

섬진강 하구에 자생하는 갈피의 분포 현황 및 생태적 특성

김정배·박정임^{1*}·최우정·이재성·이근섭¹
국립수산과학원 어장환경과, ¹부산대학교 생물학과

Spatial Distribution and Ecological Characteristics of *Zostera marina* and *Zostera japonica* in the Seomjin Estuary

Jeong Bae Kim, Jung-Im Park^{1*}, Woo-Jeung Choi,
Jae Seong Lee and Kun-Seop Lee¹

Marine Environment Research Division, National Fisheries Research and
Development Institute, Busan 619-705, Korea

¹Department of Biology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Among common estuarine submerged plants, seagrasses are the most extensively studied due to their ecological importance in estuarine ecosystems. Seagrass meadows are important biological habitats for a wide variety of marine animals and plants. They are a source of organic carbon for commercially important animals. Furthermore, seagrasses act as nutrient filters in estuarine and coastal marine ecosystems. As such, mapping the distribution of seagrass beds is important for management and conservation strategies. In order to survey the seagrass distribution within the Seomjin Estuary, We directly observed seagrass beds in Kwangyang and Hadong using SCUBA. The distribution area, species composition, morphology, density, biomass and productivity of seagrass meadows were examined. Seagrass meadows were distributed in the intertidal and subtidal zones of the Galsa tidal flats, and in the subtidal zone of the neighboring POSCO area. Patches of *Zostera japonica* was found at patches at the Galsa tidal flats intermediate point. The total estimated seagrass distribution area of the Seomjin Estuary was 1.84 km². Of the total, 1.83 km² was *Zostera marina* (eelgrass) and 0.01 km² was *Zostera japonica* (dwarf eelgrass). *Zostera japonica* was found in intertidal zones. *Zostera marina* was found from the intertidal to subtidal zones at a 2 m mean sea level (MSL) depth. The leaf productivity of *Zostera marina* was 4.47g DW m⁻² day⁻¹. The annual production of eelgrass was 1,632 g DW m⁻² yr⁻¹, which corresponds to 731g C m⁻² yr⁻¹. The total production of eelgrass was 3,002 tons DW yr⁻¹, which corresponds to 1,343 tons C yr⁻¹.

Key words: Seagrass, *Zostera marina*, *Zostera japonica*, Distribution area, Seomjin Estuary

서 론

갈피는 해양성 및 기수성 수생관속 식물로 연안 및 하구 생태계에서 중요한 역할을 하고 있다. 형태학적으로 잎, 줄기 및 뿌리의 구분이 명확하고, 판다발 조직이 잘 발달되어 있으며, 지하경과 뿌리로서 바닥에 고착하여 조간대에서 조하대까지 출현한다 (den Hartog, 1970). 전 세계적으로 분포하는 갈피는 60여종, 우리나라는 9종의 갈피가 자생하고 있는 것으로 보고되고 있다 (den Hartog, 1970; Lee and Lee, 2003; Kim et al., 2009a).

연안에서 갈피숲은 다양하고 복잡한 생태계를 구성하며, 연안 및 하구 생태계에서 중요한 기능과 역할을 담당한다 (Zieman and Wetzel, 1980). 갈피숲의 역할은 초식동물의 직접적인 먹이원이 되기도 하며, 미생물에 의해 분해된 갈피의 유기체설물이 연안 생태계 먹이망의 중요한 구성요소가 된다 (Thresher et al., 1992). 또한 갈피 자생지는 경제적 가치가 높은 다양한 어족 자원의 유어 및 자치어들의 보육장 (nursery

ground) 및 산란장으로 이용된다 (Hovel et al., 2002; Kim et al., 2009c).

기존의 갈피 연구가 갈피의 분류와 생태적 기능은 많이 연구된 반면, 갈피의 분포면적에 대한 실측을 통한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 이는 대부분의 갈피가 조하대에 서식하는 침수식물이므로 일부 저조시를 제외하면 육안으로 정확한 서식면적을 측정하기 힘들기 때문이다. 세계 연안의 갈피 분포 면적은 164,000 km²로 추정되고 (Spalding et al., 2003), 우리나라 연안은 55~70 km²의 갈피 자생지를 추정하고 있으나 (Lee and Lee, 2003), 지금까지 우리 연안의 갈피 자생지 면적이 연구된 경우는 많지 않다 (Kang et al., 2006; Kim et al., 2008a; Kim et al., 2009b). 연안 및 하구에서 갈피 자생지는 중요한 생태적 역할을 수행하므로 연안 및 하구의 관리 측면에서도 갈피 자생지의 정확한 분포면적에 대한 조사는 필수적이라 할 수 있다 (Komatsu et al., 2003).

수생식물의 분포 조사는 항공촬영, 수중음향탐사방법, GPS (global positioning system), 위성촬영, 수중 비디오 촬영 기법

*Corresponding author: jip@pusan.ac.kr

등이 활용되고 있다. 조간대 조사는 항공촬영과 위성촬영이 사용된다 (McKenzie et al., 2001). 일부 연구에서 수중음향탐사방법을 사용하여 잘피의 밀도나 형태적 특성을 조사하나 (Kang et al., 2006; Kim et al., 2008a), 해조류와 구분이 명확하지 않을 수 있고, 탁도가 심한 곳에서는 적용이 쉽지 않은 단점이 있다 (McKenzie et al., 2001). 섬진강 하구의 기능은 크게 수산자원의 산란장과 서식지, 조류 및 야생동물의 서식지, 수질정화, 여가 및 심미적 기능 등을 제공한다 (Yoo, 2007). 섬진강 하구는 육상에서 충분한 영양염이 공급되는 지역으로 양호한 환경상태를 유지하고 있어 넓은 잘피 자생지가 잘 발달된 곳이다 (Yoon, 2006). 잘피의 경제적 가치는 어류 및 패류의 상업적 가치와 유어어업의 장으로도 활용되며, 휴양시설, 폭풍으로부터의 생물을 보호하는 기능을 발휘하기도 한다 (Texas Parks and Wildlife Department, 1999; Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, 2003). 섬진강 하구에서 잘피 자생지의 생태적 가치를 평가하기 위해서도 섬진강 하구에 분포하고 있는 잘피의 분포 현황 및 생태적 특성에 대한 정확한 조사가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 섬진강 하구 잘피 자생지 분포 면적, 종조성, 형태, 생산성, 밀도 및 생물량을 바탕으로 섬진강 하구에 분포하는 잘피의 분포 현황 및 생태적 특성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

잘피 자생지 분포 면적 및 종조성

섬진강 하구 잘피 현황조사는 광양시·하동군으로 둘러싸인 섬진강 하구의 잘피 자생 유무를 문헌을 통하여 사전에 파악하였으며, 섬진강 하구에 자생하고 있는 잘피의 분포면적 및 종조성을 조사하였다. 섬진강 하구에 자생하고 있는 일차생산자인 잘피의 분포는 2009년 5월 대조기를 기점으로 필요시에는 SCUBA를 이용한 직접관찰로 GPS (Garmin 60 CSx, Taiwan)를 이용하여 조사하고, GPS에 기록된 위도와 경도를 토대로 어장관리 프로그램 (MOMAF, 2003)의 전자지도를 통해 잘피가 차지하는 분포 면적을 추정하였다 (Fig. 1). 잘피 종조성은 직접 잠수하여 시료를 채취한 후 실험실에서 확인하였다.

잘피 자생지의 환경특성

잘피 자생지의 환경 특성은 2009년 5월 대조시에 실시되었으며, 조사정점은 갈사 갯벌의 조간대에 자생하고 있는 애기 거머리말 (*Zostera japonica*) 1정점 (St. 1)과 거머리말 (*Zostera marina*)이 자생하는 조하대 상부인 St. 2 및 St. 3에서 조사를 수행하였다 (Fig. 2).

수온, 염분은 현장에서 수질측정기 (YSI 85, USA)로 측정하였다. 해수 및 퇴적물 공극수의 영양염류 농도, 퇴적물의 입도분석 및 유기물 함량을 측정하기 위하여 5개씩 샘플을 채취하였다. 퇴적물은 지름 5 cm, 길이 13 cm의 주상 시료 채취기를 이용하여 채취하였다. 퇴적물의 공극수는 3,000 rpm에서 20분간 원심분리하여 추출한 후 0.45 μm 막여과지로 여과하여 분석 시 까지 -20°C 에서 냉동보관했다. 해수 및 퇴적

물 공극수의 암모늄염 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), 아질산염 ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) + 질산염 ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) 및 인산염 ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 농도는 흡광 광도법을 이용하여 측정하였다 (MOMAF, 2005). 입도 분석은 약 5 g의 퇴적물 시료를 10%의 염산 (HCl)과 6%의 과산화수소수 (H_2O_2)로 탄산염과 유기물을 제거하고, 표준체 (63 μm ~2 mm)를 통해 건식 체질하여 전체 건중량에 대한 표준체의 크기별 백분율 (%)로 나타내었으며, 그 결과로 퇴적물 입도조성을 구하였다. 퇴적물 중 유기물 함량은 550°C 에서 2시간 동안 태운 후 무게 차로 계산했다 (MOMAF, 2005).

잘피종의 형태, 밀도 및 생물량

잘피의 형태조사는 2009년 5월 잘피류 10여 개체의 식물체를 채취하여 잎의 수, 잎의 폭, 엽초 길이 및 지상부 길이 등을 측정하였다 (Fig. 2, St. 1~St. 3; Lee et al., 2003, 2005; Kim et al., 2009b). 잘피의 자생밀도는 애기거머리말의 경우 직경 10 cm corer (n=4, Kaldy, 2006; Kim et al., 2009b), 형태가 상대적으로 큰 거머리말의 경우 직경 20 cm 원형 방형구 내에 자생하는 개체수를 계수했다 (n=4, Lee et al., 2005; Kim et al., 2009b). 각 방형구 내 잘피를 채취하여 얼음이 채워진 아이스박스에 보관하여, 실험실로 가져와 담수로 부착생물 및 퇴적물 등을 제거한 후, 지상부와 지하부로 분리해서 60°C 에서 향량으로 될 때까지 건조하여 (Lee et al., 2003, 2005; Kim et al., 2009b) 각각의 건중량을 측정하였고, 이를 토대로 단위 면적 당 생물량 (g DW m^{-2})을 계산하였다 (Lee et al., 2003, 2005; Kim et al., 2009b).

거머리말의 생산성

거머리말의 생산성을 측정하기 위해 St. 2 정점에서 2009년 5월~2010년 1월까지 월별 blade marking technique (Zieman, 1974; Kentula and McIntire, 1986; Lee and Dunton, 1996)을 이용하여 거머리말의 생산성을 측정했다. 실험지역에서 잘피 10-15개체에 날카로운 바늘을 이용해 엽초에 구멍을 뚫은 다음, 약 4주 후에 채취하였다. 채취한 개체는 새로 자란 부분과 기존 부분으로 나누어서, 각각의 건중량을 측정했다. 이렇게 측정된 값으로 개체 당 하루 동안 생산된 양 ($\text{mg DW sht}^{-1} \text{d}^{-1}$)을 구하였고, 서식밀도를 곱하여 단위 면적당 평균 일일 생산량 ($\text{g DW m}^{-2} \text{d}^{-1}$) 및 단위 면적당 평균 연간 생산량 ($\text{g DW m}^{-2} \text{yr}^{-1}$)을 계산하였으며, 총 면적을 곱하여 총 자생 면적당 생산량 (ton DW yr^{-1})을 환산하였다.

통계분석

거머리말 잎의 탄소값 측정은 매월 거머리말 4개체를 채취하여, 부착생물을 제거하고 동결 건조 후 분쇄하여 원소-질량 분석기 (EuroEA-Isoprime IRMS, GV instruments, UK)로 측정하였다. 월별 탄소비를 평균한 비값을 단위 면적당 연간 생산량에 곱해주어 탄소량 ($\text{g C m}^{-2} \text{yr}^{-1}$)으로 환산하였다. 통계분석 거머리말의 형태, 밀도 및 생물량의 조사 자료는 normality와 homogeneity of variance를 검정한 후 one-way ANOVA를 이용하여 정점에 따른 차이의 유의성을 검사하였다 ($P < 0.05$). 통계분석은 SPSS 10.1을 이용하였으며, 측정치는 평균 (mean)과 표준오차 (SE)로 나타내었다.

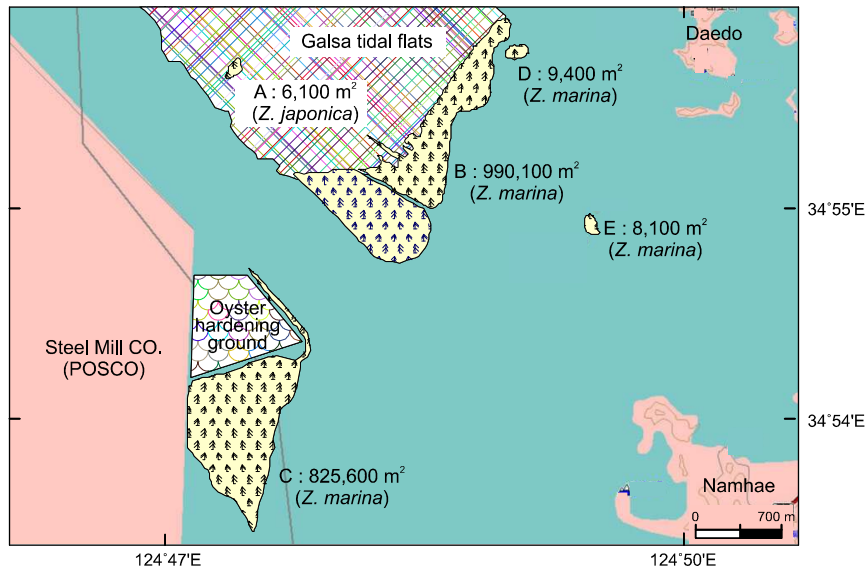


Fig. 1. Mapping of distributional areas of the seagrass species in the Seomjin Estuary. Seagrass survey was conducted in May 2009.

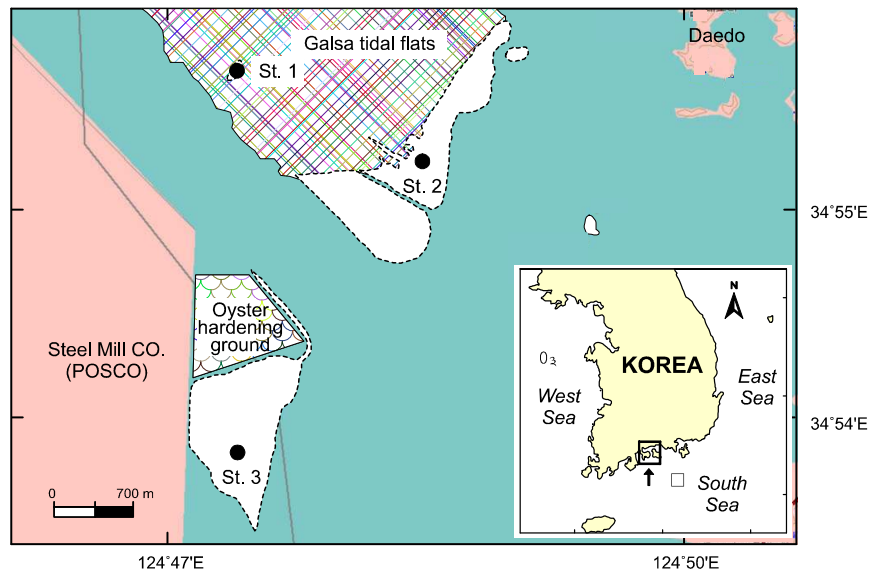


Fig. 2. Seagrass survey area. Seagrasses observed in dotted area in the Seomjin Estuary. Stational points (St. 1~St. 3) indicate sampling sites for morphology, density and biomass of seagrasses and environmental factors.

결 과

섬진강 하구 갈피 자생지 분포 면적 및 종 조성

섬진강 하구의 갈피는 갈사 갯벌의 조간대에서 조하대, 포스코 인근지역의 조하대에 분포하였다. 거머리말은 갈사 갯벌 조간대 하부부터 조하대 수심 2 m와 포스코 인근지역 조하대 수심 2 m까지 넓게 분포하거나 군락을 이루어 자생하였고, 애기거머리말은 갈사 갯벌의 조간대에 patch 형태로 자생하고 있었다 (Table 1, Fig. 1). 섬진강 하구의 갈피 분포면적은 거머

리말 (*Zostera marina*)이 1.83 km²으로서 넓은 면적을 차지하였고, 애기거머리말 (*Zostera japonica*)은 약 0.01 km²로 조사되어 섬진강 하구에 자생하는 갈피 분포면적은 1.84 km²이었다.

갈피 자생지의 환경특성

수온은 20.1~20.4°C이고, 염분은 18.2~29.9 psu 범위였다. 섬진강 하구에 출현한 2종의 거머리말속 갈피가 자생하는 지역의 입도조성은 모든 정점에서 95%이상의 사질이었고 (Fig. 3A, B), 유기물 함량은 1.5~1.7%로 유사하게 나타났다 (Fig. 4).

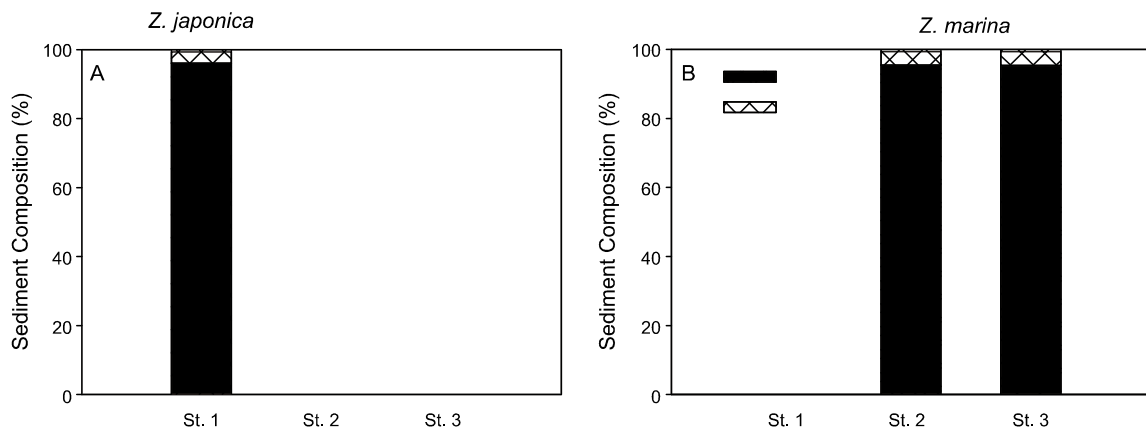


Fig. 3. Sediment composition (A~B) at the study sites. Sediment samples were collected at the study site in May 2009.

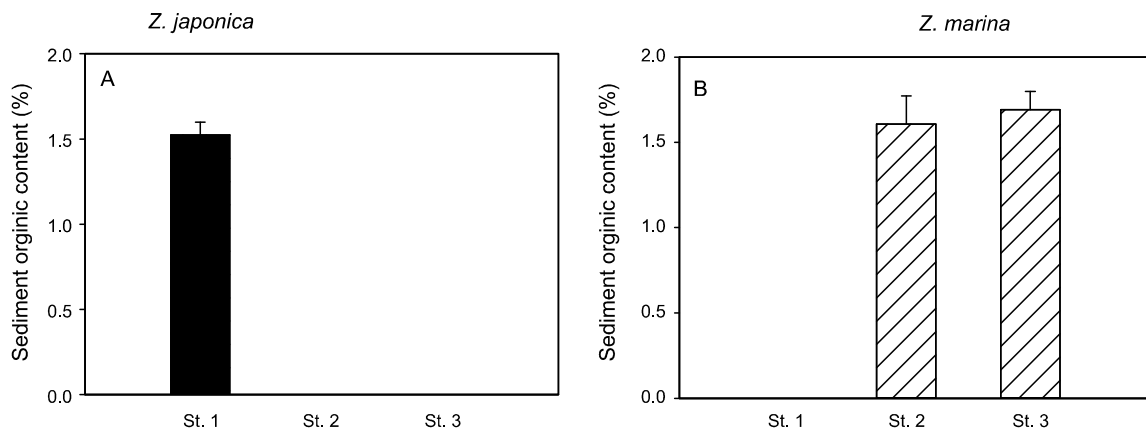


Fig. 4. Sediment organic content (A~B) at the study sites. Sediment samples were collected at the study site in May 2009.

Table 1. Seagrass species and distributional area occurred in the Seomjin Estuary. Depth was expressed as MSL (mean sea level). Seagrass survey was conducted in May 2009

Position	Species	Area (m ²)	Depth (type of meadow)
A	<i>Zostera japonica</i>	6,100	intertidal (Patch)
B	<i>Zostera marina</i>	990,100	intertidal~1.5 m (Bed)
C	<i>Zostera marina</i>	825,600	intertidal~2.0 m (Bed)
D	<i>Zostera marina</i>	9,400	1.0~2.0 m (Patch)
E	<i>Zostera marina</i>	8,100	1.0 m (Patch)

섬진강 하구 잘피 자생 지역의 해수 영양염류 중 인산염 농도는 0.3~0.9 μM 범위였고, 암모늄염 농도는 4.1~7.0 μM 범위였으며, 아질산염+질산염 농도는 3.2~5.3 μM 범위로 나타났다 (Fig. 5A, B, C). 퇴적물 공극수의 영양염류 중 인산염 농도는 0.7~0.8 μM 범위였고, 암모늄염 농도는 92~208 μM 범위였으며, 아질산염+질산염 농도는 14.6~22.5 μM 범위로 나타났다 (Fig. 5D, E, F).

잘피종의 형태적 특성

애기거머리말의 경우 잎의 수는 2~3개, 잎의 폭은 1.4±0.1 mm, 엽초의 평균 길이는 5.3±0.3 cm, 지상부 평균 길이는 24.4±1.8 cm였다 (Fig. 6A, B, C, D). 거머리말의 형태학적 특성을 살펴보면 잎의 수는 4~6개, 잎의 폭은 9.1~10.2 mm, 지상부의 평균 길이는 117~175 cm로서 정점별 유의한 차이를 보였으나 (ANOVA, P<0.005, Fig. 6E, F, H), 엽초의 평균 길이는 28~32 cm로서 정점별 유의한 차이를 보이지 않았다 (ANOVA, P=0.105, Fig. 6G).

잘피종의 자생밀도 및 생물량

애기거머리말의 자생밀도 및 생물량 중 자생밀도는 1,027 shoot m²로 나타났고, 총 생물량 6.5 g DW m², 지상부 생물량 3.9 g DW m² 및 지하부 생물량 2.6 g DW m²으로 나타났다 (Fig. 7A, B, C, D).

거머리말의 자생밀도 및 생물량 중 자생밀도는 231~239 shoot m² (ANOVA, P=0.835, Fig. 7E) 및 지하부 생물량은 19~33 g DW m² (ANOVA, P=0.102, Fig. 7H)로서 정점별 유의한 차이를 보이지 않았으나, 총 생물량은 117~214 g DW m² 및 지상부 생물량은 98~181 g DW m²로서 정점별 유의한 차이를 보였다 (ANOVA, P<0.005, Fig. 7F, G).

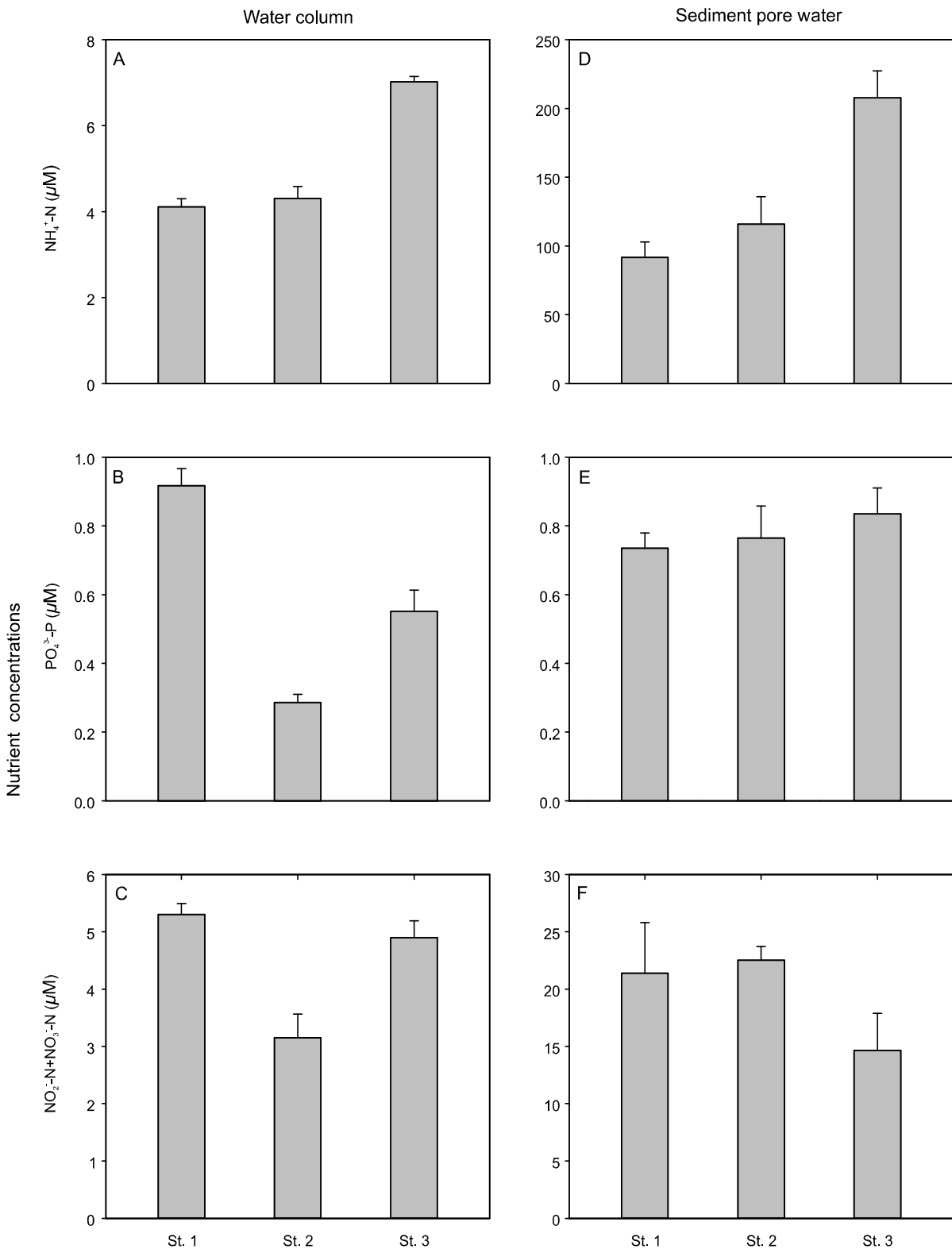


Fig. 5. Water column and sediment pore water nutrient concentrations at the study sites. Water column ammonia nitrogen (A), phosphate phosphorus (B) and nitrate nitrogen + nitrite nitrogen (C), and sediment pore water ammonia nitrogen (D), phosphate phosphorus (E) and nitrate nitrogen + nitrite nitrogen (F). Water column and sediment pore water samples were collected at the study site in May 2009.

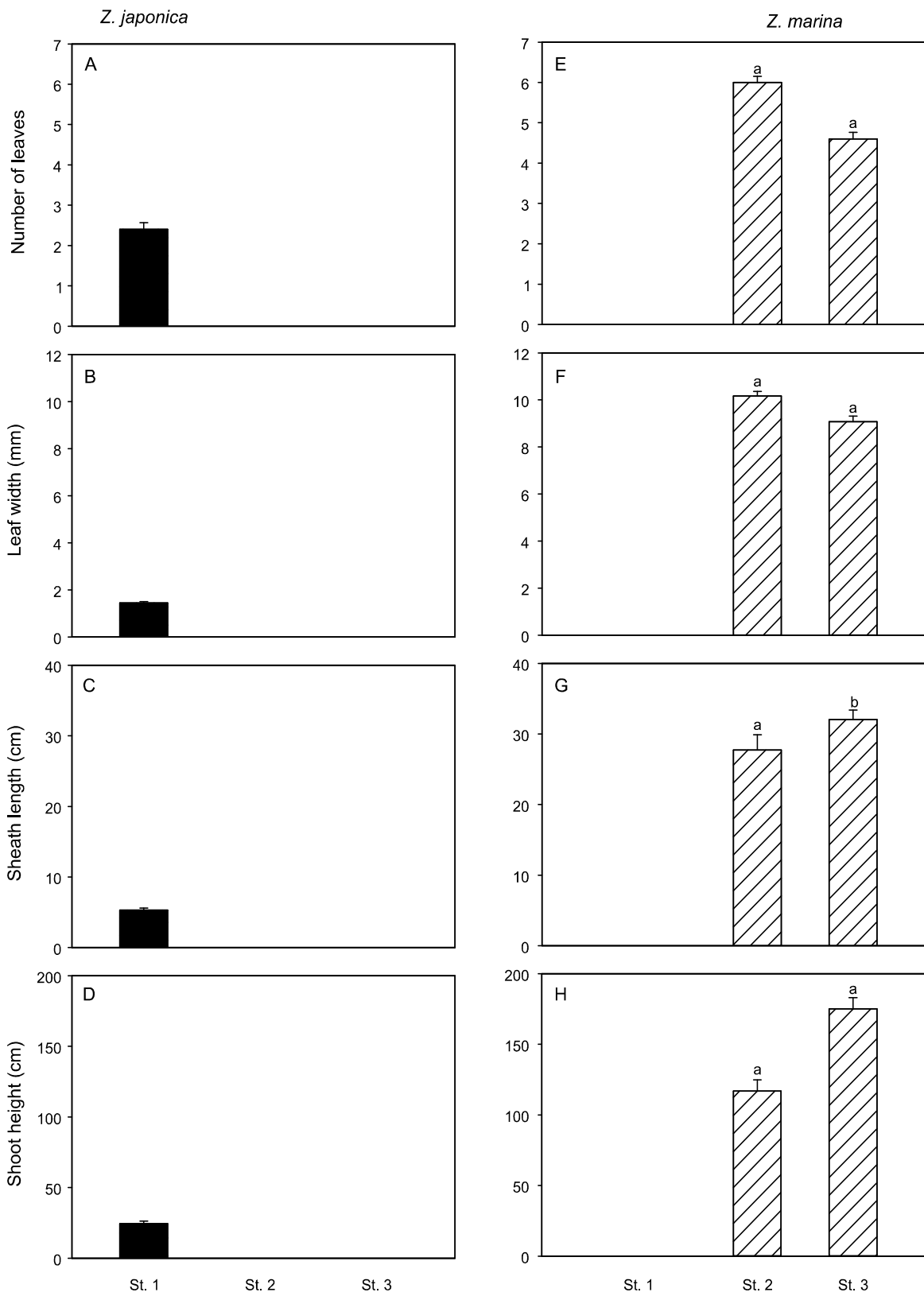


Fig. 6. Morphological characteristics of the seagrasses occurred in the Seomjin Estuary. Number of leaves (A, E), leaf width (B, F), sheath length (C, G) and shoot height (D, H). Seagrasses were collected at the study site in May 2009.

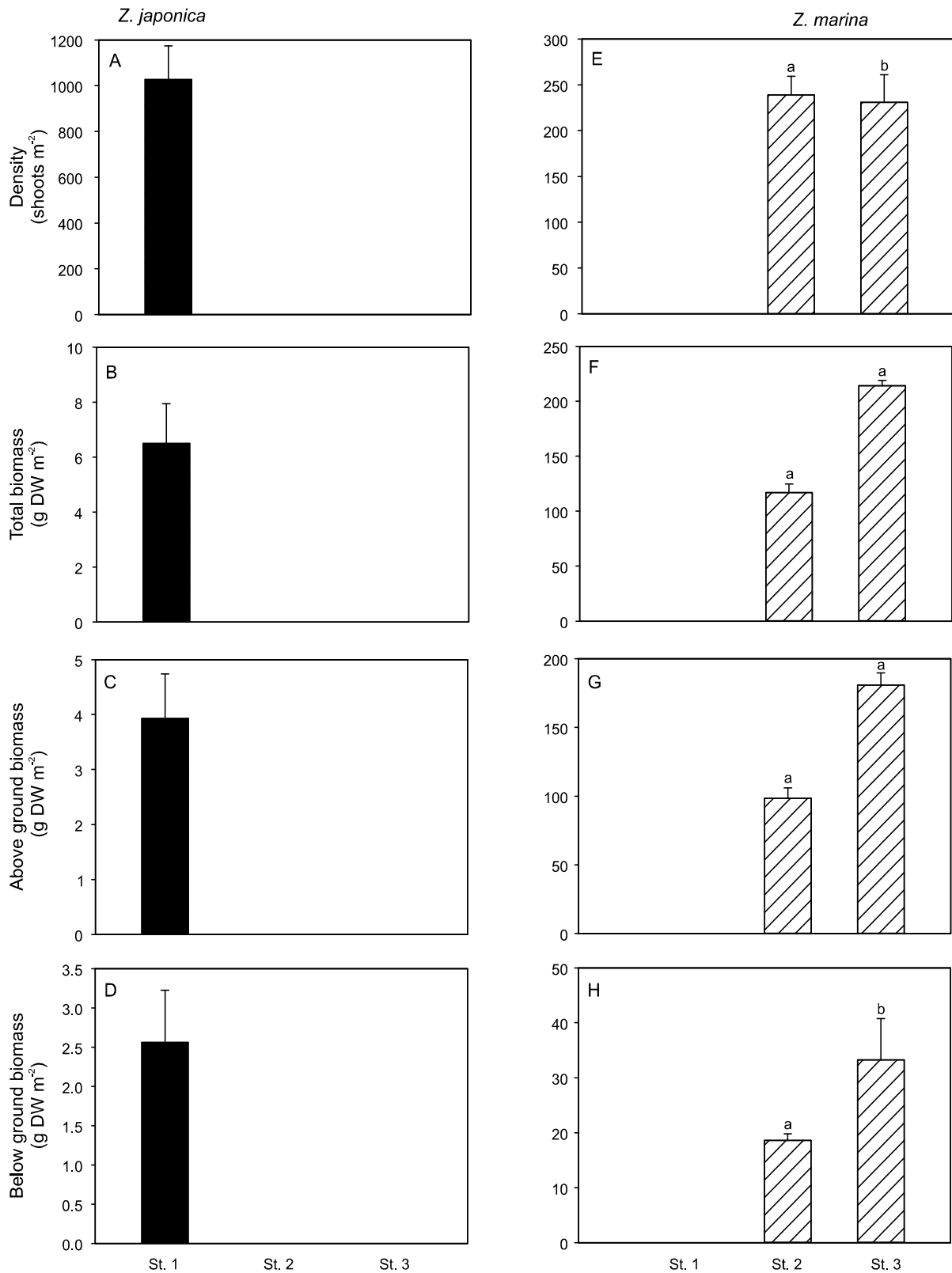


Fig. 7. Vegetative shoot density (A, E), total biomass (B, F), above ground biomass (C, G) and below ground biomass (D, H) of *Zostera japonica* and *Zostera marina* at the study sites in Seomjin Estuary. Shoot density and biomass surveys were conducted in May 2009.

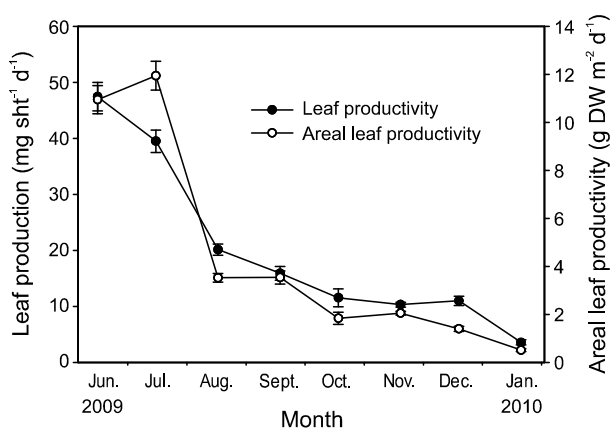


Fig. 8. Seasonal changes of leaf productivity and areal leaf productivity of the *Zostera marina* at the study site (St. 2) in the Seomjin Estuary.

Table 2. Production of seagrass occurred in estuaries of the Korean peninsula

Production	Estuary		
	Seomjin	Nakdong*	Youngsan**
Areal leaf production (g DW m ⁻² day ⁻¹)	0.51~11.95 (4.47)	0.67~14.02 (4.73)	0.97~2.89 (1.86)
Annual areal leaf production (g DW m ⁻² yr ⁻¹)	1,632	1,726	679
Integrated annual leaf production (t DW yr ⁻¹)	3,002	511	39.4
Annual areal leaf production (g C m ⁻² yr ⁻¹)	731	810	-
Integrated annual leaf production (t C yr ⁻¹)	1,343	240	-

* Park et al., 2009, ** MLTM, 2009.

거머리말의 생산성

섬진강 하구 거머리말의 개체당 생산성은 3.55~47.46 (19.92±1.26) mg sht⁻¹ day⁻¹로 6월부터 감소하여 1월에 최저값을 보였다. 단위 면적당 평균 일일 생산성은 0.51~11.95 (4.47±0.27) g DW m⁻² day⁻¹로 6~7월 증가했으나, 8월 이후 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 8).

단위면적당 평균 일일 및 연간 생산량은 각각 4.47 g DW m⁻² day⁻¹ 및 1,632 g DW m⁻² yr⁻¹이고 총 자생 면적에 대한 생산량은 3,002 ton DW yr⁻¹로 추정되었다. 섬진강 하구에서 생산되는 거머리말의 양을 탄소 값으로 환산하면 단위 면적당 연간 탄소 생산량은 731g C m⁻² yr⁻¹이었고, 섬진강 하구역 전체에서 생산되는 거머리말의 연간 탄소 총생산량은 1,343 ton C yr⁻¹이었다 (Table 2).

고찰

잘피는 지상부 조직을 통해 해수 내의 영양염을 흡수하고, 지하부 조직은 퇴적물을 안정화 시켜 연안 환경 정화에 매우 중요한 역할을 담당한다 (National Academy of Sciences, 1975; Short and McRoy, 1984; Ward et al., 1984; Fonseca and Fisher,

1986). 잘피숲 1에이커는 연간 10톤 이상의 잎을 생산하고, 많은 척추동물과 무척추동물의 먹이, 서식지, 산란장 및 성육장을 제공하여 4천여 마리의 어류와 5천만 마리의 무척추동물이 서식한다고 보고되고 있다 (Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, 2003). 생태학적, 수산경제학적으로 중요한 잘피를 보호 및 보전하기 위해서는 잘피의 분포 면적, 종 조성, 형태, 생산량, 밀도 및 생물량을 파악할 필요가 있다. 항공촬영, 수중음향탐사방법, 위성촬영, 수중 비디오 촬영 기법 등으로 쉽게 잘피 분포 면적조사가 가능하다. 그러나 직접 다이버에 의한 조사는 시간과 노력이 많이 소요되는 단점이 있음에도 불구하고 잘피 분포에 대한 정확한 정보를 제공할 수 있다 (McKenzie et al., 2001).

Yoon (2006)은 섬진강 하구의 갈사만 조간대 하부에 군락을 이루는 거머리말은 동서방향으로 2.7 km, 남북방향으로 0.3 km의 규모로 면적이 약 0.81 km²로 추정하였다. 본 연구에서 조사된 갈사만 하부에 자생하는 거머리말 군락은 1.01 km²로서 Yoon (2006)의 추정 면적과는 차이를 보였다. 포스코 인근 지역의 조하대에 자생하고 있는 거머리말 군락은 0.82 km²로 섬진강 하구 거머리말의 자생면적은 1.83 km²이었다. 또한, 갈사 갯벌 조간대에 patch 형태로 자생하는 애기거머리말은 약 0.01 km²이었다. 따라서, 조사된 섬진강 하구에 자생하고 있는 잘피 분포 면적은 1.84 km²이었다. 화동화력발전소와 마주보는 대도 주변에 자생하고 있었던 거머리말의 분포면적을 Kim et al. (2008a)은 0.09 km²의 거머리말이 자생하는 것으로 보고하였으나, 최근 대도주변의 낚시 등 레저를 즐길 수 있는 관광단지 조성 사업에 의하여 인위적으로 훼손되어 SCUBA 조사 결과 잘피 자생지가 완전히 사라진 것이 확인되었다. 우리나라 잘피 자생면적은 약 55~70 km²으로 대부분 수질악화나 인위적 교란에 의하여 잘피 자생지가 사라진 것으로 보고되고 있는데 (Lee and Lee, 2003), 섬진강 하구 잘피는 2.6%의 넓은 잘피숲이 형성되어 있음을 알 수 있었다.

섬진강 하구의 경우에는 하구둑이 건설되지 않은 자연 하구역으로서 유량, 유속, 수온 및 염분 변화가 역동적이어서 서식 생물들은 독특한 적응 형태를 갖추고 있다. 갈사 갯벌의 조간대 하부에는 넓은 면적의 잘피숲이 존재하여 다양한 수계 생물종의 산란·성육장으로 그 가치가 매우 높은 것으로 조사되었지만, 최근 갈사만 조선 산업단지 조성을 위한 간척·매립으로 인하여 갈사 갯벌은 물론 조간대 하부 및 조하대에 자생하고 있는 넓은 면적의 잘피숲은 사라질 위기에 처해있다. 갈사 갯벌 조간대에 patch로 분포하는 애기거머리말의 경우 조수간만의 차에 의하여 외부에 노출되는 시간이 많았으며, 거머리말의 경우 조간대 하부에서 조하대 2 m 수심까지 자생하면서 종마다 서식 수심을 달리 자생하여 공간적인 분포가 제한되거나 구분되는 양상을 보였다.

일반적으로 애기거머리말은 니사질에 대부분 서식하며, 거머리말은 사니질 또는 니사질에 서식하는 것으로 알려져 있는데, 섬진강 하구 거머리말속 잘피 2종의 입도조성은 95% 이상의 사질에서 서식하는 것으로 나타났다 (Kim et al., 2009b). 유기물 함량은 조사지역 3정점 모두 1.7% 이하로 나타났으며,

거머리말이 자생하고 있는 득량만, 가배만 및 고성만에 비하여 낮은 값을 보였다 (Lee et al., 2003; Kim et al., 2009b).

해수 영양염류 중 인산염은 애기거머리말이 자생하는 조간대에서 0.92 μM 로 득량만에 비하여 높은 농도값을 보였으며 (Kim et al., 2009b), 암모늄염은 애기거머리말이 자생하는 조간대와 거머리말이 자생하는 갈사 갯벌의 조간대 하부 및 조하대에서의 두 지점이 비슷한 농도를 보였고, 포스코 인근 지역의 조하대에서는 높은 농도를 보였다. 퇴적물 공극수 내 영양염류중 인산염과 암모늄염은 가배만, 고성만 및 득량만과 비슷하거나 낮은 농도값을 보였으나, 질산염은 다른 해역에 비하여 2~3배 높은 농도값을 보였다 (Lee et al., 2003; Kim et al., 2009b).

갈피의 형태적 특성, 자생밀도 및 생물량은 분포지역, 계절 및 층에 따라서 다양한 형태로 나타난다. 거머리말의 경우 지상부 평균 길이, 엽초의 평균 길이, 잎의 폭 및 자생밀도는 본 조사와 유사한 시기인 5월에 조사된 가막만, 진동만 및 득량만의 값과 유사하였다 (Kim et al., 2008b; Kim et al., 2009b). 애기거머리말의 경우 본 조사와 유사한 시기인 5월에 조사된 거제 다대 및 득량만에 비하여 지상부 평균 길이, 엽초의 평균 길이, 잎의 폭이 작았고, 자생밀도는 낮은 값을 보였다 (Lee et al., 2006; Kim et al., 2009b).

생물량을 보면 거머리말의 경우 지상부, 지하부 및 총 생물량이 동월에 조사된 가막만, 진동만 및 득량만 보다 낮은 값을 보였다 (Kim et al., 2008b; Kim et al., 2009b). 애기거머리말의 지상부, 지하부 및 총생물량은 동월에 조사된 거제 다대 및 득량만 보다 월등히 낮은 값을 보였다 (Lee et al., 2006; Kim et al., 2009b).

하구 갈피의 단위면적당 일일 생산량은 섬진강 하구가 4.47 $\text{g DW m}^{-2} \text{day}^{-1}$ 로서 영산강 하구의 1.86 $\text{g DW m}^{-2} \text{day}^{-1}$ 보다는 높고, 낙동강 하구의 4.73 $\text{g DW m}^{-2} \text{day}^{-1}$ 와 유사하게 조사되었다 (MLTM, 2009; Park et al., 2009; Table 2). 단위 면적당 연간 탄소 생산량은 섬진강 하구 731 $\text{g C m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ 와 낙동강 하구 810 $\text{g C m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ 로 비슷하였다. 그러나, 총 면적에 대한 연간 탄소 총 생산량은 섬진강 하구가 1,343 ton C yr^{-1} 이었고 낙동강 하구가 240 ton C yr^{-1} 로 섬진강 하구에서 생산되는 갈피의 탄소량이 높은 것으로 나타났다 (Park et al., 2009; Table 2). 이는 호주 북동부 올만초 (Orman reefs) 주변에서 자라는 10종의 갈피에 대한 단위 면적당 연간 탄소 생산량 434 $\text{g C m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ (Rasheed et al., 2008), 북부 캐롤라이나의 거머리말에 의한 평균 단위 면적당 연간 탄소 생산량 329 $\text{g C m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ 에 비해 높게 조사되었다 (Penhale, 1977). 본 조사 기간이 여름부터 겨울까지로 갈피의 생산성이 낮은 시기에 조사가 이루어져 가장 생산성이 높은 봄 기간을 포함한다면 실제 갈피의 단위 면적당 연간 생산량은 본 연구의 결과 보다 훨씬 높을 것으로 추정된다.

문화재청의 조사결과에 의하면 섬진강 하구의 갈피 자생지는 갈피를 채식으로 하는 흑기러기 (천연기념물, 멸종위기 야생동물 II), 큰고니 (천연기념물, 멸종위기 야생동물 II), 홍머리오리, 흑부리오리의 중요한 먹이 장소로 이용되고 있고,

치어에서 저서생물에 이르는 많은 해양생물들이 서식하기 때문에 잠수성 오리류의 분포에도 많은 영향을 준다 (Ranwell and Downing, 1959; Cultural Heritage Administration, 2006; Desmonts, 2009). 멕시코 서해안의 인디언들은 전통적으로 *Zostera marina*를 채취하고 햇빛에 말려 종자를 얻었으며, 종자는 빵아서 토스트나 죽 같은 음식을 만들어 먹었고, 잎은 바다거북 및 물새의 먹이, 지붕 개량, 포장 충전제로서 사용하였다 (Felger and Moster, 1973; National Academy of Sciences, 1975).

Costanza et al. (1997)은 전 지구적인 해양의 가치를 화폐로 나타내었는데, 연간 1 ha당 해양의 총 가치는 \$577 $\text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 로 외양의 가치 \$252 $\text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 와 연안의 가치 \$4,052 $\text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 로 보고하고 있다. 특히, 연안의 가치 중 하구의 가치는 \$22,832 $\text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 또는 \$4,110 $\times 10^9 \text{yr}^{-1}$ 이고, 갈피 생태계의 가치는 \$19,004 $\text{ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 또는 \$3,801 $\times 10^9 \text{yr}^{-1}$ 로서 갈피 생태계의 가치가 하구의 총 가치와 비슷한 수준이었다.

미국 플로리다에 자생하고 있는 2.7×10^6 에이커의 갈피숲이 플로리다주 경제에 있어서 아주 중요한 상업 및 유어어업에 기여하고 있다. 갈피숲으로 인한 어류 및 패류의 상업적 가치는 \$1.24 $\times 10^7$ 에 달하며, 유어어업의 경제적 가치까지 포함하면 연간 1에이커 당 약 \$2.05 $\times 10^4$ 이다. 이것을 플로리다주 전체로 볼 경우 연간 갈피숲의 경제적 가치는 \$5.54 $\times 10^7$ 이상 되는 것으로 평가되었다 (Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, 2003). 또한, 갈피숲의 경제적 가치를 상업 및 휴양시설, 폭풍으로의 보호기능 등을 고려하여 산출하면 1에이커의 면적당 연간 \$9 $\times 10^3$ ~\$28 $\times 10^3$ 의 경제적 효과가 있는 것으로 평가하였다 (Texas Parks and Wildlife Department, 1999). 섬진강 하구는 우리나라 연안에서 갈피 자생 면적이 가장 넓은 지역 중의 하나로서, 갈피가 자생하는 지역에는 가무락 조개를 채취하고, 통발 및 소형 어선을 이용한 어로활동을 하고 있어, Texas Parks and Wildlife Department (1999)의 경제적 가치 및 효과를 1달러에 1,200원으로 계산하여 섬진강 하구 갈피에 적용하면 연간 49~153억원으로 추정해 볼 수 있다. 따라서 섬진강 하구의 건강한 갈피숲이 하구의 높은 생산성을 유지하는데 중요한 기능을 담당하고 있는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원(RP-2010-ME-027)의 지원에 의해 운영되었습니다. 자료해석에 많은 도움을 준 한양대학교 신경훈 교수께 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P and van der Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.
Cultural Heritage Administration. 2006. The investigation

- research on the actual condition of Brent Geese wintering ground of the Galsa area in the estuary of the Seomjin River. Bird Conservation Society of Korea, Chungnamkihoik. Korea, 59.
- den Hartog C. 1970. The seagrass of the world. North-holland Publishing Company, Amsterdam, Netherlands, 275.
- Desmots D, Fritz H, Cornulier T and Mahe R. 2009. Rise in human activities on the mudflats and Brent Geese (*Branta bernicla*) wintering distribution in relation to *Zostera* spp. beds : a 30-year study. J Ornithol 150, 733-742.
- Felger R and Moser MB. 1973. Eelgrass (*Zostera marina* L.) in the Gulf of California. Science 27, 355-356.
- Florida Fish and Wildlife Conservation Commission. 2003. Conserving Florida's seagrass resources: Developing a coordinated statewide management program. Florida Marine Research Institute. 100 Eighth Avenue SE St. Petersburg, FL 33701-5095, U.S.A., 39.
- Fonseca MS and Fisher JS. 1986. A comparison of canopy friction and sediment movement between four species of seagrass with reference to their ecology and restoration. Mar Ecol Prog Ser 29, 5-22.
- Hovel KA, Fonseca MS, Meyer DL, Kenworthy WJ and Whitfield PG. 2002. Effects of seagrass landscape structure, structural complexity and hydrodynamic regime on macrofaunal densities in North Carolina seagrass beds. Mar Ecol Prog Ser 243, 11-24.
- Kaldy JE. 2006. Production ecology of the non-indigenous seagrass, dwarf eelgrass (*Zostera japonica* Ascher. & Graeb.), in a Pacific northwest estuary. USA. Hydrobiologia 553, 201-217.
- Kang D, Cho S, La H, Kim J-M, Na J and Myoung J-G. 2006. Estimating spatial and vertical distribution of seagrass habitats using hydroacoustic system. Ocean and Polar Res 28, 225-236.
- Kentula, ME and McIntire CD. 1986. The autecology and production dynamics of eelgrass (*Zostera marina* L.) in Netarts Bay, Oregon. Estuaries 9, 188-199.
- Kim JB, Park J-I, Jung C-S, Lee P-Y and Lee K-S. 2009a. Distributional range extension of the seagrass *Halophila nipponica* into coastal waters off the Korean peninsula. Aquat Bot 90, 269-272.
- Kim JB, Park J-I and Lee K-S. 2009b. Seagrass distribution in Deukryang Bay. Kor J Fish Aquat Sci 42, 509-517.
- Kim JB, Ryu JH and Kim JK. 2009c. Comparative analysis of fish community structure between eelgrass (*Zostera marina* L.) beds and an adjacent unvegetated area in southern Korea. J Fish Sci Technol 12, 60-69.
- Kim K, Kim J and Kim KY. 2008a. Using a digital echosounder to estimate eelgrass (*Zostera marina* L.) cover and biomass in Kwangyang Bay. Algae 23, 83-90.
- Kim TH, Park SR, Kim YK, Kim J-H, Kim SH, Kim JH, Chung IK and Lee K-S. 2008b. Growth dynamics and carbon incorporation of the seagrass, *Zostera marina* L. in Jindong Bay and Gamak Bay on the southern coast of Korea. Algae 23, 241-250.
- Komatsu T, Igarashi C, Tatsukawa K, Sultana S, Matsuoka Y and Harada A. 2003. Use of multi-beam sonar to map seagrass beds in Otsuchi Bay on the Sanriku coast of Japan. Aquat Liv Res 16, 223-230.
- Lee K-S and Lee SY. 2003. The seagrasses of the republic of Korea. In: World Atlas of Seagrasses: present status and future conservation, edited by Green EP, Short FT and Spalding MD. University of California Press. Berkeley, U.S.A., 193-198.
- Lee K-S, Kang C-K and Kim Y-S. 2003. Seasonal dynamics of the seagrass *Zostera marina* on the south coast of the Korean peninsula. J Korean Soc Oceanogr 38, 68-79.
- Lee K-S and Dunton KH. 1996. Production and carbon reserve dynamics of the seagrass *Thalassia testudinum* in Corpus Christi Bay, Texas, USA. Mar Ecol Prog Ser 143, 201-210.
- Lee K-S, Park SR and Kim JB. 2005. Production dynamics of the eelgrass, *Zostera marina* in two systems on the south coast of the Korea peninsula. Mar Biol 147, 1091-1108.
- Lee SY, Kim JB and Lee SM. 2006. Temporal dynamics of subtidal *Zostera marina* and intertidal *Zostera japonica* on the southern coast of Korea. Mar Ecol 27, 133-144.
- McKenzie LJ, Finkbeiner MA and Kirkman H. 2001. Methods for mapping seagrass distribution. In: Short, F.T., R.G, Coles, (eds.), Global Seagrass Research Methods. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 101-121.
- MLTM. 2009. Establishment of action plans for management of estuary system(II), Youngsan river estuary, Korea, 619.
- MOMAF. 2003. Fishing Ground Management Program. Korea.
- MOMAF. 2005. Standard Methods of Marine Environment. Korea, 400.
- National Academy of Sciences, 1975. Underexploited

- Tropical Plants with Promising Economic Value. National Academy of Sciences. Washington, DC. U.S.A., 188.
- Park SR, Kim J-H, Kang C-K, An S and Chung IK. 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.
- Penhale PA. 1977. Macrophyte-epiphyte biomass and productivity in an eelgrass (*Zostera marina* L.) community. *J Exp Mar Biol Ecol* 26, 211-224.
- Ranwell DS and Downing BM. 1959. Brent goose (*Branta bernicla* (L.)) winter feeding pattern and zostera resources at Scolt Head Island, Norfolk. *Animal Behaviour* 7, 42-56.
- Rasheed MA, Dew KR, McKenzie LJ, Coles RG, Kerville SP and Campbell SJ. 2008. Productivity, carbon assimilation and intra-annual change in tropical reef platform seagrass communities of the Torres Strait, north-eastern Australia. *Continental Shelf Research* 28, 2292-2303.
- Short FT and McRoy CP. 1984. Nitrogen uptake by leaves and roots of the seagrass *Zostera marina* L. *Bot Mar* 27, 547-555.
- Spalding M, Taylor M, Ravilious C, Short F and Green E. 2003. Global overview the distribution and status of seagrasses. In: *World Atlas of Seagrasses: present status and future conservation*, edited by Green EP, Short FT and Spalding MD. University of California Press. Berkeley, U.S.A., 5-26.
- Texas Parks and Wildlife Department. 1999. Seagrass conservation plan for Texas: Austin, Tex., Texas Parks and Wildlife Resource Protection Division, with Texas General Land Office, Texas Natural Resources Conservation Commission, Galveston Bay Estuary Program, and Coastal Bend Bays and Estuary Program. Resource Protection division 4200 Smith School Road Austin, Texas 78744, U.S.A., 79.
- Thresher RE, Nichols PD, Gunn JS, Bruce BD and Furlani DM. 1992. Seagrass detritus as the basis of a coastal planktonic food chain. *Limnol Oceanogr* 37, 1754-1758
- Ward LG, Kemp WM and Boynton WR. 1984. The influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment. *Mar Geol* 59, 85-103.
- Yoo S-H. 2007. Measurement of the environmental value of the Seomjin-river estuary. *J Environmental Policy* 6, 1-25.
- Yoon S-P. 2006. The eelgrass, *Zostera marina* and its associated macroinvertebrate communities in Gwangyang Bay. Korea. Ph. D. Thesis, Inha University, 237.
- Zieman JC. 1974. Methods for the study of the growth and production of turtle grass, *Thalassia testudinum* Konig. *Aquaculture* 4, 139-143.
- Zieman JC and Wetzel RG. 1980. Productivity in seagrass: methods and rates. In: Phillips, R.C. and C.P. McRoy (eds.), *Handbook of Seagrass Biology: An Ecosystem Perspective*. Garland STPM Press, New York, U.S.A., 87-116.

2010년 6월 4일 접수

2010년 8월 10일 수정

2010년 8월 16일 수리