

Note

## 낙동강하구 을숙도 갯벌에서 새섬매자기의 생육 특성

김구연\*

경남대학교 과학교육과

**Growth Characteristics of *Bolboschoenus planiculmis* on the Eulsuk Tidal Flat of the Nakdong River Estuary, Korea.** Gu-Yeon Kim\* (0000-0003-1071-0383) (Department of Science Education, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea)

**Abstract** *Bolboschoenus planiculmis* is an important prey species for winter migratory birds in the Nakdong River Estuary region, but its population has declined in the last decade due to a physio-chemical shift. To identify the growth and development characteristics of *B. planiculmis*, we carried out an experimental survey on the aboveground and belowground sections of *B. planiculmis* specimens in the Eulsuk tidal flat from April to September 2019. We divided the belowground area into two groups: a vegetation group in which *B. planiculmis* exists and a non-vegetation group in which *B. planiculmis* does not exist and measured the rate of tubers. We observed a 45% appearance frequency in the vegetation group and only a 5% frequency in the non-vegetation group, indicating that there were no supplies for plant growth. The mean density, length, and biomass of *B. planiculmis* aboveground were  $166.90 \pm 149.62 \text{ n m}^{-2}$ ,  $44.39 \pm 5.45 \text{ cm}$ , and  $67.63 \pm 54.46 \text{ g DW m}^{-2}$ , respectively, which was approximately half of those obtained from the study in the Eulsuk tidal flat in 2002. Tuber number was the highest in the 15~25 cm deep layer (41.50%). The mean number of total tubers belowground was related to different sediment conditions (FS: flat surface, DS: disturbed surface)  $251.75 \pm 16.86 \text{ n pot}^{-1}$  for FS and  $171.00 \pm 25.18 \text{ n pot}^{-1}$  for DS, which was significantly different (total tubers:  $p < 0.005$ ). The mean biomass of *B. planiculmis* above-ground was  $21.11 \pm 1.60 \text{ g DW pot}^{-1}$  for FS and  $15.41 \pm 1.38 \text{ g DW pot}^{-1}$  for DS, which was significantly different ( $p < 0.05$ ). This research provides primary materials for the restoration of the Nakdong River Estuary, wintering sites for migratory birds, and protection of *B. planiculmis*.

**Key words:** *Bolboschoenus planiculmis*, winter migratory birds, Nakdong River Estuary, growth characteristics

## 서 론

하구 (estuary)는 바다와 하천이 만나는 연결통로이며, 물질생산성이 높은 곳이다 (Reid and Wood, 1976). 이러한 높은 생산성과 다양한 서식처를 가진 하구는 야생생물의 서식

처, 은신처 및 산란장을 제공하는 데 적합하여, 생물다양성이 매우 풍부한 생태계 가운데 하나로 세계적으로 보전 가치가 높게 평가된다 (Costanza *et al.*, 1997). 특히 먼거리를 이주하는 철새의 에너지 보충을 위한 먹이자원의 풍부함과 중간 기착지로서의 높은 가치를 평가받고 있다 (Doornbos *et al.*, 1986; Hong, 2004; Kim *et al.*, 2005, 2013).

새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*)는 내염성이 있는 사초과의 다년생 정수성 수생식물로, 겨울철 고니류를 비

Manuscript received 20 November 2020, revised 15 December 2020, revision accepted 15 December 2020

\* Corresponding author: Tel: +82-55-249-2447, Fax: +82-55-999-2150  
E-mail: kimgyeon@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.

못한 다양한 수금류들의 중요한 먹이원(Groenendijk, 1985; Doornbos *et al.*, 1986; Esselink *et al.*, 1997; Hong, 2004; Kim *et al.*, 2005, 2013)이며, 봄철 통과조류인 도요물떼새류(Nam and Kim, 2017)에게도 중요한 식량자원이다. 낙동강 하구에서 새섬매자기는 지하부에 영양이 풍부한 괴경(tuber)이 발달하여 고니를 비롯한 겨울철새들의 주요 먹이원이다.

새섬매자기에 대한 연구는 국내외에서 활발히 진행되어 왔다. 식물의 서식분포를 비롯하여(Lubke, 1982; Edwards, 1992; Coops *et al.*, 1994), 형태(Coops *et al.*, 1996), 겨울철새와의 상관관계(Kim *et al.*, 2005, 2013; Kim and Kim, 2020), 염분 및 수심에 대한 적응력(Coops *et al.*, 1994, 1996; Liu *et al.*, 2016; Yu *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2020), 토양환경에 따른 생육 특성(Xue *et al.*, 2018), 경쟁종과의 상관관계(Zhou *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2020), 조석 영향(Yang *et al.*, 2020) 등 다양한 연구가 진행되어 왔다. 특히 낙동강하구의 새섬매자기 연구는 생산량과 겨울철새 상관관계(Kim *et al.*, 2005, 2013), 기후 변화에 따른 생장특성(Yi *et al.*, 2011), 서식지 염분 농도 및 퇴적물 특성과의 상관관계(Kim *et al.*, 2019; Kim and Kim, 2020), 생체량 및 탄소, 질소 함량의 변화(An *et al.*, 2006) 등 새섬매자기의 생장 특성과 관련된 연구가 진행되었다.

그러나, 낙동강하구의 2005년부터 2010년 동안 당해년도 환경요인에 따라 큰 변동 폭의 생장이 보고되었고, 10여 년간 분포면적과 단위면적당 생체량은 급격하게 감소 후 회복되지 않고 있는 실정이다. 또한 낙동강하구둑 건설 전후와 명지주거단지 건설 전후 새섬매자기의 분포와 생장 평가가 활발하였으나 그 이후 환경 변화에 따른 장기적인 식물의 생장 모니터링 연구가 지속되지 않고 있는 실정이다. 새섬매자기 군락의 감소와 서식처 교란요소 증가로 낙동강하구의 겨울철새 고니와 큰고니 등의 감소가 나타났고, 최근 들어 낙동강하구둑 방류계획을 비롯하여 을숙도 갯벌 먹이터 조성 등 다양한 변화가 예상되고 있어 환경 변화에 따른 생육 특성 변화 연구자료 확보가 필요할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 을숙도 갯벌의 새섬매자기군락의 급격한 감소 이후 오랜 기간 비식생지역을 유지하고 있는 새섬매자기군락지의 식생 회복가능성을 분석하고자 비식생지역과 식생지역의 지하부에서 새섬매자기 괴경(tuber)의 출현 빈도를 조사하였다. 그리고 을숙도 갯벌 새섬매자기의 단위면적당 개체수, 초고, 생체량 및 매립된 토양 깊이(cm)에 따른 괴경 분포를 분석하였으며, 토양의 물리적 환경에 따른 새섬매자기의 생육 특성을 관찰하였다. 본 연구결과는 향후 낙동강하구의 보존과 철새도래지 관리, 식생자원 새섬매자기 보호 및 복원에 유용한 기초자료를 제공할 것이다.

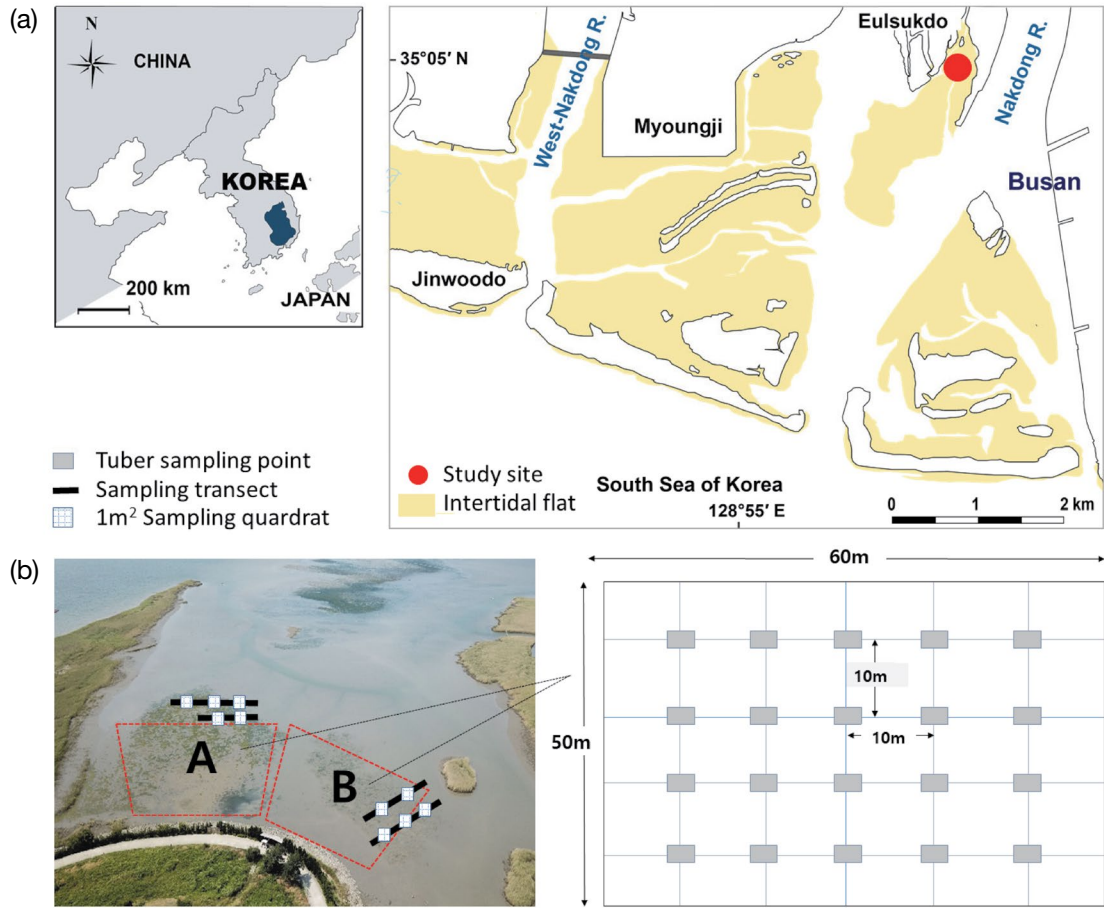
## 재료 및 방법

### 1. 조사지 개요

낙동강하구(N35°04'34", E128°55'56")는 부산광역시 사하구에 위치한 낙동강 삼각주 남단에 해당하는 크고 작은 해안사구가 발달되어 있다. 사주 간석지 가장자리는 갈대(*Phragmites australis*) 군락이 메우고 있으며, 조석에 의해 노출되는 넓은 갯벌에는 새섬매자기(*Bolboschoenus planiculmis*) 군락이 발달하고 있다(Kim *et al.*, 2005, 2013). 낙동강하구는 천연기념물(문화관광부, 1966), 연안오염특별관리해역(환경부, 1982), 자연생태계보전지역(환경부, 1983), 자연환경보전지역(건설교통부, 1988), 습지보호지역(환경부, 1999)으로 중복 지정되어 법적인 보호를 받고 있는 지역이다. 그럼에도 불구하고 낙동강하구둑 건설을 시작으로 매립사업, 녹산공단, 명지주거단지, 신항만 건설, 항로유지를 위한 준설사업 등 대규모 연안개발로 해안선과 사주지형 변화 및 자연환경이 급격히 변화하였다(Kim and Ha, 2001; Kim *et al.*, 2005; Ryu *et al.*, 2011). 대규모 국책사업의 시행과 연안 난개발의 위협에 노출되어 있으며, 연안생태환경공간은 많은 면적이 훼손되거나 소멸되어 황폐화가 가속화되고 있는 실정이다. 본 조사는 낙동강하구 내의 을숙도 갯벌 습지에 출현하는 새섬매자기의 생육현황을 알아보기 위해 2019년 4월부터 9월까지 현장조사를 실시하였다(Fig. 1a). 본 지점은 자연성이 높고 인간활동에 따른 교란이 적으며, 겨울철에 월동을 위해 하구를 찾는 수금류(waterfowl)가 가장 먼저 이동하는 지역이며(Kim *et al.*, 2005) 고니와 큰고니 대부분이 을숙도 남단에 집중적으로 서식한다.

### 2. 새섬매자기 생육 특성

낙동강하구 을숙도 갯벌의 새섬매자기의 생육 상태를 조사하기 위하여 식물의 최적 성장이 마무리되고, 지하부에 괴경(tuber)이 형성된 9월에 실시하였다. 조사지점은 식물이 분포하는 지역에서 4개의 라인을 설정하여 총 10개의 정점에서 실시하였으며, 생육밀도 조사는 1m×1m의 방형구 내 식물의 개체수를 측정하여 나타난 평균값을 단위면적당 개체수로 나타내었다(Fig. 1). 지하부의 괴경은 매립되어 있는 저토의 깊이에 따라 0~15 cm, 15~25 cm, 25~35 cm, 35 cm 이상 깊이 4단계로 구분하여 각 깊이별 괴경의 출현 개수를 측정하여 평균값으로 나타내었다. 식물은 채집하여 실험실로 운반 후 흐르는 담수에 세척하여 부착생물 및 이물질을 제거한 후, 지상부 줄기의 길이(cm)를 측정하고, 지상부와 지하부를 구분하여 드라이오븐에서 80°C, 72시간 동안 무게의



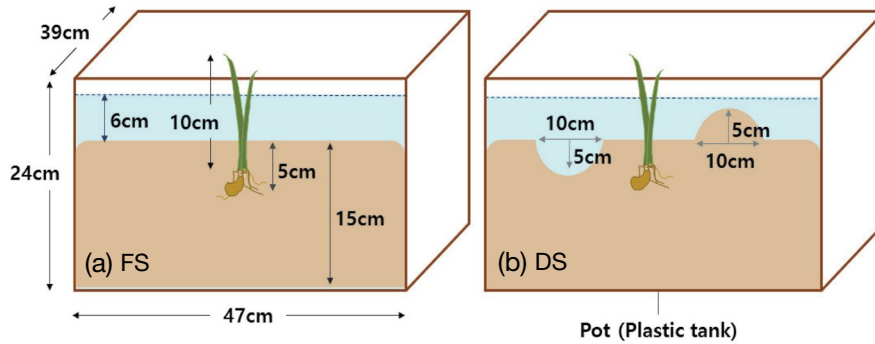
**Fig. 1.** Study site. (a) map of the study site, (b) aerial view of sampling points (A: non-vegetated area, B: *Bolboschoenus planiculmis* vegetation). Red-dotted box shows a sector for the non-vegetated and vegetated area. Grey squares indicate the location of sampling points in each sector.

변화가 없을 때까지 건조한 후 각각의 건조량(DW)을 측정하였다.

울속도 갯벌에서 2009년부터 2018년까지 새섬매자기 분포 변화 관찰 결과(Kim and Kim, 2020), 새섬매자기가 분포하지 않는 비식생지역(A) 50 m × 60 m와 새섬매자기가 분포하는 식생지역(B) 50 m × 60 m으로 구분하여 각각의 지점에서 식물의 성장이 시작하기 직전인 4월 3일과 4월 30일 두 차례에 걸쳐 각각의 구역 내에서 10 m 간격으로 방형구(가로 22 cm × 세로 12 cm × 높이 35 cm)를 이용하여 20개씩 총 40 개의 지하부를 채취하여 괴경 출현 여부를 관찰하였다(Fig. 1b).

낙동강하구 겨울철새의 섭식활동에 따른 토양파임으로 물결이 생기고, 토양이 썩이면서 언덕이 형성되는 물리적 환경 변화(FS: 평평한 상태, Fig. 2a; DS: 골과 언덕형성 상태, Fig. 2b)가 식물의 성장에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 실험실에서 화분(가로 47cm × 세로 39 cm × 높이 24 cm)을

이용하여 실험을 진행하였다(Fig. 2). 토양환경에 따라 4개의 화분, 총 8개 화분으로 반복실험하였다. 울속도 갯벌 저토(sediment)의 물리적 환경 상태에 따른 새섬매자기의 생육특징을 관찰하기 위하여 식물체는 낙동강하구 현장에서 2019년 3월과 4월 두 차례에 걸쳐 채집한 괴경을 실험실로 옮겨 식물체를 발생 및 성장시켜 길이 10 cm의 생육이 양호한 비슷한 상태의 식물체를 선정하였다. 저토는 2017년부터 2019년까지 울속도에서 채취한 흙을 건조시켜 체를 통과시킨 후 사용하였다. 물은 2019년 3~5월 동안 2차례에 걸쳐 울속도 현장에서 20리터 물통을 이용하여 채수한 물과 수돗물을 이용하여 초기 1개월 동안은 염분농도 5‰을 기준으로 희석하여 대형물통에 보관하여 공급하였다. 이후 염분농도는 고려하지 않고 수분유지를 위한 물공급은 수돗물을 추가하였다. 초기에 염분농도를 고려한 이유는 채취한 식물의 환경을 유지하여 식물의 스트레스를 최대한 줄여서 실험을 시작하기 위함이고, 이후에는 염분농도를 고려하지 않았다. 왜냐하면



**Fig. 2.** Experiment design to test effects of sediment condition on the growth of *Bolboschoenus planiculmis*. (a) FS: flat surface, (b) DS: disturbed surface.

**Table 1.** Growth characteristics of *Bolboschoenus planiculmis* in the Eulsuk tidal flat (n = 10).

Parameters	2002* (mean ± s.d.)	This study (2019)	
		(mean ± s.d.)	min~max
Shoot length (cm)	80	44.39 ± 5.45	3.7~88
Shoot density (individuals m <sup>-2</sup> )	250~300	166.90 ± 149.62	63~567
Above-ground biomass (g DW m <sup>-2</sup> )	266 ± 13.04	67.63 ± 54.46	19.96~178

\*Data from Kim *et al.* (2005)

새섬매자기는 담수에서 기수(0~10%) 환경까지는 생산성에 차이없이 생존하기 때문이다(Xue *et al.*, 2017).

식물성장실험은 2019년 5월부터 10월까지 진행되었다. 실험 진행 동안 주기적으로 밀도와 초고를 측정하였으며, 개화 및 결실 후 지상부와 지하부를 구분하여 드라이오븐에서 80°C, 72시간 동안 무게의 변화가 없을 때까지 건조한 후 각각의 건중량(DW)을 측정하였다.

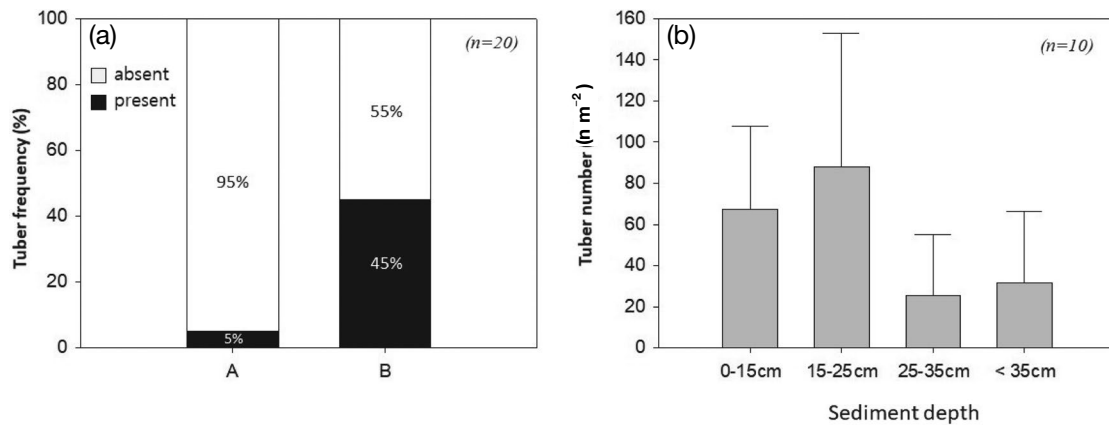
각 조사정점에 따른 새섬매자기의 성장 비교는 분산분석 one-way ANOVA를 이용하였으며, 통계적 유의수준은  $p < 0.05$ 를 기준으로 하였다. 통계분석은 SPSS 프로그램을 활용하였으며, 모든 측정치는 평균(mean)과 표준편차(sd)로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

낙동강하구 을숙도 갯벌에서 새섬매자기의 단위면적당 출현 개체수는  $166.90 \pm 149.62$  n m<sup>-2</sup>, 식물의 길이 평균값은  $44.39 \pm 5.45$  cm, 단위면적당 지상부 생체량 평균은  $67.63 \pm 54.46$  g DW m<sup>-2</sup>이었다(Table 1, n = 10). 과거 2002년 동일 조사정점에서 새섬매자기의 단위면적당 출현 개체수 평균

300개체, 식물의 길이 평균 80 cm, 지상부 생체량 평균 266 g DW m<sup>-2</sup> (Kim *et al.*, 2005)과 약 50% 수준으로 대조적인 성장이 관찰되었다.

낙동강하구 을숙도 갯벌 토양의 지하부에 분포하는 새섬매자기 괴경(tuber)의 밀도는 0~15 cm에서  $67.3 \pm 40.57$  /m<sup>2</sup> (31.67%), 15~25 cm에서  $88.2 \pm 64.76$  /m<sup>2</sup> (41.50%), 25~35 cm에서  $25.5 \pm 29.33$  /m<sup>2</sup> (12%), 35cm 이상에서  $31.5 \pm 34.65$  /m<sup>2</sup> (14.82%)로 15~25 cm에서 상대적으로 많은 괴경이 분포하는 것으로 나타났다(Fig. 3b, n = 10). 낙동강하구 이전 연구에서 Kim *et al.* (2005), Yi *et al.* (2011)은 본 연구와 유사하게 표층보다 하층에서 괴경의 높은 비율의 분포를 보고한 바 있지만, Choi *et al.* (2000)의 연구 결과 간척담에서 새섬매자기 괴경의 분포는 0~5 cm에서 76.7%, 5~10 cm에서 21.2% 그리고 10~15 cm에서 2.1%가 분포한다고 보고하였다. 또한 Lee *et al.* (1991)에 의하면 새섬매자기 괴경 형성이 각각 토양으로부터 6 cm 이내 92%, 8 cm 이내 82%의 분포를 보고하였다. You (2008)의 한강하구에서 새섬매자기 괴경은 주로 표층인 6~10 cm (69%)에 집중 분포하고, 16 cm 이상의 깊이에서는 전혀 분포하지 않았다고 발표되어 본 연구와 차이를 나타냈다. 이러한 결과를 정리해 보면, 낙동강하구에 분포하는 새섬매자기 괴경의 형성이 토양의 깊은 곳에 분포하며, 분포 지역에 따라 서식지의 토양퇴적이나 환경요



**Fig. 3.** Distribution of tuber of *Bolboschoenus planiculmis* in the study site. (a) The frequency of tuber presence in vegetated and non-vegetated sectors, (b) tuber density (tubers per m<sup>2</sup>) of *B. planiculmis* in different sediment depths.

인으로 다를 수 있음을 보여주는 것으로 판단된다. 새섬매자기 성장에는 수위, 괴경의 토양 매물 깊이에 따라 식물의 발생과 성장 속도가 감소하며, 조석과 토양 염분농도 그리고 경쟁식물 유무에 의한 새섬매자기 생육 영향(Hui *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2016; Xue *et al.*, 2017; Yu *et al.*, 2018; Zhou *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2020), 토양의 영양상태(Xue *et al.*, 2020)에 따른 성장 등 다양한 환경요인이 성장의 제한요인으로 보고되고 있다.

지하부의 괴경은 낙동강하구를 월동하는 수금류의 중요한 먹이원이며 다음해 식물성장의 주요 공급원으로, 괴경의 분포와 생육 특성 등의 다양한 실험적 접근을 통해 심도있게 연구해 볼 가치가 있는 것으로 사료된다.

낙동강하구의 사주와 사주 사이의 조석에 의해 드러나는 간석지에는 새섬매자기 순군락이 넓게 분포한다. 10여 년간 환경 변화로 새섬매자기 순군락의 분포가 관찰되지 않는 비식생지역과 식물의 분포가 확인되는 식생지역에서 겨울철새의 섭식이 끝나고 이주한 후 4월에 조사한 괴경(tuber)의 출현 빈도를 관찰한 결과, 비식생지역과 식생지역에서는 각각 5%, 45%로 괴경의 분포 유무가 관찰되었다(Fig. 3a, n=20). 그리고 식물이 발생하고 성장 후 가을 괴경 형성 시기 9월에 비식생지역과 식생지역에서 괴경(tuber)의 출현 빈도는 각각 0%, 80% 관찰되었다(n=10). 이러한 관찰결과, 비식생지역에는 오랜 기간 새섬매자기의 발생과 성장의 부재로 지하부 토양에 매립된 괴경이 적은 것을 확인할 수 있었다. 새섬매자기군락의 쇠퇴는 식물의 성장시기에 가뭄으로 인해 강수량이 감소하고 하구둑 방류량을 줄이면서 염분농도가 급격하게 상승하였으며, 그 결과 새섬매자기가 생육(적정 염분농도 0~15psu)에 부적합한 환경으로 분포와 밀도가 급감한 것으로 보고되었다(Kim, 2009, 2014; Kim and Kim, 2020). 또

한 하구 퇴적물 염분 20 psu 이상에서 새섬매자기 쇠퇴가 확인되었다(Lillebø *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2019). 낙동강하구의 새섬매자기의 성장은 하구둑에 의해 조절되는 특성으로 염분의 영향을 가장 많이 받는 것으로 알려져 있다(Kim and Kim, 2020). 그러나 방류량 증가와 염분농도가 감소하더라도 오랜 기간 동안 식물의 성장이 관찰되지 않은 지역은 토양에 매립되어 있는 공급원(영양생식기관 '괴경' tuber) 부재로 비식생지역에서 새섬매자기군락의 자연회복을 기대하기는 어려울 것으로 판단된다. 따라서 낙동강하구의 새섬매자기군락 회복을 위하여 식물의 괴경을 이용한 식재 등의 노력이 필요하다.

새섬매자기 성장에서 겨울철새의 섭식활동의 영향으로 저토(sediment)의 물리적 환경 변화(FS: 편평한 상태, DS: 고랑과 언덕형성 상태)에 따른 식물의 길이 평균은 FS 46.13 ± 4.70 cm, DS 48.90 ± 3.61 cm로 고랑과 언덕형성 상태의 토양환경에서 다소 높게 나타났으나, 조건에 따른 차이를 확인할 수 없었다(Table 2, n=4). 식물의 밀도는 FS 48 ± 4.76 개체(per pot), DS 40 ± 7.53 개체(per pot)로 FS에서 높게 나타났으나, 조건에 따른 차이를 확인할 수 없었다(Table 2, n=4). 지하부의 괴경 형성 총수는 FS, DS에서 각각 평균 251.75 ± 16.86 개(per pot), 171.00 ± 25.18 개(per pot), 식물 한 개체당 괴경 형성 개수는 평균 5.75 ± 0.74 개, 4.33 ± 0.56 개로 FS에서 높았다(괴경 총수: p < 0.005, 개체당 괴경 수: p < 0.05). 식물의 지상부 생체량은 FS 평균 21.11 ± 1.60 g DW pot<sup>-1</sup>, DS 15.41 ± 1.38 g DW pot<sup>-1</sup>로 FS에서 높게 나타났다(p < 0.005) (Table 2). 결과적으로 새섬매자기의 성장에 있어서 토양의 물리적 환경 변화로 골이 발생하거나 흩어 쌓여 언덕이 형성되는 경우 지하부의 괴경 형성과 식물의 생산성 감소에 영향을 주는 것으로 관찰되었다.

**Table 2.** The effect of sediment conditions on the growth characteristics of *Bolboschoenus planiculmis* in laboratory experiment (FS: flat surface, DS: disturbed surface, n = 4).

Parameters	Value (mean $\pm$ s.d.)		Stastics	
	FS	DS	F	P
Density (Shoot per pot)	48 $\pm$ 4.76	40 $\pm$ 7.53	0.706	0.123 <sup>ns</sup>
Shoot length (cm)	46.13 $\pm$ 4.70	48.90 $\pm$ 3.61	0.154	0.385 <sup>ns</sup>
Above-ground biomass (g per pot)	21.11 $\pm$ 1.60	15.41 $\pm$ 1.38	0.020	0.002 <sup>**</sup>
Tuber number (per pot)	251.75 $\pm$ 16.86	171.00 $\pm$ 25.18	0.471	0.002 <sup>**</sup>
Number of tuber per 1 plant	5.75 $\pm$ 0.74	4.33 $\pm$ 0.56	0.336	0.022 <sup>*</sup>

Significance level: \*\*,  $p < 0.01$ ; \*,  $p < 0.05$ ; ns,  $p \geq 0.05$ .

천연기념물 고니를 비롯한 수금류와 야생생물이 선호하는 새섬매자기를 낙동강하구에서 지속적으로 유지보전하기 위해서는 무엇보다도 비식생지역에 새섬매자기 이식을 통한 복원이 우선되어야 할 것으로 판단된다. Kim *et al.* (2019) 은 낙동강하구 퇴적물의 식생지역과 비식생지역의 물리화학적 특성은 거의 동일하며, 퇴적물의 조립하고 염분이 15 psu 이상으로 새섬매자기 생육에 불리한 결과라 보고하고 있다. 퇴적물의 투수율은 분급도가 좋고 입자가 조립할수록 높은 것으로 알려져 있다 (Shepherd, 1989). 일반적으로 식생지역의 퇴적물 pH는 식물 뿌리의 유기산 배출 (Mucha *et al.*, 2005; Koop-Jakobson *et al.*, 2018), 미생물 활동으로 인한 이산화탄소 유입 (Blossfeld, 2013; Lenzewski *et al.*, 2018) 등으로 인해 비식생지역보다 다소 낮은 퇴적물 pH를 보이는 것으로 알려져 있다. 중요한 점은 우리의 식생지역과 비식생지역의 지하부 괴경 출현 빈도 결과와 동일지점의 토양환경 결과 (Kim *et al.*, 2019)를 종합해 보면, 계속된 새섬매자기의 분포가 확인되지 않은 비식생지역은 지하부에 영양생식기관인 괴경 (tuber)이 존재하지 않기 때문이다. 지난 10여 년간 낙동강 염분농도 상승과 방류량 감소는 새섬매자기군락의 분포 면적과 성장 감소의 결과를 가져왔고 (Kim, 2014; Kim *et al.*, 2019; Kim and Kim, 2020), 낙동강하구둑 개방으로 방류량 증가와 염분 농도에 대한 스트레스가 낮아지더라도 식물체 또는 괴경의 이식이 없는 비식생지역에서 환경회복과 동시에 새섬매자기군락의 극적인 회복을 기대할 수는 없을 것으로 판단된다. 또한 새섬매자기의 지하경 증식과 생육 관리 전략에 대한 추가적 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

이러한 식생자원의 조류 분포와의 상관관계 및 환경에 따른 식물의 생육 특성을 면밀히 밝힌다면 훼손된 생태계 복원과 지역생태계 기능을 강화시킬 수 있을 것이다. 따라서 환경 변화에 민감한 낙동강하구 새섬매자기군락의 보존과 관리를 위해 지속적인 모니터링과 연구가 수행되어야 할 것이다.

**저자정보** 김구연 (경남대학교 과학교육과 교수)

**저자기여도** 연구설계, 자료수집 및 분석, 검토 및 원고작성: 김구연

**이해관계** 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

**연구비** 본 연구는 2019년도 부산녹색환경지원센터의 연구사업비 지원을 받아 수행되었습니다 (연구과제번호: 19-2-70-76).

**사사** 실험과 시료채취에 도움을 주신 경남대학교와 부산대학교 연구원들께 감사드립니다.

## REFERENCES

- An, S.M., J.Y. Lee and S.J. Jeong. 2006. Seasonal biomass and carbon, nitrogen contents change of *Schoenoplectus trigueter* in Nakdong river estuary. *Journal of Korea Wetlands Society* **8**(3): 39-49.
- Blossfeld, S. 2013. Light for the dark side of plant life: Planar optodes visualizing rhizosphere processes. *Plant and Soil* **369**(1-2): 29-32.
- Choi, S.H., Y.G. Shon, G.S. Ju, J.H. Choi, M.H. Kim, Y.M. Yu and J.J. Lee. 2000. Sprouting and growth characteristics of sea club rush (*Scirpus planiculmis*). *Korean Journal of Weed Science* **20**(4): 276-283 (in Korean with English abstract).
- Coops, H., N. Geilen and G. van der Velde. 1994. Distribution and growth of the helophyte species *Phragmites australis* and *Scirpus lacustris* in water depth gradients in relation to wave exposure. *Aquatic Botany* **48**(3-4): 273-284. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0304-3770(94)90020-5)
- 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. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(96\)01025-X](https://doi.org/10.1016/0304-3770(96)01025-X)

- 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.
- Doombos, 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.
- Edwards, G.S. 1992. Root distribution of soft-stem bulrush (*Scirpus validus*) in a constructed wetland. *Ecological Engineering* **1**: 239-243. [https://doi.org/10.1016/0925-8574\(92\)90005-M](https://doi.org/10.1016/0925-8574(92)90005-M)
- Esselink, P., G.J.F. Helder, B.A. Aertse and K. Gerdes. 1997. The impact of grubbing by Greylag Geese (*Anser anser*) on the vegetation dynamics of a tidal marsh. *Aquatic Botany* **55**: 261-279.
- Groenendijk, A.M. 1985. Food plant biomass and feeding behavior of Geese and Swan in Nakdong river area: emphasis on the polder areas. Delta institute-NEDECO, 20pp.
- Hong, S.B. 2004. Regional characteristics of bird in Nakdong estuary. *The Korean Journal of Ornithology* **11**(2): 55-70 (in Korean with English abstract).
- Hui, S., X. Li, Z. Zhang and Y. Ning. 2009. Effects of soil salt content on growth in *Scirpus planiculmis*. *Liaoning Forestry Science and Technology* **1**: 25-28 (in Chinese with English abstract).
- Kim, G.Y. 2009. Plan of Conservation and Breeding for *Scirpus Planiculmis* (*Scirpus maritimus*) Community. 97pp. Busan Environmental Technology Center [Korean Literature].
- Kim, G.Y. 2014. Monitoring of *Bolboschoenus planiculmis* at restored sites on Eulsuk Island. 107pp. Busan Environmental Technology Center [Korean Literature].
- 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, J.Y. and G.Y. Kim. 2020. Effects of regulated dam discharge on plants and migratory waterfowl are mediated by salinity changes in estuaries. *International Review of Hydrobiology* **1-6**. <https://doi.org/10.1002/iroh.202002042>
- Kim, J.Y., R.Y. Im, Y. Do, G.Y. Kim and G.J. Joo. 2016. Above-ground Biomass estimation of tuberous bulrush (*Bolboschoenus planiculmis*) in mudflats using remotely sensed multispectral image. *Ocean Science Journal* **51**(1): 151-158. <https://doi.org/10.1007/s12601-016-0013-0>
- Kim, S.-Y. and J.-S. Ha. 2001. Sedimentary facies and environmental changes of the Nakdong River Estuary and adjacent coastal area. *Journal of the Korean Fisheries Society* **34**(3): 268-278 (in Korean with English abstract).
- Kim, Y., J. Kang, J.U. Choi, C.M. Park and H.J. Woo. 2019. Geochemical Characteristics of *Scirpus planiculmis* Habitats in Nakdong Estuary, Korea. *Journal of Wetlands Research* **21**(2): 125-131.
- Koop-Jakobsen, K., P. Mueller, R.J. Meier, G. Liebsch and K. Jensen. 2018. Plant-sediment interactions in saltmarshes - an optode imaging study of O<sub>2</sub>, pH, and CO<sub>2</sub> gradients in the rhizosphere. *Frontiers in Plant Science* **9**. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00541>
- Lee, K.S., S.J. Yu, S.H. Park and S.Y. Choi. 1991. Distribution of *Scirpus planiculmis* F. Schmidt on the Polder Land of Southwest Seashore. *Korean Journal of Weed Science* **11**(1): 19-25 (in Korean with English abstract).
- Lenzowski, N., P. Mueller, R.J. Meier, G. Liebsch, K. Jensen and K. Koop-Jakobsen. 2018. Dynamics of oxygen and carbon dioxide in rhizospheres of *Lobelia dortmanna* - planar optode study of belowground gas exchange between plants and sediment. *New Phytologist* **218**(1): 131-141.
- Lillebø, A.I., M.A. Pardal, J.M. Neto and J.C. Marques. 2003. Salinity as the major factor affecting *Scirpus maritimus* annual dynamics: evidence from field data and greenhouse experiment. *Aquatic Botany* **77**(2): 111-120.
- Liu, B., M. Jiang, S.Z. Tong, W.G. Zhang, C.L. Zou, B. Wang and X.G. Lu. 2016. Effects of burial depth and water depth on seedling emergence and early growth of *Scirpus planiculmis* Fr. Schmidt. *Ecological Engineering* **87**: 30-33.
- Lubke, R.A. and A.M. Avis. 1982. Factors affecting the distribution of the *Scirpus nodosus* plants in a dune slack community. *South African Journal of Botany* **1**: 97-103. [https://doi.org/10.1016/S002-4618\(16\)30157-7](https://doi.org/10.1016/S002-4618(16)30157-7)
- Mucha, A.P., C.M.R. Almeida, A.A. Bordalo and M.T.S. Vasconcelos. 2005. Exudation of organic acids by a marsh plant and implications on trace metal availability in the rhizosphere of estuarine sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **65**(1-2): 191-198.
- 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).
- Reid, G.K. and R.D. Wood. 1976. Ecology of inland waters and estuaries. D. Van Nostr and Co., New York, 485pp.
- Ryu, S.H., K.H. Kim and I.C. Lee. 2011. Prediction of suspended solid budget in Nakdong River Estuary. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety* **17**(3): 185-189 (in Korean with English abstract).
- Shepherd, R.G. 1989. Correlations of permeability and grain size. *Groundwater* **27**(5): 633-638.
- Xue, L., X. Li, Z. Yan, Q. Zhang, W. Ding, X. Huang, B. Tian, Z. Ge and Q. Yin. 2017. Native and non-native halophytes resiliency against sea-level rise and saltwater intrusion. *Hydrobiologia* **806**: 47-65.
- Xue, W., L. Huang, F.H. Yu and T.M. Bezemer. 2018. Intraspecific

- aggregation and soil heterogeneity: competitive interactions of two clonal plants with contrasting spatial architecture. *Plant Soil* **42**: 231-240. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3578-9>
- Xue, W., L. Huang and F.-H. Yu. 2020. Importance of starting points in heterogeneous environments: interactions between two clonal plants with contrasting spatial architectures. *Journal of Plant Ecology* **13**(3): 323-330.
- Yang, H.Y., J.H. Kim and E.J. Lee. 2020. Effects of tides on interspecific interactions and plastic growth responses of *Bolboschoenus planiculmis*. *Flora* **264**: 151568. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151568>
- 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).
- Yu, A., 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.
- Zhou, J., L.D. Zheng, X. Pan, W. Li, X.M. Kang, J. Li, Y. Ning, M.X. Zhang and L.J. Cui. 2018. Hydrological conditions affect the interspecific interaction between two emergent wetland species. *Frontiers Plant Science* **8**: 2253.