

Note

낙동강하구 을숙도 새섬매자기(*Bolboschoenus planiculmis*) 군락 변화 연구

박희순^{3,4} · 주기재³ · 이원호⁴ · 김지윤⁵ · 김구연^{1,2,*}

¹경남대학교 과학교육과, ²경남대학교 생물다양성센터, ³부산대학교 생명시스템학과,
⁴낙동강하구에코센터, ⁵군산대학교 생명과학과

Annual Changes in the Distribution of *Bolboschoenus planiculmis* in the Eulsuk-Island, Nakdong River Estuary. Hee Sun Park^{3,4} (0000-0002-9649-5196), Gea-Jae Joo³ (0000-0002-5617-7601), Wonho Lee⁴ (0009-0009-5671-2430), Ji Yoon Kim⁵ (0000-0001-5228-4939) and Gu-Yeon Kim^{1,2,*} (0000-0003-1071-0383) (¹Department of Sciences Education, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea; ²Biodiversity Center, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea; ³Department of Integrated Biological Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea; ⁴Nakdong Estuary Eco Center, Busan 49435, Republic of Korea; ⁵Department of Biological Science, Kunsan National University, Gunsan 54150, Republic of Korea)

Abstract This study analyzed the relationship between distribution of *Bolboschoenus planiculmis* which is main food source of swans (national monument species) with environmental factors, discharge, rainfall, and salinity in Eulsuk-do from 2020 to 2023. The distribution area of *B. planiculmis* in Eulsuk tidal flat was 103,672 m² in 2020, 95,240 m² in 2021, 88,163 m² in 2022, and 110,879 m² in 2023, and represents a sharp decrease compared to the 400,925 m² area recorded in 2004. From 2020 to 2023, the growth densities of *B. planiculmis* were 243.6 ± 12.5 m⁻², 135.45 ± 7.38 m⁻², 51.10 ± 2.54 m⁻², and 238.20 ± 16.36 m⁻², respectively, and the biomass was 199.89 ± 28.01 gDW m⁻², 18.57 ± 5.12 gDW m⁻², 6.55 ± 1.12 gDW m⁻², and 153.53 ± 25.43 gDW m⁻² in 2020, 2023, 2021, and 2022, respectively. Based on discharge during May~July, which affects plant growth, the left gate discharge of the estuary barrage from 2020 to 2023 was 62,322 m³ sec⁻¹, 33,329 m³ sec⁻¹, 6,810 m³ sec⁻¹, and 93,641 m³ sec⁻¹, respectively; rainfall was 1,136 mm, 799 mm, 297 mm, and 993 mm, respectively; and average salinity was 14.7 ± 9.4 psu, 21.1 ± 4.7 psu, 26.1 ± 2.7 psu, and 14.5 ± 11.1 psu, respectively. In 2022, cumulative rainfall (978 mm, about 70% of the 30-year average) and discharge (43,226 m³ sec⁻¹) decreased sharply, resulting in the highest mean salinity (25.46 psu), and the distribution area, density, and biomass of the *B. planiculmis* decreased sharply. In 2023, there was a rise in discharge with an increase in rainfall, leading to a decrease in salinity. Consequently, this environmental change facilitated the recovery of *B. planiculmis* growth.

Key words: costal wetland, migratory bird food plant, waterfowl, discharge, salinity

Manuscript received 18 September 2023, revised 24 September 2023,
revision accepted 24 September 2023
* Corresponding author: Tel: +82-55-249-2447, Fax: +82-0505-999-2150
E-mail: kimguyeon@kyungnam.ac.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

서 론

하구(estuary)는 바다와 하천, 육지환경이 만나 형성되는 전이지대(transition zone)로 염분 등 다양한 환경요소의 완만한 구배가 형성되며 단위면적당 생산성이 높은 생태계이다(Reid and Wood, 1976). 하구에서 염분은 하구의 환경적 특성을 이해하기 위한 가장 기본적인 환경 요소 중 하나이며, 조석 등에 의해 수체의 이동과 혼합이 조절된다(Kim and Youn, 2019). 낙동강 하구와 같이 댐과 같은 인공구조물이 설치된 담힌 하구에서는 조석의 변화에 따른 수체 혼합과 더불어 인위적으로 조절되는 담수의 방류에 의해서도 하구 환경이 영향을 받을 수 있다. 담힌 하구의 수온과 염분은 담수의 간헐적인 방류로 인해 짧은 시간 동안 급격하게 변동될 수 있으며, 이로 인해 염분 상태와 수온 등의 시공간적 분포가 달라질 수 있다(Chen *et al.*, 2000; Lane *et al.*, 2007; Chevalier *et al.*, 2014; Kim and Youn, 2019). 또한 높은 생산성과 다양한 서식처를 가진 하구는 인간 활동의 중심 공간이자 많은 동식물의 산란 및 서식처로 이용되어(Teal, 1962; Elliott and McLusky, 2002) 단위면적당 생물 다양성이 풍부한 생태계 가운데 하나로 세계적으로 보전 가치가 높게 평가된다(Costanza *et al.*, 1997). 특히 장기간 비행하는 철새의 에너지 보충을 위한 먹이자원 및 철새이동의 중간기착지로서의 가치는 높이 평가받고 있다(Doorbos *et al.*, 1986; Hong, 2004; Kim *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2013; Kim, 2020).

낙동강하구는 넓은 조간대와 해안사구 등 독특한 지형이 발달해 있어 생물서식처의 다양성이 높고, 갈피를 비롯한 식생자원이 풍부하여 어패류, 수서곤충, 조류 등 생물다양성이 높은 연안지역이다. 동아시아 철새 이동경로로 지리적 중요도를 인정받아 1966년 천연기념물로 지정되었고 국제적으로 중요한 습지로서 법적인 보호를 받고 있다. 천연기념물로 보호받는 고니와 큰고니를 비롯하여 봄철 통과조류인 도요물떼새류의 주요 먹이자원인 새섬매자기 군락이 우점하는 지역이다(Kim *et al.*, 2005, 2013; Nam and Kim, 2017). 1987년 낙동강하굿둑이 준공된 이후 건설 전에 비해 낙동강하구의 수체 흐름이 약해졌고 조류가 흐름을 주도하던 자연하구시스템에서 하굿둑의 수문 운영으로 인한 담수 방류가 하구 환경에 더 큰 영향을 주는 형태로 변화하였다(Jang and Kim 2006).

새섬매자기(*Bolboschoenus planiculmis*)는 사초과의 다년생 정수성 수생식물로 염분에 대한 내성을 가지고 있다. 주로 염도가 낮은 염습지 하구역에 분포하며 고니류의 주요 먹이식물로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2005; An *et al.*, 2018). 특히 새섬매자기 지하부의 괴경은 희귀 조류 서식지의 질

을 결정하는 중요한 인자이다(Kim, 2020). 새섬매자기에 대한 연구는 형태 특성(Coops *et al.*, 1996), 경쟁종 유무에 따른 분포(Yang *et al.*, 2020), 퇴적물 특성(Kim *et al.*, 2019), 염분 및 수심에 대한 적응력(Coops *et al.*, 1996), 조석과 인공제방(Yang *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2022), 수금류와 방류량 그리고 식물의 상관관계(Kim *et al.*, 2013; Kim and Kim, 2021)에 이르기까지 다양한 연구가 진행되어왔다. 지난 10여 년간 새섬매자기의 분포면적은 급격하게 감소하고 밀도를 비롯한 생장은 나빠져서 회복되지 않고 있는 실정이다(Kim, 2020). 일부 결과보고에 따르면, 낙동강하구 새섬매자기의 분포감소는 방류량 감소와 갈수기 등 염분농도의 상승으로 인한 결과로 보고되었다(Yi *et al.*, 2011; Kim and Youn, 2019; Kim and Kim, 2021). 낙동강하구의 수문 개방과 관련하여 환경적 변화와 생물 변화에 관심이 많은 지역이나 주요 식생의 성장과 분포를 결정하는 현장 조사자료는 여전히 부족한 상황이다. 또한 을숙도 생태공원 먹이터 조성 등 다양한 환경 변화가 수시로 발생하므로 향후 하구 환경 변화와 새섬매자기 생장에 대한 정보체계를 수립하기 위해서는 하구 환경 변화와 새섬매자기의 생장 변화 관계의 장기간 모니터링 자료가 시급이 요구된다.

본 연구는 낙동강하구 을숙도의 기후, 낙동강하굿둑 방류량에 따른 새섬매자기 군락의 면적, 밀도, 길이성장 및 지상부 생체량 변화와 고니류의 개체수 변화에 대하여 다년간 모니터링한 자료를 분석하였다. 본 연구 결과는 낙동강하굿둑 수문관리와 을숙도를 이용하는 고니류 관리 및 새섬매자기 군락의 장기 생태 변화를 추적하고 하구생태계 보전과 회복을 위한 중요한 기초자료를 제공할 것으로 기대한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지 및 조사시기

본 연구의 대상지역은 낙동강하구에 위치한 을숙도 남단 갯벌이다(Fig. 1a). 낙동강하구는 쾨펜(Köppen)의 기후 구분에서 온난 습윤 기후(humid subtropical climate)로 전반적으로 해양성 기후의 특징을 가지며, 여름에는 시원하고 겨울에는 따뜻한 편이다. 30년(1991년부터 2020년까지) 평균 기온 14.5°C, 평균강수량 1,395 mm이며, 6월부터 8월의 강수량이 1년 누적의 절반 이상을 기록하여 하계집중형 강우 패턴을 보인다(AMO, 2021).

을숙도는 낙동강하류 철새도래지(천연기념물 제179호)의 중심지역으로 지난 30~40년 동안 인위적 지형 변화가 급격하게 발생한 곳으로, 을숙도 제방을 기준으로 상부는 4대강 사업 등을 통해 재조성되었고, 하부는 경작지 등으로 이용되

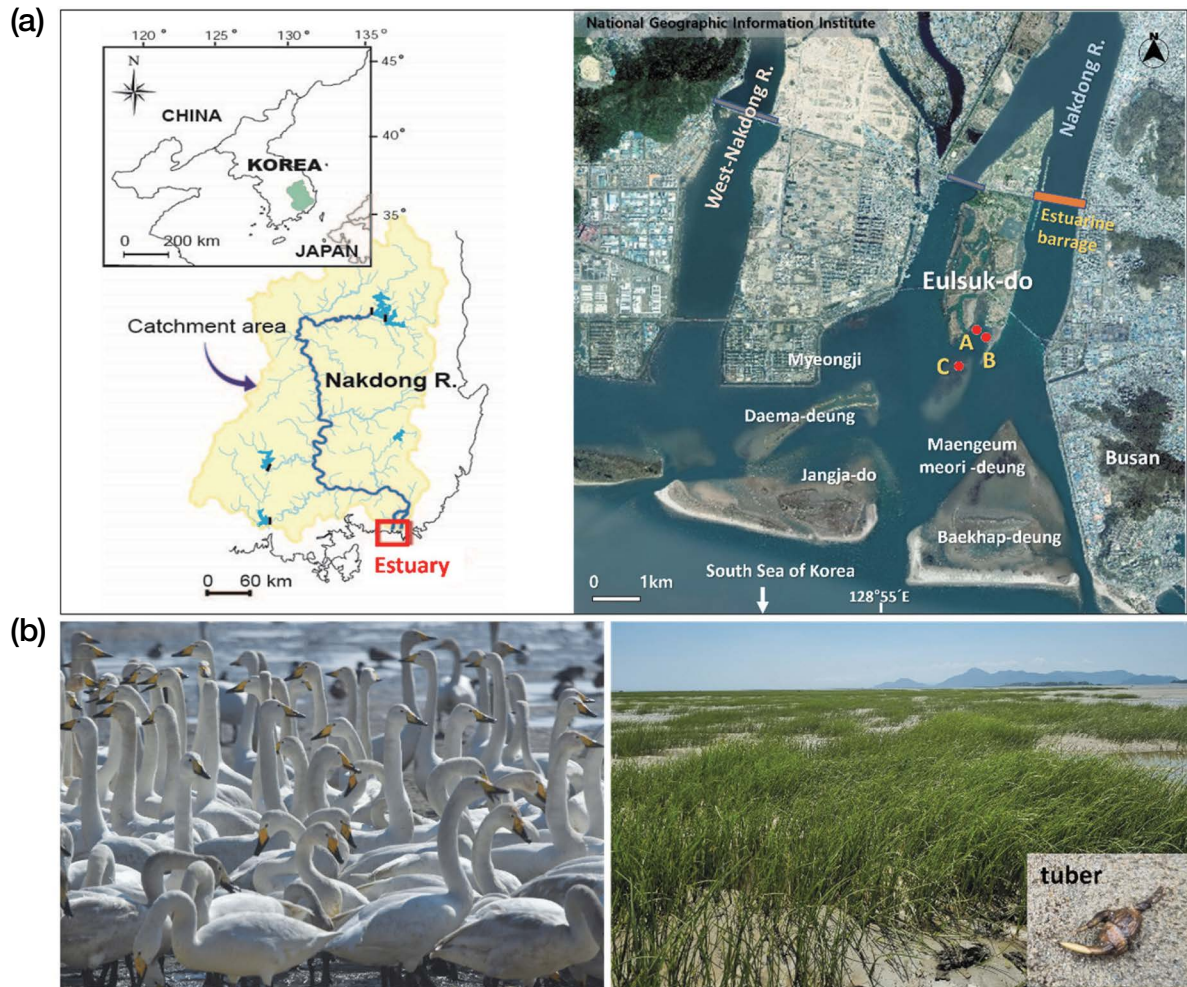


Fig. 1. Map of the study area. (a) Nakdong River estuary and location of sampling sites, (b) Swans and colonies of *B. planiculmis*.

던 곳을 하구 기수역 습지로 복원한 지역이다. 을숙도는 겨울철에 월동을 위해 하구를 찾는 수금류(waterfowl)가 가장 먼저 이동하는 지역이며(Kim *et al.*, 2005), 큰고니와 고니 대부분이 을숙도 남단에 집중적으로 서식한다(Kim *et al.*, 2022; Fig. 1b).

2. 새섬매자기 분포 및 성장 모니터링

새섬매자기 생육환경을 분석하기 위해 2020년부터 2023년 7월까지 한국수자원공사에서 운영하는 낙동강하굿둑 방류량 자료와 보건환경연구원에서 운영하는 염분자동측정자료 그리고 기상청의 사하지역 기온과 강수량 자료를 분석하였다.

새섬매자기 분포조사는 2020년부터 2023년까지 7월에서 10월 중 간조 시 갯벌이 완전히 드러나는 시기에(가덕도 기준, 간조수위 50 cm 이하) 연 2회, 총 8회 실시하였다. 군

락 면적은 드론(Phantom 4 pro, Mavic 2 pro; DJI) 항공사진을 기초자료로 활용하였으며 현장 조사를 병행하여 분석하였다. 드론 촬영은 중중복도와 횡중복도는 75%와 60%로 설계하여 최대 11 cm의 해상도 영상을 촬영하였고, Agisoft Metashape Professional 1.7.3 (Geoscan group, Russian) 소프트웨어를 이용하여 정사영상을 구축하였다. 을숙도 정사영상을 기초자료로 현장 조사를 병행하여 새섬매자기 군락의 경계를 확인 후 확정하였으며, QGIS 3.10 (QGIS Development Team) 소프트웨어를 이용하여 새섬매자기 분포도 및 면적을 계산하였다.

새섬매자기의 성장(단위면적당 밀도, 길이, 지상부 건중량) 관찰은 2020년 9월부터 2023년 8월까지 매년 1~2회 조사하였다. 새섬매자기 조사는 A~C지점으로 구분하여 진행하였는데 A지점은 을숙도 남단 갯벌의 접근이 용이한 자연군락지, B지점은 약 10여 년간 훼손이 진행되어 대부분 비

식생으로 이루어져 2021년과 2022년 식재복원이 이루어진 지점, C지점은 육상에서 가장 멀리 떨어진 자연군락지이다 (Fig. 1). 새섬매자기 밀도는 A~C지점에서 각각 5개의 방형구(0.5 m×0.5 m)를 이용하여 조사하였으며, 단위면적당(1 m×1 m) 밀도로 환산하였다. 길이생장은 A~C지점의 새섬매자기 군락에서 무작위로 식물을 50개체씩 선정하여 채취하였다. 채취한 식물의 지상부는 실험실로 운반한 후 줄자를 이용하여 식물의 길이를 측정하였다. 새섬매자기 지상부의 현존량 조사는 8월부터 10월 중 1회 조사하였다. 조사지점 별로 각각 5개의 코어 방형구를 설치하고, 코어 방형구내 새섬매자기의 지상부와 지하부를 구분하여 채취하였다. 코어는 22 cm×12 cm×30 cm(가로×세로×깊이)의 자체 제작한 채집통을 사용하였다. 채집한 식물의 각 기관은 80°C에서 중량에 변화가 없을 때까지 건조시킨 후 건조량을 측정 한 후 단위면적당(1 m×1 m) 무게로 환산하였다.

3. 고니류 조사시기 및 관찰방법

천연기념물로 지정하여 보호하고 있는 고니류의 최대 월동지인 낙동강하구 일대의 큰고니 핵심서식처인 을숙도 남단에서 2007년 11월부터 2023년 3월까지 장기간 고니류 개체수 변화를 관찰하였다. 을숙도의 고니류(큰고니, 고니) 조사는 을숙도생태공원 중 낙동강하굿둑에서 남쪽으로 육역과 수역을 조사하였으며, 조사시기는 2007년 11월부터 2023년 3월까지 고니류 도래기간(11월~이듬해 3월)에 월 1회씩 총 80회 조사하였다. 수역은 직선횡단조사법(Strip Transect)과 정점조사법(Point Census Method)을 병행하였으며, 육역은 선조사법(Line Census Method)과 정점조사법(Point Census Method)을 병행하였다(Colin *et al.*, 1997). 서식환경별로 0.5~2 km의 조사경로를 선택하여 시속 1.5~2 km로 이동하면서 좌·우 폭 50 m 이내에 출현하는 고니류를 육안, 울음소리, 쌍안경(10×40, Nikon) 및 필드스코프(20×60, Carl Zeiss)를 이용하여 관찰하였다.

4. 자료 분석

새섬매자기의 밀도, 건조량, 길이에 대한 연도별, 지점별 차이를 비교하였다. 길이를 제외한 다른 항목들은 정규성 검정(Levene's test)을 통과하지 못하여 비모수 통계 방식을 이용하여 수행되었다. 지점별, 연도별 길이 비교는 One-way ANOVA (analysis of variance)를 이용하여 분석하였다. 2020 자료는 두 지점에 대한 비교만 수행되어 길이의 경우 독립표본 t-test를 수행하여 비교하였고 나머지 건조량은 Mann-Whitney U test를 활용하여 유의성을 검정하였다. 2022년의 건조량의 경우도 두 지점에서만 측정이 되어 마친

가지로 Mann-Whitney U test를 수행하여 비교하였다. 나머지 지점수가 3개인 경우 Kruskal-Wallis test를 활용하였다. 모든 통계는 PASW static 18 (IBM SPSS, US)을 이용하여 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 을숙도 환경 특성(2020~2023)

2020년부터 2023년까지 을숙도 지역의 낙동강하굿둑 방류량과 월평균 누적강수량 그리고 평균 염분농도를 분석한 결과 하굿둑 방류량 변동에 따른 하구 염분 변화를 확인할 수 있었다(Fig. 2). 새섬매자기 군락에 영향을 미치는 주요 요인인 낙동강하굿둑(좌안) 방류량은 2020년 192,399 m³ sec⁻¹로 가장 많았고, 2022년 43,226 m³ sec⁻¹로 가장 적었다. 월평균 누적강수량은 2020년 183.67 mm 가장 높았고, 2022년 81.46 mm로 가장 낮았다. 총 강수량 및 강우일수도 2020년이 각 2,204 mm, 92일로 가장 높았다. 2023년은 1월부터 7월까지의 수집된 데이터로 연간 비교는 어려우나 월평균 강수량이 182.21 mm로 2020년과 유사하게 관찰되었다. 연도별 강우량과 방류량 변화는 유사한 증감을 나타냈으며 계절변동이 매우 뚜렷하게 나타났다. 연도별 평균 염분농도는 17.55~25.46 psu 범위였으며 2022년이 25.46 psu로 가장 높았다. 월별 평균 염분농도가 15 psu 이하로 관측된 월은 2020년 7월, 8월, 9월 그리고 2023년 7월, 총 4개월로 관찰되었다. 겨울과 봄계절의 갈수기 동안 낙동강하굿둑에 의해 해수와 담수의 혼합이 제한되는 유량 감소 효과는 염분농도가 상승하는 경향이 나타났다. 결과적으로, 유량의 변화가 을숙도 주변 수역의 염분 변동에 영향을 주는 주요 요인 중 하나로 추정되며 이러한 경향은 이전 연구들에서 보고한 낙동강하굿둑 방류량과 염분농도의 음의상관 결과와 일치한다(Kim and Kim, 2021).

2. 고니류 을숙도 도래현황(2007~2023)

전 세계에 고니류는 7종이 보고되었으며, 1999년부터 실시된 '겨울철새 조류 동시센서스'에 의하면 큰고니(*Cygnus cygnus*), 고니(*Cygnus columbianus*), 흑고니(*Cygnus atratus*) 3종이 해마다 우리나라에서 월동하는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2000). 을숙도에서는 큰고니와 고니 2종이 월동하는 것이 관찰되었다. 2007년 11월부터 2023년 3월까지 16년간 을숙도 남단에서 관찰된 고니류 평균 개체수는 789개체이다. 고니 개체수는 최대 23개체로 거의 관찰되지 않았으며, 대부분 큰고니로 확인되었다. 고니류는 2007

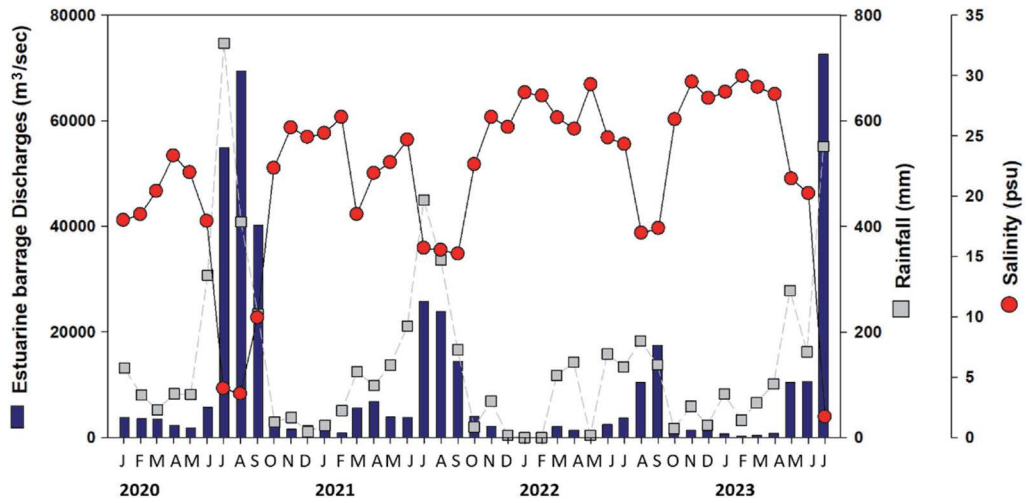


Fig. 2. Changes of Rainfall, salinity and discharge from the Nakdong River Estuary Barrage from 2020~2023 (Data from K-Water, discharge; Ministry of Atmosphere, rainfall; Busan Public Health and Environment Research Institute, salinity).

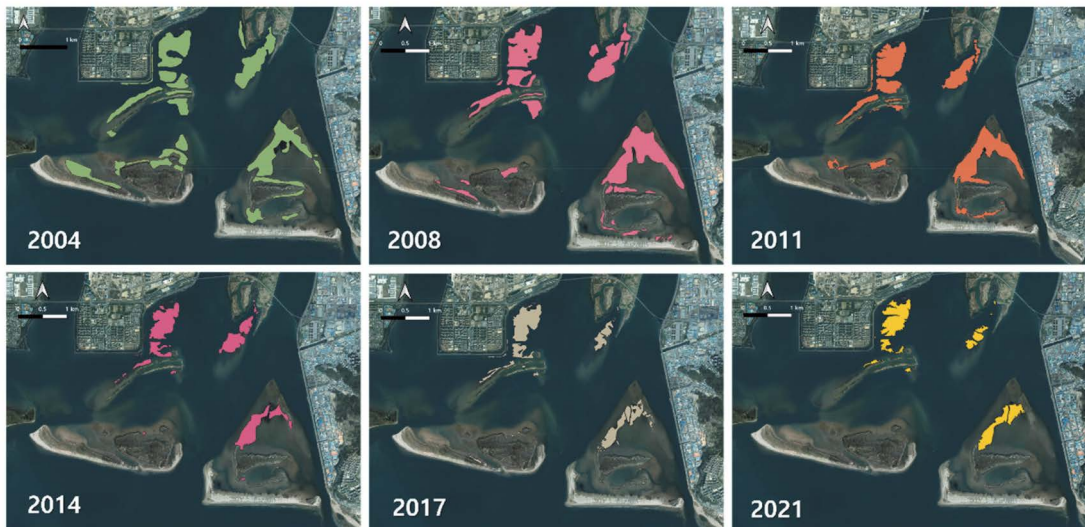
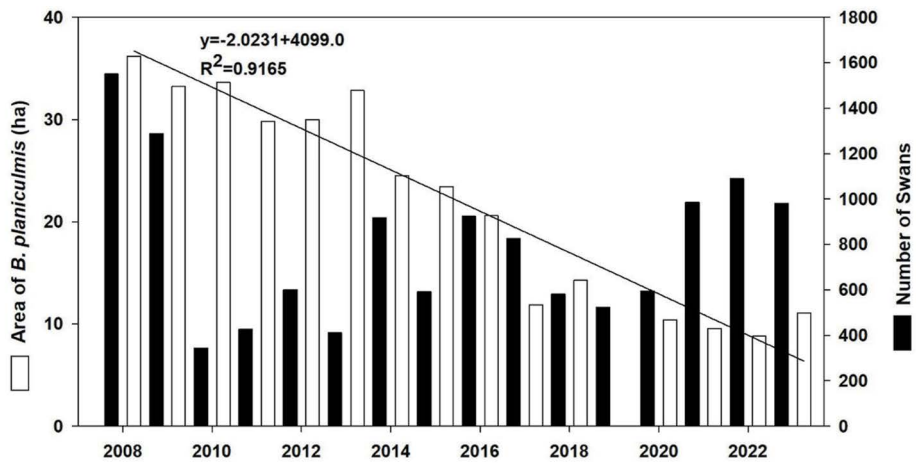


Fig. 3. Changes of *B. planiculmis* distribution area and number of swans (2008~2022) (*B. planiculmis* distribution area; 2004; Kim *et al.*, 2005, 2008~2018; Kim and Kim, 2021, 2021; Kim *et al.*, 2022, 2020~2023: this study).

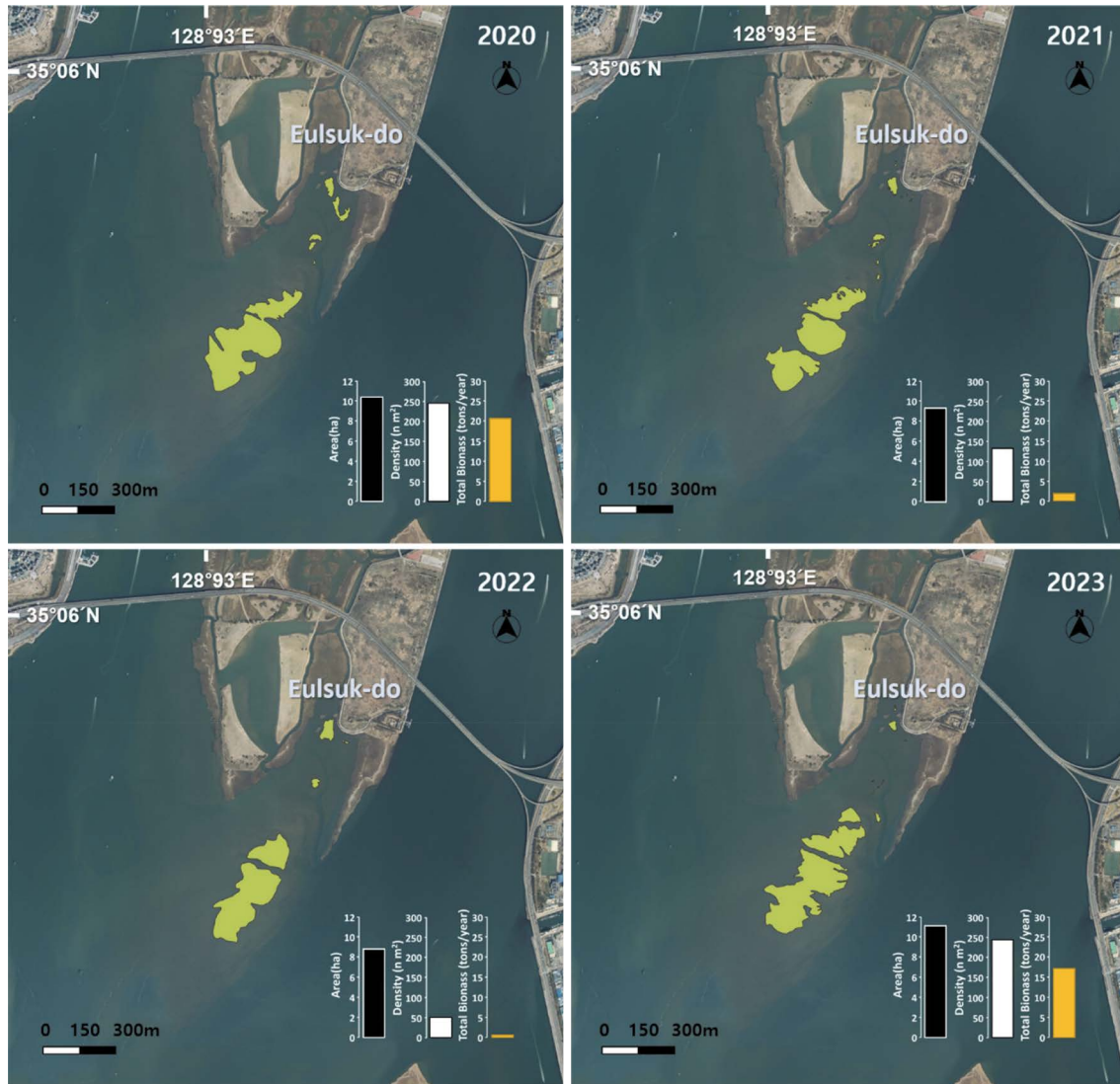


Fig. 4. Distribution of *B. planiculmis* in the Eulsuk-do 2020~2023 (■ area, □ density, ■ area × above ground biomass). Base map is from Vworld(Ministry of land, Infrastructure and Transport).

년 11월에서 2008년 3월까지 1,551개체로 가장 많은 개체수가 관찰되었으며, 2009년 11월에서 2009년 3월까지 342개체로 가장 적은 개체수가 관찰되었다(Fig. 3). 고니류 개체수는 2008년 대비 최근에 적은 개체수가 도래하였으나 감소 경향은 확인할 수 없었다($R^2=0.0021$). Jeon and Cho (2006), Lee *et al.* (2022)은 큰고니가 월동기 전체를 특정 지역에서 보내지 않고 이동하는 특성을 보고하였는데, 본 연구에서도 을숙도에만 월동하지 않고 다른 지역으로 이동하여 개체수가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다.

3. 새섬매자기 분포 및 생장

을숙도 남단 갯벌에서 새섬매자기의 분포 변화는 Fig. 4

에 나타내었다. 새섬매자기 군락은 2004년 400,925 m²(Kim *et al.*, 2005) 면적이 분포하였으나, 본 조사에서는 2020년 103,672 m², 2021년 95,240 m², 2022년 88,163 m², 2023년 110,879 m²로 급격하게 감소하였다. 2020년부터 2023년 4년간 평균면적은 99.489 m²로 2004년 기준 28%로 감소하였다. 분포면적은 강우량과 방류량이 많은 2020년과 2023년 그리고 가장 적은 2022년으로 구분되었다. 겨울부터 봄철의 가뭄으로 낙동강하굿둑 방류량의 급격한 감소는 염분 상승을 초래하고, 새섬매자기의 분포와 생장에 영향을 주고 있어(Yi *et al.*, 2011; Park *et al.*, 2016; Kim and Kim, 2021), 계절별 강우와 방류량 조절에 대한 방안이 필요한 것으로 판단된다.

조사기간 중 새섬매자기의 생육밀도는 A지점을 기준으로 2020 > 2023 > 2021 > 2022 순으로 나타났다(Table 1). 새섬매자기 2020년 평균밀도는 A지점 $243.6 \pm 12.5 \text{ m}^{-2}$, B지점 $74.15 \pm 3.84 \text{ m}^{-2}$ 로 조사되었다(Table 1, $n=5$, $p<0.001$). 2021년부터 2022년까지는 C지점과 A지점에서 평균 밀도가 높았고 B지점에서 가장 낮게 조사되었다. 지점별 길이성장은 2020년(미측정)을 제외하고는 모두 $C > A > B$ 순으로 나타났다(Table 1, $n=30$, $p<0.001$). 또한 연도별 길이성장은 A지점을 기준으로 2020 > 2023 > 2021 > 2022 순으로 나타났다.

새섬매자기의 2020년부터 2023년까지 연도별 식물의 지상부 생체량은 A지점 기준으로 2020년 < 2023년 < 2021년 < 2022년 순으로 나타났다. 새섬매자기의 연도별 식물의 지상부 생체량 변화는 2020년 A지점 $199.89 \pm 28.01 \text{ gDW m}^{-2}$, B지점 $35.63 \pm 7.36 \text{ gDW m}^{-2}$ ($p<0.001$), 2021년은 A지점 $18.57 \pm 5.12 \text{ gDW m}^{-2}$, B지점 $9.56 \pm 0.51 \text{ gDW m}^{-2}$, C지점 $228.57 \pm 3.38 \text{ gDW m}^{-2}$ ($p=0.007$), 2022년 A지점 $6.55 \pm 1.12 \text{ gDW m}^{-2}$, C지점 $73.64 \pm 3.75 \text{ gDW m}^{-2}$ ($p=0.151$), 2023년 A지점 $153.53 \pm 25.43 \text{ gDW m}^{-2}$, B지점 $2.81 \pm 1.29 \text{ gDW m}^{-2}$, C지점 $839.23 \pm 13.76 \text{ gDW m}^{-2}$ ($p=0.008$)으로 조사되었다.

울속도 새섬매자기의 성장 특성은 2002년 단위면적당 출현 개체수 300개체, 식물의 길이 평균 80 cm, 지상부 생체량 평균 $266 \pm 13.04 \text{ gDW m}^{-2}$ (Kim *et al.*, 2005)으로 조사되었는데 2020년부터 2023년 본 연구의 밀도는 2002년 측정값 대비 약 17~81%, 길이 약 49~86%, 지상부 생체량 약

2~30%로 전반적으로 성장관련 측정값이 감소한 것으로 관찰되었다. 2000년대 새섬매자기 군락이 분포하는 한강하구 장항습지에서 측정된 평균 지상부 길이(약 50 cm; You, 2008)와는 0.78~1.38배의 차이로 유사한 지상부 성장을 확인할 수 있었다.

본 연구를 종합해보면 고니를 비롯한 멸종위기종의 주요 먹이자원인 낙동강하구 새섬매자기 군락은 지난 2004년 이후 각종 개발과 기후 및 자연환경 변화로 약 72% 감소하여 28%만이 남아있어(2020년부터 2023년 4년간 평균면적: 99.489 m^2) 감소에 대한 원인 분석과 하구생태계 복원 노력이 시급한 실정이다. 식물의 생장이 불량한 울속도 B지점은 간조 시에도 갯벌이 완전히 드러나지 않으며, 강우량과 방류량 증가로 하구 전반적인 새섬매자기 생육상태가 회복되는 시기에도 A와 C지점과 대비 낮은 생장이 관찰되었다. Kim and Kim (2021)은 낙동강하구둑에 의해 조절되는 염분 변화에 하구에 분포하는 새섬매자기의 생장이 가장 많은 영향을 받는 것으로 보고하였으나, 적절한 염분환경 조성이 조성되더라도 지점별 미소환경 특성 및 괴경 등의 영양변식의 공급원의 불균등한 분포 특성으로 인해 식물의 생장이 10여년간 관찰되지 않은 B지점의 경우 2004년 수준의 자연회복을 기대하기는 어려울 것으로 판단된다(Kim, 2020). 따라서 훼손된 비식생지역은 단계적으로 영역을 확장하면서 괴경 또는 식물 식재를 통한 복원의 노력으로 새섬매자기 군락 회복이 필요하며 해당 지역의 군락 유지를 위해서는 수위변동과 식생 서식지 간의 관계에 대한 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다. Kim (2020)은 새섬매자기 성장은 간조

Table 1. Growth characteristics of food plant (*B. planiculmis*) at three sites in the Eulsuk tidal flat (2020~2023).

Parameters	Value/(mean \pm s.e.)			Stastics	
	A	B	C		
2020	Density (n m^{-2})*	243.6 ± 12.50	74.15 ± 3.84	–	$p<0.001$
	Shoot length (cm)***	69.47 ± 1.88	50.70 ± 2.08	–	$p<0.001$
	Above ground biomass (gDw m^{-2})*	199.89 ± 28.01	35.63 ± 7.36	–	$p<0.001$
2021	Density (n m^{-2})**	135.45 ± 7.38	18.30 ± 1.81	278.95 ± 9.13	$p<0.001$
	Shoot length (cm)	48.27 ± 1.72^b	37.63 ± 0.70^a	268.20 ± 1.56^c	$p<0.001$
	Above ground biomass (gDw m^{-2})**	18.57 ± 5.12	9.56 ± 0.51	228.57 ± 3.38	$p=0.007$
2022	Density (n m^{-2})**	51.10 ± 2.54	1.70 ± 0.30	64.20 ± 1.60	$p<0.001$
	Shoot length (cm)****	39.48 ± 0.97^b	19.57 ± 0.97^a	50.73 ± 2.17^c	$p<0.001$
	Above ground biomass (gDw m^{-2})*	6.55 ± 1.12	–	73.64 ± 3.75	$p=0.151$
2023	Density (n m^{-2})**	238.20 ± 16.36	3.40 ± 0.78	309.05 ± 16.65	$p<0.001$
	Shoot length (cm)****	49.92 ± 1.77^b	23.54 ± 3.11^a	57.32 ± 1.46^b	$p<0.001$
	Above ground biomass (gDw m^{-2})**	153.53 ± 25.43	2.81 ± 1.29	839.23 ± 13.76	$p=0.008$

*Mann-Whitney U test, **Kruskal-Wallis test, ***independent t-test, **** One-way ANOVA (Tukey's test)

기에 완전히 토양이 드러나는 환경에서 양호하다는 결과를 비교하였는데, 이러한 결과는 수위 변동범위가 식생 패턴, 특성을 변화시켜 식물서식지에 영향을 줄 수 있음을 일부 지지하는 결과이다. 또한 B지점은 2008년 12월부터 2020년 2월까지 매년 겨울 동안 고니류의 먹이원(고구마채, 감자채) 공급이 이루어진 곳으로 고니류의 섭식압 정도에 따른 훼손과 회복에 대한 연구도 추가적으로 필요한 것으로 판단된다.

저자정보 박희순(부산대학교 생명시스템학과 박사수료, 낙동강하구에코센터 전시교육팀 주무관), 주기재(부산대학교 생명시스템학과 교수), 이원호(낙동강하구에코센터 전시교육팀 연구사), 김지윤(군산대학교 조교수), 김구연(경남대학교 과학교육과 부교수, 경남대학교 생물다양성센터 센터장)

저자기여도 연구설계: 김구연, 박희순, 자료수집 및 분석: 김구연, 박희순, 이원호, 원고작성: 김구연, 원고편집 및 검토: 김지윤, 주기재, 연구비 수주: 김구연

이해관계 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

연구비 본 논문은 2023년도 부산녹색환경지원센터의 연구사업비 지원을 받아 수행되었습니다(연구과제번호: 23-2-70-76).

REFERENCES

- An, Y., Y. Gao and S. Tong. 2018. Emergence and growth performance of *Bolboschoenus planiculmis* varied in response to water level and soil planting depth: implications for wetland restoration using tuber transplantation. *Aquatic Botany* **148**: 10-14.
- Chen, X., M.S. Flannery and D.L. Moore. 2000. Response times of salinity in relation to changes in freshwater inflows in the lower Hillsborough River, Florida. *Estuaries and Coasts* **23**(5): 735-742.
- Chevailler, C., M. Pagano, D. Corbin and R. Arfi. 2014. The salinity responses of tropical estuaries to change in freshwater discharge, tidal mixing and geomorphology: case study of the man-affected Senegal River Estuary (West Africa). *Marine and Freshwater Research* **65**(11): 987-1002.
- Colin, J.B., N.D. Burgess and D.A. Hill. 1997. Bird census techniques. Academic press limited (4th), London, 257pp.
- Coops, H., F.W. van den Brink and G. van Der Velde. 1996. Growth and morphological responses of four helophyte species in an experimental water-depth gradient. *Aquatic Botany* **54**(1): 11-24.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and capital. *Nature* **387**: 253-260.
- Doornbos, G., A.M. Groenendijk and Y.W. Jo. 1986. Nakdong estuary barrage and reclamation project: Preliminary results of the botanical, macrozoobenthic and ornithological studies. *Biological Conservation* **38**(2): 115-142.
- Elliott, M. and D.S. McLusky. 2002. The need for definitions in understanding estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **55**: 815-827.
- Hong, S.B. 2004. Regional characteristics of bird in Nakdong estuary. *Korean Journal of Ornithology* **11**(2): 55-70 (in Korean with English abstract).
- Jang, S.T and K.-C. Kim. 2006. Change of oceanographic environment in the Nakdong Estuary. *Journal of the Korean Society of Oceanography* **11**(1): 11-20 (in Korean with English abstract).
- Jeon, K.H. and S.R. Cho. 2006. A Studies on the Wintering Distribution of the Whooper Swan (*Cygnus cygnus*) within the Seo-san Area, Korea. *Korean Journal of Ornithology* **13**(2): 97-104 (in Korean with English title and abstract).
- Kim, G.Y., C.W. Lee, H.S. Yoon and G.J. Joo. 2005. Changes of distribution of vascular hydrophytes in the Nakdong river estuary and growth dynamics of *Schenoplectus triqueter*, waterfowl food plant. *Korean Journal of Ecology* **28**: 335-345 (in Korean with English abstract).
- Kim, G.Y., J.Y. Kim, G.G. Ganf, C.W. Lee and G.J. Joo. 2013. Impact of over-wintering waterfowl on tuberous bulrush (*Bolboschoenus planiculmis*) in tidal flats. *Aquatic Botany* **107**: 17-22.
- Kim, G.Y. 2020. Growth Characteristics of *Bolboschoenus planiculmis* on the Eulsuk Tidal Flat of the Nakdong River Estuary, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **53**(4): 453-460 (in Korean with English abstract).
- Kim, G.Y., H.S. Park, H.Y. Kim and J.Y. Lee. 2022. Monitoring on *Bolboschoenus planiculmis* Restoration in Nakdong River Estuary: Implications for Wetland Restoration Using Shoot Transplantation. *Korean Journal of Ecology and Environment* **55**(4): 419-427 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.Y. and G.-Y. Kim 2021. Effects of regulated dam discharge on plants and migratory waterfowl are mediated by salinity changes in estuaries. *International Review of Hydrobiology* **106**(1): 58-63.
- Kim, S. and S.-H. Youn. 2019. Effect of Freshwater Discharge on the Nakdong River Estuary: Mooring Observations of Water Temperature and Salinity. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety* **25**(1): 89-95 (in Korean with English abstract).
- Lane, R.R., J.W. Day Jr, B.D. Marx, E. Reyes, E. Hyfield and J.N. Day. 2007. The effects of riverine discharge on temperature, salinity, suspended sediment and chlorophyll a in a Mississippi delta estuary measured using a flow-through system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **74**: 145-154.
- Lee, J.-N., W.-H. Lee and M.-G. Kim. 2022. A study on the win-

- tering distribution of the Whooper Swan (*Cygnus cygnus*) within the lower Nakdong River, Busan city. *Korean Journal of Ornithology* **29**(1): 1-9 (in Korean with English abstract).
- Lee, W.S., T.H. Koo and J.Y. Park. 2000. A Field Guide to the Birds of Korea. LG Evergreen Foundation. 319pp.
- Nam, H.K. and M.H. Kim. 2017. Determinations of Shorebirds Diets during Spring Migration Stopovers in Korean Rice Fields. *Korean Journal of Environmental Biology* **35**(4): 452-460 (in Korean with English abstract).
- Park, S., J. Lee, J.U. Choi, N. Heo and S. An. 2016. Study on the long-term changes in water quality and benthic ecology and evaluation on effect of the barrage in Nakdong River estuary. *Journal of Wetlands Research* **18**(1): 58-67 (in Korean with English abstract).
- Reid, G.K. and R.D. Wood, 1976. Ecology of inland waters and estuaries. John Wiley & Sons. 445pp.
- Teal, J.M. 1962. Energy flow in the salt marsh ecosystem of Georgia. *Ecology* **43**: 614-624.
- Yang, H., J.H. Kim and E.J. Lee. 2020. Effects of tides on interspecific interactions and plastic growth responses of *Bolboschoenus planiculmis*. *Flora* **264**: 151568.
- Yi, Y.M., U.S. Yeo, D.H. Oh and K.J. Sung. 2011. Annual changes in *Scirpus planiculmis* and environmental characteristics of the Nakdong river estuary. *Journal of Wetlands Research* **13**(3): 567-579 (in Korean with English abstract).
- You, Y.H. 2008. Population decline cause of *Scirpus planiculmis* and its restoration plan in Han River Wetland Conservation Area, South Korea. *Journal of Wetlands Research* **10**(2): 165-172 (in Korean with English abstract).
- Zhang, M., D. Zhang, Q. Qi, S. Tong, X. Wang, Y. An and X. Lu. 2022. Flooding effects on population and growth characteristics of *Bolboschoenus planiculmis* in Momoge wetland, northeast China. *Ecological Indicators* **137**: 108730.