

Original article

낙동강하구의 잘피(seagrass) 분포 현황

박정임¹ · 박희순^{2,3} · 배종일¹ · 김구연^{4,5,*}

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

Distribution of the Seagrass in the Nakdong River Estuary. Jung-Im Park¹ (0000-0002-2149-1940), Hee Sun Park^{2,3} (0000-0002-9649-5196), Jongil Bai¹ (0000-0002-2234-220X) and Gu-Yeon Kim^{4,5,*} (0000-0003-1071-0383) (¹Underwater Ecology Institute, Yeosu 59769, Republic of Korea; ²Department of Integrated Biological Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea; ³Nakdong Estuary Eco Center, Busan 49435, Republic of Korea; ⁴Department of Sciences Education, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea; ⁵Biodiversity Center, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea)

Abstract This study was conducted to investigate the current status of seagrass species in the Nakdong River estuary from May to June 2023. To survey the seagrass habitat area, the Nakdong River estuary was divided into seven zones. Aerial photography using drones was conducted to find seagrass areas, GPS tracking was carried out on foot in the intertidal zone and by boat and SCUBA diving in the subtidal zone. To analyze the seagrass status, we measured the morphological characteristics, shoot density, and biomass of representative seagrass species in each zone. Four seagrass species were found in this area: *Zostera japonica*, *Z. marina*, *Ruppia maritima*, and *Phyllospadix japonicus*. The distribution areas of each species was 338.2 ha, 92.9 ha, 0.9 ha, and 1.4 ha, respectively, with a total area of 432.5 ha. *Z. japonica* was widely distributed in most of the tidal flats and mudflats of the Nakdong River estuary, while *Z. marina* was restricted to Nulcha-do, Jinu-do, and Dadae-dong. *R. maritima* occurred within the habitat of *Z. japonica* in Eulsukdo and Myeongji mudflats, and *P. japonicus* inhabited rocky areas in Dadae-dong. The shoot density of each species was $4,575.8 \pm 338.3$ shoots m^{-2} , 244.8 ± 12.0 shoots m^{-2} , $11,302.1 \pm 290.0$ shoots m^{-2} , and 2862.5 ± 153.5 shoots m^{-2} , respectively. The biomass of each species was 239.7 ± 18.5 gDW m^{-2} , 362.3 ± 20.5 gDW m^{-2} , 33.3 ± 1.2 gDW m^{-2} , and $1,290.0 \pm 37.0$ gDW m^{-2} , respectively. The results of this study revealed that *Z. japonica* was dominant in the Nakdong River estuary. In particular, *Z. japonica* habitats of Eulsukdo, Daema-deung, and Myeongji mudflats were identified as the largest in Korea. The Nakdong River estuary is an important site of ecological, environmental, and economic value, and will require continuous investigation and management of the native seagrasses.

Key words: Nakdong River estuary, seagrass, *Zostera japonica*, *Z. marina*, *Phyllospadix japonicus*

서론

Manuscript received 14 August 2023, revised 5 September 2023,
revision accepted 6 September 2023
* Corresponding author: Tel: +82-55-249-2447, Fax: +82-505-999-2150
E-mail: kimguyeon@kyungnam.ac.kr

잘피(해초, seagrass)는 해수에 적응하여 살아가며 꽃을 피우고 종자를 생산하는 현화식물로 전 세계 연안이나 하구에

60여 종이 분포하고 있다(Larkum *et al.*, 2006). 우리나라 연안과 하구에는 총 9종의 잘피 즉, 거머리말(*Zostera marina*), 수거머리말(*Z. caulescens*), 왕거머리말(*Z. asiatica*), 포기 거머리말(*Z. caespitosa*), 애기거머리말(*Z. japonica*), 계바다말(*Phyllospadix japonicus*), 새우말(*P. iwatensis*), 해호말(*Halophila nipponica*)과 줄말(*Ruppia maritima*)이 서식하고 있음이 확인되었다(Lee and Lee, 2003; Kim *et al.*, 2009a). 잘피는 높은 일차생산성을 발휘하며 수중의 영양염을 제거하고 산소를 주위에 공급하며 부유물질을 침강시키고 퇴적물의 침식을 막아 수질을 정화한다(Ruiz-Frau *et al.*, 2017). 잘피 서식지는 다양한 어족자원들의 산란장, 치어의 생육지와 서식처, 조류들의 먹이를 제공하여 광범위한 생태계를 구성한다(Hemminga and Duarte, 2000). 또한, 잘피는 지구온난화로 인한 기후변화에 대응하기 위한 블루카본 자원으로 국제적으로 인정되어 해양의 탄소흡수원으로서 경제적 가치와 생태적 중요성이 재조명되고 있다(Lavery *et al.*, 2013; Oreska *et al.*, 2020).

잘피 서식지의 생태적, 경제적 가치가 인식되면서 잘피 서식지를 지키고 보호하려는 노력이 국내외에서 최근 더욱 가속화되고 있다. 잘피 서식지의 면적은 수십 년 전부터 우리나라뿐만 아니라 세계적으로도 감소하고 있는 추세로 보고되었다. 북미를 포함한 국외의 잘피 서식지 면적은 1960년 이후 해초질병(wasting disease), 폭풍, 부영양화와 해안공사 등의 요인으로 축소되어 세계자연연맹(IUCN)에서도 15종의 잘피를 보호종으로 지정하였다(Short *et al.*, 2011). 우리나라에서도 1970년대 이후 매립, 준설, 해안공사, 부영양화 등으로 잘피 서식지가 급격히 훼손되어 생태적, 경제적, 학술적 가치가 높은 6종의 잘피를 해양보호종으로 지정하여 관리하고 있으며, 서식지 보전과 복원을 위해 노력하고 있다(Park *et al.*, 2016, 2017, 2019).

잘피 서식지 보전과 관리를 위한 기본 자료로서는 현존량의 파악이 필수적이라 할 수 있다. 해양 침수식물인 잘피는 육상식물과 달리 저조 시를 제외하면 서식 면적을 파악하기 힘든 서식 환경에 살고 있다. 또한, 잘피는 수중광량, 수온, 영양염, 수심 등 다양한 환경에 따라 종, 서식 규모, 밀도, 형태적 특성과 생체량 등이 다르게 나타난다(Kirkman, 1996). 따라서, 잘피 서식현황을 조사하기 위해서는 다양한 서식환경을 고려하여 조사방법을 선정하여야 하며, 우선적으로 잘피 서식지 규모와 서식하는 수심에 따라 적절한 분포 조사 방법을 선택하게 된다. 일반적으로 잘피 서식지의 규모는 1 ha 미만, 1 ha~1 km², 1~100 km²와 100 km² 이상 4단계로 구분되고, 서식 수심은 조간대, 얇은 조하대(<10 m)와 깊은 조하대(>10 m)로 나뉘어진다(McKenzie *et al.*, 2001). 잘피 서식지의 다양한 조건에 따라 항공사진 촬영, 위성사진 분

석, 초경량 비행장치 무인멀티콥터(드론), 수중음향 탐사방법, 수중 비디오 장착 선박, 수중 드론(underwater Remotely Operated Vehicle) 등을 활용하여 잘피 서식지의 분포를 조사하며, 정확한 잘피 현황을 알기 위해서 조하대에서의 잠수 조사를 통한 관찰과 조간대에서의 현지 관찰을 통한 확인이 필수적이다(McKenzie *et al.*, 2001).

낙동강하구는 우리나라의 대표적 하구로 삼각주와 연안사구가 잘 형성되어 을숙도를 포함하여 맹금머리, 백합등, 신자도, 장자도, 대마등, 진우도 등의 사주와 넓은 갯벌을 포함하고 있다. 각 사주에는 다양한 해양성 식물이 분포하며, 갯벌에는 갯지렁이를 비롯한 저서무척추동물과 엽낭게, 말뚝게, 조개류 등 다양한 생물상을 가지는 건강한 하구생태계를 이루고 있어 법적 보호구역으로 지정되어 있으며 보전가치가 높은 곳이다(Kim *et al.*, 2005). 또한 이곳은 동아시아와 호주를 오가는 동양 최대의 철새도래지로 세계적으로도 중요한 지역으로 사주섬을 중심으로 그 기반이 되는 식생연구로 식물군락을 분류하였으나(Hong, 2004; Lee and Ahn, 2012), 해양성 침수식물인 잘피에 대한 조사 자료는 매우 미비하다. 본 연구는 낙동강하구에 생육하는 해양 현화식물인 잘피의 출현 양상과 분포 현황을 조사 보고하여 낙동강하구역 관리를 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개황

본 연구는 부산광역시 강서구와 사하구의 서낙동강과 낙동강하구를 대상으로 하고 있으며, 강서구의 눌차동, 송정동, 명지동 연안과 진우도, 대마등, 신자도와 장자도, 그리고 사하구의 다대동 연안을 포함한 을숙도, 맹금머리, 백합등과 도요등이 포함된다(Fig. 1). 조석주기는 반일주조이며, 조차는 평균 0.4~1.7 m이다(Kim and Ha, 2001). 낙동강하구는 과거 거머리말, 애기거머리말, 줄말과 새우말이 서식하였고 특히, 강서구 해역은 1980년대 전반까지 1,362 ha에 이르는 넓은 거머리말 서식지가 존재하여 이곳에 우점하는 잘피로 보고되었다(Chung and Choi, 1985). 그러나, 1980년대 후반부터 주거지역과 산업시설 확보를 위한 매립과 개발, 1987년 하구둑 건설 이후 담수화의 진행, 해류 흐름의 변화 등으로 연안환경이 변화하여 잘피 서식지가 훼손되었고, 2000년대 초반에 눌차도와 진우도 사이에 약 300 ha의 거머리말 서식지가 남아있는 것으로 보고되었다(Park *et al.*, 2009). 최근에는 을숙도, 대마등과 명지동 연안을 중심으로 애기거머리말이 빈번히 출현하고 있는 것으로 언급되었다(Kim *et al.*, 2005).

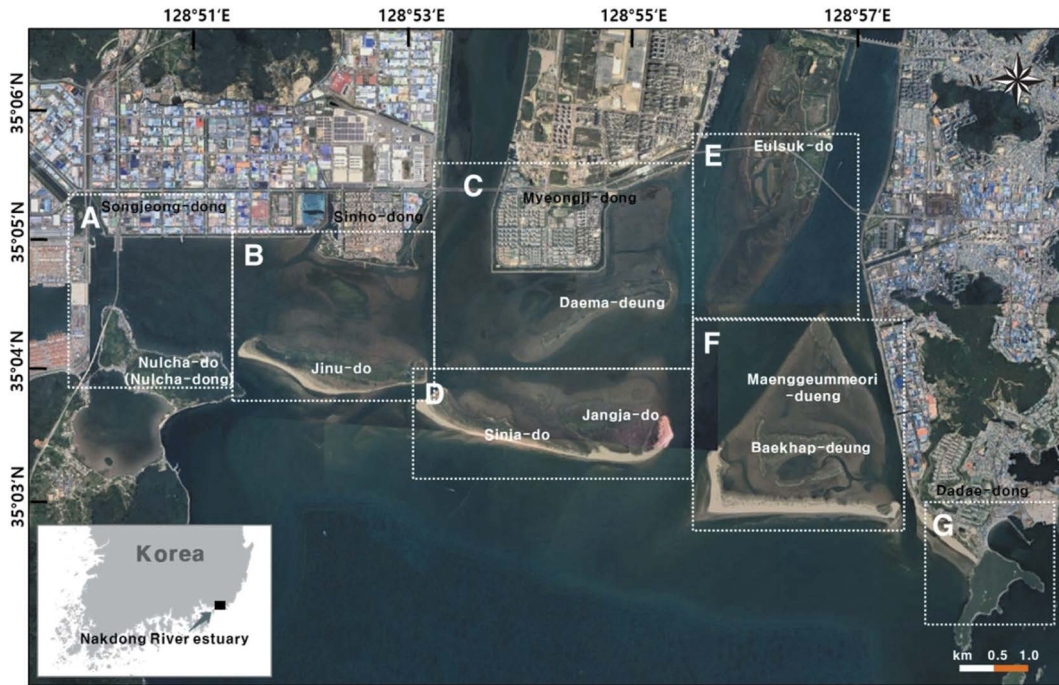


Fig. 1. Map showing the seagrass study areas in the Nakdong River estuary (A: Nulcha-do, Songjeong-dong; B: Jinu-do, Sinho-dong; C: Myeongji-dong, Daema-deung; D: Sinja-do, Jangja-do; E: Eulsuk-do; F: Maenggeummeori-deung, Baekhap-deung, Doyo-deung; G: Dadae-dong).

2. 잘피 분포 현황 및 종 확인

낙동강하구에 출현하는 잘피의 분포 현황을 조사하기 위해 지역 어촌계의 설문조사를 토대로 2023년 5~6월 5회에 걸쳐 드론 항공사진을 촬영하였다. 드론 촬영은 간조 시간대(가덕도 기준, 간조 수위 50 cm 이하)에 맞춰 초경량 비행장치 무인멀티콥터(Mavic 2 pro, DJI, China)를 활용하였으며, 중중복도와 횡중복도는 75%와 60%로 설계하여 해상도는 최대 11 cm의 영상을 촬영하였고, Agisoft Metashape Professional 1.7.3 (Geoscan group, Russian) 소프트웨어를 이용하여 지표면 높낮이로 발생하는 왜곡을 보정한 정사영상을 구축하였다(Kim and Kim, 2014).

애기거머리말과 줄말의 분포 현황을 조사하기 위해 구축된 정사영상을 기초로 2023년 5월 1회, 6월 4회에 걸쳐 간조시 GPS (Garmin COLORADO 300, Taiwan)를 소지한 후 도보로 현장조사를 수행하여 애기거머리말과 줄말 서식지의 경계를 확인하였고, GPS에 기록된 위도와 경도를 토대로 MapSource (Garmin, US) 프로그램을 이용하여 잘피 서식지의 면적을 확정하였다. 거머리말의 분포 현황을 조사하기 위해 드론 항공사진을 토대로 선박을 활용한 선상에서의 목시 조사와 잠수조사를 병행하여 경계면의 좌표를 획득하였으며, 게바다말의 분포 현황은 잠수조사자의 수중 확인으로 경계면을 이동하여 수면에 부유시킨 GPS 좌표를 활용하였다

(McKenzie *et al.*, 2001). 조사지역에서 채취한 잘피는 잘피 분류키(Larkum *et al.*, 2006)로 종을 확인하였다.

3. 형태, 밀도 및 생체량

잘피의 형태적 특성 조사는 6월에 10개체 이상을 채취하여 얼음이 채워진 쿨러에 보관한 후 실험실에서 잎의 수, 잎의 폭, 엽초의 길이 및 개체 길이 등을 측정하였다. 잎 수는 엽초 윗부분에 나타난 잎의 수를 계수하였고, 잎 폭(mm)은 잎의 가장 넓은 부위를 측정하였다. 엽초 길이(mm)는 생장점과 엽초의 길이, 개체 길이(cm)는 생장점으로부터 가장 긴 잎 선단까지의 길이를 측정하였다(Lee *et al.*, 2005a; Park *et al.*, 2016).

생육 밀도를 조사하기 위해 애기거머리말과 줄말은 지름 10 cm의 코어, 게바다말은 10 cm × 10 cm의 방형구, 거머리말은 20 cm × 20 cm의 방형구 내 포함된 영양지와 화지의 개체수를 측정하여 각 단위면적당 개체수(shoots m⁻²)로 환산하였다(n=8). 잘피의 생체량을 구하기 위해 방형구 내 잘피의 지상부와 지하부를 모두 채취하여 얼음이 채워진 쿨러에 보관하여 실험실로 이동하였다. 채취된 잘피의 부착생물 및 퇴적물 등을 제거하기 위해 담수로 세척한 후 지상부와 지하부로 분리하여 60°C에서 항량으로 될 때까지 48시간 건조한 후 각각의 건조량을 측정하였고(n=8), 이를 단위면적 당 생

체량(gDW m⁻²)으로 계산하였다(Lee *et al.*, 2005a; Kim *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2016, 2019).

4. 통계 분석

모든 측정치는 평균(mean)과 표준오차(SE)로 나타내었으며, 통계 분석은 SPSS 10.1 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 잘피 종별 형태적 특성, 생육밀도와 생체량 자료는 정규성(normality)과 등분산성(homogeneity of variance)을 검정한 후, 애기거머리말과 거머리말은 one-way ANOVA, 줄말은 *t*-test를 활용하여 조사 지역에 따른 유의성을 검증하였다. 변수 간 유의한 차이가 관찰되면 어느 부분에서 차이가 발생하였는지 판단하기 위해 Tukey 다중비교(alpha=0.05)를 사용하여 평균을 분석하였다.

결 과

1. 잘피 종과 분포 면적

본 조사지역인 낙동강하구에 생육하는 해양현화식물은 거머리말속(*Zostera* spp.), 새우말속(*Phyllospadix* spp.)과 줄말속(*Ruppia* spp.)의 3속 4종으로 확인되었으며, 잘피의 총 서식 면적은 432.5 ha로 나타났다. 거머리말(*Z. marina*)은 서낙동강하구 좌측과 다대동 연안의 수심 1~2.5 m의 조하대에 출현하였고, 애기거머리말(*Z. japonica*)은 서낙동강과 낙동강 본류 연안과 사주 갯벌의 조간대에 넓게 분포하였다. 게바다말(*P. japonicus*)은 다대동의 물운대 우측 암반해역 수심 1~3 m의 조하대에 자생하였고, 줄말(*R. maritima*)은 을숙도와 명지 갯벌의 애기거머리말 서식지 내 일부 출현하였다(Fig. 2).

애기거머리말은 을숙도(122.6 ha), 대마등(71.2 ha)과 명지갯벌(52.0 ha)에 넓게 이어진 초지 형태로 나타났고, 맹금머리등(59.4 ha), 진우도(15.9 ha), 신자도(7.8 ha), 백합등(5.1 ha), 장자도(3. ha)와 신호동(0.5 ha)에는 패치(patch) 형태로 자생하였다. 애기거머리말의 총 분포 면적은 338.2 ha로 낙동강하구에 자생하는 전체 잘피 서식지 면적의 78.2%를 차지하여 가장 넓게 분포하였다(Table 1, Fig. 2).

거머리말은 초지 형태로 넓게 이어져 가장 넓은 서식지인 놀차도 우측 연안(76.2 ha)에 분포하였으며, 다음으로 진우도 좌측(12.8 ha), 다대동 연안(2.5 ha), 송정동(1.4 ha)순이었다. 낙동강하구에 자생하는 거머리말 서식지 총 면적은 92.9 ha로 전체 잘피 서식지의 21.5%를 차지하였다. 다대동 물운대에 나타난 게바다말도 패치 형태로 출현하였으며 서식 면적은 1.4 ha로, 본 조사 잘피 면적의 0.3%에 해당되었다. 또

한, 을숙도와 명지 갯벌의 애기거머리말 서식지 내 출현한 줄말도 패치 형태로 총 0.9 ha의 면적으로 분포하고 있었으며, 이는 낙동강하구 전체 잘피 서식 면적의 0.2%에 해당되었다(Table 1, Fig. 2).

2. 잘피 종별 형태, 밀도와 생체량

잘피의 형태적 특성을 살펴보면 애기거머리말의 평균 잎수는 3.6±0.0개(*p*=0.836)로 조사 지역간 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 평균 잎 폭, 엽초 길이와 개체 길이는 각각 1.8±0.0 mm (*p*<0.05), 26.4±1.0 mm (*p*<0.01)와 24.8±0.3 cm (*p*<0.001)로 지역별 유의한 차이가 나타났다. 거머리말의 평균 잎 수는 5.1±0.1개(*p*=0.775)와 엽초 길이는 238.47±6.68 mm (*p*=0.107)로 지역별 차이가 유의하게 나타나지 않았으나, 평균 잎 폭과 개체 길이는 각각 11.0±0.2 mm (*p*<0.05)와 125.0±1.9 cm (*p*<0.05)로 지역별 유의한 차이가 나타났으며, 놀차도와 진우도의 개체가 다대동의 개체보다 컸다. 줄말의 평균 잎 수와 잎 폭은 각각 3.4±0.0개(*p*=1.0)와 0.7±0.0 mm (*p*=0.66), 엽초 폭과 개체 길이는 각각 11.2±0.3 mm (*p*=0.508)와 8.2±0.1 cm (*p*=0.549)로 두 지역 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다. 게바다말의 평균 잎 수와 잎 폭은 각각 4.3±0.2개와 2.0±0.0 mm, 엽초 폭과 개체 길이는 각각 124.5±1.6 mm와 61.6±1.4 cm로 나타났다(Fig. 3).

생육밀도를 살펴보면 애기거머리말은 모든 지역에서 화지가 출현하지 않았으며, 영양지의 평균 생육밀도는 4,575.8±338.3 shoots m⁻² (*p*<0.001)로 지역별로 유의한 차이가 나타났으며 을숙도에서 가장 높았고, 맹금머리등에서 가장 낮았다(Fig. 4A). 거머리말 영양지와 화지의 평균 생육밀도는 169.8±7.3 shoots m⁻² (*p*=0.09)와 75.0±7.3 shoots m⁻² (*p*=0.246)로 지역별로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Fig. 4B). 줄말 영양지와 화지의 평균 생육밀도는 각각 8,288.5±640.3 shoots m⁻² (*p*=0.638)와 3,073.5±350.4 shoots m⁻² (*p*=0.154)로 지역별로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Fig. 4C). 게바다말 영양지와 육수화서의 밀도는 각각 2,412.5±121.7 shoots m⁻²와 450.0±53.5 spadices m⁻²로 나타났다(Fig. 4D).

애기거머리말의 평균 지상부, 지하부와 총 생체량은 각각 176.3±15.6 gDW m⁻² (*p*<0.001), 63.3±3.3 gDW m⁻² (*p*<0.01), 239.7±18.5 gDW m⁻² (*p*<0.001)로 지역별로 유의한 차이가 나타났으며 을숙도에서 가장 높았고, 맹금머리등에서 가장 낮았다. 거머리말의 평균 지상부, 지하부와 총 생체량은 각각 279.6±16.9 gDW m⁻² (*p*<0.01)와 82.7±3.7 gDW m⁻² (*p*=0.082)과 362.3±20.5 gDW m⁻² (*p*<0.01)

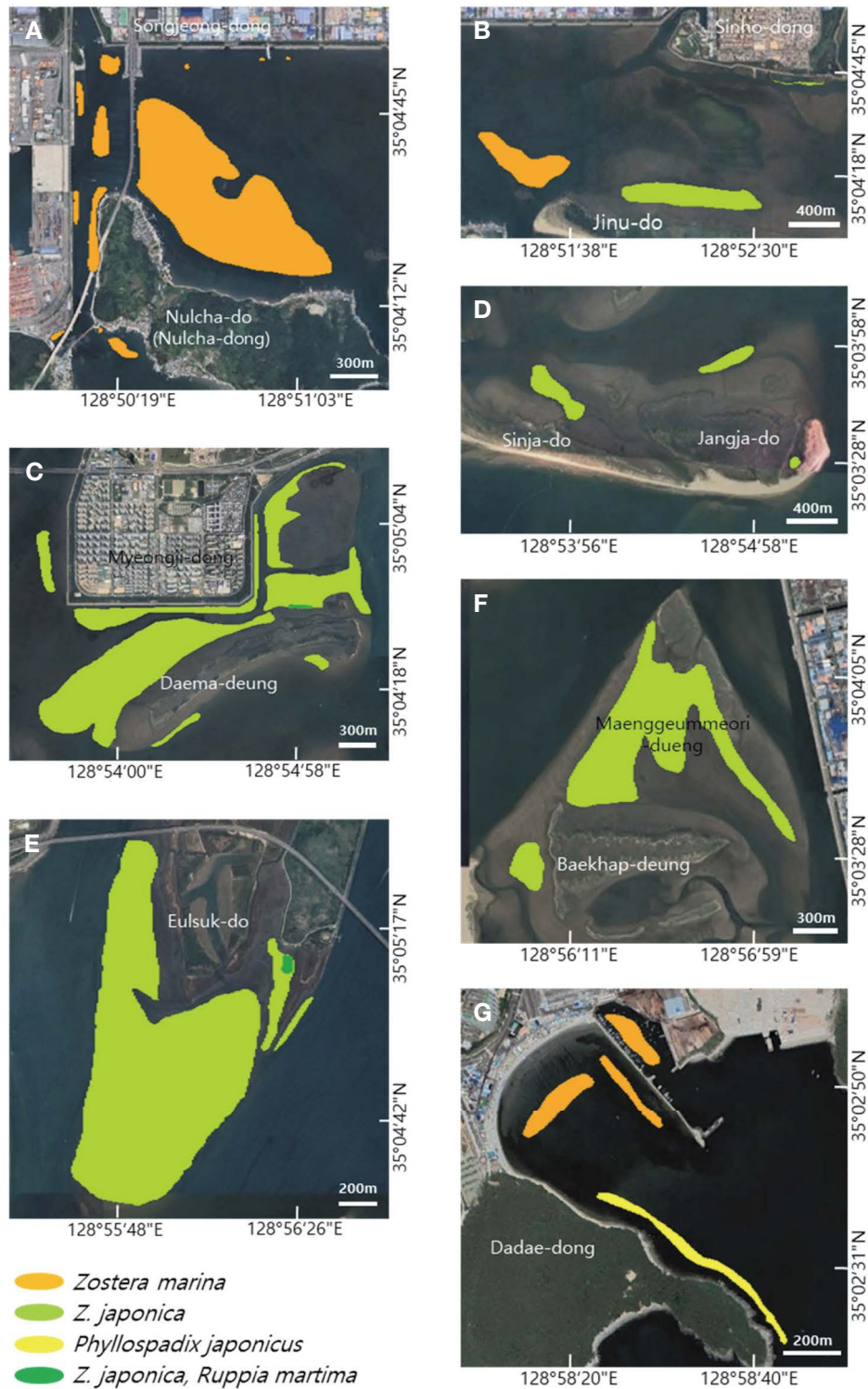


Fig. 2. Mapping of distributional areas of the seagrass species in the Nakdong River estuary.

로 지상부와 총 생체량은 지역별로 유의한 차이가 나타났으며 놀차동에서 가장 높았고, 대대동에서 가장 낮았다. 출말의 평균 지상부, 지하부와 총 생체량은 각각 26.8 ± 0.9 gDW

m^{-2} ($p=0.594$)와 6.5 ± 0.3 gDW m^{-2} ($p=0.592$)와 33.3 ± 1.2 gDW m^{-2} ($p=0.535$)로 지역 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 계바다말의 지상부와 지하부의 생체량은 각각

Table 1. Seagrass species, distributional area, morphology, density and biomass of the seagrasses occurred in the Nakdong River estuary.

Site	Geographical designation	Species	Area (ha)	Depth (Type of meadow)	Morphology				Density (shoots m ⁻²)		Biomass (g DW m ⁻²)		Total
					Number of leaves	Leaf width (mm)	Sheath length (mm)	Shoot height (cm)	Vegetative	Flowering	Above ground	Below ground	
A	Nulcha-dong Songjeong-dong	<i>Z. marina</i>	76.2	1~2.5 m (bed)	5.1±0.2	11.2±0.2	243.7±9.5	126.5±1.7	181.3±6.3	81.3±7.8	305.8±14.9	86.8±4.0	392.6±16.5
			1.4										
B	Jinu-do	<i>Z. marina</i>	12.8	1~2.5 m (bed)	5.2±0.2	11.2±0.2	246.5±5.9	127.3±1.4	171.9±7.4	78.1±7.4	285.1±10.2	85.9±3.5	371.1±12.8
		<i>Z. japonica</i>	15.9										
		<i>Z. japonica</i>	0.5	Intertidal (patch)	3.4±0.2	1.8±0.0	27.6±1.5	24.9±0.6	4,777.5±261.5	ND	185.4±9.6	64.6±2.9	250.0±11.3
C	Myeongji-dong	<i>Z. japonica</i>	52.0	Intertidal (bed)	3.6±0.2	1.9±0.0	28.0±1.5	25.2±1.0	5,032.3±233.3	ND	205.4±11.0	67.7±4.8	273.1±11.8
		<i>R. maritima</i>	0.4	Intertidal (patch)	3.4±0.2	0.7±0.0	10.9±0.5	8.1±0.4	7,588.2±1708.8	3,423.9±324.3	25.9±2.2	6.2±0.8	32.1±2.9
		<i>Z. japonica</i>	71.2	Intertidal (bed)	3.5±0.2	1.9±0.0	27.5±1.3	25.3±0.7	5,223.4±146.5	ND	199.2±12.5	64.6±3.4	263.8±14.4
D	Sinja-do Jangja-do	<i>Z. japonica</i>	7.8	Intertidal (patch)	3.7±0.2	1.8±0.0	22.6±1.0	23.9±0.8	3,790.2±171.5	ND	135.1±6.4	61.0±4.4	196.1±10.4
		<i>Z. japonica</i>	3.7										
E	Eulsuk-do	<i>Z. japonica</i>	122.6	Intertidal (bed)	3.6±0.2	1.9±0.0	28.8±1.4	25.8±0.8	5,139.0±184.5	ND	210.7±13.4	72.9±3.0	283.6±15.8
		<i>R. maritima</i>	0.5	Intertidal (patch)	3.4±0.2	0.7±0.0	11.4±0.6	8.3±0.2	8,868.8±2038.5	2,723.2±332.7	27.8±2.5	6.8±0.7	34.5±2.4
F	Maenggeummeori Baekhap-deung	<i>Z. japonica</i>	59.4	Intertidal (patch)	3.5±0.2	1.7±0.1	23.7±0.9	23.8±0.6	3,312.4±0.9	23.7±0.9	122.2±7.1	49.1±4.5	171.3±11.0
		<i>Z. japonica</i>	5.1										
G	Dadae-dong	<i>Z. marina</i>	2.5	1~2.5 m (bed)	5.0±0.2	10.6±0.2	225.2±6.3	121.3±1.9	156.3±9.1	65.6±4.6	247.9±7.3	75.4±3.8	323.3±10.6
		<i>P. japonicus</i>	1.4	1~3 m (patch)	4.3±0.2	2.0±0.0	124.5±1.6	61.6±1.4	2,412.5±121.7	450.0±53.5	1,039.2±3.8	250.9±7.1	1,290.0±37.0

Depth was expressed as MSL (mean sea level). ND means not found

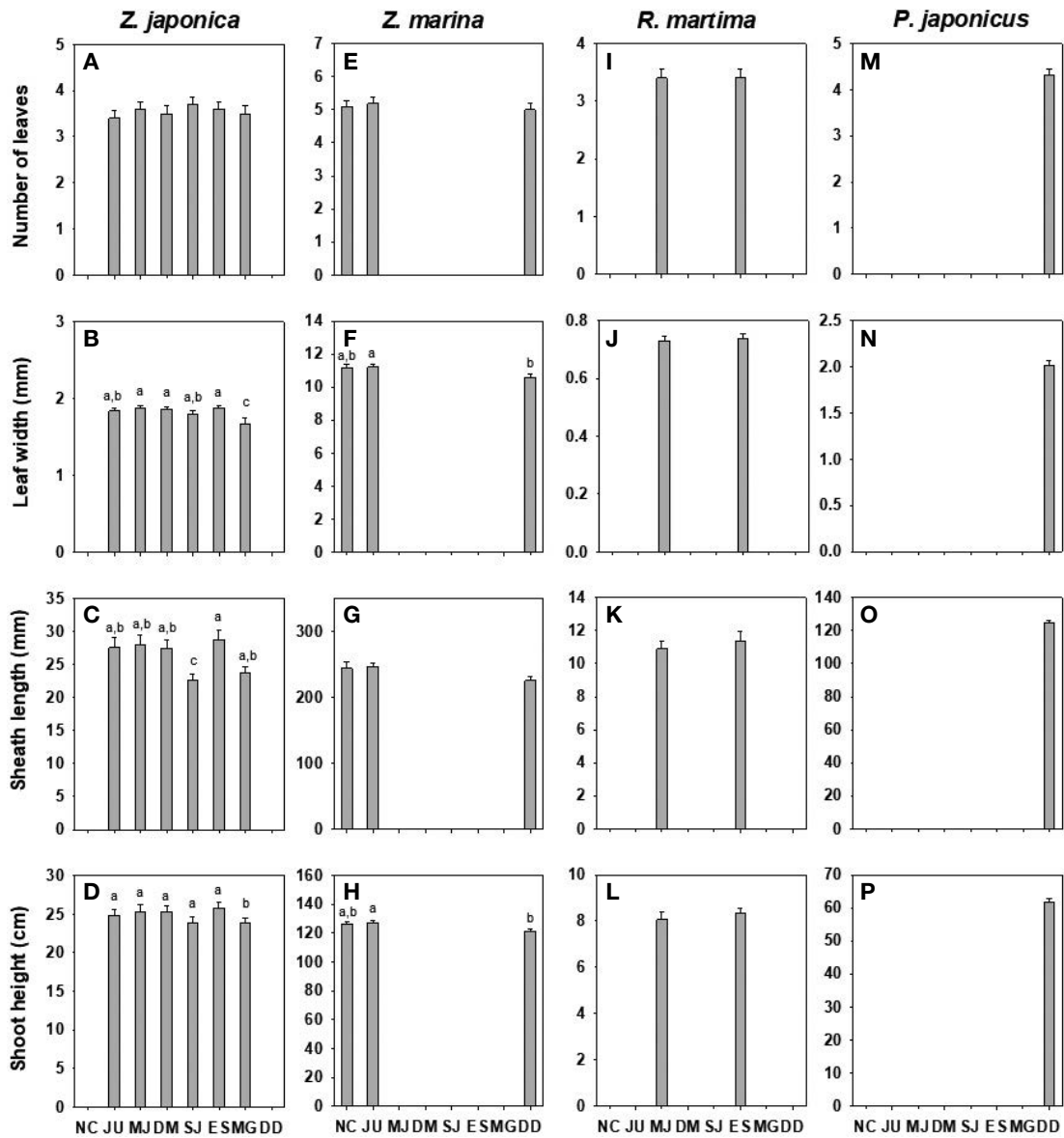


Fig. 3. Morphological characteristics of the seagrass species occurred at the study sites in the Nakdong River estuary. Numbers of leaves (A, E, I, M), leaf width (B, F, J, N), sheath length (C, G, K, O), and shoot height (D, H, L, P). NC (Nulcha-do), JU (Jinu-do), MJ (Myeongji-dong), DM (Daema-deung), SJ (Sinja-do), ES (Eulsuk-do), MG (Maenggeummeori-deung), DD (Dadae-dong).

1,039.2 ± 33.8 gDW m⁻²와 250.9 ± 7.1 gDW m⁻²였고, 총 생체량은 1,290.0 ± 37.0 gDW m⁻²였다(Fig. 5).

고찰

낙동강하구에는 애기거머리말, 거머리말, 줄말과 게바다말이 생육하고 있는 것으로 확인되었으며, 총 서식 면적은 432.5 ha로 나타났다. 애기거머리말은 서낙동강하구에 위

치한 진우도부터 낙동강 본류의 하구에 위치한 백합등까지 전체 낙동강하구 사주와 갯벌의 조건대에 넓게 출현하였으며, 총 서식 면적은 338.2 ha로 낙동강하구 잘피 서식지의 78.2%를 차지하고 있었다. 특히, 을숙도, 대마등과 명지 갯벌의 애기거머리말 면적은 각각 122.6 ha, 71.2 ha, 52.0 ha로 기존의 국내에서 보고된 애기거머리말 면적 규모(< 1 ha)보다 월등히 넓은 서식 면적을 보유하고 있다(Kim *et al.*, 2009b, 2010; Ok *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2016). 또한, 애기거머리말의 평균 생육밀도는 4,575.2 shoots m⁻²로 전남 득량만(8,200

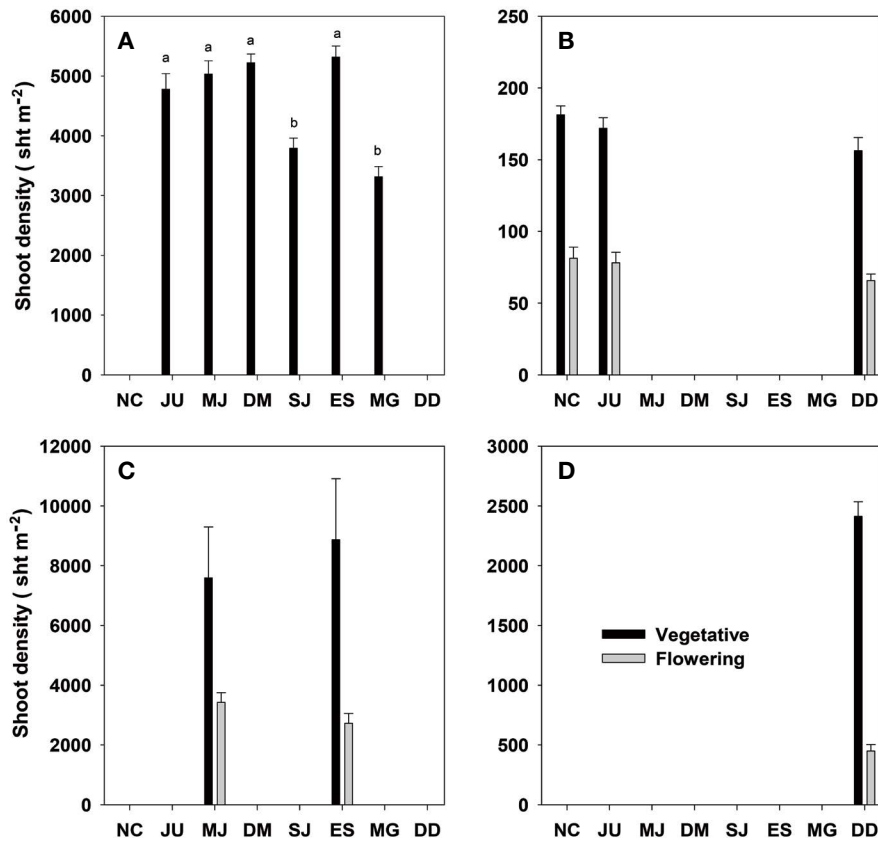


Fig. 4. Shoot density of the seagrasses occurred at the study sites in the Nakdong River estuary. *Zostera japonica* (A), *Z. marina* (B), *Ruppia maritima* (C), and *Phyllospadix japonicus* (D).

shoots m^{-2})보다는 낮았으나, 경남 거제도 거제만(4,490 shoots m^{-2})과 인천시 옹진군 승봉도(4,500 shoots m^{-2})와 유사하였다. 평균 생체량(239.7 gDW m^{-2})은 득량만(320~370 gDW m^{-2})보다는 낮았지만, 거제만이나 승봉도(320 gDW m^{-2})와 유사하였다(Lee *et al.*, 2005b; Kim *et al.*, 2009b; Park *et al.*, 2011). 낙동강하구 애기거머리말의 화지가 출현하지 않은 것은 7월 이후 화지가 발생하는 승봉도의 애기거머리말의 생식주기와 유사한 것으로 보인다(Lee *et al.*, 2005). 애기거머리말은 환경 변화에 빠르게 적응하는 기회종으로 서식지 환경이 변화하거나 인위적으로 훼손되더라도 빠르게 적응하여 회복하는 생존능력을 보유하고 있다(Park *et al.*, 2011). 최근 십여 년 전부터 율속도와 명지 갯벌을 중심으로 애기거머리말의 출현이 알려지기 시작했으나, 그 전체적인 서식 면적과 출현 현황에 대한 조사는 거의 이루어지지 못하였다(Kim *et al.*, 2005). 본 조사로 거대한 애기거머리말 서식지의 존재가 밝혀졌고, 서식 면적도 증가하고 있는 추세로 이곳의 애기거머리말은 낙동강하구의 환경에 잘 적응하고 있는 것으로 추측된다.

거머리말은 서낙동강하구에 위치한 놀차도, 송정동과 진우도 좌측과 낙동강 본류 우측에 위치한 다대연안 조하대에 출현하였으며, 총 서식 면적은 92.9 ha로 낙동강하구 잘피 서식지의 21.5%를 차지하였다. 거머리말의 평균 생육밀도는 244.8 shoots m^{-2} 로 섬진강 하구(232 shoots m^{-2})나 동대만(231~271 shoots m^{-2})의 거머리말 서식지와 유사하였고, 거제도 다대만(180 shoots m^{-2})보다는 높았다(Lee *et al.*, 2006; Kwak and Huh, 2009; Kim *et al.*, 2010). 거머리말의 생체량(362.3 gDW m^{-2})은 섬진강 하구(174 gDW m^{-2}), 거제도 다대만(190 gDW m^{-2})보다 높았고, 동대만(436 gDW m^{-2})보다는 낮았다. 본 조사로 이곳 거머리말의 생육밀도와 생체량은 20여 년 전(각각 179 shoots m^{-2} , 126 gDW m^{-2})보다 증가하였고, 놀차도와 진우도가 포함된 서낙동강하구의 거머리말 서식 면적도 약 3배 이상 증가한 것으로 나타났다(Park *et al.*, 2009). 또한, 대규모 매립지 인근에 위치하여 2000년대까지 거머리말이 관찰되지 않았던 송정동 일원에도 소규모 거머리말 군락지들이 형성되었음이 확인되어 낙동강하구의 거머리말 서식지는 회복이 진행 중인 것으로 보인다.

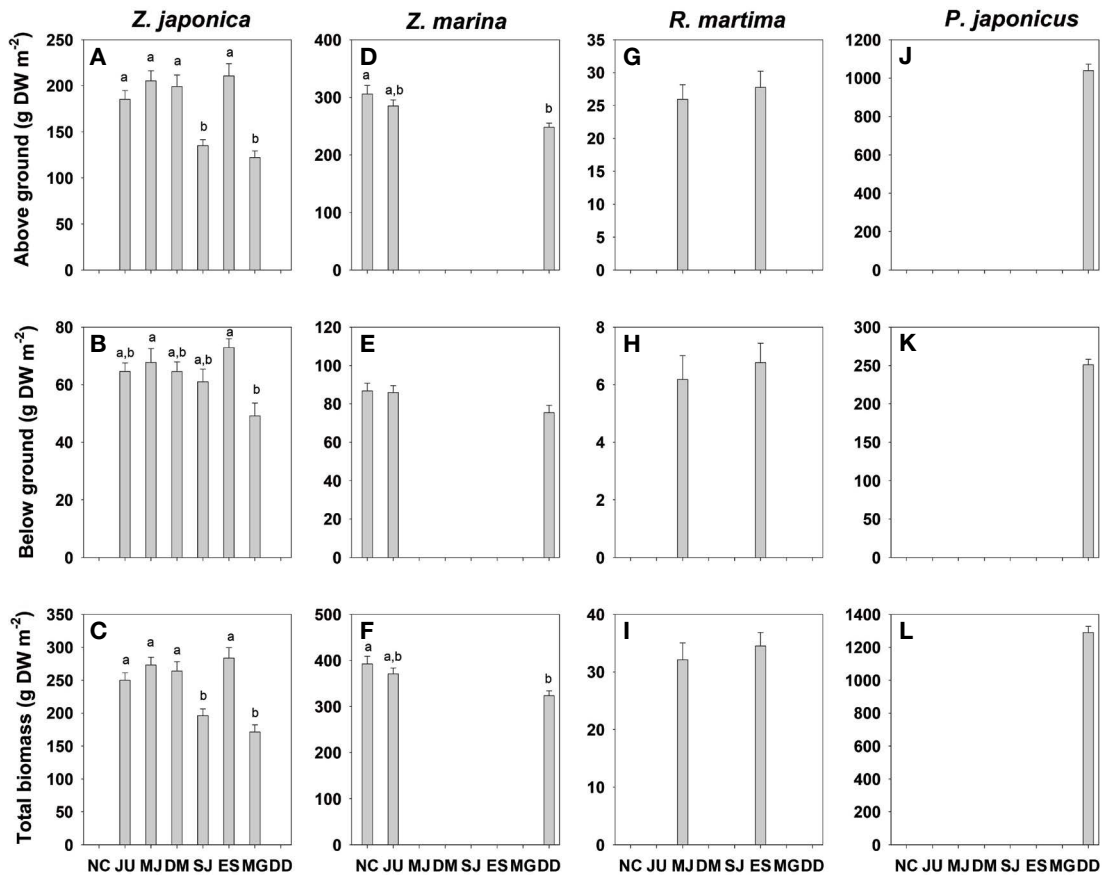


Fig. 5. Above ground biomass (A, D, G, J), below ground biomass (B, E, H, K) and total biomass (C, F, I, L) of *Z. japonica*, *Z. marina*, *R. martima* and *P. japonicus* at the study sites in the Nakdong River estuary.

줄말은 북반구와 남반구에 걸쳐 유일하게 전 세계적으로 나타나며 기수해역에 서식하는 잘피이다(Larkum *et al.*, 2006). 본 조사 결과 줄말은 을숙도 중부와 명지 갯벌의 애기 거머리말 서식지 내에 패치를 이루며 출현하였고, 총 서식 면적은 0.9 ha로 이곳 잘피 서식지의 0.2%에 불과하였다. 줄말의 평균 생육밀도는 11,302.1 shoots m⁻²로 높았으나, 왜소한 형태로 생체량은 33.2 gDW m⁻²로 비교적 낮게 조사되었다. 낙동강하구 줄말의 생육밀도와 생체량은 미국 남부 텍사스 연안과 루이지아나 줄말 서식지의 생육밀도(40,000~50,000 shoots m⁻²)와 생체량(50~489 gDW m⁻²)보다 현저히 낮게 나타났으나(Dunton, 1990; Cho and Poirrier, 2005), 국내 자생하는 줄말의 분포나 생태에 대한 자료가 전무하여 국내 줄말에 대한 비교는 어려운 상황이다. 줄말도 애기거머리말과 유사한 기회종으로 생육에 적합한 서식환경에 노출되면 빠르게 성장하거나 번식할 수 있으므로(Cho and Poirrier, 2005) 지속적인 관찰이 필요하다.

계바다말은 파도가 심하고 조류가 빠른 해역의 암반에 서

식하는 잘피로, 남해안과 서해안에도 출현하지만 주로 우리나라 동해안에 넓은 군락지를 이루며 나타난다. 본 조사 시 계바다말은 다대동 몰운대 우측 암반해역의 0.5~3 m의 수심에 패치 형태로 위치하며 해안을 따라 1.4 ha의 면적으로 분포하였고, 이는 낙동강하구 잘피 서식지의 0.3%에 해당되었다. 이곳 계바다말의 평균 생육밀도는 2,862.5 shoots m⁻²로 기장군 일광(878 shoots m⁻²)보다 높고, 포항시 삼정(3,479 shoots m⁻²)보다는 낮았으며, 독도(2,723 shoots m⁻²)에 자생하는 계바다말과 유사하였다. 또한, 계바다말의 생체량 1,290 gDW m⁻² 또한 일광(699 gDW m⁻²)보다는 높고, 삼정(1,687 gDW m⁻²)보다는 낮았다(Park and Lee, 2009; Park *et al.*, 2017, 2019).

낙동강하구는 우리나라 남해안의 대표적인 강어귀이자, 육수와 해수가 혼합되어 해양환경의 변화가 극심하게 발생하는 역동적인 곳이며 생태적, 환경적, 학술적, 경제적 가치가 높은 중요한 곳으로 천연기념물, 연안오염특별관리해역, 자연환경보전지역, 습지보호지역으로 지정된 곳이다. 1980년

대 중반까지 가덕도 북쪽, 눌차동, 명지동과 맹금머리동 북쪽 연안에는 1,362 ha에 이르는 거머리말 서식지가 존재하였으나(Chung and Choi, 1985), 매립, 해안공사, 하구둑 건설 등으로 대부분이 훼손되었다. 본 조사로 이곳에는 4종의 잘피가 432.5 ha의 면적으로 생육하고 있으며, 각 종의 서식 면적은 애기거머리말(338.2 ha) > 거머리말(92.9 ha) > 게바다말(1.4 ha) > 줄말(0.9 ha)로 나타났다. 과거 대규모 개발이 진행되기 전 이곳은 얕은 수심의 조하대에 거머리말이 대규모로 서식하는 곳이었지만, 현재는 환경 변화에 적응이 빠른 애기거머리말이 사주와 갯벌의 조간대에 넓게 생육하고 있다. 특히, 을숙도, 대마등과 명지 갯벌의 애기거머리말 서식지는 지금까지 보고된 애기거머리말 서식지보다 월등히 넓은 면적으로 나타나 국내 최대 규모의 애기거머리말 서식지가 형성되었음을 확인하였다. 본 조사는 낙동강하구 잘피자원의 관리를 위한 기초 자료를 제공하며, 낙동강하구생태계의 건강성과 종다양성을 유지하고, 기후변화 대응을 위한 이산화탄소 흡수원으로 공인되는 잘피자원을 보전하고 복원하기 위한 지속적인 관찰과 연구에 중요한 자료로 활용될 것으로 기대한다.

적 요

본 연구는 2023년 5~6월 낙동강하구에 생육하는 잘피 분포 현황을 조사하기 위해 실시하였다. 잘피 서식 면적을 조사하기 위해 낙동강하구를 7개 구역으로 구분하여 드론을 이용한 항공촬영을 실시하여 잘피 서식을 확인한 후 조간대에서는 도보로, 조하대에서는 선박 및 잠수조사로 GPS 트래킹을 실시하였다. 잘피 현황을 분석하기 위해 각 구역에 대표적으로 출현하는 잘피의 종별 형태적 특성, 생육밀도와 생체량을 측정하였다. 낙동강하구에는 애기거머리말, 거머리말, 줄말과 게바다말이 출현하였고, 각 종의 분포 면적은 각각 338.2 ha, 92.9 ha, 0.9 ha와 1.4 ha로 총 잘피 서식지 면적은 432.5 ha로 조사되었다. 애기거머리말은 낙동강하구 대부분의 사주와 갯벌에 넓게 분포하였고, 거머리말은 눌차도, 진우도와 다대동에 서식하였다. 줄말은 을숙도와 명지갯벌의 애기거머리말 서식지 내에 출현하였고, 게바다말은 다대동의 암반에 생육하였다. 애기거머리말, 거머리말, 줄말과 게바다말의 생육 밀도는 각각 $4,575.8 \pm 338.3$ shoots m^{-2} , 244.8 ± 12.0 shoots m^{-2} , $11,302.1 \pm 290.0$ shoots m^{-2} 와, $2,862.5 \pm 153.5$ shoots m^{-2} 였다. 생체량은 각각 239.7 ± 18.5 gDW m^{-2} , 362.3 ± 20.5 gDW m^{-2} , 33.3 ± 1.2 gDW m^{-2} 와, $1,290.0 \pm 37.0$ gDW m^{-2} 였다. 본 연구 결과 낙동강하구에는 애기거머리말이 우점하였고, 특히, 을숙도, 대마등과 명지갯벌의 애기거머리말 서식지는 국내 최대 규모로 형성되었음을 알 수 있었다. 낙동강하

구는 생태적, 환경적, 경제적 가치가 높은 중요한 곳으로, 이곳에 생육하는 잘피의 지속적인 조사와 관리가 필요하다.

저자정보 박정임(수중생태기술연구소 생태팀 책임연구원), 박희순(부산대학교 생명시스템학과 박사수료, 낙동강하구에코센터 전신교육팀 주무관), 배종일(수중생태기술연구소 소장), 김구연(경남대학교 과학교육과 부교수, 경남대학교 생물다양성센터 센터장)

저자기여도 연구설계: 김구연, 박정임, 박희순, 자료수집 및 분석: 박정임, 배종일, 원고작성: 박정임, 원고편집 및 검토: 김구연, 연구비 수주: 김구연

이해관계 본 논문에는 이해관계 충돌의 여지가 없음.

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

REFERENCES

- Cho, H.J. and M.A. Poirrier. 2005. Seasonal growth and reproduction of *Ruppia maritima* L. s.l. in Lake Pontchartrain, Louisiana, USA. *Aquatic Botany* **81**: 37-49.
- Chung, Y.H. and H.K. Choi. 1985. Flora and standing stock of vascular hydrophytes from the water course of Nakdong River. *Korean Journal of Environmental Biology* **3**: 29-44.
- Dunton, K.H. 1990. Production ecology of *Ruppia maritima* L. s.l. and *Halodule wrightii* Aschers. in two subtropical estuaries. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **143**: 147-164.
- Hemminga, M.A. and C.M. Duarte. 2000. *Seagrass Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 298pp.
- Hong, S.B. 2004. Regional characteristics of bird in Nakdong estuary. *Korean Journal of Ornithology* **11**: 55-70 (in Korean with English abstract).
- Kim, G.-Y. and J.Y. Kim. 2014. Standing crop distribution of aquatic plants in the Weat Nakdong River and Riparian wetlands in the Nakdong River. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**: 62-69 (in Korean with English 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, J.B., J.-I. Park and K.-S. Lee. 2009b. Seagrass distribution in Deukryang bay. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **42**: 509-517 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.B., J.-I. Park, C.-S. Jung, P.-Y. Lee and K.-S. Lee. 2009a. Distributional range extension of the seagrass *Halophila*

- nipponica* into coastal waters off the Korean peninsula. *Aquatic Botany* **90**: 269-272.
- Kim, J.B., J.-I. Park, W.-J. Choi, J.S. Lee and K.-S. Lee. 2010. Spatial distribution and ecological characteristics of *Zostera marina* and *Zostera japonica* in the Seomjin Estuary. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **43**: 351-361 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., S.H. Kim, Y.K. Kim, J.-I. Park and K.-S. Lee. 2016. Growth dynamics of the seagrass *Zostera japonica* at its upper and lower distributional limits in the intertidal zone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **175**: 1-9.
- Kim, S.Y. and J.S. Ha. 2001. Sedimentary facies and environmental changes of the Nakdong River estuary and adjacent coastal area. *Journal of Korean Fisheries Society* **34**: 268-278 (in Korean with English abstract).
- Kirkman, H. 1996. Baseline and monitoring methods for seagrass meadows. *Journal of Environmental Management* **47**: 191-201.
- Kwak, S.N. and S.H. Huh. 2009. Seasonal variation in the biomass of eelgrass (*Zostera marina*) and epiphytic algae in two eelgrass beds around Namhae island in Korea. *Fisheries and Aquatic Sciences* **12**: 219-226.
- Larkum, A.W.D., R.J. Orth and C.M. Duarte. 2006. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation, Springer, The Netherlands, 691pp.
- Lavery, P.S., M.A. Mateo, O. Serrano and M. Rozaimi. 2013. Variability in the carbon storage of seagrass habitats and its implications for global estimates of Blue Carbon ecosystem service. *PLoS One* **8**: e73748.
- Lee, K.-S. and S.-Y. Lee. 2003. The seagrasses of the Republic of Korea. p. 193-198. *In*: World atlas of seagrasses: present status and future conservation (Green, E.P., F.T. Short, M.D. Spalding, eds). University of California Press, Berkeley.
- Lee, K.-S., S.R. Park and J.B. Kim. 2005a. Production dynamics of the eelgrass, *Zostera marina* in two bay systems on the south coast of the Korean peninsula. *Marine Biology* **147**: 1091-1108.
- Lee, S.Y., J.B., Kim and S.M. Lee. 2006. Temporal dynamics of subtidal *Zostera marina* and intertidal *Zostera japonica* on the southern coast of Korea. *Marine Ecology* **27**: 133-144.
- Lee, S.Y., J.H. Oh, C.I. Choi, Y. Suh and H. Mukai. 2005b. Leaf growth and population dynamics of intertidal *Zostera japonica* on the western coast of Korea. *Aquatic Botany* **83**: 263-280.
- Lee, Y.K. and K.-H. Ahn. 2012. Actual vegetation and vegetation structure at the coastal sand bars in the Nakdong estuary, South Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* **26**: 911-922 (in Korean with English abstract).
- Mckenzie, L.J., M.A. Finkbeiner and H. Kirkman. 2001. Methods for mapping seagrass distribution. p. 101-121. *In*: Global Seagrass Research Methods (Short, F.T. and R.G. Coles, eds.). Elsevier, Amsterdam,
- Ok, J.S., S.Y. Lee, K.H. Shin and Kim, H.J. 2013. Seasonal variation characteristics of *Zostera marina* L. in Haenam Sagumi on the southern coast of Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* **46**: 513-523 (in Korean with English abstract).
- Oreska, M.P.J., K.J. McGlathery, L.R. Aoki, A.C. Berger, P. Berg and L. Mullins. 2020. The greenhouse gas offset potential from seagrass restoration. *Scientific Reports* **10**: 7325.
- Park, J.I. and K.-S. Lee. 2009. Peculiar growth dynamics of the surfgrass *Phyllospadix japonicus* on the southeastern coast of Korea. *Marine Biology* **156**: 2221-2233.
- Park, J.-I., J.-H. Kim and S.H. Park. 2016. Growth dynamics of the deep-water Asian eelgrass, *Zostera asiatica*, in the eastern coastal waters of Korea. *Ocean Science Journal* **51**: 613-625.
- Park, J.-I., J.-H. Kim and Y.G. Kim. 2017. Seagrasses of Dokdo, East Sea, Korea. *The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography* **22**: 199-204.
- Park, J.-I., J.H. Kim, J.-H. Kim and M.S. Kim. 2019. Growth dynamics of the surfgrass, *Phyllospadix japonicus* on the southeastern coast of Korea. *The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography* **24**: 548-561, (in Korean with English abstract).
- Park, S.R., J.-H. Kim, C.-K. Kang, S. An, I.K. Chung, J.H. Kim, and K.-S. Lee. 2009. Current status and ecological roles of *Zostera marina* after recovery from large-scale reclamation in the Nakdong River estuary, Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **81**: 38-48.
- Park, S.R., Y.K. Kim, J.-H. Kim, C.-K. Kang and K.-S. Lee. 2011. Rapid recovery of the intertidal seagrass *Zostera japonica* following intense Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) harvesting activity in Korea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **407**: 275-283.
- Ruiz-Frau, A., S. Gelcich, I.E. Hendriks, C.M. Duarte and N. Marbà. 2017. Current state of seagrass ecosystem services: Research and policy integration. *Ocean and Coastal Management* **149**: 107-115.
- Short, F.T., B. Polidoro, S.R. Livingstone, K.E. Carpenter and others. 2011. Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation* **144**: 1961-1971.