.			O	H	
68	*Carex neurocarpa* Maxim.	O			H	
69	*Carex scabrifolia* Steud.		O	O	H	
70	*Scirpus planiculmis* F.Schmidt			O	H	
71	*Scirpus triqueter* L.			O	H	
72	*Commelina communis* L.		O		TH	
73	*Juncus effusus* var. decipiens Buchenau	O			HH	
74	*Iris pseudacorus* L.	O			G	